

Tchernobyl

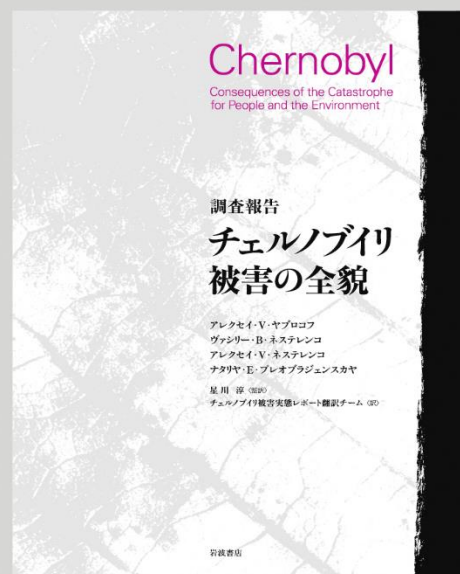
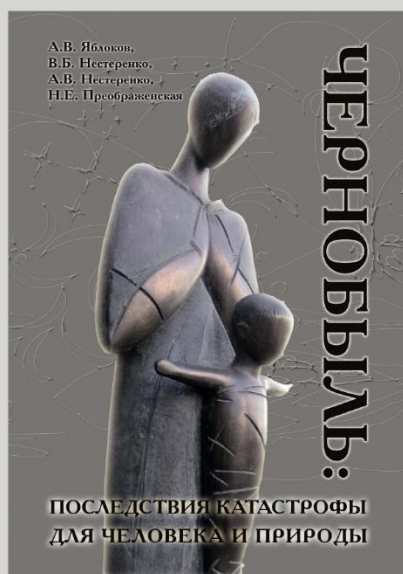
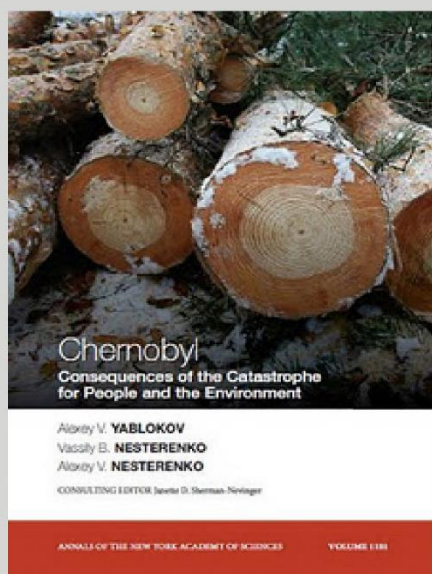
Conséquences de la catastrophe
sur la population et l'environnement

ALEXEY V. YABLOKOV

VASSILI B. NESTERENKO

ALEXEY V. NESTERENKO

NATALIA E. PREOBRAJENSKAYA



Tchernobyl

*Conséquences de la catastrophe
sur la population et l'environnement*

ALEXEY V. YABLOKOV

VASSILI B. NESTERENKO

ALEXEY V. NESTERENKO

NATALIA E. PREOBRAJENSKAYA

Publié par : **IndependentWHO – Santé et Nucléaire**
PARIS

www.independentwho.org

Dépôt légal : avril 2015

ISBN : 978-2-9552736-0-9

Tchernobyl

Conséquences de la catastrophe sur la population et l'environnement

ALEXEY V. YABLOKOV, VASSILI B. NESTERENKO,
ALEXEY V. NESTERENKO ET NATALIA E. PREOBRAJENSKAYA

SOMMAIRE

Aux lecteurs français. Alexey V. YABLOKOV	7
Avant-propos. Dimitrio M. GRODZINSKY	9
Préface. Alexey V. YABLOKOV, Vassili B. NESTERENKO, Alexey V. NESTERENKO et Natalia E. PREOBRAJENSKAYA	12
Remerciements	16
Introduction : La difficile vérité sur Tchernobyl. Alexey V. NESTERENKO, Vassili B. NESTERENKO et Alexey V. YABLOKOV	19
Partie I. La contamination liée à Tchernobyl : une vue d'ensemble.....	22
Chapitre 1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace. Alexey V. YABLOKOV et Vassili B. NESTERENKO	23
Partie II. Conséquences de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé publique	49
Chapitre 2. Conséquences de Tchernobyl sur la santé publique. Alexey V. YABLOKOV	50
Chapitre 3. Morbidité et invalidité globales. Alexey V. YABLOKOV et Natalia E. PREOBRAJENSKAYA	60
Chapitre 4. Le vieillissement accéléré comme conséquence de la catastrophe de Tchernobyl. Alexey V. YABLOKOV	74
Chapitre 5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl. Alexey V. YABLOKOV	77
Chapitre 6. Maladies oncologiques après la catastrophe de Tchernobyl. Alexey V. YABLOKOV	177
Chapitre 7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl. Alexey V. YABLOKOV	208
Conclusion de la Partie II	231
Partie III. Conséquences de la catastrophe de Tchernobyl pour l'environnement.....	234
Chapitre 8. Contamination de l'atmosphère, de l'eau et du sol après Tchernobyl. Alexey V. YABLOKOV, Vassili B. NESTERENKO et Alexey V. NESTERENKO	236
Chapitre 9. Impact de la radioactivité de Tchernobyl sur la flore. Alexey V. YABLOKOV, Natalia E. PREOBRAJENSKAYA	250

Sommaire

Chapitre 10. Impact de la radioactivité de Tchernobyl sur la faune. Alexey V. YABLOKOV et Natalia E. PREOBRAJENSKAYA.....	267
Chapitre 11. Impact de la radioactivité de Tchernobyl sur les micro-organismes. Alexey V. YABLOKOV	291
Conclusion de la Partie III.....	295
Partie IV. Radioprotection après la catastrophe de Tchernobyl.....	297
Chapitre 12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes par Tchernobyl. Alexey V. NESTERENKO, Vassili B. NESTERENKO et Alexey V. YABLOKOV	299
Chapitre 13. Décorporation des radionucléides de Tchernobyl. Vassili B. NESTERENKO et Alexey V. NESTERENKO.....	316
Chapitre 14. Mesures de protection pour les activités dans les territoires contaminés par la radioactivité de Tchernobyl. Alexey V. NESTERENKO et Vassili B. NESTERENKO	324
Conclusion de la Partie IV.....	331
Partie V. Résumé des conséquences, 25 ans après.	332
Chapitre 15. Conséquences de la catastrophe de Tchernobyl pour la santé publique et l'environnement, 25 ans plus tard. Alexey V. YABLOKOV, Vassili B. NESTERENKO et Alexey V. NESTERENKO.....	333
Chapitre 16. Épilogue : Tchernobyl – Fukushima. Alexey V. YABLOKOV, Alexey V. NESTERENKO et Natalia E. PREOBRAJENSKAYA.....	342
<i>Sommaire détaillé.....</i>	<i>343</i>
<i>Liste des figures et tableaux</i>	<i>350</i>
<i>Index</i>	<i>364</i>

Un SOMMAIRE DÉTAILLÉ figure en page 343.

Aux lecteurs français

Ce livre est l'étude la plus complète des publications scientifiques présentant des faits relatifs aux conséquences de la plus grande catastrophe d'origine humaine dans l'histoire de l'humanité.

Chacune des éditions consécutives à la première publication de Saint-Petersbourg en 2007 – celle de New York en 2009*, de Kiev en 2011, de Tokyo en 2013 – est de plus en plus volumineuse en raison de nouvelles données, confirmant l'importance énorme des conséquences de la catastrophe de Tchernobyl pour la santé humaine et pour l'environnement. Nous n'avons pas eu le temps d'inclure, dans cette nouvelle édition, les dizaines de nouvelles données qui ont été publiées en 2013 et 2014. Par exemple :

- dans les territoires les plus contaminés d'Ukraine et de Russie, les malformations congénitales chez les nourrissons sont sensiblement plus nombreuses [1, 2] ;
- l'analyse des statistiques démographiques officielles a révélé (en plus des données décrites précédemment pour de nombreux pays européens) une variation statistiquement significative de la proportion entre garçons et filles, parmi les nouveau-nés, en Russie et à Cuba, en 1987, en corrélation apparemment avec l'utilisation intensive des produits contaminés par les radionucléides de Tchernobyl [3] ;
- dans les territoires de Russie, contaminés par les radionucléides de Tchernobyl, on note une augmentation des maladies cancéreuses [4].

Les critiques pro-nucléaires accuseront à nouveau les auteurs de ce livre (comme ils nous ont accusés après la première publication de cette monographie) de ne pas se référer aux seules données « publiées dans des revues scientifiques à comité de lecture ». Mais est-ce que, même sans analyse scientifique, les données statistiques officielles ne parlent pas d'elles-mêmes, lorsque un sanglier sur trois, abattu dans la région de la Saxe – et cela 28 ans après la catastrophe de Tchernobyl – est dangereusement radioactif [5] ou que les rennes de la Norvège septentrionale sont devenus, en l'été 2014, 5,5 fois plus radioactifs qu'en 2012 en raison du fait qu'il y avait une pousse abondante de leurs champignons préférés qui concentrent le césium 137 contenu dans le sol [6] ?

Malheureusement, les leçons de Tchernobyl ne sont pas suffisamment intégrées. Pendant la « liquidation » des conséquences de l'autre catastrophe atomique mondiale de Fukushima en 2011, les mêmes erreurs ont été commises en évacuant les habitants des sites contaminés dans d'autres sites également contaminés. Il y eut les mêmes mensonges de la part des fonctionnaires gouvernementaux et des mêmes organisations pro-nucléaires internationales – l'AIEA et l'OMS – au sujet des niveaux de la contamination radioactive. L'occultation immorale des données sur les maladies causées par les radiations a été également répétée.

Les pertes économiques liées à Tchernobyl ont aujourd'hui nettement dépassé 500 milliards de dollars. Les pertes liées à Fukushima ont atteint, suivant les évaluations, 200 milliards de dollars et continuent à augmenter. Mais malheureusement le fardeau de ces coûts ne pèse aucunement sur les entreprises nucléaires. Cette irresponsabilité économique et sociale des atomistes constitue une injustice criante, qui permet à l'industrie atomique de se développer au détriment des États.

Toutes les données présentées dans ce livre montrent que les conséquences sur la santé et l'environnement de la catastrophe de Tchernobyl sont beaucoup plus graves que celles qui résultent des modèles officiels de la radioprotection. Elles témoignent du fait que les niveaux de risque radiolo-

* *Chernobyl, Consequences of the Catastrophe for People and the Environment* – Volume 1181 des Annales de l'Académie des Sciences de New-York
http://independentwho.org/media/Documents_Autres/Chernobyl_Consequences_of_the_catastrophe_for_people_and_the_environment_Reduit.pdf

gique adoptés sont sérieusement sous-estimés et doivent être révisés (voir détails [7]). Si ces règles officielles prenaient correctement en compte l'effet cumulatif des faibles doses, l'industrie de l'énergie atomique, dans sa forme actuelle, n'aurait pas de place dans une société civilisée.

Après Tchernobyl, la construction de nouvelles centrales nucléaires à travers le monde avait quasiment cessé. Mais 25 ans après, l'industrie nucléaire s'est remise du choc et s'est mise à parler de la « renaissance nucléaire ». Fukushima semblait avoir mis fin à cette « renaissance », conduisant l'Allemagne et une série d'autres pays à l'arrêt du développement de l'énergie nucléaire. Une série, mais pas tous... Notre incapacité à régler une vie internationale sans armes nucléaires confère un attrait sinistre à la création d'armes nucléaires sous le couvert du développement légal de l'énergie nucléaire « pacifique ». En plus de cela, certains pays sont toujours tentés par l'apparente facilité de résoudre les problèmes de l'énergie en utilisant l'énergie de la fission atomique. À la fameuse question que pose le héraut de l'industrie nucléaire, Vladimir Vernadsky, en 1922 [8] : « *L'humanité saura-t-elle se servir de cette force pour le bien et non pour l'autodestruction ?* », nous pouvons répondre avec certitude, 92 ans après, qu'ELLE N'A PAS SU.

Les radionucléides rejetés par l'explosion du réacteur de Tchernobyl dans le lointain 1986 empoisonneront la planète encore pendant des centaines et des milliers d'années. L'irresponsabilité et la cupidité des scientifiques atomiques, notre indifférence et la mémoire courte déterminent le caractère inévitable de nouvelles catastrophes nucléaires. Pour reprendre les mots du célèbre journaliste tchèque, Julius Fucik, « HOMMES, SOYEZ VIGILANTS ! ».

Nous espérons que les connaissances contenues dans ce livre viendront éclairer cette vigilance.

Alexey V. YABLOKOV,
15 Janvier 2015

- [1]. Wartecki W., Yevtushok L., Zymak-Zakutnia N. et al. 2014. Blastopathies and microcephaly in a Chernobyl impacted region of Ukraine. *Congenital Anomalies*, vol. 54, pp. 125–149.
- [2]. Корсаков А., Яблоков А., Трошин и др. 2014. Сравнительная оценка частоты врожденных пороков развития у детского населения Брянской области, проживающего на территориях, пострадавших вследствие Чернобыльской катастрофы (1991 – 2012). *Вестник Моск. Универ., серия XXIII (Антропология)*, # 2. сс. 122 -128. / Korsakov A, Yablokov A, Torchine (Torshin) et al. 2014. Évaluation comparative de l'incidence des malformations congénitales dans la population infantile du district de Briansk, vivant dans les territoires affectés par la catastrophe de Tchernobyl (1991 - 2012).
- [3]. Scherb H., Kusmierz R., and K. Voigt. 2013. Increased sex ratio in Russia and Cuba after Chernobyl: a radiological hypothesis. *Environ. Health*. Vol. 12: # 63 (Published online Aug 15, 2013. doi: [10.1186/1476-069X-12-63](https://doi.org/10.1186/1476-069X-12-63)).
- [4]. Корсаков А., Михалёв В., Трошин В. 2013. Комплексная эколого-гигиеническая оценка изменений состава среды как фактора риска для здоровья населения. *Palmarium Academic Publ.*, 404 с. / Korsakov A, Mikhaliyov V. Torchine v. (Torshin)
- [5]. Radioactive wild boar roaming the forests of Germany. 2014. *The Telegraph*, September 01 (<http://www.telegraph.co.uk/news/worldnews/europe/germany/11068298/Radioactive-wild-boar-roaming-the-forests-of-Germany.html>).
- [6]. Norway's radioactive reindeer. 2014. *BarentsObserver*. October 7 (<http://barentsobserver.com/en/nature/2014/10/norways-radioactive-reindeer-08-10>).
- [7]. Yablokov A. 2013. A Review and Critical Analysis of the “Effective Dose of Radiation” Concept. *Jour. Health & Pollution*, vol. 3, # 5, pp. 14 – 28. Cf. Actes du Forum Scientifique et Citoyen sur la Radioprotection, de Tchernobyl à Fukushima, Genève, 12-13 mai 2012, <http://independentwho.org/fr/2013/03/13/actes-du-forum/>
- [8]. Вернадский В. 1922. Очерки и речи. Издательство "НХТИ", Москва, вып.1, стр. 8. / Vernadsky V. 1922. *Essais et discours*. Édition "НХТИ", Moscou, fascicule 1, p.8.

Avant-propos

Plus de 25 ans se sont écoulés depuis qu'une catastrophe s'est abattue sur Tchernobyl et a bouleversé notre monde. En seulement quelques jours, l'air, les eaux naturelles, les fleurs, les arbres, la forêt, les rivières, les mers sont devenus des sources potentielles de danger pour l'homme, étant donné que les substances radioactives émises par le réacteur détruit sont retombées sur toutes les formes de vie. Dans tout l'Hémisphère Nord, la radioactivité a recouvert la plupart des biotopes et elle est devenue une source de dommages potentiels pour tous les êtres vivants.

Naturellement, juste après l'accident, la réaction de la population a été très forte et elle a démontré sa méfiance envers l'industrie atomique. Un certain nombre de pays ont décidé d'arrêter la construction de nouvelles centrales nucléaires. Les énormes dépenses nécessaires pour atténuer les effets négatifs des conséquences de Tchernobyl ont aussitôt « fait grimper le prix » de l'énergie électrique produite par le nucléaire. Cette réponse a perturbé les gouvernements de nombreux pays, les organisations internationales et les organismes officiels en charge de la technologie nucléaire et cela a conduit à une situation paradoxale de polarisation quant à la manière d'aborder les questions des personnes atteintes par la catastrophe de Tchernobyl et les effets de l'irradiation chronique sur la santé des personnes vivant dans les zones contaminées.

En raison de la polarisation du problème, au lieu d'organiser une étude exhaustive et objective des phénomènes radiologiques et radiobiologiques induits par de faibles doses de radiations, d'en anticiper les conséquences négatives et de prendre autant que possible les mesures adéquates pour protéger la population des effets négatifs envisageables, les apologistes de l'énergie nucléaire ont mis en place un black-out sur les données concernant les taux réels d'émissions radioactives, les doses de rayonnement et l'augmentation de la morbidité parmi les personnes touchées.

Quand il est devenu impossible de dissimuler la multiplication avérée des maladies radio-induites, on a tenté de la justifier en prétendant qu'il s'agissait du résultat d'une peur collective nationale. À la même époque, certains des concepts de la radiobiologie moderne ont été soudain remis en question. Ainsi, contrairement aux observations de base sur la nature des interactions élémentaires entre les rayonnements ionisants et la structure moléculaire des cellules, une campagne a été lancée pour nier la relation linéaire sans seuil (LNT) des effets des radiations. S'appuyant sur les effets des faibles doses de rayonnement dans des systèmes non-humains où un phénomène d'hormésis a été observé, certains scientifiques ont commencé à insister sur le fait que des doses telles que celles constatées à Tchernobyl pourraient en fait être bénéfiques aux humains et à tous les autres êtres vivants.

L'apogée de cette situation a été atteinte en 2006 lors du vingtième anniversaire de l'accident de Tchernobyl. À cette époque, la santé et la qualité de la vie s'étaient dégradées pour des millions de personnes. En avril 2006 à Kiev, en Ukraine, deux conférences internationales ont été organisées dans des lieux proches l'un de l'autre : l'une a été convoquée par des partisans de l'énergie atomique et l'autre par un certain nombre d'organisations internationales alarmées par l'état de santé réel des personnes touchées par la catastrophe de Tchernobyl. La conclusion de la première conférence n'a pas été formulée jusqu'à présent parce que la partie ukrainienne n'accepte pas les positions extrêmement optimistes qui en ressortent. La deuxième conférence a unanimement reconnu que les conséquences de la contamination radioactive de vastes zones ont été clairement négatives pour la santé des populations et elle a prédit un risque accru de maladies radiogéniques dans les pays européens pour les années à venir.

Pendant longtemps, j'ai pensé que le moment était venu de mettre un terme à l'opposition entre les partisans de la technocratie et ceux qui soutiennent les efforts scientifiques objectifs d'estimation des risques négatifs pour les personnes exposées aux retombées de Tchernobyl. Les éléments permettant de croire que ces risques ne sont pas mineurs sont très convaincants.

Des documents déclassifiés, émis à l'époque par les commissions gouvernementales de l'Union soviétique et de l'Ukraine en ce qui concerne la première décennie après 1986, contiennent des données sur un certain nombre de personnes qui ont été hospitalisées avec de graves irradiations. Ce chiffre est deux fois plus élevé que celui récemment cité dans les documents officiels. Comment pouvons-nous comprendre cette différence dans le calcul du nombre d'individus qui sont malades à la suite de l'irradiation ? Il n'est pas fondé de penser que les diagnostics des médecins ont été universellement faux. Beaucoup savaient, dans la première période de 10 jours après la fusion, que les maladies du nasopharynx étaient largement répandues. Nous ne connaissons pas la quantité ou la dose de « particules chaudes » à l'origine de ce syndrome qui ont contaminé l'épithélium du nasopharynx. Elles ont probablement été plus élevées que les chiffres admis.

Pour estimer les doses liées à la catastrophe de Tchernobyl au cours d'une année, il est essentiel de prendre en compte l'irradiation due aux retombées sur le sol et les feuillages, qui ont contaminé diverses formes d'aliments par des radionucléides à courte demi-vie. Même en 1987, l'activité de certains des radionucléides dépassait la contamination par le Cs-137 et le Sr-90. Ainsi, la décision de calculer la dose liée seulement à l'irradiation par le Cs-137 a conduit à une sous-estimation manifeste des doses réelles accumulées. Dans différentes régions, les doses d'irradiation interne ont été définies sur la base de leur taux d'activité dans le lait et les pommes de terre. Donc dans les régions de Polésie où les champignons et autres produits forestiers constituent une part importante de la nourriture consommée, la radioactivité n'a pas été prise en compte.

L'efficacité biologique des effets cytogénétiques varie en fonction de la nature externe ou interne du rayonnement : l'irradiation interne provoque des dommages plus importants, un fait également négligé. Ainsi, il y a des raisons de croire que les doses d'irradiation n'ont pas été correctement estimées, en particulier pendant la première année après la défaillance du réacteur. Les données sur la croissance de la morbidité pendant deux décennies après la catastrophe viennent confirmer cette conclusion. En premier lieu, il existe des données très précises sur les maladies thyroïdiennes malignes de l'enfant, de sorte que même les tenants de la « radiophobie » comme cause principale de la maladie ne le nient pas. Au fil du temps, des maladies oncologiques avec des périodes de latence plus longues, en particulier les cancers du sein et du poumon, sont devenues plus fréquentes.

D'année en année, il y a eu une accentuation des maladies non cancéreuses, ce qui a accru l'incidence de la morbidité globale chez les enfants dans les zones touchées par la catastrophe, et le pourcentage des enfants « médicalement en bonne santé » a continué à diminuer. Par exemple, à Kiev, en Ukraine où, avant la fusion des réacteurs, jusqu'à 90% des enfants étaient considérés comme sains, le pourcentage est aujourd'hui de 20%. Dans certains territoires de Polésie, il n'existe pas d'enfants en bonne santé et la morbidité a globalement augmenté pour tous les groupes d'âge. La fréquence de la maladie a considérablement augmenté depuis l'accident de Tchernobyl. L'augmentation des maladies cardiovasculaires avec une fréquence accrue des attaques cardiaques et des maladies ischémiques est prouvée. La moyenne de l'espérance de vie est corrélativement réduite. Les maladies du système nerveux central chez les enfants et les adultes sont source de préoccupation. L'incidence des problèmes oculaires, en particulier des cataractes, a fortement augmenté. Les complications pendant la grossesse et l'état de santé des enfants nés de « liquidateurs » (les travailleurs affectés au nettoyage de Tchernobyl) et des personnes évacuées de zones de forte contamination par les radionucléides sont une cause d'alarme.

Confrontés à des données si convaincantes, les propos de certains partisans de l'énergie atomique semblent spécieux quand ils nient les effets négatifs avérés des rayonnements sur les populations. De fait, leurs réactions incluent le refus presque total de financer des études biologiques et médicales, même s'agissant des organismes gouvernementaux qui ont eu la charge des « affaires de Tchernobyl ». Sous la pression du lobby nucléaire, les fonctionnaires ont également détourné le personnel scientifique de l'étude des problèmes provoqués par Tchernobyl.

Les progrès rapides de la biologie et de la médecine sont une source d'espoir dans la recherche des moyens de prévenir les nombreuses maladies dues à l'exposition aux radiations nucléaires chroniques, et cette recherche permettra d'avancer beaucoup plus rapidement si elle est effectuée dans le contexte de l'expérience que les scientifiques et les médecins ukrainiens, biélorusses et russes ont acquise après

Avant-propos

la catastrophe de Tchernobyl. Nous aurions bien tort de négliger les possibilités qui nous sont offertes aujourd'hui. Nous devons espérer qu'un jour l'objectivité et l'impartialité gagneront, appuyer sans réserve les efforts visant à déterminer l'influence de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé des personnes et la biodiversité et conformer notre approche aux futurs progrès technologiques et à une attitude morale globale. Nous devons espérer et avoir confiance que cela se produira.

Le présent volume fournit sans doute les données les plus abondantes et les plus exhaustives concernant les conséquences négatives de Tchernobyl sur la santé des personnes et sur l'environnement. Les informations contenues dans cet ouvrage montrent que ces conséquences ne s'atténuent pas, mais qu'en fait elles s'aggravent et continueront à empirer. La principale conclusion du livre est qu'il est impossible et injuste « d'oublier Tchernobyl ». La santé des personnes et de la nature sera encore très affectée pendant de nombreuses générations.

Pr. DIMITRO M. GRODZINSKY

Docteur en biologie

Président du Département de biologie générale, Académie nationale des Sciences d'Ukraine,

Président de la Commission nationale d'Ukraine sur la protection contre les radiations

26 février 2011

Préface

L'idée principale qui sous-tend ce livre est de présenter, sous une forme brève et systématique, les résultats de chercheurs qui ont observé et démontré les conséquences de la catastrophe de Tchernobyl. À notre avis, la nécessité d'une telle analyse est devenue particulièrement importante après septembre 2005, lorsque l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) ont présenté le rapport du « Forum de Tchernobyl » et en ont fait une large publicité, parce que dans ce rapport, il manquait des faits suffisamment détaillés sur les conséquences de la catastrophe [AIEA, (2006) - *The Chernobyl Legacy: Health, Environment and Socio-Economic Impact and Recommendation to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine*. 2ème éd. revue – AIEA, Vienne, 50 p., <http://www.iaea.org/technicalcooperation/documents/chernobyl.pdf> (en anglais)].

Stimulés par le rapport « Le Forum de Tchernobyl » de l'AIEA et l'OMS, à l'initiative de Greenpeace International et avant le vingtième anniversaire de la catastrophe de Tchernobyl, de nombreux spécialistes, la plupart originaires du Belarus, d'Ukraine, et de Russie (voir la liste ci-dessous) ont présenté leurs dernières données et publications sur les conséquences de Tchernobyl. Greenpeace International a également recueilli des centaines de publications et de thèses de doctorat sur Tchernobyl. Ces matériaux ont été ajoutés à la documentation sur Tchernobyl collectée au fil des ans par Alexey Yablokov [A.V. Yablokov ; 2001. *Myth of the Insignificance of the Consequences of the Chernobyl Catastrophe* (Centre pour la politique environnementale russe, Moscou) : 112 p. http://www.seu.ru/programs/atomsafe/books/mif_3.pdf (en russe)].

Juste avant le vingtième anniversaire de la catastrophe de Tchernobyl, le rapport « *La catastrophe de Tchernobyl : conséquences sur la santé humaine* » a été publié le 18 avril 2006 par A. Yablokov, I. Labunska, et I. Blokov (Eds.) [Greenpeace, Amsterdam, 2006 ; 137 p. ; <http://www.chernobyl-day.org/IMG/pdf/rapport-greenpeace2006.pdf> (traduction française)]

Pour des raisons techniques, il n'a pas été possible d'inclure l'ensemble des éléments mentionnés ci-dessus dans ce livre. Une partie de ce matériel original a donc été publiée sous le titre « *The Health Effects of the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe: Collection of Scientific Articles* », I. Blokov, T. Sadowichik, I. Labunska, et I. Volkov Éditeurs, 2007 [Greenpeace, Amsterdam, 235 pp. <http://www.greenpeace.to/greenpeace/?p=708> (en anglais)].

En 2006, de multiples conférences ont eu lieu en Ukraine, en Russie, au Belarus, en Allemagne, en Suisse, aux États-Unis et dans d'autres pays à l'occasion du vingtième anniversaire de la catastrophe de Tchernobyl et de nombreux rapports avec de nouveaux éléments concernant les conséquences de la fusion ont été publiés. Citons, entre autres :

- « The Other Report on Chernobyl (TORCH) » [I. Fairly et D. Sumner (2006), Berlin, 90 pp.] <http://www.chernobylreport.org/torch.pdf>.
- « Chernobyl Accident's Consequences: An Estimation and the Forecast of Additional General Mortality and Malignant Diseases » [Centre d'évaluation écologique indépendant, Académie des Sciences de la Russie et Greenpeace Council de Russie (2006), Moscou, 24 pp.].
- *Chernobyl: 20 Years On. Health Effects of the Chernobyl Accident* [C. C. Busby et A.V. Yablokov (Eds.) (2006). Comité européen sur le risque radiologique (Green Audit, Aberystwith), 250 pp.].
- *Chernobyl. 20 Years After. Myth and Truth* [A. Yablokov, R. Braun, et U. Watermann (Eds.) (2006), Agenda Verlag, Münster, 217 pp.].
- « Health Effects of Chernobyl: 20 Years after the Reactor Catastrophe » [S. Pflugbeil et al. (2006), German IPPNW, Berlin, 76 pp.].

Préface

- Twenty Years after the Chernobyl Accident: Future Outlook [Contribution à la Conférence internationale. 24–26 avril 2006. Kiev, Ukraine, vol. 1–3 (HOLTEH Kiev) ; <http://www.tesec-int.org/GInf-Engl.pdf> (en anglais)].
- Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Sociological Lessons. [Publications de la Conférence internationale scientifique et pratique ; 5 juin, 2006, Moscou : 305 pp. http://www.ecopolicy.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf (en russe)].
- Rapport national du Belarus (2006). Twenty Years after the Chernobyl Catastrophe: Consequences in Belarus and Overcoming the Obstacles. [Shevchyuk, V. E, & Gurachevsky, V. L. (Eds.), Belarus Publishers, Minsk, 112 pp. (en russe)].
- Rapport national d'Ukraine (2006). Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Future Outlook. (Kiev) http://chernobyl.undp.org/english/docs/ukr_report_2006.pdf (en anglais).
- Rapport national de Russie (2006). Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Results and Perspective on Efforts to Overcome Its Consequences in Russia, 1986–2006 [Shoigu, S. K. & Bol'shov, L. A. (Eds.), Ministère des urgences, Moscou, 92 pp. (en russe)].

La documentation scientifique sur les conséquences de la catastrophe compte aujourd'hui plus de 30 000 publications, essentiellement en langues slaves. Plusieurs millions de documents existent dans divers systèmes d'information sur Internet : des descriptions, des mémoires, des cartes, des photos, etc. Par exemple, on trouve 14,5 millions de citations dans GOOGLE, 1,87 millions dans YANDEX et 1,25 millions dans RAMBLER. Il existe de nombreux portails Internet consacrés à Tchernobyl, particulièrement nombreux pour les « Enfants de Tchernobyl » et pour les organisations de Cleanup Workers de Tchernobyl (appelés « Liquidateurs »). *The Chernobyl Digest* – un recueil de résumés scientifiques – a été publié à Minsk avec la participation de nombreux instituts scientifiques du Belarus et de Russie et comprend plusieurs milliers de publications commentées remontant à 1990. Au même moment, le rapport « Le Forum de Tchernobyl » de l'AIEA / OMS (2005), annoncé par l'OMS et l'AIEA comme « la critique la plus complète et la plus objective » des conséquences de la catastrophe de l'accident de Tchernobyl, ne mentionne que 350 publications, essentiellement en anglais.

La liste de la documentation intégrée à cet ouvrage comprend environ 1 000 titres et reflète plus de 5 000 publications imprimées ou sur Internet, principalement en langues slaves. Cependant, les auteurs s'excusent à l'avance auprès des collègues dont les articles sur les conséquences de la catastrophe de Tchernobyl ne sont pas mentionnés dans cette étude – faire la liste de tous les documents est physiquement impossible.

Les auteurs des différentes parties du livre sont :

- Partie I : La contamination liée à Tchernobyl : une vue d'ensemble – A. V. Yablokov et V. B. Nesterenko ;
- Partie II : Conséquences de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé publique – A. V. Yablokov et N.E. Preobrajenskaya ;
- Partie III : Les conséquences de la catastrophe de Tchernobyl sur l'environnement – A. V. Yablokov, V. B. Nesterenko, A. V. Nesterenko et N.E. Preobrajenskaya ;
- Partie IV : Radioprotection après la catastrophe de Tchernobyl – A. V. Nesterenko, V. B. Nesterenko et A. V. Yablokov.
- Partie V : Résumé des conséquences, 25 ans après – A. V. Yablokov, V. B. Nesterenko, A. V. Nesterenko et N.E. Preobrajenskaya.

Le texte final a été coordonné par tous les auteurs et il exprime leur point de vue commun.

Quelques remarques éditoriales importantes :

1. Les faits spécifiques sont présentés sous la forme adoptée depuis longtemps par le Comité scientifique sur l'effet des rayonnements ionisants de l'Organisation des Nations Unies (UNSCEAR) - ventilés dans les paragraphes numérotés.
2. Les mots et expressions « contamination de Tchernobyl », « contamination », « territoires contaminés » et « territoires de Tchernobyl » désignent la contamination radioactive provoquée par les retombées de radionucléides à la suite de la catastrophe de Tchernobyl. Des expressions telles que

Préface

- « la répartition des maladies dans le territoire... » signifient la présence de maladies parmi les populations de ce territoire.
3. Le mot « catastrophe » signifie le rejet de nombreux radionucléides dans l'atmosphère et les eaux souterraines à la suite de l'explosion du quatrième réacteur de la centrale nucléaire de Tchernobyl (Ukraine), qui a débuté le 26 avril 1986 et s'est prolongé par la suite.
 4. Les expressions « faible », « basse » et « élevée » (« lourde ») concernant une contamination radioactive qualifient une comparaison entre les différents niveaux officiellement retenus pour la contamination par la radioactivité dans les territoires : moins de 1 Ci/km² (< 37 kBq/m²) ; 1-5 Ci/km² (37-185 kBq/m²) ; 5-15 Ci/km² (185-555 kBq/m²) et 15-40 Ci/km² (555-1 480 kBq/m²).
 5. L'expression « territoire propre » est courante, mais, durant les premières semaines et mois après la catastrophe, pratiquement tous les territoires du Belarus, de l'Ukraine, de la Russie européenne, de l'Europe et de la majorité de l'Hémisphère Nord étaient dans une certaine mesure contaminés par les retombées des radionucléides de Tchernobyl.
 6. Comme dans les documents d'origine, les niveaux (taux) de contamination sont exprimés soit en curies par kilomètre carré (Ci/km²) soit en becquerels par mètre carré (Bq/m²).

La structure de ce volume se présente comme suit :

La Partie I fournit une estimation du niveau et du caractère de la contamination radioactive provoquée par l'accident de Tchernobyl, affectant principalement l'Hémisphère Nord.

La Partie II analyse les conséquences de la catastrophe pour la santé publique.

La Partie III décrit en détail les conséquences pour la nature.

La Partie IV traite des mesures pour atténuer les conséquences de Tchernobyl pour le Belarus, l'Ukraine et la Russie.

La Partie V présente un résumé des conséquences de la catastrophe, 25 ans après, et les leçons à en tirer pour celle de Fukushima.

Le volume se termine par des aides techniques à la lecture : un sommaire détaillée, une liste des tableaux et des figures et un index.

Malgré l'abondance du matériel, les informations actuelles ne sont pas exhaustives, car de nouvelles études sont continuellement publiées. Toutefois, la publication de ces données est nécessaire pour que l'humanité puisse faire face aux conséquences de la plus grande catastrophe technologique de l'histoire.

Pour des commentaires et des propositions en vue d'une édition ultérieure, nous vous demandons de prendre contact avec :

Alexey Vladimirovitch Yablokov, Académie russe des Sciences, Leninsky Prospekt, 33/319, Moscou 119071, Russie. Yablokov@ecopolicy.ru

ou

Alexey Vassilievitch Nesterenko, Institut de radioprotection (BELRAD), 2-nd Marusinsky Street, 27, Belarus, Minsk, 220053. anester@mail.ru

ou

Natalia Ephymovna Preobrajenskaya, Safe Chernobyl Children Foundation, Pavlo Tychyna prospect, 20f - 112, Kiev, 02152, Ukraine. talapreob@yandex.ru

ALEXEY V. YABLOKOV (MOSCOU),

VASSILI B. NESTERENKO (MINSK),

ALEXEY V. NESTERENKO (MINSK),

NATALIA E. PREOBRJENSKAYA (KIEV)

Professeur Alexey Vladimirovitch YABLOKOV, docteur ès sciences biologiques, conseiller de l'Académie des Sciences de Russie, vice-président du Comité d'écologie du Soviet Suprême de l'URSS (1989 - 1991), conseiller de l'écologie et de la santé publique du Président de la Russie (1991 - 1993), membre de la Commission Européenne du risque radiologique (2002), vice-président du Conseil scientifique de l'Académie des Sciences de Russie pour les problèmes de l'écologie et des situations d'urgence, président du Programme de la sûreté nucléaire et radiologique de l'Union socio-écologique internationale, président de la fraction « Zelenaya Rossia » (Russie Verte) du parti démocratique unifié russe « Yabloko ». Auteur de nombreux ouvrages et de mémoires sur l'écologie, la théorie de l'évolution, la protection de l'environnement, la sûreté nucléaire et radiologique et la politique écologique

Professeur Vassili Borissovitch NESTERENKO (02.12.1934-25.08.2008), docteur ès sciences techniques, membre correspondant de l'Académie nationale des Sciences du Belarus, directeur de l'Institut indépendant de radioprotection « Belrad » (non gouvernemental), qu'il a fondé en 1990 sur proposition de A. Adamovitch, A. Sakharov et A. Karpov. Il fut le Directeur général de l'« Institut de l'énergie nucléaire de l'Académie des Sciences du Belarus » et le constructeur général de la centrale nucléaire mobile « Pamir » (1971 - 1987). Il a été le premier à déterminer le débit de dose sur le toit du 4^{ème} réacteur explosé de la centrale de Tchernobyl (par spectrométrie à partir d'un hélicoptère). Auteur de plus de 350 publications sur l'énergie nucléaire et sur la radioprotection. Ambassadeur de la paix des Nations Unies et lauréat du Prix de la Paix.

Alexey Vassilievitch NESTERENKO, docteur ès sciences écologiques, directeur (depuis 2008) de l'Institut de radioprotection « Belrad », a coordonné une série de projets internationaux sur le développement durable au Belarus et en Lituanie. Auteur de plus de 50 publications sur l'écologie et la radioprotection.

Natalia Ephymovna PREOBRAJENSKAYA, docteur en biologie, fait partie des fondateurs de l'Association écologiste ukrainienne « Zelenij Svit », créée en 1987 ; présidente du Conseil d'administration du Fonds de solidarité pour les secours aux enfants d'Ukraine, affectés par la catastrophe de Tchernobyl ; expert de la Commission nationale (Corps I et II) pour la protection de la population d'Ukraine contre les rayonnements, auprès du Soviet Suprême d'Ukraine ; membre du Conseil social du Ministère ukrainien de la santé ; consacre beaucoup de temps à l'organisation des soins et des mesures sanitaires au bénéfice des enfants des territoires ukrainiens contaminés par la radioactivité. Auteure de nombreuses publications sur les conséquences sanitaires de la catastrophe.

Le professeur Vassili Nesterenko est décédé le 25 août 2008. C'était un grand personnage qui, comme Andreï Sakharov, a mis fin à sa brillante carrière professionnelle dans le nucléaire en tant qu'ingénieur en chef du département d'études de la centrale nucléaire mobile « Pamir » de l'Union Soviétique et directeur du Centre nucléaire de Biélorussie pour consacrer tous ses efforts à la protection de l'humanité des dangers de la radioactivité de Tchernobyl.

ALEXEY V. YABLOKOV

Remerciements

Ce livre n'aurait pas pu exister sans le concours de nombreux spécialistes et militants. Quarante-neuf chercheurs, principalement d'Ukraine, du Belarus et de Russie, ont fourni à Greenpeace International des documents originaux ou des études sur des sujets spécifiques, dans lesquels nous avons abondamment puisé (voir ci-dessous).

Les personnes suivantes (dans l'ordre alphabétique par pays) ont mis leurs informations et leurs consultations à la disposition des auteurs : Rashid Alymov, Alexander Bahur, Ivan Blokov, Nikolay Bochkov, Svetlana Davydova, Rimma Filippova, Alexander Glushchenko, Vyacheslav Grishin, Vladimir Gubarev, Rustem Il'ayzov, Vladymir Ivanov, Yury Izrael, Dilbar Klado, Sergey Klado, Galyna Klevezal', Lyudmyla Komogortseva, Lyudmyla Kovalevskaja, Eugen Krysanov, Valery Mentshykov, Mikhail Mina, Eugenia Najdich, Alexander Nikitin, Ida Oradovskaya, Iryna Pelevyna, Lydia Popova, Igor Reformatsky, Vladimir Remez, Svetlana Revina, Leonid Rikhvanov, Dmitry Rybakov, Nikolay Rybakov, Dmitry Schepotkin, Galina Talalaeva, Anatoly Tsyb, Leonid Tymonin, Vladimir M. Zakharov, Vladimir P. Zakharov et Grygory A. Yavlinsky (Russie) ; Yury Bandajevsky, Vladymir Borejko, Pavlo Fedirko, Igor Gudkov, Olga Horishna, Nykolay Karpan, Konstantin Loganovsky, Vytaly Mezhzherin, Tatyana Murza, Angelina Nyagu, Natalia Preobrajenskaya et Bronislav Pshenichnykov (Ukraine) ; Svetlana Aleksievich, Galina Bandajevskaya, Tatyana Belookaya, Rosa Goncharova, Elena Klymets, Dmitry Lazjuk, Grigory Lepin, Michail Malko, Elena Mokeeva et Alexander Oceanov (Belarus) ; Peter Hill, Alfred Korblein, Sebastian Pflugbeil, Hagen Scherb et Inge Schmits-Feuerhake (Allemagne), Michel Fernex, Alison Katz, Vladimir Tchertkov et Jurg Ulrich (Suisse) ; Yury Bandajevsky, Christophe Bisson et Anders Moller (France) ; Igor Chasnikov (Kazakhstan) ; Richard Bramhall et Chris Busby (Angleterre) ; Rosalie Bertel (Canada) ; Lym Keisevich (Israël) ; et Karl Grossman, Jay Gould, Arjun Makhijani, Joe Mangano, Michael Mariotte, Valery Soyfer, Ernst Sternglass et RADNET (États-Unis). Nous leur en sommes très reconnaissants ainsi qu'à tous ceux et celles qui nous ont aidés dans la préparation de cet ouvrage.

Nous adressons des remerciements particuliers au Prof. Elena B. Burlakova (Moscou) et au Prof. Dimitro M. Grodzinsky (Kiev) qui ont revu le manuscrit et à Julia F. Morozova et Elizaveta A. Sophonkina (Centre pour la politique environnementale de la Russie, Moscou) pour leur inépuisable patience dans la remise en ordre des multiples versions du texte et pour leur travail minutieux sur les listes des documents cités.

Nous adressons aussi des remerciements particuliers à Sergey F. Kuznetsov, Directeur d'Universarium Publishing à Kiev, qui a publié avec rapidité et enthousiasme l'édition ukrainienne du livre (avril 2011).

L'édition anglaise n'aurait pas été possible sans la Dr. Janette Sherman-Nevinger, qui a inlassablement permis une édition scientifique de notre très frustrée traduction.

Voici la liste des spécialistes qui ont fourni des documents originaux ou des études sur les sujets spécifiques pour la première édition de 2006 :

Antipkin, Yu.G., Institut de pédiatrie, obstétrique et gynécologie, Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Arabskaya, L.P., Institut de pédiatrie, obstétrique et gynécologie, Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Bazyka, D.A., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Burlak, G.F., Ministère de la santé, Kiev, Ukraine.

Remerciements

Burlakova, E.B., Institut de physique biochimique et Académie des Sciences de la Russie, Moscou, Russie.

Buzunov, V.A., Institut d'hygiène radiologique et d'épidémiologie, Centre de recherche de médecine radiologique, Kiev, Ukraine.

Cheban, A.K., Association « Médecins de Tchernobyl », Kiev, Ukraine.

Dashkevich, V.E., Institut de pédiatrie, obstétrique et gynécologie, Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Diomyna, E.A., Institut de pathologie expérimentale, d'oncologie et de radiobiologie, Kiev, Ukraine.

Druzhyna, M.A., Institut de pathologie expérimentale, d'oncologie et de radiobiologie, Kiev, Ukraine.

Fedirko, P.A., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Fedorenko, Z., Institut d'oncologie, Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Fuzik, M., Centre de recherche de médecine radiologique, Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Geranios, A., Département de physique nucléaire et des particules élémentaires, Université d'Athènes, Grèce.

Gryshchenko, V., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Gulak, G.L., Institut d'oncologie, Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Khudoley, V.V., Institut N. N. Petrov de recherche en oncologie, Centre indépendant d'expertise environnementale, Académie des Sciences de Russie, St. Pétersbourg, Russie.

Komissarenko, I.V., Institut d'endocrinologie et du métabolisme, Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Kovalenko, A.Ye., Institut d'endocrinologie et du métabolisme, Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Lipskaya, A.I., Institut de pathologie expérimentale, d'oncologie et de radiobiologie, Académie nationale des Sciences, Kiev, Ukraine.

Loganovsky, K.N., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Malko, M.V., Institut mixte de génie électrique et de recherche nucléaire, Académie nationale des Sciences, Minsk, Belarus.

Mishryna, Zh.A., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Naboka, M.V., Département de recherches écohygiéniques du centre de radioécologie, Académie nationale des Sciences, Kiev, Ukraine.

Nyagu, A.I., Association « Médecins de Tchernobyl », *International Journal of Radiation Medicine*, Kiev, Ukraine.

Okeanov, E.A., Université internationale de l'environnement A. D. Sakharov, Minsk, Belarus.

Omelyanets, N.I., Laboratoire de démographie médicale, Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Oradovskaya, I.V., Institut d'immunologie du ministère de la santé publique, Moscou, Russie.

Pilinskaya, M.A., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Pintchouk, L.B., Institut de pathologie expérimentale, d'oncologie et de radiobiologie, Académie nationale des Sciences, Kiev, Ukraine.

Prysyazhnyuk, A., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Rjazzskay, E.S., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Rodionova, N.K., Institut de pathologie expérimentale, d'oncologie et de radiobiologie, Académie nationale des Sciences, Kiev, Ukraine.

Rybakov, S.I., Département de chirurgie, Institut d'endocrinologie et du métabolisme, Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.

Rymyantseva, G.M., Institut V. P. Serbskiy de psychiatrie sociale et médico-légale, Moscou, Russie.

Schmitz-Feuerhake, I., Département de physique, Université de Brême, Allemagne.

Remerciements

Serkiz, Ya.I., Institut de pathologie expérimentale, d'oncologie et de radiobiologie, Académie nationale des Sciences, Kiev, Ukraine
Sherashov, V.S., Centre d'État de recherche scientifique pour la médecine préventive, Moscou, Russie.
Shestopalov, V.M., Centre de radioécologie Académie nationale des Sciences, Kiev, Ukraine.
Skvorskaya, E.A., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.
Slypeyuk, K., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.
Stepanova, E.I., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine
Sushko, V.A., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.
Tatarukhyna, O.B., Centre scientifique russe de radiologie, Moscou, Russie.
Tereshchenko, V.P., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine.
Usatenko, V.I., Commission nationale de radioprotection d'Ukraine, Kiev, Ukraine.
Vdovenko, V.Yu., Centre de recherche de médecine radiologique de l'Académie des Sciences médicales, Kiev, Ukraine
Wenisch, A., Institut autrichien d'écologie appliquée, Vienne, Autriche.
Zubovsky, G.A., Centre scientifique russe de Röntgenoradiologie, Moscou, Russie.

L'édition française a pu être réalisée grâce à :

Line Aldebert (traduction, coordination, relecture) ;

Alain Bougnères (mise en forme du document) ;

Marie-Élise Hanne (participation à la traduction de la Partie III), médecin biologiste ;

Thierry Pain (traduction et relecture), traducteur professionnel, membre d'Enfants de Tchernobyl Belarus, botaniste amateur impliqué dans la sauvegarde de stations d'Orchidées et l'éradication d'espèces invasives en région parisienne.

Introduction : La difficile vérité sur Tchernobyl

**Alexey V. Nesterenko ^a, Vassili B. Nesterenko ^a
et Alexey V. Yablokov ^b**

^a *Institut de radioprotection (BELRAD), Minsk, Belarus*

^b *Académie des Sciences de Russie, Moscou, Russie*

Pour des millions de gens sur cette planète, l'explosion du quatrième réacteur de la centrale nucléaire de Tchernobyl le 26 avril 1986 a divisé la vie en deux parties : *avant et après*. La catastrophe de Tchernobyl a été l'occasion d'aventurisme technologique et d'héroïsme de la part des « liquidateurs » - le personnel qui a travaillé sur le site pour tenter de contenir les radiations - et à notre avis, de lâcheté de la part de personnes en charge des affaires publiques qui ont eu peur d'avertir la population de l'inimaginable menace pour des victimes innocentes. Tchernobyl est devenu synonyme de souffrance humaine et a introduit un nouveau vocabulaire dans nos vies : liquidateurs de Tchernobyl, enfants de Tchernobyl, SIDA de Tchernobyl, contamination de Tchernobyl, cœur de Tchernobyl, poussière de Tchernobyl, collier de Tchernobyl (maladie de la thyroïde), etc.

Durant ces 25 dernières années, il est apparu clairement qu'il y a un plus grand danger caché dans l'énergie nucléaire que dans les armes nucléaires. Les émissions de ce seul réacteur ont dépassé au centuple la contamination radioactive des bombes larguées sur Hiroshima et Nagasaki. Aucun citoyen d'aucun pays ne peut être assuré qu'il ou qu'elle peut être protégé(e) de la contamination radioactive. Un réacteur nucléaire peut polluer la moitié du globe. Les retombées de Tchernobyl ont couvert tout l'Hémisphère Nord.

Les questions demeurent : combien de radionucléides ont été disséminés sur le monde ? Quelle quantité d'éléments radioactifs reste-t-il à l'intérieur du sarcophage, le dôme qui recouvre le réacteur ? Personne ne le sait avec certitude, mais certains proclament que les radionucléides libérés par le réacteur atteignaient 50 millions de curies, d'autres 10 milliards de curies (Partie I. Chapitre 1). On ne connaît finalement pas le nombre des liquidateurs qui ont contribué à limiter l'ampleur de la catastrophe. Une directive du ministère de la défense de l'URSS, datée du 9 juin 1989, a imposé le secret (Partie II. Chapitre 2).

En avril 2005, la réunion du troisième Forum de Tchernobyl s'est tenue à Vienne, avant le vingtième anniversaire de la catastrophe. Les experts du Forum comprenaient des représentants de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA), du Comité scientifique des Nations Unies sur l'effet des rayonnements ionisants (UNSCEAR), de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) et d'autres représentants des Nations Unies, de la Banque mondiale et d'organismes gouvernementaux du Belarus, de Russie et d'Ukraine. Il en est issu un rapport en trois volumes présenté en septembre 2005 [AIEA, 2005 ; PNUD, 2002 ; OMS, 2006 ; pour obtenir la dernière version courte, voir AIEA, 2006].

La principale conclusion du volume des rapports médicaux est le chiffre de 9 000 victimes atteintes ou décédées de cancers radiogéniques, mais en raison de l'incidence de cancers spontanés, « il sera difficile de déterminer la cause exacte des décès ». Quelque 4 000 enfants ont été opérés d'un cancer de la thyroïde. Dans les zones contaminées, on a observé de plus en plus de cataractes chez les liquidateurs et les enfants. Certains croient que la pauvreté, le sentiment de victimisation et le fatalisme, qui sont largement répandus parmi la population des zones contaminées, sont plus dangereux que la contamination radioactive. Ces experts, dont certains étaient liés à l'industrie nucléaire, concluent que dans l'ensemble, les effets indésirables sur la santé de la population ne sont pas aussi graves qu'on aurait pu le penser.

Introduction

Le Secrétaire général Kofi Annan a exprimé une position opposée :

« Tchernobyl est un mot que nous aimerions tous effacer de notre mémoire. Mais plus de sept millions d'êtres humains, des congénères, n'ont pas le luxe de l'oubli. Ils continuent de souffrir, chaque jour, de ce qui s'est passé. . . Le nombre exact de victimes ne sera peut-être jamais connu. Mais on estime à trois millions le nombre d'enfants qui pourront être sérieusement malades et qui devront être soignés d'ici à 2016 (...). Leur vie future en sera grandement affectée, ainsi que leur enfance. Beaucoup mourront prématurément ». [AP, 2000]

Pas moins de trois milliards de personnes vivent dans des zones contaminées par des radionucléides de Tchernobyl. Plus de 50% de la surface de 13 pays européens et 30% de huit autres pays ont été contaminés par les retombées de Tchernobyl (Partie I. Chapitre 1). Étant donné les lois biologiques et statistiques, des effets indésirables se manifesteront sur de nombreuses générations dans ces régions.

Peu après la catastrophe, des médecins alarmés ont observé une augmentation significative des maladies dans les zones contaminées et ont exigé de l'aide. Les experts impliqués dans l'industrie nucléaire et les tribunaux administratifs de haut rang ont déclaré qu'il n'y avait pas de preuve « statistiquement authentifiée » de la responsabilité du rayonnement de Tchernobyl, mais dans les dix années qui ont suivi la catastrophe, des documents officiels ont reconnu que le nombre de cancers de la thyroïde avait augmenté « de façon inattendue ». Avant 1985, plus de 80% des enfants dans les territoires du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie d'Europe voisins de Tchernobyl étaient en bonne santé et aujourd'hui moins de 20% se portent bien. Dans les zones fortement contaminées, il est difficile de trouver un seul enfant en bonne santé (Partie II. Chapitre 3).

Nous croyons déraisonnable d'attribuer l'augmentation des maladies dans les territoires contaminés à un dépistage ou à des facteurs socio-économiques, car la seule variable est la charge radioactive. Parmi les terribles conséquences des rayonnements de Tchernobyl on trouve des tumeurs malignes et des lésions cérébrales, et ceci plus particulièrement au cours du développement intra-utérin (Partie II. Chapitre 6).

Pourquoi les évaluations d'experts sont-elles si différentes ?

Il y a plusieurs raisons, dont le fait que certains experts estiment que toute conclusion sur les maladies liées aux rayonnements requiert une corrélation entre maladie et dose de radioactivité reçue. Nous pensons que c'est impossible, car aucune mesure n'a été prise dans les premiers jours. Les niveaux initiaux ont pu être mille fois plus élevés que ceux mesurés finalement plusieurs semaines et des mois plus tard. Il est également impossible de calculer les variables et les « taches chaudes » des dépôts de radionucléides ou de mesurer la contribution de l'ensemble des isotopes, tels que Cs, I, Sr, Pu et d'autres, ou de mesurer les types et la quantité totale de radionucléides que chaque personne a pu ingérer individuellement par la nourriture et l'eau.

Une deuxième raison est que certains experts pensent que le seul moyen de tirer des conclusions est de calculer l'effet des rayonnements sur la base du rayonnement total, comme cela a été fait pour ceux qui ont été exposés à Hiroshima et à Nagasaki. Pendant les quatre premières années qui ont suivi le largage des bombes atomiques sur le Japon, la recherche a été interdite. Pendant ce temps, parmi les personnes les plus faibles, plus de 100 000 sont mortes. Une situation similaire a émergé après Tchernobyl. Les autorités d'URSS ont officiellement interdit aux médecins de relier les maladies aux rayonnements, et comme dans l'expérience japonaise, toutes les données ont été tenues secrètes pendant les trois premières années (Partie II. Chapitre 2).

Des enquêtes scientifiques indépendantes ont comparé la santé des populations de divers territoires identiques en termes de caractéristiques ethniques, sociales et économiques et ne différant que par l'intensité de leur exposition aux radiations. Il est scientifiquement valable de comparer des groupes spécifiques au fil du temps (étude longitudinale) et de telles comparaisons ont clairement attribué les différences dans les effets sanitaires aux retombées de Tchernobyl (Partie II. Chapitre 2).

Cet ouvrage vise à déterminer, preuves à l'appui, l'ampleur véritable des conséquences de la catastrophe de Tchernobyl.

Adresse : Alexey V. Yablokov, Académie des Sciences de Russie, Leninsky Prospekt 33, Office 319, 119071 Moscow, Russia. Tél: +7-495-952-80-19 ; fax: +7-495-952-80-19. Yablokov@ecopolicy.ru

Bibliographie

- AP (2000). Worst effects to Chernobyl to come. Associated Press 25 april 2000
(//www.209.85.135.104/search?q=cache:EN91goYTe_gJ:www.scorched3d.co.uk/phpBB3/viewtopic.php%3Ff%3D12%26t%3D5256%26st%3D0%26sk%3Dt%26sd%3Da+Kofi+Annan+million+children+demanding+treatment+Chernobyl+2016&hl=ru&ct=clnk&cd=18&gl=ru).
- IAEA (2005). Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE) August 2005 (IAEA, Vienna): 280 pp.
(//www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239_web.pdf).
- IAEA (2006). The Chernobyl Legacy: Health, Environment and Socio-Economic Impact and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine, 2nd Rev. Edn. (IAEA, Vienna): 50 pp.
(//www.iaea.org/publications/booklets/Chernobyl/Chernobyl.pdf).
- UNDP (2002). The Human Consequences of the Chernobyl Nuclear Accident: A Strategy for Recovery. A Report Commissioned by UNDP and UNICEF with the Support of UN-OCHA and WHO (UNDP, New York): 75 pp.
(//www.chernobyl.undp.org/english/docs/Strategy%20for%20Recovery.pdf).
- WHO (2006). Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Health." B. Bennett, M. Repacholi & Zh. Carr (Eds.) (WHO, Geneva): 167 pp.
(//www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/WHO%20Report%20on%20Chernobyl%20Health%20Effects%20July%2006.pdf).

Partie I. La contamination liée à Tchernobyl : une vue d'ensemble

Vassili B. Nesterenko ^{a†} et Alexey V. Yablokov ^b

^a *Institut de radioprotection (BELRAD), Minsk, Belarus*

^b *Académie des Sciences de Russie, Moscou, Russie*

Mots clés : Tchernobyl ; contamination radioactive ; contamination par le plomb ; Hémisphère Nord

Chapitre 1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

Alexey V. Yablokov et Vassili B. Nesterenko

La contamination radioactive provoquée par la catastrophe de Tchernobyl s'est répandue sur 40% de l'Europe (dont l'Autriche, la Finlande, la Suède, la Norvège, la Suisse, la Roumanie, la Grande-Bretagne, l'Allemagne, l'Italie, la France, la Grèce, l'Islande, la Slovaquie) et sur de vastes territoires de l'Asie (dont la Turquie, la Géorgie, l'Arménie, les Émirats, la Chine), sur le nord de l'Afrique et sur l'Amérique du Nord. D'avril à juillet 1986, près de 400 millions de personnes résidaient dans des territoires qui ont été contaminés par la radioactivité à un niveau supérieur à 4 kBq/m² (0,11 Ci/km²). Près de 5 millions de personnes (dont plus de 1 million d'enfants) côtoient encore de dangereux niveaux de radiations au Belarus, en Ukraine et en Russie européenne. Affirmer que les retombées radioactives de la catastrophe de Tchernobyl n'ajoutent « que 2% » à la radioactivité naturelle mondiale masque le fait que de nombreux territoires touchés étaient déjà soumis à des niveaux de rayonnement dangereusement élevés. Même si le niveau actuel est faible, l'irradiation était intense dans les premiers jours et les premières semaines après la catastrophe de Tchernobyl. Il n'y a pas d'explication raisonnable au fait que l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'Organisation mondiale de la santé (OMS) [Forum de Tchernobyl, 2005] aient complètement négligé les conséquences de la contamination radioactive dans d'autres pays ayant reçu plus de 50% des radionucléides de Tchernobyl et qu'elles ne se soient préoccupées que du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie européenne.

Pour comprendre pleinement les conséquences de Tchernobyl, il est nécessaire d'apprécier l'ampleur de la catastrophe. Des nuages radioactifs ont atteint des altitudes de 1 500 à 10 000 m et se sont répandus autour du globe, en laissant des dépôts de radionucléides et des débris radioactifs principalement dans l'Hémisphère Nord (Figure 1.1).

Durant des années, il y a eu des désaccords quant au volume des radionucléides libérés lorsque le réacteur numéro quatre de la centrale nucléaire de Tchernobyl a explosé, et il faut être conscient du fait qu'il existe encore des émissions radioactives. Cette émission, même sans prendre en compte les radionucléides gazeux, a atteint plusieurs centaines de millions de curies, une quantité des centaines de fois plus importante que les retombées des bombes atomiques larguées sur Hiroshima et Nagasaki.

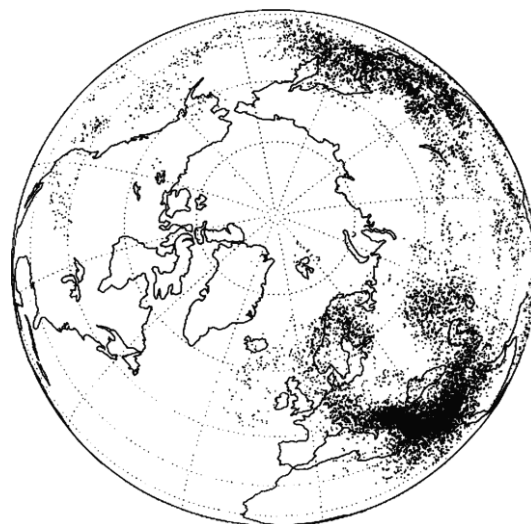


Figure 1.1. Répartition spatiale des radionucléides de Tchernobyl dans l'Hémisphère Nord 10 jours après l'explosion. Laboratoire national de modélisation de Livermore - États-Unis [Lange et al., 1992]

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

1.1. Contamination radioactive

Immédiatement après l'explosion, et même maintenant, de nombreux articles rendent compte des niveaux de radioactivité calculés par la densité de la contamination en Ci/km² (Bq/m²). Bien que ces niveaux permettent des calculs de doses collectives et de doses individuelles, comme indiqué ci-dessous, une telle approche n'est pas entièrement valable, car elle ne prend pas en compte les aspects écologiques et physiques de la contamination radioactive et ne donne pas de calculs exacts des doses reçues (voir [Partie II. Chapitre 2](#)).

1.2. Caractéristiques géographiques de la contamination

Immédiatement après l'explosion de la centrale nucléaire, des tentatives de reconstitution du tableau des retombées radioactives ont été faites pour déterminer les niveaux de leur répartition à l'aide de données hydrométéorologiques (direction du vent, précipitations, etc.) pour chaque jour suivant l'explosion et y inclure les émissions de particules de combustible, de particules d'aérosols et de gaz radioactifs issus du réacteur détruit [voir, par exemple, Izrael, 1990 ; Borzylov, 1991 ; UNSCEAR,

2000 ; Fairlie et Sumner, 2006]. La répartition géographique des radionucléides de Tchernobyl dans le monde est illustrée par la figure 1.2. Il est clair que la majeure partie des radionucléides gazeux et en aérosols se sont déposés au-delà du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie d'Europe (Figure 1.3, Tableau 1.1).

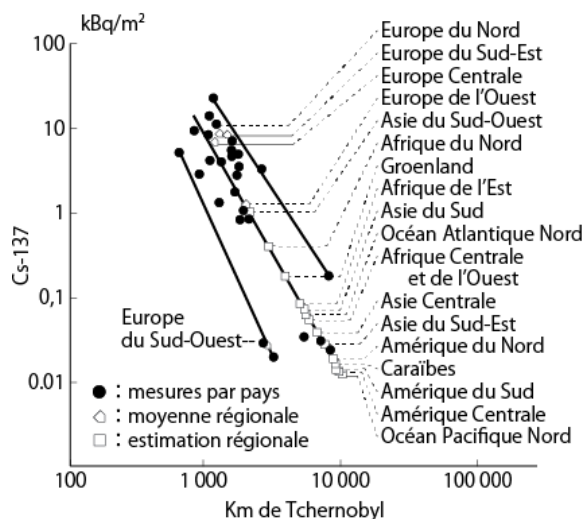


Figure 1.2. Répartition géographique des radionucléides de Tchernobyl [UNSCEAR, 1988]

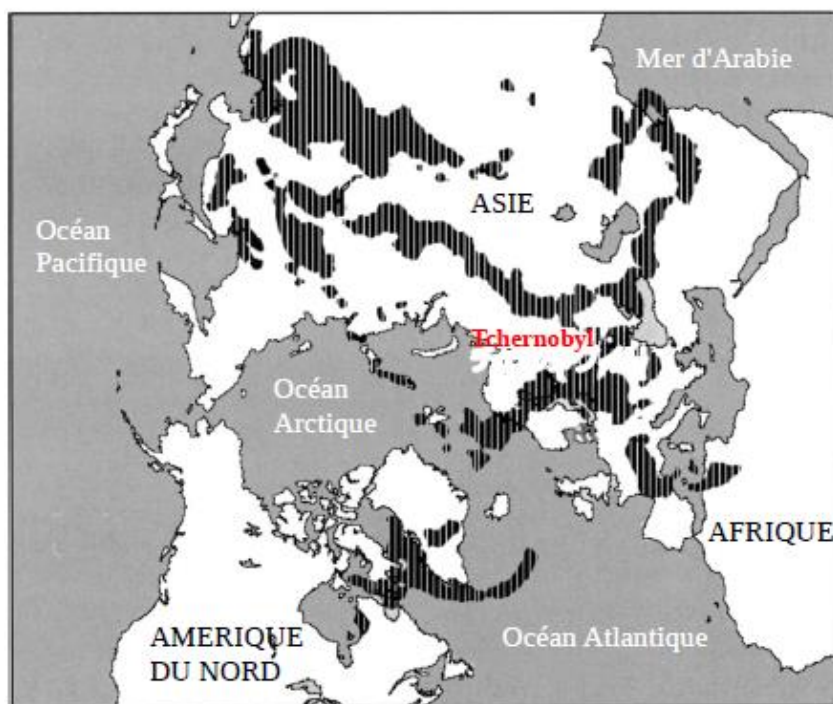


Figure 1.3. Retombées radioactives de Tchernobyl dans l'Hémisphère Nord [Laboratoire national de modélisation de Livermore, données fournies par Yablokov et al., 2006]

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

Tableau 1.1. Estimations de la répartition géographique du Cs-137 de Tchernobyl en pourcentage de PBq [Fairlie et Sumner, 2006, pp. 48–49]

	UNSCEAR, 1988 ; Fairlie et Sumner, 2006, p. 48	Goldman, 1987 ; Fairlie et Sumner, 2006 : tableau 3.6.	UNSCEAR, 2000	
Belarus, Ukraine, Russie européenne	< 50	41 (29)	34 (33)	47 (40)
Autres pays européens	39	37 (26)	34 (33)	60 (45)
Asie	8	21 (15)	33 (32)	Non
Afrique	6	Non	Non	Non
Amérique	0,6	Non	Non	Non
	100	100 (70)	100 (98)	100 (85)

1.2.1. Europe

Selon d'autres données [Fairlie et Sumner, 2006, tableau 3.6, cc. 48 & 49], l'Europe a reçu, à partir des nuages de Tchernobyl et d'une façon extrêmement hétérogène, environ 68 à 89% des radionucléides gazeux et en aérosols. Du 26 avril au 5 mai 1986, les vents autour de Tchernobyl ont tourné sur 360°, de sorte que les émissions radioactives provenant

du mélange de radionucléides se sont modifiées de jour en jour et ont couvert un immense territoire (Figures 1.4, 1.5 et 1.6).

La figure 1.7 est une reconstruction d'un seul des nuages de Tchernobyl (correspondant au n° 2 sur la figure 1.4). Il faut comprendre que ces émissions de radionucléides par le réacteur en feu ont continué jusqu'à la mi-mai.

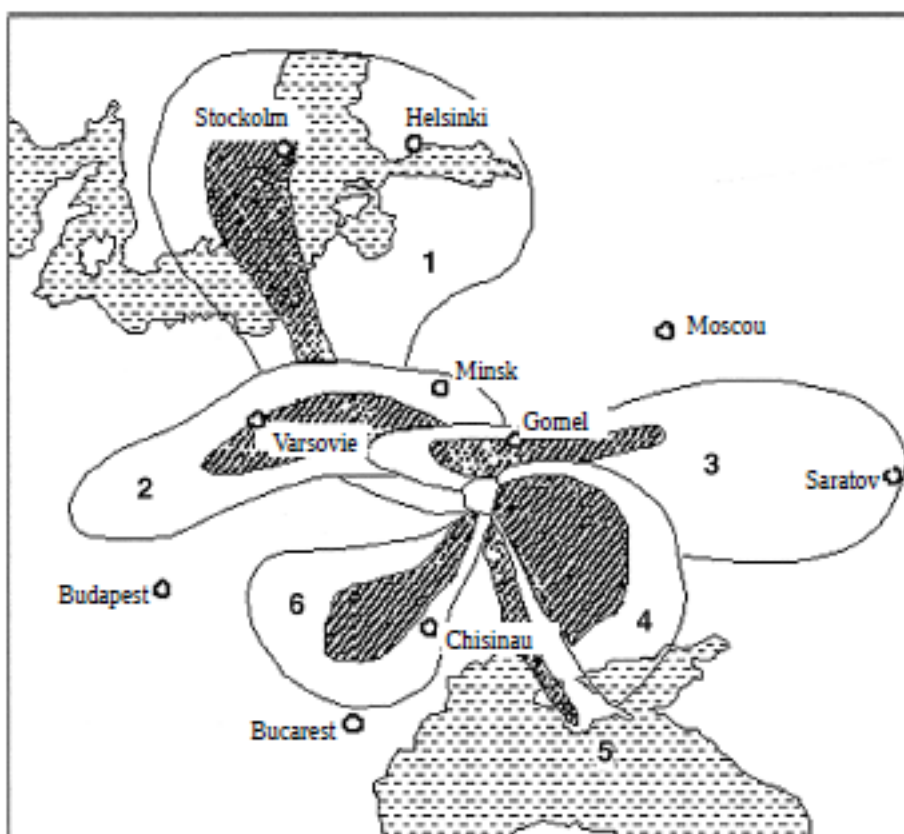


Figure 1.4. Six étapes de la formation des émissions radioactives gazeuses en aérosol de Tchernobyl du 26 avril au 4 mai 1986 : (1) 25 avril, minuit GMT ; (2) 26 avril, minuit ; (3) 27 avril, midi ; (4) 28 avril, minuit ; (5) 1^{er} mai, minuit ; (6) 4 mai, midi [Borzylov, 1991]
Les parties en gris indiquent les principales zones des retombées radioactives.

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

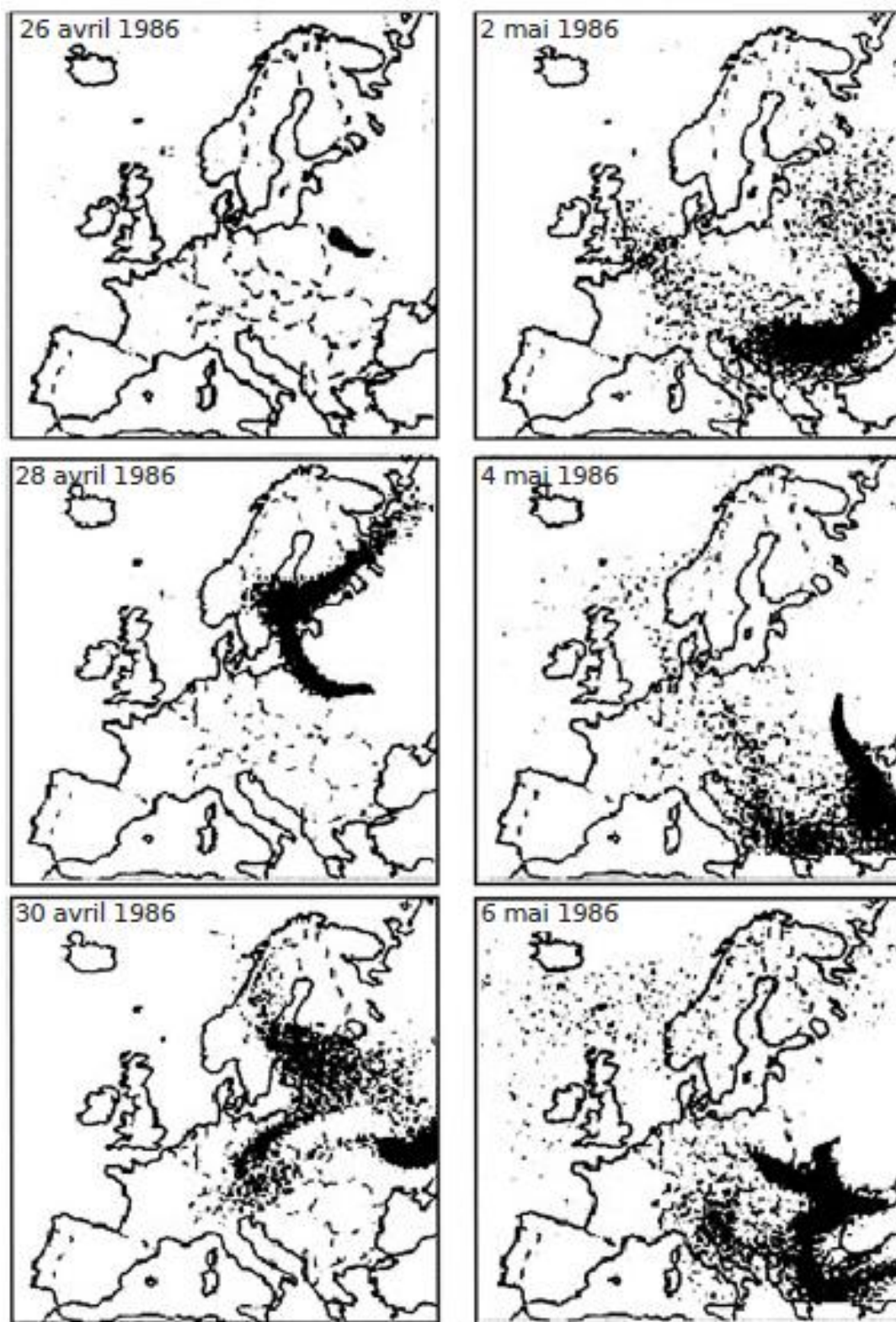


Figure 1.5. Une version non officielle de la répartition des émissions radioactives gazeuses en aérosol au-dessus de l'Europe du 26 avril 2006 au 6 mai 1986 [Rapport national du Belarus, 2006]

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace



Figure 1.6. Une partie des principales régions d'Europe contaminées par le Cs-137 au-delà de 1 Ci/km^2 à la suite de la catastrophe de Tchernobyl. La Turquie a fait l'objet de relevés partiels et la Bulgarie, la Yougoslavie, le Portugal, l'Islande et la Sicile n'ont fait l'objet d'aucun relevé. [Cort et Tsaturov, 1998]

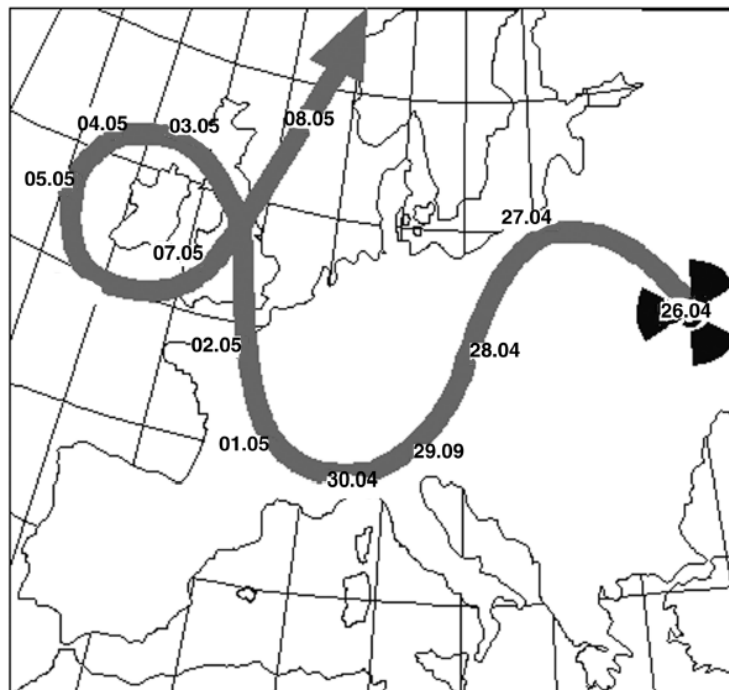


Figure 1.7. Trajet de l'un des nuages radioactifs de Tchernobyl au-dessus de l'Europe du 27 avril au début mai 1986 [Pakumeika et Matveenka, 1996]

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

Les émissions quotidiennes formaient plusieurs nuages radioactifs et chaque nuage avait sa propre composition en radionucléides et sa géographie. Nous ne disposons pas de données instrumentales précises concernant la contamination par les radionucléides de Tchernobyl

pour tous les pays d'Europe. Des données calculées (en moyenne pour 1 km²) n'ont été publiées que pour le Cs-137 et le Pu, alors que le Cs-137 a contaminé l'ensemble des pays européens, sans exception (Tableau 1.2).

Tableau 1.2. Contamination des pays européens par le Cs-137 de Tchernobyl [Cort et Tsaturov, 1998 : tableau III.1 ; Fairlie et Sumner, 2006 : tableaux 3.4 et 3.5]

Pays	Quantité (%)			
	PBq (kCi) Cort et Tsaturov, 1998 ^c	Fairlie et Sumner, 2006 ^d	Cort et Tsaturov, 1998 ^c	Fairlie et Sumner, 2006 ^d
Russie ^a	19 (520)	29	29,7	31,96
Belarus	15 (400)	15	23,0	16,53
Ukraine	12 (310)	13	18,0	14,33
Finlande	3,1(83)	3,8	4,80	4,19
Yougoslavie	n/a	5,4	-	5,95
Suède	2,9 (79)	3,5	4,60	3,86
Norvège	2,0 (53)	2,5	3,10	2,75
Bulgarie	n/a	2,7	-	2,98
Autriche	1,6 (42)	1,8	2,40	1,98
Roumanie	1,5 (41)	2,1	2,40	2,31
Allemagne	1,2 (32)	1,9	1,80	2,10
Grèce	0,69 (19)	0,95	1,10	1,05
Italie	0,57 (15) ^b	0,93	0,90	1,02
Grande-Bretagne	0,53 (14)	0,88	0,83	0,97
Pologne	0,40 (11)	1,2	0,63	1,32
République Tchèque	0,34 (9,3)	0,6	0,54	0,66
France	0,35 (9,4)	0,93	0,55	1,02
Moldavie	0,34 (9,2)	0,40	0,53	0,44
Slovénie	0,33 (8,9)	0,39	0,52	0,43
Albanie	n/a	0,4	-	0,44
Suisse	0,27 (7,3)	0,36	0,43	0,40
Lituanie	0,24 (6,5)	0,44	0,38	0,48
Irlande	0,21 (5,6)	0,35	0,33	0,39
Croatie	0,21 (5,8)	0,37	0,33	0,40
Slovaquie	0,18 (4,7)	0,32	0,28	0,35
Hongrie	0,15 (4,1)	0,35	0,24	0,39
Turquie ^a	0,10 (2,8)	0,16	0,16	0,18
Lettonie	0,055 (1,5)	0,25	0,09	0,28
Estonie	0,051 (1,4)	0,18	0,08	0,2
Espagne	0,031 (0,83)	0,38	0,05	0,42
Danemark	0,016 (0,43)	0,09	0,02	0,10
Belgique	0,01 (0,26)	0,05	0,02	0,06
Pays-Bas	0,01 (0,26)	0,06	0,02	0,07
Luxembourg	0,003 (0,08)	0,01	< 0,01	0,01
Toute l'Europe	64 (1700) ^c	90,8 ^e	100,0	100,0

^a Russie européenne

^b Hors Sicile

^c Hors Yougoslavie, Bulgarie, Albanie, Portugal et Islande

^d Hors Portugal et Islande

^e Incluant 20 PBq de Cs-137, restes des tests d'armes nucléaires avant les années 70

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

Les données du tableau 1.2 se réfèrent uniquement à la répartition du Cs-137, mais il y a eu d'importantes quantités d'autres radionucléides sous forme de gaz, d'aérosols et de « particules chaudes » (voir ci-dessous), largement dispersées à travers l'Europe durant les premières semaines et les mois qui suivirent l'explosion : Cs-134, I-131, Sr-90, Te-132 et I-132. Par exemple, en mai 1986 dans le Pays de Galles et dans le comté de Cambrie en Angleterre, l'eau de pluie contenait jusqu'à 345 Bq/litre d'I-132 et 150 Bq/litre de Cs-134 [Busby, 1995]. En mai 1986, les doses effectives de radionucléides de Tchernobyl en Angleterre étaient les suivantes : Cs-134 et Cs-137 : 27 mSv ; I-131 : 6 mSv ; Sr-90 : 0,9 mSv [Smith *et al.*, 2000].

Si la répartition de la radioactivité pour le Cs-134 et le Cs-137 correspond au ratio de leurs émissions (à savoir, respectivement 48 et 85 PBq, soit 36 et 64%), la répartition proportionnelle des principaux radionucléides de Tchernobyl en Angleterre devrait alors être comme suit [Dreiser *et al.*, 1996, par Fairlie et Sumner, 2006, tableau 3.8 (i)] :

	mSv	%
Cs-137	17,3	51,0
Cs-134	9,7	28,6
I-131	6,0	17,7
Sr-90	0,9	2,7
Total	33,9	100

Si la répartition proportionnelle des radionucléides de Tchernobyl en Angleterre est similaire à celle des autres pays européens (à savoir, 70 PBq de Cs-137 représentant 51% de toutes les retombées de radionucléides), on peut supposer que la quantité totale des retombées radioactives en Europe est d'environ 137 PBq :

	%	PBq
Cs-137	51,0	70 ^a
Cs-134	28,6	39
I-131	17,7	24
Sr-90	2,7	3,7
Total	100	136,7

^a voir Tableau 1.2.

Vingt-cinq ans après la catastrophe de Tchernobyl, de nombreuses régions de l'Europe restent contaminées. Par exemple : en 2006, selon le ministère de la santé de Grande-Bretagne, 355 fermes au Pays de Galles, 11 en Écosse, et 9 en Angleterre, ayant plus de 200 000 ovins en pâturage, continuent d'être dangereusement contaminées par le Cs-137 [McSmith, 2006].

1.2.1.1. Belarus

Le nuage de Tchernobyl a pratiquement survolé l'ensemble du territoire du Belarus. Les retombées des radio-isotopes I-131, I-132 et Te-132 ont affecté la totalité du pays (Figures 1.8 à 1.12).

Un niveau maximal de contamination de 600 Ci/km² par l'I-131 a été mesuré en mai 1986 dans le village de Svetilovitchi dans la province de Gomel.

Quelque 23% de la superficie du Belarus (47 000 km²) ont été contaminés par le Cs-137 à un niveau supérieur à 1 Ci/km² [Nesterenko, 1996 ; Tsalko, 2005]. Jusqu'en 2004, la densité de la contamination en Cs-137 a dépassé 37 kBq/m² sur 41 100 km² (Figure 1.10).

Les niveaux maximaux de contamination par le Cs-137 étaient de 475 Ci/km² dans le village de Zales'ye, du district de Braguine, et de 500 Ci/km² dans le village de Dovliady et le district de Narovlia dans la province de Gomel. La contamination radioactive maximale des sols rencontrée en 1993 dans le village de Tchoudiany, du district de Moguilev, était de 5 402 kBq/m² ou de 145 Ci/km², un niveau 3 500 fois plus élevé qu'avant la catastrophe [Il'yazov, 2002].

La contamination par le Sr-90 a un caractère plus local que celle par le Cs-137. Quelque 10% de la région du Belarus ont des niveaux de contamination du sol par le Sr-90 supérieurs à 5,5 kBq/m², couvrant une zone de 21 100 km² (Figure 1.11).

Des sols contaminés par les Pu-238, Pu-239 et Pu-240 à des niveaux supérieurs à 0,37 kBq/m² ont été découverts sur 4 000 km², soit près de 2% du pays [Konoplya *et al.*, 2006 ; Figure 1.12].

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

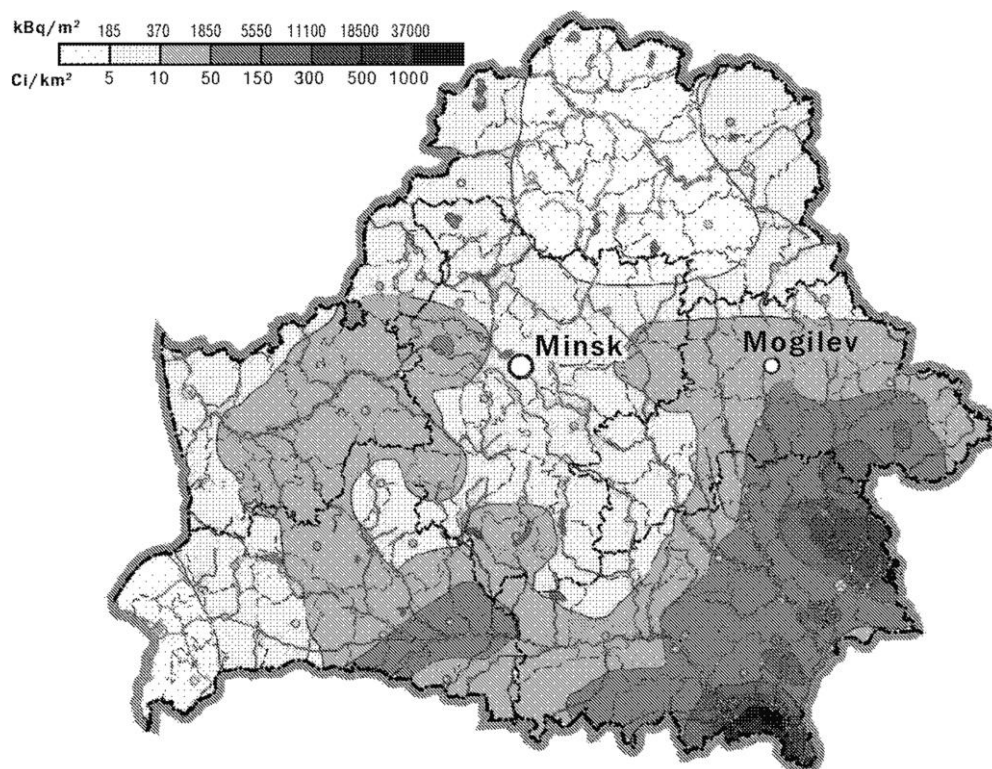


Figure 1.8. Reconstitution de la contamination du Belarus par l'I-131 le 10 mai 1986 [Rapport national du Belarus, 2006]

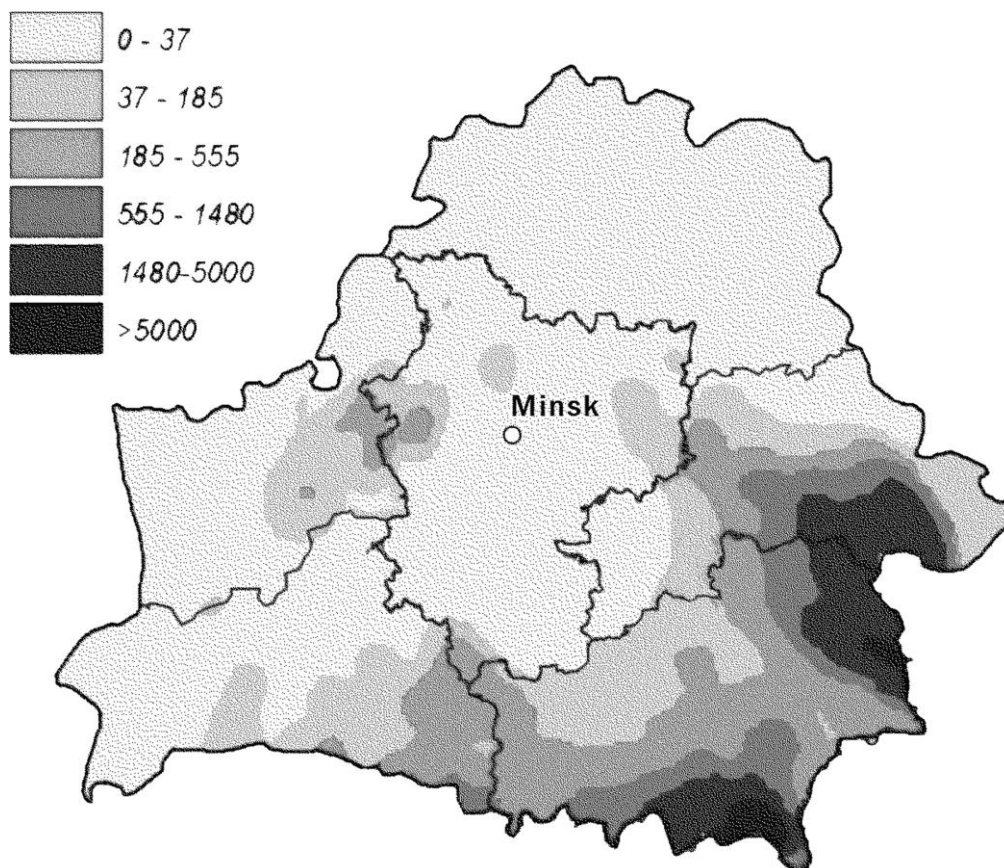


Figure 1.9. Reconstitution de la contamination du Belarus par le Te-132 et l'I-132 d'avril à mai 1986 [Zhuravkov et Myronov, 2005]

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

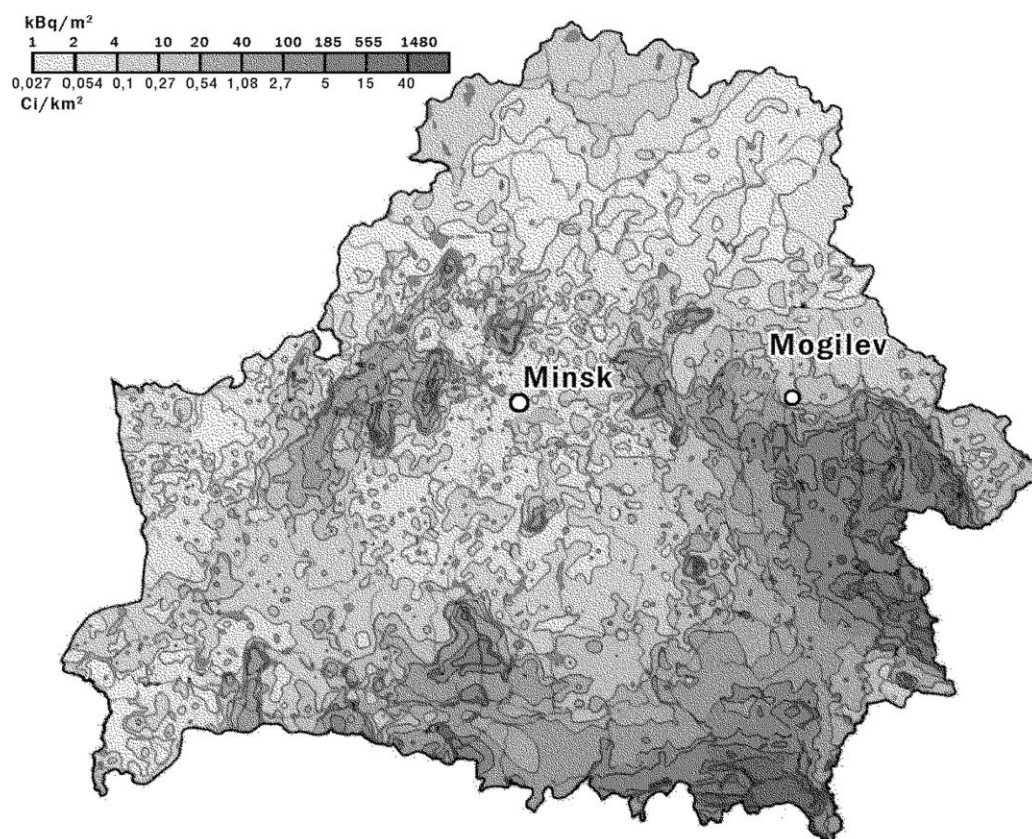


Figure 1.10. Reconstitution de la contamination du Belarus par le Cs-137 le 10 mai 1986 [Rapport national du Belarus, 2006]

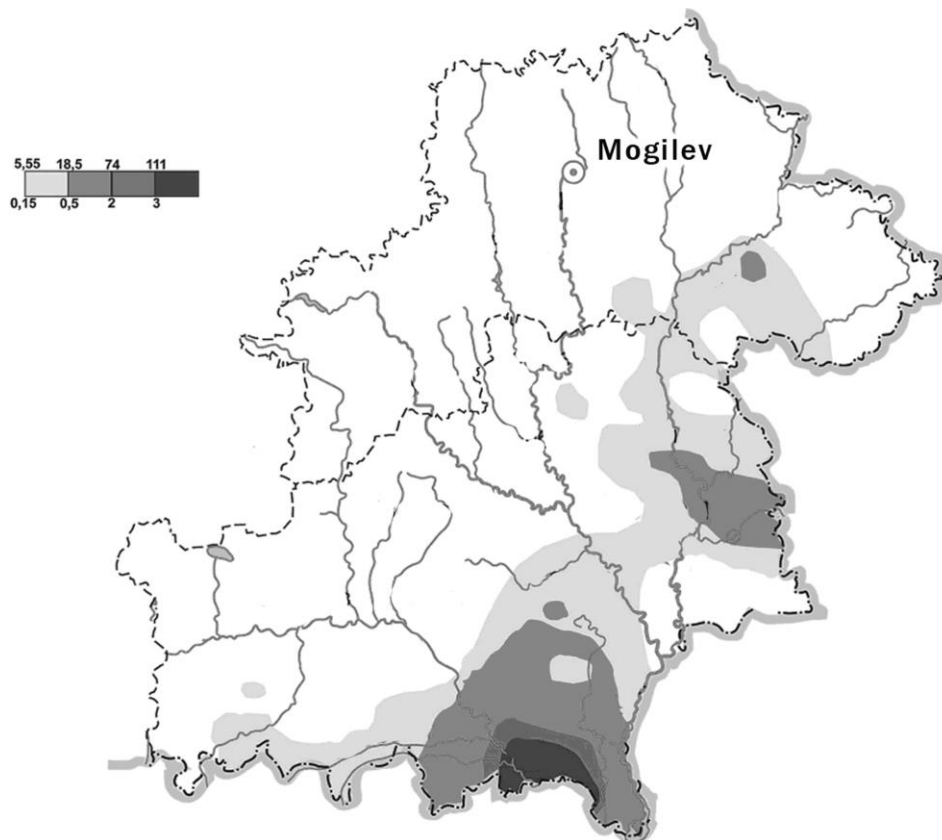


Figure 1.11. Contamination du Belarus par le Sr-90 début 2005 [Rapport national du Belarus, 2006]

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

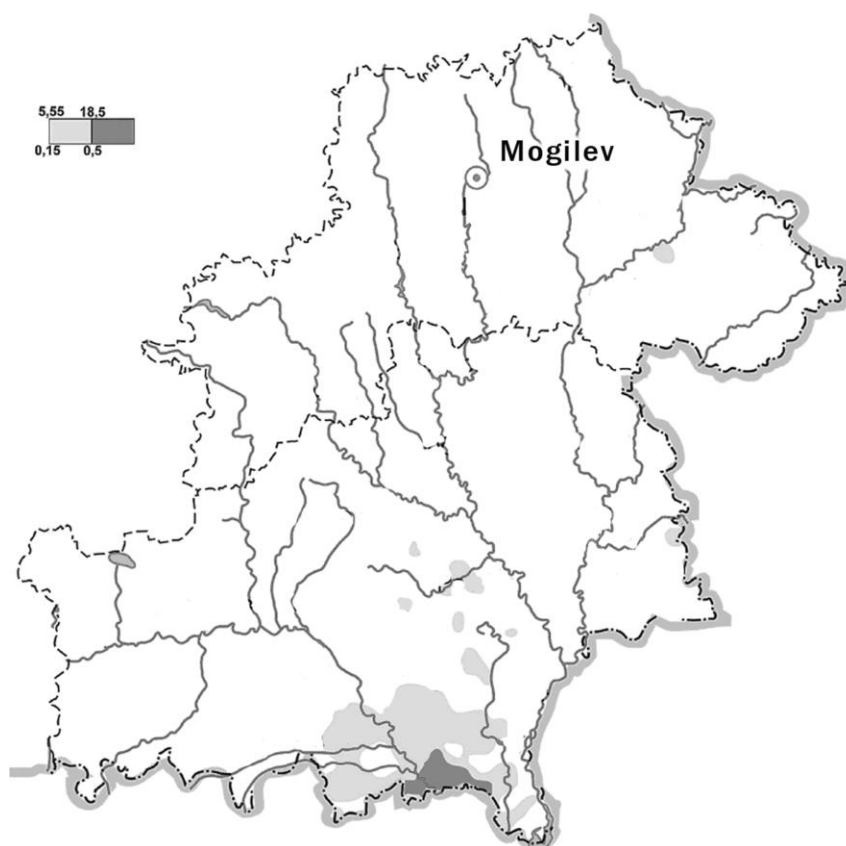


Figure 1.12. Contamination du Belarus par les radionucléides transuraniens en 2005
[Rapport national du Belarus, 2006]

Dans l'ensemble, plus de 18 000 km² de terres agricoles, soit 22% des terres agricoles du Belarus sont lourdement contaminées. Sur ce total, une superficie de 2 640 km² ne peut être utilisée pour l'agriculture et la réserve radiologique d'État de Polésie, créée dans la zone proche de la centrale de Tchernobyl (1 300 km²), est définitivement exclue de toute activité économique parce que contaminée par des isotopes à longue demi-vie.

1.2.1.2. Ukraine

Les radionucléides de Tchernobyl ont contaminé plus d'un quart de l'Ukraine, avec des niveaux de Cs-137 supérieurs à 1 Ci/km² dans 4,8% du pays (Figure 1.13).

Le panache occidental couvre les régions de Kiev, de Jitomir, le nord de celle de Rivne et la partie nord-est de la région de Volyn (la densité de la contamination en surface atteint 190 kBq/m² dans certaines taches). Le panache méridional a provoqué la contamination des régions de Kiev, Tcherkassy, Kirovograd, partiellement de celles de Vinnitsa, Odessa et Nikolayevka (la densité de la contamination

par le Cs-137 y atteint 100 kBq/m²). Du panache méridional s'est détaché un panache qui, en se dirigeant vers l'ouest, a provoqué la contamination d'une partie des régions de Vinnitsa, Khmelnik, Ternopol, Ivana Franko et Tchernovitsy (la densité moyenne de contamination par le Cs-137 y est de 10 à 40 kBq/m²). On trouve des territoires contaminés par le Cs-137 à une densité atteignant 40 kBq/m² dans les parties ouest et nord-est de la région de Tchernigov, dans le nord de la région de Soumy, dans les régions de Donetsk, Louga et Kharkov [Grodzinsky, 2000].

1.2.1.3. Russie d'Europe

Jusqu'en 1992, la contamination en Russie d'Europe a été constatée dans certaines régions de 19 provinces de Russie (Tableau 1.3) et il faut aussi tenir compte d'une grave contamination de la partie asiatique de la Russie.

Dans les conditions relevées au 1^{er} janvier 2006, on a trouvé des zones à contamination radioactive d'une densité de 1 Ci/km² et plus sur des territoires des régions de Belgorod, Briansk, Kalouga, Koursk, Leningrad, Lipetsk,

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

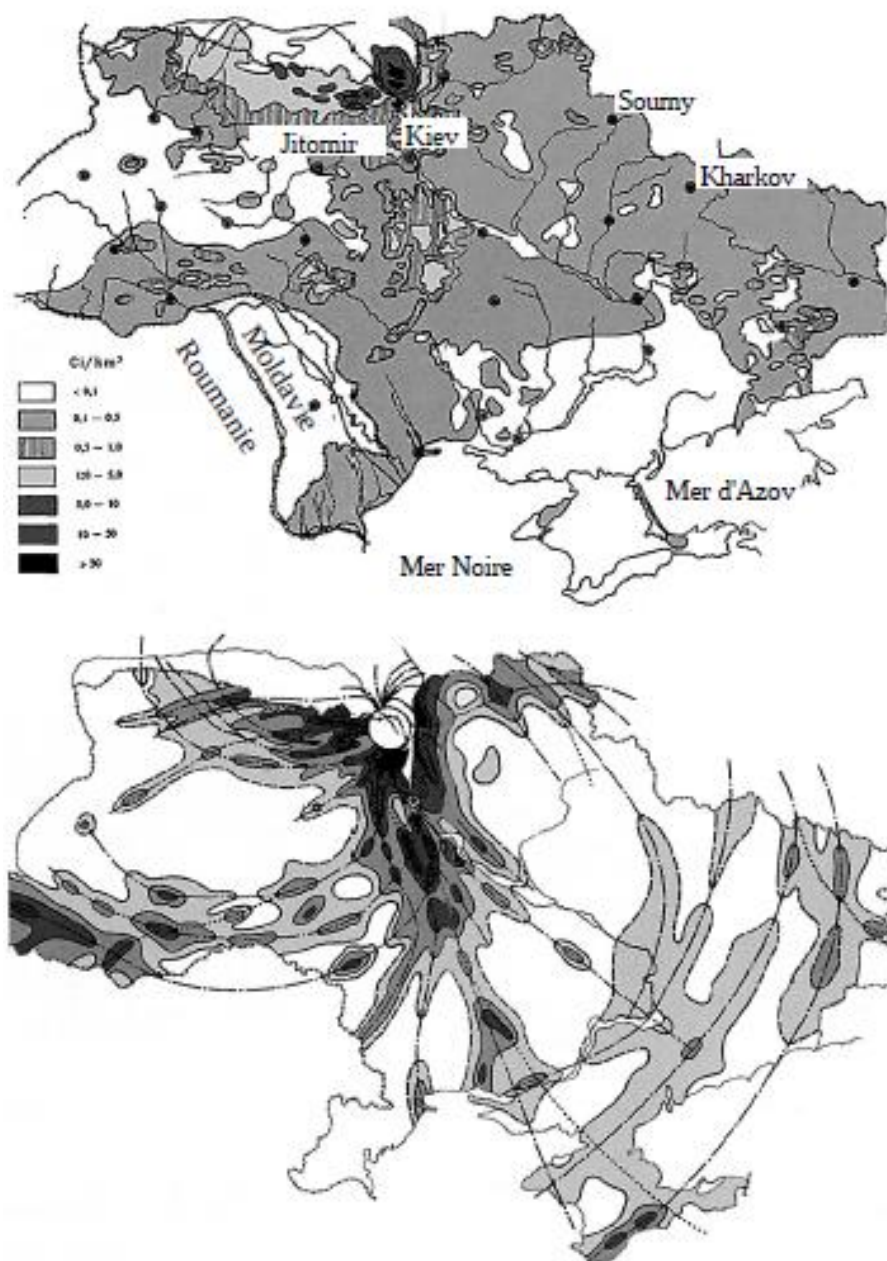


Figure 1.13. Contamination de l'Ukraine par le Cs-137 (au-dessus) et le Pu (en-dessous) à la suite de la catastrophe de Tchernobyl [Rapport national d'Ukraine, 2006]

Orel, Oulianovsk, Penza, Riazan, Tambov, Toula, Voronej et en République de Mordovie (31,1 milliers de km²). D'après les calculs, les niveaux de contamination supérieurs à 40 Ci/km² (1 480 kBq/m²) dans la région de Briansk disparaîtront en 2049, les niveaux de contamination supérieurs à 15 Ci/km² (555 kBq/m²) au bout de 100 ans (en 2092). Une baisse du niveau de contamination à moins de 1 Ci/km² (37 kBq/m²) dans la région de Briansk sera atteinte dans 320 ans. Après 2050, outre la région de Briansk, il restera des

niveaux supérieurs à 1 Ci/km² (37 kBq/m²) dans les régions de Kalouga, Toula et Orel [Izrael, Bogdevitch, 2009].

21 ans après la catastrophe, un secret lié à un caractère des retombées de radionucléides sur le territoire russe a commencé à filtrer : on a publié les souvenirs d'aviateurs de l'armée qui avaient dispersé de l'iodure d'argent pour provoquer la fixation de radionucléides en début de phase d'approche de territoires très peuplés [Grei, 2007].

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

Tableau 1.3. Contamination radioactive de la Russie européenne ($\geq 1 \text{ Ci/km}^2$) à la suite de la catastrophe de Tchernobyl [Yaroshinskaya, 1996]

Province	Zone contaminée, 10^3 km^2	Population, 10^3
Toula	11,5	936,2
Briansk	11,7	476,5
Orel	8,4	346,7
Riazan	5,4	199,6
Koursk	1,4	140,0
Penza	3,9	130,6
Kalouga	4,8	95,0
Belgorod	1,6	77,8
Lipetsk	1,6	71,0
Oulianovsk	1,1	58,0
Voronej	1,7	40,4
Leningrad	1,2	19,6
Mordova	1,9	18,0
Tambov	0,5	16,2
Tatarstan	0,2	7,0 ^a
Saratov	0,2	5,2 ^a
Nijni Novgorod	0,1	3,7 ^a
Tchouvachie	0,1	1,3 ^a
Smolensk	0,1	1,1 ^a
Total	56,0	2 644,8

^a Estimation des auteurs reposant sur la densité moyenne de population par province.

1.2.1.4. Autres pays d'Europe

Le niveau de contamination par le Cs-137 de Tchernobyl dans chaque pays européen est représenté sur le tableau 1.2 ; quelques observations supplémentaires suivent.

1. BULGARIE : Les radionucléides primaires de Tchernobyl ont atteint la Bulgarie du 1^{er} au 10 mai 1986. Il y a eu deux pics de retombées : les 1^{er} et 9 mai [Pourchet *et al.*, 1998].

2. FINLANDE : Les retombées du nuage de Tchernobyl sur le sud de la Finlande ont atteint des pics de concentration entre 15 h 10 et 22 h 10 le 28 avril 1986.

3. FRANCE : Le Service central de protection contre les radiations ionisantes (SCPRI) a d'abord nié que le nuage radioactif était passé sur la France. Ceci est en contradiction avec le fait qu'une partie importante du pays, en particulier les régions alpines, ont été contaminées les 29 et 30 avril 1986 (voir Figure 1.5).

4. ALLEMAGNE : L'ampleur de la contamination de Tchernobyl en Allemagne se reflète dans le fait que plusieurs livraisons de lait en poudre vers l'Afrique ont été renvoyées en Allemagne de l'Ouest parce qu'elles étaient dangereusement contaminées par les radiations [Brooke, 1988].

5. GRÈCE : La Grèce a signalé des retombées significatives de plusieurs radionucléides de Tchernobyl, dont : Ag-110m, Cs-137 et Sb-125 [Papastefanou *et al.*, 1988a, b ; voir Figure 1.16].

Noter une contamination inhabituelle (voir la Section 1.4.1 ci-dessous) est important, mais ceci fournit aussi la preuve de l'insuffisance de données disponibles pertinentes liées à la contamination de Tchernobyl : où sont les données comparables concernant la contamination radioactive par l'Ag-110m dans d'autres pays ? Ces données sont-elles inexistantes parce que personne ne les a recueillies ou parce que cet Ag radioactif a seulement contaminé la Grèce, l'Italie et l'Écosse [Boccolini *et al.*, 1988 ; Martin *et al.*, 1988] ?

6. ITALIE : Il y a eu plusieurs panaches radioactifs, mais les principales retombées du nuage de Tchernobyl ont eu lieu sur le nord de l'Italie le 5 mai 1986. Quelque 97% des dépôts totaux en Italie se sont produits entre le 30 avril et le 7 mai [Spezzano et Giacomelli, 1990].

7. POLOGNE : Le panache principal est passé au-dessus de la Pologne autour du 30 avril 1986, le Te-122 étant le radionucléide principal. De nombreuses « particules chaudes » ont été détectées avec une prédominance de Ru-103 et de Ru-106 [Broda, 1987]. En juin 1987, un chargement de 1 600 tonnes de lait en poudre envoyé de Pologne au Bangladesh a montré des niveaux de radioactivité élevés et inacceptables [Mydans, 1987].

8. ÉCOSSE : Le panache radioactif principal est passé sur l'Écosse entre 21 h 00 et 23 h 00 le 3 mai 1986, avec les plus importantes concentrations connues de Te-132, I-132 et I-131 [Martin *et al.*, 1988].

9. SUÈDE : Le pic de concentration de Cs-137 dans l'air s'est produit le 28 avril 1986, mais 99% des radionucléides dérivés de Tchernobyl se sont déposés en Suède au cours d'une unique période de pluie, le 8 mai 1986. Les configurations des retombées ont été liées à des conditions météorologiques locales : le Cs-137 a dominé sur la côte du sud Norrland, l'I-131 dans le nord et le sud, et le Te-132 dans la

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

région centrale des Upland [Kresten et Chysler, 1989 ; Mattson et Vesanen, 1988 ; Melander, 1987].

10. ROYAUME-UNI : Les rapports officiels ont grossièrement sous-estimé les retombées de Tchernobyl et leur impact radiologique sur le Royaume-Uni. Les dépôts de Cs-137 en Cambrie ont été jusqu'à 40 fois supérieurs à ceux initialement déclarés par le ministère de l'agriculture, des pêcheries et de l'alimentation [RADNET, 2008 ; Sanderson et Scott, 1989].

11. YOUGOSLAVIE : Les principales retombées radioactives ont eu lieu du 3 au 5 mai 1986 [Juznic et Fedina, 1987].

1.2.2. Asie

Jusqu'à 10% des radionucléides de Tchernobyl sont retombés sur l'Asie, dont, essentiellement, quelques dizaines de PBq dues aux premières émissions les plus puissantes du premier jour de la catastrophe. De grandes régions de la Russie d'Asie (Sibérie, Extrême-Orient), de l'est et du centre de la Chine (Figure 1.14) et de la partie asiatique de la Turquie ont été fortement contaminées. Des retombées de Tchernobyl ont été notées en Asie centrale (Imamniyazova, 2001) et au Japon (Imanaka, 1999 ; Figure 1.14).

1. TRANSCAUCASIE : L'ouest de la Géorgie, en particulier, a été fortement contaminé. La moyenne de la radioactivité du sol due au Cs-137 de 1995 à 2005 était de 530 Bq/kg et ce chiffre était deux fois plus élevé dans l'est de la Géorgie. L'activité combinée du Cs-137 et du Sr-90 a atteint 1 500 Bq/kg [Chankseliany, 2006 ; Chankseliany *et al.*, 2006].

2. JAPON : Deux nuages de Tchernobyl ont survolé le Japon début et fin mai 1986 : le premier à une altitude d'environ 1 500 mètres et le second à environ 6 000 mètres [Higuchi *et al.*, 1988]. Une concentration maximale d'iode-131 dans l'air atmosphérique (0,8 Bq/m³) a été relevée le 5 mai 1986 [Imanaka et Koide, 1986]. On a découvert, dans l'atmosphère proche du sol, un total de plus de 20 radionucléides d'origine tchernobylenne, dont le césium-137, l'iode-131 et le rubidium-103 (à des concentrations respectives de 414, 19 et 1 Bq/m³). La concentration du césium radioactif dans l'atmosphère à proximité du sol dans le nord-ouest du Japon a augmenté dans une proportion d'un facteur 1 000 en comparaison du niveau antérieur à Tchernobyl

[Aoyama *et al.*, 1986, 1987 ; Ooe *et al.*, 1988]. De faibles retombées de césium-137 provenant de Tchernobyl ont été observées jusqu'à la fin de 1988 [Aoyama *et al.*, 1991].

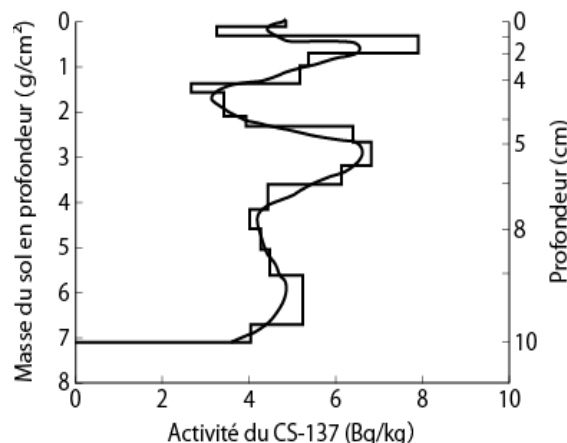


Figure 1.14. Activité du Cs-137 dans les sédiments du lac Dabusupao (nord-est de la Chine). Le pic de radioactivité des sédiments à une profondeur d'environ 6 centimètres est associé à des essais nucléaires dans l'atmosphère et les pics à une profondeur d'un à 2 centimètres aux retombées de Tchernobyl (Xiang, 1998)

Il est fortement probable qu'il existe encore aujourd'hui des zones réduites, mais dangereusement radioactives, dans le Caucase, la Transcaucasie, l'Asie mineure, centrale et moyenne (y compris la Turquie, l'Iran, l'Irak et l'Afghanistan), la Chine et la région du Golfe Persique.

1.2.3. Amérique du Nord

En Amérique du Nord, des régions ont été contaminées par la première explosion, la plus puissante, qui a soulevé un nuage de radionucléides jusqu'à une hauteur de plus de 10 km. Environ 1% de l'ensemble des radionucléides de Tchernobyl – plusieurs PBq – sont retombés sur l'Amérique du Nord.

1. CANADA : Il y a eu, dans l'atmosphère au-dessus de l'est du Canada, trois vagues de radioactivité issues de Tchernobyl, composées de : Be-7, Fe-59, Nb-95, Zr-95, Ru-103, Ru-106, I-131, La-140, Ce-141, Ce-144, Mn-54, Co-60, Zn-65, Ba-140 et Cs-137. Les retombées des 6 et 14 mai sont arrivées via l'Arctique et celles des 25 et 26 mai via le Pacifique [Roy *et al.*, 1988]. Selon le rapport officiel de 1986 « Radioactivité environnementale au Canada » [RADNET, 2008],

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

les radionucléides de Tchernobyl – Ru-103, Ru-106, Cs-134 et Cs-137 – ont été systématiquement mesurables jusqu'à la mi-juin environ.

2. ÉTATS-UNIS : Les panaches de Tchernobyl ont respectivement traversé l'Arctique au sein de la basse troposphère, et l'océan Pacifique dans la troposphère moyenne. Les isotopes de Tchernobyl Ru-103, Ru-106, Ba-140, La-140, Mo-95, Ce-141, Ce-144, Cs-134, Cs-136, Cs-137, I-131 et Zr-95) ont été détectés en Alaska, Oregon, Idaho, New-Jersey, New-York, Floride, Hawaï et dans d'autres États (Tableau 1.4).

Tableau 1.4. Données sur les pics de concentration de certains radionucléides aux États-Unis [RAD-NET, 2008]

Date	Lieu	Radionucléides
5 mai 1986	Forks, WA	Ru-103, Cs-134
5 mai 1986	Spokane, WA	Tous
7-8 mai 1986	Augusta, ME	Tous
8 mai 1986	Portland, ME	Tous
11 mai 1986	Rexburg, ID	I-131, air
11 mai 1986	New-York, NY	Cs-137
15 mai 1986	Chester, NJ	Tous
16 mai 1986	Cheyenne, WY	Tous

Un communiqué d'Associated Press du 15 mai 1986 a annoncé : « Les services officiels de l'Oregon ont prévenu que ceux qui utilisent l'eau de pluie pour la boisson devraient utiliser d'autres sources d'eau pendant un certain temps ».

1.2.4. Régions arctiques

On trouve un niveau élevé de contamination liée à Tchernobyl dans les régions arctiques. Sur l'archipel François-Joseph, la mousse *Racomitrium* contenait jusqu'à 630 Bq/kg (poids sec) de Cs-137 dont 548 Bq/kg (87%) provenaient des retombées de la catastrophe de Tchernobyl [Rissanen *et al.*, 1999].

1.2.5. Afrique du Nord

Le territoire africain (essentiellement le nord) a reçu des radionucléides issus des premiers rejets, les plus puissants, du premier jour de la catastrophe. Les retombées y ont représenté plus de 5% de tous les radionucléides d'origine tchernobylenne (jusqu'à 20 PBq – 1 PBq = 10¹⁵ Bq).

1. ALGÉRIE. Quelques jours après la catastrophe, on a découvert de l'iode-131, du césium-124 et du césium-137 dans la majorité des échantillons d'air [Baggoura *et al.*, 1991].

2. ÉGYPTÉ. Un rapport Cs-137/Pu 239, 240 élevé dans des sédiments du delta du Nil démontre l'existence d'une contamination d'origine tchernobylenne [Benninger *et al.*, 1998].

1.2.6. Hémisphère Sud

Dans l'Hémisphère Sud, on a également découvert du césium-137 et du césium-134 sur des îles des Océans Indien (Île de La Réunion) et Pacifique (Tahiti) et une forte concentration de césium-137 en Antarctique, non loin du Pôle Sud dans de la neige tombée en 1987 et 1988 [UNSCEAR, 2000].

En conclusion de cette section sur la dispersion géographique des radionucléides rejetés, nous évoquerons leur déplacement ultérieur. Des estimations ont démontré que la quantité de radionucléides de Tchernobyl partis du territoire de l'Ukraine pour se retrouver dans le bassin de la Mer Noire serait de l'ordre de 20 TBq de césium-137 et 200 TBq de strontium-90 [Dolin *et al.*, 2008]. Cela suggère que des radionucléides retombés en un même endroit peuvent par la suite migrer sur une aire très vaste, essentiellement sous l'action des courants marins, mais aussi du fait des animaux migrateurs (on trouvera plus de détails dans la Partie III. Chapitre 10) et par suite d'un transport atmosphérique secondaire, par exemple lié à des incendies de forêts.

1.3. Estimations des principales émissions de radionucléides de Tchernobyl

Selon le point de vue officiel, les émissions totales de radionucléides calculées au 6 mai 1986, au moment où la radioactivité de la plupart des radionucléides à vie courte avait diminué, étaient de 50 x 10⁶ Ci ou 1,85 x 10¹⁸ Bq [Izrael, 1990 ; Izrael, 1996]. Il a été estimé que 3 à 4% du combustible (donc au moins 190,3 tonnes) ont été projetés hors du réacteur à partir du moment de la fusion, ce qui est très en deçà de la réalité. Les émissions ont continué après le 6 mai, avec une intensité décroissante pendant plus de 10 jours jusqu'à ce que le bloc de graphite servant de modérateur ait cessé de brûler. Les émissions de substances radioac-

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

tives se sont poursuivies dans l'atmosphère. L'UNSCEAR (2000) a estimé que l'activité totale des radionucléides éjectés était de $1,2 \times 10^{19}$ Bq, dont $1,2$ à $1,7 \times 10^{18}$ Bq d'I-131 et $3,7 \times 10^{16}$ Bq de Cs-137.

Des rapports de l'UNSCEAR (1988, 2000) contiennent des données (comparables aux émissions d'I-131) concernant un énorme volume d'émissions de Te-132 (demi-vie de 78 h et désintégration en iode radioactif), ainsi que des émissions de Zr-95 (demi-vie de 64 jours). Selon les calculs de Vukovic (1996), il y a eu des émissions supplémentaires de plus de $0,5 \times 10^6$ Ci d'Ag-110 (demi-vie de 250 jours).

Les controverses au sujet de la quantité de radionucléides rejetés sont importantes pour l'estimation de la dose collective. Si environ

seulement 3% du combustible (5 tonnes) ont été rejetés, la catastrophe de Tchernobyl aura alors provoqué une contamination mondiale avec 20 kg de plutonium, une quantité suffisante pour contaminer pour toujours un territoire de 20 000 km². La demi-vie du Pu-239 est de 24 000 ans. Si 30-40% du combustible ont été rejetés [Gofman, 1994a ; Medvedev, 1990 ; Sich, 1996 ; UNSCEAR, 2000 ; et autres], permettant à près de 3×10^9 Ci de s'échapper, ou si 80-90% ont été rejetés (soit $7-8 \times 10^9$ Ci) [voir Chernousenko, 1992 ; Kyselev *et al.*, 1996 ; Medvedev, 1991], des territoires largement plus étendus de l'Hémisphère Nord seront contaminés pour toujours. Le tableau 1.5 présente quelques estimations des principaux radionucléides émis lors de la catastrophe.

Tableau 1.5. Quelques estimations de la quantité des principaux radionucléides émis du 26 avril au 20 mai 1986 par le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl (10^6 Ci)

Radionucléide (demi-vie / temps de désintégration quasi totale en heures, jours, mois ou années)	AIEA (1995)	Devell <i>et al.</i> (1995)	Medvedev (1991)	Guntay <i>et al.</i> (1996)
I-135 (6,6 h / 2,75 j)			Plusieurs	
I-133 (20,8 h / 8,7 j)	~1,5		140–150	
La-140 (40,2 h / 16,7 j)			Beaucoup	
Np-239 (2,36 j / 23,6 j)	25,6			45,9
Mo-99 (2,75 j / 27,5 j)	> 4,6	4,5		5,67
Te-132 (3,26 j / 32,6 j)	~37,1	31	Beaucoup	27,0
Xe-133 (5,3 j / 53 j)	175,7	180	170	175,5
I-131 (8,04 j / 2,7 mois)	~47,6	48	> 85 ^b	32,4–45,9
Ba-140 (12,8 j / 4,3 mois)	6,5	6,4		4,59
Cs-136 (12,98 j / 4,3 mois)		0,644 ^a		
Ce-141 (32,5 j / 10,8 mois)	5,3	5,3		5,40
Ru-103 (39,4 j / 1 an 1 mois)	> 4,6	4,5		4,59
Sr-89 (50,6 j / 1,39 ans)	~3,1	3,1		2,19
Zr-95 (64,0 j / 1,75 ans)	5,3	5,3		4,59
Cm-242 (162,8 j / 4,6 ans)	~0,024	0,024		0,025
Ce-144 (284 j / 7,8 ans)	~3,1	3,1		3,78
Ru-106 (367 j / 10 ans)	> 1,97	2,0		0,81
Cs-134 (2,06 ans / 20,6 ans)	~1,5	1,5	-	1,19–1,30
Kr-85 (10,7 ans / 107 ans)	0,89	-	-	0,89
Pu-241 (14,7 ans / 147 ans)	~0,16	0,16		0,078
Sr-90 (28,5 ans / 285 ans)	~0,27	0,27		0,22
Cs-137 (30,1 ans / 301 ans)	~2,3	12,3	^c	1,89–2,30
Pu-238 (86,4 ans / 864 ans)	0,001	0,001	-	0,0001
Pu-240 (6 553 ans / 65 530 ans)	0,001	0,001		0,001
Pu-239 (24 100 ans / 241 000 ans)	0,023	0,001		0,0001

^a Cort et Tsaturov (1998).

^b Nesterenko (1996) - supérieur à 100.

^c Nesterenko (1996) - l'émission totale de Cs-136 et de Cs-137 atteint 420×10^{15} Bq ($1,14 \times 10^6$ Ci).

Toutes les estimations actuelles des émissions de radionucléides sont des calculs approximatifs et des indices montrent que nous

observerons une hausse notable de ces estimations au fil du temps. Il est révélateur que, même 20 ans après la catastrophe, on com-

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

mence à évoquer le rôle de certains radionucléides qui n'ont pas été du tout pris en compte au départ, tels que le Cl-36 et le Tc-99 , qui ont respectivement des demi-vies de près de 30 000 ans et de plus de 23 000 ans [Fairlie et Sumner, 2006].

1.4. Caractéristiques écologiques de la contamination

Les trois facteurs les plus importants pour les écosystèmes et la santé publique dans le cadre de la contamination de Tchernobyl sont : l'irrégularité (dépôts en taches de léopard) et l'inégalité des dépôts de contamination, l'impact des « particules chaudes » et la bioaccumulation des radionucléides (voir aussi [Partie III](#)).

1.4.1. Irrégularité et inégalité des dépôts de contamination

Jusqu'à présent, on s'est trop peu intéressé à l'irrégularité et l'inégalité de la répartition locale des retombées radioactives de Tchernobyl. Les études par mesures radiométriques du Cs-137 , sur la base desquelles sont établies la plupart des cartes de contamination, ne donnent que des valeurs moyennes de la radioactivité pour 200 à 400 m de rayon d'action, de telle sorte que de petites taches locales hautement radioactives – « les taches chaudes » – peuvent exister sans être remarquées. Le caractère de contamination réelle d'une zone est indiqué sur la figure 1.15.

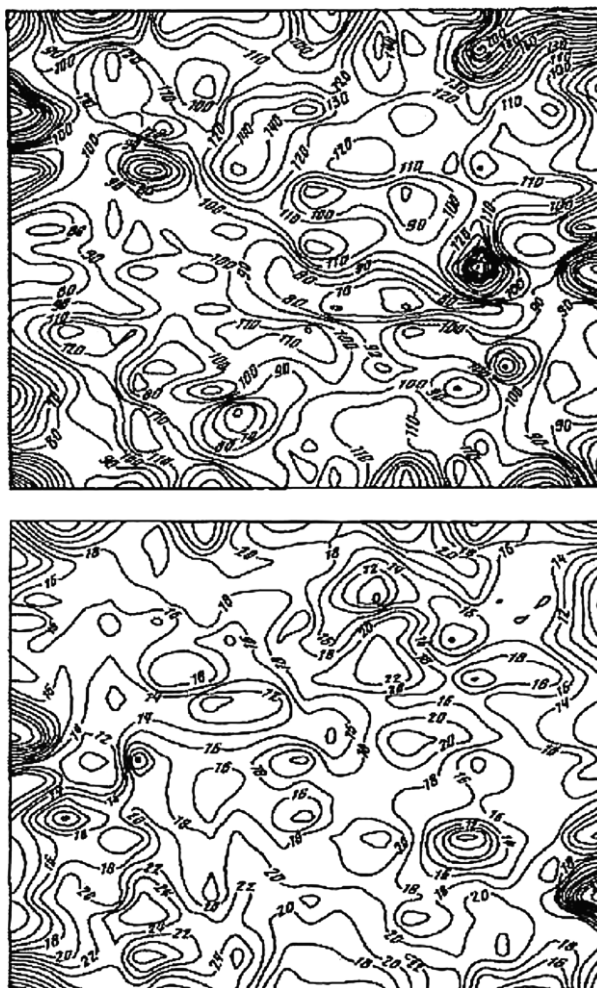


Figure 1.15. Concentration en taches de Cs-137 (au-dessus) et de Ce-144 (en-dessous) dans la zone forestière située dans le périmètre des 30 km autour de Tchernobyl – Échelle 1/600° [Tscheglov, 1999]

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

Comme on peut le voir, une distance de 10 m peut révéler une forte différence dans les concentrations de radionucléides et il apparaît clairement que la répartition des concentrations de Cs-137 ne coïncide pas exactement avec la répartition des concentrations de Ce-144.

« Les services de santé publique du département français des Vosges ont découvert qu'un sanglier tué par l'un des chasseurs locaux « était rayonnant ». Des experts, armés d'un matériel ultra-moderne, ont même transmis un message plus inquiétant : presque toute la montagne que venait de parcourir l'animal avant sa mort était radioactive à un niveau de 12 000 à 24 000 Bq/m². Par comparaison, la norme européenne est de 600 Bq/m². On se souvient que des champignons radioactifs avaient été trouvés dans ces forêts l'automne précédent. Le niveau de Cs-137 dans les chanterelles, les bolets et les pieds des champignons ont dépassé environ quarante fois la norme (...) ». [Chykin, 1997]

Il existe encore une incertitude quant à la contamination non seulement par le Cs-137 et le Sr-90, mais aussi par d'autres radionucléides, y compris les émetteurs bêta et alpha. La cartographie détaillée des territoires pour les différents spectres de contamination radioactive n'a pu se faire en raison de l'impossibilité d'une télédétection rapide des radionucléides émetteurs bêta et alpha.

Les taches chaudes typiques de Tchernobyl ont une envergure variant de dizaines à des centaines de mètres et elles ont aussi des niveaux de radioactivité dix fois plus élevés que dans les zones environnantes. La densité de la concentration du Cs-137 peut avoir plusieurs valeurs différentes, même dans les limites de la zone d'apport de nutriments d'un seul arbre [Krasnov *et al.*, 1997]. En Pologne, le nucléide Ru-106 était l'élément prédominant des taches chaudes en 1986, sauf pour quelques-unes, dues au Ba-140 ou au La-140 [Rich, 1986].

La figure 1.16 montre une nette distribution radioactive à grande échelle de Sb, Cs et Ag dans des régions de la Grèce continentale.

Le phénomène de contamination par taches implique (dès maintenant et pour toujours) l'impossibilité d'une estimation précise du niveau de radiocontamination de lieux habités

concrets : les radionucléides à périodes courte et moyenne se sont désintégrés durant les premières années qui ont suivi la catastrophe et il est impossible de reconstituer avec précision leur répartition spatiale.

1.4.2. Problème des « particules chaudes »

La difficulté fondamentale pour évaluer les niveaux de contamination radioactive par Tchernobyl est le problème de ce qu'on appelle les « particules chaudes » ou « poussières de Tchernobyl ». Lorsque le réacteur a explosé, il n'a pas seulement expulsé des gaz et des aérosols – les produits de fission de l'U (Cs-137, Sr-90, Pu, etc.) –, mais aussi des particules d'U utilisé comme combustible mélangées avec d'autres radionucléides – des particules chaudes solides. Des grosses particules lourdes d'U et de Pu sont retombées près de la centrale nucléaire de Tchernobyl. Des régions de Hongrie, d'Allemagne, de Finlande, de Pologne, de Bulgarie et d'autres pays européens ont découvert des particules chaudes d'une taille moyenne de 15 µm. Leur activité était essentiellement déterminée par le Zr-95 (demi-vie de 35,1 jours), le La-140 (1,68 jours), et le Ce-144 (284 jours) [UNSCEAR, 2000]. Certaines particules chaudes contenaient des radionucléides émetteurs bêta tels que le Ru-103 et le Ru-106 (respectivement 39,3 et 368 jours) et le Ba-140 (12,7 jours). Des particules avec des éléments volatils dont l'I-131, le Te-132, le Cs-137 et le Sb-126 (12,4 jours) se sont propagées sur des milliers de kilomètres. Des « particules chaudes liquides » se sont formées lorsque les radionucléides se sont concentrés dans les gouttes de pluie :

« À Kiev, des « particules chaudes » ont été trouvées dans de nouveaux immeubles d'habitation qui devaient être livrés à l'automne 1986. En avril et mai, ils n'avaient ni toiture ni fenêtres ; ils ont donc absorbé beaucoup de poussière radioactive, que nous avons trouvée dans les plaques de béton des murs et des plafonds, dans l'atelier de menuiserie, sous les bâches en plastique d'un plancher, etc... Pour la plupart, ces immeubles sont occupés par le personnel de la centrale atomique de Tchernobyl. En planifiant l'occupation des logements, les mesures spéciales de dosimétrie que j'ai mises au point (j'étais alors, à la centrale nucléaire de Tchernobyl, l'ingénieur en chef adjoint délégué à la sécurité

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

radiologique et responsable du personnel dans des zones jugées contaminées) ont permis un contrôle du rayonnement dans les appartements. À la suite de ces mesures, j'ai envoyé un rapport à la Commission gouvernementale, les informant de l'impossibilité d'habiter ces appartements « sales ». Le service d'assainissement de la municipalité de Kiev (...) a répondu dans une lettre malhonnête qu'il convenait de l'existence de la radioactivité dans ces appartements, mais il la justifiait par de la terre rapportée par les locataires » [Karpan, 2007, avec son autorisation].

sorbées par l'organisme (avec l'eau, la nourriture ou l'air inhalé), de telles particules génèrent de fortes doses de rayonnements, même si la personne se trouve dans une zone à faible contamination. Les particules fines (inférieures à 1 micromètre) peuvent facilement pénétrer dans les poumons, tandis que les plus grosses (20-40 μm) se concentrent principalement dans les parties supérieures de l'appareil respiratoire [Khruch *et al.*, 1988 ; Ivanov *et al.*, 1990 ; AIEA, 1994]. De piètres études, totalement inadéquates, ont été menées au sujet des spécificités de la formation et de la désintégration des particules chaudes, de leurs propriétés et de leur impact sur la santé des êtres humains et sur d'autres organismes vivants.

La radioactivité de certaines particules chaudes a atteint 10 kBq. Quand elles sont ab-

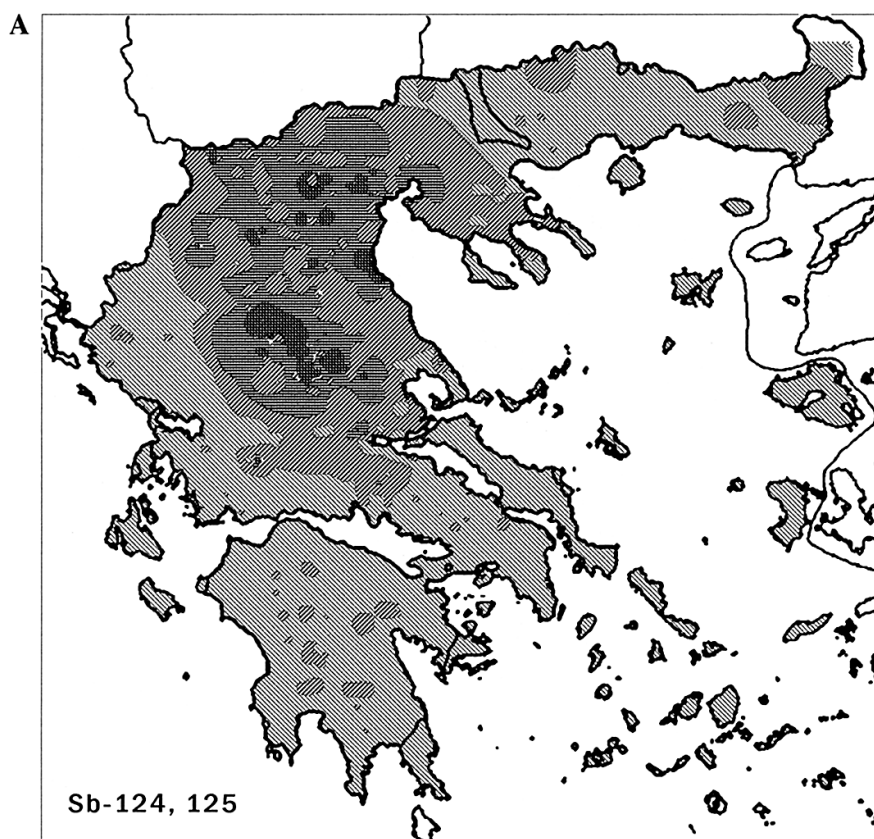


Figure 1.16. Cartes des retombées de Tchernobyl : (A) Sb-124, 125 ; (B) Cs-137 et (C) Ag-110m en Grèce continentale [avec l'autorisation de S.E. Simopoulos, Université technique nationale d'Athènes (arcas.nuclear.ntua.gr/apache2-default/radmaps/page1.htm)]

(suite page suivante)

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

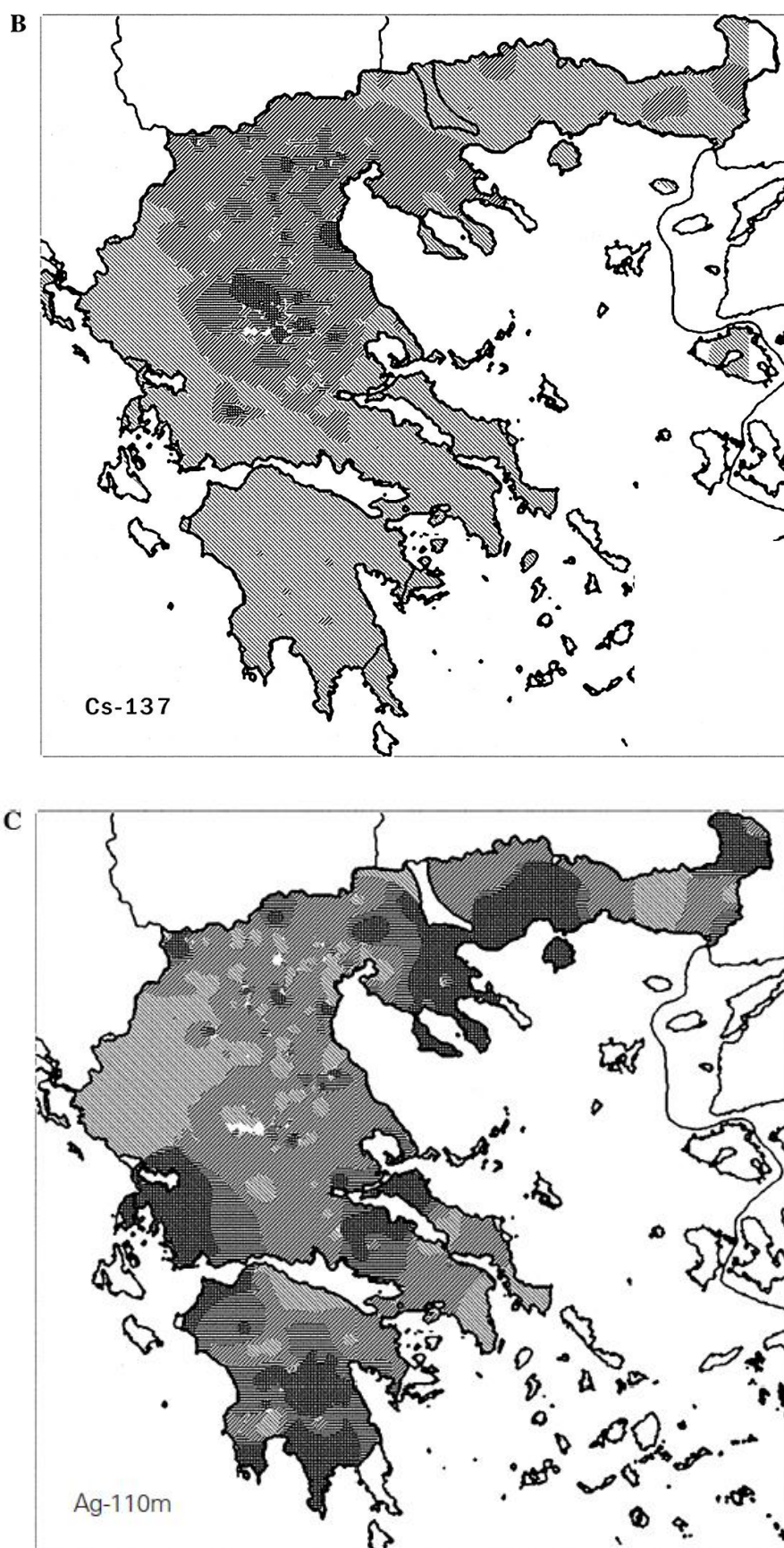


Figure 1.16. Suite

1.5. Modifications dans le spectre des radionucléides

Pour comprendre l'impact de la contamination de Tchernobyl sur la santé publique et les écosystèmes, il est nécessaire d'examiner les changements essentiels dans le spectre des radionucléides durant les premiers jours, semaines, mois et décennies qui ont suivi la catastrophe de Tchernobyl. Le niveau maximum d'activité des retombées de Tchernobyl dans les premiers jours et les premières semaines, qui était surtout dû aux radionucléides à vie courte, a dépassé de plus de 10 000 fois les niveaux de référence [Krishev et Ryazantsev, 2000 ; et beaucoup d'autres]. Aujourd'hui, la contamination radioactive n'est qu'une petite partie de tous les rayonnements émis lors de la catastrophe. Sur la base de données en provenance de Suède et de Finlande, la proportion des taux de Cs-137 et d'autres radionucléides retombés dans les premiers jours et les premières semaines permettent la reconstruction de la valeur relative des différents nucléides qui composent la dose externe totale (Figure 1.17).

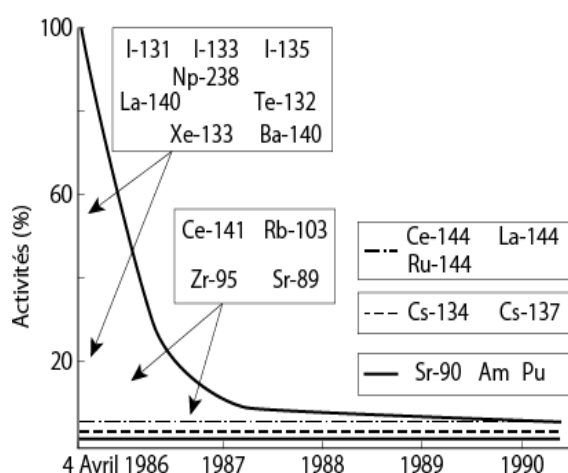


Figure 1.17. Dynamique de la structure radio-isotopique de la contamination par Tchernobyl, pourcentage de l'activité totale [Yablokov, 2002, d'après Sokolov et Krivolutsky, 1998]

Pendant les premiers jours après l'explosion, la part d'irradiation externe totale due au Cs-137 ne dépassait pas 4%, mais le niveau des rayonnements émis par l'I-131, l'I-133, le Te-129, le Te-132 et plusieurs autres radionucléides était des centaines de fois supérieur. Dans les mois et la première année qui ont suivi l'explosion, le rayonnement externe prin-

cipal était dû aux isotopes des Ce-141, Ce-144, Ru-103, Ru-106, Zr-95, Nb-95, Cs-136 et Np-239.

Depuis 1987 et jusqu'à nos jours, les principaux radionucléides de Tchernobyl constituant les doses d'irradiation sont le césium-137, le strontium-90, par endroit le plutonium et, à l'avenir, l'américium-241. En moyenne, 20 ans après la catastrophe, le césium-137 a représenté jusqu'à 95% de la dose totale d'irradiation humaine. La part du strontium-90, des isotopes du plutonium et de l'américium est d'environ 5% [Michkovska, 2001].

Des échelles temporelles de contamination par rayonnement peuvent être déterminées par une analyse de l'émail des dents. De telles analyses ont été effectuées par des experts, le groupe allemand « Médecins du Monde pour la prévention de la guerre nucléaire ». Ils ont testé les dents de 6 000 enfants et ont constaté que les enfants nés peu après la catastrophe de Tchernobyl avaient 10 fois plus de Sr-90 dans leurs dents que les enfants nés en 1983 [Ecologist, 2000].

Problème de l'américium-241. Le puissant émetteur de rayonnement alpha Am-241, formé à la suite de la désintégration naturelle du Pu-241, est un facteur très important dans l'augmentation des niveaux de contamination dans de nombreuses régions situées jusqu'à 1 000 km de la centrale nucléaire de Tchernobyl. Le territoire contaminé aujourd'hui par le Pu, où le niveau de rayonnement alpha est généralement faible, redeviendra dangereux à la suite de la désintégration future du Pu-241 en Am-241 dans les dizaines voire les centaines d'années à venir (voir aussi [Partie III. Chapitre 9](#)). D'ici 50 à 70 ans, l'activité de l'américium aura par conséquent augmenté d'un facteur 6 [Izrael et Bogdevitch, 2009] et sa valeur excédera l'activité globale des isotopes du plutonium d'origine tchernobylenne. Un danger supplémentaire de l'Am-241 est sa plus grande solubilité et en conséquence sa mobilité dans les écosystèmes par rapport au Pu.

Ajoutons encore que parmi les radionucléides rejetés au cours de la catastrophe doivent figurer le chlore-36 (à période d'environ 30 000 ans) et le technétium-99 (à période d'environ 23 000 ans). Malgré leur faible proportion dans l'ensemble des rejets, la durée de leur présence dans la biosphère doit entraîner des effets biologiques considérables [Fairlie et Sumner, 2006].

1.6. Contamination par le plomb

Au cours des opérations effectuées pour éteindre les incendies du réacteur n°4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl, les hélicoptères ont déversé 2 400 tonnes de plomb dans le réacteur [Samushia *et al.*, 2007 ; UNSCEAR, 2000] ; selon d'autres données, le chiffre était de 6 720 tonnes [Nesterenko, 1997a]. Dans les jours suivants, une partie importante du Pb a été vomie dans l'atmosphère à la suite de sa fusion, son ébullition et sa sublimation dans l'incendie du réacteur. De plus, l'empoisonnement par le Pb est dangereux en soi, provoquant, par exemple, un retard mental chez les enfants [Ziegel et Ziegel, 1993 ; et beaucoup d'autres].

1. Les taux de plomb dans le sang des enfants et des adultes au Belarus ont nettement augmenté au cours de ces dernières années [Rolevich *et al.*, 1996]. Dans la province de Brest au Belarus, par exemple, chez 213 enfants examinés, le taux de plomb dans le sang était de $0,109 \pm 0,007$ mg/litre et environ la moitié de ces enfants avaient des taux de $0,188 \pm 0,003$ mg/litre [Petrova *et al.*, 1996], alors que la norme de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) pour les enfants n'est que de 0,001 mg/litre.
2. En Ukraine, dans le district de Polésie, province de Kiev, les quantités de plomb dans l'air respiré par les opérateurs de machines agricoles étaient jusqu'à plus de 10 fois supérieures aux concentrations maximales admissibles. L'augmentation des taux de plomb était perceptible dans le sol, l'atmosphère, dans l'urine et les cheveux des adultes et des enfants à Kiev peu de temps après l'explosion [Bar'yakhtar, 1995].
3. La contamination par le plomb, ajoutée aux rayonnements, provoque des dommages dans l'organisme [Petin et Synsynys, 1998]. Les rayonnements ionisants provoquent dans les cellules une oxydation biochimique des radicaux libres. Sous l'influence des métaux lourds (tels que le plomb), ces réactions se produisent de manière particulièrement intense. Les enfants biélorusses contaminés à la fois par le Cs-137 et le plomb présentent une fréquence accrue de gastrite atrophique [Gres et Polyakova, 1997].

1.7. Évaluation des doses reçues par la population à la suite de l'accident de Tchernobyl

L'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et l'OMS [Forum de Tchernobyl, 2005] ont estimé la dose collective pour le Belarus, l'Ukraine, la Russie européenne à 55 000 personnes/Sv. Dans d'autres estimations plus fondées [voir Fairlie et Sumner, 2006], cette dose collective est de 216 000 à 326 000 personnes/Sv (ou même 514 000 personnes/Sv pour le seul Belarus) [Rapport national du Belarus, 2006]. La dose collective dans le monde entier pour la catastrophe de Tchernobyl est estimée à 600 000-930 000 personnes/Sv (Tableau 1.6). Toutefois, il est maintenant clair que ces chiffres de doses collectives sont considérablement sous-estimés.

Tableau 1.6. Dose collective totale réelle (personne/Sv) d'irradiation supplémentaire due à la catastrophe de Tchernobyl [Fairlie et Sumner, 2006]

	U.S.A. Ministère de l'énergie ^a	UNSCEAR ^b
Belarus, Ukraine, Russie européenne	326 000	216 000
Autres pays européens	580 000	318 000
Reste du monde	28 000	66 000
Total	930 000	600 000

^a [Anspaugh *et al.*, 1988].

^b [Bennett, 1995, 1996].

1.8. Combien de personnes étaient et seront exposées à la contamination de Tchernobyl ?

Les premières prévisions officielles concernant l'impact sanitaire de la catastrophe de Tchernobyl incluait seulement plusieurs cas supplémentaires de cancer sur une période d'environ 10 ans. En quelques années, il est devenu clair que pas moins de 8 millions d'habitants du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie ont été sévèrement affectés (Tableau 1.7).

Il faut comprendre que dans les zones contaminées au-delà de 1 Ci/km² (un niveau qui a, sans aucun doute, un impact statistique sur la santé publique), il y a au minimum 1 million d'enfants et les personnes évacuées et les liquidateurs ont eu au moins 450 000 enfants. Il est possible d'estimer le nombre de personnes vivant dans des zones soumises aux retombées de Tchernobyl partout dans le monde. De

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

l'ordre de 40% de l'Europe ont été exposés au Cs-137 de Tchernobyl à une dose de 4 à 40 kBq/m² (0,11-1,08 Ci/km² ; voir Tableau 1.2). C'est bien ce niveau (environ 0,1 Ci/km²) qu'il convient de considérer comme étant au minimum significatif pour les rayonnements ionisants s'ajoutant à n'importe quel niveau existant (cf. arguments dans [Yablokov, 2002 ; ECRR, 2003, 2010]). En supposant que 35% environ de la population européenne vivent dans ce territoire (où les radionucléides sont

tombés sur des zones de montagne faiblement peuplées) et en tenant compte du recensement européen de la population à la fin des années 1980, nous pouvons calculer que près de 550 millions de personnes sont contaminées. Il est possible de considérer qu'environ 190 millions d'Européens vivent dans des endroits nettement contaminés et que près de 15 millions se trouvent dans des zones où la contamination par le Cs-137 est supérieure à 40 kBq/m² (1,08 Ci/km²).

Tableau 1.7. Population souffrant de la catastrophe de Tchernobyl au Belarus, en Ukraine et en Russie européenne

Groupe	Individus		
	Pays	Différentes sources	Cardis <i>et al.</i> , 1996
Évacués et déplacés ^b	Belarus	135 000 ^a	135 000
	Ukraine	162 000 ^a	–
	Russie	52 400 ^a	–
Ayant vécu dans des territoires contaminés par le Cs-137 > 555 kBq/m ² (> 15 Ci/km ²)			270 000
Ayant vécu dans des territoires contaminés par le Cs-137 > 37 kBq/m ² (> 1 Ci/km ²)	Belarus	2 000 000 ^a	6 800 000
	Ukraine	3 500 000 ^a	–
	Russie	2 700 000 ^a	–
Liquidateurs	Belarus	130 000	200 000 (1986–1987)
	Ukraine	360 000	–
	Russie	250 000	–
	Autres pays	Pas moins de 90 000 ^c	
Total		9 379 400	7 405 000

^a Rapport du Secrétariat général des Nations Unies (2001). Optimisation des efforts internationaux dans l'étude, la réduction et la minimisation des conséquences de la catastrophe de Tchernobyl [<http://www.un.org/documents/ga/docs/56/a56447.pdf>].

^b 49 614 personnes évacuées de la ville de Pripiat et de la gare de Janov ; 41 792 évacuées entre les 6^{ème} et 11^{ème} jours de la zone des 30 km en Ukraine ; 24 725 évacuées au Belarus (Total : 116 231) ; personnes évacuées en 1986-87 des territoires où la densité de contamination était supérieure à 15 Ci/km² : 70 483 en Ukraine, 78 600 en Russie, 110 275 au Belarus. Le nombre total de personnes obligées de quitter leur maison à cause de Tchernobyl est d'environ 350 400.

^c Kazakhstan : 31 720 [Kaminsky, 2006], Arménie : > 3 000 [Oganessian *et al.*, 2006], Lettonie : > 6 500, Lituanie : > 7 000 [Oldinger, 1993]. Et aussi en Moldavie, Géorgie, Israël, Allemagne, États-Unis, Grande-Bretagne et d'autres pays.

Les retombées de Tchernobyl ont contaminé près de 8% de l'Asie, 6% de l'Afrique et 0,6% de l'Amérique du Nord. Ainsi, par un raisonnement similaire, il apparaît qu'en dehors de l'Europe le nombre total de personnes vivant dans des zones contaminées par le Cs-137 de Tchernobyl jusqu'à un niveau de 40 kBq/m² pourrait atteindre près de 200 millions (Tableau 1.8).

Certes, les chiffres calculés sur le tableau 1.8 sont d'une précision limitée. Le nombre réel de personnes vivant en 1986 dans les zones extra-européennes visiblement contaminées par Tchernobyl ne peut être inférieur à

150 millions ni supérieur à 230 millions. Cette incertitude est due, d'une part, au fait que les calculs ne prennent pas en compte plusieurs radionucléides à courte durée de vie, tels que l'I-131, l'I-133, le Te-132 et quelques autres, qui ont pour effet de contribuer beaucoup plus que le Cs-137 aux niveaux de rayonnement. Il s'agit notamment du Cl-36 et du Tc-99 qui ont des demi-vies respectives de près de 30 000 ans et de plus de 23 000 ans [Fairlie et Sumner, 2006, 5.17]. Ces derniers isotopes provoquent de très faibles niveaux de rayonnement, mais ils vont persister pendant de nombreux millénaires. D'autre part, ces calculs sont fondés sur

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

une répartition uniforme de la population, ce qui n'est pas une hypothèse légitime. Au total, en 1986, près de 400 millions d'individus (près de 205 millions en Europe et 200 millions hors

Europe) ont été exposés à une contamination radioactive à un niveau de 4 kBq/m² (0,1 Ci/km²).

Tableau 1.8. Estimation de la population (10³) exposée à la contamination radioactive par Tchernobyl hors de l'Europe en 1986

Continent	Part des retombées totales de Cs-137, en %	Population totale, fin des années 1980	Population soumise à des retombées de 1 à 40 kBq/m ²
Asie	8	2 500 000 000	Près de 150 000 000
Afrique	6	600 000 000	Près de 36 000 000
Amérique	0,6	170 000 000	Près de 10 000 000
Total	14,6	3 270 000 000	Près de 196 000 000

D'autres calculs sur des populations exposées aux rayonnements de Tchernobyl ont été établis sur la base de la dose collective totale. Selon un tel calcul (Tableau 1.9), le nombre de personnes qui ont été exposées au rayonnement

supplémentaire à une dose supérieure à 2,5 x 10⁻² mSv pourrait être de plus de 4,7 milliards et à un niveau supérieur à 0.4 mSv, de plus de 605 millions.

Tableau 1.9. Estimation de la population souffrant de la contamination radioactive par Tchernobyl à différents niveaux de radiation, établie sur des doses collectives [Fairlie, 2007]

Groupe	Nombre de personnes	Dose individuelle moyenne, mSv
Liquidateurs de l'URSS ^a	240 000	100
Évacués	116 000	33
Zones fortement contaminées de l'URSS	270 000	50
Zones moins contaminées de l'URSS	5 000 000	10
Autres parties de l'Europe	600 000 000	≥ 0,4
Hors de l'Europe	4 000 000 000	≥ 2,5 x 10 ⁻²

^a Vraisemblablement en 1986-87 [A.Y.]

1.9. Conclusion

La majeure partie des radionucléides de Tchernobyl (jusqu'à 57%) est retombée hors de l'ex-URSS et a provoqué une contamination radioactive notable dans une grande partie du monde, pratiquement sur tout l'Hémisphère Nord.

Les déclarations affirmant que la radioactivité de Tchernobyl « n'ajoute que 2% » à la radioactivité naturelle de la surface de la planète occultent le fait que cette contamination a dépassé la radioactivité naturelle dans de vastes zones et, en 1986, jusqu'à 600 millions d'hommes, de femmes et d'enfants vivaient dans des territoires contaminés par les radionucléides de Tchernobyl à de dangereux niveaux supérieurs à 0,1 Ci/km².

La contamination radioactive due à Tchernobyl relève à la fois d'une dynamique et du

long terme. La dynamique est définie comme suit : en premier lieu, la désintégration naturelle des radionucléides fait que, dans les premiers jours et les premières semaines après la catastrophe, les niveaux de contamination étaient des milliers de fois plus élevés que ceux enregistrés 2 à 3 ans plus tard. En second lieu, il y a une redistribution active des radionucléides dans les écosystèmes (pour plus de détails, voir [Partie III](#)). Le troisième aspect réside dans la contamination qui existera au-delà de l'avenir prévisible : pas moins de 300 ans pour le Cs-137 et le Sr-90, plus de 200 000 années pour le Pu et plusieurs milliers d'années pour l'Am-241.

Au vu des 25 années qui se sont écoulées depuis la catastrophe de Tchernobyl, il est clair que des dizaines de millions de personnes, non seulement au Belarus, en Ukraine et en Russie, mais aussi dans le monde entier, vivront avec

des contaminations radioactives chroniques mesurables pendant de nombreuses décennies. Même si le niveau d'irradiation externe diminue dans certaines zones, la contamination très grave des premiers jours et des premières semaines après l'explosion, suivie de décennies de radioactivité supplémentaire et évolutive, aura un inévitable impact négatif sur la santé publique et les écosystèmes.

Bibliographie

- Anspaugh, L. R., Catlin, R. J. & Goldman, M. (1988). The global impact of the Chernobyl reactor accident. *Science* **242**: 1513–1519.
- Bar'yakhtar, V. G. (Ed.) (1995). *Chernobyl Catastrophe: Historiography, Social, Economic, Geochemical, Medical and Biological Consequences*. ("Naukova Dumka," Kiev): 560 pp.
(//www.stopatom.slavutich.kiev.ua) (en russe).
- Bennett, B. (1995). Exposures from worldwide releases of radionuclides. International Atomic Energy Agency Symposium on the Environmental Impact of Radioactive Releases, Vienna, May 1995. IAEA-SM-339/185 (cited by RADNET, 2008).
- Bennett, B. (1996). Assessment by UNSCEAR of worldwide doses from the Chernobyl accident. In: Proceedings of International Conference. *One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident* (IAEA, Vienna): pp. 117–126.
- Benninger, L. K., Suayah, I. B. & Stanley, D. J. (1998). Manzala lagoon, Nile delta, Egypt: Modern sediment accumulation based on radioactive tracers. *Env. Geology* **34**(2–3): 183–193.
- Boccolini, A., Gentili, A., Guidi, P., Sabbatini, V. & Toso, A. (1988). Observation of silver-110m in marine mollusk *Pinna nobilis*. *J. Env. Radioact.* **6**: 191–193.
- Borzylov, V. A. (1991). Physical and mathematical modeling of radionuclide behavior. *Nature* (Moscow) **5**: 42–51 (en russe).
- Broda, R. 1987. Gamma spectroscopy analysis of hot particles from the Chernobyl fallout. *Acta Physica Polica*. **B18**: 935–950.
- Brooke, J. (1988). After Chernobyl, Africans ask if food is hot. *New York Times*, January 10.
- Chankseliany, Kh. Z. (2006). Soil conditions and legal base for protection from radionuclide contamination 20 years after the Chernobyl catastrophe. Fifth Congress on Radiation Research (Radiobiology Radioecology Radiation Safety), April 10–14, 2006, Moscow (Abstracts, Moscow) 3: pp. 51–52 (en russe).
- Chankseliany, Kh. Z., Gakhokhidze, E. I. & Bregadze, T. (2006). Comparative estimation of radioecological situation in Georgian territories 20 years after the Chernobyl accident. Fifth Congress on Radiation Research (Radiobiology Radioecology Radiation Safety), April 10–14, 2006, Moscow (Abstracts, Moscow) 3: pp. 12–13 (en russe).
- Chernobyl Forum. (2005). Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE) August 2005 (IAEA, Vienna): 280 pp.
(//www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub12_39_web.pdf).
- Chernousenko, V. (1992). *Chernobyl: Insight from Inside* (Springer-Verlag, New York): 367 pp.
- Chykin, M. (1997). On map of France–Chernobyl spots. *Komsomol'skaya Pravda* (Moscow), March 25, p. 6 (en russe).
- Cort, M. de & Tsaturov, Yu. S. (Eds.) (1998). Atlas on Cesium contamination of Europe after the Chernobyl nuclear plant accident (ECSC–EEC–EAEC, Brussels/Luxembourg): 46 pp. + 65 plates.
- Devell, L., Tovedal, H., Bergström, U., Appelgren, A., Chyssler, J. & Andersson, L. (1986). Initial observations of fallout from the reactor accident at Chernobyl. *Nature* **321**: 192–193.
- Dreicer, M., Aarkrog, A., Alexakhin, R., Anspaugh, L., Arkhipov T., & Johansson, K.-J. (1996). Consequences of the Chernobyl accident for the natural and human environments. Background Paper 5. In: *One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident* (IAEA, Vienna): pp. 319–361.
- Ecologist (2000). The tooth fairy comes to Britain. *The Ecologist* **30**(3): 14.
- Fairlie, I. (2007). BfS-Workshop on Chernobyl Health Consequences, November 9–10, 2006. Minutes (Neuherberg, Germany), February 27: p. 7.
- Fairlie, I. & Sumner, D. (2006). *The Other Report on Chernobyl (TORCH)* (Altner Combecher Foundation, Berlin): 90 pp.
- Gofman, J. (1994). *Chernobyl Catastrophe: Radioactive Consequences for Existing and Future Generations* ("Vysheishaya Shkola," Minsk): 576 pp. (en russe).
- Goldman, M. (1987). Chernobyl: A radiological perspective. *Science* **238**: 622–623.
- Gres', N. A. & Polykova, T. I. (1997). Microelement burden of Belarussian children. Collected Papers (Radiation Medicine-Epidemiology Institute, Minsk): pp. 5–25 (en russe).
- Guntay, S., Powers, D. A. & Devell, L. (1996). The Chernobyl reactor accident source term: Development of the consensus view. In: *One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident*. IAEA-TECDOC-964, 2 (IAEA, Vienna): pp. 183–193 (cited by Kryshev & Ryazantsev, 2000).
- Higuchi, H., Fukatsu, H., Hashimoto, T., Nonaka, N., Yoshimizu, K., Omine, M., Takano, N. & Abe, T. (1988). Radioactivity in surface air and precipitation in Japan after the Chernobyl accident. *J. Env. Radioact.* **6**: 131–144.
- IAEA (1994). International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources (Vienna): 387 pp.
- Il'yazov, R. G. (2002). Scale of the radioactive contamination of the environment. In: *Ecological and Radiobiological Consequences of the Chernobyl Catastrophe for Animal Husbandry and Ways to Get Over the Difficulties* (Materials, Kazan): pp. 5–13 (en russe).
- Imamniyazova, G. (2001). Mortality from radiation became classified. Express-K, July 31 (//www.iicas.org/articles/ek_rus_01_08_01_pz) (en russe).
- Imanaka, T. (1999). Collection of interesting data published in various documents. In: Imanaka, T. (Ed.), *Research Activities on the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activi-*

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

- ties to Assist the Sufferers from the Accident (Kyoto University, Kyoto): pp. 271–276.
- Imanaka, T. & Koide, H. (1986). Fallout in Japan from Chernobyl. *J. Env. Radioact.* **4**: 149–153.
- Ivanov, E. P., Gorel'ch, K. I., Lazarev, V. S. & Klymovich, O. M. (1990). Forecast of the remote oncological and hematological illnesses after Chernobyl accident. *Belarus Public Health* **6**: 57–60 (en russe).
- Izrael', Yu. A. (1990). *Chernobyl: Radioactive Contamination of Natural Environment* ("Hydrometeoizdat," Leningrad): 296 pp. (en russe).
- Izrael', Yu. A. (1996). Radioactive fallouts after nuclear exposures and accidents. ("Progress-Pogoda," St. Petersburg): 356 pp. (en russe).
- Juznic, K. & Fedina, S. (1987). Distribution of Sr-89 and Sr-90 in Slovenia, Yugoslavia, after the Chernobyl accident. *J. Env. Radioact.* **5**: 159–163.
- Kaminsky, A. (2006). Full decay period. Express-K 75, April 26 ([//www.express-k.kz.search.ph](http://www.express-k.kz.search.ph)) (en russe).
- Karpan, N. (2007). Letter to A. Yablokov, April 20, 2007.
- Khruch, B. T., Gavrilin, Yu. I. & Konstantinov, Yu. O. (1988). Characteristics of inhalation entry of radionuclides. In: *Medical Aspects of the Chernobyl Accident* ("Zdorov'e," Kiev): pp. 76–87 (en russe).
- Konoplya, E. F., Kudryashov, V. P. & Grinevich, S. V. (2006). Form of Belarussian radioactive air contamination after Chernobyl catastrophe. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Sociological Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 91–96 ([//www.ecopolity.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf](http://www.ecopolity.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf)) (en russe).
- Krasnov, V. P., Orlov, A. A., Irklienko, S. P., Shelest, Z. M., Turko, V. N. et al. (1997). Radioactive contamination of forest production in Ukrainian Poles'e. *Forestry Abroad, Express Inform.* **5** ("VNITSlesresurs," Moscow): pp. 15–25 (en russe).
- Kresten, P. & Chyessler, J. (1989). The Chernobyl fallout: Surface soil deposition in Sweden. *Geolog. Forening Stock Forhandl.* **111**(2): 181–185.
- Krishev, I. I. & Ryazantsev, E. P. (2000). *Ecological Security of Russian Nuclear-Energy Complex* ("IzdAT," Moscow): 384 pp. (en russe).
- Kyselev, A. N., Surin, A. I. & Checherov, K. P. (1996). Post-accident investigation of the 4th Chernobyl reactor. *Atomic Energy* **80**(4): 240–247 (en russe).
- Lange, R., Dickerson, M. H. & Gudiksen, P. H. (1992). Dose estimates from the Chernobyl accident. *Nucl. Techn.* **82**: 311–322.
- Martin, C. J. (1989). Cesium-137, Cs-134 and Ag-110 in lambs on grazing pasture in NE Scotland contaminated by Chernobyl fallout. *Health Physics* **56**(4): 459–464.
- Martin, C. J., Heaton, B. & Robb, J. D. (1988). Studies of I-131, Cs-137 and Ru-103 in milk, meat and vegetables in northeast Scotland following the Chernobyl accident. *J. Env. Radioact.* **6**: 247–259.
- Mattson, S. & Vesanen, R. (1988). Patterns of Chernobyl fallout in relation to local weather conditions. *Env. Int.* **14**: 177–180.
- McSmith, A. (2006). Chernobyl: A poisonous legacy. *Independent*, March 14.
- Medvedev, G. (1991). *Truth about Chernobyl* (Tauris, London/New York): 288 pp.
- Medvedev, Zh. (1990). *The Legacy of Chernobyl* (Norton, New York/London): 376 pp.
- Mellander, H. (1987). Early measurements of the Chernobyl fallout in Sweden. *IEEE Trans. Nucl. Sci.* **NS-34**(1): 590–594.
- Mydans, S. (1987). Specter of Chernobyl looms over Bangladesh. *New York Times*, June 5 (cited by RADNET).
- National Belarussian Report (2006). *Twenty Years after Chernobyl Catastrophe: Consequences for Belarus and Coping Strategies* ("GosKomChernobyl," Minsk): 81 pp. (en russe).
- National Ukrainian Report (2006). *Twenty Years after Chernobyl Catastrophe: Future Outlook* ("Atika," Kiev): 216 pp. + 8 figs.
- Nesterenko, V. B. (1996). *Scale and Consequences of the Chernobyl Accident for Belarus, Ukraine and Russia* ("Pravo and Ekonomika," Minsk): 72 pp. (en russe).
- Nesterenko, V. B. (1997). *Chernobyl Catastrophe: Radiactive Protection of People* ("Pravo and Ekonomika," Minsk): 172 pp. (en russe).
- Nuclear Energy Agency NEA/OECD (1995). *Chernobyl Ten Years On: Radiological and Health Impact. An Assessment by the NEA Committee on Radiation Protection and Public Health* (Nuclear Energy Agency, Paris) ([//www.nea.fr/html/rp/reports/2003/nea3508-chernobyl.pdf](http://www.nea.fr/html/rp/reports/2003/nea3508-chernobyl.pdf)).
- Oganesyan, N. M., Oganesyan, A. N., Pogosyan, A. S. & Abramyan, A. K. (2006). Medical consequences of Chernobyl accident in Armenia. International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 142–144 (en russe).
- Oldinger, E. (1993). Large differences in public health among the Baltic countries. *Nordisk Med.* **108**(8–9): 234.
- Pakumeika, Yu. M. & Matveenka, I. I. (Eds.) (1996). *Chernobyl Consequences for Belarus* (Ministry of Emergency, PoliStail LTD, Minsk): 14 pp. (en belarusse).
- Papastefanou, C., Manolopoulou, M. & Charalambous, S. (1988a). Radiation measurements and radioecological aspects of fallout from the Chernobyl reactor accident. *J. Env. Radioact.* **7**: 49–64.
- Papastefanou, C., Manolopoulou, M. & Charalambous, S. (1988b). Silver-110m and Sb-125 in Chernobyl fallout. *Sci. Total Env.* **72**: 81–85.
- Petin, V. G. & Synsynys, B. I. (1998). *Synergy Impacts of Environmental Factors in Biological Systems* (United Nuclear Energy Institute, Obninsk): 73 pp. (en russe).
- Petrova, V. S., Polyakova, T. I. & Gres, I. A. (1996). About lead in children's blood. International Conference. *Ten Years after Chernobyl Catastrophe: Scientific Aspects* (Abstracts, Minsk): pp. 232–233 (en russe).
- Pourchet, M., Veltchev, K. & Candaudap, F. (1998). Spatial distribution of Chernobyl contamination over Bulgaria. In: Carbonnel, J.-P. & Stamenov, O. T. (Eds.), *Observation of the Mountain Environment in Europe* **7**: pp. 292–303.
- RADNET (2008). Information about source points of anthropogenic radioactivity: A Freedom of Nuclear Information Resource. The Davidson Museum, Center for Biological Monitoring ([//www.davistownmuseum.org/cbm/Rad12.html](http://www.davistownmuseum.org/cbm/Rad12.html)) (accessed March 4, 2008).

1. Contamination liée à Tchernobyl à travers le temps et l'espace

- Report of the UN Secretary General (2001). ([http://www.daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N01/568/11/PDF/N0156811.pdf?>](http://www.daccessdds.un.org/doc/UNDOC/GEN/N01/568/11/PDF/N0156811.pdf?)).
- Rich, V. (1986). Fallout pattern puzzles Poles. *Nature* **322**(6082): 765.
- Rissanen, K., Ikaheimonen, T. K. & Matishov, D. G. (1999). Radionuclide concentrations in sediment, soil and plant samples from the archipelago of Franz Joseph Land, an area affected by the Chernobyl fallout. Fourth International Conference on Environment and Radioactivity in the Arctic, Edinburgh, Scotland, September 20–23, 1999 (Abstracts, Edinburgh): pp. 325–326.
- Rolevich, I. V., Kenik, I. A., Babosov, E. M. & Lych, G. M. (1996). Social, economic, institutional and political impacts. Report for Belarus. In: Proceedings of International Conference. *One Decade after Chernobyl: Summing up the Consequences of the Accident* (IAEA, Vienna): pp. 411–428.
- Roy, J. C., Cote, J. E., Mahfoud, A., Villeneuve, S. & Turcotte, J. (1988). On the transport of Chernobyl radioactivity to Eastern Canada. *J. Env. Radioac.* **6**: 121–130.
- Samushia, D. A., Kiselev, N. S. & Permynov, V. P. (2007). Implementation of the aircrafts during liquidation of the Chernobyl accident. In: *Chernobyl 1986–2006: Scientific Analysis for Future* (www.ugatu.ac.ru/publish) (en russe).
- Sanderson, D. C. W. & Scott, E. M. (1989). Aerial radiometric survey in West Cumbria 1988: Project N 611 (Ministry of Agriculture, Fisheries and Foods [MAFF], London) (cited by Busby, 1995).
- Sich, A. R. (1996). The Chernobyl accident revisited: Part III. Chernobyl source term release dynamics and reconstruction of events during the active phase. *Nuclear Safety* **36**(2): 195–217.
- Smith, J. T., Comans, R. N. J., Beresford, N. A., Wright, S. M., Howard, B. J. & Camplin, W. C. (2000). Contamination: Chernobyl's legacy in food and water. *Nature* **405**: 141.
- Sokolov, V. E. & Krivolutsky, D. A. (1998). Change in ecology and biodiversity after a nuclear disaster in the Southern Urals ("Pentsoft," Sofia/Moscow): 228 pp.
- Spezzano, P. & Giacomelli, R. (1990). Radionuclide concentrations in air and their deposition at Saluggia (northwest Italy) following the Chernobyl nuclear accident. *J. Env. Radioact.* **12**(1): 79–92.
- Tsalko, V. G. (2005). Presentation of Chairman of the State Committee on the Chernobyl Catastrophe's Consequences. Concluding Conference of the International Chernobyl Forum (www-ns.iaea.org/downloads/rw/conferences/Chernobyl).
- Tscheglov, A. I. (1999). *Biogeochemistry of Technogenic Radionuclides in Forest Ecosystems: Materials from 10 Years of Investigation in the Chernobyl Zone* ("Nauka," Moscow): 268 pp. (en russe).
- UNSCEAR (1988). UN Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. Report to the General Assembly. Annex: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation (UN, New York): 126 pp.
- UNSCEAR (2000). UN Scientific Committee on the Effect of Atomic Radiation. Report to the General Assembly. Annex J. Exposures and Effects of the Chernobyl Accident (UN, New York): 130 pp.
- Vukovic, Z. (1996). Estimate of the radio-silver release from Chernobyl. *J. Env. Radioact.* **34**(2): 207–209.
- Xiang, L. (1998). Dating sediments on several lakes inferred from radionuclide profiles. *J. Env. Sci.* **10**: 56–63.
- Yablokov, A. V. (2002). *Myth on Safety of Low Doses of Radiation* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): 180 pp. (en russe).
- Yablokov, A., Labunska, I. & Blokov, I. (Eds.) (2006). *The Chernobyl Catastrophe: Consequences for Human Health* (Greenpeace International, Amsterdam): 138 pp.
- Zhuravkov, V. V. & Myronov, V. P. (2005). Using GIS-technology for estimation of Republic Belarus contamination by iodine radionuclide during active period of the accident. *Trans. Belarus Acad. Eng.* **2**(20): 187–189 (en russe).
- Ziegel, H. & Ziegel, A. (Eds.) (1993). *Some Problems in Heavy Metals Toxicology* (Mir, Moscow, Transl. from English): 367 pp. (en russe).

Partie II. Conséquences de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé publique

Alexey V. Yablokov ^a et N.E. Preobrajenskaya ^b

^a *Académie des Sciences de Russie, Moscou, Russie*

^b *Fondation « Sauvez les enfants de l'Ukraine de la catastrophe de Tchernobyl »*

Mots clés : Tchernobyl ; secret ; irradiation ; statistiques de santé

Chapitre 2. Conséquences de Tchernobyl sur la santé publique

Quelques problèmes méthodologiques

Alexey V. Yablokov

Le secret officiel et la falsification des registres médicaux par l'URSS durant les 3 années et demie qui ont suivi la catastrophe ainsi que le manque de statistiques médicales fiables en Ukraine, au Belarus et en Russie font partie des problèmes qui ont rendu complexe une évaluation complète des effets de Tchernobyl. Les données officielles concernant les milliers d'agents de nettoyage (les « liquidateurs » de Tchernobyl) qui ont œuvré pour limiter les émissions radioactives, sont particulièrement difficiles à reconstruire. L'utilisation des critères exigés par l'AIEA, l'OMS et l'UNSCEAR a entraîné une sous-estimation prononcée du nombre de décès, de l'étendue et du degré de maladie chez les personnes exposées aux retombées radioactives de Tchernobyl. Les données sur les expositions étaient absentes ou manifestement insuffisantes, alors que les indices croissants d'effets indésirables étaient de plus en plus apparents. L'utilisation des informations objectives recueillies par les scientifiques dans les régions affectées – comparaisons de la morbidité et de la mortalité dans des territoires caractérisés par une physiographie, une démographie et une économie identiques, ne différant que par les niveaux et les spectres de contamination radioactive – a révélé des anomalies significatives associées à l'irradiation, sans rapport avec l'âge ou le sexe (par exemple, des aberrations chromosomiques stables) ainsi que d'autres pathologies génétiques et non génétiques.

Les premières prévisions officielles des conséquences sanitaires catastrophiques de la fusion des réacteurs de Tchernobyl n'ont annoncé qu'un nombre limité de cas de cancer au cours des premières décennies. Quatre ans plus tard, ces mêmes instances officielles ont augmenté le nombre de cas prévisibles de cancers à plusieurs centaines [Il'in *et al.*, 1990], à un moment où 1 000 personnes souffraient déjà d'un cancer de la thyroïde engendré par Tchernobyl. Vingt ans après la catastrophe, la position officielle du Forum de Tchernobyl (2006) est qu'environ 9 000 décès liés à Tchernobyl ont eu lieu et qu'environ 200 000 personnes souffrent de maladies provoquées par la catastrophe.

Des estimations plus exactes font état de près de 400 millions d'êtres humains exposés aux retombées radioactives de Tchernobyl et prévoient qu'ils en subiront les conséquences dévastatrices ainsi que leurs descendants sur de nombreuses générations. Au niveau mondial, les effets néfastes sur la santé publique nécessiteront pendant très longtemps la poursuite d'études spécifiques. Celle-ci rassemble les données concernant la santé des populations de

la partie européenne de l'ex-URSS (principalement l'Ukraine, le Belarus et la Russie européenne), pour laquelle un très grand corpus de littérature scientifique a été publié, mais reste peu connu en Occident.

L'objectif du présent ouvrage n'est pas de proposer une analyse exhaustive de tous les faits disponibles concernant les effets désastreux de Tchernobyl – analyser tous les effets connus de la catastrophe de Tchernobyl remplirait de nombreuses monographies à part entière –, mais plutôt d'élucider l'ampleur et le spectre connus de ses conséquences.

2.1. Difficultés à obtenir des données objectives sur l'impact de la catastrophe

Pour des raisons à la fois subjectives et objectives, il est très difficile de dresser un tableau exhaustif de l'influence de Tchernobyl sur la santé publique.

Les raisons subjectives comprennent :

1. Le secret officiel que l'URSS a imposé sur les données de santé publique con-

2. Conséquences de Tchernobyl sur la santé publique

cernant Tchernobyl dans les premiers jours après la fusion des réacteurs et qui a été maintenu pendant plus de 3 ans – jusqu'au 23 mai 1989, date de levée de l'interdiction. Pendant ces 3 années, un nombre inconnu de personnes sont mortes de leucose précoce. Le secret était la norme, non seulement en URSS, mais également dans d'autres pays, y compris la France, la Grande-Bretagne et même les États-Unis. Après l'explosion, en France, le Service central de protection contre les radiations ionisantes (SCPRI) a nié le passage du nuage radioactif sur la France [CRIIRAD, 2002] et le Département de l'agriculture des États-Unis a omis de divulguer que des niveaux dangereux de radionucléides de Tchernobyl avaient été trouvés dans des aliments importés en 1987 et 1988. La première annonce publique de ces contaminations n'a été faite que 8 ans plus tard [RADNET, 2008, section 6 et section 9, partie 4].

2. La falsification officielle, irréversible et intentionnelle des statistiques médicales par l'URSS pendant les 42 premiers mois suivant la catastrophe.
3. L'absence de statistiques médicales authentiques en URSS et après sa disparition en 1991, aussi bien qu'en Ukraine, au Belarus et en Russie, y compris des données concernant la santé de centaines de milliers de personnes ayant quitté les territoires contaminés.
4. La volonté délibérée des organismes officiels nationaux et internationaux et de l'industrie nucléaire de minimiser les conséquences de la catastrophe.

« Le nombre des personnes ajoutées aux registres de l'État concernant la catastrophe de Tchernobyl continue de croître, même pendant les années les plus récentes, ce qui jette un doute sur l'exhaustivité et l'exactitude de la documentation. Les données concernant la mortalité et la fréquence du cancer sont recueillies auprès de nombreuses et diverses sources et sont codées sans tenir compte des normes internationales (...) les données de santé publique liées à l'accident de Tchernobyl sont difficiles à comparer avec les statistiques sanitaires d'État officielles. » (...) [UNSCEAR, 2000, annexe J, p.496]

La situation des liquidateurs est révélatrice. Leur nombre total dépasse les 800 000 (voir [Partie I](#)). Dans les premières années après la catastrophe, il a été officiellement interdit d'associer aux rayonnements les maladies dont ils souffraient et, en conséquence, leurs données de morbidité ont été irréversiblement falsifiées jusqu'en 1989.

EXEMPLES D'EXIGENCES OFFICIELLES QUI ONT FALSIFIÉ LES DONNÉES DE MORBIDITÉ DES LIQUIDATEURS

1. « (...) Pour des personnes précises hospitalisées après exposition aux rayonnements ionisants et ne présentant pas de signes ni de symptômes de syndrome d'irradiation aiguë au moment de leur sortie, le diagnostic doit être « dystonie vasculaire végétative ». [Extrait d'une lettre du Premier ministre délégué à la santé publique d'URSS, O. Shchepin, au ministère ukrainien de la santé publique, 21 mai 1986, # 02-6/83-6, – cité par V. Boreiko, 1996, pp. 123-124].
2. « (...) Pour les travailleurs impliqués dans des activités d'urgence qui ne présentent pas de signes ni de symptômes du syndrome d'irradiation aiguë, le diagnostic de « dystonie vasculaire végétative » est équivalent à une absence de changement dans leur état de santé en rapport avec les rayonnements (c'est à dire, à toutes fins utiles, en bonne santé et non soumis à une maladie liée aux rayonnements). Ainsi, le diagnostic n'exclut pas les symptômes somato-neurologiques, y compris la névrose de situation (...) » [Extrait d'un télégramme du Chef de la Troisième administration principale du ministère de la santé de l'URSS, E. Shulzhenko, # "02 DSP" -1, datée du 4 janvier 1987 – cité par L. Kovalevskaya, 1995, p. 189].
3. « (1) Pour les conséquences différées, provoquées par les rayonnements ionisants et dans une relation de cause à effet, il est nécessaire de prendre en compte : la leucémie ou la leucose 5 à 10 ans après une irradiation à des doses dépassant 50 rads. (2) En présence de maladie somatique aiguë et de déclenchement de maladies chroniques chez des personnes impliquées dans la liquidation, mais qui n'ont pas d'ARS (syndrome d'irradiation aiguë – Eds.), l'effet des rayonnements ionisants ne devrait pas être inclus dans une relation de causalité.

2. Conséquences de Tchernobyl sur la santé publique

(3) Lors de la délivrance des certificats de maladie à des personnes impliquées dans les travaux sur la centrale nucléaire de Tchernobyl qui n'ont pas souffert d'ARS, au point « 10 » ne pas mentionner la participation à des activités de liquidation ni la dose totale de rayonnement si celle-ci n'a pas atteint le degré du mal des rayons » [d'après « une note explicative de la Commission centrale de santé militaire du ministère soviétique de la défense, # 205 datée du 8 juillet 1987, » adressée par le chef de la 10ème Commission centrale de santé militaire, Colonel V. Bakshutov, aux bureaux militaires d'enregistrement et d'engagement – cité par Kovalevskaya L., 1995, p. 12].

Les données des registres officiels des liquidateurs en Russie, en Ukraine et au Belarus ne peuvent pas être considérées comme fiables parce que le statut de « liquidateur » est soumis à une grande discrétion. Nous ne savons pas si une personne décrite comme « liquidateur » a vraiment été directement exposée aux radiations et nous ne connaissons pas le nombre de personnes qui ont été dans la zone contaminée pendant un temps limité. En même temps, des liquidateurs qui ont servi sur le site et n'ont pas été répertoriés dans les registres officiels se font connaître maintenant. Parmi eux se trouvent les militaires qui ont participé aux opérations de Tchernobyl, mais qui n'ont pas de papiers attestant de leur présence [Mityunin, 2005]. Par exemple, sur près de 60 000 militaires recensés ayant participé aux opérations de nettoyage dans la zone de Tchernobyl, pas un seul (!) n'a eu un signalement de plus de 25 R (le niveau considéré comme « normal » à l'époque) sur sa carte d'identité militaire. Dans le même temps, une enquête sur 1 100 militaires ukrainiens agents de décontamination a révélé que 37% d'entre eux présentent les caractéristiques cliniques et hématologiques du mal des rayons, ce qui signifie que ces hommes ont reçu plus de 25 R d'exposition [Kharchenko *et al.*, 2001]. Ce n'est pas par hasard si, 15 ans après la catastrophe, jusqu'à 30% des liquidateurs russes n'avaient aucune mention de la dose de rayonnement reçue sur leurs certificats officiels [Zubovsky et Smirnova, 2000].

On sait qu'« il a fallu attendre plusieurs mois avant qu'un suivi dosimétrique ne soit

réellement mis en place pour les liquidateurs opérant dans la zone de la centrale » [Gerashimova *et al.*, 2001]. Il était courant d'utiliser ce qu'on appelait une « dosimétrie de groupe » et une « évaluation de groupe ». Même les représentants médicaux officiels reconnaissent que nombre de liquidateurs russes pourraient avoir reçu des doses sept fois (!) supérieures à 25 cGy, le niveau spécifié par le Registre de l'État russe [Iline *et al.*, 1995]. Cette preuve, basée sur des données officielles, rend totalement obsolète et non fiable la relation « officielle » dose/maladie chez les liquidateurs.

DEUX EXEMPLES DE DISSIMULATION DE DONNÉES RÉELLES SUR LES CONSÉQUENCES DE LA CATASTROPHE

1. « (4) Classifier les informations sur l'accident (...). (8) Classifier les informations sur les résultats du traitement médical. (9) Classifier les informations sur le degré des effets d'une contamination radioactive sur le personnel qui a participé à la liquidation des conséquences de l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl. » [Extrait d'un ordre du Chef de la Troisième administration principale du ministère de la santé de l'URSS, E. Shulzhenko, concernant le renforcement du secret qui entoure les activités liées à la liquidation des conséquences de l'accident nucléaire de la centrale nucléaire de Tchernobyl, # U-2617-S, 27 juin 1986 – cité par L. Kovalevskaya, 1995, p.188].
2. « (2) Dans les dossiers des patients, les données liées à l'accident accumulées dans des établissements médicaux doivent avoir un statut « d'accès limité ». Et les données enregistrées dans les établissements régionaux et municipaux de contrôle sanitaire, (...) sur la contamination radioactive d'objets, de l'environnement (incluant la nourriture) qui dépassent la concentration maximale admissible sont « classifiées ». [Extrait de l'ordre # 30-S du ministre de la santé de l'Ukraine, A. Romanenko, le 18 mai 1986, sur le renforcement du secret – cité par Baranov'ska, 1996, p. 139-].

La comparaison des données enregistrées par des méthodes de biodosimétrie individuelle (par le nombre d'aberrations chromosomiques et par la dosimétrie par résonance paramagné-

tique électronique – RPE –) a montré que les doses de radiation officiellement enregistrées peuvent être à la fois sur et sous-estimées [Elyseeva, 1991 ; Vinnikov *et al.*, 2002 ; Maznik *et al.*, 2003 ; Chumak, 2006 ; et d'autres]. La documentation sur Tchernobyl admet largement que des dizaines de milliers de liquidateurs de Tchernobyl ayant travaillé en 1986-1987 ont été irradiés à des niveaux de 110-130 mSv. Certaines personnes (et, en conséquence, certains groupes) pourraient avoir reçu des doses considérablement différentes de la dose moyenne. Tout ce qui précède indique que, d'un strict point de vue méthodologique, il est impossible de corrélérer la pathologie chez les liquidateurs avec les niveaux de rayonnement officiellement enregistrés. Les données dosimétriques officielles pour la thyroïde et la certification dosimétrique en Ukraine ont été révisées plusieurs fois [Burlak *et al.*, 2006].

En plus des raisons subjectives notées ci-dessus, il existe au moins deux raisons objectives majeures concernant la difficulté d'établir la véritable ampleur de l'impact de la catastrophe sur la santé publique. Le premier obstacle est la détermination de l'impact véritable de la radioactivité sur les individus et les groupes de population, en raison des facteurs suivants :

- Difficulté à reconstituer les doses de radionucléides rejetés dans les premiers jours, semaines et mois après la catastrophe. Les niveaux de radio-isotopes tels que l'I-133, l'I-135, le Te-132 et un certain nombre d'autres radionucléides à demi-vie courte ont été initialement des centaines et des milliers de fois plus élevés que les niveaux de Cs-137 mesurés par la suite (voir [Partie I](#) pour plus de détails). De nombreuses études ont révélé que les taux des aberrations chromosomiques instables et stables sont beaucoup plus élevés – de un à deux ordres de grandeur – que ce que l'on pourrait attendre si les estimations des expositions étaient correctes [Pflugbeil et Schmitz-Feuerhake, 2006].
- Difficulté à calculer l'influence des « particules chaudes » pour les différents radionucléides en raison de leurs propriétés physiques et chimiques.
- Difficulté à déterminer les niveaux d'irradiation externe et interne pour une personne normale et/ou un groupe parce que les « doses » n'ont pas été directement mesurées et que les calculs ont été fondés sur des hypothèses douteuses. Ces hypothèses incluaient la consommation moyenne d'un ensemble de denrées alimentaires par une personne « normale » et un niveau moyen d'irradiation externe due à chacun des radionucléides. À titre d'exemple, tous les calculs officiels de l'irradiation de la thyroïde au Belarus étaient fondés sur environ 200 000 mesures faites en mai-juin 1986 sur moins de 130 000 personnes, soit seulement 1,3% de la population totale. Tous les calculs pour l'irradiation interne de millions de Belarusses ont été faits sur la base d'un sondage d'opinion auprès de plusieurs milliers de personnes concernant leur consommation de lait et de légumes [Borysevich et Poplyko, 2002]. Une reconstruction objective des doses reçues ne peut se faire sur la base de telles données.
- Difficulté à déterminer l'influence de la répartition inégale des radionucléides (spécifique pour chacun d'eux ; voir [Partie I](#) pour les détails) et, en conséquence, forte probabilité que les doses individuelles de rayonnement soient à la fois supérieures et inférieures aux doses « moyennes » pour le territoire.
- Difficulté à prendre en compte chacun des multiples radionucléides dans un territoire. Le Sr-90, le Pu et l'Am peuvent également contaminer une zone considérée comme uniquement contaminée par le Cs-137. Par exemple, dans 206 échantillons de lait maternel, prélevés dans six districts des provinces de Gomel, Moguilev et Brest (Belarus), où les niveaux officiels de radiation n'avaient été définis que pour la contamination par le Sr-90, des niveaux élevés de Cs-137 ont également été trouvés [Zubovich *et al.*, 1998].
- Difficulté à prendre en compte la circulation des radionucléides du sol vers les chaînes alimentaires, les niveaux de contamination pour chaque espèce animale et végétale. Les mêmes difficultés existent pour les différents types de sol, les saisons et les conditions climatiques, ainsi que pour les différentes

2. Conséquences de Tchernobyl sur la santé publique

années (voir Partie III du livre pour les détails).

- Difficulté à déterminer la santé des personnes qui sont parties des zones contaminées. Même en tenant compte des données officielles incomplètes pour la période de 1986 à 2000, pour le seul Belarus, près de 1,5 millions de citoyens (15% de la population) ont changé de lieu de résidence. Pendant la période 1990-2000, plus de 675 000 personnes, soit environ 7% de la population, ont quitté le Belarus [Rapport national du Belarus, 2006].

Le deuxième obstacle objectif à la détermination de l'impact véritable de la radioactivité sur les personnes et/ou les groupes de population est l'insuffisance d'informations et en particulier, les études incomplètes sur les éléments suivants :

- La spécificité de l'influence de chaque radionucléide sur un organisme et leur effet conjugué à d'autres facteurs de l'environnement.
- La variabilité des populations et des individus quant à la radiosensibilité [Yablokov, 1998 ; et d'autres].
- L'impact des très faibles doses [Petkau, 1980 ; Graeb, 1992 ; Burlakova, 1995 ; ECRR, 2003].
- Les influences de la radioactivité interne après ingestion [Bandajevsky *et al.*, 1995 ; Bandajevsky, 2000, 2005, 2009].

Les facteurs ci-dessus montrent le caractère scientifiquement fallacieux des exigences de l'AIEA, de l'OMS, de l'UNSCEAR et de semblables organismes officiels nationaux associés à l'industrie nucléaire. Ils exigent une corrélation simple entre « un niveau de rayonnement et un effet » pour reconnaître les effets négatifs sur la santé comme une conséquence de la contamination radioactive de Tchernobyl. Il est méthodologiquement incorrect de combiner des niveaux mal définis d'exposition aux rayonnements ionisants pour des personnes ou des groupes avec les répercussions bien plus précises des impacts sur la santé (augmentation de la morbidité et de la mortalité) et d'exiger une « corrélation statistiquement significative » comme preuve concluante des effets délétères de Tchernobyl. On découvre de plus

en plus de cas dans lesquels le calcul des doses de rayonnement n'est pas en corrélation avec des impacts observables sur la santé alors qu'ils sont manifestement dus à l'irradiation [IPECA, 1995 ; Vorob'iev et Chklovski-Kodry, 1996 ; Adamovich *et al.*, 1998 ; Drozd, 2002 ; Lyubchenko, 2001 ; Kornev *et al.*, 2004 ; Igumnov *et al.*, 2004 ; et d'autres]. Tous ces éléments ne prouvent pas l'absence d'effet du rayonnement, mais démontrent bien l'imprécision de la méthodologie de l'approche officielle de l'AIEA, de l'OMS et de l'UNSCEAR.

2.2. Les « protocoles scientifiques »

Selon le Forum de Tchernobyl (2006), une objection courante à la prise en compte de l'énorme masse de données concernant les conséquences sur la santé publique de la catastrophe de Tchernobyl en Russie, en Ukraine et au Belarus est que ces données ont été recueillies sans observer les « protocoles scientifiques » qui constituent la norme pour la science occidentale. Généralement, cela signifie qu'il n'y a pas eu de protocole statistique de traitement des données reçues. Ainsi, il n'a pas été démontré que des différences effectives entre les paramètres comparés – par exemple entre les groupes fortement contaminés et ceux de territoires moins contaminés ou entre les groupes de zones avec différents niveaux de rayonnement –, étaient statistiquement significatives. Dans les dernières décennies – un laps de temps suffisant pour que les effets deviennent manifestes – au fur et à mesure que les informations se sont accumulées, une gamme de valeurs s'est avérée être incluse dans les limites de la vraie « signification statistique ».

L'un des auteurs a une grande expérience dans le traitement statistique de la diversité du matériel biologique – l'étude *Variabilité des mammifères* [Yablokov, 1974] contient des milliers de calculs de données de divers paramètres et comparaisons biologiques. Dans d'autres études, comme *Introduction à la phénétique des populations* [Yablokov et Larina, 1985] et *Biologie des populations* [Yablokov, 1987], les approches méthodologiques ont été analysées afin d'obtenir de manière fiable des conclusions statistiquement significatives pour différents types de caractéristiques biologiques. En généralisant ces facteurs et d'autres concernant les traitements statistiques de données biologiques et épidémiologiques, il est possible de formuler quatre points de vue :

2. Conséquences de Tchernobyl sur la santé publique

1. Le calcul « de fiabilité des différences de Student », élaboré il y a un siècle environ pour la comparaison d'échantillons de très petite taille, n'est pas pertinent pour les échantillons de grande taille. Quand la taille de l'échantillon est comparable à celle de l'ensemble, la valeur moyenne est un paramètre suffisamment précis. Beaucoup d'études épidémiologiques sur Tchernobyl contiennent des données sur des milliers de patients. Dans ces cas, les moyennes montrent avec une grande fiabilité des différences réelles entre les échantillons comparés.
2. Pour déterminer s'il existe une différence significative entre des moyennes qui divergent de plusieurs ordres, il n'est pas nécessaire de calculer des « écarts-types ». Par exemple, pourquoi établir un calcul formel de « la fiabilité des différences » entre les morbidités des liquidateurs en 1987 et 1997 si les moyennes diffèrent d'un facteur dix ?
3. Comme on ne connaît jamais exhaustivement l'ensemble des facteurs agissant sur tel ou tel paramètre, il ne faut pas s'emballer sur la précision apparente de la définition de « l'ampleur de l'impact » des différents facteurs.
Des collègues de l'institution nucléaire ont mis au ban l'un des auteurs (A.Y.) pour avoir cité dans un article scientifique l'histoire du célèbre roman « *La Supplication* », de Svetlana Aleksievich. Mme Aleksievich parle d'un médecin voyant une femme de 70 ans allaitant dans un village de Tchernobyl. Par la suite, des communications scientifiques bien fondées ont signalé le lien entre le rayonnement et la production anormale de prolactine, une cause de sécrétion lactée chez les femmes âgées.
4. Lorsque l'analyse de cas de caractéristiques individuelles exclusives dans un grand ensemble de données ne correspond pas au calcul des valeurs moyennes, il est nécessaire d'utiliser une approche probabiliste. Dans une certaine littérature épidémiologique moderne, l'approche « cas témoins » est très appréciée, mais il est également possible de calculer la probabilité de constellations de cas très rares, sur la base de données publiées antérieurement. La méthodolo-

gie de la recherche scientifique sera toujours améliorée et les « protocoles scientifiques » d'aujourd'hui avec, par exemple, les « intervalles de confiance » et les « cas témoins », ne sont pas parfaits.

Il est normal et justifié, au bénéfice de la société toute entière, d'analyser les conséquences de la plus grande catastrophe de l'Histoire et d'utiliser l'énorme base de données recueillies par des milliers de professionnels dans les territoires contaminés par la radioactivité, même si la forme de certaines de ces données ne correspond pas à celle des protocoles scientifiques occidentaux. Cette base de données doit être utilisée, car il est impossible de recueillir d'autres données après coup. Les médecins et les scientifiques qui ont collecté ces données ont, en priorité, essayé d'aider les victimes et ensuite, en raison du manque de temps et de ressources, ils n'ont pas toujours été en mesure de faire publier leurs conclusions. Il est révélateur que de nombreuses conférences en médecine ou épidémiologie sur les problèmes de Tchernobyl au Belarus, en Ukraine et en Russie aient été officiellement appelées « conférences scientifiques et pratiques ». Les thèses universitaires et les résumés de ces conférences ont parfois été les uniques sources d'information résultant de l'examen de centaines de milliers de personnes atteintes de pathologies. Bien que la catastrophe ait été rapidement et largement ignorée, ces informations doivent être mises à la disposition de tout le monde. Certaines données très importantes, divulguées lors des conférences de presse, mais jamais publiées dans aucun document scientifique, sont citées dans le présent volume.

La mortalité et la morbidité sont incontestablement plus élevées chez les experts médicaux qui ont travaillé avec abnégation dans les territoires contaminés et ont subi une exposition supplémentaire au rayonnement, notamment une exposition aux isotopes radioactifs de patients contaminés. Beaucoup de ces médecins et scientifiques sont morts prématurément, ce qui est une raison supplémentaire pour que les résultats médicaux de Tchernobyl n'aient jamais été publiés.

Les données présentées lors des nombreuses conférences scientifiques et pratiques sur Tchernobyl au Belarus, en Ukraine et en Russie de 1980 à 1990 ont fait l'objet de brèves

publications dans des périodiques et des revues ainsi que dans divers recueils de documents (« *sborniks* »), mais il est impossible de les rassembler à nouveau. Nous devons rejeter la critique de « protocoles inadaptés du point de vue scientifique » et chercher des moyens d'extraire de ces données une information précieuse et objective. À ce propos, notons que dans les publications officielles de l'UNSCEAR sur la radioprotection, il n'est pas rare qu'il soit fait référence à des documents n'ayant pas fait l'objet d'analyses dans des revues scientifiques, voire à des manuscrits.

En novembre 2006, le Comité de la République Fédérale d'Allemagne sur les rayonnements ionisants a organisé le BfS-Workshop sur les « Conséquences de Tchernobyl sur la santé » à Nuremberg. Ce fut une occasion rare pour les spécialistes ayant des approches différentes de mener des discussions ouvertes et approfondies et d'analyser les conséquences sanitaires de la catastrophe. Une conclusion atteinte au cours de cette réunion est particulièrement importante pour les données anciennes recueillies à propos de Tchernobyl : il est raisonnable de douter des données ne répondant pas aux critères des protocoles scientifiques occidentaux uniquement lorsque des études utilisant le même matériau ou des matériaux similaires divergent. Des points de vue à la fois scientifique et socio-éthique, nous ne pouvons pas refuser de discuter de données qui ont été acquises en l'absence de protocoles scientifiques rigoureux.

2.3. Rejeter l'impact des radionucléides de Tchernobyl est une erreur

Les rayonnements ionisants naturels ont toujours été un élément de la vie sur la Terre. En effet, ils sont l'une des principales sources des mutations génétiques permanentes – la base de la sélection naturelle et de tous les processus évolutifs. Toute vie sur terre – y compris l'être humain – a évolué et s'est adaptée à la présence de ce rayonnement naturel.

Certains ont estimé que « les retombées de Tchernobyl n'ont fait qu'ajouter environ 2% à la radioactivité naturelle mondiale ». Ce « seulement » 2% semble trompeusement dérisoire : pour de nombreuses populations dans l'Hémisphère Nord, la dose de rayonnement liée à Tchernobyl pourrait être de nombreuses fois supérieure à celle du rayonnement naturel, alors que pour d'autres (surtout dans l'Hémis-

phère Sud), elle peut être proche de zéro. Le calcul de la moyenne des doses de rayonnement liées à Tchernobyl n'a pas plus de signification que celui de la moyenne de la température de patients hospitalisés.

Un autre débat concerne le fait que beaucoup d'endroits au monde sont soumis à une radioactivité naturelle plusieurs fois supérieure à la moyenne des retombées de Tchernobyl et puisque des êtres humains habitent ces zones sans problème, les retombées radioactives de la catastrophe de Tchernobyl ne sont donc pas si importantes. Discutons de cela en détail. Les êtres humains ont un niveau de variation individuelle de radiosensibilité similaire à celui des campagnols et des chiens : 10 à 12% des êtres humains ont une radiosensibilité individuelle plus faible (et environ 10 à 14% en ont une plus élevée) que l'ensemble des individus [Yablokov, 1998, 2002]. Des expériences sur la radiosensibilité des mammifères effectuées sur les campagnols ont montré la nécessité d'une forte sélection pendant environ 20 générations pour fonder une population d'individus moins radiosensibles [Il'enko et Krapivko, 1988]. Si ce qui est vrai pour les populations expérimentales de campagnols est également vrai pour les êtres humains dans les zones contaminées de Tchernobyl, cela signifie que dans 400 ans (20 générations humaines) les populations locales dans les zones contaminées par Tchernobyl pourront être moins radiosensibles qu'elles ne le sont aujourd'hui. Est-ce que les personnes ayant une radiorésistance réduite sont prêtes à accepter que leur descendance soit la première à être éliminée ?

Une analogie physique peut illustrer l'importance d'une charge supplémentaire de radioactivité, aussi modeste soit-elle : seulement quelques gouttes d'eau ajoutées dans un verre rempli à ras bord suffisent à provoquer un débordement. Les mêmes quelques gouttes peuvent provoquer le débordement d'un tonneau rempli à ras bord. La radioactivité naturelle peut être aussi petite qu'un verre ou grosse comme un tonneau. Indépendamment de son volume, nous ne savons tout simplement pas quand *une seule* petite quantité additionnelle de radiations de Tchernobyl entraînera un débordement des dommages et des changements irréversibles pour la santé des êtres humains et pour la nature.

Tout le raisonnement ci-dessus montre clairement que nous ne pouvons pas négliger l'irradiation de Tchernobyl, même si elle repré-

sente « seulement » 2% de la moyenne mondiale du rayonnement naturel.

2.4. Déterminer l'impact de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé publique

Il est clair que divers radionucléides provoquent des maladies radiogéniques dues à la fois à une irradiation interne et externe. On peut déterminer l'influence de ces rayonnements de plusieurs façons :

- Comparer la morbidité, la mortalité et des questions telles que la performance des étudiants dans plusieurs territoires identiques par leurs caractéristiques environnementales, sociales, économiques et ne différant que par le niveau de contamination radioactive [Almond *et al.*, 2007]. Ceci est l'approche la plus courante dans les études sur la catastrophe de Tchernobyl.
- Comparer la santé des mêmes personnes (ou des familles génétiquement proches : parents, enfants, frères et sœurs) avant et après irradiation en utilisant des indices de santé qui ne reflètent pas les différences d'âge et de sexe, par exemple les aberrations chromosomiques stables.
- Comparer les caractéristiques, surtout la morbidité, pour les groupes ayant des concentrations différentes de radionucléides incorporés. Dans les toutes premières années après la catastrophe, pour 80 à 90% de la population, la dose d'irradiation interne était essentiellement due au Cs-137. Ainsi, pour les personnes non contaminées par d'autres radionucléides, la comparaison des maladies chez celles qui présentent des niveaux différents de Cs-137 absorbé donne des résultats objectifs de son influence. Comme cela a été démontré par le travail de l'Institut BELRAD (Minsk), cette méthode est particulièrement efficace pour les enfants nés après la catastrophe (voir Partie IV pour les détails).
- Mettre en évidence l'agrégation des groupes de maladies rares dans l'espace et le temps et la comparer avec celle des territoires contaminés [par exemple, l'étude des leucoses spécifiques dans la

province russe de Briansk ; Osechinsky *et al.*, 1998].

- Mettre en évidence les modifications pathologiques dans des organes spécifiques, les maladies et la mortalité qui en découlent par rapport aux niveaux de radionucléides incorporés, par exemple dans les tissus cardiaques des habitants de la province de Gomel au Belarus [Bandajevsky, 2000, 2005, 2009].

Pour quelques spécialistes, il est méthodologiquement erroné de mettre l'accent sur « l'absence de preuve » et d'insister sur la corrélation « statistiquement significative » entre les doses reçues par la population et les effets nocifs pour la santé. Les calculs précis de la dose reçue par la population et le débit de la dose sont pratiquement impossibles à établir puisque les données n'ont pas été correctement recueillies à l'époque. Si nous voulons vraiment comprendre et estimer l'impact sanitaire de la catastrophe de Tchernobyl d'une manière méthodologiquement correcte, il faudra le démontrer par les différences dues aux variations de niveaux radioactifs chez des populations ou des sous-groupes de population de zones contaminées dans lesquelles les territoires ou les sous-groupes sont identiques à d'autres égards.

Bibliographie

- Adamovich, V. L., Mikhalev, V. P. & Romanova, G. A. (1998). Leucocytic and lymphocytic reactions as factors of the population resistance. *Hematol. Transfusiol.* **43**(2): 36–42 (en russe).
- Aleksievich, Sv. (2006). *Voices from Chernobyl: The Oral History of the Nuclear Disaster* (Picador, New York): XIII + 236 pp.
- Almond, D. V., Edlund, L. & Palmer, M. (2007). Chernobyl's subclinical legacy: Prenatal exposure to radioactive fallout and school outcomes in Sweden. NBER Working Paper No. W13347 (<http://www.ssrn.com/abstract=1009797>).
- Bandazhevsky, Yu. I. (2000). *Medical and Biological Effects of Incorporated Radio-caesium* (BELRAD, Minsk): 70 pp. (en russe).
- Bandazhevsky, Yu. I., Lelevich, V. V., Strelko, V. V., Shylo, V. V., Zhabinsky, V. N., *et al.* (1995). *Clinical and Experimental Aspects of the Effect of Incorporated Radionuclides Upon the Organism* (Gomel Medical Institute, Gomel): 128 pp. (en russe).
- Baranov'ska, N. P. (Ed.) (1996). *Chernobyl Tragedy: Documents and Materials* ("Naukova Dumka," Kiev): 784 pp.
- Boreiko, V. Y. (1996). *Stifling the Truth about Chernobyl: White Spots of the USSR Environmental History—Russia, Ukraine* (Ecological Cultural Center, Kiev) 2: pp. 121–132 (en russe).

2. Conséquences de Tchernobyl sur la santé publique

- Borysevich, N. Y. & Poplyko, I. Y. (2002). *Scientific Solution of the Chernobyl Problems: 2001 Year Results* (Republic Radiology Institute, Minsk): 44 pp. (en russe).
- Burlak, G., Naboka, M. & Shestopalov, V. (2006). Non-cancer endpoints in children-residents after Chernobyl accident. In: *Proceedings of International Conference. Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. Contributed Papers (HOLTEH, Kiev) 1: 37–41 ([//www.tesec-int.org/T1.pdf](http://www.tesec-int.org/T1.pdf)).
- Burlakova, E. B. (1995). Low intensity radiation: Radiobiological aspects. *Rad. Protect. Dosimet.* **62**(1/2): 13–18 (en russe).
- Chernobyl Forum (2006). Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group “Health”. Bennett, B., Repacholi, M. & Carr, Zh. (Eds.) (WHO, Geneva): 167 pp. ([//www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/WHO%20Report%20on%20Chernobyl%20Health%20Effects%20July2006.pdf](http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/WHO%20Report%20on%20Chernobyl%20Health%20Effects%20July2006.pdf)).
- Chumak, V. (2006). Verification of the Chernobyl Registry dosimetric data as a resource to support an efficient dosimetric solution for post-Chernobyl health effects studies. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery* (Abstracts, Kiev): pp. 2–3 (en russe).
- CRIIRAD (2002). *Contaminations Radioactives, Atlas France et Europe*. Paris, A. (Ed.) (Yves Michel Editions, Barret-sur-Meuge): 196 pp.
- Drozd, V. M. (2002). Thyroid system conditions in children irradiated in utero. *Inform. Bull.* **3**: *Biological Effects of a Low Dose of Radiation* (Belarussian Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 23–25 (en russe).
- ECRR (2003). *Recommendations of the European Committee on Radiation Risk: Health Effects of Ionizing Radiation Exposure at Low Doses for Radiation Protection Purposes* (Green Audit Books, Aberystwyth): 186 pp.
- Elyseeva, I. M. (1991). Cytogenetic effects observed in different cohorts suffering from the Chernobyl accident. M.D. Thesis. (Moscow): 24 pp. (en russe).
- Graeb, K. (1992). *The Petkau Effect: Nuclear Radiation, People and Trees* (FourWalls Eight Windows, New York): 259 pp.
- IFECA (1995). Medical Consequences of the Chernobyl Accident. Results of IFECA Pilot Projects and National Programmes. Scientific Report (WHO, Geneva): 560 pp.
- Igumnov, S. A., Drozdovich, V. V., Kylominsky, Ya. L., Sekach, N. S. & Syvolobova, L. A. (2004). Intellectual development after antenatal irradiation: Ten-year prospective study. *Med. Radiol. Radiat. Safety* **49**(4): 29–35 (en russe).
- Il’enko, A. I. & Krapivko, T. P. (1988). Impact of ionizing radiation on rodent metabolism. *Trans. USSR Acad. Sci., Biol.* **1**: 98–106 (en russe).
- Il’in, L. A., Balonov, M. I. & Buldakov, L. A. (1990). Radio-contamination patterns and possible health consequences of the accident at the Chernobyl nuclear power station. *J. Radiol. Protect.* **10**: 3–29 (en russe).
- Il’in, L. A., Kryuchkov, V. P., Osanov, D. P. & Pavlov, D. A. (1995). Irradiation level of Chernobyl accident liquidators 1986–1987 and verification of the dosimetric data. *Rad. Biol. Radioecol.* **35**(6): 803–827 (en russe).
- Kharchenko, V. P., Zubovsky, G. A. & Tararukhyna, O. B. (2001). Oncological morbidity forecast for the Chernobyl liquidators. In: P. N. Lyubchenko (Ed.), *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* (“Viribus Unitis,” Moscow): pp. 46–47 (en russe).
- Kornev, S. V., Piskunov, N. F. & Proshin, A. B. (2004). Radio-hygienic aspects of thyroid cancer in post-Chernobyl territories. *Populat. Health Env. Inf. Bull.* **11**: 20–22 (en russe).
- Kovalevskaya, L. (1995). *Chernobyl “For Official Use”: Consequences of Chernobyl* (“Abris,” Kiev): 328 pp. (en russe).
- Lyubchenko, P. N. (Ed.) (2001). *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* (“Veribus Unitis,” Moscow): 154 pp. (en russe).
- Maznik, N. A., Vinnykov, V. A. & Maznik, V. S. (2003). Variance estimate of individual irradiation doses in Chernobyl liquidators by cytogenetic analysis. *Rad. Biol. Radioecol.* **43**(4): 412–419 (en russe).
- Mityunin, A. (2005). Atomic penal battalion: National characteristics of liquidators and the consequences of radiation accidents in the USSR and Russia. *Nuclear Strategy in the XXI Century* **1**: 22 (en russe).
- National Belarussian Report (2006). *Twenty Years after the Chernobyl Catastrophe: Consequences for Belarus Republic and Its Surrounding Area* (Minsk): 112 pp. (en russe).
- National Russian Report (2001). *Chernobyl Catastrophe: Results and Problems in Overcoming the Difficulties and Consequences in Russia. 1986–2001* (Ministry of Emergency Situations, Moscow): 39 pp. ([//www.ibrae.ac.ru/russian/nat_rep2001.html](http://www.ibrae.ac.ru/russian/nat_rep2001.html)) (en russe).
- Osechinsky, I. V., Metssheryakova, L. M. & Popov, V. Yu. (1998). Non-standard approaches to the Chernobyl catastrophe, epidemiology, and space-temporal analysis of leucosis morbidity. Second International Conference. *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe*. June 1–6, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 110–111 (en russe).
- Petkau, A. (1980). Radiation carcinogenesis from a membrane perspective. *Acta Physiol. Scand.* (Suppl. 492): 81–90.
- Pflugbeil, S. & Schmitz-Feuerhake, I. (2006). How reliable are the dose estimates of UNSCEAR for populations contaminated by Chernobyl fallout? A comparison of results by physical reconstruction and biological dosimetry. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery* (Materials, Kiev): pp. 17–19.
- RADNET (2008). Information about source points of anthropogenic radioactivity: A Freedom of Nuclear Information Resource. The Davidson Museum, Center for Biological Monitoring ([//www.davistownmuseum.org/cbm/Rad12.html](http://www.davistownmuseum.org/cbm/Rad12.html)) (accessed March 4, 2008).
- UNSCEAR (2000). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. *Sources and Effects of Ionizing Radiation*. Annex G (United Nations, New York).
- Vinnykov, V. A., Maznik, N. A. & Myzyna, V. S. (2002). International Conference. *Genetic Consequences of Extraordinary Radioactive Situations* (Peoples’

2. Conséquences de Tchernobyl sur la santé publique

- Friendship University, Moscow): pp. 25–26 (en russe).
- Vorob'ev, A. I. & Shklovsky-Kodry, I. E. (1996). Tenth Chernobyl anniversary. What to do? *Hematol. Transfusiol.* **41**(6): 9–10 (en russe).
- Yablokov, A. V. (1976). *Variability of Mammals* (Amerind, New Delhi): XI + 350 pp.
- Yablokov, A. V. (1987). *Population Biology: Progress and Problems of Studies of Natural Populations*. Advanced Scientific Technologies, USSR, Biology (Mir, Moscow): 304 pp.
- Yablokov, A. V. (1998). Some problems of ecology and radiation safety. *Med. Radiol. Radiat. Safety* **43**(1): 24–29 (en russe).
- Yablokov, A. V. (2002). *Myth on Safety of the Low Doses of Radiation* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): 180 pp. (en russe).
- Yablokov, A. V. & Laryna, N. I. (1985). *Introduction into Population Phenetics: A New Approach to Natural Population Studies* ("Vysshaya Shkola," Moscow): 160 pp. (en russe).
- Zubovich, V. K., Petrov, G. A., Beresten, S. A., Kil'chevskaya, E. V. & Zemskov, V. N. (1998). Human milk and babies' health in the radioactive contaminated areas of Belarus. *Public Health* **5**: 28–30 (en russe).
- Zubovsky, G. & Smirnova, N. (2000). Chernobyl catastrophe and your health. Russian Chernobyl 4, 6, 11 ([//www.portalus.ru/modules/ecology/print.php?subaction=snowfull&id](http://www.portalus.ru/modules/ecology/print.php?subaction=snowfull&id)) (en russe).

Chapitre 3. Morbidité et invalidité globales

Alexey V. Yablokov et Natalia E. Preobrajenskaya

Dans tous les cas où l'on compare les territoires fortement contaminés par les radionucléides de Tchernobyl avec des zones moins contaminées à économie, démographie et environnement similaires, il y a une augmentation marquée de la morbidité générale dans les premiers. Le nombre de nouveau-nés malades et faibles a augmenté dans les territoires fortement contaminés du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie européenne.

Il n'existe pas de seuil pour l'impact des rayonnements ionisants sur la santé. L'explosion du bâtiment de la quatrième tranche de la centrale nucléaire de Tchernobyl a dispersé une énorme quantité de radionucléides (voir Partie I pour plus de détails). Tôt ou tard, même le plus petit supplément de rayonnement ajouté au rayonnement naturel affectera statistiquement (stochastiquement) la santé des personnes exposées ou de leurs descendants. Les modifications de la morbidité générale ont été parmi les premiers effets stochastiques de l'irradiation liée à la catastrophe de Tchernobyl.

Dans tous les cas où les territoires fortement contaminés par des radionucléides de Tchernobyl sont comparés avec des zones moins contaminées, mais similaires par l'ethnographie, l'économie, la démographie et l'environnement, on trouve une augmentation de la morbidité dans les territoires les plus contaminés, une augmentation du nombre de nouveau-nés faibles et une augmentation du handicap et de l'invalidité. Les données sur la morbidité incluses dans ce chapitre ne sont que quelques exemples parmi de nombreuses études similaires.

3.1. Belarus

1. La morbidité générale des enfants a nettement augmenté dans les territoires fortement contaminés. Ceci inclut l'augmentation de maladies précédemment rares [Nesterenko *et al.*, 1993].

2. Selon les données du ministère bélarusse de la santé publique, juste avant la catastrophe (en 1985), 90% des enfants étaient considérés comme « médicalement en bonne santé ». En 2000, moins de 20% étaient considérés comme

tels et dans la province la plus contaminée de Gomel, moins de 10% des enfants étaient bien portants [Nesterenko, 2004].

3. De 1986 à 1994, l'augmentation moyenne de la morbidité néonatale a été de 9,5%. La plus forte hausse (jusqu'à 205%), trouvée dans la province la plus contaminée de Gomel [Dzykovich *et al.*, 1996], était principalement due à la maladie parmi le nombre croissant de nourrissons prématurés.

4. Le nombre d'enfants présentant une altération du développement physique s'est accru dans les territoires lourdement contaminés [Sharapov, 2001].

5. Les enfants âgés de 0 à 4 ans au moment de la catastrophe vivant dans des zones contaminées à des niveaux de 15 à 40 Ci/km² ont eu beaucoup plus de maladies que ceux de zones contaminées à des niveaux de 5 à 15 Ci/km² [Kul'kova *et al.*, 1996].

6. En 1993, seulement 9,5% des enfants (âgés de 0 à 4 ans au moment de la catastrophe) étaient en bonne santé dans les districts de Korma et Tchetchersk de la province de Gomel, où les niveaux de Cs-137 au sol étaient supérieurs à 5 Ci/km². Quelque 37% des enfants y souffrent de maladies chroniques. L'augmentation annuelle des maladies (incidence pour 1 000, pour 16 classes de maladies) dans les zones fortement contaminées a atteint 102 à 130 cas, ce qui est considérablement plus élevé que dans les territoires moins contaminés [Gutkovsky *et al.*, 1995 ; Blet'ko *et al.*, 1995].

7. Dans le district fortement contaminé de Louninets de la province de Brest, l'incidence des maladies pour 1 000 enfants a augmenté de 3,5 fois au cours des 8 ans qui ont suivi la catastrophe (1986-1988 : 166,6 ; 1989-1991 : 337,3 ; 1992-1994 : 610,7) [Voronetsky, 1995].

3. Morbidité et invalidité globales

8. Chez les enfants du district de Stoline de la province de Brest qui ont été irradiés *in utero* par des niveaux ambiants de Cs-137 allant jusqu'à 15 Ci/km², la morbidité était significativement plus élevée pour les classes de maladies primitives 10 ans plus tard. Les diagnostics de maladies étaient manifestes dès l'âge de 6 à 7 ans [Syhik et Stozharov, 1999].

9. Dans l'ensemble du Belarus, les taux de naissances prématurées et de bébés petits pour leur âge gestationnel ont été considérablement plus élevés dans les territoires les plus contaminés au cours des 10 ans qui ont suivi la catastrophe [Tsimlyakova et Lavrent'eva, 1996].

10. Les nouveau-nés dont les mères avaient été évacuées d'une zone de contrôle strict (≥ 15 Ci/km²) présentaient de manière statistiquement significative un corps plus long mais la tête et la circonférence du thorax étaient plus petites [Akulich et Gerasymovich, 1993].

11. Dans les districts de Vetka, Narovlia, Khoïniki, Kalinkovitchi de la province de Gomel et le district de Krasnopolie de la province de Moguilev, la fréquence des fausses couches et le nombre de nouveau-nés de faible poids de naissance étaient nettement plus élevés dans les territoires fortement contaminés [Izhevsky et Meshkov, 1998].

Tableau 3.1. Contamination par la radioactivité et les métaux lourds chez les enfants des zones fortement et moins contaminées [Arinchin et al., 2002]

	Zones fortement contaminées : 73 garçons, 60 filles, âge moyen 10,6 ans		Zones moins contaminées : 101 garçons, 85 filles, âge moyen 9,5 ans	
	Premier examen (a)	Trois ans après (b)	Premier examen (c)	Trois ans après (d)
Relevé annuel de la dose réelle de radiation, en mSv	0,77	0,81	0,02**	0,03***
Pb, urine, mg/litre	0,040	0,020*	0,017**	0,03*
Cd, urine, mg/litre	0,035	0,025	0,02**	0,015
Hg, urine, mg/litre	0,031	0,021*	0,022**	0,019

* b-a, d-c ($p < 0,05$) ; ** c-a ($p < 0,05$) ; *** d-b ($p < 0,05$).

12. Le tableau 3.1 présente les résultats de deux groupes d'enfants examinés de 1995 à 2001 dans des territoires lourdement et moins contaminés. L'état de leur santé a été évalué par des études subjectives (auto-estimation) et objectives (reposant sur des observations cliniques). Chaque enfant a été suivi pendant 3 ans et les contaminations individuelles ont été déterminées en mesurant la dose de radionucléides incorporés (à l'aide d'un compteur individuel de radioactivité), la quantité de plomb et celle d'autres métaux lourds. Les données du tableau 3.1 montrent qu'au sein des groupes le niveau de contamination radioactive n'a pas changé statistiquement sur 3 ans, alors que les niveaux des métaux lourds ont légèrement diminué, à l'exception du niveau de plomb qui a augmenté dans les contrôles.

13. Le tableau 3.2 présente les résultats de l'auto-estimation de la santé des enfants. Il est clair que les enfants vivant dans les zones fortement contaminées se plaignent plus souvent de diverses maladies. Le nombre de symptômes dans le groupe vivant dans les zones

fortement contaminées a été nettement plus élevé que dans des lieux moins contaminés. Bien que le nombre de symptômes ait augmenté à la fois dans les groupes les plus fortement contaminés et dans les moins contaminés, après 3 années d'observation la plupart des paramètres restent plus élevés parmi les groupes les plus fortement contaminés.

Les données du tableau 3.3 montrent que les enfants vivant dans les zones fortement contaminées diffèrent nettement de ceux vivant dans des lieux moins contaminés pour presque toutes les maladies, à la fois dans la première et la deuxième enquête.

Les résultats dans les deux tableaux 3.2 et 3.3 donnent une image convaincante de la profonde détérioration de la santé des enfants vivant dans les zones fortement contaminées. Les auteurs de cette recherche définissent cet état comme un « syndrome de désadaptation écologique » qui sera peut-être un autre effet définitif de Tchernobyl [Gres et Arinchin, 2001].

3. Morbidité et invalidité globales

Tableau 3.2. Fréquence des symptômes (%) sur l'état de santé – Mêmes enfants que dans le tableau 3.1 [Arinchin et al., 2002]

	Zones fortement contaminées		Zones moins contaminées	
	Premier examen (a)	Trois ans après (b)	Premier examen (c)	Trois ans après (d)
Plaintes sur l'état de santé	72,2	78,9	45,7**	66,1*. ***
Faiblesse	31,6	28,6	11,9**	24,7*
Vertiges	12,8	17,3	4,9**	5,8***
Maux de tête	37,6	45,1	20,7**	25,9***
Évanouissements	0,8	2,3	0	0
Saignements de nez	2,3	3,8	0,5	1,2
Fatigue	27,1	23,3	8,2**	17,2*
Arythmies cardiaques	1,5	18,8*	0,5	0,8*. ***
Maux d'estomac	51,9	64,7*	21,2**	44,3*. ***
Vomissements	9,8	15,8	2,2**	12,6*
Brûlures d'estomac	1,5	7,5*	1,6	5,8*
Perte d'appétit	9,0	14,3	1,1**	10,3*
Allergies	1,5	3,0	0,5	5,8*

* b-a ; d-c ($p < 0,05$) ; ** c-a ($p < 0,05$) ; *** d-b ($p < 0,05$).

14. Selon les statistiques officielles de 1993-1994, la morbidité primaire a été considérablement plus élevée dans les territoires où les niveaux de Cs-137 dépassaient 15 Ci/km² [Kozhunov et al., 1996].

15. L'invalidité primaire liée à la catastrophe de Tchernobyl a nettement augmenté au Belarus après 1993, en particulier en 1997 et 1998 (Figure 3.1).

16. Dans les provinces les plus contaminées de Gomel et Moguilev, le nombre d'invalides a été nettement supérieur à celui de l'ensemble du pays. Dans la province de Gomel le nombre relatif d'invalides était plus élevé, mais dans la

province de Moguilev, il y avait plus d'enfants malades et de personnes handicapées du premier groupe [Kozhunov et al., 1996].

17. Selon les données officielles [« Conséquences médicales de l'accident de Tchernobyl », 2003], la morbidité des liquidateurs bélarusses en 1986-1987 a été significativement plus élevée que celle d'un groupe du même âge. Le taux annuel des cas de maladie parmi ce groupe de liquidateurs a été jusqu'à huit fois plus élevé que celui de la population adulte du Belarus dans son ensemble [Antypova et al., 1997].

Tableau 3.3. Fréquence des syndromes cliniques et diagnostics (%) - Mêmes enfants que dans les tableaux 3.1 et 3.2 [Arinchin et al., 2002]

Syndrome/diagnostic	Zones fortement contaminées		Zones moins contaminées	
	Premier examen (a)	Trois ans après (b)	Premier examen (c)	Trois ans après (d)
Gastrite chronique	44,2	36,4	31,9	32,9
Duodénite chronique	6,2	4,7	1,5	1,4
Gastroduodénite chronique	17,1	39,5*	11,6	28,7*
Inflammation de la vésicule biliaire	43,4	34,1	17,4**	12,6***
Dystonie vasculaire et atteinte cardiaque	67,9	73,7	40,3**	52,2*. ***
Asthénie – névrose	20,2	16,9	7,5**	11,3
Amygdalite chronique	11,1	9,2	13,6	17,2***
Caries dentaires	58,9	59,4	42,6**	37,3***
Parodontite chronique	6,8	2,4	0**	0,6

* b-a ; d-c ($p < 0,05$) ; ** c-a ($p < 0,05$) ; *** d-b ($p < 0,05$).

3. Morbidité et invalidité globales

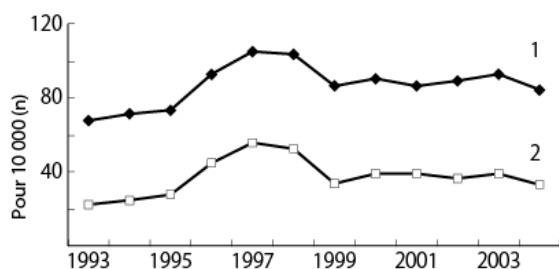


Figure 3.1. Dynamique des invalidités primaires au Belarus : 1 – invalidité globale ; 2 - invalidité officiellement liée à la catastrophe de Tchernobyl [Sosnovskaya, 2006]

18. Sur 53 liquidateurs examinés en 1990-1991 (âgés de 24 à 41 ans), 11 ont été reconnus invalides ; durant les années 1993-1998, ce nombre a atteint 26 ; en 2004, tous les patients encore en vie ont été reconnus invalides [Chirokaya *et al.*, 2010].

19. En 1993, 310 personnes furent pour la première fois officiellement reconnues invalides du fait de l'accident à la centrale de Tchernobyl ; en 2006, leur nombre s'est élevé à 556. Sur le tableau des causes d'invalidité primitive, les maladies du système circulatoire sanguin représentaient 54,6%, les tumeurs 20,8% et les maladies du système endocrinien 7,6% [Smytchek *et al.*, 2007].

3.2. Ukraine

1. Pendant les 10 premières années après la catastrophe, la morbidité générale chez les enfants d'Ukraine a sextuplé [TASS, 1998] suivie d'une légère réduction, mais 15 ans après la catastrophe, elle restait 2,9 fois supérieure à celle de 1986 (Tableau 3.4).

2. Chez des enfants et des adolescents vivant en permanence sur les territoires les plus radiocontaminés de la région de Jitomir, 10 à 14 ans après la catastrophe, 10,9% ont été jugés « en bonne santé » (le suivi a porté sur environ 14 500 sujets âgés de 5 à 16 ans) [Sorokoman, 1999].

Tableau 3.4. Morbidité primaire et morbidité totale des enfants de 0 à 14 ans des territoires fortement contaminés d'Ukraine, pour 1 000 [Grodzinsky, 1999 ; Moskalenko, 2003 ; Horishna, 2005]

Année	Morbidité primaire	Morbidité totale
1987	455	787
1994	1 139	1 652
2001	Sans objet	2 285
2004	1 423 (1 384 ^a)	Sans objet

^a [Stepanova, 2006].

3. Quand on comparait, en 1988, la morbidité des enfants de zones plus ou moins contaminées ou non-contaminées, il n'y avait pas de différence substantielle, mais la comparaison des mêmes groupes en 1995 a montré que la morbidité était nettement plus élevée dans les zones contaminées. Une forte morbidité était caractéristique des enfants des zones les plus polluées [Baida et Zhirnosocova, 1998 ; Législation ukrainienne, 2006].

4. Au cours des années 2006-2010, on a observé une hausse des cas de morbidité primaire des enfants des régions les plus radiocontaminées et des enfants de liquidateurs (nombre de maladies passant de 1 383 à 1 450 dans une population de 1 000 enfants). Cette hausse est survenue principalement du fait de maladies des organes respiratoires, de la peau et des tissus cellulaires sous-cutanés, ainsi que de malformations congénitales [Ministère ukrainien de la santé, 2011].

5. Durant les années 2008-2010 s'est produite une stabilisation des pathologies des organes des systèmes digestif, nerveux et endocrinien, du sang et de l'hématopoïèse (bien qu'en 24 ans ces affections aient globalement augmenté d'un facteur 2 à 2,5) [Ministère ukrainien de la santé, 2011].

6. Les enfants irradiés *in utero* par une exposition chronique de faible intensité avaient un poids de naissance plus faible et davantage de maladies pendant la première année de leur vie ainsi que des irrégularités dans leur développement physique [Stepanova et Davidenko, 1995 ; Zakrevsky *et al.*, 1993 ; Zapesochny *et al.*, 1995 ; Ouchakov *et al.*, 1997 ; Horishna, 2005].

7. De 1997 à 2005, le nombre d'enfants « médicalement en bonne santé » dans les zones très contaminées a baissé de plus de 6 fois, de 3,2 à 0,5% [Horishna, 2005].

8. Il y a eu un retard de croissance sensible chez les enfants de 5 à 12 ans révolus au moment de l'enquête dans les zones fortement contaminées [Arabskaya, 2001].

9. En 1999, quatre fois plus d'enfants sont tombés malades dans les territoires contaminés par rapport à la moyenne des enfants malades en Ukraine [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

10. Au début de 2005, le pourcentage d'enfants invalides dans les territoires contaminés a plus que quadruplé par rapport à la moyenne d'enfants issus d'autres populations [Omelyanets, 2006].

3. Morbidité et invalidité globales

11. Parmi 252 enfants officiellement reconnus comme invalides en 2004 dans les territoires contaminés, 160 avaient des malformations congénitales et 47 étaient victimes du cancer [Législation ukrainienne, 2006].

12. De 1987 à 1989, il était typique que les enfants des territoires fortement contaminés souffrent de troubles fonctionnels de divers systèmes organiques, révélateurs de déséquilibre hormonal et immunitaire. En 1996, ces perturbations fonctionnelles étaient devenues des pathologies chroniques avec des rechutes à long terme relativement résistantes aux traitements [Stepanova *et al.*, 1998].

13. En dépit des programmes sociaux et médicaux intensifs mis en place de 1986 à 2003, le nombre (en pourcentage) d'enfants « médicalement en bonne santé » dans les territoires touchés a diminué de 3,7 fois (de 27,5 à 7,2%), et le nombre (en pourcentage) d'enfants « chroniquement malades » a augmenté de 8,4% en 1986-1987 à 77,8% en 2003 (Figure 3.2). En même temps, dans les régions moins contaminées, le nombre d'enfants en bonne santé est resté constant au cours des 20 dernières années – à hauteur de 30% [Burlak *et al.*, 2006].

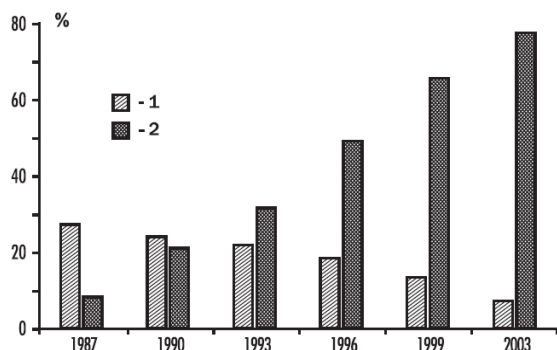


Figure 3.2. Nombre (en pourcentage) d'enfants « médicalement en bonne santé » (1) et de ceux atteints de « pathologies chroniques » (2) dans les territoires contaminés d'Ukraine de 1987 à 2003 [Stepanova, 2006a]

14. En Ukraine, pendant les 15 à 18 années suivant la catastrophe, il y a eu une augmentation constante du nombre d'enfants invalides : de 2,8 (pour 1 000) en 2000 à 4,57 en 2004 [Stepanova, 2006 ; Figure 3.3].

15. Le niveau de la morbidité générale parmi les enfants de personnes évacuées a augmenté de 1,4 fois de 1987 à 1992 (de 1 224 à 1 665 pour 1 000). La prévalence des maladies pour cette période a plus que doublé (1 425 à 3 046). La morbidité générale a aug-

menté de 1,5 à 2,4 fois dans les territoires contaminés depuis la période précédant la catastrophe jusqu'en 1992. Dans le même temps, dans l'ensemble de l'Ukraine, la morbidité des enfants a crû aussi, mais pas autant [Lukyanova *et al.*, 1995]. Cette tendance se poursuit : 455,4 pour 1 000 en 1987, 866,5 en 1990, 1 160,9 en 1995, 1 367,2 en 2000 et 1 422,9 en 2004 [Stepanova, 2006].

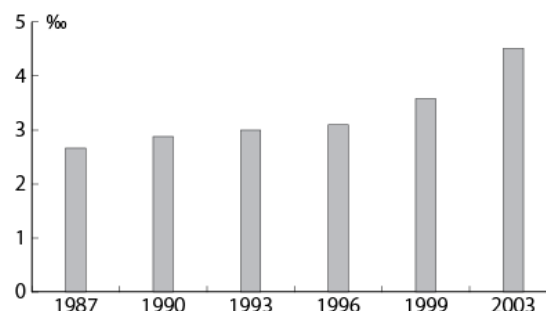


Figure 3.3. Nombre d'enfants invalides (pour 1 000) en Ukraine de 1987 à 2003 [Stepanova, 2006a]

16. Après la catastrophe, le nombre (en pourcentage) d'enfants « médicalement en bonne santé » dans les territoires contaminés a nettement diminué et le nombre d'enfants malades a augmenté de manière significative (Tableau 3.5).

17. Selon les enquêtes annuelles réalisées au cours de la période de 1988 à 2005, il y a eu beaucoup moins d'enfants de liquidateurs considérés comme « médicalement en bonne santé » par rapport à ceux qui se trouvaient dans les groupes témoins (2,6-9,2% par rapport à 18,6-24,6%) ; en outre, les enfants de ces liquidateurs étaient, de façon significative (statistiquement parlant), plus grands et davantage en excès de poids [Kondrashova *et al.*, 2006].

18. Dans les territoires contaminés, les enfants étaient plus petits que la normale et avaient un faible poids corporel [Kondrashova *et al.*, 2006].

19. Dans les années 1988 à 2002, parmi les personnes évacuées, le nombre « d'adultes sains » est tombé de 68 à 22% et le nombre de « malades chroniques » a grimpé de 32 à 77% [Rapport national d'Ukraine, 2006].

20. De 1987 à 1992, chez les enfants évacués de la zone des 30 km, le niveau de la morbidité globale a plus que doublé ; il a crû d'un facteur 2,4 dans le secteur de Polésie de la région de Kiev et respectivement de 2,0 et 1,8 dans les districts de Naroditchi et Korosten de la région de Jitomir [Smolyar, Prichko, 1995].

3. Morbidité et invalidité globales

Tableau 3.5. État de santé des enfants (pourcentage par groupe d'état de santé) des territoires contaminés d'Ukraine de 1986 à 1991 [Luk'yanova et al., 1995]

Groupe d'état de santé	1986	1987	1988	1989	1990	1991
Premier (sain)	56,6	50,9	54,9	39,9	25,9	19,5
Deuxième	34,2	39,1	34,7	41,7	29,3	28,0
Troisième	8,4	8,9	9,2	16,8	43,1	50,2
Quatrième	0,8	1,1	1,2	1,6	1,7	2,3

21. En 2009, les niveaux sanitaires les plus bas ont été relevés chez des enfants de liquidateurs nés en 1987, avec seulement 1,8% dans le groupe « en bonne santé » [Ministère ukrainien de la santé, 2011].

22. Chez les évacués, d'après les données du Registre d'État d'Ukraine, de 1988 à 2010, le pourcentage de ceux en bonne santé a baissé, passant de 67,7% à 21,5%, et le pourcentage de personnes souffrant de maladies chroniques est passé de 31,5% à 78,5% [Ministère ukrainien de la santé, 2011].

23. La morbidité chez les adultes et les adolescents dans les territoires fortement contaminés a quadruplé : de 137,2 pour 1 000 en 1987 à 573,2 en 2004 [Horishna, 2005].

24. En 1991, l'essentiel des handicaps physiques primaires dans les territoires contaminés était dû à des problèmes circulatoires (39,0%) et à des maladies du système nerveux (32,3%). Depuis 2001, le cancer représente l'essentiel des handicaps primaires (53,3% en 2005). Pour la période de 1992 à 2005, le nombre de personnes souffrant d'une tumeur a plus que sextuplé.

Tableau 3.6. Maladies (%) invalidantes primaires liées à la catastrophe de Tchernobyl de 1992 à 2005 [Ipatov et al., 2006]

Maladies	1992	2001	2005
Néoplasmes	8,3	43,0	53,3
Maladies du système nerveux	40,9	4,5	4,5
Maladies du système circulatoire	30,6	41,0	32,5

25. Selon les données officielles de l'Ukraine, au début de 2005, on comptait 148 199 personnes dont l'invalidité résultait de la catastrophe de Tchernobyl ; parmi elles se trouvaient 3 326 enfants [Ipatov et al., 2006].

26. De 1988 à 1997, l'augmentation de la morbidité liée aux niveaux de rayonnement a été plus apparente dans les territoires fortement contaminés : jusqu'à 4,2 fois dans une zone avec plus de 15 Ci/km², jusqu'à 2,3 fois dans

une zone avec 5 à 15 Ci/km² et jusqu'à 1,4 fois dans une zone avec 1 à 5 Ci/km² [Prysazhnyuk et al., 2002a].

27. Au cours de la période de 1988 à 2004, le nombre de « liquidateurs » en bonne santé a diminué de 12,8 fois : de 67,6 à 5,3%, et le nombre de ceux atteints de maladies chroniques a augmenté de 6,2 fois : de 12,8 à 81,4% [Rapport national d'Ukraine, 2006 ; Législation ukrainienne, 2006].

28. Parmi les adultes évacués, la prévalence des maladies non cancéreuses a augmenté de 4,8 fois (632 à 3 037 pour 10 000 de 1988 à 2002 ; Figure 3.4). À compter de 1991-1992, l'apparition et la prévalence de ces maladies ont été au-dessus de la moyenne du pays [Rapport national d'Ukraine, 2006].

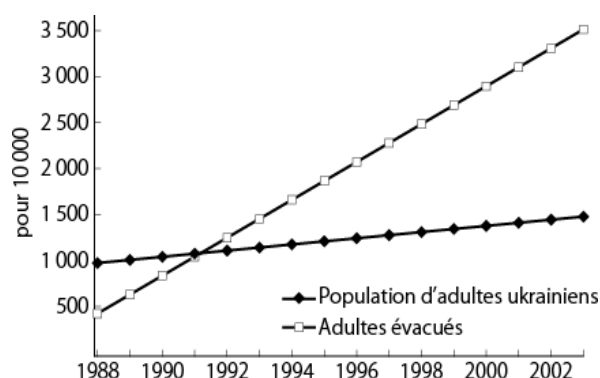


Figure 3.4. Prévalence des maladies non cancéreuses chez les adultes évacués et dans la population de l'Ukraine de 1988 à 2003 [Rapport national d'Ukraine, 2006]

29. De 1988 à 2002, le handicap physique parmi les adultes évacués a augmenté de 42 fois (de 4,6 à 193 pour 1 000) [Rapport national d'Ukraine, 2006].

30. De 1988 à 2003, les incapacités chez les liquidateurs ont augmenté de 76 fois (de 2,7 à 206 pour 1 000) [Buzunov et al., 2006].

31. De 1988 à 1999, la morbidité primaire a doublé parmi les populations des territoires contaminés (de 621 à 1 276 et de 310 à 746 pour 1 000). À partir de 1993, ces paramètres ont constamment dépassé les normes ukrai-

3. Morbidité et invalidité globales

niennes [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002a ; Rapport national d'Ukraine, 2006] et vont toujours croissant (Tableaux 3.7 et 3.8) [Grodzinsky, 1998 ; Législation ukrainienne, 2006].

Tableau 3.7. Pourcentage de personnes « médicalement saines » dans les trois catégories de victimes de Tchernobyl en Ukraine de 1987 à 1994 [Grodzinsky, 1998]

Année	Liquidateurs	Évacué(e)s	Enfants nés de parents irradiés
1987	82	59	86
1988	73	48	78
1989	66	38	72
1990	58	29	62
1991	43	25	53
1992	34	20	45
1993	25	16	38
1994	19	18	26

Tableau 3.8. Morbidité (pour 1 000) dans les territoires irradiés d'Ukraine [Grodzinsky, 1999 ; Législation ukrainienne, 2006]

Année	Adultes et adolescents
1987	421,0
1994	1 255,9
2004	2 097,8

32. Dans les districts fortement contaminés de la province de Tchernigov, la morbidité générale a largement dépassé celle des zones moins contaminées et, pour la province entière, la morbidité générale était bien plus élevée 10 années après la catastrophe que celle des 10 années la précédant [Donets, 2005].

33. La morbidité générale des liquidateurs ukrainiens a augmenté de 3,5 fois dans les 10 années suivant la catastrophe [Serdyuk et Bo-byleva, 1998].

34. Les symptômes typiques dans les territoires contaminés au cours de la première année suivant la catastrophe comprenaient une fatigue d'installation rapide (59,6%), des céphalées (65,5%), une instabilité de la pression artérielle (37,8%), des rêves anormaux (37,6%) et des douleurs articulaires (30,2%) [Buzunov *et al.*, 1995].

35. Depuis 1987, le nombre de liquidateurs dans la catégorie « malades » a constamment augmenté : de 18, 27, 34, 42, 57, 66, 75, jusqu'à 81% (Tableau 3.7) [Grodzinsky, 1999]. Au cours des 18 années qui ont suivi la catastrophe,

le nombre de liquidateurs « malades » a dépassé 94%. En 2003, quelque 99,9% des liquidateurs étaient officiellement « malades » à Kiev, 96,5% dans la province de Soumy et 96,0% dans la province de Donetsk [Pedchenko, 2004 ; Lubensky, 2004].

36. Pendant la période de 1987 à 1994, il y a eu une augmentation exponentielle des handicaps primaires (invalidité) chez les liquidateurs et les personnes évacuées, dépassant les normes ukrainiennes (Tableau 3.9).

Tableau 3.9. Invalidités primaires (pour 1 000) en Ukraine de 1987 à 1994 [Grodzinsky, 1999]

Année	Liquidateurs	Évacué(e)s	Ukraine
1987	9,6	2,1	0,5
1994	23,2	9,5	0,9

37. Le taux d'invalidité chez des pompiers ukrainiens dans les territoires contaminés (en 15 ans, plus de 800 incendies se sont déclarés dans la zone d'exclusion, concernant 2 500 bâtiments et 14 000 hectares de forêts et d'anciennes terres agricoles sur le territoire de la centrale de Tchernobyl) a crû de 2,8 (pour 1 000) en 1988 à 13,7 en 1998 [Azarov *et al.*, 2001].

38. D'après des données officielles [Ministère ukrainien de la santé], le nombre d'invalides reconnus en Ukraine à la suite de la catastrophe a été le suivant :

1991 : 200 personnes,
1997 : 64 500 personnes,
2009 : 110 827 personnes.

39. L'invalidité a commencé à augmenter brusquement à partir de 1991 et, en 2003, elle avait augmenté de 10 fois (Figure 3.5).

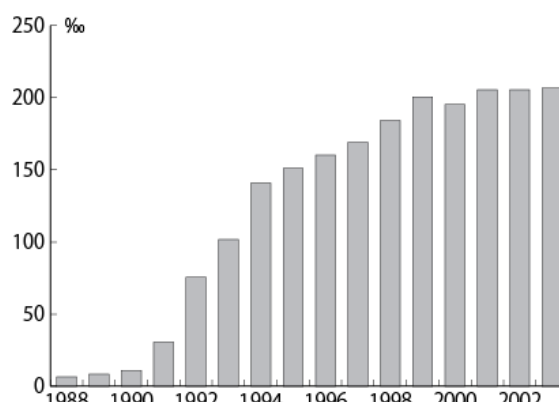


Figure 3.5. Invalidité suite à des maladies non cancéreuses chez les liquidateurs ukrainiens (1986-1987) de 1988 à 2003 [Rapport national d'Ukraine, 2006]

3. Morbidité et invalidité globales

40. L'accroissement du nombre d'invalides parmi les liquidateurs a culminé en 2002. De 2003 à 2010, l'augmentation du nombre d'invalides a ralenti en raison de l'effet d'un facteur de « réalisation », ainsi que de la mortalité (Figure 3.6).

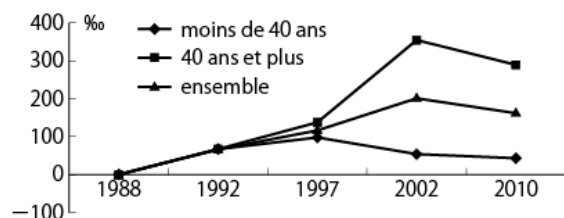


Figure 3.6. Dynamique, durant la période 1998-2010, du taux d'invalidité chez les liquidateurs des années 1986-1987 en fonction de leur âge au moment de la catastrophe [Ministère ukrainien de la santé, 2011]

3.3. Russie

1. L'« état de santé de la population » (la somme de l'invalidité et de la morbidité) dans la partie russe des territoires européens de Tchernobyl, mesuré de façon globale, a empiré jusqu'à trois fois au cours des 10 ans après la catastrophe [Tsyb, 1996].

2. Les enfants des provinces contaminées sont tombés malades beaucoup plus souvent que les enfants des régions « propres ». Les plus grandes différences de morbidité sont observées dans la classe « symptômes, phénomènes et conditions imprécises » [Kulakov *et al.*, 1997].

3. De 1995 à 1998, le taux de prévalence annuelle de toutes les maladies enregistrées chez les enfants des districts sud-ouest de la province de Briansk ($Cs-137 > 5 \text{ Ci/km}^2$) était de 1,5 à 3,3 fois supérieur au taux de la province et à celui de toute la Russie [Fetysov, 1999 ; Kukyshev *et al.*, 2001a]. En 2004, la morbidité infantile dans ces districts était le double de la moyenne de la province [Sergeeva *et al.*, 2005].

4. La morbidité infantile dans les districts contaminés de la province de Kalouga était nettement plus élevée 15 ans après la catastrophe [Ignatov *et al.*, 2001].

5. Pour les années 1981 à 2000, les maladies de l'enfance, diagnostiquées dès la naissance et mesurées par périodes de 5 ans, montrent une hausse dans les premières décennies après la catastrophe (Tableau 3.10).

Tableau 3.10. Morbidité des enfants selon le diagnostic initial ($M \pm m$ pour 1 000) dans les districts contaminés de la province de Kaluga de 1981 à 2000 [Tsyb *et al.*, 2006]

Districts	1981–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000
Trois fortement contaminés	128,2 $\pm$ 3,3	198,6 $\pm$ 10,8**	253,1 $\pm$ 64,4**	130,1 $\pm$ 8,5
Trois moins contaminés	130,0 $\pm$ 6,4*	171,6 $\pm$ 9,0*	176,3 $\pm$ 6,5*	108,9 $\pm$ 16,8
Province entière	81,5 $\pm$ 6,3	100,4 $\pm$ 5,6	121,7 $\pm$ 3,2	177,1 $\pm$ 10,0

* Significativement différent de la moyenne de la province ;

** Significativement différent de la moyenne de la province et de la période précédant la catastrophe

6. La fréquence de fausses couches et le nombre de nouveau-nés de faible poids étaient plus élevés dans les districts les plus contaminés de Klinty et Novozybkov de la province de Briansk [Izhevsky et Meshkov, 1998].

7. Le nombre d'enfants de faible poids de naissance dans les territoires contaminés a augmenté de plus de 43% et le risque de naissance d'un enfant malade dans cette région a plus que doublé par rapport à celui d'un groupe témoin : $66,4 \pm 4,3\%$ contre $31,8 \pm 2,8\%$ [Lyaginskaya *et al.*, 2002].

8. Le handicap des enfants dans l'ensemble de la province de Briansk en 1998-1999 était double de celui de trois des districts les plus contaminés : 352 contre 174 pour 1 000

(moyenne pour la Russie : 161) [Komogortseva, 2006].

9. La morbidité générale des adultes entre 1995 et 1998 dans les districts contaminés par le $Cs-137$ au-delà de 5 Ci/km^2 était notablement plus élevée que dans la province de Briansk dans son ensemble [Fetysov, 1999b ; Kukyshev *et al.*, 2001a].

10. La morbidité générale des liquidateurs russes (3 882 examinés) qui « avaient moins de 30 ans » au moment de la catastrophe a triplé au cours des 15 années ultérieures ; dans le groupe des « 31-40 ans », le pic de morbidité primaire est survenu 8 à 9 ans après la catastrophe [Karamullin *et al.*, 2004].

11. La morbidité des liquidateurs est supérieure à celle du reste de la population russe [Byryukov *et al.*, 2001].

12. Dans la province de Briansk, on note chez les liquidateurs une tendance générale à la hausse de la morbidité de 1995 à 1998 (de 1 506 à 2 140 pour 1 000) [Fetysov, 1999b].

13. Tous les liquidateurs russes, des hommes jeunes pour la plupart, étaient initialement en bonne santé. Pendant les 5 ans après la catastrophe, 30% d'entre eux ont été officiellement reconnus comme « malades » ; 10 ans après, moins de 9% d'entre eux étaient considérés comme « sains » et au bout de 16 ans, seulement tout au plus 2% étaient « sains » (Tableau 3.11).

Tableau 3.11. État de santé des liquidateurs russes : pourcentage de personnes officiellement reconnues comme « malades » [Ivanov *et al.*, 2004 ; Prybylova *et al.*, 2004]

Années après la catastrophe	Pourcentage de « malades »
0	0
5	30
10	90-92
16	98-99

14. Quatorze ans après la catastrophe, chez 83 liquidateurs examinés habitant la région de Tomsk, on a noté une aggravation de la pathologie holosomatique, un accroissement incontestable du nombre de maladies – standardisées par âge – des systèmes cardiovasculaire, respiratoire, digestif, ostéo-musculaire et urinaire. Plus des trois quarts des liquidateurs ont souffert d'affections chroniques, en moyenne huit maladies pour un même liquidateur [Porovskiy *et al.*, 2006b].

15. La morbidité des liquidateurs habitant dans la région de Tomsk a augmenté d'un facteur supérieur à 17 à partir de 1993 : 328,9 affections pour 1 000 liquidateurs en 1993 et 5 329,7 en 2004, soit trois fois plus que dans la population de la région (1 200 à 1 800 pour 1 000).

Le dépassement du niveau régional pour les maladies du système nerveux atteint un facteur 11, un facteur 8 pour les organes de l'appareil digestif, 4 à 5 pour les systèmes endocrinien, ostéo-musculaire et circulatoire, et 2 à 3 pour les troubles psychiques et les affections des organes respiratoires. Ces dernières années, les dysfonctionnements légers ont fait place à une pathologie chronique. Dans la structure de la

morbidité, les maladies touchent en premier lieu les organes digestifs (19%), le système ostéo-musculaire (16 à 18%), le système circulatoire (16 à 17%), les organes respiratoires (15 à 18%). On relève en outre une très grande vulnérabilité des systèmes nerveux (13 à 15%) et endocrinien (4 à 5%) ; la part des troubles psychiques est elle aussi très forte (5 à 7%). La morbidité par tumeurs malignes est en hausse [Krayushkina *et al.*, 2006].

16. Le rythme de mise en invalidité primaire des liquidateurs de la région de Tomsk durant les années 1993-2004 a culminé en 1997 (1 206,2 pour 10 000, alors que la moyenne régionale est de 56,4 pour 10 000) [Krayushkina *et al.*, 2006]. Tous les ans, le rythme de mise en invalidité de liquidateurs dépasse de 5 à 10 fois (mais de 21 fois en 1997) les taux régionaux (en 2004, sur 316 liquidateurs de la région de Tomsk, il y avait environ 40% d'invalides). Parmi les principales causes ayant conduit à une invalidité, figurent les maladies du système nerveux et des organes des sens (28,2%), puis viennent en second lieu les maladies du système circulatoire (24,1%) et en troisième position les troubles psychiques (23,2%) [Krayushkina *et al.*, 2006].

17. De 1991 à 2005, 6 104 liquidateurs de la région de Rostov (en moyenne à raison de 407 personnes par an), principalement de jeunes hommes, ont été reconnus invalides primaires. Durant toute cette période, l'invalidité primaire a été provoquée par des maladies du système circulatoire (70,2%), des organes digestifs (9,1%), des organes respiratoires (7,5%), du système endocrinien (5,9%) et par des tumeurs malignes (3,2%), ce qui diffère notablement des données sur les moyennes en Russie et dans la région [Abazieva, 2007].

18. Une comparaison de données de suivi dynamique complexe, pour 100 familles de liquidateurs des années 1986-1988 du secteur de Zalesny dans la ville de Novomoskovsk et pour 100 familles qui y habitaient effectivement, fait apparaître sur une durée de 15 années après la catastrophe de nettes différences entre elles quant à toute une série de résultats (Tableau 3.12).

En analysant les données du tableau 3.12, il faut tenir compte de ce que toute la ville de Novomoskovsk (région de Toula) était un territoire contaminé à 37-185 kBq/m² (1 à 5 Ci/km²) par du césium-137.

3. Morbidité et invalidité globales

Tableau 3.12. Résultats du suivi dynamique complexe de 100 familles de liquidateurs des années 1986-1988 du secteur de Zalesny dans la ville de Novomoskovsk et de 100 familles qui y habitaient effectivement, sur une durée de 15 années après la catastrophe [Gerasimova, 2006]

Paramètre	Familles des liquidateurs	Valeur témoin
Fréquence des consultations	2,1	1,2
Nombre d'exams diagnostiques	1,8	1,2
Nombre de consultations	1,8	0,04
Nombre d'hospitalisations	0,12	0,03
Nombre moyen de maladies chroniques	6,2 – liquidateurs (2,1 - leurs épouses)	1,1 (1,6)

19. D'après les données radiologiques de toute l'armée, on constate chez les liquidateurs âgés de 40 à 50 ans un niveau maximal de morbidité primaire pour les maladies du système circulatoire, du système endocrinien, du système nerveux et des organes des sens, des organes digestifs, des organes urinaires, du système ostéo-musculaire et des tissus conjonctifs [Karamoullin *et al.*, 2006a].

20. La morbidité totale des liquidateurs de Russie due à toutes les classes de maladies entre 1993 et 1996 était d'environ 1,5 fois supérieure à celle de groupes témoins dans la population [Kudryashov, 2001 ; Ivanov *et al.*, 2004].

21. Le nombre de maladies diagnostiquées chez chaque liquidateur a augmenté : jusqu'en 1991, chaque liquidateur avait une moyenne de 2,8 maladies ; en 1995, de 3,5 maladies et, en 1999, de 5,0 maladies [Lyubchenko et Agal'tsov, 2001 ; Lyubchenko, 2001].

22. Chez les liquidateurs, l'invalidité était évidente deux ans après la catastrophe et elle a augmenté de façon drastique (Tableau 3.13).

Tableau 3.13. Handicap chez les liquidateurs (‰) comparé aux doses calculées de radiation de 1990 à 1993 [Ryabzev, 1998]

Année	Handicapé(e)s (‰)		
	0-5 cGy	5-20 cGy	> 20 cGy
1990	6,0	10,3	17,3
1991	12,5	21,4	31,1
1992	28,6	50,1	57,6
1993	43,5	74,0	87,4

23. En 1995, le niveau de handicap chez les liquidateurs était le triple de celui de groupes témoins [Conseil de sécurité russe, 2002] et il était quatre fois plus élevé en 1998 [Romanenkova, 1998]. Quelque 15 ans après la ca-

tastrophe, 27% des liquidateurs de Russie sont devenus invalides à un âge moyen de 48-49 ans [Rapport national de Russie, 2001]. En 2004, jusqu'à 64,7% de tous les liquidateurs en âge de travailler étaient en invalidité [Zubovsky et Tararukhyna, 2007].

3.4. Autres pays

1. FINLANDE : Le nombre d'accouchements prématurés a augmenté juste après la catastrophe [Harjulehto *et al.*, 1989].

2. GRANDE-BRETAGNE : Au Pays de Galles, l'une des régions les plus fortement contaminées par les retombées de Tchernobyl, des poids de naissance anormalement bas (moins de 1 500 g) ont été observés en 1986-87 (Figure 3.7).

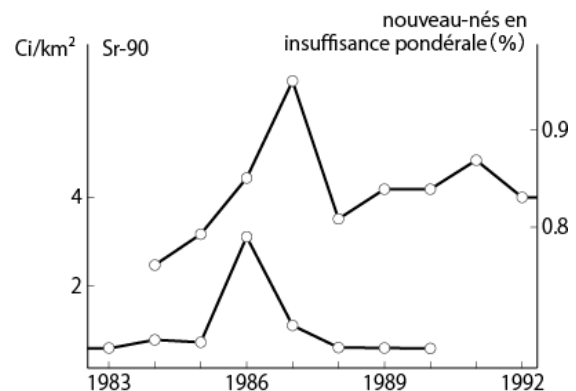


Figure 3.7. Pourcentage de nouveau-nés ayant un poids de naissance inférieur à 1,5 kg de 1983 à 1992 (courbe supérieure) et niveau de Sr-90 dans le sol (courbe inférieure) au Pays de Galles [Busby, 1995]

3. HONGRIE : Parmi les nourrissons nés en mai-juin 1986, il y a eu un nombre significativement plus élevé de nouveau-nés de faible poids de naissance [Wals et Dolk, 1990].

4. LITUANIE : Chez les liquidateurs (dont 1 808 ont survécu), la morbidité a été nette-

ment plus élevée parmi ceux qui avaient de 45 à 54 ans durant leur temps de service à Tchernobyl [Burokaite, 2002].

5. SUÈDE : Le nombre de nouveau-nés de faible poids de naissance a été significativement plus élevé en juillet 1986 [Ericson et Kallen, 1994].

Il est clair que, dans les territoires fortement contaminés par les retombées de Tchernobyl, la morbidité générale a considérablement augmenté ainsi que les taux de handicap chez les liquidateurs et d'autres personnes exposés à des doses plus élevées de rayonnement que la population globale ou des groupes témoins non irradiés. Certes, il n'y a pas de relation directe témoignant des effets de la catastrophe de Tchernobyl sur ces chiffres, mais la question est : qu'est-ce qui pourrait expliquer l'augmentation de la maladie et du handicap coïncidant précisément dans le temps et avec des niveaux accrus de contamination par des matières radioactives, si ce n'est Tchernobyl ?

L'AIEA et l'OMS ont suggéré [Forum de Tchernobyl, 2006] que les taux accrus de morbidité sont dus en partie à des facteurs sociaux, économiques et psychologiques. Les facteurs socio-économiques ne peuvent pas être invoqués parce que les groupes comparés sont identiques quant à leur situation sociale et économique, leur environnement naturel, leur composition par âge, etc., et ne diffèrent que par leur exposition à la contamination de Tchernobyl. Selon les références scientifiques, telles que le « rasoir d'Occam », la « méthode de Mills » et, au XX^{ème} siècle, les critères de Bradford Hill, on ne peut discerner pour ce niveau de maladie aucune autre raison que la contamination radioactive due à la catastrophe de Tchernobyl.

Bibliographie

Akulich, N. S. & Gerasymovich, G. I. (1993). Physical development abnormalities in newborns born to mothers exposed to low doses of ionizing radiation. In: *Belarussian Children's Health in Modern Ecological Situation: Consequences of Chernobyl Catastrophe*. Treatise VI Belarus Pediatric Congress (Minsk): pp. 9–10 (en russe).

Antypova, S. I., Korzhunov, V. M. & Suvorova, I. V. (1997). Liquidators' tendency toward chronic non-specific illnesses. Scientific and Practical Conference. *Actual Problems of Medical Rehabilitation of Victims*

of Chernobyl Catastrophe. June 30, 1997, Minsk. Devoted to the Tenth Anniversary of the Republic's Radiation Medicine Dispensary (Materials, Minsk): pp. 59–60 (en russe).

Arabskaya, L. P. (2001). General characteristics of structural and functional state of osteal tissue and physical development in children born after the catastrophe of ChNPP. *Problem Osteol.* 4(3): 11–22 (en russe).

Arinchin, A. N., Avhacheva, T. V., Gres', N. A. & Slobozhanina, E. I. (2002). Health status of Belarussian children suffering from the Chernobyl accident: Sixteen years after the catastrophe. In: Imanaka, T. (Ed.). *Recent Research Activities about the Chernobyl Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 231–240.

Baida, L. K. & Zhirnosecova, L. M. (1998). Changes in children's morbidity patterns under different levels of radiocesium contamination of soil. Second Annual Conference. *Remote Medical Consequences of Chernobyl Catastrophe*. June 1–6, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 14–15 (en ukrainien).

Blet'ko, T. V., Kul'kova, A. V., Gutkovsky, I. A. & Uklanovskaya, E. V. (1995). Children's general morbidity pattern in Gomel Province—1986–1993. International Scientific and Practical Conference Devoted to the Fifth Anniversary. Gomel Medical Institute, November 9–10, 1995, Gomel (Treatise, Gomel): pp. 5–6 (en russe).

Burlak, G., Naboka, M., & Shestopalov, V. (2006). Non-cancer endpoints in children-residents after the Chernobyl accident. In: International Conference Twenty Years after the Chernobyl Accident. *Future Outlook. April 24–26, 2006, Kiev Ukraine*. Contributed Papers 1 ("HOLTEH," Kiev): pp. 37–41 (www.tesecint.org/T1.pdf).

Burokaite, B. (2002). Connection of morbidity and mortality with cleanup and mitigation operations of the Chernobyl NPP accident. *Inform. Bull. 3: Biological Effects of Low Doses Irradiation* (Belarussian Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 16–17 (en russe).

Busby, C. (1995). *Wings of Death. Nuclear Contamination and Human Health* (Green Audit Books, Aberystwyth): IX + 340 pp.

Buzunov, V. A., Strapko, N. P. & Pyrogorova, E. A. (1995). Public health in contaminated territories. In: Bar'yakhtar, V. G., (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: Historiography, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): 558 pp. (en russe).

Buzunov, V. A., Teretshenko, V. M., Voichulene, Yu. S. & Stry, N. I. (2006). Main results of epidemiological studies of Chernobyl liquidator's health (nonmalignant morbidity, invalidism and mortality). International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 92–93 (en russe).

Byryukov, A. P., Ivanov, V. K., Maksyutov, M. A., Kruglova, Z. G., Kochergyna, E. V. et al. (2001). Liquidators' health—Russian state medical and dosimetric register. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unitis," Moscow): pp. 4–9 (en russe).

Chernobyl Forum (2005). Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE)

3. Morbidité et invalidité globales

- August 2005 (IAEA, Vienna): 280 pp. (http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239_web.pdf).
- Chernobyl Forum (2006). Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Health" (2006). Bennett, B., Repacholi, M. & Carr, Zh. (Eds.). (WHO, Geneva): 167 pp. (http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/WHO%20Report%20on%20Chernobyl%20Health%20Effects%20July2006.pdf).
- Donets, N. P. (2005). Influence of radiation factor on the morbidity level of population in Chernyiv Region. *Hygien. Epidemiol. Herald* 9(1): 67–71 (en ukrainien).
- Dzykovich, I. B., Korniylova, T. I., Kot, T. I. & Vanylovich, I. A. (1996). Health of pregnant women and newborns from different regions of Belarus. In: *Medical Biological Aspects of the Chernobyl Accident* (Collection of Papers, Minsk) 1: pp. 16–23 (en russe).
- Ericson, A. & Kallen, B. (1994). Pregnancy outcomes in Sweden after Chernobyl. *Environ. Res.* 67: 149–159.
- Fetysov, S. N. (Ed.) (1999). Health of Chernobyl accident victims in Bryansk Province. In: *Collection of Analytical and Statistical Materials from 1995–1998*, Vol. 4 (Bryansk): pp. 33–44 (en russe).
- Gres', N. A. & Arinchin, A. I. (2001). Syndrome of ecological disadaptation in Belarus children and methods to correct it. *Med. Inf.* 5: 9–10 (en russe).
- Grodzinsky, D. M. (1999). General situation of the radiological consequences of the Chernobyl accident in Ukraine. In: Imanaka, T., Ed., *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*. KURRI-KR-7 (Kyoto University): pp. 18–28.
- Gutkovsky, I. A., Kul'kova, L. V., Blet'ko, T. V. & Nekhay, Y. E. V. (1995). Children's health and local levels of Cesium-137 contamination. International Scientific and Practical Conference Devoted to the Fifth Anniversary. November 9–10, 1995, Gomel Medical Institute, Gomel (Treatise, Gomel): pp. 12–13 (en russe).
- Harjulehto, T., Aro, T., Rita, H., Rytomaa, T. & Saxen, L. (1989). The accident at Chernobyl and pregnancy outcomes in Finland. *Brit. Med. J.* 298: 995–997.
- Horishna, O. V. (2005). *Chernobyl Catastrophe and Public Health: Results of Scientific Investigations* (Chernobyl Children's Foundation, Kiev): 59 pp. (en ukrainien).
- Ignatov, V. A., Selyvestrova, O. Yu. & Tsurkov, I. F. (2001). Echo: 15 post-Chernobyl years in Kaluga land. *Legacy of Chernobyl* (Collected Papers, Kaluga) 3: pp. 6–15 (en russe).
- Ipatov, A.V., Sergieni, O.V. & Voitchak, T.G. (2006). Disability in Ukraine in connection with the ChNPS accident. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery*. May 29–June 3, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 8–9.
- Ivanov, V., Tsyb, A., Ivanov, S. & Pokrovsky, V. (2004). *Medical Radiological Consequences of the Chernobyl Catastrophe in Russia: Estimation of Radiation Risks* ("Nauka," St. Petersburg): 388 pp.
- Izhevsky, P. V. & Meshkov, N. A. (1998). Genetic consequences of irradiation. Second International Conference. *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe*. June 1–6, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 244–245 (en russe).
- Karamullin, M. A., Sosyutkin, A. E., Shutko, A. N., Nedoborsky, K. V., Yazenok, A. V., et al. (2004). Importance of radiation dose evaluation for late morbidity in Chernobyl liquidator age groups. Scientific and Practical Conference. *Actual Questions of Radiation Hygiene*. June 21–25, 2004, St. Petersburg (Abstracts, St. Petersburg): pp. 170–171 (en russe).
- Komogortseva, L. K. (2006). Ecological consequences of the Chernobyl catastrophe for Bryansk Province. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years after Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons* (Materials, Moscow): pp. 81–85 (en russe).
- Kondrashova, V. G., Kolpakov, I. E., Abramova, T. Ya. & Vdovenko, V. Yu. (2006). Integrated estimation of the health of children born to irradiated fathers. International Conference. *Twenty Years after the Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 110–111.
- Kozhunov, V. M., Denysevich, N. K., Metel'skaya, M. A. & Lavrenyuk, I. F. (1996). Morbidity, invalidism and mortality in people who inhabit or inhabited territories with Cesium-137 contamination above 15 Ci/km² (third group of initial accounting). In: *Medical Biological Aspects of the ChNPP Accident* (Collection of Papers, Moscow) 1: pp. 47–53 (en russe).
- Kudryashov, Yu. B. (2001). Radiobiology: Yesterday, today, tomorrow. In: *Chernobyl: Duty and Courage*, Vol. 2 (Strategic Stability Institute, Moscow) (<http://www.iss.niit.ru/book-4>) (en russe).
- Kukishev, V. P., Proshin, A.D. & Doroshenko, V.N. (2001). Medical aid to victims of the Chernobyl catastrophe in Bryansk Province. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.). *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unitis," Moscow): pp. 26–27 (en russe).
- Kulakov, V. I., Sokur, T. N., Tsybul'skaya, I. S., Dolzhenko, I. S., Volobuev, A. I. et al. (1997). Chernobyl and health of future generations In: *Chernobyl: Duty and Courage*, Vol. 1 (Strategic Stability Institute, Ministry of Nuclear Affairs, Moscow) (<http://www.iss.niit.ru/book-1>) (en russe).
- Kul'kova, L. V., Ispenkov, E. A., Gutkovsky, I. A., Voynov, I. N., Ulanovskaya, E. V. et al. (1996). Epidemiological monitoring of children's health in areas of Gomel Province contaminated with radionuclides. *Med. Radiol. Radioact. Safety* 2: 12–15 (en russe).
- Law of Ukraine (2006). A state program to overcome the consequences of the Chernobyl catastrophe for the period 2006–2010. *Bull. Ukr. Parliament (VVP)* 34: article. 290.
- LIGA (2004). Chernobyl: Medical consequences 18 years after the accident. *LIGA-Business-Inform*, April 22.
- Lubensky, A. (2004). Forgotten victims of Chernobyl (http://www.english.pravda.ru/world/20/92/370/12608_Chernobyl.html04/23/200418:06; http://world.pravda.ru/world/2004/5/73/207/16694_Chernobil.html).
- Lukyanova, E. M., Stepanova, E. I., Antipkin, Yu. G. & Nagomaya, A. M. (1995). Children's health. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.). *Chernobyl Catastrophe. Historiography, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): 558 pp. (en russe).

3. Morbidité et invalidité globales

- Lyaginskaya, A. M., Osypov, V. A., Smirnova, O. V., Isichenko, I. B. & Romanova, S. V. (2002). Reproductive function of Chernobyl liquidators and health of their children. *Med. Radiol. Radiat. Security* 47(1): 5–10 (en russe).
- Lyubchenko, P. N. (Ed.) (2001). *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unitis," Moscow): 154 pp. (en russe).
- Lyubchenko, P. N. & Agal'tsov, M. V. (2001). Pathologic findings in Chernobyl liquidators over a period of 15 years. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.) *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unitis," Moscow): pp. 26–27 (en russe).
- Medical Consequences (2003). *Medical Consequences of the Chernobyl Accident*. (Komchernobyl Belarus, Minsk) Yablokov: Morbidity, Impairment, and Disability after Chernobyl (http://www.chernobyl.gov.by/index.php?option=com_content&task=view&id=153&Itemid=112) (en russe).
- Moskalenko, B. (2003). Estimation of the Chernobyl accident's consequences for the Ukrainian population. *World Ecol. Bull.* XIV (3–4): 4–7 (en russe).
- National Russian Report (2001). *Chernobyl Catastrophe: Results and Problems in Overcoming the Difficulties and Consequences in Russia. 1986–2001* (Ministry of Emergency Situations, Moscow): 39 pp. (http://www.ibrae.ac.ru/russian/nat_rep2001.html) (en russe).
- National Ukrainian Report (2006). *Twenty Years of the Chernobyl Catastrophe: Future Outlook* (Kiev) (http://www.mns.gov.ua/news_show.php) (en russe).
- Nesterenko, V. B., Yakovlev, V. A. & Nazarov, A. G. (Eds.) (1993). *Chernobyl Accident: Reasons and Consequences (Expert Conclusions)*. Part. *Consequences for Ukraine and Russia* ("Test," Minsk): 243 pp. (en russe).
- Omelyanets, N. I. (2006). Radio-ecological situation in Ukraine and the state of health of the victims of the Chernobyl catastrophe on the threshold of the third decade. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery*. May 29–June 3, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): 16–17 (http://www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDFS/si8_2006/T) (en russe).
- Pedchenko T. (2004) (Interview). Chernobyl: Medical consequences 18 years after the accident. *LIGA-Business-Inform*, April 22 (<http://news.liga.net/news/old/224853-chernobyl-meditsinskie-posledstviya-18-let-posle-avarii.htm>) (en russe).
- Prybylova, N. N., Sydorets, V. M., Neronov, A. F. & Ovsyannikov, A. G. (2004). Results of observations of Chernobyl liquidators (16th year data). In: 69th Science Session of the Kursk Medical University and Department of Medical and Biological Sciences of the Central-Chernozem Scientific Center of the Russian Academy Medical Sciences (Collection of Papers, Kursk) 2: pp. 107–108 (en russe).
- Prysyzhnyuk, A. Ye., Grishchenko, V. G., Fedorenko, Z. P., Gulak, L. O. & Fuzik, M. M. (2002). Review of epidemiological finding in study of medical consequences of the Chernobyl accident en ukrainien population. In: Imanaka, T. (Ed.) *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*. KURRI-KR-79 (Kyoto University): pp. 188–287.
- Romamenkova, V. (1998). Russia–Chernobyl–Liquidators–Health. *TASS United News-List*, April 24 (rv/lp 241449 APR 98).
- Russian Security Council (2002) Problems of ecological, radioactive and hygienic safeguard of regions suffering from radioactive contamination (Tenth anniversary of Chernobyl catastrophe). In: *Ecological Security of Russia*. Treatise Interagency Commission of the Russian Security Council Ecological Security (September 1995–April 2002) 4 ("Yuridicheskaya Literaturata," Moscow): pp. 178–203 (en russe).
- Ryabzev, I. A. (2002). Epidemiological studies in Russia about the consequences of the Chernobyl APS accident. In: Imanaka, T. (Ed.) *Research Activities about the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Sufferers from the Accident*. KURRI-KR-21 (Kyoto University): pp. 139–148 (<http://www.rri.kyoto-u.ac.jp/NSRG/reports/1998/kr-21/contents.html>).
- Serdyuk, A. M. & Bobyleva, O. A. (1998). Chernobyl and Ukrainian public health. Second International Conference. *Remote Medical Consequences of Chernobyl Catastrophe*. June 1–6, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 132–133 (en russe).
- Sergeeva, M. E., Muratova, N. A. & Bondarenko, G. N. (2005). Demographic abnormalities in the radioactive contaminated zone of Bryansk Province. International Scientific and Practical Conference. *Chernobyl: Twenty Years After: Social and Economic Problems and Perspectives for Development of Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 302–304 (en russe).
- Sharapov, A. N. (2001). Regulation of the endocrine–neurovegetative interconnections in children living in territories with low radionuclide contamination after the Chernobyl accident. M.D. Thesis (Institute of Pediatric Child Surgery, Moscow): 53 pp. (en russe).
- Sosnovskaya, E. Ya. (2006). Health of Belarussian people affected by the Chernobyl catastrophe. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery*. May 29–June 3, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 16–17 (http://www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDFS/si8_2006/T).
- Stepanova, E. (2006a). Results of 20-years of observations of children's health who suffered due to the Chernobyl accident International Conference. *Twenty Years after the Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine. Contributed Papers (HOLTEH, Kiev) 1: pp. 95–99 (<http://www.tesecint.org/T1.pdf>).
- Stepanova, E. I. (2006b). Results of 20 years of study of Ukrainian children's health affected by the Chernobyl catastrophe. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery*. May 29–June 3, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 16–17 (http://www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDFS/si8_2006/T).
- Stepanova, E. I. & Davydenko, O. A. (1995). Children's hemopoietic system reactions due to the impact of the Chernobyl accident. Third Ukrainian Congress on Hematological Transfusions, May 23–25, 1995, Sumy, Ukraine (Abstracts, Kiev): p. 134 (en ukrainien).

3. Morbidité et invalidité globales

- Stepanova, E., Kondrashova, V., Galitchanskaya, T. & Vdovenko, V. (1998). Immune deficiency status in prenatally irradiated children. *Brit. J. Haemat.* **10**: 25.
- Sychik, S. I. & Stozharov, A. N. (1999). Perinatal irradiation assessment of function of critical organs and systems in children long after the Chernobyl catastrophe. *Rad. Biol. Radioecol.* **6**: 128–136 (en russe).
- TASS (1998). After the Chernobyl accident Ukrainian children's morbidity increased 6 times. *United News-List*, Kiev, April 6.
- Tsimlyakova, L. M. & Lavrent'eva, E. B. (1996). Results of 10-year cohort observation of children irradiated after the Chernobyl accident. *Hematol. Transfus.* **41**(6): 11–13 (en russe).
- Tsyb, A. F. (1996). Chernobyl traces in Russia. "Tverskaya, 13" 17 (Moscow), p. 5 (en russe).
- Tsyb, A. F., Ivanov, V. K., Matveenko, E. G., Borovykova, M. P., Maksyutov, M. A. & Karelo, A. M. (2006). Analysis of medical consequences of the Chernobyl catastrophe in children who live in contaminated territories in order to develop strategy and tactics for special dispensation. Scientific and Practical Conference. *Twenty Years after the Chernobyl Catastrophe: Biological and Social Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 269–277 (en russe).
- Ushakov, I. B., Arlashchenko, N. I., Dolzhanov, A. J. & Popov, V. I. (1997). *Chernobyl: Radiation Psychophysiology and Ecology of the Person* (SSRI Aviation and Space Medicine, Moscow): 247 pp. (en russe).
- Voronetsky, B. K., Porada, N. E., Gutkovsky, I. A. & Blet'ko, T. V. (1995). Morbidity of children inhabiting territories with radionuclide contamination. International Scientific and Practical Conference Devoted to the Fifth Anniversary, of the Gomel Medical Institute, November 9–10, 1995. Gomel (Materials, Gomel): pp. 9–10 (en russe).
- Wals, Ph. de & Dolk, H. (1990). Effect of the Chernobyl radiological contamination on human reproduction in Western Europe. *Progr. Chem. Biol. Res.* **340**: 339–346.
- Zakrevsky, A. A., Nykulyna, L. I. & Martynenko, L. G. (1993). Early postnatal adaptation of newborns whose mothers were impacted by radiation. Scientific and Practical Conference. *Chernobyl and Public Health* (Abstracts, Kiev) 1: pp. 116–117 (en russe).
- Zapesochny, A. Z., Burdyga, G. G. & Tsybenko, M. V. (1995). Irradiation *in utero* and intellectual development: Complex science-metrical analysis of information flow. International Conference. *Actual and Prognostic Infringements of Physical Health after the Nuclear Catastrophe in Chernobyl*. May 24–28, 1995, Kiev, Ukraine (Materials, Kiev): 311–312 (en russe).
- Zubovsky, G. A. & Tararukhyna, O. B. (2007). Morbidity among persons exposed to radiation as a result of the Chernobyl nuclear reactor accident. In: Blokov, I., Sadownichik, T., Labunska, I. & Volkov, I. (Eds.). *The Health Effects on the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace International, Amsterdam): pp. 147–151.

Chapitre 4. Le vieillissement accéléré comme conséquence de la catastrophe de Tchernobyl

Alexey V. Yablokov

Le vieillissement accéléré est une conséquence bien connue de l'exposition aux rayonnements ionisants. Ce phénomène apparaît à des niveaux plus ou moins élevés chez toutes les populations contaminées par les radionucléides de Tchernobyl.

1. Les enfants vivant dans tous les territoires du Belarus fortement contaminés par les retombées de Tchernobyl présentent une constellation caractéristique de maladies séniles [Nesterenko, 1996 ; et de nombreux autres].

2. Les enfants des zones contaminées du Belarus présentent des modifications de caractère sénile de l'épithélium du tube digestif [Nesterenko, 1996 ; Bebeshko *et al.*, 2006].

3. Sur 69 enfants et adolescents hospitalisés au Belarus de 1991 à 1996 avec un diagnostic de calvitie prématurée (alopécie), 70% provenaient de territoires fortement contaminés [Morozevich *et al.*, 1997].

4. L'état de l'appareil bucco-dentaire d'enfants habitant dans des secteurs radiocontaminés ne correspond pas à leur âge officiel comparé à celui d'enfants considérés par convention comme indemnes : il révèle des signes de sénilité précoce [Arabskaya, Smirnova *et al.*, 2006].

5. L'âge biologique des habitants des territoires d'Ukraine contaminés par la radioactivité dépasse leur âge d'état civil de 7 à 9 ans [Mezhzherin, 1996]. Le même phénomène est observé en Russie [Malygin *et al.*, 1998].

6. Les hommes et les femmes d'âge moyen vivant dans des territoires contaminés par le Cs-137 à un niveau dépassant 555 kBq/m² sont morts de crises cardiaques 8 ans plus jeunes qu'en moyenne au Belarus [Antypova et Babichevskaya, 2001].

7. Les habitants des territoires ukrainiens lourdement contaminés par les radiations ont développé des anomalies de l'accommodation et d'autres changements oculaires de type sénile [Fedirko, 1999 ; Fedirko et Kadoschnyko-va, 2007].

8. Le vieillissement précoce est une caractéristique typique observée chez les liquidateurs et beaucoup d'entre eux développent des maladies 10 à 15 ans plus tôt que la moyenne de la population. L'âge biologique des liquidateurs calculé selon les caractéristiques de vieillissement est de 5 à 15 ans supérieur à leur âge d'état civil [Gadasyna, 1994 ; Romanenko *et al.*, 1995 ; Tron'ko *et al.*, 1995 ; Ouchakov *et al.*, 1997].

9. Les caractéristiques préséniles des liquidateurs comprennent :

- de multiples maladies caractéristiques de la sénilité à un âge précoce (10,6 maladies diagnostiquées chez un liquidateur dépassent de 2,4 fois la norme d'âge) ;
- des modifications dégénératives et dystrophiques dans divers organes et tissus (par exemple : ostéoporose, cholécystite chronique, pancréatite, stéatose du foie, dystrophie rénale, troubles articulaires, musculaires et autres) ;
- une accélération du vieillissement des vaisseaux sanguins, y compris ceux du cerveau, conduisant à une encéphalopathie sénile chez les personnes de 40 ans, et une artériosclérose généralisée ;
- des modifications oculaires, dont la cataracte sénile précoce, la presbytie prématurée et l'athérosclérose des vaisseaux rétiens ;
- une baisse des fonctions mentales supérieures caractéristique de la sénilité ;
- un développement du diabète de type II chez les liquidateurs de moins de 30 ans ;

4. Le vieillissement accéléré comme conséquence de Tchernobyl

- une perte de la stabilité du système antioxydant ;
- une artériosclérose des vaisseaux de la rétine ;
- des troubles auditifs et vestibulaires précoces ;
- des troubles séniles de l'ouïe et de l'appareil vestibulaire.

[Antypova *et al.*, 1997a, b ; Zhavoronkova *et al.*, 2003 ; Kholodova et Zubovsky, 2002 ; Zubovsky et Malova, 2002 ; Vartanyan *et al.*, 2002 ; Krasylenko et Eler Ayad, 2002 ; Kirke, 2002 ; Stepanenko, 2003 ; Kharchenko *et al.*, 1998, 2004 ; Druzhynyna, 2004 ; Fedirko *et al.*, 2004 ; Oradovskaya *et al.*, 2006 ; Teplyakova *et al.*, 2007 ; Fedirko et Kadochnikova, 2006 ; Kholodova, Chirokova *et al.*, 2008].

10. Chez les liquidateurs, une preuve de l'accélération du temps biologique est le raccourcissement du rythme intracircadien de la pression artérielle [Talalaeva, 2002].

11. La sénescence précoce des liquidateurs révèle une figure typique du vieillissement biologique : une activation non spécifique du système immunitaire qui s'accompagne d'une baisse du niveau de restauration érythrocytaire du glutathion, d'une plus forte présence de sa forme oxydée et d'un accroissement de la quantité de groupements carbonyles des protéines [Altoukhova *et al.*, 2007].

12. Les anomalies prouvant le vieillissement accéléré chez pratiquement tous les liquidateurs sont des modifications des parois des vaisseaux sanguins menant au développement de l'athérosclérose. Des changements sont également observés dans les tissus épithéliaux, dont ceux des intestins [Tlepshukov *et al.*, 1998].

13. Un taux de vieillissement accéléré, mesuré à intervalles de 5 ans, marqué par des modifications biologiques et cardio-pulmonaires (et pendant 11 ans par des changements physiologiques) a été constaté chez 81% des hommes et 77% des femmes liquidateurs (306 examinés). Les liquidateurs de moins de 45 ans sont plus vulnérables. L'âge biologique des liquidateurs qui ont travaillé sur le site de la catastrophe de Tchernobyl dans les 4 premiers mois après l'accident dépasse l'âge biologique de ceux qui y ont travaillé par la suite [Polyukhov *et al.*, 2000].

14. Il est supposé que l'apparition accélérée des changements liés à l'âge dans les organes des liquidateurs est la manifestation d'un « syndrome progéroïde » radio-induit [Polyukhov *et al.*, 2000 ; Bebeshko *et al.*, 2006].

Le vieillissement radio-induit par suite de la catastrophe de Tchernobyl a déjà touché des centaines de milliers de personnes et, à l'avenir, il en concernera des millions.

Bibliographie

- Antypova, S. I. & Babichevskaya, A. I. 2001. Belarussian adult mortality among the evacuees. Third International Conference. *Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe: The Results of 15 Years of Investigation*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Materials, Kiev): pp. 152–153 (en russe).
- Antypova, S. I., Korzhunov, V. M., Polyakov, S. M. & Furmanova, V. B. (1997a). Liquidators' health problems In: *Medical Biological Effects and Ways to Overcome the Consequences of the Chernobyl Accident*. (Collection of Papers Dedicated to the Tenth Anniversary of the Chernobyl Accident, Minsk/Vitebsk): pp. 3–6 (en russe).
- Antypova, S. I., Korzhunov, V. M. & Suvorova, I. V. (1997b). Liquidators' tendency to develop chronic non-specific illnesses. Scientific and Practical Conference. *Actual Problems of Medical Rehabilitation of Victims of the Chernobyl Catastrophe*. June 30, 1997, Minsk. (Collection of Papers Dedicated to the Tenth Anniversary of the Republic's Radiation Medicine Dispensary, Materials, Minsk): pp. 59–60 (en russe).
- Bebeshko, V., Bazyka, D., Loganovsky, K., Volovik, S. & Kovalenko, A. *et al.* (2006). Does ionizing radiation accelerate aging phenomena? International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine. Contributed Papers (HOLTEH, Kiev) 1: pp. 13–18 ([//www.tesecint.org/T1.pdf](http://www.tesecint.org/T1.pdf)).
- Druzhynyna, I. V. (2004). Condition of liquidators' mandibles. Inter-Region Inter-Institute Scientific Student Conference, Perm' April 5–7, 2004 (Materials, Perm'/Izhevsk) 1: pp. 53–54 (en russe).
- Fedirko, P. (1999). Chernobyl accident and the eyes: Some results of a prolonged clinical investigation. *Ophthalmol.* 2: 69–73.
- Fedirko, P. & Kadochnykova, I. (2007). Risks of eye pathology in victims of the Chernobyl catastrophe. In: Blokov, I., Sadownichik, T., Labunska, I. & Volkov, I. (Eds.), *The Health Effects of the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace International, Amsterdam): pp. 16–24.
- Fedirko, P. A., Mitchanchuk, N. S. & Kholodenko, T. Yu. (2004). Atherosclerotic changes of the aorta and eye vessels, and acoustic and vestibular disorders as a syndrome of premature aging in liquidators (clinical experimental study). *J. Otolaryngolog.* 4: 44–49 (en russe).

4. Le vieillissement accéléré comme conséquence de Tchernobyl

- Gadasyna, A. (1994). Chernobyl tightens spring of life. *Izvestiya* (Moscow) July 22, p. 3.
- Kharchenko, V. P., Kholodova, N. B. & Zubovsky, G. A. (2004). Clinical and psycho-physical correlates of premature aging after low dose irradiation. All-Russian Scientific Conference. *Medical Biological Problems of Radioactive and Chemical Protection*. May 20–21, 2004, St. Petersburg (Materials, St. Petersburg): pp. 208–210 (en russe).
- Kharchenko, V. P., Rassokhin, B. M. & Zubovsky, G. A. (1998). Importance of bone-densimetry to evaluate the mineral content of liquidator's vertebrae. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Results and Problems of Medical Observation of Health Status of Liquidators Long after the Catastrophe* (MONIKI, Moscow): pp. 103–108 (en russe).
- Kholodova, N. B. & Zubovsky, G. A. (2002). Polymorbidity as syndrome of premature aging after low dose irradiation. *Clinic. Gerontol.* **8**(8): 86–88 (en russe).
- Kirke, L. (2002). Early development of some diseases in liquidators. *Clinic. Gerontol.* **8**(8): 83–84 (en russe).
- Klempartskaya, I.N. (1964). *Endogenous Infection in the Pathogenesis of Radiation Sickness* ("Medicina", Moscow): 179 pp. (en russe).
- Krasylenko, E. P. & Eler Ayad, M. S. (2002). Age characteristics and correlation of cerebral hemodynamics in persons with high risk to develop cerebral vascular pathology. *Aging Longev. Problem* **11**(4): 405–416 (en russe).
- Malygin, V. L., Atlas, E. E. & Zhavoronkova, V. A. (1998). Psychological health of the population in radioactive contaminated territories (psycho-physiological study). In: *International Conference of Psychiatry, Moscow* (Materials, Moscow): pp. 87–88 (en russe).
- Mezhzherin, V.A. (1996). *Civilization and Noosphera*. Book 1 ("Logos", Kiev): 144 pp. (en russe).
- Morozevich, T.S., Gres', N. A., Arynchyn, A.N. & Petrova, V. S. (1997). Some eco-pathogenic problems seen in hair growth abnormalities in Byelorussian children. Scientific and Practical Conference. *Actual Problems of Medical Rehabilitation of the Population Suffering from the Chernobyl Catastrophe*. June 30, 1997, Minsk. Dedicated to the Tenth Anniversary of the Republic's Radiation Medicine Dispensary (Materials, Minsk): pp. 38–39 (en russe).
- Nesterenko, V. B. (1996). *Scale and Consequences of the Chernobyl Catastrophe for Belarus, Ukraine and Russia* (Pravo and Economica, Minsk): 72 pp. (en russe).
- Oradovskaya, I. V., Vykulov, G. Kh., Feoktystov, V. V. & Bozhetskaya, N. V. (2006). Delayed medical consequences in liquidators: Results of 20 years of monitoring. International Conference. *Twenty Years after Chernobyl: Ecological and Social Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 145–166 (en russe).
- Polyukhov, A. M., Kobsar, I. V., Grebelnik, V. I. & Voitenko, V. P. (2000). Accelerated occurrence of age-related organ changes in Chernobyl workers: A radiation-induced progeroid syndrome? *Exper. Gerontol.* **35**(1): 105–115 (en russe).
- Romanenko, A. E., Pyatak, O. A. & Kovalenko, A. L. (1995). Liquidators' health. 2.2. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka", Kiev) ([//www.stopatom.slavutich.kiev/1.htm](http://www.stopatom.slavutich.kiev/1.htm)) (en russe).
- Stepanenko, I. V. (2003). Results of immunological characters and blood pH in liquidators. *Laborat. Diagnost.* **3**: 21–23 (en russe).
- Talalaeva, G. V. (2002). Changes of biological time in liquidators. *Herald Kazhakh. Nat. Nucl. Cent.* **3**: 11–17 (en russe).
- Tlepshukov, I. K., Baluda, M. V. & Tsyb, A. F. (1998). Changes in homeostasis in liquidators. *Hematol. Transfusiol.* **43**(1): 39–41 (en russe).
- Tron'ko, N. D., Cheban, A. K., Oleinik, V. A. & Epshtein, E. V. (1995). Endocrine system. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: Historiography, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka", Kiev): pp. 454–456 (en russe).
- Ushakov, I. B., Arlashchenko, N. I., Dolzhanov, A. J. & Popov, V. I. (1997). *Chernobyl: Radiation Psychophysiology and Ecology of the Person* (Institute of Aviation and Space Medicine, Moscow): 247 pp. (en russe).
- Vartanyan, L. S., Gurevich, S. M., Kozachenko, A. I., Nagler, L. G. & Burlakova, E. B. (2002). Long-term effects of low dose of ionizing radiation on the human anti-oxidant system. *Rad. Biol. Radioecol.* **43**(2): 203–205 (en russe).
- Zhavoronkova, L. A., Gabova, A. V., Kuznetsova, G. D., Sel'sky, A. G. & Pasechnik, V. I. et al. (2003). Postradiation effect on inter-hemispheric asymmetry via EEG and thermographic characteristics. *J. High Nervous Activit.* **53**(4): 410–419 (en russe).
- Zubovsky, G. A. & Malova, Yu. V. (2002). Aging abnormalities in liquidators. *Clinic. Gerontol.* **8**(8): 82–83 (en russe).

Chapitre 5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Alexey V. Yablokov

Ce chapitre décrit l'éventail et l'ampleur des maladies non cancéreuses qui ont été observées parmi les populations exposées. Des effets indésirables résultant de l'irradiation de Tchernobyl ont été retrouvés dans tous les groupes étudiés. Des dommages cérébraux ont été constatés chez les personnes directement exposées, les liquidateurs et les personnes vivant dans les territoires contaminés, ainsi que chez leur descendance. Des cataractes prématurées, des anomalies des dents et de la bouche et des maladies sanguines, lymphatiques, cardiaques, pulmonaires, gastroentérologiques, urologiques, osseuses, dermatologiques affligent et handicapent la population, qu'elle soit jeune ou âgée. Un dysfonctionnement du système endocrinien, en particulier de la thyroïde, est beaucoup plus répandu que l'on ne pouvait supposer, avec quelque 1 000 cas de dysfonctionnement pour chaque cas de cancer de la thyroïde, une augmentation marquée après la catastrophe. Des altérations génétiques et des anomalies congénitales se développent surtout chez les enfants de liquidateurs et chez les enfants nés dans des zones ayant subi une contamination par les radio-isotopes à des niveaux élevés. Des anomalies immunologiques et une augmentation des infections virales, bactériennes et parasitaires sont monnaie courante chez les personnes vivant dans les zones fortement contaminées. Pendant plus de 20 ans, la morbidité globale est restée élevée chez les personnes exposées à l'irradiation provoquée par Tchernobyl. On ne peut pas donner foi à l'explication selon laquelle ces chiffres sont dus seulement à des facteurs socio-économiques. Les conséquences néfastes de la catastrophe sont amplement prouvées dans ce chapitre et concernent des millions de personnes.

5.1. Maladies du sang et du système lymphatique

Tant pour les enfants que pour les adultes, les maladies du sang et du système circulatoire et lymphatique figurent parmi les conséquences les plus répandues de la contamination radioactive de Tchernobyl et constituent une cause majeure de morbidité et de décès pour les personnes ayant travaillé comme liquidateurs.

5.1.1. Maladies du sang et des organes hématopoïétiques

5.1.1.1. Belarus

1. Neuf ans après la catastrophe, l'incidence des maladies du sang et des organes hématopoïétiques était 3,8 fois plus élevée chez les personnes évacuées. Elle était 2,4 fois plus

élevée chez les habitants des territoires contaminés que pour l'ensemble de la population du Belarus ; ces taux étaient respectivement de 279, 175 et 74 pour 100 000 [Matsko, 1998].

2. En 1995, pour les liquidateurs belarusses, l'incidence des maladies du sang et des organes hématopoïétiques était 4,4 fois plus élevée que celle des groupes témoins dans l'ensemble de la population (304 et 69 pour 100 000) [Matsko, 1999, d'après Kudryashov, 2001].

3. L'incidence des anomalies hématologiques était bien plus élevée chez les 1 220 424 nouveau-nés dans les territoires contaminés par le Cs-137 à un niveau supérieur à 1 Ci/km² [Busuet *et al.*, 2002].

4. En 1996, l'incidence des maladies du sang et du système lymphatique était 3 à 5 fois plus élevée dans les districts les plus contaminés de Stoline et Louninets de la province de

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Brest que dans les districts moins contaminés [Gordeiko, 1998].

5. Dans le sang périphérique de 26 enfants en bonne santé d'un bourg du district de Maysky-Tcherikov de la région de Moguilev, qui ont vécu avant 1989 dans des territoires extrêmement radiocontaminés de ce district, on a découvert de fortes mutations de la chromatine interphasique des noyaux des lymphocytes [Kroutchinsky *et al.*, 2006].

6. L'activité du complément sérique et le nombre de cellules productrices du composant C4 ont été nettement plus faibles chez 350 enfants de la zone du Belarus contaminée par le Cs-137 ; dans les zones les plus contaminées ($> 15 \text{ Ci/km}^2$), le niveau des cellules productrices du composant C3 était nettement inférieur [Zafranskaya *et al.*, 1995].

7. L'activité myélotoxique du sang (MTA) et le nombre de lymphocytes T étaient considérablement plus bas chez les patients atteints de sclérose en plaques dans les zones contaminées par le Cs-137 de 5 à 15 Ci/km^2 [Fyllypovich, 2002].

8. Les nombres absolu et relatif de lymphocytes et le pourcentage de cellules basophiles étaient sensiblement plus élevés chez les adultes et les adolescents vivant dans les territoires de la province de Gomel avec un niveau de contamination par le Cs-137 de 15 à 40 Ci/km^2 [Miksha et Danylov, 1997].

9. Les personnes évacuées et celles qui vivent encore dans les territoires lourdement contaminés ont des pourcentages beaucoup plus bas de leucocytes qui ont exprimé le marqueur cellulaire pan-T CD3 [Baeva et Sokolenco, 1998].

10. Neuf ans après la catastrophe, chez des enfants du district de Kalinkovitchi, la fréquence de micronoyaux dans les lymphocytes du sang périphérique était deux fois plus élevée que chez des enfants de Minsk [Mikhalevitch *et al.*, 2000].

11. Chez les habitants des provinces de Vitebsk et de Gomel qui ont développé des maladies infectieuses dans les 3 premières années après la catastrophe, le nombre de leucocytes était bien plus élevé que chez ceux qui souffraient déjà de ces maladies [Matveenکو *et al.*, 1995].

12. Le nombre de cas d'états préleucémiques (syndrome myélodysplasique et anémie aplastique) a fortement augmenté au cours des 11 premières années après la catastrophe (Tableau 5.1).

Tableau 5.1. Statistiques des cas annuels d'enfants bélarusses ayant une dépression des organes hématopoïétiques après la catastrophe [Gapanovich *et al.*, 2001]

	1979–1985	1986–1992	1993–1997
Nombre moyen de cas	9,3	14,0	15,6
Cas pour 10 000	$0,60 \pm 0,09$	$0,71 \pm 0,1^*$	
	1,00	1,46*	1,73*

* $p < 0,05$.

13. D'importants changements dans la structure de la couche d'albumine de la membrane érythrocytaire (fragilité cellulaire accrue) sont survenus chez des enfants de liquidateurs nés en 1987 [Arynychin *et al.*, 1999].

14. Au Belarus, il existe une corrélation entre la hausse de l'anémie par carence en fer et le niveau de contamination radioactive dans le territoire [Dzykovich *et al.*, 1994 ; Nesterenko, 1996]. Dans les zones contaminées de la province de Moguilev, le nombre de personnes ayant une leucopénie et une anémie a été multiplié par 7 de 1986 à 1988 par rapport à 1985 [Gofman, 1994a]. Bien que l'anémie soit généralement liée à des carences nutritionnelles, elle résulte également, tout comme dans le cas de la contamination par le plomb, des effets des rayonnements sur la moelle osseuse, laquelle produit les leucocytes et les érythrocytes.

15. D'après les données de statistiques médicales officielles, pendant les années 2002–2008, la morbidité primaire de toute une population de la région de Gomel souffrant d'affections des tissus lymphatiques et érythropoïétiques a augmenté de 56,6% (de 15,9 à 24,9 pour 100 000), notamment avec la leucose qui a augmenté de 90,3% (de 7,2 à 13,7), les tumeurs malignes des tissus lymphatiques et érythropoïétiques qui ont augmenté de 26,7% (de 18,7 à 23,7). Au cours de cette période, la morbidité globale de toute la population qui souffrait de tumeurs malignes des tissus lymphatiques et érythropoïétiques a crû de 43,2% [Sosnovskaya et Kotova, 2010].

16. Pendant les années 1986–2000, des examens annuels du sang périphérique de 83 liquidateurs de la période 1986–1988 ont mis en évidence une augmentation du taux de lymphocytes, de monocytes et de réticulocytes et une baisse du nombre de thrombocytes [Porovsky *et al.*, 2006a].

17. Chez 37 liquidateurs hommes de la période 1986-1988, on a observé dans la moelle osseuse, dans les cellules de la série myéloïde, une baisse du nombre moyen de promyélocytes, de myélocytes (avec un franchissement de la limite inférieure de la norme), une diminution du nombre de normocytes basophiles et polychromatophiles (ces derniers dépassant la limite inférieure de la norme), une prolifération accrue des normocytes oxyphiles. La valeur moyenne du rapport leucocytes/érythroblastes a été supérieure à la norme. Le nombre moyen de cellules monocytaires a franchi la limite supérieure d'amplitude de la norme [Porovsky *et al.*, 2006b].

18. Au cours de la période 2002-2008, la mortalité chez les liquidateurs de la région de Gomel, pour cause de maladies des tissus lymphatiques et érythropoïétiques, a augmenté de 120,0% (de 0,1 à 0,22 pour 1 000) [Sosnovskaya et Kotova, 2010].

19. De 1991 à 1994, les produits primaires de l'oxydation des lipides dans le plasma du sang des enfants (0-12 mois) de Moguilev (district de Krasnopolie), Gomel (district de Korma) et Vitebsk (district de Ushachi), provinces contaminées par le Cs-137, ont fortement diminué. La quantité de vitamines A et E dans le sang des bébés des territoires les plus contaminés (jusqu'à 40 Ci/km²) a diminué de 2,0 à 2,7 fois [Voznenko *et al.*, 1996].

20. Les enfants du district de Tchettersk (province de Gomel), à niveaux de 15 à 40 Ci/km² de Cs-137, et des districts de Mtsensk et Bolkhov (province d'Orel, Russie), à niveaux de 1 à 15 Ci/km², ont deux à six fois plus de produits d'oxydation lipidique. Les taux de bio-antioxydants essentiels (BAO) ont été 2 à 3 fois inférieurs aux normes pour les tranches d'âge correspondantes. Les enfants contaminés ont des taux de métabolisme des BAO deux à dix fois plus élevés que les normes d'âge [Baleva *et al.*, 2001a].

21. Pour les garçons irradiés *in utero*, il y a eu une réduction de la bilirubine directe et une augmentation de la bilirubine libre dans le sérum sanguin pendant plus de dix ans. Pour les filles, il y a eu une concentration réduite de ces formes directe et indirecte de la bilirubine [Sychik et Stozharov, 1999a, b].

5.1.1.2. Ukraine

1. Dans les territoires fortement contaminés, le niveau de radicaux libres oxydants dans le sang des enfants était nettement supérieur à

celui observé dans les territoires les moins contaminés : $1\,278 \pm 80$ contre 445 ± 36 , mesurés sous forme d'impulsions par minute [Horishna, 2005].

2. Les enfants de liquidateurs et ceux vivant dans les territoires contaminés avaient deux à trois fois plus de pathologies du sang et des organes hématopoïétiques que ceux des enfants de territoires non contaminés [Horishna, 2005].

3. Les maladies du sang et du système circulatoire chez les personnes vivant dans les territoires contaminés ont augmenté de 11 à 15 fois au cours des 12 premières années après la catastrophe (1988-1999) [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

4. En 1996, les pathologies des organes hématopoïétiques dans les territoires contaminés étaient 2,4 fois plus nombreuses que dans l'ensemble de la population de l'Ukraine (12,6 et 3,2 pour 10 000) [Grodzinsky, 1999].

5. Pendant les 10 premières années après la catastrophe, le nombre de cas de maladies du sang et des organes hématopoïétiques chez les adultes dans les territoires contaminés de la province de Jitomir a augmenté de plus de 50 fois : de 0,2 à 11,5% [Nagornaya, 1995].

6. En une décennie après la catastrophe, les pathologies du sang et des organes hématopoïétiques chez les adultes et les adolescents vivant dans les territoires contaminés a augmenté de 2,4 fois : de 12,7 en 1987 à un maximum de 30,5 pour 10 000 en 1996. Pour le reste de la population de l'Ukraine, ce niveau est le même qu'avant la catastrophe [Grodzinsky, 1999].

7. Au cours de la période d'activité aiguë de l'iode (les premiers mois après la catastrophe), une morphologie anormale des cellules sanguines a été décelée chez plus de 92% de 7 200 enfants suivis vivant dans la région et 32% d'entre eux avaient aussi un hémogramme anormal. Les anomalies incluaient un gonflement mitochondrial et une stratification des membranes nucléaires, un élargissement des espaces périnucléaires, des changements pathologiques dans les surfaces cellulaires, une diminution de la concentration de substances cellulaires et une augmentation du volume d'eau. Cette dernière est une indication de dommages des membranes cellulaires [Stepanova *et al.*, 2006a, 2006b].

8. En 1987-1988, des changements qualitatifs dans les cellules sanguines ont été constatés chez 78,3% des enfants des zones soumises

à des niveaux de rayonnement de 5 à 15 Ci/km² [Stepanova et Davidenko, 1995].

9. Dans les territoires contaminés, une anémie a été retrouvée chez 11,5% de 1 926 enfants examinés de 1986 à 1998 [Bebeshko *et al.*, 2000].

10. À partir des résultats des suivis sur 6 ans (1993-1998) de 12 151 enfants de 38 bourgs du district de Naroditchi (région de Jitomir) à niveau variable de contamination par le césium-137, on a constaté que le nombre d'érythrocytes, de thrombocytes et de leucocytes, ainsi que le taux d'hémoglobine, étaient indiscutablement plus bas dans les territoires les plus contaminés [Stepanova *et al.*, 2008].

11. Les enfants à maladies respiratoires récidivantes (MRR) vivant dans des territoires radiocontaminés avaient un pourcentage de lymphocytes T nettement moindre (et un plus grand nombre de lymphocytes NK) en comparaison d'enfants souffrant de MRR, mais vivant dans des territoires non contaminés. En outre, il y avait moins de lymphocytes T CD3⁺ et CD4⁺ chez les enfants des territoires à niveau total d'irradiation due au césium-137 (134) et au strontium-90 > 1,0 mSv [Tchernychov *et al.*, 1997]. Lors d'une étude menée en 1994-1996 comparativement à l'étude de ce même groupe d'enfants en 1991, le nombre de lymphocytes T auxiliaires avait nettement diminué [Vykhovanets *et al.*, 2000].

12. Durant les premières années après la catastrophe, l'hémogramme de 36,3% des enfants qui habitaient dans des territoires radiocontaminés de la région de Jitomir s'écartait de la norme de leur tranche d'âge ; au bout de 10 ans, on n'observait plus ces écarts [Sorokoman, 1999].

13. On rencontre plus souvent des anémies dans les territoires à niveau de radiocontamination de 15 à 40 Ci/km². Chez les enfants des districts les plus radiocontaminés, le taux d'éosinophiles augmente : 16,5% (du nombre total d'enfants examinés dans le district) dans le district d'Ovroutch, 19% dans celui de Naroditchi et 25,3% dans celui de Louga. Le taux d'hémoglobine est incontestablement plus élevé là où le sol est contaminé à 1-5 Ci/km² et réduit au-dessus de 15 Ci/km². Le nombre global de leucocytes baisse dans les territoires à niveau de contamination du sol supérieur à 15 Ci/km² [Doubyei, 2001].

14. La valeur de la majorité des mesures du sang périphérique est liée d'une manière non linéaire à la quantité de Cs-137 incorporée. En

cas de radioactivité incorporée globale > 4 500 Bq, le nombre des érythrocytes augmente, les taux d'hémoglobine et d'hématocrite s'élèvent. Avec une activité de 1 501 à 2 000 Bq et pour 6 001 à 10 000 Bq, le nombre de thrombocytes a résolument baissé. Avec une activité de 1 501 à 4 000 Bq et 10 001 à 15 000 Bq, le taux d'éosinophiles et de basophiles a diminué. Il existe une corrélation positive entre le taux de neutrophiles à segmentation nucléaire et la quantité de radioactivité incorporée. À des niveaux de radioactivité incorporée de 501 à 1 500 Bq et 4 501 à 5 000 Bq, le taux de lymphocytes décroît. En cas d'activité de 10 001 à 15 000 Bq, le taux de monocytes baisse nettement [Doubyei, 2001].

15. Chez les enfants de liquidateurs vivant dans des territoires contaminés, les pathologies du sang et des organes érythropoïétiques sont deux à trois fois plus fréquentes que dans d'autres secteurs [Horishna, 2005].

16. Chez les personnes irradiées du fait de la catastrophe, on met en évidence une plus forte concentration de facteurs de croissance thrombocytaire (isoforme dimérique) dans des prélèvements de moelle osseuse en cas de myélofibrose avec métaplasie myéloïde en l'absence d'un stade de crise blastique (associée à une augmentation du nombre de formes cellulaires jeunes sur un mégacaryocytochrome et à une forte prolifération de cellules précurseurs hématopoïétiques) [Babyechko *et al.*, 2006].

5.1.1.3. Russie

1. Les maladies du sang et des organes hématopoïétiques ont entraîné une morbidité générale beaucoup plus importante chez les enfants des zones contaminées [Kulakov *et al.*, 1997].

2. La morbidité due à des anomalies du sang et du système circulatoire a plus que doublé chez les enfants des districts contaminés de la province de Toula et a augmenté dans tous les districts contaminés par rapport à la période précédant la catastrophe [Sokolov, 2003].

3. En 1998, la morbidité générale annuelle concernant le sang, les organes hématopoïétiques et l'appareil circulatoire d'enfants dans les districts contaminés de la province de Briansk a largement dépassé le niveau de la province (19,6 contre 13,7 pour 1 000) [Fetysov, 1999a].

4. Chez les liquidateurs, les pathologies du sang et des organes hématopoïétiques ont

augmenté de 14,5 fois entre 1986 et 1993 [Baleva *et al.*, 2001].

5. D'après une enquête, 10 ans après la catastrophe, un nombre dangereusement faible de lymphocytes a été constaté chez les enfants des districts contaminés de la province de Briansk [Luk'ianova et Lenskaya, 1996].

6. Dans les villages de la province de Briansk, avec de très hauts niveaux de contamination des sols par le Cs-137 et une contamination significative par le Sr-90, le taux d'hémoglobine sanguin de près de la moitié des enfants dépassait 150 g/litre [Lenskaya *et al.*, 1995].

7. Les personnes vivant dans les zones contaminées ont moins de lymphocytes avec réaction adaptative et le nombre de personnes à radiosensibilité accrue des lymphocytes a augmenté [Burlakova *et al.*, 1998].

8. Vingt ans après la catastrophe, chez des hommes jeunes (75 conscrits de 19 ans) habitant dans un territoire radiocontaminé (ville de Jelesnogorsk, région de Koursk), le spectre d'EEG à haute fréquence est caractérisé par une fréquence accrue de manifestations de formes lentes d'activité bioélectrique [Smolyakova, 2007].

9. D'après des données de deux décennies de suivi de 75 liquidateurs, on a observé une croissance des maladies cardiovasculaires durant les 5 à 10 premières années et après 20 ans de suivi, principalement du fait de l'hypertension HT (86,3%) et de la coronaropathie CI (54,5%). À partir de la deuxième étape (dix ans de suivi), la HT a été la plus fréquente, suivie de la CI. La HT et la CI se sont surtout développées dans les sous-groupes d'âge 31-40 ans et 41-50 ans [Chalyapina, 2007].

10. Le nombre de leucocytes, d'érythrocytes, de lymphocytes et de thrombocytes du sang périphérique des liquidateurs était nettement différent [Tukov *et al.*, 2000]. Le nombre de grands lymphocytes granulaires avait diminué de 60 à 80% un mois après que les liquidateurs eurent commencé à travailler et il est resté à un niveau inférieur pendant au moins un an [Antushevich et Legeza, 2002].

11. Le taux de glutathion dans les protéines du sang et les caractéristiques cytogénétiques des lymphocytes étaient nettement différents chez les enfants nés 5 à 7 ans après la catastrophe dans les districts contaminés de Mtsensk et Bolkhov, province d'Orel en Rus-

sie, et dans le district de Tchetchersk, province de Gomel au Belarus [Ivanenko *et al.*, 2004].

12. Dans les territoires contaminés de la province de Koursk, des modifications du nombre de lymphocytes, de l'activité fonctionnelle et du nombre de complexes immuns circulant ont été observées dans le sang des enfants de 10 à 13 ans et chez les femmes enceintes [Alymov *et al.*, 2004].

13. Des anomalies des lymphocytes et une lymphopénie ont été observées bien plus fréquemment chez les enfants des territoires contaminés [Sharapov, 2001 ; Vasyna *et al.*, 2005]. Dans les territoires fortement contaminés, on a trouvé bien plus fréquemment des ganglions lymphatiques palpables et ceux-ci étaient plus volumineux. Une amygdalite chronique et une hypertrophie des amygdales et des végétations ont été retrouvées chez 45,4% des 468 enfants et adolescents examinés [Bozhko, 2004].

14. Chez les liquidateurs, les paramètres suivants du sang et du système lymphatique étaient très différents de ceux des groupes témoins :

- durée moyenne de la relaxation magnétique nucléaire (NPMR) du plasma sanguin [Popova *et al.*, 2002] ;
- réaction des récepteurs des leucotriènes des membranes érythrocytaires [Karpova et Koretskaya, 2003] ;
- quantité de sous-produits de la peroxydation des lipides (POL) (par détermination de l'aldéhyde malonique), sous-viscosité des membranes et un degré de non saturation des lipides [Baleva *et al.*, 2001a] ;
- déséquilibre entre molécules de taille intermédiaire dans les thrombocytes, les érythrocytes et le sérum sanguin [Zagradskaya, 2002] ;
- diminution de la dissémination de la composante granulaire du noyau lymphocytaire, réduction de la zone et du périmètre des zones périgranulaires ; augmentation des projections en forme de dents de cette zone [Aculich, 2003] ;
- augmentation de l'agrégation plaquettaire intravasculaire [Tlepshukov *et al.*, 1998] ;
- augmentation de l'activité fibrinolytique du sang et concentration du fibrinogène dans le sérum sanguin [Tlepshukov *et al.*, 1998].

Tableau 5.2. Dynamique de la corrélation par type lymphopoïétique (en %) chez les liquidateurs russes [Karamulin *et al.*, 2004]

Temps après la catastrophe	Types lymphopoïétiques		
	Quasi-normal	Hyper-régénératif	Hypo-régénératif
0 à 5 ans	32	55	13
5 à 9 ans	38	0	62
10 à 15 ans	60	17	23
Groupe témoin	76	12	12

15. La lymphopoïèse des liquidateurs est restée altérée 10 ans après la catastrophe (Tableau 5.2).

On sait que les jeunes victimes de la bombe atomique au Japon souffrent de maladies des organes hématopoïétiques 10 fois plus souvent que les groupes témoins, même à la deuxième et à la troisième génération [Furitsu *et al.*, 1992]. Ainsi, on peut s'attendre à ce que, suite à la catastrophe de Tchernobyl, plusieurs générations développent des maladies hématopoïétiques résultant des rayonnements.

5.1.2. Maladies cardiovasculaires

Les maladies cardiovasculaires sont très répandues dans tous les territoires contaminés par les émissions de Tchernobyl.

5.1.2.1. Belarus

1. À l'échelle nationale, les maladies cardiovasculaires ont été multipliées par 3 à 4 en 10 ans par rapport à la période précédant Tchernobyl, et même bien plus dans les zones les plus fortement contaminées [Manak *et al.*, 1996 ; Nesterenko, 1996].

2. La déficience de l'homéostasie cardiovasculaire est caractéristique dans les 4 premiers jours de vie des nouveau-nés dans les districts ayant des niveaux de contamination supérieurs à 15-40 Ci/km² [Voskresenskaya *et al.*, 1996].

3. L'incidence des hémorragies chez les nouveau-nés dans le district contaminé de Tchettersk de la province de Gomel a plus que doublé par rapport à celle précédant la catastrophe [Kulakov *et al.*, 1997].

4. Des changements dans le système cardiovasculaire corrélés avec des niveaux de rayonnement ont été observés chez plus de 70% des enfants âgés de 3 à 7 ans de territoires contaminés de la province de Gomel [Bandajevskaya, 1994].

5. En 1995, les maladies du système cardiovasculaire parmi la population des territoires contaminés et d'évacués étaient 3 fois plus fréquentes que dans l'ensemble du Belarus (4 860 et 1 630 pour 100 000) [Matsko, 1999].

6. Plus de 70% d'enfants de territoires dont le sol était contaminé par le Cs-137 à un niveau de 5 à 20 Ci/km² ont eu des anomalies du rythme cardiaque durant leur première année [Tsybul'skaya *et al.*, 1992 ; Bandajevsky, 1999]. Des anomalies du rythme cardiaque et de la conductivité étaient corrélées avec la quantité de radionucléides incorporés [Bandajevsky *et al.*, 1995 ; Bandajevsky, 1999]. Il y a eu une incidence nettement plus élevée et une persistance d'anomalies du rythme cardiaque chez les patients souffrant d'ischémie cardiaque dans les territoires contaminés [Arynychyna et Mil'kmanovich, 1992].

7. On a trouvé à la fois des baisses et des hausses de pression artérielle chez les enfants et les adultes des zones contaminées [Sykorensky et Bagel, 1992 ; Gontcharik, 1992 ; Nedvetskaya et Lyalikov, 1994 ; Zabolotny *et al.*, 2001 ; et d'autres]. Une augmentation de la pression artérielle s'est produite beaucoup plus souvent chez des adultes de la province de Moguilev, où la contamination a été supérieure à 30 Ci/km² [Podpalov, 1994]. Des valeurs plus élevées de la pression artérielle ont été observées chez les enfants en corrélation avec la quantité de Cs-137 incorporé [Bandajevskaya, 2003 ; Kienya et Ermolitsky, 1997].

8. Les vaisseaux artériels cérébraux des enfants de 4 à 16 ans étaient plus fragiles que ceux des enfants en bonne santé dans les zones contaminées de Gomel (districts de Narovlia, Braguine, Yelsk, Khoïniki), Moguilev (districts de Tchernigov, Krasnopolie et Slavgorod) et des provinces de Brest [Arynychin *et al.*, 1996, 2002 ; Arynychin, 1998].

9. La morbidité du système circulatoire chez les enfants nés de parents irradiés a été sensiblement supérieure de 1993 à 2003 [Rapport national du Belarus, 2006].

10. Au Belarus, de 1994 à 2004, la morbidité infantile concernant les affections du système circulatoire a plus que doublé et a sextuplé pour ce qui est de l'hypertension (4,4 enfants sur 1 000 en 1994, mais 27,0 en 2004) [Belookaya et Tchernenk, 2010].

11. D'après les données du Registre d'État, dans la région de Gomel au cours des années 2000-2006, la morbidité infantile primaire concernant les maladies des organes du système circulatoire a été deux fois plus forte que dans la région de Grodno, moins contaminée à la suite de la catastrophe (respectivement $455,0 \pm 38,0$ et $218,6 \pm 30,2$) [Belookaya et Tchernenk, 2010].

12. Le volume des pertes sanguines durant la naissance par césarienne était nettement plus élevé chez les femmes de la province de Gomel vivant dans les territoires contaminés par le Cs-137 à des niveaux de 1-5 Ci/km² que chez celles des zones non contaminées [Savchenko *et al.*, 1996].

13. La circulation sanguine des membres inférieurs, mesurée par les réactions vasomotrices des gros vaisseaux, chez les filles de 10 à 15 ans vivant dans des régions contaminées par le Cs-137 à un niveau supérieur à 1-5 Ci/km², était très anormale par rapport à celle des filles des territoires moins contaminés [Khomich et Lysenko, 2002 ; Savanevsky et Gamshey, 2003].

14. D'après des statistiques médicales officielles, au cours de la période 2002-2008 dans la région de Gomel, on a noté une considérable augmentation (de 64,2%) de la morbidité primaire de toute la population souffrant de maladies du système circulatoire [Sosnovskaya et Kotova, 2010].

15. Durant les années 2002 à 2008, la mortalité parmi les liquidateurs de la région de Gomel par suite de maladies du système circulatoire a augmenté de 29,9% (de 10,5 à 13,7). En 2008, dans la structure de la mortalité de la population touchée de la région de Gomel, dominaient les maladies du système circulatoire – 53,6% [Sosnovskaya et Kotova, 2010].

16. La morbidité première des liquidateurs hommes et femmes était une pression artérielle élevée, des attaques cardiaques aiguës, des maladies cérébro-vasculaires et une athérosclé-

rose des bras et des jambes, qui ont augmenté considérablement entre 1993 et 2003, y compris dans le groupe des jeunes travailleurs [Rapport national du Belarus, 2006].

17. Pendant la période d'observation 1992-1997, l'incidence des maladies cardiovasculaires fatales chez les liquidateurs a augmenté de 22,1%, à comparer aux 2,5% de la population totale [Pflugbeil *et al.*, 2006].

5.1.2.2. Ukraine

1. La morbidité due à des maladies du système circulatoire en 1996 dans les territoires contaminés a été 1,5 fois plus élevée que dans le reste de l'Ukraine (430 contre 294 pour 10 000) [Grodzinsky, 1999].

2. Les symptômes d'une athérosclérose précoce ont été observés chez 55,2% des enfants dans les territoires contaminés à un niveau de 5 à 15 Ci/km² [Burlak *et al.*, 2006].

3. Des maladies du système cardiovasculaire sont survenues bien plus souvent chez les enfants irradiés *in utero* (57,8 contre 31,8%, $p < 0,05$) [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

4. L'incidence d'hémorragies chez les nouveau-nés du district contaminé de Polésie, province de Kiev, a plus que doublé depuis la catastrophe [Kulakov *et al.*, 1997]. L'athérosclérose et la coronaropathie sont vues beaucoup plus souvent chez les jeunes personnes évacuées et celles vivant dans des territoires contaminés [Prokopenko, 2003].

5. La morbidité par dystonie vasculaire végétative chez les liquidateurs (tachycardie, hyperthyroïdie et neuropathie) était 16 fois plus élevée que la moyenne en Ukraine dans les 10 premières années après la catastrophe [Serdyuk et Bobyleva, 1998].

6. Chez plus de 50% des enfants et adolescents évacués de la région de Jitomir, à l'occasion d'un suivi 4 à 5 ans et 8 à 11 ans après la catastrophe, on a relevé une progression de la dégradation de l'état fonctionnel du myocarde et de la géodynamique cérébrale : baisse du débit sanguin cardiaque et prédominance d'un type hypokinétique d'hémocirculation [Kostenko, 2005].

7. En 2006, l'incidence des affections cardiovasculaires chez 1 435 liquidateurs-conscrits a augmenté d'un facteur 5,4 en comparaison de 1985 et les maladies hypertensives d'un facteur 26 [Kravtchenko *et al.*, 2006].

5.1.2.3. Russie

1. Pour les trois districts fortement contaminés de la province de Briansk, la morbidité liée à des problèmes du système circulatoire chez les enfants est de trois à cinq fois plus élevée que la moyenne [Komogortseva, 2006].

2. L'incidence des hémorragies chez les nouveau-nés dans les districts contaminés de Mtsensk et de Bolkhov, province d'Orel, est du double de ce qu'elle était avant la catastrophe [Kulakov *et al.*, 1997].

3. Chez les enfants nés dans des familles de liquidateurs de la région de Kalouga, vers l'âge de 10 ans, les pathologies des organes de la circulation sanguine sont deux fois plus élevées que pour l'ensemble de la population infantine de la région. Ces données sont très proches des niveaux de morbidité chez les enfants de liquidateurs de toute la Russie, d'après les informations du Registre d'État du ministère de la santé [Tsyb *et al.*, 2006b].

4. Pour les liquidateurs, la morbidité par maladie de l'appareil circulatoire a augmenté de 23 fois entre 1986 et 1994 [Baleva *et al.*, 2001]. De 1995 à 1998, la morbidité chez les liquidateurs de la province de Briansk a augmenté de 2,2 fois [Fetysov, 1999b]. Selon d'autres données, de 1991 à 1998 la morbidité a augmenté de 1,6 fois [Byryukov *et al.*, 2001]. Quelque 13 ans après la catastrophe, la morbidité cardiovasculaire parmi les liquidateurs était 4 fois plus élevée que celle de groupes correspondants dans la population [Rapport national de Russie, 1999].

5. La santé des liquidateurs diffère significativement de celle des groupes témoins, les premiers ayant une pression artérielle plus élevée, davantage de coronaropathies et un épaississement de la paroi cardiaque caractéristique de l'athérosclérose. Les liquidateurs vivant dans des territoires contaminés de la pro-

vince de Voronej différaient également des groupes témoins par le nombre d'attaques (accidents vasculaires cérébraux) et les cas de coronaropathie (Tableau 5.3).

6. Dix ans après la catastrophe, il y a eu une augmentation de l'incidence de pression artérielle élevée chez un large groupe de liquidateurs qui ont travaillé d'avril à juin 1986 [Kuznetsova *et al.*, 2004]. L'augmentation de la pression artérielle systolique était caractéristique chez tous les liquidateurs examinés [Zabolotny *et al.*, 2001].

7. De 1991 à 1998, l'incidence des coronaropathies chez les liquidateurs a augmenté de 3 fois, passant de 20 à 58,9% [Zubovsky et Smirnova, 2000]. Les coronaropathies se sont développées chez un tiers de 118 liquidateurs en observation pendant 15 ans [Noskov, 2004]. De 1993 à 1996, un autre groupe de liquidateurs a montré une augmentation significative des coronaropathies, de 14,6 à 23,0% [Stroukov, 2003]. La morbidité et la fréquence d'occurrence des coronaropathies chez les liquidateurs et dans l'ensemble de la population des territoires contaminés continuent à croître [Khrysanfov et Meskikh, 2001].

8. Chez tous les liquidateurs examinés, il a été courant de trouver une baisse de tonus des vaisseaux artériels dans le cercle de Willis du cerveau [Kovaleva *et al.*, 2004].

9. Un défaut de la circulation du sang dans le cerveau (dystonie neurocirculatoire) a été constaté chez la majorité des liquidateurs examinés en 1986-1987 et le nombre de ces cas est en augmentation [Romanova, 2001 ; Bazarov *et al.*, 2001 ; Antushevich et Legeza, 2002 ; Kuznetsova *et al.*, 2004 ; et d'autres]. Ces changements se produisent principalement en raison d'une atteinte des petites artères et artérioles [Troshyna, 2004] et sont survenus plus fréquemment chez les liquidateurs jeunes [Kuznetsova *et al.*, 2004].

Tableau 5.3. Caractéristiques cardiovasculaires des liquidateurs hommes de la province de Voronej [Babkin *et al.*, 2002]

Paramètre	Liquidateurs (n = 56)	Habitants des territoires contaminés (n = 60)	Groupe témoin (n = 44)
Pression artérielle systolique	151,9 ± 1,8*	129,6 ± 2,1	126,3 ± 3,2
Pression artérielle diastolique	91,5 ± 1,5*	83,2 ± 1,8	82,2 ± 2,2
Coronaropathie, %	9,1*	46,4	33,3
AVC, %	4,5*	16,1*	0
Épaisseur de la paroi de la carotide, mm*	1,71 ± 0,90*	0,81 ± 0,20	0,82 ± 0,04
Hérédité chargée, %	25	25	27,3

* Différences statistiquement significatives par rapport aux groupes témoins

La défectuosité de la circulation du sang dans le cerveau chez les liquidateurs est parfois définie comme l'encéphalopathie dyscirculatoire (DCE), une pathologie cérébrale vasculaire chronique conduisant à la destruction fonctionnelle et organique du système nerveux central. La DCE a été diagnostiquée dans 40% des cas de maladie structurelle cérébrale circulatoire chez les liquidateurs de Russie en 2000. Cet état pathologique est spécifique de l'impact des petites doses de radioactivité de Tchernobyl et ne figure pas dans la classification internationale des maladies [Khrysanfov et Meskikh, 2001].

10. L'hypertension est beaucoup plus fréquente tant chez les liquidateurs que chez les personnes vivant dans les territoires contaminés. L'hypertension artérielle représentait 25% des cas de pathologie chez les liquidateurs en 2000 [Khrysanfov et Meskikh, 2001]. La morbidité par hypertension dans un groupe de liquidateurs a augmenté de 18,5% en 1993 à 24,8% en 1996 [Stroukov, 2003]. L'hypertension artérielle est même notée plus souvent chez les enfants de liquidateurs [Kulakov *et al.*, 1997].

11. Lors d'une deuxième évaluation, en 2000-2001, une athérosclérose des artères brachiocéphaliques a été constatée chez plusieurs membres du même grand groupe de liquidateurs examiné à l'origine en 1993-1994 [Shamaryn *et al.*, 2001].

12. La masse ventriculaire gauche du cœur était bien plus importante chez les liquidateurs alors que les pressions artérielles étaient normales [Shal'nova *et al.*, 1998].

13. Typiquement, les anomalies cardiovasculaires persistaient chez les liquidateurs longtemps après la catastrophe [Shamaryn *et al.*, 2001 ; Khrysanfov et Meskikh, 2001 ; Kuznetsova *et al.*, 2004].

14. Une circulation vasculaire anormale des yeux se retrouvait chez tous les liquidateurs examinés [Rud' *et al.*, 2001 ; Petrova, 2003]. On a également constaté que les liquidateurs souffraient d'une diminution des propriétés antimicrobiennes des parois des vaisseaux [Tlepshukov *et al.*, 1998].

15. Les liquidateurs atteints d'une coronaropathie diffèrent de manière significative par de nombreux paramètres hémodynamiques d'autres patients du même âge [Talalaeva, 2006].

16. En 1998, chez des liquidateurs habitant près de Moscou (209 personnes), 65,6% pré-

sentait des maladies du système cardiovasculaire. Cinq ans plus tard, en 2003, ils étaient 83,7% sur un échantillon de 129 personnes. Ces altérations ont été plus fréquemment observées et plus graves chez des liquidateurs qui étaient intervenus en 1986 sur la centrale de Tchernobyl [Chirokova *et al.*, 2010].

5.1.2.4. Autres pays

MOLDAVIE. Les maladies cardiovasculaires des liquidateurs de Chisinau ont triplé au cours de ces dernières années et leur incidence chez eux est maintenant double de celle des groupes témoins. Quelque 25% des liquidateurs examinés ont développé un épaississement de la paroi aortique et 22% ont une hypertrophie ventriculaire gauche [Kirkae, 2002].

5.1.3. Conclusion

Les maladies du sang, des organes hématopoïétiques et du système circulatoire sont, sans aucun doute, des composantes principales de la morbidité générale des habitants des territoires contaminés par les rayonnements liés à Tchernobyl, dont les personnes évacuées, les migrants, les liquidateurs et leurs enfants. En dépit du fait que le tableau général des maladies du sang et du système circulatoire est encore loin d'être complet, il est clair que l'une des raisons commune à ces déficiences fonctionnelles est la destruction radioactive de l'endothélium qui recouvre la surface des vaisseaux.

Les graves conséquences de la contamination radioactive de Tchernobyl entraînant une augmentation des pathologies des systèmes sanguin et circulatoire ne peuvent être mises en doute.

5.2. Modifications génétiques

Des modifications dans la structure génétique des cellules reproductrices ainsi que des cellules somatiques déterminent et définissent l'apparition de nombreuses maladies. Les rayonnements ionisants provoquent des dommages aux structures héréditaires. L'énorme dose collective liée à la catastrophe de Tchernobyl (127 à 150 millions de personnes/rad) a provoqué des dégâts qui couvriront plusieurs générations, entraînant des changements dans la structure génétique et divers types de mutations : des mutations du génome (variation du nombre de chromosomes), des mutations

chromosomiques (dommages à la structure des chromosomes : translocations, suppressions, insertions et inversions) et des petites mutations (ponctuelles).

Vingt-cinq ans après la catastrophe, des données concernant les dommages génétiques associés à l'irradiation additionnelle de Tchernobyl ont été divulguées. Cette section présente des données non seulement sur les différents types de mutations qui ont résulté de la catastrophe (Section 5.2.1), mais aussi sur les anomalies congénitales du développement induites génétiquement (Section 5.2.4) et sur la santé de la génération suivante, les enfants nés de parents irradiés (Section 5.2.5).

5.2.1. Changements dans la fréquence des mutations

Durant 25 ans, de nombreuses études suffisamment convaincantes ont montré une fréquence accrue des mutations chromosomiques et génomiques, y compris des changements dans la structure et le nombre normal de chromosomes chez les personnes irradiées par les retombées de Tchernobyl. Les données collectées montrent un polymorphisme génétique des protéines et des modifications de l'ADN satellite.

5.2.1.1. Mutations chromosomiques

Les rayonnements ionisants provoquent divers changements dans la structure générale des chromosomes : aberrations instables (dicentriques, anneaux centriques, fragments acentriques) qui sont assez vite éliminées dans les générations cellulaires ultérieures ; aberrations stables (différents types de translocations dans des sites chromosomiques séparés) qui sont conservées pendant de nombreuses années. La fréquence d'aberrations chromosomiques dans les cellules somatiques reflète bien les caractéristiques générales des chromosomes d'un organisme. C'est ce qui ressort du fait que la fréquence des dicentriques et des chromosomes en anneau augmente autant chez les mères que chez leurs nouveau-nés dans les territoires contaminés [Matsko, 1998].

L'analyse histologique des lymphocytes du sang périphérique révèle des aberrations de la structure et du nombre des chromosomes. La présence de cellules à plusieurs aberrations (cellules multi-aberrantes) peut indiquer le niveau de l'impact du Pu [Il'inskikh *et al.*, 2002]. Un autre paramètre de la variabilité

génétique est ce que l'on appelle l'indice mitotique, le nombre de mitoses pour 100 cellules.

La survenue d'aberrations chromosomiques ne signifie pas nécessairement le développement d'une maladie, mais leur présence signale le risque de tumeurs de différents types et aussi la dégradation possible non seulement des cellules somatiques (dans les cellules du sang) mais aussi des cellules reproductrices. Une structure de chromosomes reproducteurs altérée (dans les spermatozoïdes et ovules) indique une prédisposition génétique à différentes maladies dans la génération suivante.

L'incidence des aberrations chromosomiques est beaucoup plus élevée dans tous les territoires contaminés par les retombées radioactives de Tchernobyl [Lazyuk *et al.*, 1990 ; Stepanova et Vanyurikhyna, 1993 ; Pilinskaya, 1994 ; Sevan'kaev *et al.*, 1995a ; Vorobtsova *et al.*, 1995 ; Michalevitch, 1999 ; et d'autres ; Tableau 5.4].

Tableau 5.4. Incidence de cellules aberrantes (%) et d'aberrations chromosomiques (pour 100 lymphocytes) avant et après la catastrophe de Tchernobyl [Bochkov *et al.*, 1972, 2001 ; Pilinskaya, 1992 ; Bezdrobna *et al.*, 2002]

	Cellules aberrantes, <i>n</i>	Aberrations chromosomiques, <i>n</i>
Ukraine, début des années 70	n/a	1,19 ± 0,06
Ukraine, avant 1986	1,43 ± 0,16	1,47 ± 0,19
Moyenne mondiale, 2000	2,13 ± 0,08	2,21 ± 0,14
Ukraine, Kiev, 1998–1999	3,20 ± 0,84	3,51 ± 0,97
Zone des 30 kms de Tchernobyl, 1998–1999	5,02 ± 1,95	5,32 ± 2,10

Les retombées de Tchernobyl ont provoqué une nouvelle augmentation du nombre déjà élevé de mutations chromosomiques observées dans le monde entier et liées aux essais d'armes nucléaires réalisés jusqu'en 1980.

5.2.1.1.1. Belarus

1. Le nombre d'aberrations chromosomiques est supérieur à la normale chez les enfants vivant dans les zones à niveaux élevés de rayonnement [Nesterenko, 1996 ; Gontcharova, 2000]. Les modifications génétiques sont particulièrement fréquentes chez les enfants âgés de moins de 6 ans au moment de la catastrophe [Ouchakov *et al.*, 1997]. La fréquence

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

des aberrations chromosomiques (dicentriques et anneaux centriques) chez les femmes et les nouveau-nés des zones contaminées de la province de Moguilev est nettement plus élevée que dans un groupe témoin et la fréquence de tels chromosomes anormaux chez les enfants des écoles des zones contaminées de la province de Brest est de plus du double de celle des zones moins contaminées de Minsk [Lazjuk *et al.*, 1994]. Environ 52% des enfants examinés dans les territoires contaminés de la province de Brest, où les niveaux de Cs-137 sont de 5 à 15 Ci/km², présentent un nombre nettement accru d'aberrations chromosomiques. Ces changements cytogénétiques s'accompagnent de modifications génétiques moléculaires, cytologiques et biochimiques dans le sang périphérique [Mel'nov et Lebedeva, 2004].

2. L'incidence moyenne des mutations de l'ADN, chez 79 enfants nés en 1994 au Belarus de parents qui ont continué à vivre dans des territoires contaminés après la catastrophe, était deux fois plus élevée que celle de 105 enfants d'un groupe témoin (de familles en Grande-Bretagne) et cela était corrélé avec le niveau de contamination radioactive dans le district où les parents ont vécu [Dubrova *et al.*, 1996, 1997, 2002].

3. Les mêmes enfants examinés 1 an et 2 ans après la catastrophe ont présenté une nette augmentation du nombre d'aberrations chromosomiques (de $5,2 \pm 0,5\%$ en 1987 et de $8,7 \pm 0,6\%$ en 1988). Au cours de la même évaluation, une importante augmentation du nombre de cellules multi-aberrantes ayant de deux à quatre aberrations a été constatée (de $16,4 \pm 3,3\%$ en 1987 et de $27,0 \pm 3,4\%$ en 1988). La présence de cellules à trois ou quatre aberrations était particulièrement élevée chez les enfants des districts les plus contaminés de Khoïniki et Braguine [Michalevitch, 1999].

4. Un nombre élevé d'aberrations chromosomiques a été décelé chez les enfants nés 5 à 7 ans après la catastrophe dans la ville contaminée de Tchettersk, de la province de Goumel [Ivanenko *et al.*, 2004].

5. Il y a eu une multiplication par six des fréquences de dicentriques et d'anneaux centriques dans les cellules du sang chez les mêmes individus avant et après la catastrophe [Matsko, 1998].

6. Chez les liquidateurs, de nombreuses années après leur exposition aux rayonnements, le nombre de micronoyaux a augmenté dans

les lymphocytes du sang périphérique (Tableau 5.5).

Tableau 5.5. Nombre de micronoyaux dans les lymphocytes des liquidateurs belarusses 15 ans après la catastrophe [Mel'nov, 2002]

Dose, Gy	Fréquence des micronoyaux (pour 1 000 cellules)*	
	Liquidateurs, âgés de $47,6 \pm 1,3$ ans	Groupes témoins, âgés de $40,8 \pm 1,7$ ans
0,01	$2,7 \pm 1,1$	$15,2 \pm 2,3$
0,1	$24,9 \pm 4,4$	$29,4 \pm 2,6$
0,2	$45,4 \pm 5,0$	$47,1 \pm 15,4$
0,3	$69,6 \pm 10,3$	$47,2 \pm 12,2$
0,4	$108,0 \pm 16,0$	$67,2 \pm 14,1$
0,5	$149,9 \pm 21,1$	$108,0 \pm 26,0$

* Toutes les différences sont statistiquement significatives

5.2.1.1.2. Ukraine

1. Dans une enquête auprès de plus de 5 000 enfants irradiés de la naissance à 3 ans, le nombre de cellules aberrantes et d'aberrations chromosomiques stables et instables était plus élevé dans les mêmes territoires contaminés plusieurs années après la catastrophe que peu après celle-ci [Stepanova et Skvarkaya, 2002 ; Stepanova *et al.*, 2002a, b].

2. L'incidence de cellules aberrantes et d'aberrations chromosomiques est bien plus élevée chez les enfants irradiés *in utero* [Stepanova *et al.*, 2002a, b ; Stepanova *et al.*, 2007].

3. Les enfants évacués de la ville de Pripiat présentaient davantage d'aberrations des chromatides 10 ans après la catastrophe, en tant qu'individus ($0,5-5,5$ pour 100 cellules) et en tant que groupe ($1,2-2,6$ pour 100 cellules) [Pilinskaya, 1999]. Pour les enfants du village de Narodichi, où la contamination par le Cs-137 était de 15 Ci/km², la fréquence d'apparition d'aberrations chromosomiques instables s'est maintenue à un niveau plus ou moins constant pendant plus de 10 ans, alors que les aberrations chromosomiques stables ont augmenté [Pilinskaya *et al.*, 2003a].

4. L'incidence des aberrations chromosomiques est en augmentation chez les enfants des liquidateurs [Horishna, 2005].

5. En 12-15 ans après la catastrophe, le niveau d'aberrations chromosomiques et le nombre de cellules multi-aberrantes ont sensiblement augmenté chez les « samosels » – les occupants sans titre, les gens qui ont emménagé

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

gé dans la zone interdite des 30 km – (Tableaux 5.6, 5.7 et 5.8). La fréquence de survenue d'acentriques par cassure simple brin, la présence de dicentriques par cassure double brin et d'anneaux circulaires (voir Tableau 5.6) démontrent l'effet prolongé des rayonnements à faibles doses et à faible transfert linéique d'énergie (TLE).

Tableau 5.6. Incidence de divers types d'aberrations chromosomiques (pour 100 lymphocytes) parmi les « samosels » (occupants sans titre) et les habitants de la province de Kiev [Bezdrobna et al., 2002]

Type d'aberrations	Incidence, pour 100 cellules	
	« samosels »	Province de Kiev
Type chromatidien		
Cassures	3,01 ± 0,24	2,31 ± 0,12
Échanges*	0,13 ± 0,04	0,02 ± 0,01
Total	3,14 ± 0,24	2,33 ± 0,12
Type chromosomique		
Fragments	1,59 ± 0,20	0,89 ± 0,12
Délétions	0,02 ± 0,02	0,04 ± 0,02
Dicentriques + anneaux centriques	0,33 ± 0,06	0,13 ± 0,03
(avec fragments)	(0,22 ± 0,05)	(0,08 ± 0,03)
(sans fragments)	(0,10 ± 0,03)	(0,05 ± 0,02)
Monocentriques anormaux	0,23 ± 0,05	0,12 ± 0,03
Total	2,16 ± 0,24	1,18 ± 0,13

* Niveau pré-Tchernobyl : 1,1

6. Chez les personnes évacuées, pendant la première année après leur évacuation de la zone des 30 km, le taux d'aberrations chromosomiques instables a largement dépassé les valeurs témoins et a progressivement diminué au cours des 14 années suivantes. L'incidence de ces dommages cytogénétiques n'était pas dépendante du sexe et la fréquence d'occurrence de dicentriques et d'anneaux était corrélée à la durée de résidence dans une zone contaminée [Maznik, 2004].

7. Pour la majorité des individus examinés dans les territoires contaminés à niveau de Cs-137 de 110 à 860 kBq/m² dans le sol et parmi les jeunes hommes évacués, l'incidence des aberrations stables dans les lymphocytes du sang périphérique était nettement plus élevée [Maznik et Vinnykov, 2002 ; Maznik et al., 2003].

Tableau 5.7. Fréquence des aberrations chromosomiques (pour 100 lymphocytes) parmi les mêmes 20 « samosels » (occupants sans titre) selon les examens de 1998-1999 et 2001 [Bezdrobna et al., 2002]

Type d'aberrations	Incidence, pour 100 cellules	
	1998-1999	2001
Type chromatidien		
Cassures	3,0 ± 0,33	3,43 ± 0,40
Échanges	0,16 ± 0,07	0,29 ± 0,07
Total	3,17 ± 0,33	3,82 ± 0,45
Type chromosomique		
Fragments	1,77 ± 0,30	0,79 ± 0,14*
Délétions	0,025 ± 0,025	0,07 ± 0,03
Dicentriques + anneaux centriques	0,39 ± 0,09	0,45 ± 0,09
(avec fragments)	(0,29 ± 0,081)	(0,27 ± 0,06)
(sans fragments)	(0,10 ± 0,04)	(0,18 ± 0,06)
Monocentriques anormaux	0,32 ± 0,08	0,25 ± 0,06
Total	2,58 ± 0,35	1,63 ± 0,16*

* $p < 0.05$

8. Des effets cytogénétiques radio-induits ont persisté 10 à 12 ans après la catastrophe chez 30 à 45% des liquidateurs suivis. Il y a eu stabilisation du nombre de dicentriques et de chromosomes en anneau à un niveau de 0,5-1 pour 100 cellules, avec des valeurs témoins de 0,2 et une augmentation des cas de changements cytogénétiques stables à 0,5-4,5 pour 100 cellules, avec des valeurs témoins de 0,1 [Pilinskaya, 1999].

9. Le niveau des aberrations chromosomiques stables chez les liquidateurs est resté élevé pendant 10 à 15 ans après la catastrophe [Mel'nikov et al., 1998 ; Pilinskaya et al., 2003b].

10. On observe un phénomène d'instabilité génétique chez les enfants des liquidateurs [Stepanova et al., 2006b].

Tableau 5.8. Comparaison de l'incidence des aberrations chromosomiques (pour 100 lymphocytes) entre une zone de 30 km de la province de Kiev (Ukraine) et les territoires fortement contaminés de la province biélorusse de Gomel, de 1986 à 1988 [Bezdrobna et al., 2002 ; Mikhalevich, 1999]

	Personnes, n	Cellules, n	Cellules aberrantes, n	Aberrations, n
Zone de 30 km	33	11 789	5,0 ± 2,0	5,3 ± 2,1
Kiev	31	12 273	3,2 ± 0,8	3,5 ± 1,0
Environs de Gomel	56	12 152	6,4 ± 0,7	8,7 ± 0,6

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

5.2.1.1.3. Russie

1. Le taux d'aberrations chromosomiques chez les enfants irradiés *in utero* était nettement plus élevé que chez les enfants nés plus longtemps après l'accident [Bondarenko *et al.*, 2004].

2. L'indice de réparation génomique de l'ADN est plus faible chez la majorité des enfants des régions contaminées [Bondarenko *et al.*, 2004].

3. De 1989 à 1994, une plus grande incidence d'aberrations chromosomiques instables (dicentriques et anneaux circulaires) a été constatée chez 1 200 enfants des zones contaminées des provinces de Briansk et Kalouga à niveaux de Cs-137 de 100 à 1 000 kBq/m². La fréquence de survenue de ces aberrations est corrélée avec le niveau de contamination du territoire [Sevan'kaev *et al.*, 1995a, b, 1998].

4. On trouve un taux accru d'aberrations chromosomiques chez les enfants du district de Novozybkov de la province de Briansk [Kuz'mina et Suskov, 2002].

5. On constate une incidence accrue d'aberrations chromosomiques chez les enfants nés de 5 à 7 ans après la catastrophe dans le district contaminé de Mtsensk et la ville de Bolkhov, province d'Orel [Ivanenko *et al.*, 2004].

6. L'activité de réparation de l'ADN (testée par la réactivation et la mutagenèse induite de virus du vaccin de la variole) était altérée chez les enfants nés après la catastrophe dans les territoires contaminés par le Cs-137 à un niveau supérieur à 5 Ci/km² [Unzhakov *et al.*, 1995].

7. Le nombre de cellules aberrantes et d'aberrations chromosomiques (fragments par paires et anneaux) et le nombre de cassures chromosomiques chez les nouveau-nés étaient corrélés avec les niveaux de dose et les débits de dose au moment de la naissance [Kulakov *et al.*, 1993].

8. Dix-sept ans après la catastrophe, il y avait une augmentation du nombre des aberrations chromosomiques chez 30 à 60% des enfants et adolescents des territoires contaminés par le Cs-137 à un niveau de 111-200 kBq/m² (Tableau 5.9) [Sevan'kaev *et al.*, 2005].

9. Il existait une corrélation entre le fait de vivre dans les territoires contaminés (provinces de Briansk, Toula et Kalouga ; années 1991-1997) et un retard du développement psychomoteur, des défauts congénitaux et/ou des microanomalies et des taux extrêmement élevés de C-hétérochromatine péri-centromérique [Vorsanova *et al.*, 2000].

Tableau 5.9. Taux d'aberrations chromosomiques chez les enfants et les adolescents de territoires contaminés, 17 ans après la catastrophe (Cs-137 : 111-200 kBq/m²) [Sevan'kaev *et al.*, 2005]

	Aberrations (pour 100 cellules)	
	Zones contaminées	Groupe témoin
Fragments acentriques	0,40	0,22
Dicentriques et anneaux centriques	0,04–0,19	0,03

10. La fréquence d'apparition d'aberrations chromosomiques a augmenté d'un facteur 2 à 4 chez les personnes vivant dans les territoires de Tchernobyl contaminés par le Cs-137 à des niveaux supérieurs à 3 Ci/km², en comparaison de la population non contaminée par Tchernobyl [Bochkov, 1993].

11. Le nombre de lymphocytes avec des mutations du locus T (RLT) et le nombre d'aberrations chromosomiques étaient corrélés avec le niveau de contamination par rayonnement chez les femmes à tumeurs utérines (myomes) qui ont continué à vivre dans les districts fortement contaminés de Novozybkov et Klinty, dans la province de Briansk et à Uzlovaya, dans la province de Toula (Tableau 5.10).

Tableau 5.10. Nombre de cellules mutantes et incidence des aberrations chromosomiques (pour 100 métaphases) chez les femmes des territoires contaminés des provinces de Toula et de Briansk présentant un myome utérin [Tsyb *et al.*, 2006b]

	Métaphases, <i>n</i>	Cellules mutantes, <i>n</i>	Aberrations, <i>n</i>	Contamination, kBq/m ²
District de Novozybkov (<i>n</i> = 22)	Pas de données	6,2 ± 0,3*	Pas de données	708
District de Klinty (<i>n</i> = 97)	18 703	5,3 ± 0,5*	4,27 ± 0,3*	322
Ville d'Uzlovaya (<i>n</i> = 100)	19 600	4,6 ± 0,3	2,30 ± 0,1	171
Ville d'Obninsk (<i>n</i> = 42)	12 779	4,0 ± 0,2	2,12 ± 0,1	Groupe témoin

* Les différences par rapport au groupe témoin sont nettes

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.11. Incidence d'aberrations chromosomiques chez les habitants des territoires contaminés de la province de Briansk [Snegyreva et Shevchenko, 2006]

	Personnes, <i>n</i>	Cellules, <i>n</i>	Aberrations, <i>n</i>	Y compris les dicentriques
Province de Briansk	80	21 027	1,43 ± 0,08*	0,10 ± 0,02*
Groupe témoin	114	51 430	0,66 ± 0,04	0,02 ± 0,01

* Les différences par rapport au groupe témoin sont significatives

12. Le nombre d'aberrations chromosomiques chez les habitants des territoires contaminés de la province de Briansk est plus élevé que celui des personnes vivant dans des zones moins contaminées (Tableau 5.11).

13. Les habitants du district de Klinty et de la région de Vyshkov dans la province de Briansk, fortement contaminés, montrent un indice mitotique bien plus élevé que celui des groupes témoins [Pelevina *et al.*, 1996].

14. Parmi 248 personnes examinées, âgées de 15 à 28 ans, habitant les quatre zones contaminées de la région d'Orel, l'incidence de

dicentriques et d'anneaux centriques est deux à quatre fois plus élevée que dans les groupes témoins. Chez celles irradiées *in utero*, la fréquence d'occurrence de telles aberrations est cinq fois plus élevée que dans les groupes témoins [Sevan'kaev *et al.*, 2006].

15. Parmi les habitants de quatre districts contaminés de la province d'Orel, l'incidence des mutations géniques sur le locus récepteur des lymphocytes T (TCR) et sur le locus de la glycophorine (GPA) est plus élevée que dans les groupes témoins [Sevan'kaev *et al.*, 2006].

Tableau 5.12. Mutations chromosomiques chez différents groupes de liquidateurs au cours des trois premiers mois après la catastrophe (pour 1 000 cellules) [Shevchenko et Snegyreva, 1999]

Groupe	Cellules, <i>n</i>	Aberrations, <i>n</i>	Y compris les dicentriques et les anneaux centriques
Équipes de construction du sarcophage** (<i>n</i> = 71)	4 937	32,4 ± 2,5*	4,4 ± 0,9*
Contrôleurs des radiations (<i>n</i> = 23)	1 641	31,1 ± 4,3	4,8 ± 1,7
Personnel de la centrale nucléaire (<i>n</i> = 83)	6 015	23,7 ± 2,0	5,8 ± 1,0
Chauffeurs (<i>n</i> = 60)	5 300	14,7 ± 1,7	3,2 ± 0,8
Habitants de Pripjat (<i>n</i> = 35)	2 593	14,3 ± 2,4	1,9 ± 0,8
Médecins (<i>n</i> = 37)	2 590	13,1 ± 2,3	2,7 ± 1,0
Groupe témoin (<i>n</i> = 19)	3 605	1,9 ± 0,7	0,0

* Pour tous les groupes, les différences par rapport au groupe témoin sont significatives

** Le sarcophage est l'énorme construction en béton qui couvre le réacteur à nu de Tchernobyl

16. Parmi 336 femmes fertiles des zones contaminées d'Uzlovaya, province de Toula, et du district de Klinty de la province de Briansk qui ont été suivies en 2002-2003, l'incidence des aberrations d'échanges de chromosomes était de $0,13 \pm 0,03$ et de $0,37 \pm 0,07$ par rapport à celle des groupes témoins, qui était de deux à six fois moindre ($0,06 \pm 0,04$) [Ivanova *et al.*, 2006].

17. L'apparition de mutations chromosomiques des lymphocytes et de la moelle était en corrélation avec la dose d'irradiation reçue par les liquidateurs et les habitants de la ville de Pripjat dans les 3 mois après la catastrophe et manifestement supérieure à celle des groupes témoins (Tableau 5.12) [Shevchenko *et al.*, 1995 ; Svirnovsky *et al.*, 1998 ; Bez-

henar', 1999 ; Shykalov *et al.*, 2002 ; et d'autres].

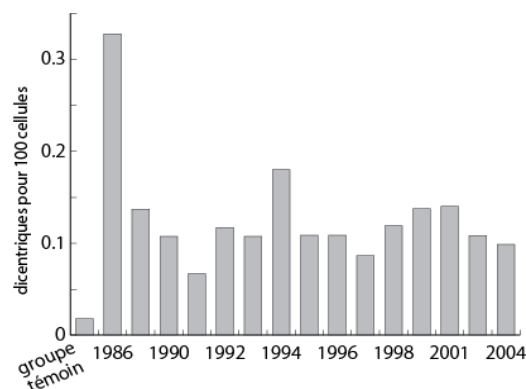


Figure 5.1. Taux moyen de dicentriques dans un groupe de liquidateurs de 1986 au cours de 18 années après la catastrophe [Snegyreva et Shevchenko, 2006]

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

18. Le nombre d'aberrations instables (dicentriques, fragments acentriques, anneaux centriques) et stables (translocations, insertions) chez les liquidateurs était nettement plus élevé les premières années après la catastrophe [Shevchenko *et al.*, 1995 ; Shevchenko et Snegyreva, 1996 ; Slozina et Neronova, 2002 ;

Oganesyan *et al.*, 2002 ; Deomyna *et al.*, 2002 ; Maznik, 2003 ; et d'autres] (Figure 5.1).

19. Au cours des 9 premières années après la catastrophe, le nombre de cellules présentant des translocations chez les liquidateurs était considérablement plus élevé que celui des groupes témoins (Tableau 5.13).

Tableau 5.13. Nombre d'aberrations chromosomiques dans les lymphocytes des liquidateurs de 1990 à 1995 (pour 1 000 cellules) [Shevchenko et Snegyreva, 1999 ; Snegyreva et Shevchenko, 2006]

Année	Nombre de personnes, <i>n</i>	Cellules, <i>n</i>	Aberrations, <i>n</i>	Y compris les dicentriques et les anneaux centriques
1986	443	41 927	23,2 ± *	0,33 ± 0,01*
1990	23	4 268	14,9 ± 1,9*	1,0 ± 0,5*
1991	110	20 077	19,7 ± 1,0*	0,9 ± 0,2*
1992	136	32 000	31,8 ± 1,0*	1,4 ± 0,2*
1993	75	18 581	34,8 ± 1,4*	0,9 ± 0,2*
1994	60	18 179	31,8 ± 1,3*	1,8 ± 0,3*
1995	41	12 160	18,8 ± 1,2*	0,4 ± 0,02*
Groupe témoin	82	26 849	10,5 ± 0,6	0,02 ± 0,01

* Toutes les différences par rapport au groupe témoin sont nettes ($p < 0,01-0,05$).

20. Six à huit ans après la catastrophe, le nombre de translocations chez les liquidateurs était bien plus élevé que dans les groupes témoins (Tableau 5.14).

21. Durant les 6 à 8 premières années suivant la catastrophe, le nombre d'aberrations chromosomiques chez les liquidateurs du Centre nucléaire fédéral russe de Sarov était significativement plus élevé que dans les groupes témoins (Tableau 5.15).

22. Dix ans après la catastrophe, 1 000 liquidateurs avaient une fréquence moyenne d'apparition d'aberrations chromosomiques nettement supérieure (particulièrement élevée chez les liquidateurs de 1986) [Sevan'kaev *et al.*, 1998].

Tableau 5.14. Fréquence de translocations (pour 100 cellules) chez les liquidateurs [Snegyreva et Shevchenko, 2006]

	Personnes, <i>n</i>	Cellules, <i>n</i>	Transloca- tions
Liquidateurs	52	44 283	1,20 ± 0,16*
Groupe témoin	15	21 953	0,47 ± 0,09

* $p < 0,05$

23. L'incidence de dicentriques chez les liquidateurs a augmenté pendant les 8 à 12 premières années après la catastrophe [Slozina et

Neronova, 2002]. Plus de 1 500 liquidateurs ont été examinés et même au bout de 15 ans, la fréquence d'apparition de dicentriques était beaucoup plus élevée que dans les groupes témoins [Snegyreva et Shevchenko 2002].

Tableau 5.15. Nombre d'aberrations chromosomiques chez les liquidateurs salariés du Centre nucléaire fédéral russe de Sarov [Khaimovich *et al.*, 1999]

	Liquidateurs (<i>n</i> = 40)	Groupe témoin (<i>n</i> = 10)
Toutes les aberrations pour 100 cellules	4,77 ± 0,42	0,90 ± 0,30
Dicentriques	0,93 ± 0,19	0
Cellules polyploïdes	1,43 ± 0,23	0

5.2.1.1.4. Autres pays

1. YOUgoslavie. Parmi les nouveau-nés conçus dans le mois suivant la catastrophe, le nombre des aberrations chromosomiques a augmenté de 4,5% (moyenne de 1976 à 1985) à 7,1% [Lukic *et al.*, 1988].

2. AUTriche. En 1987, chez 17 adultes examinés, le nombre d'aberrations chromosomiques a augmenté de quatre à six fois et, chez deux personnes examinées avant la catastrophe

et un an après, il avait augmenté d'un facteur supérieur à 11 [Pohl-Rüling *et al.*, 1991].

3. NORVÈGE (zones du nord). En 1991, on a trouvé 10 fois plus d'aberrations chromosomiques chez 56 adultes que dans des groupes témoins [Brøgger *et al.*, 1996 ; voir l'étude citée par Schmitz-Feuerhake, 2006].

5.2.1.2. Mutations génomiques

Des trisomies des chromosomes 13, 18 et 21, qui sont des mutations génomiques portant sur le nombre de chromosomes, ont été trouvées dans les territoires contaminés.

5.2.1.2.1. Trisomie-21 (syndrome de Down)

1. BELARUS. L'analyse annuelle et mensuelle de l'incidence du syndrome de Down entre 1981 et 1999 (2 786 cas) a révélé en 1987 une augmentation annuelle pour l'ensemble du pays et des augmentations mensuelles en janvier 1987 dans la ville de Minsk et dans les provinces de Gomel et de Minsk [Lazjuk *et al.*, 2002]. Il y a également eu une augmentation de 49% dans les 17 districts les plus contaminés en 1987-1988 (Tableau 5.16) et une augmentation de 17% pour l'ensemble du pays sur la période 1987-1994 [Lazjuk *et al.*, 1997]. Une analyse détaillée a révélé une forte augmentation de l'incidence du syndrome de Down en décembre 1986 et un pic en janvier 1987 (Figure 5.2).

Tableau 5.16. Incidence du syndrome de Down (pour 1 000 nouveau-nés) dans 17 districts fortement contaminés et 30 autres moins contaminés du Belarus de 1987 à 2004 [Rapport national du Belarus]

	1987-1988	1990-2004
Fortement contaminés	0,59	1,01
Moins contaminés	0,88	1,08

2. ALLEMAGNE. Dans Berlin-Ouest, parmi les bébés conçus en mai 1986, le nombre de nouveau-nés atteints du syndrome de Down a augmenté de 2,5 fois [Wals et Dolk, 1990 ; Sperling *et al.*, 1991, 1994 ; et d'autres] (Figure 5.3). Dans le sud de l'Allemagne, une augmentation du nombre de cas de trisomie-21 a été observée lors d'amniocentèses [Sperling *et al.*, 1991 ; Smitz-Feuerhake, 2006].

3. SUÈDE. Il y a eu une augmentation de 30% du nombre de nouveau-nés atteints du syndrome de Down dans le nord-est du pays, la zone la plus contaminée par des radionucléides de Tchernobyl [Ericson et Kallen, 1994].

4. GRANDE-BRETAGNE. Il y a eu un doublement du nombre de nouveau-nés atteints du syndrome de Down à Lothian, en Écosse, l'un des territoires contaminés par Tchernobyl [Ramsey *et al.*, 1991].

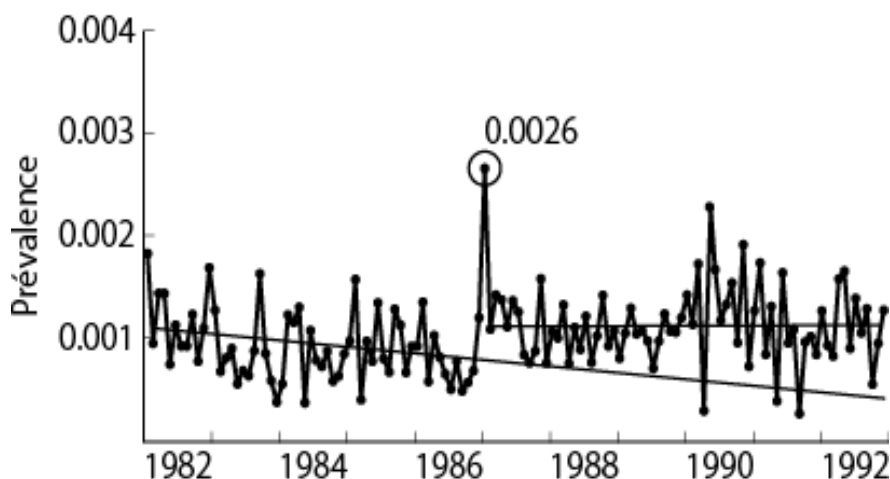


Figure 5.2. Prévalence de la trisomie-21 au Belarus de 1982 à 1992 ($N = 1\,720\,030$; $n = 1\,791$) et modèle du point de changement montrant un saut marqué ($p < 0,0001$) et un « bâton brisé » en décembre 1986 puis un pic en janvier 1987 [Sperling *et al.*, 2008]

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

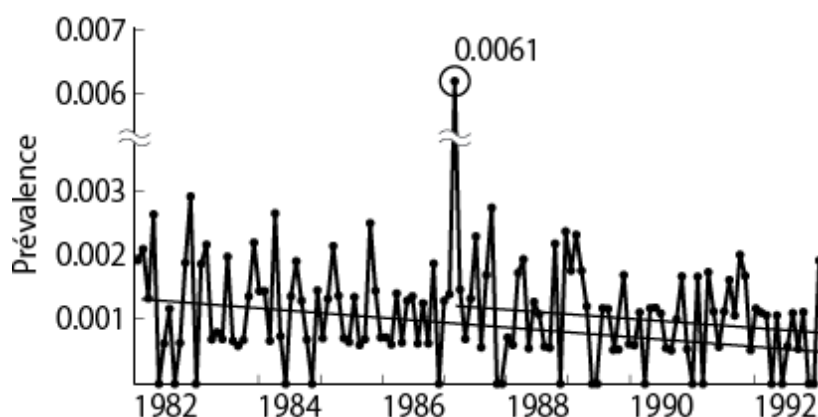


Figure 5.3. Prévalence de la trisomie-21 à Berlin-Ouest de 1982 à 1992 ($N = 218\,497$; $n = 237$) et modèle du point de changement (voir texte) montrant un saut marqué ($p < 0,0001$) en décembre 1986 et un pic en janvier 1987 [Sperling *et al.*, 2008]

5.2.1.2.2. Trisomie-13 et autres mutations génomiques

1. Des photos prises dans les zones contaminées du Belarus et de l'Ukraine ont montré qu'il existait de nombreux cas de nouveau-nés présentant des caractéristiques du syndrome de Patau (trisomie-13). Les anomalies comprennent : une polydactylie, des anomalies de développement des yeux (microphthalmie, cataractes congénitales, colobome de l'iris), une trigonocephalie, des fissures labiales et palatines, des anomalies du nez, etc. On ne dispose pas de statistiques concernant ces cas.

2. À partir de descriptions cliniques d'enfants nés dans les territoires contaminés, il existe des cas connus d'autres mutations génomiques : syndrome d'Edward (trisomie-18), syndrome de Klinefelter (chromosome X supplémentaire), de Turner (syndrome d'absence d'un chromosome X), chromosomes XXX chez les filles et chromosomes XYY chez les garçons. Les statistiques concernant ces cas font défaut.

5.2.2. Polymorphisme génétique des protéines et autres maladies génétiques

Le polymorphisme génétique des protéines est un important paramètre de variabilité génétique intrapopulationnelle. Chez les enfants irradiés *in utero* et nés après Tchernobyl, le niveau de polymorphisme génétique des protéines est plus faible que celui d'enfants nés avant la catastrophe. Cette baisse du niveau de polymorphisme génétique des protéines de structure est corrélée négativement avec les niveaux de malformations congénitales et d'al-

lergies et elle peut constituer un facteur dans la persistance actuelle de l'anémie, des adénopathies et des infections [Kulakov *et al.*, 1993, 1997].

Ces enfants avaient aussi des niveaux très réduits de réparation de l'ADN aussi bien à court terme qu'à long terme après la catastrophe [Bondarenko *et al.*, 2004].

Six jours après l'explosion, la prolifération dans des cultures de cellules HeLa a été fortement réduite dans la zone des 30 km (en commençant par une dose totale de près de 0,08 Gy). Cet effet a continué pendant sept générations cellulaires après l'irradiation. L'apparition de nombreuses grandes cellules a persisté pendant plus de 20 générations de cellules après l'irradiation et la clonogénicité a été plus faible pendant 24 générations [Nazarov *et al.*, 2007].

L'activité de réparation de l'ADN (testée par la réactivation et la mutagenèse induite de virus du vaccin de la variole) était altérée chez les enfants nés après la catastrophe dans les territoires contaminés à des niveaux de Cs-137 supérieurs à 5 Ci/km² [Unzhakov *et al.*, 1995].

5.2.3. Les changements dans l'ADN satellite

Le nombre de mutations dues aux rayonnements de Tchernobyl a augmenté non seulement dans les cellules somatiques, mais aussi dans les cellules germinales. Le niveau des petites mutations de l'ADN minisatellite chez les enfants nés de parents irradiés et vivant dans les territoires contaminés du Belarus et d'Ukraine est presque le double de celui des enfants de Grande-Bretagne [Dubrova, 2003].

5.2.4. Anomalies congénitales de développement d'origine génétique

On estime que 50 à 90% de toutes les malformations congénitales (MC) et anomalies congénitales de développement (ACD) résultent de mutations. Par conséquent, la naissance des nouveau-nés avec des anomalies peut révéler la présence de désordres génétiques, incluant l'influence des irradiations additionnelles. On connaît plus de 6 000 anomalies de développement d'origine génétique [McKusick, 1998]. Les statistiques médicales ne prennent en compte que 30 des ACD les plus fréquentes. Quelques ACD, comme les mutations *de novo*, sont nouvellement apparues dans une population. Les mutations *de novo* déterminent des ACD telles qu'une polydactylie, un changement de la taille des bras ou des jambes et des ACD dites plurielles. Ces ACD se produisent le plus souvent dans les territoires biélorusses fortement contaminés, où les niveaux sont supérieurs à 15 Ci/km² [Lazjuk *et al.*, 1999a].

Les ACD d'origine génétique chez les nouveau-nés ne sont que la pointe de l'iceberg. Elles sont la preuve de mutations qui n'ont pas été éliminées lors des précédentes étapes du développement individuel de gamètes (spermatozoïdes et ovules), dans des ovules fécondés jusqu'à et pendant l'implantation et dans le processus du développement embryonnaire.

La plupart des mutations entraînent la fin du développement de l'embryon à un stade précoce [Nykytin, 2005]. Il est donc raisonnable de supposer que l'augmentation de la fréquence d'occurrence d'ACD d'origine génétique reflète une augmentation au décuple (voire au centuple) du taux de mutations au stade des gamètes. Le fait que ces processus se produisent dans les territoires contaminés par les rayonnements est attesté par : (a) une augmentation du nombre de spermatozoïdes anormaux ; (b) une augmentation des cas d'avortements spontanés qui reflète l'augmentation de la mortalité embryonnaire ; (c) une augmentation des mutations *de novo* dans les fœtus avortés et ceux à ACD ; (d) la plus grande proportion d'ACD, provoquées par des mutations *de novo*, qui se produisent dans les territoires les plus contaminés [Lazjuk *et al.*, 1999a, b].

5.2.5. Enfants de parents irradiés

Il existe de plus en plus de données montrant l'état de santé dégradé des enfants nés de parents irradiés.

1. Parmi les enfants des liquidateurs irradiés du Belarus de 1986-1987 qui ont reçu 50 mSv ou plus, le niveau de morbidité est plus élevé, on trouve un plus grand nombre d'ACD (Figure 5.4) et plus de nouveau-nés malades, en comparaison d'enfants dont les pères ont reçu une dose inférieure à 50 mSv [Lyaginskaya *et al.*, 2002, 2007].

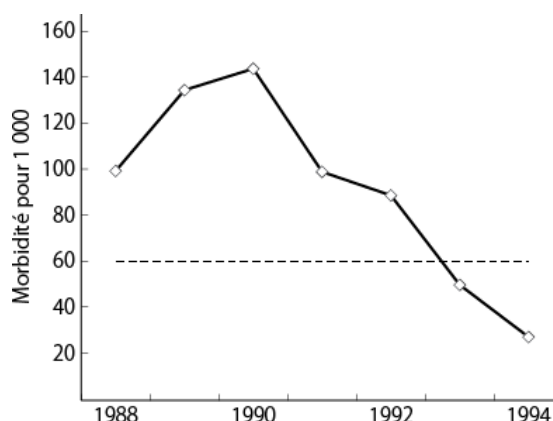


Figure 5.4. Prévalence des anomalies congénitales du développement (ACD) chez les nourrissons nés de familles de liquidateurs (1986-1987) dont le père a travaillé pour l'industrie nucléaire russe de 1988 à 1994 [Lyaginskaya *et al.*, 2007]. Ligne en tireté : taux d'ACD de l'UNSCEAR (1988)

2. Le suivi d'un groupe d'enfants de 11 ans nés en 1987 de familles de liquidateurs du Belarus ayant travaillé en 1986 a révélé des différences nettes dans l'incidence des maladies du sang et dans l'état immunitaire des sujets (Tableau 5.17).

3. La morbidité générale annuelle chez les enfants nés de pères irradiés de 2000 à 2005 a été plus élevée dans l'ensemble de l'Ukraine (1 135 à 1 367 pour 10 000 par rapport à la moyenne de 960 à 1 200 en Ukraine). Parmi ces enfants, seulement 2,6 à 9,2% étaient considérés comme « médicalement sains » (contre 18,6 à 24,6% dans le groupe témoin) [Rapport national d'Ukraine, 2006].

4. Il y a plus de malformations congénitales et d'anomalies de développement chez les enfants nés de pères irradiés [Rapport national d'Ukraine, 2006].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.17. Statistiques sanitaires de 1987 sur des enfants de 11 ans nés de liquidateurs bélarusses exposés en 1986 [Arynychin et al., 1999]*

	Enfants de liquidateurs (n = 40)	Groupe témoin (n = 48)
Gastroduodénite chronique	17 (42,5%)	13 (21,7%)
Dysbactériose	6 (15%)	0
Problèmes de croissance	8 (20%)	2 (4,2%)
Nombre de lymphocytes B**	14,1 ± 0,7	23,3 ± 1,9
Nombre de lymphocytes T**	16,9 ± 1,1	28,4 ± 1,6
Concentration d'IgG, g/litre	9,4 ± 0,4	14,2 ± 0,7

* Toutes les différences sont significatives

** Par millionième de litre

5. Les enfants irradiés *in utero* de la province de Kalouga ont un niveau sensiblement supérieur de morbidité générale, dont des maladies de la glande thyroïde (6 fois le niveau de la province), des ACD (4 fois le niveau de la province), plus de maladies urogénitales, de la circulation sanguine et du système digestif [Tsyb et al., 2006a].

6. Parmi les enfants de liquidateurs de la province de Riazan, il y avait une incidence accrue de nouveau-nés malades, d'ACD, de poids de naissance en dessous de 2 500 g, des retards de développement intra-utérin, une morbidité plus élevée et des troubles de l'immunité [Lyaginskaya et al., 2002, 2007].

7. Les enfants de liquidateurs de moins de 10 ans de la province de Kalouga présentaient 5 fois plus de maladies de la glande thyroïde que la moyenne de la province ; les ACD ont triplé, les désordres mentaux ont quadruplé, les cas de maladies du système circulatoire ont doublé et il y a eu une forte incidence de maladies chroniques [Tsyb et al., 2006a].

8. Les enfants de liquidateurs présentent de nombreux cas de maladies chroniques du larynx, des modifications de la formule des globules rouges, des troubles fonctionnels du système nerveux, des caries dentaires multiples, une gingivite catarrhale chronique et des anomalies dentaires [Marapova et Khitrov, 2001].

9. Les enfants de liquidateurs ont plus d'aberrations chromosomiques (délétions, inversions, anneaux, isochromatides, fragments simples et hiatus) et plus de cellules poly-

ploïdes [Ibragymova, 2003]. « (...) Dans des familles de liquidateurs (de la province de Toula), 473 enfants sont nés après la catastrophe de Tchernobyl. À première vue, ils différaient des autres enfants par une hyperexcitabilité. Ils pleurent, sans raison d'aucune sorte, et ne tiennent pas facilement en place (...) » [Khvorostenko, 1999].

10. Les enfants des liquidateurs ont des taux plus élevés de maladies des appareils digestif, respiratoire, nerveux et endocrinien, davantage d'ACD et de maladies héréditaires et une augmentation des maladies infectieuses [Ponomarenko et al., 2002].

11. Chez 455 enfants de liquidateurs de la province de Briansk nés entre 1987 et 1999, la morbidité générale a augmenté de 1988 à 2000 (Tableau 5.18). À partir de ce tableau, on constate qu'il y a eu une baisse des cas de maladies du sang et des organes hématopoïétiques et une augmentation significative de toutes les autres maladies. Encore plus apparente est la morbidité des enfants de liquidateurs de la province de Briansk par rapport aux autres enfants de la région. Le tableau 5.19 présente des données montrant une importante différence entre les enfants des liquidateurs et l'ensemble des enfants de la région de Briansk.

Tableau 5.18. Premiers rapports au sujet des maladies (pour 1 000) chez les enfants de liquidateurs de la province de Briansk [Matveenkov et al., 2005] *

Maladies	Nombre de cas		
	1988-1990	1991-1995	1996-2000
Sang et organes hématopoïétiques	52,2	30,6	8,3
Désordres mentaux	0	5,9	12,2
Néoplasmes	0	0	3,3
Système respiratoire	790	1 009	1 041
Système digestif	5,3	59,2	93,7
Muscles et os	0	16,2	75,9
Voies urogénitales	5,3	14,7	20,5
Maladies infectieuses et parasitaires	15,9	83,6	71,5
Total	1 052	1 343	1 667

* La liste des maladies correspond à celles dont les tendances sont prouvées dans la durée.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.19. Morbidité primaire (pour 1 000) chez les enfants des liquidateurs de Briansk et tous les enfants de la province de Briansk [Matveenko *et al.*, 2005]

Maladies	Enfants de liquidateurs		Enfants de la province de Briansk
	Province de Briansk	Russie (REDMR)*	
Système circulatoire	6,7	19,7	3,5
Troubles mentaux	12,2	25,1	3,3
Système digestif	93,7	83,0	68,7
Muscles et os	75,9	45,8	43,2
Anomalies congénitales	11,6	12,6	3,0

* Registre d'État de dosimétrie médicale de Russie

12. L'immunité cellulaire est réduite chez les enfants des liquidateurs russes, comme le prouve une diminution en termes absolu et relatif des paramètres cellulaires. Ils présentent une augmentation relative de l'immunité cellulaire (davantage de cellules CD4, des taux légèrement réduits d'immunoglobuline A et une augmentation de l'activité de base des neutrophiles) [Kholodova *et al.*, 2001].

13. Les enfants des liquidateurs et les enfants irradiés *in utero* ont une fréquence plus élevée d'aberrations chromosomiques stables, des niveaux plus bas de l'activité de réparation et une diminution de l'hétérozygotie individuelle [Sypagina, 2002].

Les deuxième et troisième générations d'enfants dont les parents ont été irradiés par les explosions de bombes atomiques au Japon en 1945 ont présenté 10 fois plus de troubles du système circulatoire et de la fonction hépatique et 3,3 fois plus de maladies du système respiratoire que le groupe témoin [Furitsu *et al.*, 1992]. Il est probable que les problèmes de santé vécus par les enfants nés de parents irradiés par Tchernobyl se poursuivront dans les générations ultérieures.

5.2.6. Les aberrations chromosomiques comme indicateurs de l'état de santé

La réponse de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) et de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) [Forum de Tchernobyl, 2005] à l'apparition de changements chromosomiques induits par la catastrophe est que ces modifications n'affectent en aucune fa-

çon l'état de santé — ce qui est scientifiquement faux. Les changements chromosomiques observés dans les globules rouges du sang périphérique peuvent refléter de multiples altérations des processus génétiques et ontogénétiques. Il y a une corrélation entre le taux d'aberrations chromosomiques et un certain nombre d'états pathologiques. Il existe de nombreux exemples de tels liens dans les territoires de Tchernobyl. Citons notamment :

1. Le nombre d'aberrations chromosomiques chez 88% des liquidateurs coïncide avec le taux de maladies psychopathologiques et l'expression de l'immunosuppression secondaire [Kut'ko *et al.*, 1996].

2. Le nombre d'aberrations chromosomiques est sensiblement plus élevé chez ceux présentant des symptômes psychopathologiques et le nombre d'aberrations des chromatides est sensiblement plus élevé chez les individus atteints d'asthénie et de syndromes obsessionnels-phobiques [Kut'ko *et al.*, 1996].

3. Le nombre de dicentriques et d'échanges entre chromatides est en corrélation avec le développement d'anomalies congénitales [Kulakov *et al.*, 1997].

4. Le nombre de cassures chromosomiques est corrélé avec l'hypothyroïdie et un certain nombre de stigmates associés à l'embryogenèse [Kulakov *et al.*, 2001].

5. La fréquence de survenue de cellules aberrantes, de fragments pairs, d'anneaux et de cassures chromosomiques coïncide avec le niveau de déséquilibre du système immunorégulateur des nouveau-nés [Kulakov *et al.*, 1997].

6. L'incidence des malformations congénitales provoquées par des mutations *de novo* est nettement plus élevée dans les territoires contaminés à des niveaux de 15 Ci/km² ou plus [Lazjuk *et al.*, 1998].

7. Le nombre d'aberrations chromosomiques, le nombre de micronoyaux et l'incidence des mutations ponctuelles sont considérablement plus élevés chez les enfants avec des cancers de la thyroïde [Mel'nov *et al.*, 1999 ; Derzhitskaya *et al.*, 1997].

8. La fréquence de survenue d'aberrations est supérieure tant dans les cellules tumorales que dans les tissus « normaux » chez les personnes qui vivent dans les territoires contaminés [Polonetskaya *et al.*, 2001].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.20. Valeur moyenne des caractéristiques antioxydantes chez des groupes de liquidateurs russes présentant divers niveaux d'aberrations chromosomiques (pour 100 cellules) [Baleva et al., 2001]

	Groupe témoin	Groupes de liquidateurs ayant divers niveaux d'aberrations chromosomiques				
Aberrations, <i>n</i>	0,11	0,18	0,68	1,15	1,66	2,64
GT	16,70	823,82	17,57	824,50	21,98*	25,66*
SOD	113,12	115,23	120,09	101,08*	136,5	107,76
Hem 1	6,78	7,86	11,14*	5,59	7,74	6,70
Hem 2	7,27	9,22	10,99*	5,88	6,86	8,17
MDA 1	2,08	2,41	2,74*	1,88	2,67*	1,83
MDA 2	2,07	2,58*	2,28*	2,10	2,88*	1,85
<i>t</i> 1	1,01	1,37*	1,24	1,39*	1,15	1,50*
CP	1,16	1,01*	0,92*	1,15	1,18	1,20
FR	0,69	1,20*	1,05	1,02	0,92	1,04

GT : glycation restaurée ; SOD : superoxide-dismutase ; Hem 1, Hem 2 : protéines hématopoïétiques ; MDA 1 : malondialdéhyde dans les érythrocytes ; MDA 2 : malondialdéhyde dans les érythrocytes après initiation POL ; *t*1 : temps de corrélation rotationnel de la sonde rotative N1 dans les membranes érythrocytaires ; CP : céruloplasmine ; FR : radicaux libres avec le facteur-g 2.0.

* $p < 0,05$.

9. L'incidence des anomalies de la structure du spermatozoïde est en corrélation avec la fréquence d'apparition des aberrations chromosomiques [Kurilo *et al.*, 1993 ; Vozylova *et al.*, 1997 ; Domrachova *et al.*, 1997 ; Evdokymov *et al.*, 2001].

10. Le niveau d'activité antioxydante pour divers groupes de liquidateurs est en corrélation avec le nombre d'aberrations chromosomiques (Tableau 5.20).

11. La prévalence des infections fébriles est corrélée avec le niveau d'aberrations chromosomiques [Degutene, 2002].

12. Dans les territoires contaminés des provinces de Briansk et de Toulou, il existe une corrélation entre le nombre de cellules aberrantes et multiaberrantes et le développement de myomes de l'utérus [Ivanova *et al.*, 2006].

13. La fréquence de maladies cardiovasculaires et de maladies gastro-intestinales chez les liquidateurs est corrélée avec le niveau d'aberrations chromosomiques [Vorobtsova et Semenov, 2006].

Toutes ces corrélations montrent que l'augmentation des dommages chromosomiques, qui est observable partout dans les territoires contaminés, est une mesure d'un risque génétique élevé, ainsi que d'un risque de développer de nombreuses maladies.

5.2.7. Conclusion

Les mutations chromosomiques somatiques, les mutations causant des malformations congénitales, le polymorphisme génétique des protéines et les mutations dans l'ADN minisatellite sont seulement quelques-unes des modifications génétiques liées à la contamination par les radionucléides rejetés par Tchernobyl. L'écrasante majorité des changements génétiques induits par Tchernobyl ne se manifesteront pas pendant plusieurs générations. Un bilan plus complet des autres modifications génétiques viendra des progrès dans le domaine des méthodes scientifiques. Aujourd'hui, il est évident que les changements dans la structure génétique des cellules ont été les premiers signes du danger de la catastrophe de Tchernobyl. Les changements sont survenus dans les premiers jours suivant l'émission des rayonnements et ont accéléré l'apparition de diverses maladies.

Même si les radiations de Tchernobyl n'ont persisté que peu de temps (comme à Hiroshima et Nagasaki), leurs conséquences, selon les lois de la génétique, affecteront des générations d'êtres humains [Shevchenko, 2002]. 10% seulement de toutes les altérations génétiques attendues de Tchernobyl sont apparues dans la première génération [Pflugbeil *et al.*, 2006]. Le rayonnement de Tchernobyl est génétiquement beaucoup plus dangereux que celui libéré à

Hiroshima et Nagasaki étant donné que la quantité de radionucléides émis par la catastrophe de Tchernobyl a été de plusieurs centaines de fois supérieure et qu'il y a eu davantage de types différents de radionucléides.

Les conséquences génétiques de la catastrophe de Tchernobyl auront un impact sur des centaines de millions de personnes, dont : (a) celles qui ont été exposées aux premiers rejets de radionucléides à vie courte en 1986, qui se sont répandus dans le monde entier (voir [Partie I](#) pour les détails) ; (b) celles qui vivent et continuent à vivre dans les territoires contaminés par le Sr-90 et le Cs-137, car il ne faudra pas moins de 300 ans pour que la radioactivité retombe au niveau naturel ; (c) celles qui vivront dans les territoires contaminés par le Pu et l'Am, étant donné que des millénaires s'écouleront avant que la radioactivité mortelle ne décroisse ; (d) les enfants de parents irradiés, pendant au moins sept générations (même s'ils vivent dans des zones exemptes des retombées de radionucléides de Tchernobyl).

5.3. Maladies du système endocrinien

Les retombées radioactives de Tchernobyl ont eu de graves effets sur chaque élément du système endocrinien des personnes irradiées. Chez les adultes, la glande thyroïde concentre jusqu'à 40% d'une dose d'iode radioactif et jusqu'à 70% chez les enfants [Iline *et al.*, 1989 ; Dedov *et al.*, 1993]. L'hypophyse (glande pituitaire) intègre activement l'iode radioactif à des niveaux 5 à 12 fois plus élevés que la normale [Zubovsky et Tararukhina, 1991]. Ces deux principales composantes du système endocrinien ont été sur-irradiées au cours de la période « iode », les premières semaines après la catastrophe.

Toutes les fonctions physiologiques, telles que l'apparition de la puberté et la fermeture des épiphyses des os, dépendent d'organes à sécrétion interne – le pancréas, les glandes parathyroïdes, la thyroïde, les glandes surrénales, les ovaires et les testicules – qui régissent de multiples fonctions et doivent coordonner leur action pour assurer un développement normal. Ainsi, la contamination radioactive de Tchernobyl a eu une incidence négative sur la fonction de l'ensemble du système endocrinien.

Une fonction thyroïdienne adéquate au moment opportun est nécessaire pour le développement physique et intellectuel. Les dommages subis par la glande thyroïde du fœtus ou

du nouveau-né risquent de condamner cette personne à vivre avec des facultés mentales diminuées. Chez les femmes enceintes, la synthèse du cortisol, une hormone surrénale, et de la testostérone était corrélée avec le niveau de l'irradiation interne [Duda et Kharkevich, 1996]. Dans les territoires contaminés, les enfants avaient des taux de cortisol sanguin nettement réduits [Petrenko *et al.*, 1993]. Les mesures de l'immunité chez les enfants et les adolescents atteints de thyroïdite auto-immune de Hashimoto étaient corrélées avec le niveau de contamination radioactive de l'environnement [Kuchinskaya, 2001].

L'examen de nombreux exemples similaires montre clairement que le rayonnement de Tchernobyl a dangereusement affecté le système endocrinien. Mais quelle est l'ampleur de ces impacts ? Des exemples concrets sont présentés dans cette section pour répondre à certaines de ces questions. Après un bref examen des données sur les maladies du système endocrinien (Section 5.3.1), nous aborderons le problème central des maladies du système endocrinien liées à la catastrophe de Tchernobyl : les troubles fonctionnels de la glande thyroïde (Section 5.3.2).

5.3.1. Évaluation du système endocrinien.

Données sur la maladie

Les maladies du système endocrinien sont très répandues dans tous les territoires qui ont été exposés aux retombées radioactives de Tchernobyl [Baleva *et al.*, 1996 ; et beaucoup d'autres]. Par rapport aux données concernant les personnes normales, les fœtus avant leur naissance dans les territoires contaminés ont une activité sympathique inférieure de 50% et 36% d'activité cortico-surrénalienne en moins. Chez 28% des nouveau-nés étudiés dans les zones contaminées, les troubles du système hypophyso-thyroïdien, exprimés par un dysfonctionnement de la thyroïde au cours de la fin de la première semaine de vie et du début de la deuxième, ont finalement abouti à une hypothyroïdie avec ses anomalies mentales et physiologiques subséquentes [Kulakov *et al.*, 1997].

5.3.1.1. Belarus

1. Quelques années après la catastrophe, on a observé une forte augmentation des maladies endocriniennes dans tous les territoires contaminés du Belarus [Lomat' *et al.*, 1996 ; Leono-

va et Astakhova 1998 ; et beaucoup d'autres]. D'après les registres d'État, les pathologies du système endocrinien ont atteint 4 851 pour 100 000 en 1994 [Antypova *et al.*, 1995].

2. Les enfants de territoires fortement contaminés avaient des taux de cortisol sanguin très inférieurs à la norme. Le cortisol est une hormone des glandes surrénales qui est sécrétée lors du stress [Petrenko *et al.*, 1993]. Dans les provinces de Gomel et de Moguilev, les taux de cortisol et d'œstriol dans le sang ombilical ont été bien plus élevés dans des zones contaminées de 1 à 15 Ci/km² par le Cs-137 que dans les territoires lourdement contaminés (15 à 40 Ci/km²) [Danil'chik *et al.*, 1996]. Des enfants apparemment en bonne santé dans les provinces de Gomel et Moguilev avaient des taux de cortisol élevés là où la contamination allait de 1 à 15 Ci/km² et des niveaux plus bas dans des zones fortement contaminées [Danil'chik *et al.*, 1996]. Le nombre d'enfants présentant une altération de la sécrétion d'hormones (cortisol, thyroxine et progestérone) était nettement plus élevé dans les territoires lourdement contaminés [Sharapov, 2001].

3. Les enfants des territoires fortement contaminés avaient des niveaux plus bas de testostérone, une hormone associée au développement physique, et une fonction reproductrice détériorée associée à ces faibles niveaux [Lyal'kov *et al.*, 1993].

4. Beaucoup de filles d'âge pubertaire (13-14 ans) des territoires contaminés atteintes d'une thyroïdite auto-immune avaient un développement sexuel accéléré avec des concentrations sériques d'hormones gonadotropes dans le sang fortement accrues dans la phase lutéinique de leur cycle menstruel [Leonova, 2001].

5. Les enfants âgés de 10 à 14 ans nés de parents irradiés, en observation de 1993 à 2003, ont montré beaucoup plus de goitres et de thyroïdites [Rapport national du Belarus, 2006].

6. Dans certaines régions où le diabète de type I n'avait jamais été observé avant la catastrophe, des cas sont apparus par la suite et leur nombre a augmenté depuis 1986 [Marples, 1996].

7. Dans les provinces de Minsk et de Gomel, la fréquence des cas de diabète de type I a nettement augmenté après la catastrophe, avec une incidence maximale dans les districts les plus contaminés de la province de Gomel [Borysevich et Poplyko, 2002].

8. Dans les territoires fortement contaminés, le nombre de cas de maladies des organes endocriniens a triplé dans les six ans qui ont suivi la catastrophe [Shilko *et al.*, 1993]. La pathologie endocrinienne a été en tête des maladies diagnostiquées dans une enquête portant sur plus de 8 000 enfants en 1993-1994 dans le district de Slavgorod de la province de Moguilev [Souslov *et al.*, 1997].

9. Neuf ans après la catastrophe, la morbidité concernant les organes endocriniens parmi les personnes évacuées et celles des territoires fortement contaminés était double de celle de l'ensemble de la population du Belarus [Matsko, 1999].

10. Les cas de diabète de type I se sont multipliés dans l'ensemble du Belarus après la catastrophe [Mokhort, 2003] et à un degré encore plus élevé dans les territoires fortement contaminés (Tableau 5.21).

Tableau 5.21. Cas de diabètes de type 1 pour 100 000 enfants et adolescents avant et après la catastrophe dans les territoires fortement et moins contaminés du Belarus [Zalutskaya *et al.* 2004]

Années	1980-1986	1987-2002
Fortement contaminés (province de Gomel)	3,2 ± 0,3	7,9 ± 0,6*
Moins contaminés (province de Minsk)	2,3 ± 0,4	3,3 ± 0,5

* $p < 0,05$.

11. Parmi les 1 026 046 mères allaitantes examinées, l'incidence du diabète était significativement plus élevée chez les femmes de territoires contaminés au-delà de 1 Ci/km² par le Cs-137 [Busuet *et al.*, 2002].

12. Au moment de l'accouchement, chez les femmes des territoires les plus contaminés des provinces de Gomel et Vitebsk, on mesure des concentrations fortement accrues des hormones T4 et HCG et des concentrations plus faibles de l'hormone T3 [Dudinskaya et Suryna, 2001].

13. De 1993 à 2003 dans les territoires contaminés, chez les hommes de moins de 50 ans et les femmes de tous âges, il y a eu une nette augmentation de la morbidité par goitres mono-nodulaires et multi-nodulaires non-toxiques et thyroïdites auto-immunes [Rapport national du Belarus, 2006].

14. Les maladies endocriniennes étaient quatre fois plus fréquentes chez les personnes évacuées de la zone d'exclusion (et deux fois

plus parmi les habitants des zones contaminées) que celles de la population générale du Belarus (2 367 et 1 272 contre 583 pour 100 000), même 9 ans après la catastrophe [Matsko, 1999].

15. Au cours des première et deuxième phases de leur cycle menstruel, le sérum de femmes jeunes continuant à vivre dans une zone où la contamination radioactive était de 1 à 5 Ci/km² (ville de Gomel) présentait une corrélation entre le niveau de Cs-137 incorporé et la concentration de prolactine, ainsi qu'une corrélation inverse entre les niveaux de Cs-137 incorporé et la concentration de progestérone pendant la deuxième phase du cycle menstruel [Yagovdik, 1998].

16. Chez les liquidateurs du Belarus et les évacués, il y a eu 2,5 à 3 fois plus d'individus atteints d'un diabète de type II avec une diminution de la tolérance au glucose et une augmentation de 1,4 à 2,3 fois de l'hyperinsulinémie, comparés aux groupes témoins [Aderikho, 2003].

17. Dix ans après la catastrophe, les liquidateurs du Belarus avaient une fonction amoindrie de l'axe hypophyse/thyroïde, une dépression de la fonction insulinaire, un épuisement du système hypophyse/surrénales et des taux plus élevés de progestérone, de prolactine et de rénine (Tableau 5.22).

Tableau 5.22. Concentration d'hormones chez les liquidateurs belarusses hommes * (nmol/l) [Bliznyuk, 1999]

	Liquidateurs	Groupes témoins
Aldostérone	193,1 ± 10,6	142,8 ± 11,4
Cortisol	510,3 ± 37,0	724,9 ± 45,4
Insuline	12,6 ± 1,2	18,5 ± 2,6
ACTH	28,8 ± 2,6	52,8 ± 5,4
Prolactine	203,7 ± 12,3	142,2 ± 15,2
Progestérone	2,43 ± 0,18	0,98 ± 0,20
Rénine	1,52 ± 0,14	1,02 ± 0,18

* Toutes les différences sont significatives

5.3.1.2. Ukraine

1. La multiplication des maladies endocriniennes (thyroïdite auto-immune, thyrotoxicose, diabète) a débuté en 1992 dans tous les territoires contaminés [Tron'ko *et al.*, 1995]. En 1996, les maladies du système endocrinien sont survenues nettement plus souvent dans

des zones contaminées à des niveaux supérieurs à 5 Ci/km² que dans la population totale de l'Ukraine [Grodzinsky, 1999]. De 1988 à 1999, les pathologies du système endocrinien dans les territoires contaminés ont augmenté jusqu'à huit fois [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

2. Les maladies endocriniennes sont la principale cause d'invalidité médicale chez les enfants des territoires contaminés [Romanenko *et al.*, 2001]. Quelque 32% des filles irradiées *in utero* sont devenues stériles à cause des dommages du système endocrinien (10,5% chez les groupes témoins, $p < 0,05$) [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

3. Dans les 2 premières années après la catastrophe, le déséquilibre hormonal est devenu typique chez les personnes vivant dans les territoires lourdement contaminés. Les garçons et les filles des zones contaminées ont développé une synthèse accrue d'insuline et les filles des teneurs élevées en testostérone [Antipkin et Arabskaya, 2003].

4. Parmi une population infantine des territoires les plus contaminés de la région de Jitomir, durant les trois-quatre premières années après la catastrophe, on a observé une activation de la fonction du système hypophyso-thyroïdien ; puis, au bout de cinq-six ans, une stabilisation avec une perte consécutive de fonctions de la glande thyroïde [Sorokoman, 1999].

5. Dans les territoires contaminés, l'arrivée de la puberté chez les filles était retardée et les cycles menstruels étaient perturbés chez les femmes [Vovk et Mysurgyna, 1994 ; Babich et Lypchanskaya, 1994]. Dans les territoires contaminés par le Sr-90 et le Pu, les garçons avaient un retard de la puberté de 2 ans et les filles de 1 an, tandis que le développement sexuel était accéléré dans les territoires contaminés par le Cs-137 [Paramonova et Nedvetskaya, 1993].

6. L'incidence des troubles endocriniens des enfants irradiés a considérablement augmenté après 1988 [Luk'yanova *et al.*, 1995].

7. L'examen de plus de 16 000 femmes enceintes de 1986 à 1993 dans les territoires contaminés a révélé des taux fortement accrus de l'hormone thyroïdienne et de la thyroxine (TSH et T₄) pendant deux ans après la catastrophe. De 1988 à 1990, les taux des hormones principales de la thyroïde étaient proches de la normale mais, en 1991-1992, les taux des TSH, T₄ et T₃ étaient réduits. En 1993, une hyperthyroïdie était observée pour la première fois chez

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

les femmes enceintes et les nouveau-nés [Dachkevitch *et al.*, 1995 ; Dachkevitch et Janyuta, 1997].

8. Quelque 30% des femmes âgées de plus de 50 ans vivant dans des territoires contaminés ont une hypothyroïdie subclinique [Panenko *et al.*, 2003].

9. Le niveau de morbidité du système endocrinien chez les adultes évacués est considérablement plus élevé que pour l'ensemble de la population de l'Ukraine [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

10. Une forte augmentation du diabète sucré a été observée dans les territoires contaminés quelques années après la catastrophe [Gridjyuk *et al.*, 1998].

11. Une dégradation marquée du système hypophyso-surrénalien a été observée chez une majorité des 500 liquidateurs surveillés dans les premières années après la catastrophe ; six ans plus tard, il y avait une normalisation des mesures correspondantes au repos, mais pas lors d'activités [Mytryaeva, 1996].

12. Les liquidateurs atteints de maladie parodontale généralisée avaient des taux d'hormones du métabolisme du calcium très réduits, dont ceux de la parathormone, de la calcitonine, du calcitriol [Matchenko *et al.*, 2001].

13. Pratiquement tous les liquidateurs avaient des modifications caractéristiques du système hormonal s'exprimant tout d'abord par une diminution de la sécrétion de cortisone et d'insuline [Tron'ko *et al.*, 1995]. Pour certains, la normalisation du système hormonal est survenue 5 à 6 ans après l'irradiation. Au même moment, plus de 52% des personnes examinées avaient encore une fréquence accrue d'apparition de pathologies endocriniennes auto-immunes, dont la thyroïdite, le diabète sucré et l'obésité [Tron'ko *et al.*, 1995].

5.3.1.3. Russie

1. Un déséquilibre hormonal (œstradiol, progestérone, lutéotrophine, testostérone) s'est fortement développé dans les territoires contaminés 5 à 6 ans après la catastrophe [Gorptchenko *et al.*, 1995].

2. Pendant les 10 premières années après la catastrophe, les maladies endocriniennes ont augmenté dans les territoires contaminés [Tsymlyakova et Lavrent'eva, 1996].

3. Le nombre d'enfants avec des maladies du système endocrinien a augmenté dans les

zones fortement contaminées [Sharapov, 2001]. Pour les enfants des zones contaminées de la province de Toula, la morbidité endocrinienne a été cinq fois plus élevée en 2002 qu'avant la catastrophe [Sokolov, 2003].

4. En 1995, le nombre d'enfants à pathologies endocriniennes a atteint un sommet dans toutes les régions contaminées de la province de Briansk. En dépit d'une certaine diminution de 1995 à 1998, le taux est resté deux fois plus élevé que pour l'ensemble de la Russie. À la même période, il est resté très élevé en 1998 dans la zone fortement contaminée des districts de Gordeyevka, de Novozybkov et de Klimovo (Tableau 5.23).

Tableau 5.23. Pathologies endocriniennes globales (pour 1 000) chez les enfants de la province de Briansk de 1995 à 1998 dans les zones contaminées par le Cs-137 au-delà de 5 Ci/km² [Fetysov, 1999b : tableau 6.1]

District	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	21,6	29,9	25,5	83,3
Novozybkov	133,4	54,5	55,0	109,6
Klintsy	28,9	31,4	34,6	28,9
Krasnogorsk	31,4	69,2	41,3	25,3
Zlynka	65,0	43,8	49,7	24,9
Gordeevka	410,2	347,5	245,0	158,5
Sud-ouest*	104,4	97,1	67,2	68,5
Total de la province	102,2	74,2	47,2	47,3
Russie	21,4	23,4	25,6	n/a

* Tous les territoires fortement contaminés de la province de Briansk

5. Un total de 17,7% des femmes enceintes dans les territoires contaminés avaient une augmentation significative du taux de prolactine associé à un arrêt des règles et une perte de la fertilité [Stroukov, 2003].

6. Dans les districts contaminés de la province de Kalouga, globalement moins contaminée que la province de Briansk, le taux de pathologies endocriniennes des jeunes a été de 5,8 à 16,1 pour 1 000, soit 1,4 à 3,2 fois plus que celle des districts moins contaminés [Borovykova *et al.*, 1996].

7. La fréquence des pathologies endocriniennes chez les enfants nés de liquidateurs de la province de Kalouga a commencé à augmenter fortement 12 ans après la catastrophe (Figure 5.5).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

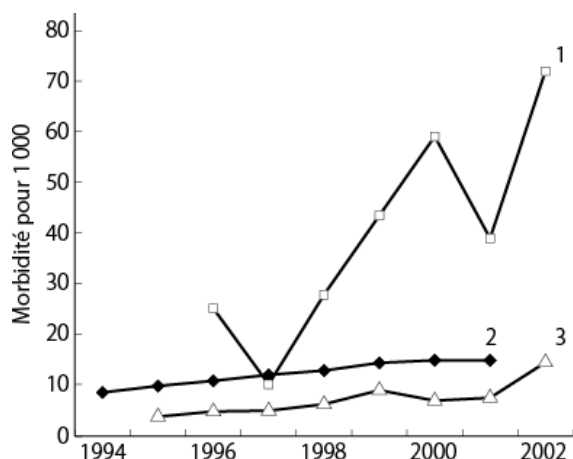


Figure 5.5. Incidence (pour 1 000) des maladies endocriniennes et du métabolisme chez les enfants : (1) de liquideurs de la ville d'Obrninsk, province de Kalouga ; (2) d'Obrninsk ; (3) de toute la Russie [Borovykova, 2004]

8. De 1995 à 1998, le taux d'augmentation de l'ensemble des maladies du système endocrinien chez les adultes dans les territoires fortement contaminés a été plus élevé que celui des enfants et, dans la plupart des districts fortement contaminés de la province de Briansk, il était nettement plus élevé que dans l'ensemble de la province et de la Russie (Tableau 5.24).

Tableau 5.24. Pathologies endocriniennes globales (pour 1 000) chez les adultes de la province de Briansk de 1995 à 1998 dans les zones contaminées par le Cs-137 au-delà de 5 Ci/km² [Fetysov, 1999a : tableaux 5.1 et 5.2]

District	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	70,8	95,5	109,3	112,2
Novozybkov	54,5	77,9	67,5	40,9
Klintsy	48,0	83,2	75,5	74,1
Krasnogorsk	38,2	40,4	54,0	81,1
Zlynka	33,9	51,4	52,0	57,7
Gordeyevka	32,8	46,3	57,6	72,4
Sud-ouest*	43,2	58,6	64,2	66,6
Total de la province	32,1	35,0	38,5	41,2
Russie	28,2	29,8	31,2	n/a

* Tous les territoires fortement contaminés de la province de Briansk

9. Douze ans après la catastrophe, la morbidité adulte globale chez les adultes atteints de maladies du système endocrinien dans les dis-

tricts fortement contaminés du sud-ouest de la province de Briansk et la morbidité chez les liquideurs ont largement dépassé les normes de la province (Tableau 5.25). La morbidité chez les liquideurs de la province était nettement au-dessus de la moyenne russe.

Tableau 5.25. Pathologies endocriniennes globales (pour 1 000) chez les adultes et les liquideurs de la province de Briansk de 1995 à 1998 dans les zones contaminées par le Cs-137 au-delà de 5 Ci/km² [Fetysov, 1999a : tableaux 4.1 et 4.2]

	Nombre de cas				
	1994	1995	1996	1997	1998
Districts du sud-ouest*	49,9	53,3	58,6	64,2	147,4
Liquideurs	92,7	124,5	92,1	153,0	195,0
Ensemble de la province	31,6	32,1	35,0	38,5	41,2
Russie	27,8	28,2	29,8	31,2	n/a

* Tous les territoires fortement contaminés

10. Quinze ans après la catastrophe, les pathologies globales du système endocrinien dans les territoires contaminés de la province de Briansk ont dépassé de 2,6 fois le niveau de l'ensemble de la province [Sergeeva *et al.*, 2005].

11. Il existe un lien entre l'irradiation due à Tchernobyl et l'altération des fonctions exocrines et endocrines des testicules, dont de faibles concentrations plasmatiques de testostérone, une augmentation du taux d'hormone folliculo-stimulante (FSH) et une baisse du taux de l'hormone lutéinisante (LH) [Byryukov *et al.*, 1993].

12. Les pathologies du système endocrinien des liquideurs de Russie ont fortement augmenté de 1986 à 1993 (Tableau 5.26).

13. En 1999, la fréquence de pathologies du système endocrinien chez les liquideurs de Russie a été 10 fois supérieure à celle de groupes témoins de la population [Rapport national de Russie, 1999].

14. De graves altérations de la fonction hypophysaire et des modifications des taux d'hormones ont été constatées chez des liquideurs [Drygyna, 2002].

15. Des taux élevés de prolactine ont été trouvés après examen chez 22% des liquideurs hommes, des niveaux habituellement observés uniquement chez les femmes jeunes [Stroukov, 2003].

Tableau 5.26. Pathologies endocriniennes (pour 10 000) chez les liquidateurs russes [Baleva et al., 2001]

Années	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Nombre de cas, <i>n</i>	96	335	764	1 340	2 020	2 850	3 740	4 300

16. Les liquidateurs femmes ont eu régulièrement des taux de gonadotrophines et d'hormones stéroïdes sexuelles nettement plus élevés que ceux de groupes témoins, ainsi que des taux anormaux de cortisol, testostérone, hormone thyroïdienne (TGH), triiodothyronine (T3) et thyroxine [Bezhenar, 1999 ; Bezhenar et al., 2000].

« (...) L'été dernier [1998], le Dr Vvedensky et un groupe de collègues sont allés au sanatorium de l'usine d'État de « fibres synthétiques », située à plusieurs centaines de kilomètres de la ville de Gomel. Depuis l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl, ce sanatorium a été un lieu de soins pour les enfants des zones les plus contaminées du Belarus (...). Les médecins ont choisi d'étudier 300 jeunes filles nées entre 1986 et 1990 (...). Pendant les 18 mois de l'enquête, les médecins ont constaté des résultats surprenants. Des recherches anthropométriques – mesures de la croissance, du poids, du volume du thorax, des hanches et des jambes –, ont montré que chez les filles de la zone de Tchernobyl tous les paramètres étaient en dessous des normes. Toutefois, la largeur des épaules dépassait la norme et leurs avant-bras, épaules et jambes présentaient une forte pilosité.

Au cours des observations suivantes, les médecins ont trouvé des pathologies plus graves. En règle générale, à l'âge de 12-13 ans, les jeunes filles commencent à avoir des règles. Dans l'étude, pas une seule des 300 jeunes filles ne les a eues à cet âge-là. Les examens par ultrasons ont montré que leur utérus et leurs ovaires étaient sous-développés (...). « Nos résultats pourraient être purement accidentels », dit le Dr Vvedensky, « mais parmi ces 300 jeunes filles, l'une d'elles n'avait pas d'organes reproducteurs internes du tout (...). Bien que nous n'ayons pas le droit de tirer des conclusions scientifiques, si nous avons trouvé au moins trois filles sur 10 000 avec la même anomalie du développement, alors il aurait été possible de parler d'une terrible catastrophe physiologique ».

Cependant, les médecins n'ont pas de crédits pour des études plus détaillées et approfondies. Le groupe Vvedensky en est venu à la conclusion qu'un déséquilibre hormonal est à l'origine de ces changements. Sous l'influence de l'irradiation, une grande quantité de testostérone est produite dans l'organisme féminin. La testostérone est une hormone masculine, normalement présente seulement en très petites quantités chez les femmes, mais quand une femme en a trop, elle peut perdre ses caractéristiques féminines (...) » [Ulevich, 2000].

5.3.2. Insuffisance thyroïdienne

Une fonction thyroïdienne adéquate au moment opportun est nécessaire pour le développement physique et intellectuel du fœtus. Les dommages affectant la glande thyroïde de l'enfant à naître ou du nouveau-né peuvent conduire à une déficience mentale à vie.

L'irradiation par l'I-131 et d'autres radionucléides endommage l'épithélium glandulaire, ce qui est démontré par l'existence de formations nodulaires. La thyroïdite auto-immune est l'une des premières conséquences fonctionnelles de l'irradiation [Mozzhukhyna, 2004]. Parmi les maladies thyroïdiennes dues à l'irradiation, citons l'hypo et l'hyperthyroïdie, le myxœdème et les tumeurs non malignes et malignes. L'atteinte thyroïdienne conduit à une diminution de la production des trois hormones de la glande, la thyroxine, la triiodothyronine et la calcitonine, qui régissent, par exemple, la croissance et le développement, la thermorégulation et les échanges calciques.

Dans tous les territoires contaminés, on relève une augmentation marquée des maladies non malignes de la thyroïde [Gofman, 1994a ; Dedov et Dedov, 1996]. Les maladies associées comprennent : un retard de la cicatrisation des plaies et des ulcères, un retard dans la croissance des cheveux, une sécheresse, une fragilité et une perte de cheveux, une sensibilité accrue aux infections respiratoires, une cécité crépusculaire, des vertiges fréquents, un bourdonnement dans les oreilles, des maux de

tête, de la fatigue et un manque d'énergie, un manque d'appétit (anorexie), un retard de croissance chez les enfants, une impuissance masculine, une augmentation des saignements (y compris des ménorragies), le manque d'acide chlorhydrique au niveau de l'estomac (achlorhydrie) et une anémie modérée.

Parmi les symptômes d'hypothyroïdie qui ne sont pas nécessairement enregistrés comme des maladies, mais qui surviennent avec une fréquence accrue dans les territoires contaminés, mentionnons : un gonflement du visage et des paupières, une augmentation de la sensibilité au froid, une diminution de la transpiration, une somnolence, un gonflement de la langue, un ralentissement de la parole et une voix rude et rauque, des douleurs, une faiblesse musculaire et une diminution de la coordination musculaire, des raideurs articulaires, une peau sèche, rugueuse, pâle et froide, une mauvaise mémoire et un ralentissement de la pensée, une respiration difficile (dyspnée) et une surdité [Gofman, 1990 ; et d'autres].

Des changements pathologiques dans la glande thyroïde sont étroitement liés à ceux des glandes parathyroïdes. La fonction parathyroïde était détruite chez 16% des patients qui avaient subi une chirurgie de la glande thyroïde [Demedchik *et al.* 1996]. De nombreux symptômes attribués à une insuffisance parathyroïdienne ont été observés dans les territoires de Tchernobyl. Parmi eux : un hypogonadisme chez l'homme et la femme, une diminution du développement somatique et sexuel normal, des tumeurs hypophysaires, une ostéoporose, des fractures vertébrales par compression, des ulcères de l'estomac et du duodénum, une lithiase urinaire et une cholécystite [Dedov et Dedov, 1996 ; Ouchakov *et al.*, 1997].

5.3.2.1. Belarus

1. Vers l'an 2000, quelques centaines de milliers de personnes souffraient de pathologies de la glande thyroïde (goitre nodulaire, thyroïdite et aussi cancer de la thyroïde (cf. [Chapitre 6](#)). Chaque année, 3 000 d'entre elles ont dû subir une intervention chirurgicale sur la glande thyroïde [Borisevitch et Poplyko, 2002].

2. L'incidence de la thyroïdite auto-immune chez les enfants a presque triplé 10 ans après la catastrophe [Leonova et Astakova, 1998]. Vers 1995, une augmentation marquée des cas de

thyroïdite auto-immune s'est également produite dans les régions moins radiocontaminées de Vitebsk, Minsk et Brest [Khmara *et al.*, 1996].

3. En 1993, dans la région de Gomel (l'une des plus contaminées), plus de 40% des enfants examinés avaient une glande thyroïde hypertrophiée. Ici, l'incidence du goitre endémique a crû d'un facteur 7 entre 1985 et 1993 et celle de la thyroïdite auto-immune d'un facteur supérieur à 600 entre 1988 et 1993 [Astakhova *et al.*, 1995 ; Biryukova et Touloupova, 1994].

4. En 1998, un suivi continu de 328 enfants de 11 à 14 ans de la ville de Khoïniki (région de Gomel) a révélé une hyperthyroïdie chez 30% de ceux-ci [Drozd, 2002].

5. Chez les enfants irradiés *in utero* pendant les trois premiers mois de la gestation, le volume de la glande thyroïde est réduit et on rencontre plus souvent une hypothyroïdie latente [Drozd, 2002].

6. Des affections de la glande thyroïde ont été décelées chez 10 de 23 fœtus de 4 à 5 mois dont les mères vivaient dans des territoires contaminés par le césium-137 à raison de 1 à 15 Ci/km² [Kapitonova *et al.*, 1996].

7. Chez des enfants du district de Stoline de la région de Brest (densité de contamination par le césium-137 atteignant 15 Ci/km²) irradiés *in utero*, on découvre au bout de 10 ans et plus des troubles de la fonction thyroïdienne, notamment une baisse de la production de globuline liant la thyroxine (T-4), une production accrue de triiodothyronine, une augmentation de la production de thyroglobuline chez les filles et une diminution de la production de thyroxine chez les garçons [Sytychik et Stojarov, 1999a].

8. Une hyperthyroïdie a été décelée chez 47% de 3 437 enfants examinés du district de Mozyr dans la région de Gomel [Vaskevitch et Tchernycheva, 1994].

9. Une corrélation a été mise en évidence entre les niveaux immunitaires des enfants et des adolescents à thyroïdite auto-immune et le niveau de radiocontamination de leur district de résidence [Koutchinskaya *et al.*, 2001].

10. Chez des adolescentes de territoires contaminés à l'âge de leur puberté, affectées d'une thyroïdite auto-immune, on observe une accélération du développement sexuel qui se traduit, dès 13-14 ans, par une hausse marquée des concentrations d'hormones gonadotropes dans le sérum sanguin lors de la phase lutéinique du cycle menstruel [Leonova, 2001].

11. D'après des statistiques officielles, au Belarus, durant les années 1992-2003, une hausse des pathologies thyroïdiennes chez les enfants, les adolescents et les jeunes adultes s'observe non seulement dans la région de Gomel, mais aussi ailleurs. La première place pour les cas de goitre nodulaire chez les adultes revient à la région de Vitebsk ; pour ceux d'hypothyroïdie, il s'agit des régions de Moguilev et de Gomel, tandis que les régions de Vitebsk et Gomel viennent au premier rang pour la thyroïdite auto-immune [Zdravookhranyeniye, 2004 ; Leonova *et al.*, 2010].

12. Chez 56 (36,8%) des 145 étudiants (âgés de $24,3 \pm 0,23$ ans) suivis en 2009, on a décelé une pathologie du système endocrinien : thyroïdite auto-immune (8,3%), goitre diffus non toxique avec microkystes (8,3%), goitre nodulaire (6,2%), hypothyroïdie subclinique (4,2%). 6,2% des personnes suivies sont entrées dans le groupe à risque de développement de thyroïdite auto-immune [Leonova *et al.*, 2010].

13. Chez les femmes souffrant de myome utérin et vivant dans le district de Narovlia de la région de Gomel ($15 \text{ à } 40 \text{ Ci/km}^2$ en césium-137), les troubles de l'homéostasie hormonale sont plus marqués que chez celles de Minsk affectées par la même pathologie [Vasilyeva et Rayevskaya, 2007].

14. Parmi les 119 178 enfants d'Ukraine, du Belarus et de Russie âgés de moins de 10 ans au moment de la catastrophe, qui avaient été examinés dans le cadre du projet « Sasakava », il y a eu 62 cas de cancer de la thyroïde et 45 873 cas d'autres pathologies thyroïdiennes [Yamashita et Shibata, 1997].

15. Il existait une corrélation significative entre la contamination de l'environnement en Cs-137 et l'incidence des maladies de la thyroïde chez 1 026 046 femmes enceintes [Busuet *et al.*, 2002].

16. De 1993 à 2003, les goitres multinodulaires et uni-nodulaires non toxiques et les thyroïdites auto-immunes ont augmenté de façon significative chez les femmes évacuées [Rapport national du Belarus, 2006].

17. De 1993 à 1995, une hyperplasie de la glande thyroïde a été constatée chez 48% des jeunes immigrants du district de Braguine et chez 17% des jeunes immigrants du district de Stoline, de la province de Brest [Belyaeva *et al.*, 1996].

18. La pathologie thyroïdienne dans les territoires contaminés par Tchernobyl était corrélée

avec des maladies des gencives et des dents [Konoplya, 1998].

19. En 1996, les maladies de la glande thyroïde ont été observées 11,9 fois plus souvent chez les liquidateurs que dans l'ensemble de la population adulte [Antypova *et al.*, 1997a, b].

20. L'incidence de modifications anatomiques de la glande thyroïde chez les liquidateurs hommes qui ont travaillé en 1986-1987 a été sensiblement plus élevée en 1994 qu'en 1992 (Tableau 5.27).

Tableau 5.27. Modifications structurelles de la glande thyroïde (% d'un total de 1 752 cas examinés annuellement) chez les liquidateurs bélarusses hommes (1986-1987) [Lyasko *et al.*, 2000]

	1992	1994
Nodulaire	13,5	19,7
Hyperplasie	3,5	10,6
Thyroïdite	0,1	1,9

5.3.2.2. Ukraine

1. Un dysfonctionnement de la glande thyroïde a été observé dans les territoires contaminés depuis 1986 et, depuis 1990, il y a eu une augmentation des thyroïdites chroniques auto-immunes [Stepanova, 1999 ; Cheban, 1999, 2002].

2. Huit ans après l'irradiation *in utero*, la production de la glande thyroïde des enfants était faible, mais elle était également faible chez les enfants irradiés au cours des premières semaines de leur vie [Gorobets, 2004].

3. Les enfants atteints d'hyperplasie thyroïdienne au second degré avaient une incidence de deux à trois fois supérieure d'allergies, de pathologies vasculaires, de troubles immunitaires, de maladies intestinales, de caries et d'hypertension artérielle (Tableau 5.28).

4. Parmi les enfants d'âge scolaire (étude portant sur environ 14 500 d'entre eux) habitant dans des territoires de la région de Jitomir contaminés par des radionucléides, un grossissement de niveau 1 à 3 de la glande thyroïdienne est relevé chez 64,2% à 75,2%, une thyroïdite auto-immune chez 2,4% à 2,5%, une évolution kystique et des nodules dans la glande thyroïdienne chez 0,5% à 1,2%, un cancer de la thyroïde chez 0,01% [Sorokoman, 1999].

5. Parmi les pathologies chirurgicales de la thyroïde, l'incidence du goitre a été considérablement plus élevée en 1989 que pendant la période pré-Tchernobyl [Horishna, 2005].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.28. Incidence (%) de pathologies somatiques chez les enfants présentant divers degrés d'hyperplasie de la thyroïde [Luk'yanova et al., 1995]

	DVV*	Allergies	Circulation	Infections	Caries	Intestinales
0	7,2	1,4	3,5	5,0	32,7	20,4
1 ^{er} degré	12,4	4,8	4,3	5,8	45,8	29,3
2 ^{ème} degré	27,8	12,6	9,4	14,7	63,9	35,8

* Dystonie vasculaire végétative (dysfonctionnement du système nerveux autonome)

6. De 1992 à 2000, l'incidence de la thyroïdite chronique a augmenté chez les adolescents et les adultes, en particulier chez les liquidateurs et les personnes évacuées (Figure 5.6).

7. Des modifications de la glande thyroïde ont été trouvées chez 35,7% de 3 019 adolescents âgés de 6 à 8 ans à l'époque de la catastrophe et vivant dans les provinces de Vinnitsa et Jitomir [Fedyk, 2000].

8. Les pathologies de la glande thyroïde sont deux fois plus fréquentes chez les enfants des territoires fortement contaminés que chez ceux de zones moins contaminées : 32,6 contre 15,4% [Stepanova, 1999].

9. Parmi 1 825 enfants et adolescents nés avant la catastrophe (1984-1986) et vivant dans la province de Kiev, la fréquence des pathologies de la glande thyroïde n'a pas diminué au cours des 11 à 14 années suivant la catastrophe [Syvachenko et al., 2003].

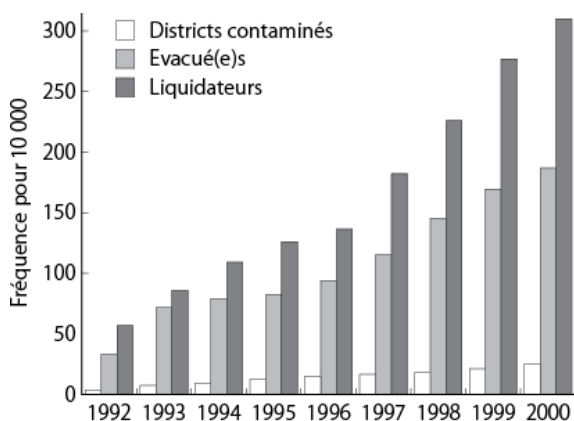


Figure 5.6. Fréquence des thyroïdites chroniques chez les adolescents et les adultes d'Ukraine de 1992 à 2000 (pour 10 000) [Rapport national d'Ukraine, 2006 : Figure 5.1.10]

10. Parmi 119 178 enfants d'Ukraine, du Belarus et de Russie, âgés de moins de 10 ans au moment de la catastrophe, examinés dans le cadre du projet « Sasakava », il y avait 740 pathologies thyroïdiennes pour chaque cas de

cancer thyroïdien [Yamashita et Shibata, 1997]. Dans une autre étude, dans laquelle 51 412 enfants ont été examinés, 1 125 pathologies thyroïdiennes ont été constatées pour chaque cas de cancer [Foly, 2002].

11. Parmi plus de 50 000 adolescents qui ont été examinés, environ 14% d'entre eux souffraient de dépression et environ 15% avaient une pathologie de la glande thyroïde [Contis, 2002].

12. La morbidité liée à la thyroïdite chronique a beaucoup augmenté chez les liquidateurs ukrainiens entre 1992 et 2001 [Moskalenko, 2003].

13. Quelque 150 000 Ukrainiens ont développé une pathologie de la glande thyroïde dans les 10 ans qui ont succédé à la catastrophe, en relation avec celle-ci [ITAR-TASS, 1998].

5.3.2.3. Russie

1. Les enfants des territoires à niveau élevé de contamination radioactive ont une incidence nettement plus élevée d'hyperplasie de deuxième degré de la glande thyroïde et des formes de goitres nodulaires et diffus [Sharapov, 2001].

2. Un enfant sur deux dans les districts fortement contaminés de la province de Briansk a eu une pathologie de la glande thyroïde [Kashyryna, 2005].

3. De 1998 à 2004 dans la province de Briansk, il y a eu 284 cas de cancer de la thyroïde et 7 601 cas d'autres types de pathologies thyroïdiennes [Karevskaya et al., 2005].

4. Dans les districts fortement contaminés de la province de Briansk, jusqu'à 60% des enfants avaient une hyperplasie de la glande thyroïde en 1995 (Tableau 5.29).

5. Dans la province de Voronej, où huit districts ont été officiellement classés comme étant contaminés par la radioactivité, l'incidence de l'hypertrophie de la thyroïde a augmenté chez les enfants dans les 10 premières années après la catastrophe. À l'âge de 11 ans, les garçons nés dans la province de

Voronej en 1986 ont été nettement plus petits que les garçons du même âge nés en 1983, très probablement à cause d'un déséquilibre hormonal thyroïdien [Oulanova *et al.*, 2002].

Tableau 5.29. Cas de premier et de second degré d'hyperplasie de la glande thyroïde chez les enfants (pour 1 000) des districts hautement et lourdement contaminés ($Cs-137 \geq 5 \text{ Ci/km}^2$) de la province de Briansk de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.2]

District	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	600,5	295,9	115,1	52,3
Novozybkov	449,0	449,5	385,9	329,4
Klintsy	487,6	493,0	413,0	394,3
Krasnogorsk	162,2	306,8	224,6	140,1
Zlynka	245,1	549,3	348,7	195,0
Sud-ouest*	423,4	341,0	298,7	242,7

* Tous les territoires fortement contaminés

6. En 1998, un enfant sur trois dans la ville d'Iekaterinbourg, située dans la zone fortement industrialisée de l'Oural, exposée aux retombées de Tchernobyl, avait un développement anormal de la glande thyroïde [Dobrynina, 1998].

7. L'incidence des thyroïdopathies chez des enfants irradiés *in utero* et au cours des 13 premières semaines après leur naissance (560 personnes du sud-ouest de la région de Kalouga) est 2,3 fois plus forte que dans la population témoin et plus forte chez les fillettes. Cette différence est particulièrement marquée chez les enfants irradiés pour partie au stade fœtal et pour partie au cours des premières années de leur vie postnatale [Gorobets, 2007].

8. Chez les enfants nés dans des familles de liquidateurs de la région de Kalouga, vers l'âge de 10 ans, le nombre de thyroïdopathies était 5 fois plus élevé que la moyenne de la région. Ces données sont très proches des niveaux de morbidité chez les enfants de liquidateurs de toute la Russie, d'après les données du Registre d'État du ministère de la santé [Tsyb *et al.*, 2006b].

9. Au cours de la période 1993-2004, chez les liquidateurs de la région de Tomsk, on a relevé une accentuation des pathologies de la glande thyroïdienne résultant de l'expansion de son grossissement diffus et de formes d'affections plus graves (goitre nodulaire, thyroïdite) [Krayouchina *et al.*, 2006].

5.3.2.4. Autres pays

POLOGNE. Parmi les 21 000 personnes vivant dans la partie sud-est du pays contaminée par les retombées de Tchernobyl qui ont été examinées, une femme sur deux et un enfant sur dix avaient une hypertrophie de la thyroïde. Dans certains villages, une pathologie de la glande thyroïde a été constatée chez 70% des habitants [Associated Press, 2000].

5.3.3. Conclusion

Malgré les informations présentées jusqu'à maintenant, nous n'avons toujours pas une image planétaire et totale de toutes les personnes dont la fonction hormonale a été détériorée par les rayonnements de la catastrophe de Tchernobyl, parce que les statistiques médicales ne traitent pas de telles maladies d'une manière uniforme.

À première vue, certains changements dans la fonction endocrinienne des personnes soumises aux radiations de Tchernobyl paraissent contradictoires. Il ressort des résultats que la concentration d'une même hormone peut baisser sur des territoires à faible densité d'irradiation et croître, en cas d'augmentation de la dose reçue ; la fréquence de mêmes maladies dans une série de secteurs administratifs distincts peut faire apparaître des tendances contradictoires.

Avec la collecte de nouvelles données, nous espérons que de telles contradictions pourront être résolues. Des recherches minutieuses peuvent fournir l'explication qui permettra de comprendre si les différences sont dues aux influences passées de divers isotopes, à des combinaisons de radio-isotopes différents, au calendrier des expositions, à l'adaptation de divers organes ou encore à des facteurs à découvrir.

L'analyse de données anciennes, datant de décennies, de la zone du sud de l'Oural contaminée par des accidents radioactifs dans les années 1950 et 1960 indique que l'irradiation à faible dose *in utero*, qui était semblable à celle de Tchernobyl, peut provoquer des troubles de la régulation neuroendocrinienne et neuro-hormonale. En utilisant ces données, les chercheurs ont signalé une ostéochondrose vertébrale, des déformations arthrosiques des extrémités, une gastrite atrophique et d'autres problèmes dans les populations exposées [Ostroumova, 2004].

L'éventail des problèmes sanitaires radio-induits provoqués par la dégradation du système endocrinien dans les territoires « tchernobylens » doit être encore plus large. Une conclusion importante à ce jour est que, pour chaque cas de cancer de la thyroïde, il y a environ 1 000 cas d'autres types de pathologie de la glande thyroïde. Au seul Belarus, les experts estiment que jusqu'à 1,5 million de personnes sont porteuses d'un risque de maladie de la thyroïde [Gofman, 1994a ; Lypyk, 2004].

À partir des données recueillies dans de nombreuses zones différentes par de nombreux chercheurs indépendants, le spectre et l'ampleur de la pathologie endocrinienne associée à la contamination radioactive sont beaucoup plus grands qu'on ne l'avait soupçonné. Il est maintenant clair que de multiples maladies endocriniennes causées par Tchernobyl ont profondément affecté des millions de personnes.

5.4. Maladies du système immunitaire

De nombreuses études menées au cours de ces dernières années en Ukraine, au Belarus et en Russie concluent sans équivoque que les radiations de Tchernobyl détériorent le système immunitaire, c'est-à-dire le système naturel de protection d'une personne ou d'un organisme contre l'infection et la plupart des maladies.

Le système lymphatique – la moelle osseuse, le thymus, la rate, les ganglions lymphatiques et les plaques de Peyer – a été touché à la fois par les fortes et les faibles doses de rayonnements ionisants des retombées de Tchernobyl. Par conséquent, la quantité et l'activité des différents groupes de lymphocytes et donc la production d'anticorps, y compris diverses immunoglobulines, les cellules souches et les plaquettes sanguines, sont modifiées. Les conséquences ultimes de la destruction du système immunitaire sont une immunodéficience et une augmentation de la fréquence et de la gravité des maladies aiguës et chroniques et des infections, comme cela a été fréquemment observé dans les territoires irradiés de Tchernobyl [Bortkevich *et al.*, 1996 ; Lenskaya *et al.*, 1999 ; et d'autres]. L'atteinte au système immunitaire à la suite de cette contamination radioactive est connue sous le nom de « SIDA de Tchernobyl ».

Sur la base de l'examen de quelque 150 publications scientifiques, la conclusion est que la dépression de la fonction du thymus joue le

rôle principal dans la pathologie post-irradiation du système immunitaire [Savyna et Khoptynskaya, 1995]. Quelques exemples d'effets néfastes de la contamination de Tchernobyl sur le système immunitaire ainsi que des données montrant l'ampleur des dégâts sur la santé des différentes populations sont décrits ci-après.

5.4.1. Belarus

1. Chez 3 200 enfants examinés de 1986 à 1999, il y a eu une importante diminution des lymphocytes B et par la suite des lymphocytes T, survenue dans les 45 premiers jours après la catastrophe. Au cours du premier mois et demi, le niveau d'immunoglobulines G (IgG) a nettement diminué et la concentration d'IgA, d'IgM et des complexes immuns circulants (CIC) a augmenté. Sept mois après la catastrophe, il y a eu une normalisation de la plupart des paramètres immunitaires, sauf pour les CIC et les IgM. De 1987 à 1995, l'immunosuppression est restée inchangée et le nombre de cellules T a diminué. Un total de $40,8 \pm 2,4\%$ des enfants des territoires contaminés avaient des niveaux élevés d'IgE, de facteur rhumatoïde, de CIC et des anticorps de thyroglobuline. C'était particulièrement notable chez les enfants des zones fortement contaminées. Les enfants présentaient également une augmentation des titres d'interféron sérique, du facteur de nécrose tumorale (TNF- α), des R-protéines et une diminution de l'activité du complément. De 1996 à 1999, on a observé des modifications du système cellulaire qui montraient une augmentation des lymphocytes CD3⁺ et CD4⁺ et une baisse significative des lymphocytes CD22 et HLA-DR. Les enfants de zones fortement contaminées par le Cs-137 avaient nettement plus d'éosinophiles, une concentration de la protéine éosinophile X dans l'urine et une concentration de la protéine cationique des éosinophiles dans le sérum [Tytov, 2000].

2. Il y avait une concentration croissante d'auto-anticorps de la thyroïde chez 19,5% des enfants « médicalement en bonne santé » et des adolescents vivant dans les districts de Khoïniki, province de Gomel. Les modifications de l'état immunitaire étaient plus graves et plus persistantes chez les enfants et les adolescents porteurs d'anticorps thyroïdiens auto-immuns vivant dans les territoires contaminés [Kuchinskaya, 2001].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

3. Un an après la catastrophe, le nombre de lymphocytes B et le niveau d'IgG du sérum ont commencé à augmenter chez les enfants des zones contaminées des provinces de Moguilev et de Gomel. Ces enfants avaient entre 2 et 6 ans au moment de la catastrophe [Galitskaya *et al.*, 1990].

4. Chez les enfants des territoires de la province de Moguilev, contaminés par le Cs-137 à des niveaux supérieurs à 5 Ci/km², on a trouvé une importante diminution de la stabilité de la membrane cellulaire et un affaiblissement de l'immunité [Voronkin *et al.*, 1995].

5. Le taux de lymphocytes T chez les enfants âgés de 7 à 14 ans au moment de la catastrophe était corrélé avec les intensités d'irradiation [Khmara *et al.*, 1993].

6. La formation d'anticorps et l'activité neutrophile étaient significativement plus faibles chez les nouveau-nés pendant la première année de leur vie dans les zones où les niveaux de Cs-137 dépassaient 5 Ci/km² [Petrova *et al.*, 1993].

7. L'immunité anti-tumorale chez les enfants et les personnes évacuées était bien moindre dans les territoires fortement contaminés [Nesterenko *et al.*, 1993].

8. Des changements périodiques dans l'immunité humorale et cellulaire ont été constatés chez des enfants sains de la colonie de Komarin, du district de Braguine, près de la zone des 30 km autour de Tchernobyl. En 1986, le taux d'interféron chez 40,8 ± 6,2% des enfants était nettement inférieur au taux de groupes témoins. La dépression accrue du système immunitaire impliquait une diminution de l'EAC-POK (lymphocytes B dans le sang), en particulier chez les enfants âgés de 4 à 6 ans, une baisse du niveau des lymphocytes T et un indice de suppression (IS) surtout pour les en-

fants âgés de 11 à 14 ans. En 1988, le taux des IgM et des CIC est resté élevé, tout comme celui des lymphocytes T et des cellules T auxiliaires. Les taux de cellules T suppressives ont nettement baissé, tandis que l'activité de l'interféron a augmenté. En 1993, il existait une normalisation d'un certain nombre de paramètres immunitaires, mais pour les enfants de 7 à 14 ans les lymphocytes T et les cellules T auxiliaires ont diminué [Kharytonik *et al.*, 1996].

9. Davantage d'enfants ont été atteints d'une allergie aux protéines du lait de vache dans des territoires plus lourdement contaminés par le Sr-90 que dans d'autres zones moins contaminées : 36,8 contre 15,0% [Bandajevsky *et al.*, 1995 ; Bandajevsky, 1999].

10. Parmi les 1 313 enfants examinés d'une zone contaminée par le Cs-137 à un niveau de 1-5 Ci/km², certains ont développé des problèmes du système immunitaire, incluant un abaissement de l'activité phagocytaire des neutrophiles, une réduction des IgA et des IgM et une augmentation de l'agglutination des globules rouges [Bandajevsky *et al.*, 1995].

11. Les modifications immunitaires chez les enfants de la province de Gomel dépendent du spectre de radionucléides : des niveaux identiques de rayonnement de Sr-90 et de Cs-137 ont eu des conséquences différentes [Evets *et al.*, 1993].

12. Parmi les enfants et les adultes, le niveau de la contamination radioactive dans une région était corrélé à l'expression de l'antigène APO-1/FAS [Mel'nikov *et al.*, 1998].

13. Il existe d'importantes différences concurrentes dans l'état immunitaire des enfants de territoires selon diverses charges de contamination par le Cs-137 (Tableau 5.30).

Tableau 5.30. État immunitaire des enfants des territoires contaminés du Belarus ayant des maladies fréquentes et prolongées [Gurmanchuk *et al.*, 1995]

District / niveau de radiation	Paramètres d'immunité
Pinsk, province de Brest, 1-5 Ci/km ² (n = 67)	Diminution du nombre de lymphocytes T, T supresseurs (enfants plus âgés), indice de suppression, T auxiliaires (tous groupes). Le niveau de CIC (complexes immuns circulants), IgM (tous groupes) et IgA (enfants jusqu'à 6 ans) augmente.
Braguine, province de Gomel, 40-80 Ci/km ² (n = 33)	Le nombre de lymphocytes T augmente (tous groupes), moins de lymphocytes T auxiliaires (enfants plus âgés), T supresseurs en augmentation (chez les enfants plus âgés).
Krasnopolie, province de Moguilev, jusqu'à 120 Ci/km ² (n = 57)	Tous les enfants ont une dépression immunitaire humorale, moins de lymphocytes B, des taux de CIC élevés, un complément suractivé et des taux plus bas d'activité phagocytaire d'IgG et d'IgA.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

14. Les niveaux d'immunoglobulines IgA, IgM, IgG et A (sA) dans le lait maternel étaient nettement plus faibles dans les zones contaminées. Les infections respiratoires virales aiguës (ARV), la bronchite aiguë, les infections aiguës des voies intestinales et l'anémie ont été considérablement plus élevées chez les bébés allaités au sein dans les zones contaminées [Zubovich *et al.*, 1998].

15. D'importants changements dans l'immunité cellulaire ont été prouvés chez 146 enfants et adolescents opérés pour un cancer de la thyroïde à Minsk. Ces modifications incluaient : une diminution du nombre de lymphocytes T (chez 30% des enfants et 39% des adolescents), une diminution du taux de lymphocytes B (42 et 68%), une diminution des lymphocytes T sensibles à la théophylline (58 et 67%), des titres élevés d'anticorps anti-thyroglobuline (ATG) et une leucocytose à neutrophiles chez 60% des enfants [Derzhitskaya *et al.*, 1997].

16. La quantité de lymphocytes D25⁺, ainsi que la concentration des anticorps IgE spécifiques du pollen de graminées et de bouleau, étaient fortement corrélées avec le niveau de contamination par le Cs-137 dans les territoires [Tytov, 2002].

17. Des changements dans l'immunité cellulaire et humorale ont été décelés chez des adultes en bonne santé vivant dans les territoires avec un niveau élevé de contamination [Soloshenko, 2002 ; Kyriľchik, 2000].

18. Les niveaux des immunoglobulines IgA, IgG et IgM avaient augmenté pendant la période *post-partum* de femmes des districts des provinces de Gomel et Moguilev contaminés par le CS-137 au-delà de 5 Ci/km² et la qualité immunologique de leur lait a diminué [Iskrytskyi, 1995]. La quantité d'immunoglobulines IgA, IgG et IgM et la sécrétion d'immunoglobulines A (sA) ont été réduites chez les femmes des territoires contaminés quand elles ont commencé à allaiter [Zubovich *et al.*, 1998].

19. Le nombre de lymphocytes T et B et l'activité phagocytaire des leucocytes neutrophiles étaient fortement réduits chez les adultes des zones contaminées [Bandajevsky, 1999].

20. Des changements significatifs dans tous les paramètres de l'immunité cellulaire (en l'absence de changement de l'immunité humorale) ont été constatés chez les enfants nés de liquidateurs en 1987 [Arynychin *et al.*, 1999].

21. Dix ans après la catastrophe, l'examen de 150 liquidateurs bélarusses a révélé une importante diminution du nombre de lymphocytes T, de cellules T suppressives et de T auxiliaires (Tableau 5.31).

Tableau 5.31. Nombre de lymphocytes T et B chez 150 liquidateurs hommes bélarusses en 1996 (par millionième de litre) [Bliznyuk, 1999]

	Liquidateurs	Groupes témoins
Lymphocytes T	723,5 ± 50,6	1 401,0 ± 107,4*
Lymphocytes B	215,7 ± 13,9	272,5 ± 37,3*

* Les différences sont significatives

22. Dans un groupe de 72 liquidateurs en 1986, les taux sériques des auto-anticorps contre les antigènes thyroïdiens (thyroglobuline et fraction microsomale des thyrocytes) avaient augmenté de 48%. L'augmentation des auto-anticorps avait été de 44% pour ceux contre l'antigène du cristallin, de 55% pour ceux contre les CIC (complexes immuns circulants) et de 60% pour ceux contre la thyroglobuline. Ces changements dans la fonction du système immunitaire annoncent des pathologies de la glande thyroïde et du cristallin de l'œil [Kyseleva *et al.*, 2000].

5.4.2. Ukraine

1. Dans la salive des enfants habitant dans les territoires les plus contaminés par des radionucléides (en comparaison de ce qu'on observe dans des territoires moins contaminés), on note des changements dans la teneur en immunoglobulines sécrétoires et sériques [Smolyar et Prichko, 1995].

2. Dans les 2 premières années après la catastrophe, un déficit immunitaire a été observé chez 43,5% des enfants irradiés *in utero* (contre 28,0% dans le groupe témoin, $p < 0,05$) [Stepanova, 1999].

3. Un total de 45,4% de 468 enfants et adolescents examinés avaient une amygdalite chronique, une hypertrophie des glandes adénoïdes et des amygdales et une augmentation de la fréquence des adénopathies du cou. Toutes ces pathologies s'exprimaient davantage dans les zones où les niveaux de contamination étaient plus élevés [Bozhko, 2004].

4. Les paramètres quantitatifs et fonctionnels de l'état immunitaire des enfants étaient corrélés avec le niveau de radioactivité naturelle dans les zones d'habitation permanente. Il

s'agissait notamment de facultés affaiblies de l'immunité cellulaire T et B, de la stimulation des cellules Th[2] et de l'augmentation des IgE, du nombre absolu et relatif de lymphocytes B et des taux d'immunoglobulines dans le sang et la salive [Kyrylchik, 2000].

5. L'état immunologique des enfants évacués au cours des deux premières années a été caractérisé par une diminution de l'immunité humorale et cellulaire. Ces paramètres ne se sont stabilisés que cinq ans plus tard [Romanenko *et al.*, 1995a, b].

6. Le nombre de lymphocytes T et B ($36 \pm 3,5\%$ et $24 \pm 1,4\%$), de T auxiliaires, l'indice d'immuno-régulation Tx:Tc ($2,4 \pm 0,19$ contre $1,9 \pm 0,14$) et les taux d'IgG ont été significativement plus élevés chez les patients à pyélonéphrite chronique vivant dans les zones contaminées des districts de Polésie et Ivankov de la province de Kiev [Vozianov *et al.*, 1996].

7. Chez les enfants des districts les plus radiocontaminés de la région de Jitomir, au cours de la première décennie après la catastrophe, on a enregistré une augmentation de l'incidence d'une présence subclinique d'anticorps ($3,1\%$ à $3,5\%$ contre $0,3\%$ à $0,9\%$ dans la population témoin) et d'une thyroïdite auto-immune manifeste ($2,4\%$ à $2,5\%$ contre $0,04\%$ à $0,09\%$ dans la population témoin) [Sorokoman, 1999].

8. Chez les enfants évacués (on a suivi 179 garçons et 189 filles de 7 à 15 ans), on a constaté une perturbation de l'immunité cellulaire, une baisse des lymphocytes T et B, un déficit en lymphocytes auxiliaires et suppresseurs, une hyperproduction d'immunoglobulines A, G, de complexes immuns circulants, la suppression de facteurs de défense non-spécifique [Tchefanova, 1996].

9. Le nombre de leucocytes du sang périphérique chez les évacués est resté nettement inférieur même 7 à 8 ans après la catastrophe [Baeva et Sokolenko, 1998].

10. Les influences des rayonnements internes et externes sur le caractère des réactions neuro-humorales sont très différentes : avec un rayonnement interne, il s'agit d'une évolution progressive des réactions auto-immunes, alors qu'avec un rayonnement externe, le développement est rapide [Lysyany et Ljubich, 2001].

11. Dix ans après la catastrophe, 45% de plus de 450 000 enfants vivant dans des territoires contaminés avaient un état immunitaire amoindri [TASS, 1998].

12. On a trouvé une importante déficience de l'immunité humorale et cellulaire, exprimée par une diminution du nombre de cellules T et B formatrices de rosettes, de T suppresseurs, des globulines IgA et IgG et une augmentation du rapport T auxiliaires/T suppresseurs dans les zones où les niveaux de radionucléides sont plus élevés [Soloshenko, 2002].

13. Six à huit ans après la catastrophe, l'immunité des liquidateurs de 1986-1987 était altérée, ce qui s'exprimait par une immunité humorale et cellulaire déprimée et une faible résistance à l'infection [Chumak et Bazyka, 1995].

14. Dix à quinze ans après la catastrophe beaucoup de liquidateurs présentaient des changements quantitatifs de leur immunité cellulaire et humorale et un état immunitaire altéré [Korobko *et al.*, 1996 ; Matveenko *et al.*, 1997 ; Potapnev *et al.*, 1998 ; Grebenjuk *et al.*, 1999 ; Gazheeva *et al.*, 2001 ; Malyuk et Bogdantsova, 2001 ; Tymoshevsky *et al.*, 2001 ; Shubik, 2002 ; Bazyka *et al.*, 2002 ; Novykova, 2003 ; Mel'nov *et al.*, 2003]. Ces changements se traduisaient par :

- des changements dans la proportion des sous-populations de lymphocytes T : T auxiliaires/T suppresseurs,
- une diminution du nombre général de lymphocytes T et B,
- une diminution du taux sérique des immunoglobulines IgA, IgG et IgM,
- une moindre production de cytokines,
- une activation des granulocytes neutrophiles.

15. Des changements pathologiques dans l'ultrastructure des neutrophiles, qui comprenaient une destruction du contenu de la cellule, une hypersegmentation des noyaux, des formes anormales polymorphes et des lymphocytes à segmentation accrue, des changements de contours de la membrane et une segmentation de la chromatine et des noyaux, ont été majoritairement constatés chez 400 liquidateurs examinés [Zak *et al.*, 1996].

16. Chez les enfants nés de parents exposés à des retombées radioactives de Tchernobyl pendant leur enfance, l'activité des neutrophiles est réduite et il apparaît un déficit immunitaire secondaire ; les fonctions mitochondriales se dégradent [Stepanova *et al.*, 2010].

5.4.3. Russie

1. Les enfants vivant dans les territoires fortement contaminés présentent une suppression de leur immunité générale et spécifique et un dysfonctionnement de leurs systèmes antioxydant et adrénosympathique [Terletskaia, 2003].

2. Une étude portant sur 144 enfants et adolescents du district de Krasnogorsk, province de Briansk, avec des niveaux de Cs-137 atteignant 101,6 Ci/km², montre une diminution du nombre relatif et absolu de cellules T (CD⁺), une augmentation du rapport d'immunorégulation (T4/T8), une diminution du nombre relatif de lymphocytes, de T auxiliaires (CD4⁺) et du nombre relatif et absolu de T suppresseurs (CD8⁺) [Luk'yanova et Lenskaya, 1996].

3. De 1987 à 1995, au cours d'une enquête auprès de 113 enfants du district de Krasnogorsk, dans la province de Briansk, les paramètres d'intensité de la réaction granulaire dans les lymphocytes ont atteint un sommet en 1991 puis sont redescendus près de leurs normes en 1992-1993 et ont augmenté à nouveau en 1994-1995. Le nombre d'enfants avec un nombre bas et critique de lymphocytes a également augmenté en 1994-1995. Il y avait des corrélations entre une réaction granulaire intensive chez les enfants et une irradiation interne supplémentaire de plus de 0,5 mSv par an [Luk'yanova et Lenskaya, 1996].

4. Dans les territoires du district de Krasnogorsk à contamination radioactive la plus forte, il y avait nettement moins d'activité de l'estérase non spécifique (un marqueur des cellules T immatures) et une importante augmentation du nombre de lymphocytes moyens à réaction granuleuse intensive [Lenskaya *et al.*, 1995].

5. Les enfants de 11 à 13 ans et les femmes enceintes vivant dans les districts de la province de Koursk avec des niveaux élevés de contamination présentaient des modifications fonctionnelles et quantitatives des lymphocytes et une augmentation significative des complexes immuns circulants [Alymov *et al.*, 2004].

6. En 2002, la fréquence d'apparition de l'affaiblissement de l'immunité et du métabolisme chez les enfants avait quintuplé dans les districts contaminés de la province de Toula, comparativement aux niveaux d'avant la catastrophe de Tchernobyl. Au cours de la même période, la morbidité non liée aux rayonnements est restée la même dans les territoires

propres et les territoires contaminés [Sokolov, 2003].

7. Dans les districts fortement contaminés de la province de Briansk, les enfants et les adolescents avaient un nombre relatif et absolu nettement réduit de cellules T, un nombre relatif significativement réduit de lymphocytes, de T auxiliaires (CD⁺) et de T suppresseurs (CD8⁺), ainsi qu'une élévation du rapport d'immunorégulation (T4 auxiliaires/T8 suppresseurs). Ce rapport était nettement corrélé à la dose *in utero* [Koulakov *et al.*, 1997].

8. Les niveaux absolus de toutes les populations de lymphocytes étaient plus faibles chez tous les enfants de liquidateurs examinés à 10-13 ans, montrant que ces enfants avaient une déficience absolue et relative de leur immunité cellulaire. Cliniquement, les infections prévalaient : fréquentes infections respiratoires virales aiguës (ARV), bronchites, pneumonies, otites et infections purulentes des muqueuses et de la peau. Pour d'autres, une mesure relative de l'immunité cellulaire a eu tendance à augmenter en raison d'une augmentation du nombre de cellules CD4⁺ et il s'est produit une diminution des sous-populations de cellules T ainsi qu'une augmentation de l'activité basophile. Le tableau clinique du second groupe comprenait des allergies, une sensibilité aux pollens, une bronchite asthmatiforme et des allergies alimentaires [Kholodova *et al.*, 2001].

9. Dans les territoires contaminés, le nombre des individus à réaction adaptative des lymphocytes est plus faible et le nombre de personnes à forte radiosensibilité des lymphocytes est plus élevé [Burlakova *et al.*, 1998].

10. Le nombre de grands lymphocytes granulocytaires (Cellules NK) a diminué de 60 à 80% chez les liquidateurs un mois après le début du travail dans la zone contaminée et s'est maintenu à un niveau faible pendant au moins un an [Antushevich et Legeza, 2002].

Trois à quatre ans plus tard, les liquidateurs présentaient des modifications persistantes de l'immunité du système des lymphocytes T avec une diminution des cellules T et T auxiliaires et une réduction du rapport auxiliaires/suppresseurs. Cette association a été observée à des degrés divers dans 80% de cas avec une maladie intestinale bactérienne. 5 ans, puis 13 à 15 ans plus tard, la plupart des paramètres de l'immunité cellulaire et humorale chez les liquidateurs ne différaient pas de la normale, bien qu'il y ait des changements dans l'immunité naturelle avec une diminution de l'activité de

la myéloperoxydase (MPO) dans les neutrophiles, une diminution marquée de la sous-population de lymphocytes actifs et une augmentation substantielle des formes érythrocytaires anormales [Antushevich et Legeza, 2002].

11. Dans les 7 à 9 ans après la catastrophe, les liquidateurs de la ville d'Obninsk, de la province de Kalouga, avaient une incidence plus élevée de maladies allergiques par rapport à la population locale : rhinites (de 6 à 17 fois) et urticaires (de 4 à 15 fois) [Tataurtchykova *et al.*, 1996].

12. Quatre ans après leur participation à des travaux d'urgence, les niveaux normaux de dermorphine n'étaient restaurés que chez 17% des liquidateurs examinés. Les niveaux de deux autres neuropeptides (leu- et méthionine-encéphaline) dépassaient les normes de plus de 50% chez les liquidateurs examinés [Sushkevich *et al.*, 1995].

13. Les liquidateurs à troubles neuropsychologiques ont développé une immunodéficience secondaire (lymphopénie T, déséquilibre des sous-populations de cellules T avec rapport T auxiliaires/T suppresseurs défectueux, etc.). Le nombre de T auxiliaires (CD4⁺) a diminué de 90% chez les liquidateurs examinés, dont 15% avaient un nombre extrêmement réduit de cellules T-suppressives circulantes. Dans ces groupes, la nature des modifications intervenues a contrarié l'évolution du rapport d'immunorégulation (CD4/CD8). Le niveau des CIC a augmenté chez tous les liquidateurs examinés. L'activité phagocytaire des neutrophiles du sang périphérique était plus faible chez 80% et l'activité des macrophages était plus faible chez 85% des liquidateurs examinés [Kut'ko *et al.*, 1996].

14. L'indice d'état immunitaire des liquidateurs était corrélé avec la dose de rayonnement calculée par le niveau des aberrations chromosomiques [Baleva *et al.*, 2001].

5.4.4. Conclusion

Les données de cette section montrent les puissants effets des retombées radioactives de Tchernobyl sur le système immunitaire et ses fonctions. Malgré les données fragmentaires, il est clair que l'échelle de l'impact est énorme. Apparemment, l'affaiblissement de l'immunité déclenché par des radionucléides de Tchernobyl a affecté l'ensemble des individus soumis à

un quelconque rayonnement supplémentaire, sans exception.

5.5. Maladies du système respiratoire

Il y a une augmentation marquée de la morbidité du système respiratoire partout dans les territoires contaminés par les retombées de Tchernobyl. Les maladies de l'appareil respiratoire, qui touchent la cavité nasale, la gorge, la trachée, les bronches et les poumons, ont été parmi les premières conséquences visibles de l'irradiation, allant de saignements de nez et de picotements dans la gorge au cancer des poumons. Les particules chaudes, ou la « poussière de Tchernobyl », sont constituées de particules contenant des radionucléides, issues du combustible nucléaire fondu avec des particules provenant de la structure métallique, du sol, etc. (voir [Partie I](#) pour plus de détails). Celles-ci persistent pendant de longues périodes dans les tissus pulmonaires en raison de la faible solubilité des oxydes d'uranium. Dans les premiers jours après la catastrophe, des problèmes respiratoires de la bouche, de la gorge et de la trachée chez l'adulte ont été essentiellement liés à la forme gazeuse en aérosol des radionucléides. Au cours de cette période initiale l'I-131, le Ru-106 et le Ce-144 ont eu l'impact le plus fort sur le système respiratoire [AIEA, 1992 ; Chuchalin *et al.*, 1998 ; Kut'kov *et al.*, 1993 ; Tereshenko *et al.*, 2004]. D'autres dommages du système respiratoire ont été provoqués par les particules chaudes et par l'irradiation externe et résultaient eux aussi des changements survenus dans les systèmes immunitaire et hormonal. Les plus petites particules chaudes, jusqu'à 5 µm, ont facilement accédé au plus profond des poumons, tandis que les particules les plus grosses étaient piégées dans les voies respiratoires supérieures [Khrushch *et al.*, 1988 ; Ivanov *et al.*, 1990 ; AIEA, 1994].

La morbidité broncho-pulmonaire a augmenté rapidement chez les liquidateurs dans les territoires contaminés [Kogan, 1998 ; Provotvorov et Romashov, 1997 ; Trakhtenberg et Chissov, 2001 ; Yakushin et Smirnova, 2002 ; Tseloval'nikov *et al.*, 2003 ; et d'autres]. Les liquidateurs, dont la santé a été surveillée avec plus d'attention que celle de la population en général, ont développé une pathologie pulmonaire restrictive prononcée en raison d'une diminution fonctionnelle de l'élasticité pulmonaire [Kuznetsova *et al.*, 2004]. Pendant de

nombreuses années, on a retrouvé de la poussière de Tchernobyl dans les bronches, les bronchioles et les alvéoles des liquidateurs. Le syndrome de « lésion aiguë des voies respiratoires supérieures par inhalation » se traduit par la combinaison d'une rhinite, d'un picotement de la gorge, d'une toux sèche et d'une difficulté à respirer [Chuchalin *et al.*, 1993 ; Kut'kov, 1998 ; Romanova, 1998 ; Chykyna *et al.*, 2001 ; et d'autres].

5.5.1. Belarus

1. L'incidence des maladies respiratoires aiguës des enfants des territoires contaminés nés de mères enceintes au moment de la catastrophe de Tchernobyl est deux fois plus élevée que celle des enfants nés dans des territoires non contaminés [Nesterenko, 1996].

2. La morbidité respiratoire chez les enfants nés au moment de la catastrophe dans les territoires contaminés à des niveaux de 15 à 40 Ci/km² était bien plus élevée que celle d'enfants du même âge des territoires contaminés de 5 à 15 Ci/km² [Kul'kova *et al.*, 1996].

3. Des maladies respiratoires permanentes ont été constatées jusqu'à l'âge d'un an chez 19% des enfants de liquidateurs, dont 10% avec une maladie des sécrétions mucoïdes. 60% des enfants plus âgés avaient des maladies respiratoires confirmées [Synyakova *et al.*, 1997].

4. Le nombre d'enfants hospitalisés pour asthme était plus élevé dans les territoires les plus contaminés et les pathologies chroniques du nasopharynx ont été observées deux fois plus souvent que chez les enfants des zones moins contaminées [Sitnykov *et al.*, 1993 ; Dzykovich *et al.*, 1994 ; Gudkovsky *et al.*, 1995].

5. Parmi 2 335 adolescents évacués, la morbidité respiratoire a été la troisième cause de morbidité globale constatée sur 10 ans après la catastrophe : 286 pour 1 000 [Syvolobova *et al.*, 1997].

6. Parmi 4 598 enfants âgés de 0 à 4 ans au moment de la fusion, des districts de Korma et Tchettersk, province de Gomel, contaminés à des niveaux de 15 à 40 Ci/km², la morbidité du système respiratoire était nettement plus élevée que chez les enfants des zones où les niveaux de contamination allaient de 5 à 15 Ci/km² [Blet'ko *et al.*, 1995 ; Kul'kova *et al.*, 1996].

7. Dans les 3 premières années après la catastrophe, les maladies respiratoires chez les

enfants de territoires contaminés à un niveau de 15 à 40 Ci/km² ont été 3,5 fois plus fréquentes que dans les territoires moins contaminés. De 1990 à 1993, les enfants de territoires fortement contaminés avaient 2,5 fois plus de maladies [Gudkovsky *et al.*, 1995].

8. La morbidité respiratoire chez les enfants du district de Louninets, de la province de Brest, a été de 72,9% de 1986 à 1988, de 54,1% de 1989 à 1991 et de 39,4% de 1992 à 1994. Parmi les maladies les plus fréquentes, on a noté les AVR, la bronchite et l'amygdalite chronique [Voronetsky *et al.*, 1995].

9. Parmi les personnes évacuées, la morbidité respiratoire en 1995 a été de 2 566 cas pour 10 000 par rapport à la moyenne de 1 660 du pays [Matsko, 1999].

5.5.2. Ukraine

1. Dans les premiers mois après la catastrophe, plus de 30% des enfants dans les territoires contaminés éprouvaient des difficultés respiratoires, définies comme un syndrome respiratoire [Stepanova *et al.*, 2003]. En 1986-1987, près de 10 000 enfants des territoires contaminés qui ont été examinés avaient des problèmes respiratoires : (a) 53,6% avaient une obstruction bronchique, principalement des petites bronches (groupe témoin, 18,9%), et (b) 69,1% avaient un bronchospasme latent (groupe témoin, 29,5%) [Stepanova *et al.*, 2003].

2. Une asphyxie (anoxie) a été observée chez la moitié de 345 nouveau-nés irradiés *in utero* en 1986-1987 [Zakrevsky *et al.*, 1993].

3. Les enfants plus âgés irradiés *in utero* avaient des pathologies du système respiratoire bien plus souvent que les groupes témoins : 26,0 contre 13,7% [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

4. En 1994, les pathologies du système respiratoire chez les enfants des territoires contaminés et parmi les personnes évacuées ont atteint 61,6% et, chez les adultes et adolescents, 35,6% [Grodzinsky, 1998].

5. En 1995, des maladies respiratoires chez les enfants des territoires fortement contaminés ont été signalées deux fois plus souvent que dans les zones moins contaminées [Baida et Zhirnosekova, 1998].

6. D'après un suivi de 415 enfants pendant les années 1993-1998 dans le district de Naroditchi de la région de Jitomir, à des endroits peuplés contaminés entre 29 et 879 kBq/m² par le césium-137, la capacité pulmonaire vitale et

l'état des voies respiratoires supérieures sont manifestement corrélés avec le niveau de radiocontamination [Svendsen *et al.*, 2010].

7. Selon le ministère ukrainien de la santé, la bronchite et l'emphysème chez les adolescents, les adultes et les personnes évacuées des territoires contaminés ont augmenté de 1,7 fois de 1990 à 2004 (316,4 et 528,5 pour 10 000), et l'asthme bronchique a plus que doublé (25,7 et 55,4 pour 10 000) [Rapport national d'Ukraine, 2006].

8. La bronchite chronique chez les liquidateurs a plus que doublé entre 1996 et 2004, passant de 84 à 181 cas pour 1 000 (Figure 5.7).

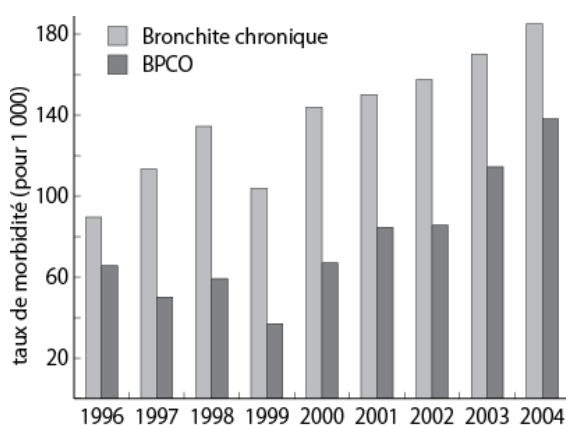


Figure 5.7. Morbidité due à la bronchite chronique et à la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) chez les liquidateurs ukrainiens de 1996 à 2004 [Sushko *et al.*, 2007]

9. Dans 80% des cas de maladies pulmonaires chroniques non spécifiques chez les liquidateurs, on a trouvé une atrophie de la muqueuse qui recouvre la trachée et les bronches ainsi qu'un aplatissement ciliaire et une métaplasie épithéliale [Romanenko *et al.*, 1995a].

10. Sur 873 liquidateurs hommes examinés 15 ans après la catastrophe, 84% avaient une atrophie de la membrane muqueuse, généralement accompagnée de déformations de l'arbre bronchique [Shvayko et Sushko, 2001 ; Tereshchenko *et al.*, 2004].

11. La bronchite chronique et l'asthme bronchique sont deux des principales causes de morbidité, d'invalidité et de mortalité chez les liquidateurs. La majorité des liquidateurs, pendant leur séjour en zone contaminée et immédiatement après, ont souffert d'une toux sèche compliquée par une respiration pénible. Le

développement ultérieur de la maladie a été caractérisé par une obstruction progressive et une dyspnée avec essoufflement et de la difficulté ou une douleur à la respiration. Par la suite, les symptômes de la broncho-pneumopathie chronique obstructive du poumon ont été observés : toux, expectoration et dyspnée, en combinaison avec des troubles obstructifs, restrictifs et mixtes de la ventilation [Tereshchenko *et al.*, 2003 ; Sushko et Shvayko, 2003a].

12. De 1988 à 2006, l'observation clinique de 2 476 liquidateurs hommes âgés de $36,7 \pm 8,5$ ans a révélé une maladie pulmonaire obstructive chronique et de la bronchite chez 79% d'entre eux, des bronchites chroniques non obstructives chez 13% et de l'asthme chez 8% [Tereshchenko *et al.*, 2004 ; Dzyublik *et al.*, 1991 ; Sushko, 1998, 2000]. La fréquence de la maladie obstructive et de la bronchite a presque quadruplé dans la deuxième décennie après la catastrophe (Figure 5.8).

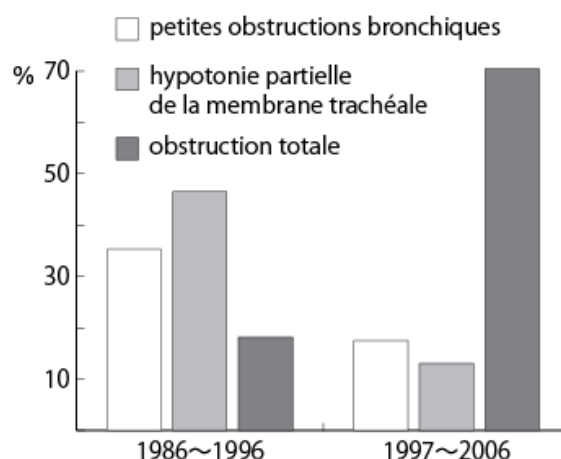


Figure 5.8. Maladies broncho-pulmonaires chez les liquidateurs ukrainiens hommes sur une période de 20 ans [Tereshchenko *et al.*, 2004 ; Sushko et Shvayko, 2003a, b]

13. Près de 84% de 873 liquidateurs suivis médicalement avaient un amincissement de la muqueuse trachéo-bronchique et une atrophie vasculaire, 12% présentaient des modifications inverses dans la pathologie bronchique fibroscopique, incluant une hyperplasie, qui consistait en un épaississement de la muqueuse et un rétrécissement des bronches primaires et secondaires ; 4% avaient les deux types de pathologie : atrophique proximale et hyperplasique distale. Dans 80% des groupes examinés, les changements muco-scléreux de la muqueuse

bronchique étaient accompagnés d'une déformation de l'arbre trachéo-bronchique. La prévalence des changements muco-scléreux était corrélée avec une atrophie endo-bronchique. Des modifications scléreuses isolées de la muqueuse bronchique ont été signalées dans 16% des cas et des changements muqueux dans 4% [Tereshchenko *et al.*, 2004].

14. Des années après la catastrophe, on a constaté chez trois liquidateurs des modifications scléreuses de la muqueuse pulmonaire et des déformations bronchiques [Sushko *et al.*, 2007].

5.5.3. Russie

1. Une dysplasie broncho-pulmonaire a été observée chez des nouveau-nés prématurés de la ville de Novozybkov, de la province de Briansk, et une dysplasie pulmonaire fœtale était plus fréquente en 1992-1993 que dans les groupes témoins et par rapport au nombre de cas observés en 1995 [Romanova *et al.*, 2004].

2. L'incidence de l'anoxie et des complications respiratoires chez les nouveau-nés était corrélée avec le niveau de contamination sur le territoire [Koulakov *et al.*, 1997].

3. Des troubles respiratoires non infectieux chez les nouveau-nés de mères des territoires contaminés ont été constatés 9,6 fois plus souvent qu'avant la catastrophe. Voici les zones où furent menées les recherches et leurs niveaux respectifs de contamination : le district de Polésie, province de Kiev (20-60 Ci/km²) ; le district de Tchetchersk, province de Gomel (5-70 Ci/km²) ; les districts de Mtsensk (1-5 Ci/km²) et de Bolkhov (10-15 Ci/km²), province d'Orel [Koulakov *et al.*, 1997].

4. Les enfants des territoires contaminés ont actuellement plus d'asthme bronchique et plus de bronchite chronique en raison de modifications structurelles irréversibles du poumon. Dans les territoires contaminés, il y a une augmentation marquée des cas de pathologies broncho-pulmonaires aiguës et chroniques, qui s'expriment par de l'asthme bronchique et de la bronchite chronique. Au cours de la première année après la catastrophe, les maladies broncho-pulmonaires s'accompagnèrent de changements immunologiques modérés et de dommages fonctionnels latents ; 10 à 15 ans plus tard, cela a abouti à des pneumonies et des lésions pulmonaires [Terletskaia, 2002, 2003].

5. De 9 à 12 ans après la catastrophe, la morbidité respiratoire globale des enfants était

beaucoup plus élevée dans les districts fortement contaminés de la province de Briansk que dans le reste de la province et dans toute la Russie (Tableau 5.32).

Tableau 5.32. Morbidité respiratoire chez les enfants des districts de la province de Briansk contaminés à un niveau supérieur à 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	781,5	897,5	1 080,5	1 281,6
Novozybkov	1 435,3	1 750,0	2 006,0	1 743,9
Klintsy	303,4	342,9	481,3	728,5
Krasnogorsk	936,0	927,3	1 001,3	771,0
Zlynka	1 510,4	1 072,0	1 267,6	1 582,6
Sud-ouest*	1 288,7	1 023,8	1 426,2	1 398,3
Province	855,1	774,8	936,6	918,7
Russie	767,2	715,1	790,9	n/a

* Tous les districts contaminés

6. Pour les adultes dans les territoires les plus contaminés de la province de Briansk, la morbidité respiratoire globale est très inférieure à celle des enfants, mais la même tendance à l'augmentation a été observée de 1995 à 1998, sauf dans un district (Tableau 5.33).

Tableau 5.33. Morbidité respiratoire chez la population adulte des zones contaminées à un niveau supérieur à 5 Ci/km² de la province de Briansk de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999a : tableau 5.1]

Territoire				
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	195,9	211,9	259,6	326,3
Novozybkov	302,3	288,9	238,0	233,1
Klintsy	142,5	126,2	336,8	474,5
Krasnogorsk	196,6	163,6	182,0	183,4
Zlynka	192,0	230,8	298,0	309,1
Gordeyevka	134,0	167,6	192,0	237,0
Sud-ouest	209,2	194,5	237,6	242,2
Province	197,4	168,3	199,2	192,6
Russie	213,6	196,6	219,2	n/a

7. La majorité des liquidateurs russes examinés, exposés aux radiations en 1986-1987, ont développé une altération progressive de la fonction pulmonaire [Chykyna *et al.*, 2002]. L'incidence de cette anomalie respiratoire n'a cessé d'augmenter pendant les 8 premières années après la catastrophe (Tableau 5.34).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.34. Morbidité respiratoire chez les liquidateurs russes (pour 10 000) au cours des 8 premières années après la catastrophe [Baleva et al., 2001]

Années	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Morbidité	645	1 770	3 730	5 630	6 390	6 950	7 010	7 110

8. Un groupe de 440 liquidateurs porteurs d'une pathologie broncho-pulmonaire chronique a été examiné à l'Institut de pneumologie de Moscou. Des radionucléides ont été trouvés dans leur système pulmonaire 6 à 10 ans après la catastrophe. Les irradiations externe et interne combinées des radionucléides se sont traduites par une nouvelle forme de syndrome de maladie pulmonaire obstructive chronique [Chuchalin et al., 1998].

9. La persistance prolongée de particules radioactives est associée à l'apparition d'anomalies moléculaires liées au cancer dans l'épithélium bronchique des premiers travailleurs chargés du nettoyage de Tchernobyl. Il s'agit notamment de : mutation K-ras (codon 12) ; hyperméthylation du promoteur de p16 (INK4A) ; altérations microsatellites à sept régions chromosomiques ; et perte allélique de 3p12, 3p14.2 (FHIT), 3p21, 3p22-24 (hMLH1) et 9p21 (p16INK4a). L'incidence de la perte allélique de la 3p14.2 a été associée à l'expression amoindrie de l'ARNm du gène FHIT dans l'épithélium des bronches par rapport à un groupe témoin de fumeurs [Chuchalin, 2002 ; Chizhykov et Chizhykov, 2002].

10. La fréquence des maladies broncho-pulmonaires chroniques chez les liquidateurs a nettement augmenté au cours des 15 premières années après la catastrophe et a même décuplé pour certaines maladies. Les maladies se sont développées plus rapidement et ont été plus graves [Tseloval'nykova et al., 2003].

5.5.4. Conclusion

Les maladies du système respiratoire supérieur (rhino-pharynx et bronches) ont été les premières conséquences des rayonnements de Tchernobyl pour la population en général et pour les liquidateurs dans les premiers jours et semaines après la catastrophe. En quelques années, l'incidence des maladies broncho-pulmonaires a diminué, mais leur gravité a augmenté, reflétant une détérioration importante des systèmes immunitaire et hormonal. Quelque 10 à 15 ans plus tard, la morbidité respiratoire au Belarus, en Ukraine et en Rus-

sie est restée bien plus élevée dans les territoires contaminés.

Pour les enfants des « hibakushas » japonais (victimes des bombes) qui n'ont pas été irradiés directement, l'incidence des maladies du système respiratoire était plus élevée que celle des groupes témoins quelques décennies après les bombardements [Furitsu et al., 1992]. Si une telle augmentation est observée après une seule irradiation de courte durée, on peut logiquement supposer que l'irradiation liée à Tchernobyl entraînera une augmentation des maladies du système respiratoire au cours des prochaines générations.

5.6. Maladies de l'appareil urogénital et troubles de la reproduction

L'irradiation endommage directement les reins, la vessie et les voies urinaires, de même que les ovaires et les testicules, qui non seulement sont directement exposés aux effets des radiations, mais encore sont indirectement touchés par l'intermédiaire d'une perturbation hormonale. Ces troubles de structure et de fonction portent atteinte au processus de reproduction.

Bien qu'il y ait eu des études sur les modifications fonctionnelles de l'appareil urogénital en tant que conséquence de la radioactivité de Tchernobyl, il n'y a toujours pas suffisamment d'informations pour expliquer l'ensemble des changements importants. On ne s'attendait pas, par exemple, à trouver des taux accrus d'hormones mâles chez les femmes à la suite de l'incorporation de radionucléides [pour une étude voir Bandajevsky, 1999] ni à observer les effets contraires de divers radionucléides sur le rythme du développement sexuel [Paramonova et Nedvetskaya, 1993].

5.6.1. Belarus

1. De 1993 à 2003, les filles de 10 à 14 ans nées de parents irradiés ont subi un retard important de leur développement sexuel [Rapport national du Belarus, 2006].

2. Jusqu'en 2 000, les enfants nés après la catastrophe dans les territoires fortement con-

taminés avaient plus d'anomalies des organes de la reproduction que ceux qui étaient nés dans des zones moins contaminées : cinq fois plus pour les filles et trois fois plus pour les garçons [Nesterenko *et al.*, 1993].

3. Dans les territoires fortement contaminés par Tchernobyl, un nombre accru d'enfants présentent des troubles du développement physique et sexuel liés à un dysfonctionnement hormonal affectant le cortisol, la thyroxine, et la progestérone [Sharapov, 2001 ; Reuters, 2000b].

4. Le développement anormal des organes génitaux et le retard dans le développement sexuel étaient en corrélation avec les niveaux de contamination radioactive dans le district de Tchettersk, de la province de Gomel (5-70 Ci/km²) [Koulakov *et al.*, 1997].

5. Sur 1 026 046 femmes enceintes examinées, le niveau des maladies de l'appareil urogénital était nettement plus élevé dans les territoires les plus contaminés [Busuet *et al.*, 2002].

6. De 1991 à 2001, l'incidence des maladies gynécologiques chez les femmes fécondes des territoires contaminés a considérablement augmenté, de même que le nombre de complications pendant la grossesse et à la naissance [Belookaya *et al.*, 2002].

7. L'augmentation de la morbidité gynécologique (y compris l'anémie pendant la grossesse et l'anémie après l'accouchement) et des anomalies de naissance étaient corrélées avec le niveau de contamination radioactive dans le district de Tchettersk, de la province de Gomel (5-70 Ci/km²) [Koulakov *et al.*, 1997].

8. Dans les territoires contaminés, les grossesses avortées et les avortements médicaux ont augmenté [Golovko et Izhevsky, 1996].

9. Peu de temps après la catastrophe, la majorité des femmes fertiles des territoires contaminés ont développé des troubles menstruels [Nesterenko *et al.*, 1993]. La fréquence des problèmes gynécologiques et le retard dans l'apparition des premières règles étaient corrélés avec les niveaux de contamination radioactive des lieux [Koulakov *et al.*, 1997].

10. Les anomalies de la fonction menstruelle chez les femmes non enceintes dans les zones à contamination de 1 à 5 Ci/km² (ville de Gomel) étaient liées à une dégénérescence kystique de l'ovaire et à une augmentation de la prolifération de l'endomètre. La taille de l'ovaire était corrélée avec la concentration de testostérone dans le sérum sanguin [Yagovdik, 1998].

11. L'incidence de l'endométriose a augmenté de près de 2,5 fois dans les villes de Gomel, Moguilev et Vitebsk de 1981 à 1995 (traitement chirurgical pour 1 254 femmes), la maladie s'est manifestée le plus souvent dans les 5 premières années après la catastrophe. Parmi les femmes qui ont développé une endométriose, celles des zones les plus contaminées étaient de 4 à 5 ans plus jeunes que celles des zones moins contaminées [Al-Shubul et Suprun, 2000].

12. Les cas de stérilité primaire dans les zones contaminées ont augmenté de 5,5 fois en 1991 par rapport à 1986. Parmi les raisons irréfutables de stérilité, il y a les pathologies du sperme, qui ont augmenté de 6,6 fois ; l'incidence des ovaires poly-kystiques qui a doublé et un triplement des troubles endocriniens [Shilko *et al.*, 1993].

13. L'impuissance chez les hommes jeunes (âgés de 25 à 30 ans) était corrélée avec le niveau de contamination du territoire [Shilko *et al.*, 1993].

« (...) Les médecins se souviennent : « Dans un village, nous avons trouvé douze personnes âgées présentant une galactorrhée*, c'est à dire des femmes de 70 ans qui avaient du lait dans leurs seins, comme si elles étaient allaitantes. Les experts peuvent discuter des effets des faibles doses de rayonnement, mais une personne normale ne peut même pas commencer à imaginer une telle chose (...) » [Aleksievich, 1997].

* La lactation en l'absence de grossesse (appelée galactorrhée ou hyperprolactinémie) est une manifestation du dysfonctionnement de la glande pituitaire.

5.6.2. Ukraine

1. Les maladies urogénitales ont augmenté chez les enfants dans les territoires contaminés : de 0,8 pour 1 000 en 1987 à 22,8 pour 1 000 en 2004 [Horishna, 2005].

2. De 1988 à 1999 l'incidence des maladies urogénitales dans la population des territoires contaminés a plus que doublé [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

3. Le niveau de radionucléides à rayonnement alpha est nettement plus élevé dans les tissus osseux de fœtus avortés des mères vivant dans les territoires contaminés [Luk'yanova, 2003].

4. Les filles ont un retard pubertaire dans les territoires contaminés [Vovk et Mysurgyna, 1994]. La maturité sexuelle a été retardée chez 11% d'un groupe de 1 017 adolescentes de territoires contaminés [Lukyanova, 2003].

5. Dans les territoires contaminés par le Sr-90 et le Pu, la puberté a été retardée de 2 ans chez les garçons et de 1 an chez les filles. Une accélération du développement sexuel a été observée dans les territoires contaminés par le Cs-137 [Paramonova et Nedvetskaya, 1993].

6. Le développement anormal des organes génitaux et le retard dans le développement sexuel dans le district de Polésie, de la province de Kiev, étaient en corrélation avec le niveau de contamination radioactive (20-60 Ci/km²) [Koulakov *et al.*, 1997].

7. Dans les territoires les plus contaminés de la région de Jitomir, la période de la puberté commence plus tard et les adolescentes parviennent plus tardivement à leur maturité sexuelle [Sorokoman, 1999].

8. Parmi 1 017 fillettes et adolescentes (âgées de 8 à 18 ans), enfants de personnes évacuées, qui ont été examinées après la catastrophe, 11% avaient un retard du développement sexuel (sous-développement des caractères sexuels secondaires, hypoplasie de l'utérus et premières règles tardives) et 14% avaient des troubles de la fonction menstruelle [Vovk, 1995].

9. Pour avoir été irradiées alors qu'elles étaient adolescentes en 1986, des femmes ont eu nettement plus de problèmes au cours de l'accouchement (Tableau 5.35).

Tableau 5.35. Données concernant les femmes enceintes irradiées pendant leur enfance en 1986 dans les territoires contaminés [Nyagy, 2006]

	Irradiées	Groupe témoin
Accouchement normal	25,8%	63,3%
Hypogalactie	33,8%	12,5%
Hypocalcémie	74,2%	12,5%

10. Les nouveau-nés de femmes irradiées alors qu'elles étaient adolescentes en 1986 présentent jusqu'à deux fois plus d'anomalies physiques [Nyagy, 2006].

11. Une étude de 16 000 femmes enceintes dans les territoires contaminés sur une période de 8 ans après la catastrophe a révélé ce qui suit : la morbidité rénale a augmenté de 12 à 51% ; les oligohydramnios ont augmenté de 48% ; les insuffisances respiratoires des nouveau-nés ont augmenté de 2,8 fois ; le nombre d'accouchements prématurés a doublé et un vieillissement prématuré du placenta est apparu à 30-32 semaines de gestation [Dachkevitch *et al.*, 1995].

12. L'augmentation de la morbidité gynécologique (dont l'anémie pendant et après la grossesse) et les anomalies à la naissance dans le district de Polésie, de la province de Kiev, étaient en corrélation avec le niveau de contamination radioactive (20-60 Ci/km²) [Koulakov *et al.*, 1997].

13. Une puberté plus précoce et prolongée et des anomalies des caractères sexuels secondaires ont été trouvées chez les filles nées de pères liquidateurs [Teretchenko, 2004].

14. La présence de pyélonéphrite chronique, de calculs rénaux et de maladies des voies urinaires chez les adolescents était en corrélation avec le niveau de contamination des territoires [Karpenko *et al.*, 2003].

15. Dans les territoires contaminés, l'incidence des troubles génitaux féminins, dont les kystes ovariens et les fibromes utérins, a nettement augmenté pendant 5-6 ans après la catastrophe [Gorptchenko *et al.*, 1995].

16. Des troubles du cycle menstruel sont couramment diagnostiqués dans les territoires contaminés [Babich et Lypchanskaya, 1994]. Le nombre de troubles du cycle menstruel dans les territoires contaminés a triplé par rapport à la période antérieure à la catastrophe. Dans les premières années après la catastrophe, les menstruations étaient plus abondantes ; au bout de 5 à 6 ans, elles ont diminué ou se sont arrêtées [Gorptychenko *et al.*, 1995]. Parmi 1 017 filles examinées, qui avaient été exposées à l'irradiation, 14% avaient des menstruations altérées [Luk'yanova, 2003 ; Dachkevitch et Janyuta, 1997].

17. Des changements dystrophiques et dégénératifs du placenta chez les femmes liquidatrices et chez d'autres femmes vivant dans les territoires contaminés étaient corrélés avec le niveau de Cs-137 incorporé dans le placenta. Ces changements incluaient une épaisseur inégale du placenta, la présence de cicatrices fibreuses, des kystes, des calcifications et des fibroblastes indifférenciés et sous-développés

dans les villosités stromales terminales, qui ont abouti à la réduction du poids des nouveau-nés [Luk'yanova, 2003 ; Luk'yanova *et al.*, 2005 ; Ivanyuta et Dubchak, 2000 ; Zadorozhnaya *et al.*, 1993].

18. L'interruption spontanée de grossesse, la grossesse tardive, la naissance prématurée et d'autres pathologies de la grossesse ont été observées bien plus souvent, 8 à 10 ans après la catastrophe, chez les personnes évacuées et dans les territoires contaminés [Grodzinsky, 1999 ; Golubchikov *et al.*, 2002 ; Kyra *et al.*, 2003].

19. Pendant 8 à 9 ans après la catastrophe, les cas de troubles du cycle menstruel ont nettement augmenté chez les femmes liquidatrices. 84% des jeunes femmes (âge moyen 30,5 ans en 1986-1987) ont développé un syndrome hypermenstruel dans les 2 à 5 ans après avoir été exposées aux radiations (41,2% avaient un fibrome utérin, 19% une fibroadénomatose mammaire et 16% une oligoménorrhée accompagnée d'hyperprolactinémie persistante [Bezhenar *et al.*, 1999].

20. Les femmes liquidatrices en âge de péri-ménopause lors de la catastrophe ont connu un début de ménopause précoce ($46,1 \pm 0,9$ ans) et environ 75% avaient un syndrome climatérique et une libido en baisse [Bezhenar *et al.*, 2000].

21. 54,1% de femmes enceintes des territoires contaminés avaient une pré-éclampsie, de l'anémie et une détérioration du placenta (10,3% pour les groupes de contrôle) ; 78,2% avaient des complications à l'accouchement et des hémorragies (2,2 fois plus que les groupes témoins) [Luk'yanova, 2003 ; Sergienko, 1997, 1998].

22. Des fausses couches se sont produites particulièrement souvent dans les territoires fortement contaminés de la province de Kiev [Gerasymova et Romanenko, 2002]. Les risques d'avortement spontané sont plus élevés dans les territoires contaminés [Lipchak *et al.*, 2003].

23. Dans les zones fortement contaminées, les femmes ont des fausses couches plus fréquentes, des complications de la grossesse, une anémie aplastique et des accouchements prématurés [Horishna, 2005].

24. Chez quelque 96% des personnes atteintes d'adénome prostatique dans les territoires contaminés, on a constaté des changements précancéreux dans l'urothélium vésical [Romanenko *et al.*, 1999].

25. Parmi les 250 couples mariés de liquidateurs observés dans la ville de Donetsk, $59 \pm 5\%$ ont connu une dysfonction sexuelle provoquée par l'irradiation et $19 \pm 3\%$ par la radiophobie. Dans une autre étude, 41% de 467 liquidateurs hommes (âgés de 21 à 45 ans) présentaient des anomalies sexuelles : diminution de la fonction androgénique testiculaire et augmentation des taux d'œstrogènes et d'hormone folliculo-stimulante [Bero, 1999].

26. Pendant 7 à 8 ans après la catastrophe, environ 30% des liquidateurs ont eu des troubles sexuels fonctionnels et des anomalies du sperme [Romanenko *et al.*, 1995b].

27. Sur 12 hommes ayant une dermatite due à l'irradiation chronique par les rayons bêta et gamma pendant et après la catastrophe de Tchernobyl, deux avaient un dysfonctionnement érectile et les autres signalaient des troubles divers de la fonction sexuelle. L'un d'eux avait une aspermie, deux autres avaient une azoospermie, un autre une oligospermie et quatre autres avaient un nombre normal de spermatozoïdes. Dans trois échantillons, on a trouvé une augmentation de formes anormales de spermatozoïdes et, dans trois autres, la mobilité des spermatozoïdes avait diminué [Byryukov *et al.*, 1993].

28. Chez 42% des liquidateurs examinés, le nombre de spermatozoïdes a diminué de 53%, la proportion de spermatozoïdes mobiles a été plus faible (35-40% contre 70-75% chez les groupes témoins) et le nombre de spermatozoïdes morts a augmenté jusqu'à 70% contre 25% dans les groupes témoins [Gorptchenko *et al.*, 1995].

29. De 1988 à 2003, la morbidité urogénitale chez les liquidateurs hommes ayant travaillé en 1986-1987 a été multipliée par 10 : 9,8 pour 1 000 en 1988, 77,4 pour 1 000 en 1999 et 98,4 pour 1 000 en 2003 [Baloga, 2006].

5.6.3. Russie

1. L'altération des fonctions génitales et le retard de développement sexuel étaient corrélés avec le niveau de contamination radioactive dans les districts de Mtsensk ($1-5 \text{ Ci/km}^2$) et Bolkhov ($10-15 \text{ Ci/km}^2$) de la province d'Orel [Koulakov *et al.*, 1997].

2. L'augmentation de la morbidité gynécologique (y compris l'anémie pendant la grossesse et post-natale et la délivrance anormale) était corrélée avec le niveau de contamination

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

radioactive dans les districts de Mtsensk (1-5 Ci/km²) et Bolkhov (10-15 Ci/km²) de la province d'Orel [Koulakov *et al.*, 1997].

3. Globalement, de 1995 à 1998, la morbidité urogénitale chez les enfants était plus élevée dans la majorité des districts contaminés de la province de Briansk que dans l'ensemble de la province (Tableau 5.36).

Tableau 5.36. Morbidité urogénitale (pour 1 000) chez les enfants des districts de la province de Briansk irradiés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	34,5	48,7	51,6	79,3
Novozybkov	40,2	43,3	44,8	60,1
Klintsy	8,0	10,8	11,2	10,8
Ville de Klintsy	22,4	24,3	34,6	34,1
Krasnogorsk	56,7	51,4	44,2	26,0
Zlynka	66,8	38,7	44,8	46,2
Sud-ouest*	30,1	33,5	36,7	41,6
Province	22,4	25,8	26,8	29,2

* Tous les districts fortement contaminés

4. De 1995 à 1998, la morbidité urogénitale totale chez les adultes de la province de Briansk avait augmenté de façon notable dans toutes les zones contaminées, sauf une (Tableau 5.37).

Tableau 5.37. Morbidité urogénitale (pour 1 000) chez les adultes des districts de la province de Briansk irradiés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999a : tableau 5.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	72,1	71,4	64,1	60,1
Novozybkov	68,1	70,2	72,1	81,3
Klintsy	27,3	53,8	53,0	91,3
Ville de Klintsy	45,5	76,1	75,2	79,2
Krasnogorsk	78,7	82,7	95,9	114,2
Zlynka	44,8	75,7	78,7	78,7
Gordeyevka	52,3	67,8	72,9	80,2
Sud-ouest*	54,9	88,7	78,4	75,9
Province	60,4	60,4	60,7	57,1

* Tous les districts fortement contaminés

5. La morbidité urogénitale chez les femmes dans certains des territoires fortement contaminés des provinces de Briansk et de Toula était en corrélation avec les niveaux de contamination (Tableau 5.38).

Tableau 5.38. Fréquence des maladies du système reproductif et des pathologies précancéreuses chez les femmes de certains territoires des provinces de Toula et Briansk contaminés par le Cs-137 [Tsyb *et al.*, 2006b]

	Pathologies précancéreuses, %*	Toutes maladies, %
District de Klintsy (n = 1 200) 322 kBq/m ²	21,1	58,2
Ville de Novozybkov (n = 1 000) 708 kBq/m ²	19,6	66,6
Ville d'Uzlovaya (n = 1 000) 171 kBq/m ²	1,8	51,2

* Leucoplasies, dysplasies, polypes, etc.

6. La fréquence d'avortements spontanés (fausses couches) dans des familles de liquidateurs (1986-1987) de la province de Riazan a été nettement plus grande pendant les 7 premières années suivant la catastrophe (Figure 5.9) et quatre fois plus élevée ($18,4 \pm 2,2\%$) que dans l'ensemble de la population ($4,6 \pm 1,2\%$) [Lyaginskaya *et al.* 2007].

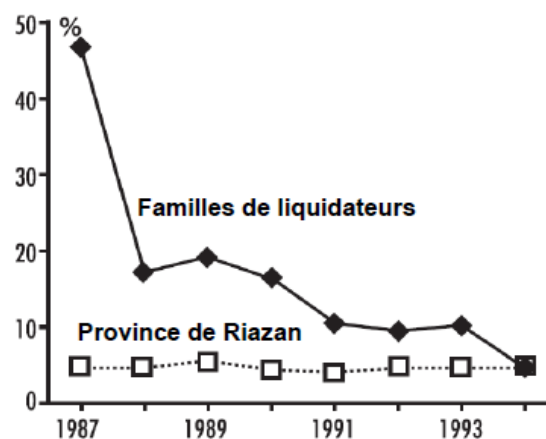


Figure 5.9. Incidence (%) d'avortements spontanés chez les familles de liquidateurs et dans la province de Riazan de 1987 à 1994 [Lyaginskaya *et al.*, 2007]

7. 18% de toutes les grossesses enregistrées parmi les familles des liquidateurs se sont terminées par des fausses couches [Lyaginskaya *et al.*, 2007].

8. Les liquidateurs de 1986 de la province de Riazan et d'autres membres du personnel de l'industrie nucléaire ont traversé une longue période de stérilité, qui n'a été révélée que tout récemment [Lyaginskaya *et al.*, 2007].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.39. Dynamique de la morbidité urogénitale chez les liquidateurs (pour 10 000) de 1986 à 1993 [Baleva *et al.*, 2001]

Années	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Nombre de cas	34	112	253	424	646	903	1 180	1 410

9. Quatre ans après la catastrophe, jusqu'à 15% des liquidateurs (parmi 94 examinés) avaient beaucoup plus de spermatozoïdes morts, une mobilité plus faible des spermatozoïdes et une augmentation de la phosphatase acide dans l'éjaculat par rapport à d'autres hommes du même âge [Ukhal *et al.*, 1991].

10. La virilité des liquidateurs a été nettement plus faible au cours de l'année qui a suivi la catastrophe : jusqu'à 42% des tests spermatisques ne répondaient pas aux normes quantitatives et jusqu'à 52,6% ne répondaient pas aux normes qualitatives [Mikulinsky *et al.*, 2002 ; Stepanova et Skvarkaya, 2002].

11. Des modifications morpho-pathologiques sont apparues dans les tissus testiculaires des liquidateurs de la province de Krasnodar et des orchites auto-immunes affectant la spermatogenèse ont eu lieu peu après l'irradiation. Une infiltration lymphoïde s'est développée dans les tubules séminifères 5 ans après la catastrophe et 10 à 15 ans plus tard dans le tissu interstitiel.

12. L'activité sexuelle était faible chez la moitié des liquidateurs hommes examinés [Dubivko et Karatay, 2001].

13. L'incidence des maladies urogénitales chez les liquidateurs hommes est passée de 1,8 à 4% de 1991 à 1998 [Byryukov *et al.*, 2001].

14. L'examen de cinquante liquidateurs a révélé des nombres de spermatozoïdes nettement inférieurs aux normes [Tsyb *et al.*, 2002].

15. La morbidité urogénitale des liquidateurs a augmenté de plus de 40 fois de 1986 à 1993 (Tableau 5.39).

16. Un tiers de 116 liquidateurs examinés avaient des troubles sexuels [Evdokymov *et al.*, 2001].

17. Un total de 21% des liquidateurs suivis avaient des spermatozoïdes à mobilité réduite avec des modifications morphologiques. Le sperme de certains liquidateurs contenait 6 à 8% de cellules immatures (la norme est de 1-2%) [Evdokymov *et al.*, 2001].

18. Le taux de spermatozoïdes anormaux chez les liquidateurs était corrélé avec le niveau d'aberrations chromosomiques [Kondrusev, 1989 ; Vozylova *et al.*, 1997 ; Domrachova *et al.*, 1997].

19. Des liquidateurs du secteur de Krasnodar (qui ont reçu des doses plus fortes) ont développé des orchites auto-immunes (inflammation des testicules) et des modifications pathologiques des tissus testiculaires (infiltration lymphoïde et sclérose jusqu'à 50% des tubules séminifères, fibrose des tissus interstitiels, etc.) [Cheburakov *et al.*, 2004].

5.6.4. Autres pays

1. ARMÉNIE. 10 ans après la catastrophe, la majorité des liquidateurs suivis avaient des troubles de la spermatogenèse [Oganesyan *et al.*, 2002]. Chez 80 enfants de liquidateurs examinés, on a constaté une augmentation des cas de pyélonéphrite [Hovhannisyan et Asryan, 2003].

2. BULGARIE. Suite à l'accident de la centrale nucléaire de Tchernobyl, une augmentation de la toxémie maternelle a été associée à l'augmentation de l'irradiation [Tabacova, 1997].

3. RÉPUBLIQUE TCHÈQUE. Le nombre de garçons nés chaque mois en Bohême et en Moravie, les territoires de la République Tchèque qui ont le plus souffert des retombées de Tchernobyl, a changé une seule fois au cours de 600 mois d'observation (1950-1999). En novembre 1986, on a enregistré 457 naissances de garçons de moins que prévu dans une tendance démographique à long terme [Perez, 2004]. Le changement est survenu chez les bébés qui atteignaient les 7 à 9 semaines *in utero* au moment de la catastrophe.

4. ISRAËL. Des différences marquées en termes de paramètres quantitatifs ultra-structuraux des têtes de spermatozoïdes ont été observées chez les liquidateurs qui avaient émigré par rapport aux hommes du même âge qui n'avaient pas été irradiés [Fischbein *et al.*, 1997].

5. AUTRES PAYS. La catastrophe a eu des effets chroniques à long terme sur le sex-ratio à la naissance au Danemark, en Finlande, en Allemagne, en Hongrie, en Norvège, en Pologne et en Suède entre 1982 et 1992. La proportion des hommes a augmenté en 1987 avec rapport de cotes des sexes de 1,0047 (IC à

95% : 1,0013-1,0081, $p < 0,05$). Une corrélation positive entre proportion de garçons en Allemagne entre 1986 et 1991 et exposition à la radioactivité au niveau du district se traduit par un rapport de cotes des sexes de 1,0145 par mSv/an (IC à 95% : 1,0021 à 1,0271, $p < 0,05$) [Frentzel-Beyme et Scherb, 2007].

5.6.5. Conclusion

Il y a de toute évidence un spectre de plus en plus large de maladies urogénitales chez les hommes, les femmes et les enfants des territoires contaminés par les retombées de Tchernobyl. Bien que certains prétendent que cette faiblesse de la fonction de reproduction est uniquement due à des facteurs psychologiques (conditions de stress), il est difficile d'accuser le stress pour les anomalies des spermatozoïdes, les échecs en matière de reproduction, et les anomalies de naissance chez les enfants. L'influence néfaste de l'irradiation de Tchernobyl sur la morbidité urogénitale et la fonction de reproduction chez les liquidateurs et chez des millions de personnes vivant dans les territoires contaminés se poursuivra dans les générations futures.

5.7. Maladies des os et des muscles

L'ostéoporose (diminution de la densité du tissu osseux) résulte d'un déséquilibre entre la formation de l'os et le processus de résorption naturelle. Un tel déséquilibre résulte soit de troubles hormonaux, soit de dommages directs par irradiation des prédecesseurs cellulaires des ostéoclastes et des ostéoblastes [Ouchakov *et al.*, 1997]. Les liquidateurs et les habitants des territoires contaminés se plaignent souvent de douleurs osseuses et articulaires, indicateurs indirects des processus d'ostéoporose.

5.7.1. Belarus

1. Le nombre de nouveau-nés avec des anomalies ostéo-musculaires de développement a augmenté dans les territoires contaminés [Koulakov *et al.*, 1997].

2. En 1995, la morbidité ostéo-musculaire chez les personnes évacuées et les habitants des territoires contaminés était 1,4 fois plus élevée que pour l'ensemble de la population [Matsko, 1999].

3. Les maladies ostéo-musculaires étaient généralisées chez les liquidateurs de moins de 30 ans [Antypova *et al.*, 1997a].

5.7.2. Ukraine

1. Ces dernières années, les enfants morts des territoires très contaminés présentaient des niveaux plus élevés de radionucléides alpha incorporés dans les tissus osseux [Horishna, 2005].

2. Le Cs-137 incorporé dans le placenta à un taux de 0,9 à 3,25 Bq/kg conduit à une faiblesse des structures osseuses tubulaires et à une destruction des cartilages vertébraux [Arabaskaya *et al.*, 2006].

3. Dans les territoires contaminés, il y a eu des cas d'enfants nés pratiquement sans os (« enfants-méduse »), un état uniquement constaté auparavant dans les îles Marshall, après les essais nucléaires des années 1950.

4. Des concentrations élevées de radionucléides placentaires peuvent être un facteur en cause dans la mort des nouveau-nés dans les territoires contaminés (Tableau 5.40).

Tableau 5.40. Concentration de radionucléides (Bq/kg) dans le corps des femmes enceintes et les organes des enfants mort-nés

	Horishna, 2005	Lukyanova <i>et al.</i> , 2005	Radio-nucléides
Corps de la mère	0,7 – 1,3	Pas de données	Cs-137
Placenta	3,5	Pas de données	Cs-137
	0,9	Pas de données	Alpha
Foie	7,8	0,4 ± 0,05	Cs-137
Rate	0,2	0,2 ± 0,03	Cs-137
Thymus	0,2	0,1 ± 0,02	Cs-137
Vertèbre	0,9	0,7 ± 0,02	Cs-137
Dents	0,4	0,4 ± 0,02	Alpha
Côtes	Pas de données	1,0 ± 0,24	Cs-137
Os longs	Pas de données	0,3 ± 0,02	Cs-137

5. Les os des nouveau-nés morts montrent des anomalies morphologiques : la réduction du nombre et de la taille des ostéoblastes, des changements dystrophiques dans les ostéoblastes et les ostéoclastes et un changement dans le rapport ostéoblastes/ostéoclastes [Luk'yanova, 2003 ; Luk'yanova *et al.*, 2005].

6. La morbidité ostéo-musculaire chez les adultes évacués est plus élevée que dans l'ensemble de la population du pays [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

7. En 1996, la morbidité ostéo-musculaire dans les territoires contaminés entre 5 et 15 Ci/km² a été supérieure à celle de la population du pays dans son ensemble [Grodzinsky, 1999].

8. De 1988 à 1999, la morbidité ostéo-musculaire dans les territoires contaminés a plus que doublé [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

9. Chez les liquidateurs, les maladies des tissus musculaire et conjonctif ont augmenté de 2,3 fois de 1991 à 2001 [Borysevich et Poplyko, 2002].

5.7.3. Russie

1. Dans les districts fortement contaminés de la province de Briansk, la morbidité ostéo-musculaire générale des enfants était notablement plus élevée que celle de la province dans son ensemble (Tableau 5.41).

Tableau 5.41. Morbidité ostéo-musculaire globale (pour 1 000) chez les enfants des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	146,2	124,7	90,3	143,0
Novozybkov	31,3	32,7	37,9	29,6
Klintsy	40,4	41,3	69,9	63,5
Krasnogorsk	17,3	15,2	11,2	12,0
Zlynka	58,8	217,2	162,4	174,3
Sud-ouest*	40,9	67,9	49,7	67,1
Province	22,6	25,4	27,0	29,7

* Tous les districts fortement contaminés

2. De 1995 à 1998, la morbidité ostéo-musculaire primaire chez les enfants de la province de Briansk était plus élevée dans les zones contaminées (Tableau 5.42).

Tableau 5.42. Morbidité ostéo-musculaire primaire (pour 1 000) chez les enfants de la province de Briansk de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.2]

Année	1995	1996	1997	1998
Sud-ouest*	19,5	39,2	24,5	42,4
Province	11,5	13,9	16,4	18,5

* Tous les districts fortement contaminés

3. La morbidité ostéo-musculaire globale des adultes est plus élevée dans les districts fortement contaminés de la province de Briansk que dans l'ensemble de la province (Tableau 5.43).

Tableau 5.43. Morbidité ostéo-musculaire globale (pour 1 000) chez les adultes des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 5.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	173,8	118,9	216,0	236,7
Novozybkov	129,6	120,8	94,0	101,1
Klintsy	151,0	150,6	159,7	217,3
Krasnogorsk	136,0	141,1	109,7	89,7
Zlynka	110,2	110,2	102,0	103,0
Gordeyevka	94,3	129,3	105,1	104,8
Sud-ouest*	100,7	109,4	111,7	111,9
Province	82,5	81,6	82,4	76,4

* Tous les districts fortement contaminés

4. Jusqu'à 62% des liquidateurs se plaignent de douleur du dos et de douleur dans les os des mains, des jambes et des articulations [Dedov et Dedov, 1996].

5. L'ostéoporose a été détectée chez 30 à 88% des liquidateurs examinés [Nykytyna, 2002 ; Shkrobot *et al.*, 2003 ; Kirkae, 2002 ; Druzhynyna, 2004].

6. L'ostéoporose se développe plus souvent chez les liquidateurs que dans des groupes comparables de la population [Nykytyna, 2005].

7. L'ostéoporose chez les liquidateurs affecte également le tissu osseux des parois alvéolaires interdentaires [Matchenko *et al.*, 2001].

8. L'ostéochondrose de diverses parties des vertèbres et l'ostéoporose diffuse constituent les pathologies ostéo-musculaires les plus fréquentes chez 600 liquidateurs examinés. Dans 3,5% des cas, l'ostéoporose s'est accompagnée de fractures pathologiques de l'os, de compression des racines nerveuses, d'ostéalgies et d'arthralgies [Kholodova *et al.*, 1998].

9. Chez de nombreux liquidateurs, la densité minérale de l'os est inférieure de 16 à 37% à la norme d'âge [Kholodova *et al.*, 1998]. Environ 62% des liquidateurs parmi les 274 examinés avaient une diminution de la minéralisation du squelette et 8% avaient une ostéoporose [Khartchenko *et al.*, 1995]. Les pertes minérales squelettiques chez les liquidateurs qui ont travaillé en 1986 ont atteint 42% (par rapport à l'âge et au poids maximum) et elles ont été moindres chez les liquidateurs ayant travaillé en 1987-1988 [Khartchenko *et al.*, 1998].

10. Des marqueurs de la maladie parodontale ont été trouvés chez tous les liquidateurs suivis : 88,2% avaient une ostéoporose diffuse de la mâchoire ; 33,3% avaient un amincissement de la plaque compacte de la mandibule ; en outre, 37,3% avaient aussi une ostéoporose d'un corps vertébral [Druzhynyna, 2004].

11. Selon les données du registre national (Registre médico-dosimétrique de l'État russe), de 1991 à 1998, la morbidité ostéo-musculaire des liquidateurs a été nettement plus élevée que pour la population dans son ensemble (650 contre 562 pour 10 000) [Byryukov *et al.*, 2001].

12. De 1994 à 1998, la morbidité ostéo-musculaire chez les liquidateurs de la province de Briansk a été bien plus élevée que celle de la population globale des districts fortement contaminés et très différente de celle de la population de la province et de la Russie dans son ensemble (Tableau 5.44).

Tableau 5.44. Morbidité ostéo-musculaire (pour 1 000) chez les liquidateurs et les adultes des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999a : tableau 4.1]

Groupe / territoire	Nombre de cas				
	1994	1995	1996	1997	1998
Liquidateurs	114,1	99,3	207,0	221,8	272,9
Sud-ouest*	90,0	93,5	109,4	111,7	238,6
Province	80,5	82,5	81,6	82,4	76,4
Russie	80,3	81,5	87,2	87,2	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

5.7.4. Conclusion

Les données concernant l'influence de la contamination de Tchernobyl sur le système ostéo-musculaire sont rares, non pas parce que ces maladies ne sont pas importantes, mais parce qu'elles attirent peu l'attention en termes de survie. Les maladies des os et des muscles ne sont pas négligeables. La perte des dents conduit à une détérioration de la capacité d'une personne à manger et à des effets secondaires indésirables sur la nutrition. Les douleurs osseuses et musculaires chroniques entraînent une perte de fonction et une réduction des activités vitales indispensables. Les effets sont particulièrement graves pour les enfants lorsque les défauts ostéo-musculaires font obstacle à la croissance et à l'activité.

Nul doute qu'au fur et à mesure de la publication de nouveaux éléments, on disposera de données complémentaires sur les effets de la contamination radioactive de Tchernobyl sur les os et les muscles. Il est maintenant clair que les troubles osseux structurels (ostéopénie, ostéoporose et fractures) sont un élément caractéristique non seulement de la majorité des liquidateurs, mais aussi de nombreux habitants des territoires contaminés, y compris les enfants.

5.8. Maladies du système nerveux et des organes des sens

Pendant plus de trente ans, le système nerveux a été considéré comme le système le plus résistant aux rayonnements ionisants, mais ce n'est apparemment vrai qu'en ce qui concerne les fortes doses [voir, par exemple, Gus'kova et Baisogolov, 1971]. En conséquence, le rapport du Forum de Tchernobyl (2005) a attribué au stress toutes les maladies neurologiques, les niveaux accrus de dépression et les troubles mentaux post-traumatiques [Havenaar, 1996 ; Havenaar *et al.*, 1997a, b].

Depuis la catastrophe de Tchernobyl, il est clair que de faibles doses et de faibles débits de dose de rayonnement ont un impact énorme sur les structures fines du système nerveux, sur les fonctions supérieures du système nerveux et sur les structures oculaires, ainsi que sur les troubles neuropsychiatriques qui sont très répandus dans tous les territoires contaminés. Un nombre croissant de preuves permet de confirmer la radiosensibilité du cerveau [Nyagu et Loganovsky, 1998].

L'évaluation de la santé mentale dans l'ex-URSS portait principalement sur les troubles mentaux, tels qu'ils étaient enregistrés par le système national de santé et non sur des données obtenues à partir d'études psychiatriques bien conçues utilisant des procédures de diagnostic normalisées. Avec les changements en cours dans la façon dont les pays de l'ancienne Union Soviétique gèrent les problèmes psychiatriques, cette approche peut avoir conduit à une énorme sous-estimation des troubles mentaux [Loganovsky, 2002]. La première partie de cette section est consacrée au système nerveux lui-même et la seconde aux organes des sens.

5.8.1. Maladies du système nerveux

Vingt-cinq ans après la catastrophe de Tchernobyl, il est prouvé que de faibles niveaux de rayonnements ionisants peuvent provoquer des changements dans les systèmes nerveux central et autonome et peuvent précipiter une encéphalopathie radiogénique [pour une étude voir Loganovsky, 1999]. Certaines parties du système nerveux central (SNC) sont particulièrement sensibles aux dégâts de l'irradiation.

5.8.1.1. Belarus

1. Selon une enquête longitudinale effectuée auprès de femmes enceintes, de patientes de maternités, de nouveau-nés et d'enfants des territoires contaminés du district de Tetchersk, de la province de Gomel, avec des niveaux de contamination radioactive de 185 à 2 590 kBq/m² (5 à 70 Ci/km²), l'incidence de l'encéphalopathie périnatale après 1986 a été deux à trois fois plus élevée qu'avant la catastrophe [Koulakov *et al.*, 2001].

2. La morbidité due aux maladies du système nerveux et des organes des sens a sensiblement augmenté dans tous les territoires contaminés [Lomat *et al.*, 1996].

3. Le nombre de cas de syndrome de malformation convulsive congénitale (épilepsie) a nettement augmenté dans les territoires contaminés au cours des 10 premières années après la catastrophe [Tsymlyakova et Lavrent'eva, 1996].

4. De 1993 à 2003, la morbidité primaire en matière de maladie du système nerveux et de maladies de l'œil et de ses annexes a augmenté de façon marquée chez les enfants âgés de 10 à 14 ans nés de parents irradiés [Rapport national du Belarus, 2006].

5. La morbidité du système nerveux chez les enfants a augmenté dans l'une des zones les plus contaminées : le district de Louninets, province de Brest [Voronetsky *et al.*, 1995]. De 2000 à 2005, on a constaté une tendance à une incidence croissante des troubles mentaux chez les enfants de ce district [Dudinskaya *et al.*, 2006].

6. Dix ans après la catastrophe, les troubles du système nerveux ont été la deuxième cause de morbidité chez les adolescents évacués de territoires contaminés, avec 331 cas pour 1 000 sur 2 335 adolescents examinés [Syvolobova *et al.*, 1997].

7. Les troubles neurologiques et psychiatriques chez les adultes étaient nettement plus élevés dans les territoires contaminés (31,2 contre 18,0%). Des troubles de la mémoire à court terme et des troubles déficitaires de l'attention (TDA) ont été observés chez les élèves du secondaire âgés de 16 à 17 ans et la gravité de ces troubles était directement corrélée avec les niveaux de contamination [Ouchakov *et al.*, 1997].

8. Dans une comparaison entre 340 opérateurs de machines agricoles du district très contaminé de Narovlia, de la province de Gomel et un groupe similaire de 202 personnes des environs moins contaminés de Minsk, le premier groupe a montré six fois plus de cas de pathologie vasculaire cérébrale (27,1 contre 4,5%) [Ouchakov *et al.*, 1997].

9. La morbidité neurologique de 1 708 adultes du district de Kostioukovitchi, de la province de Moguilev, contaminé par le Cs-137 à des niveaux dépassant 1 110 kBq/m² (30 Ci/km²), a été notablement supérieure à celle de 9 170 personnes examinées dans les districts moins contaminés de la province de Vittebsk [Loukomski *et al.*, 1993].

10. De 1991 à 2000, il y a eu une augmentation de 2,2 fois de l'incidence des maladies du système nerveux et des organes des sens chez les liquidateurs bélarusses [Borysevich et Poplyko, 2002].

5.8.1.2. Ukraine

1. Selon une enquête longitudinale effectuée auprès de femmes enceintes, de patientes de maternité, de nouveau-nés et d'enfants des territoires contaminés du district de Polésie, de la province de Kiev, où les niveaux de rayonnement allaient de 740 à 2 200 kBq/m² (20-60 Ci/km²), on a observé après 1986 une incidence de l'encéphalopathie périnatale deux à trois fois plus élevée qu'avant la catastrophe [Koulakov *et al.*, 2001].

2. L'incidence des maladies du système nerveux chez les enfants a augmenté de façon marquée dans les territoires contaminés, 2 ans après la catastrophe [Stepanova, 1999]. En 1998, les maladies du système nerveux et des organes des sens chez les enfants ont sextuplé par rapport à 1986 [TASS, 1998]. D'autres données entre 1988 et 1999 ont indiqué une augmentation de l'incidence des maladies neurologiques de 1,8 fois au cours de cette décennie : de 2 369 à 4 350 pour 10 000 enfants [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

3. Les enfants des collèges et lycées des villages contaminés de la province de Tchernigov souffraient d'une fatigue accrue et d'une baisse des capacités intellectuelles 7 à 8 ans après la catastrophe [Bondar *et al.*, 1995].

4. Les électroencéphalogrammes (EEG) chez 97% de 70 enfants de personnes évacuées ont révélé une immaturité structurelle et fonctionnelle des structures sous-corticales et corticales du cortex ; c'est à dire que seulement deux de ces 70 enfants avaient un EEG normal [Horishna, 2005].

5. Les enfants irradiés *in utero* ont plus de maladies du système nerveux et de troubles mentaux [Igumnov *et al.*, 2004] (Tableau 5.45).

Tableau 5.45. Fréquence (%) des désordres neurologiques et psychiatriques chez les enfants irradiés *in utero* [Nyagu *et al.*, 2004]

	Irradiés, n = 121	Groupe témoin, n = 77
Neurologiquement sains	60,3	85,7
Prédispositions à l'épilepsie (G40)	7,4	1,3
Migraine (G43)	2,5	0
Autres maux de tête (G44)	25,6	13,0
Troubles du sommeil (G47)	3,3	0
Autres troubles du système nerveux végétatif (G90)	2,5	0
Complications neurologiques	1,6	0
Intellectuellement sains	15,7	58,4
Troubles mentaux organiques (F06 et F07)	16,5	3,9
Troubles névrotiques, stress et troubles somatiques	46,3	26,0
Troubles du développement psychologique (F80-F89)	7,4	0
Troubles émotionnels (F90-F98)	25,6	11,7
Difficultés de l'apprentissage	17,2	3,9

6. Le nombre d'enfants souffrant de maladie mentale dans les territoires contaminés a augmenté : en 1987, l'incidence était de 2,6 pour 1 000, alors qu'en 2004, elle était de 5,3 pour 1 000 [Horishna, 2005].

7. L'incidence de l'asthénie du système nerveux et des troubles de la régulation du système végétatif (autonome) était cinq fois plus élevée chez les enfants de personnes évacuées que dans un groupe témoin [Romanenko *et al.*, 1995a].

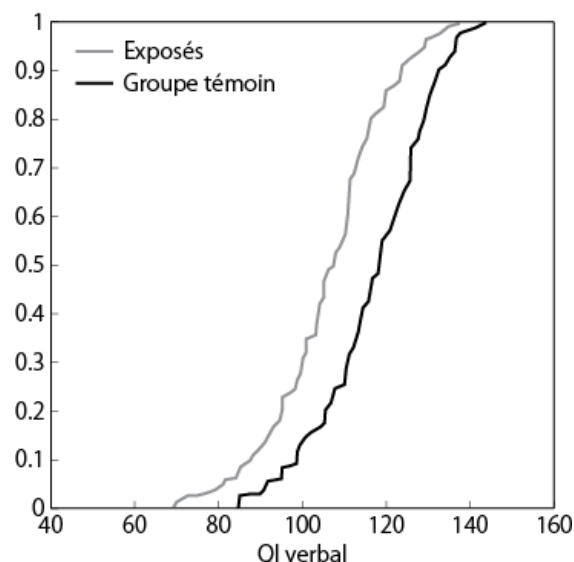


Figure 5.10. Évaluation du développement intellectuel (QI) pour un groupe d'enfants de personnes évacuées de la ville de Pripjat et pour des enfants de la ville de Kiev, moins irradiés [Nyagu *et al.*, 2004]

8. Les enfants irradiés ont un QI plus bas (Figure 5.10).

9. Les enfants exposés *in utero* entre 16 et 25 semaines de gestation ont développé une série d'affections incluant :

- une augmentation de l'incidence de troubles de la santé mentale et de la personnalité en raison de lésions cérébrales ou d'un dysfonctionnement cérébral (F06, F07) ;
- des troubles du développement psychologique (F80-F89) ;
- des états paroxystiques (céphalée, G44 ; migraine, G43 ; syndromes épileptiques, G40) ;
- des troubles du système autonome à forme somatique (F45.3) ;
- des troubles comportementaux et émotionnels de l'enfance (F90-F99).

10. Les paramètres quantitatifs du développement intellectuel (QI) des enfants de personnes fortement irradiées évacuées de la ville de Pripjat étaient plus mauvais que ceux des enfants moins fortement irradiés de la ville de Kiev (Tableau 5.46).

11. Une croissance marquée de la morbidité du système nerveux adulte a été observée dans les territoires contaminés au cours des 6 premières années après la catastrophe, surtout après 1990 (Tableau 5.47).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.46. Paramètres quantitatifs du développement intellectuel d'enfants de personnes fortement irradiées évacuées de la ville de Pripjat et d'enfants moins exposés de la ville de Kiev [Nyagu et al., 2004]

	Irradiés, <i>n</i> = 108	Groupe témoin, <i>n</i> = 73
Intelligence verbale	107	116
Différence QIp-QIv	10,4	2,9*

* $p < 0,05$.

12. La morbidité du système nerveux et des organes des sens dans les territoires contaminés a augmenté de 3,8 à 5 fois entre 1988 et 1999. Chez les adultes évacués, ces maladies ont été observées bien plus souvent que dans l'ensemble de la population [Prysyazhnyuk et al., 2002]. En 1994, les maladies du système nerveux chez les adultes et les adolescents et chez les personnes évacuées ont représenté 10,1% de la morbidité globale dans les territoires contaminés [Grodzinsky, 1999].

13. De 93 à 100% des liquidateurs souffrent de troubles neuropsychiatriques, avec surtout des troubles mentaux à symptômes organiques prédominants (F00-F09) [Loganovsky, 1999, 2000]. Un syndrome de stress post-traumatique (SSPT), un trouble psychosomatique et un développement schizoïde anormal de la personnalité ont été établis selon les classifications psychiatriques locales et les critères de la CIM-10 et du DSM-IV [Loganovsky, 2002].

14. Sur 100 liquidateurs choisis au hasard qui souffraient de fatigue, 26 répondaient aux critères de diagnostic du syndrome de fatigue chronique (SFC). Le SFC pourrait donc être une des conséquences les plus répandues de la catastrophe pour les liquidateurs [Loganovsky, 2000, 2003]. En outre, bien que l'incidence du SFC ait diminué de façon significative ($p < 0,001$; de 65,5% en 1990-1995 à 10,5% en 1996-2001), la fréquence d'apparition du syndrome métabolique X (SMX : un groupe de facteurs de risque de maladies cardiaques) a fortement augmenté au cours de la même période ($p < 0,001$; de 15 à 48,2%). Le SFC et le SMX sont considérés comme les premières étapes du développement d'autres pathologies et le SFC peut évoluer en neurodégénérescence SMX, déficit cognitif et troubles neuropsychiatriques [Kovalenko et Loganovsky, 2001 ; Volovik et al., 2005].

Tableau 5.47. Morbidité du système nerveux (pour 10 000 adultes) dans les territoires contaminés d'Ukraine de 1987 à 1992 [Nyagu, 1995a]

	Nombre de cas					
	1987	1988	1989	1990	1991	1992
Toutes les maladies du système nerveux	264	242	356	563	1 504	1 402
Dyscrasie vasomotrice*	128	43	32	372	391	312

* Souvent dénommée « dystonie vasculaire végétative » en russe, également appelée « dysfonctionnement du système nerveux autonome »

15. Une étude transversale a été réalisée sur une cohorte représentative de liquidateurs dans le cadre du projet franco-allemand Tchernobyl Initiative (sous-projet 3.8) utilisant le « Composite International Diagnostic Interview ». Les résultats ont indiqué un quasi-doublement de l'incidence de tous les troubles mentaux (36%) chez les liquidateurs par rapport à la population totale de l'Ukraine (20,5%), et une augmentation spectaculaire de l'incidence de la dépression (24,5 contre 9,1%). L'anxiété (trouble panique) a également augmenté chez les liquidateurs (12,6 contre 7,1%). Dans le même temps, la dépendance à l'alcool chez les liquidateurs n'était pas beaucoup plus élevée que dans la population générale (8,6 contre 6,4%), ce qui exclut une contribution importante de ce facteur [Demyttenaere et al., 2004 ; Romanenko et al., 2004].

16. En 1996, la morbidité du système nerveux et des organes des sens chez les liquidateurs était de plus du triple de la moyenne nationale [Serdyuk et Bobyleva, 1998].

17. La morbidité du système nerveux chez les liquidateurs en 1986-1987 a été deux fois plus élevée qu'en 1988-1990 [Moskalenko, 2003].

18. En 1986, quelque 80 hommes liquidateurs ukrainiens atteints d'encéphalopathie avaient à la fois des changements structuraux et des troubles fonctionnels dans les lobes frontal et temporal gauche du cerveau [Antipchuk, 2002, 2003].

19. Les troubles du système nerveux autonome chez les liquidateurs qui ont travaillé en 1986-1987 différaient des troubles des liquidateurs de 1988-1989 par la stabilité, l'expressivité, les variantes paroxystiques, la présence d'un dysfonctionnement vestibulaire

I-III et les perturbations hémodynamiques périphériques. Les troubles du système nerveux autonome sont étroitement liés à des troubles neuropsychiatriques du comportement tels que l'asthénie, les troubles de la mémoire, le déficit d'attention, les troubles émotionnels, les névroses, l'hypocondrie et la dépression [Romamenko *et al.*, 1995].

20. Des taux accrus de troubles neuropsychiatriques et de pathologies somatiques (F00-F09) ont été observés chez les liquidateurs qui ont travaillé en 1986-1987, en particulier chez ceux qui ont travaillé plusieurs années au sein de la zone d'exclusion de Tchernobyl [Loganovsky, 1999].

21. Chez les liquidateurs, la modification structurelle typique du cerveau implique les lobes frontal et temporal gauche avec leurs connexions cortico-sous-corticales et les structures profondes du cerveau. Les troubles hémodynamiques cérébraux sont provoqués par des lésions d'athérosclérose. En raison d'une hypertension vasculaire, d'une asymétrie cérébrale et d'une mauvaise circulation à gauche, il y a une forte incidence des processus de sténose. Les altérations pathologiques radiographiques de la structure cérébrale incluent l'atrophie, l'hypertrophie des ventricules cérébraux et des lésions cérébrales focales [Loganovsky *et al.*, 2003 ; Nyagu et Loganovsky, 1998].

22. Les tracés EEG et la distribution topographique de l'activité cérébrale bioélectrique spontanée et provoquée des liquidateurs différaient sensiblement de ceux des groupes témoins [Nyagu *et al.*, 1992 ; Noshchenko et Loganovsky, 1994 ; Loganovsky et Yuryev, 2001]. Dans certains cas, une atteinte cérébrale organique a été confirmée par des méthodes cliniques neuropsychiatriques, neurophysiologiques, neuropsychologiques et de neuro-imagerie [Loganovsky *et al.*, 2003, 2005b]. La base cérébrale de la détérioration de l'activité mentale supérieure provoquant de tels troubles après une période limitée d'irradiation est une pathologie du cortex frontal et temporal de l'hémisphère dominant et des structures médianes avec leurs connexions cortico-sous-corticales [Loganovsky 2002 ; Loganovsky et Bomko, 2004].

23. L'âge moyen des hommes et femmes liquidateurs ukrainiens atteints d'encéphalopathie était de $41,2 \pm 0,83$ ans, notablement plus jeune que pour la population dans son ensemble [Stepanenko, 2003].

24. À partir de 1990, des rapports ont signalé une importante augmentation de l'incidence de la schizophrénie parmi le personnel de la zone d'exclusion de Tchernobyl par rapport à la population totale (5,4 contre 1,1 pour 10 000 en Ukraine en 1990) [Loganovsky et Loganovskaya, 2000]. L'irradiation survenue dans les territoires contaminés provoque des dommages cérébraux, avec un dysfonctionnement du système cortico- limbique et une détérioration des processus d'information au niveau moléculaire qui peuvent déclencher une schizophrénie chez les personnes prédisposées ou provoquer des troubles de type schizophrénique [Loganovsky *et al.*, 2004a, 2005].

25. De 1995 à 1998, a été menée une étude longitudinale des effets cognitifs de la catastrophe de Tchernobyl sur les liquidateurs et les travailleurs forestiers et agricoles vivant à l'intérieur d'un périmètre de 150 km autour de Tchernobyl. Sur quatre ans, les taux moyens de précision et d'efficacité des performances cognitives des groupes exposés (en particulier les liquidateurs) ont été nettement inférieurs à ceux des groupes témoins (des Ukrainiens en bonne santé résidant à plusieurs centaines de kilomètres de Tchernobyl). Les analyses longitudinales ont révélé une baisse importante de la précision et de l'efficacité des performances, ainsi qu'un ralentissement psychomoteur pour tous les groupes exposés au cours de cette période de 4 ans. Ces résultats montrent une forte atteinte de la fonction cérébrale résultant d'une exposition aiguë et chronique aux rayonnements ionisants [Gamache *et al.*, 2005].

5.8.1.3. Russie

1. Selon une enquête longitudinale auprès de femmes enceintes, de patientes de maternité, de nouveau-nés et d'enfants dans les territoires contaminés des districts de Mtsensk (1-5 Ci/km²) et Volkhov (10-15 Ci/km²), de la province d'Orel, l'incidence de l'encéphalopathie périnatale observée après 1986 était le double de celle avant la catastrophe [Koulakov *et al.*, 2001].

2. Les études électroencéphalographiques (EEG) d'enfants d'âges différents de territoires fortement contaminés ont révélé une activité fonctionnelle accrue des structures d'encéphaliques. Des échographies du cerveau des bébés de ces territoires ont révélé une hypertrophie ventriculaire dans presque un tiers des cas [Koulakov *et al.*, 2001].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

3. Les enfants irradiés *in utero* avaient les indices les plus élevés de handicap mental et étaient plus susceptibles de présenter une intelligence limitée et un retard mental liés à leur irradiation prénatale [Ermolyna *et al.*, 1996].

4. Dans les territoires contaminés, on observe un niveau plus bas d'intelligence non verbale chez les enfants irradiés pendant la 15^{ème} semaine de développement intra-utérin [Rumyantseva *et al.*, 2006].

5. Bien que les données sur la morbidité neurologique des enfants dans les districts fortement contaminés de la province de Briansk soient contradictoires (Tableau 5.48), le niveau de cette morbidité dans la ville de Klinty et le district de Krasnogorsk dépasse dans une large mesure celui de la province et du reste de la Russie.

Tableau 5.48. Morbidité du système nerveux et des organes des sens chez les enfants des districts de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	109,2	111,2	109,2	125,7
Novozybkov	124,0	155,0	140,8	158,0
Klintsy	49,2	59,9	79,0	54,2
Ville de Klinty	213,3	212,3	178,1	173,6
Krasnogorsk	275,1	237,8	242,8	107,5
Zlynka	187,2	102,8	144,0	125,8
Gordeyevka	71,2	64,2	70,1	71,0
Sud-ouest*	143,0	134,7	134,6	131,4
Province	123,6	128,6	133,4	135,2
Russie	143,8	154,0	159,0	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

6. Chez les enfants nés dans des familles de liquidateurs de la région de Kalouga, on constate vers l'âge de 10 ans des perturbations psychiques quatre fois plus fréquentes que dans la moyenne de la population infantine de la région. Ces données sont très proches des niveaux de morbidité chez les enfants de liquidateurs de toute la Russie, selon les données du Registre d'État du ministère de la santé [Tsyb *et al.*, 2007].

7. Les troubles de la mémoire à court terme et du déficit de l'attention (TDA) chez les élèves de 16-17 ans dans les territoires contaminés étaient en corrélation avec le niveau de contamination [Ouchakov *et al.*, 1997].

8. Des troubles neuropsychologiques limites de la personnalité sont apparus nettement plus souvent dans les territoires contaminés (31 contre 18%) [Ouchakov *et al.*, 1997].

9. Il y a des exemples de plus en plus fréquents d'un phénomène appelé « démence de Tchernobyl » qui comprend des troubles de la mémoire et de l'écriture, des convulsions, des maux de tête pulsatiles provoqués par la destruction de cellules cérébrales chez l'adulte [Sokolovskaya, 1997].

10. De 1986 à 1993 la morbidité neurologique chez les liquidateurs a augmenté de 43 fois (Tableau 5.49).

11. La survenue d'une encéphalopathie chez les liquidateurs a augmenté de 25% de 1991 à 1998 et l'augmentation atteignait 34% en 2004 [Zubovsky et Tararukhyna, 2007].

12. En 1995, la morbidité du système nerveux et des organes des sens chez les liquidateurs a dépassé la moyenne de la région de 6,4 fois [Conseil de sécurité de Russie, 2002].

13. Parmi plus de 2 000 liquidateurs suivis pendant de nombreuses années, plus de 40% souffrent de maladies organiques du cerveau, d'origine vasculaire ou mixte. Ces maladies résultent d'une ischémie cérébrale de longue durée, d'une perturbation des fonctions centrales de régulation et, éventuellement, de lésions de l'endothélium des petits vaisseaux sanguins [Rumyantseva *et al.*, 1998]. Sur plus de 1 000 liquidateurs examinés jusqu'en 2005, quelque 53,7% avaient une déficience mentale due à une atteinte ou un dysfonctionnement du cerveau ou une maladie somatique (F06, F07). Ces troubles sont clairement apparus 10 à 12 ans après la catastrophe et empiraient d'année en année. Ils sont caractéristiques de lésions cérébrales organiques diffuses avec une localisation principale dans la zone frontale [Rumyantseva *et al.*, 2006].

14. Les pathologies auto-immunes et métaboliques de la glande thyroïde sont également des facteurs importants dans les troubles mentaux constatés chez les liquidateurs [Rumyantseva *et al.*, 2006].

15. La morbidité du système nerveux et des organes des sens chez les liquidateurs de la province de Briansk a été notablement plus élevée que pour l'ensemble de la population (Tableau 5.50).

16. 12% de liquidateurs examinés avaient une polyneuropathie qui s'exprimait par d'atroces douleurs brûlantes et une atrophie des membres [Kholodova *et al.*, 1998].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.49. Dynamique de la morbidité du système nerveux et des organes des sens (pour 1 000) chez les liquidateurs russes de 1986 à 1993 [Baleva et al., 2001]

Années	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Nombre de cas	23	79	181	288	410	585	811	989

17. Selon les données du Conseil d'experts de la Commission interministérielle russe pour les années 1999-2000, les maladies neuropsychologiques ont été la deuxième cause de morbidité globale chez 18% des 1 000 liquidateurs examinés [Khrysanfov et Meskikh, 2001].

18. L'incidence de l'encéphalopathie et d'une pathologie organique avérée est passée de 20 en 1991-1997 à 34% en 2000 et les diagnostics neurologiques sont devenus plus pré-occupants au vu des critères diagnostiques [Khrysanfov et Meskikh, 2001].

19. En 1999-2000, la pathologie neuropsychologique chez les liquidateurs russes comprenait 34% d'encéphalopathie, 17% de troubles organiques du système nerveux central, 17% de dystonie vasculaire végétative (dyscrasie vasomotrice) et 17% de dystonie neurocirculatoire [Khrysanfov et Meskikh, 2001].

Tableau 5.50. Morbidité du système nerveux et des organes des sens chez les liquidateurs et les adultes des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1994 à 1998 (pour 1 000 personnes) [Fetysov, 1999a : tableau 4.1]

Groupe / territoire	Nombre de cas				
	1994	1995	1996	1997	1998
Liquidateurs	312,9	312,5	372,5	376,9	467,6
Sud-ouest*	118,6	104,2	130,5	124,2	314,6
Province	127,3	136,5	134,6	131,6	134,2
Russie	126,6	129,7	136,5	136,5	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

20. Chez 150 liquidateurs hommes de 44,5 ± 3 ans, il y a eu une augmentation des formes lentes de l'activité EEG, une asymétrie intercérébrale, une diminution de la qualité des performances à tous les tests cognitifs, des troubles de la mémoire, et d'autres troubles fonctionnels [Zhavoronkova et al., 2002]. Les observations sur les liquidateurs ont révélé que les changements dans l'asymétrie du cerveau et les interactions inter-hémisphériques pouvaient être produits non seulement par un dysfonctionnement des structures cérébrales sous-corticales limbique-réticulaires et médioba-

sales, mais également par des lésions de la substance blanche, y compris du corps calleux [Zhavoronkova et al., 2000]. Les résultats d'EEG suggéraient des troubles sous-corticaux à différents niveaux (diencéphaliques ou du tronc cérébral) et une insuffisance fonctionnelle des hémisphères droit ou gauche longtemps après la fin de l'exposition à l'irradiation [Zhavoronkova et al., 2003].

21. Il y a eu de nombreux rapports concernant les anomalies neurophysiologiques, neuropsychologiques et de neuro-imagerie chez les liquidateurs [Danilov et Pozdeev, 1994 ; Zhavoronkova et al., 1994, 2000 ; Vyatleva et al., 1997 ; Khomskaja, 1995 ; Khartchenko et al., 1995 ; Kholodova et al., 1996 ; Voloshyna, 1997]. Ces données corroborent fortement les constatations cliniques de lésions cérébrales organiques causées par les rayonnements [Chuprykov et al., 1992 ; Krasnov et al., 1993 ; Romodanov et Vynnyts'ky, 1993 ; Napreyenko et Loganovsky, 1995, 2001 ; Revenok, 1998 ; Zozulya et Polischuyk, 1995 ; Morozov et Kryzhanovskaja, 1998].

22. Beaucoup de liquidateurs avaient des troubles complexes et organiques du cerveau, y compris : (a) des centres hypométaboliques localisés dans les substances blanche et grise et dans les formations sous-corticales profondes ; (b) une hypertrophie ventriculaire, souvent asymétrique ; (c) une expansion de la cavité arachnoïdienne ; (d) une diminution de la densité de la substance blanche du cerveau ; (e) un amincissement du corps calleux ; (f) des lésions diffuses localisées, uniques ou multiples, occupant l'espace du tissu cérébral [Kholodova et al., 1998 ; Ouchakov et al., 1997 ; Nyagy et Loganovsky, 1998 ; Loganovsky, 2002 ; et d'autres].

23. Quatre cents liquidateurs de 24 à 59 ans souffrant de troubles organiques du système nerveux central présentent des modifications irréversibles de la structure du cerveau : des changements structurels dans le lobe frontal, la région temporale gauche et les connexions dans le cortex-sous-cortex [Khartchenko et al., 1995 ; Antipchuk, 2002, 2003 ; Zhavoronkova et al., 2002 ; Antonov et al., 2003 ; Tsygan, 2003].

24. Les plaintes typiques des liquidateurs comprennent : des maux de tête sévères, non soulagés par les médicaments, des troubles de la mémoire des événements récents, une faiblesse générale, de la fatigue, une diminution de la capacité de travail, une transpiration généralisée, des palpitations, des douleurs osseuses et articulaires qui interfèrent avec leur sommeil, une perte sporadique de conscience, des sensations de fièvre ou de chaleur, une difficulté à penser, des crises cardiaques, des éclairs, une perte de vision (une vision très dégradée) et un engourdissement des mains et des pieds [Sokolova, 2000 ; Kholodova, 2006].

25. Les dommages neurologiques subis par les liquidateurs comprennent : un dysfonctionnement nettement marqué du système nerveux autonome, exprimé par une acrocyanose, une acrohyperhydrose et une hyperhydrose commune, une spongiosité et une bouffissure des tissus mous, des rougeurs du visage, un dermographisme diffus, une asthénie et des syndromes dépressifs. Les autres troubles organiques du système nerveux comprennent : des anomalies des nerfs crâniens, une hyperréflexie marquée, la présence de réflexes pathologiques et des résultats anormaux au test de Romberg [Kholodova, 2006].

26. Le dysfonctionnement caractéristique des liquidateurs implique les parties profondes du cerveau : les zones diencephaliques, les lobes frontal et temporal profonds et les parties occipitopariétales profondes des hémisphères cérébraux [Kholodova, 2006].

27. Les liquidateurs montrent des performances amoindries au travail, une diminution de la durée d'attention, des problèmes de mémoire à court terme et de pensée opératoire. Ces caractéristiques correspondent à des niveaux de compétence typiques d'enfants de 10-11 ans et ne peuvent pas être attribuées à des facteurs sociaux : elles témoignent clairement de lésions cérébrales dues aux radiations [Kholodova, 2006].

28. L'activité cérébrale EEG révèle deux types de pathologies : un ralentissement de forte amplitude des bandes de fréquence des ondes alpha et thêta, ce qui reflète la pathologie du cerveau viscéral, et une diminution diffuse de l'activité bioélectrique, reflétant des atteintes diffuses du cortex et de la zone sous-corticale [Kholodova, 2006].

29. La gravité de la pathologie du cerveau chez les liquidateurs est en corrélation avec

une circulation sanguine altérée dans différents sites corticaux de la substance blanche et des formations sous-corticales profondes [Kholodova, 2006].

30. Chez les liquidateurs habitant à Obninsk (région de Kalouga), indépendamment du caractère et de la dose d'irradiation, on note une hausse du niveau des facteurs endogènes caractéristiques du développement d'un état de stress psycho-émotionnel. Les troubles psychiques des liquidateurs apparaissent sur un fond d'augmentation, dans le sang, de marqueurs d'intoxication – des produits de peroxydation des lipides et de l'oligopeptide CM280 –, ainsi que de développement d'un état de thrombophilie [Tsyb *et al.*, 2006].

31. Un tableau clinique d'encéphalopathie discirculatoire chez une majorité de 96 liquidateurs-hommes de 34 à 70 ans montre des troubles cognitivo-mnésiques (56%) et asthénodépressifs (52%) (22% et 16% dans la population témoin, $p = 0,001$). Des encéphalogrammes démontrent que, chez les liquidateurs, apparaissent plus souvent ($p < 0,001$) des signes de dysfonctionnement de formations diencephaliques et l'implication, dans le processus pathologique, de formations corticales, une prédominance du rythme alpha dans l'hémisphère gauche. On a mis en évidence, chez les liquidateurs, une augmentation statistiquement significative ($p < 0,05$) de la latence des potentiels évoqués cognitifs P300. Chez les liquidateurs, on a rencontré bien plus souvent des troubles cognitifs et affectifs et une atrophie cérébrale sévère [Aleksanin, 2007].

32. D'après les données du Registre médico-dosimétrique d'État de Russie (RGMDR) (68 309 liquidateurs hommes) pour la période 1986-1996, 29 164 cas de troubles psychiques ont été relevés (codes 290-319 de MKB-9). Un pic de troubles psychiques chez les liquidateurs, quel que soit leur lieu de résidence, a été constaté durant les années 1991-1994, suivi d'une baisse vers 1996. Les troubles névrotiques les plus courants sont les atteintes aux fonctions physiologiques à étiologie psychogène, la toxicomanie, les perturbations psychiques non psychotiques. Chez les liquidateurs, on relève plus de troubles fonctionnels psychiques que dans la moyenne de la population adulte de Russie [Souchevitch, Petrov, 2007].

33. À long terme, des troubles neurologiques et neuropsychologiques apparaissent chez nombre de liquidateurs. On constate di-

vers dysfonctionnements cognitifs chez 76,2% d'une cohorte de 80 liquidateurs hommes présentant des perturbations neurologiques. Comparés à un groupe témoin, les liquidateurs ont incontestablement eu moins de réussite à l'occasion de tests de mémoire auditivo-verbale, d'élocution, d'attention, de fonctions régulatrices et visuo-spatiales. Des examens tomographiques par résonance magnétique (TRM) de 19 sur 24 patients (79,2%) ont révélé une atrophie cérébrale et/ou des foyers lacunaires uniques et multiples dans la substance blanche périventriculaire et dans les projections des ganglions de la base. La gravité des troubles cognitifs est en corrélation avec la présence de perturbations sur les tomographies et avec une activité de basse tension sur les EEG. Une analyse du profil des troubles cognitifs et affectifs témoigne de leur lien avec un dysfonctionnement des systèmes sous-corticaux-frontaux [Levin *et al.*, 2007].

5.8.1.4. Autres pays

1. ESTONIE. Après Tchernobyl, le suicide a été la principale cause de décès chez les liquidateurs vivant en Estonie [Rahu *et al.*, 2006].

2. LITUANIE. La mortalité par suicide (après ajustement en fonction de l'âge) a augmenté chez les liquidateurs de Tchernobyl par rapport à l'ensemble de la population lituanienne [Kesminiene *et al.*, 1997].

3. NORVÈGE. Des tests menés en 2005-2006 sur 84 volontaires (de 18 ans de moyenne d'âge) ont démontré que le quotient intellectuel (QI) de ceux qui, au moment de la catastrophe, se trouvaient *in utero* dans des territoires radiocontaminés était nettement inférieur à celui de ceux qui se développaient au stade fœtal dans des territoires non touchés par les retombées de Tchernobyl. On a constaté des niveaux de QI verbal particulièrement bas chez ceux qui étaient au stade fœtal, jusqu'à 16 semaines de développement, au moment de la catastrophe [Heiervang *et al.*, 2010].

4. SUÈDE. Une analyse complète d'un ensemble de données sur 562 637 suédois nés entre 1983 et 1988 a révélé que la cohorte *in utero* au cours de la catastrophe avait de moins bons résultats scolaires que ceux nés un peu avant et peu après cette période. Cette détérioration a été plus importante pour ceux qui ont été exposés entre 8 et 25 semaines après la conception. En outre, on a constaté plus de dégâts chez les élèves nés dans les régions qui

ont reçu plus de retombées : les élèves des huit municipalités les plus touchées ont significativement eu moins de chances (3,6 points de pourcentage) de se qualifier pour l'école secondaire [Almond *et al.*, 2007]. Ces conclusions correspondent à celles concernant les réductions de QI des « hibakushas » irradiés de 8 à 25 semaines après l'ovulation [Otake et Schull, 1984].

5.8.1.5. Conclusion

Les conceptions antérieures affirmant la résistance du système nerveux aux dégâts des radiations sont réfutées par les données collectives croissantes qui mettent en évidence des maladies du système nerveux chez les populations des territoires contaminés, en particulier chez les liquidateurs. Même des doses relativement faibles de rayonnement nucléaire, considérées comme inoffensives par des mesures antérieures de radioprotection, ont abouti à des dommages organiques marqués. De toute évidence, les niveaux de rayonnement actuels dans les territoires contaminés ont nui au système nerveux central d'innombrables personnes.

Pour de nombreux habitants des territoires contaminés, en particulier les personnes irradiées *in utero* et les liquidateurs, des fonctions du système nerveux, dont la perception, la mémoire à court terme, la durée d'attention, la pensée opératoire et les rêves, se détériorent. Ces conditions sont associées à une atteinte de l'hémisphère cérébral profond : les zones diencéphaliques, les lobes frontal et temporal profonds et les parties occipitopariétales de l'hémisphère cérébral. Les rayonnements à faible dose détériorent le système nerveux végétatif (autonome). Le fait qu'on trouve un retard du développement intellectuel chez 45% des enfants nés de mères qui ont subi les bombardements nucléaires d'Hiroshima et de Nagasaki est une préoccupation très troublante [Bulanova, 1996].

5.8.2. Maladies des organes des sens

Dans tous les territoires les plus contaminés, des anomalies visuelles et auditives apparaissent avec une plus grande fréquence que dans les territoires moins contaminés : la cataracte prématurée, la dégénérescence vitreuse, les troubles de réfraction, l'uvéïte, la conjonctivite et la perte d'audition.

5.8.2.1. Belarus

1. Une enquête auprès des femmes enceintes, des patientes de maternités, des nouveau-nés et des enfants dans le district de Tchetchersk, de la province de Gomel, avec des contaminations du sol par le Cs-137 à des niveaux de 5 à 70 Ci/km² a montré une augmentation du nombre des anomalies du développement des organes des sens, dont des cataractes congénitales chez les nouveau-nés [Koulakov *et al.*, 2001].

2. Dans les territoires fortement contaminés, il y a une incidence nettement plus élevée de malformations congénitales, notamment des cataractes, des microphthalmies, des oreilles mal positionnées et des tissus excédentaires de l'oreille [Koulakov *et al.*, 2001].

3. Les cataractes sont communes chez les enfants dans les territoires à niveau de contamination supérieur à 15 Ci/km² [Paramey *et al.*, 1993 ; Edwards, 1995 ; Gontcharova, 2000].

4. La pathologie rétinienne chez les enfants des districts de Khoïniki et de Vetka, de la province de Gomel (4 797 personnes examinées) a plus ou moins triplé : de 6 à 17% dans les 3 premières années suivant la catastrophe par rapport à 1985 [Byrich *et al.*, 1999].

5. De 1988 à 1989, l'incidence des malformations congénitales des yeux chez les enfants (3-4 ans après la catastrophe) a été quatre fois plus élevée dans la province fortement contaminée de Gomel (1,63%) qu'à Minsk de 1961 à 1972 (0,4%) [Byrich *et al.*, 1999].

6. L'opacification du cristallin, un des premiers symptômes de la cataracte, a été retrouvée chez 24,6% des enfants exposés, contre 2,9% chez les groupes témoins [Avhacheva *et al.*, 2001].

7. Les enfants de moins de 5 ans qui ont été exposés ont plus de problèmes d'accommodation oculaire et plus de maladies oculaires globales que ceux des groupes témoins [Serduchenko et Nostopyrena, 2001].

8. Les maladies oculaires ont fortement augmenté de 1993 à 2003 chez les enfants de 10 à 14 ans nés de parents irradiés [Rapport national du Belarus, 2006].

9. Le niveau de Cs-137 absorbé est en corrélation avec l'incidence des cataractes chez les enfants du district de Vetka, de la province de Gomel [Bandajevsky, 1999].

Tableau 5.51. Incidence des cataractes (pour 1 000*) au Belarus de 1993 à 1995 [Matsko, 1999 ; Goncharova, 2000]

Année	Belarus	Territoires contaminés, Ci/km ²		Évacué(e)s
		1-15	> 15	
1993	136	190	226	355
1994	146	196	366	425
1995	147	n/a	n/a	443

* dans le texte original de Matsko (1999), il est indiqué « pour 100 000 », certainement par erreur [A.Y.]

10. De 1993 à 1995, les cataractes ont été nettement plus fréquentes dans les territoires les plus contaminés et chez les personnes évacuées que dans l'ensemble de la population (Tableau 5.51).

11. Les maladies oculaires étaient plus fréquentes dans les districts les plus contaminés de la province de Gomel et comprenaient des cataractes, une dégénérescence vitreuse et des anomalies de la réfraction [Bandajevsky, 1999].

12. Les cataractes bilatérales ont été plus fréquentes dans les territoires les plus contaminés (54 contre 29% chez les groupes témoins) [Arynychin et Ospennikova, 1999].

13. L'opacification du cristallin se produit plus fréquemment dans les territoires les plus contaminés (Tableau 5.52) et est corrélée avec le niveau de Cs-137 incorporé (Figure 5.11).

Tableau 5.52. Incidence (%) des opacités des deux cristallins chez les enfants vivant dans des territoires contaminés à divers niveaux en 1992 [Arynychin et Ospennikova, 1999]

	Incidence des opacités, %		
	1-5	6-10	> 10
Province de Brest, 137-377 kBq/m ² (n = 134)	57,5	17,9	6,7
Province de Vitebsk, 3,7 kBq/m ² (n = 92)	60,9	7,6	1,1

14. Une augmentation de l'incidence des accidents vasculaires et des dystrophies de l'œil (généralement combinés à une pathologie neuro-vasculaire) a été constatée chez les liquidateurs (227 examinés) ainsi que dans la population de territoires plus contaminés [Petrunya *et al.*, 1999].

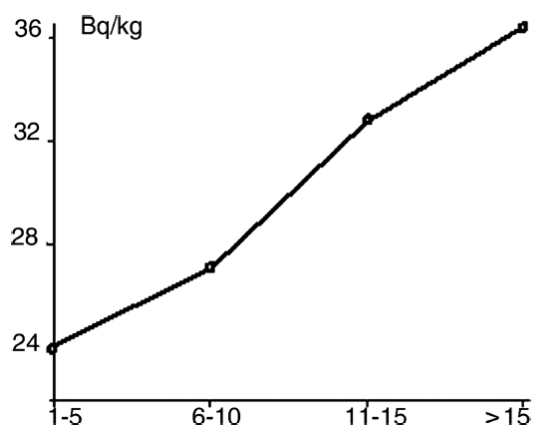


Figure 5.11. Nombre d'opacités bilatérales des cristallins et niveau de Cs-137 incorporé chez les enfants biélorusses [Arynychin et Ospennikova, 1999]

15. Jusqu'en 1996, l'incidence des cataractes chez les évacués biélorusses de la zone des 30 km a plus que triplé par rapport à celle de l'ensemble de la population : 443 comparés à 147 pour 1 000 [Matsko 1999] (*dans le texte original de Matsko (1999), il est indiqué « pour 100 000 », certainement par erreur. A.Y.*).

16. De 1993 à 2003, la morbidité de la cataracte a augmenté de 6% par an parmi les liquidateurs hommes [Rapport national du Belarus, 2006].

5.8.2.2. Ukraine

1. Une enquête auprès des femmes enceintes, des patientes de maternités, des nouveau-nés et des enfants dans les territoires contaminés du district de Polésie, de la province de Kiev (contamination du sol par le Cs-137 de 20 à 60 Ci/km²), a montré une augmentation du nombre des défauts de développement des organes des sens, y compris les cataractes congénitales chez les nouveau-nés [Koulakov *et al.*, 2001].

2. Les troubles de l'ouïe sont présents chez plus de 54% des habitants des territoires contaminés, un niveau sensiblement plus élevé que celui de l'ensemble de la population [Zabolotny *et al.*, 2001].

3. En 1991, un groupe de 512 enfants de 7 à 16 ans a été examiné dans quatre villages du district d'Ivankov, de la province de Kiev.

Des pathologies typiques du cristallin ont été détectées chez 51% des personnes examinées, et l'incidence des pathologies du cristallin a été plus élevée dans les villages à niveau de

contamination des sols plus élevé. Des pathologies atypiques du cristallin ont été observées chez 61 enfants (densité des couches sous-capsulaires postérieures, assombrissement sous la forme de petites taches et de points entre la capsule postérieure et le noyau et vacuoles) et elles étaient très fortement corrélées ($r = 0,992$) avec les niveaux moyen et maximum de la contamination des sols. En 1995, l'incidence des pathologies atypiques du cristallin a nettement augmenté, atteignant 34,9% dans les villages où la contamination moyenne des sols dépassait 2 Ci/km². Chez deux jeunes filles (qui avaient des modifications précoces de la densité de la couche corticale en 1991), on a diagnostiqué une vision obscurcie, ce qui suggère le développement de cataractes dégénératives [Fedirko et Kadoshnykova, 2007].

4. Entre 1992 et 1998, les enfants de la ville d'Ovroutch (contamination du sol par le Cs-137 de 185 à 555 kBq/m²) avaient des modifications subcliniques du cristallin significativement plus élevées – 234 pour 1 000, sur 461 examinés – que les enfants de la ville de Boyarka (contamination du sol en Cs-137 de 37 à 184,9 kBq/m²) – 149 pour 1 000, sur 1 487 examinés –. À Ovroutch, l'incidence de la myopie et de l'astigmatisme a été très supérieure [Fedirko et Kadoshnykova, 2007].

5. Les enfants qui ont été exposés avant l'âge de 5 ans ont davantage de problèmes d'accommodation oculaire [Burlak *et al.*, 2006].

6. Les personnes des territoires contaminés et les liquidateurs avaient une dégénérescence prématurée et des modifications dystrophiques des yeux, un développement de maladies vasculaires oculaires, une augmentation de l'incidence de dégénérescence chorioretinienne telle que la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) et des tumeurs bénignes des paupières. La dégénérescence chorioretinienne centrale avec des symptômes cliniques de DMLA a été la plus fréquente des pathologies rétiniennes différées : $136,5 \pm 10,7$ pour 1 000 en 1993 et $585,7 \pm 23,8$ pour 1 000 en 2004. Les cataractes dégénératives ont augmenté, passant de $294,3 \pm 32,0$ pour 1 000 en 1993 à $766,7 \pm 35,9$ pour 1 000 en 2004 [Fedirko, 2002 ; Fedirko et Kadoshnykova, 2007].

7. Des personnes des territoires contaminés et des liquidateurs avaient une diminution marquée de l'accommodation oculaire [Sergienko et Fedirko, 2002].

8. Dans les territoires fortement contaminés, parmi les 841 adultes examinés de 1991 à 1997, les pathologies de la rétine, les cataractes dégénératives, la conjonctivite chronique et la dégénérescence vitreuse ont été observées plus souvent que dans les zones moins contaminées et des cataractes ont été observées chez des personnes de moins de 30 ans, ce qui n'a jamais été observé dans les zones moins contaminées [Fedirko et Kadochnykova, 2007].

9. L'occurrence de cataractes dégénératives dans les territoires contaminés a augmenté de 2,6 fois de 1993 à 2004 : de $294,3 \pm 32,0$ à $766,7 \pm 35,9$ pour 1 000 [Fedirko, 1999].

10. Une pathologie des yeux a été diagnostiquée chez 1 405 personnes évacuées parmi les 5 301 examinées. Une cataracte était découverte dans un cas sur quatre d'autres pathologies de l'œil [Buzunov *et al.*, 1999].

11. Deux nouveaux syndromes ont été observés chez les liquidateurs et chez les habitants des territoires contaminés :

- le syndrome du réseau de diffraction, dans lequel des taches d'exsudat sont éparpillées sur la partie centrale de la rétine. Ceci a été observé chez les liquidateurs qui se sont trouvés en vue directe du cœur mis à nu du quatrième réacteur [Fedirko, 2002] ;
- le syndrome du châtaignier naissant, ainsi nommé en raison de sa forme en feuille de châtaignier, s'exprime par une nouvelle choriorétinopathie, des modifications des vaisseaux de la rétine avec des microanévrismes multiples, des dilatations et des sacs dans les veines rétinienne autour de la macula [Fedirko, 2000].

12. De 1993 à 2004, chez les liquidateurs, la fréquence de la dégradation choriorétinienne centrale a augmenté de 4,3 fois, passant de $136,5 \pm 10,7$ à $585,7 \pm 23,8$ pour 1 000 [Buzunov et Fedirko, 1999].

13. L'incidence de la cataracte a été nettement plus élevée chez les liquidateurs hommes que chez les liquidateurs femmes [Ruban, 2001].

14. La pathologie rétinienne a été nettement plus élevée que la norme chez les enfants de 2 002 liquidateurs nés après la catastrophe et examinés entre 1999 et 2006 [Fedirko et Kadoshnykova, 2007].

15. Un suivi de 9 481 liquidateurs (96% d'hommes, 4% de femmes) ayant reçu des

doses diverses au cours de leurs interventions sur la centrale de Tchernobyl a démontré que des cataractes surviennent à des doses d'irradiation 10 fois plus faibles qu'on ne l'estimait auparavant [Koundiev *et al.*, 2006].

5.8.2.3. Russie

1. Une enquête auprès des femmes enceintes, des patientes de maternités, des nouveau-nés et des enfants dans les districts de Mtsensk et de Bolkhov, de la province d'Orel, contaminés par le Cs-137 à des niveaux de 1-5 et 10-15 Ci/km², a révélé une augmentation du nombre des troubles du développement des organes des sens, y compris les cataractes congénitales chez les nouveau-nés [Koulakov *et al.*, 2001].

2. Un total de 6,6% de 182 liquidateurs examinés avaient une cataracte [Lyubchenko et Agal'tsev, 2001].

3. Plus de 52% de 500 liquidateurs examinés avaient des anomalies vasculaires rétinienne [Nykyforov et Eskin, 1998].

4. Environ 11,3% des liquidateurs de moins de 40 ans avaient une cataracte, une incidence de 47 fois supérieure à celle d'un même groupe d'âge pris dans l'ensemble de la population ; 4,7% avaient un glaucome [Nykyforov et Eskin, 1998].

5. Entre 46 et 69% des liquidateurs surveillés avaient des troubles auditifs [Zabolotny *et al.*, 2001 ; Klymenko *et al.*, 1996]. Les liquidateurs souffrent de défauts dans les différentes parties du système auditif qui aboutissent à une perte progressive de l'audition, un assourdissement et des acouphènes [Zabolotny *et al.*, 2000].

6. L'audiométrie haute fréquence a révélé que la plupart des anomalies survenaient chez des liquidateurs présentant des problèmes de surdité [Kureneva et Shidlovskaya, 2005].

5.8.2.4. Autres pays

1. ISRAËL. Un suivi sur 2 ans des immigrants de l'ancienne Union Soviétique en Israël a révélé que la proportion des personnes déclarant des problèmes chroniques visuels et des problèmes d'audition était statistiquement plus élevée chez les immigrants provenant de territoires contaminés (304 personnes) que chez les immigrants de zones non contaminées (217 personnes) et d'autres secteurs (216 personnes) [Cwikel *et al.*, 1997].

2. NORVÈGE. Les cataractes chez les nouveau-nés sont survenues deux fois plus souvent 1 an après la catastrophe [Irgens *et al.*, 1991].

5.8.3. Conclusion

Il y a peu de doute que les dommages organiques spécifiques dans les systèmes nerveux central et périphérique affectant différents critères cognitifs, comme cela a été observé chez les personnes en provenance des territoires contaminés et chez les liquidateurs, ne soient directement liés aux radiations nucléaires de Tchernobyl. À des degrés divers, ces conditions affectent tous les liquidateurs et pratiquement toutes les personnes vivant dans les territoires contaminés.

Parmi les conséquences des dommages dans le système nerveux causés par la catastrophe de Tchernobyl, on trouve des troubles cognitifs, émotionnels et comportementaux. Les effets indésirables comprennent également des anomalies neurophysiologiques chez les personnes exposées durant la période prénatale, des anomalies neurophysiologiques, neuropsychologiques et en neuro-imagerie chez les liquidateurs. Ces dernières se manifestent en tant que dysfonction frontotemporale limbique gauche, syndrome schizophréniforme, syndrome de fatigue chronique en combinaison avec le stress psychologique, signes de schizophrénie et troubles connexes.

Ce n'est qu'après 2000 que les autorités médicales ont commencé à reconnaître l'origine radiogénique d'une augmentation générale de la cataracte chez les liquidateurs et les personnes évacuées des territoires de Tchernobyl.

La reconnaissance officielle a eu lieu 10 ans (!) après que les médecins ont commencé à sonner l'alarme et 13 ans après que le problème a été enregistré pour la première fois.

5.9. Maladies du système digestif et des organes internes

Les pathologies des organes du système digestif figurent parmi les causes majeures de l'accroissement de la morbidité dans les territoires contaminés. Distinguer la composante radiative est plus difficile dans ces pathologies que dans la majorité des autres causes de maladies. Pourtant, globalement, les données sur l'ensemble des territoires contaminés fournissent des arguments pour conclure à l'influence du surplus d'irradiation causé par les retom-

bées radioactives de Tchernobyl sur les affections des organes internes.

5.9.1. Belarus

1. Le nombre de malformations des organes digestifs chez les nouveau-nés a augmenté dans les territoires contaminés [Koulakov *et al.*, 2001].

2. Les cas de gastrite chronique ont doublé dans la province de Brest en 1996 par rapport à 1991. En 1996, dans le district de Stolone (secteur particulièrement lourdement contaminé de la province de Brest), la fréquence de cette maladie a plus que quadruplé par rapport à 1991. En 1996, son incidence était jusqu'à trois fois plus élevée chez les enfants des territoires fortement contaminés que chez ceux des zones moins contaminées [Gordeiko, 1998].

3. Sur 135 jeunes (de 14 à 17 ans) évacués de la ville de Braguine et des territoires fortement contaminés du district de Stolone, de la province de Brest, 40% souffraient de maladies gastro-intestinales [Belyaeva *et al.*, 1996].

4. Chez les enfants de 4 à 9 ans habitant dans des territoires fortement radiocontaminés, on observe plus fréquemment des caries, une hypoplasie de l'émail dentaire et une malocclusion [Smolyar et Prichko, 1995 ; Arabskaya *et al.*, 2006].

5. Sur 2 535 personnes examinées en 1996, les maladies du système digestif étaient la première cause de morbidité générale chez les adolescents évacués (556 pour 1 000) [Syvolobova *et al.*, 1997].

6. La morbidité du système digestif est passée de 4,6% en 1986 à 83,5% en 1994. Elle était la seconde cause de morbidité générale des enfants dans le district de Louninets, de la province de Brest [Voronetsky *et al.*, 1995].

7. Chez 1 033 enfants examinés dans les territoires très contaminés de 1991 à 1993, il y avait une incidence significativement plus élevée de caries graves et une résistance réduite de l'émail des dents à l'acidité [Mel'nikhenko et Cheshko, 1997].

8. Les maladies gastro-intestinales supérieures chroniques ont été fréquentes chez les enfants des liquidateurs [Arynychin *et al.*, 1999].

9. La pathologie de l'appareil gastro-intestinal est associée à des modifications morphologiques et fonctionnelles de la glande thyroïde chez les enfants des territoires conta-

minés par le Cs-137 à des niveaux de 1 à 15 Ci/km² [Kapytonova *et al.*, 1996].

10. Les maladies digestives chez les adultes et les liquidateurs sont plus fréquentes dans les territoires contaminés. De 1991 à 1996, les ulcères de l'estomac ont augmenté de 9,6% parmi la population, tandis que chez les liquidateurs l'augmentation était de 46,7% [Kondratenko, 1998].

11. En 1995, l'incidence des maladies du système digestif chez les liquidateurs et les évacués des territoires contaminés était de 4,3 fois (liquidateurs) et 1,8 fois (évacués) plus élevée que dans l'ensemble de la population du pays : respectivement 7 784, 3 298 et 1 817 pour 100 000 [Matsko, 1999].

12. Dix ans après la catastrophe, les maladies digestives étaient quatre fois plus fréquentes chez les liquidateurs que dans la population adulte du pays [Antypova *et al.*, 1997a].

13. De 1991 à 2001, les maladies du système digestif chez les liquidateurs ont augmenté de 1,65 fois [Borisevich et Poplyko, 2002].

14. Sur 2 653 adultes et adolescents examinés, l'incidence de l'hépatite aiguë B, de l'hépatite chronique C et des cirrhoses hépatiques a été bien plus élevée dans les territoires fortement contaminés de la province de Gomel que dans les territoires moins contaminés de la province de Vitebsk. En 1996, l'incidence de ces maladies a nettement augmenté, avec une hépatite chronique chez les liquidateurs 1,6 fois plus élevée qu'entre 1988 et 1995 [compte-rendu de l'Institut de la médecine des radiations, 1996].

5.9.2. Ukraine

1. Le nombre de maladies du système digestif chez les enfants a sensiblement augmenté dans les 2 premières années après la catastrophe [Stepanova, 1999 ; et d'autres].

2. L'incidence des maladies digestives chez les enfants était en corrélation avec le niveau de contamination du secteur [Baida et Zhirnosekova, 1998].

3. Une poussée prématurée des dents a été observée chez les filles nées de mères irradiées pendant l'enfance [Tolkach *et al.*, 2003].

4. Dès l'âge de 1 an, les caries dentaires sont plus fréquentes chez les garçons et les filles des territoires contaminés [Tolkach *et al.*, 2003].

5. La morbidité de l'appareil digestif chez les enfants a plus que doublé de 1988 à 1999 :

4 659 par rapport à 10 122 pour 10 000 [Korol *et al.* 1999 ; Romanenko *et al.*, 2001].

6. Les enfants irradiés *in utero*, dans les territoires contaminés après la catastrophe, avaient une incidence bien plus élevée de pathologies de l'appareil gastro-intestinal que les groupes témoins : 18,9 contre 8,9% [Stepanova, 1999].

7. Chez les enfants vivant dans les zones contaminées à un niveau de 5-15 kBq/m², une atrophie de la muqueuse gastrique est apparue cinq fois plus souvent et une métaplasie intestinale deux fois plus souvent que dans un groupe témoin [Burlak *et al.*, 2006].

8. En 1987 et 1988, les maladies fonctionnelles du tube digestif étaient très courantes chez les enfants de personnes évacuées et, de 1989 à 1990, les allergies, les syndromes dyspeptiques et les problèmes biliaires étaient omniprésents [Romanenko *et al.*, 1995].

9. L'ulcère gastroduodénal, la cholécystite chronique, les calculs biliaires et la pancréatite ont été nettement plus fréquents chez les habitants des territoires soumis aux niveaux de contamination les plus élevés [Yakymenko, 1995 ; Komarenko *et al.*, 1995].

10. De 1993 à 1994, les maladies du système digestif étaient au deuxième rang de la morbidité globale [Antypova *et al.*, 1995].

11. Les maladies du foie, de la vésicule biliaire et du pancréas se sont multipliées en 1993 et 1994 dans les territoires fortement contaminés [Antypova *et al.*, 1995].

12. Dans la biocénose intestinale d'enfants évacués (suivis), s'est produit un changement dans les proportions des principaux représentants du microbiote commensal normal (*Bacillus intestinalis*, *Bifidobacterium*, hausse du pourcentage d'*Escherichia*, des espèces hémolytiques) [Tchefanova, 1996].

13. La morbidité du système digestif chez les adultes évacués dépasse considérablement celle de la population totale du pays [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

14. En 1996, la morbidité du système digestif des habitants des territoires soumis à une contamination supérieure à 15 Ci/km² était nettement plus élevée que la moyenne nationale (281 contre 210 cas pour 1 000) [Grodzinsky, 1999].

15. Seulement 9% des liquidateurs examinés en 1989 et 1990 avaient un estomac et des muqueuses duodénales normaux [Yakymenko, 1995].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

16. L'incidence des ulcères de l'estomac chez les liquidateurs ukrainiens en 1996 dépassait de 3,5 fois la moyenne du pays [Serdyuk et Bobyleva, 1998].

17. En 1990, on a trouvé des ulcères et une érosion gastrique chez 60,9% des liquidateurs [Yakymenko, 1995].

18. Après la catastrophe, des anomalies du pancréas ont été diagnostiquées par échographie chez les liquidateurs (Tableau 5.53).

Tableau 5.53. Anomalies du pancréas dépistées par échographie chez les liquidateurs ukrainiens hommes (% des personnes examinées) [Komarenko et al., 2002 ; Komarenko et Polyakov, 2003]

	1987-1991	1996-2002
Épaississement	31	67
Augmentation de la densité d'écho	54	81
Modification structurelle	14	32
Modification du contour	7	26
Modification capsulaire	6	14
Dilatation du canal pancréatique	4	10
Total des anomalies sur échographies	37,6 (1987)	87,4 (2002)

19. Au cours des 7-8 ans après la catastrophe, 60% des liquidateurs examinés ont eu une pathologie chronique du système digestif qui comprenait des troubles structurels, moteurs et des troubles fonctionnels de sécrétion de l'estomac. Pendant les deux premières années et demi, voire 3 ans, l'inflammation a été le symptôme le plus fréquent, suivi par les ulcères érosifs, à bas bruit et hémorragiques [Romanenko et al., 1995].

20. Au cours des 7-8 ans après la catastrophe, les liquidateurs ont eu un nombre croissant de maladies hépatobiliaires, dont la cholécystite chronique, la stéatose, l'hépatite active persistante et l'hépatite chronique [Romamenko et al., 1995].

5.9.3. Russie

1. Les enfants et les adolescents vivant dans les territoires contaminés ont une incidence considérablement plus élevée de caries dentaires [Sevbytov, 2005].

2. Dans la province de Voronej, le nombre d'odontomes chez les enfants nés après 1986 a augmenté. On trouvait plus souvent les tumeurs chez les filles et la forme complexe était la plus courante [Vorobyovskaya et al., 2006].

3. La pathologie parodontale était plus fréquente chez les enfants des territoires contaminés et survenait plus souvent chez les enfants nés après la catastrophe [Sevbytov, 2005].

4. Les enfants irradiés *in utero* dans les territoires contaminés au moment de la catastrophe sont beaucoup plus susceptibles de développer des anomalies dentaires [Sevbytov, 2005].

5. La fréquence d'apparition d'anomalies dentaires est nettement plus élevée chez les enfants des territoires les plus contaminés. Sur 236 enfants examinés nés avant la catastrophe, 32,6% avaient une dentition normale alors que sur 308 autres nés dans les mêmes territoires après la catastrophe, seulement 9,1% avaient une structure normale. Il existe des corrélations entre le nombre d'anomalies dentaires et le niveau de contamination des territoires (Tableau 5.54).

Tableau 5.54. Incidence des anomalies dentaires (%) chez les enfants des provinces* de Toula et Briansk nés avant et après la catastrophe et exposés à divers niveaux de contamination [Sevbytov et al., 1999]

	< 5 Ci/km ²	5-15 Ci/km ²	15-45 Ci/km ²	Date de naissance
Anomalies des dents	3,7	2,4	2,8	Avant 1986
	4,2	4,6	6,3	Après 1986
Difformités de la dentition	0,6	0,4	0,6	Avant 1986
	0,6	0,6	1,7	Après 1986
Occlusion	2,6	2,4	2,2	Avant 1986
	4,4	5,2	6,3	Après 1986
Norme d'âge	5,3	5,7	3,1	Avant 1986
	2,6	2,0	0,6	Après 1986

* 5 Ci/km² : ville de Donskoï, province de Toula ;

5-15 Ci/km² : ville d'Uzlovaya, province de Toula ;

15-45 Ci/km² : ville de Novozybkov, province de Briansk.

6. L'incidence des maladies générales et primitives du système digestif chez les enfants des districts très contaminés de la province de Briansk est sensiblement plus élevée que la moyenne de la province et de la Russie dans son ensemble (Tableaux 5.55 et 5.56).

7. En général, la morbidité du système digestif chez les adultes a augmenté dans la majorité des districts très contaminés de la province de Briansk (sauf dans le district de Krasnogorsk). Cette augmentation a eu lieu dans un contexte de réduction de la morbidité dans la province et dans toute la Russie (Tableau 5.57).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.55. Morbidité globale du système digestif (pour 1 000) chez les enfants des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Sud-ouest*	182,9	163,5	153,6	154,7
Province	94,5	88,9	90,9	91,0
Russie	114,9	115,6	114,9	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

Tableau 5.56. Morbidité primitive du système digestif (pour 1 000) chez les enfants des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.2]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Sud-ouest*	103,5	81,7	84,2	83,1
Province	51,8	42,9	46,7	42,3
Russie	58,1	60,2	56,4	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

Tableau 5.57. Morbidité générale du système digestif (pour 1 000) chez les adultes des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999a : tableau 5.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Klimovo	88,6	98,5	84,9	157,3
Novozybkov	79,6	76,7	88,6	92,4
Klintsy	118,0	143,8	89,0	155,9
Krasnogorsk	90,7	74,0	46,3	57,9
Zlynka	65,8	72,2	78,1	82,8
Gordeyevka	52,9	74,8	91,2	92,0
Sud-ouest*	79,7	95,6	88,0	105,0
Province	69,0	65,6	63,2	64,4
Russie	97,3	93,8	91,5	n/a

*Tous les districts fortement contaminés

8. La morbidité de l'appareil digestif chez les liquidateurs a augmenté de 74 fois sur une période de 8 ans (Tableau 5.58).

Tableau 5.58. Morbidité du système digestif (pour 10 000) chez les liquidateurs russes [Baleva et al., 2001]

Année	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Nombre de cas	82	487	1 270	2 350	3 210	4 200	5 290	6 100

9. Le Registre national russe a signalé une morbidité du système digestif chez les liquidateurs de 1991 à 1998 nettement plus élevée que dans les classes d'âge équivalentes du pays : 737 contre 501 pour 10 000 [Byryukov et al., 2001].

10. Des modifications pathologiques ultra-structurelles du tractus digestif ont été observées chez les liquidateurs : diminution de l'activité et cellules épithéliales indifférenciées dans le duodénum, lésions des endothéliocytes dans les micro-vaisseaux de l'estomac et fibrose de la membrane muqueuse gastrique [Sosyutkin et al., 2004 ; Ivanova, 2005].

11. La morbidité du système digestif représentait 28,2% des 901 pathologies rencontrées chez 182 liquidateurs. 87,9% des liquidateurs souffraient de gastrite chronique et de gastro-duodénite (souvent de type érosif) ; 33,4% présentaient une destruction superficielle de la couverture muqueuse de la jonction gastroduodénale, soit six à huit fois plus que la norme [Lyubchenko et Agal'tsev, 2001].

12. Sur 118 liquidateurs examinés, 60,2% ont des modifications structurelles du pancréas ; 40,6% ont des modifications du foie et 29% ont un épaississement de la paroi de la vésicule biliaire [Noskov, 2004].

13. La morbidité de l'appareil digestif chez les liquidateurs et dans la population des territoires contaminés de la province de Briansk a nettement augmenté de 1994 à 1998, ce qui est particulièrement significatif dans le contexte d'une diminution dans la province et dans l'ensemble de la Russie (Tableau 5.59).

Tableau 5.59. Morbidité générale du système digestif chez les liquidateurs et la population adulte des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1994 à 1998 (pour 1 000) [Fetysov, 1999a : tableau 4.1]

Groupe / territoire	Nombre de cas				
	1994	1995	1996	1997	1998
Liquidateurs	24,7	45,7	63,0	52,3	346,4
Sud-ouest*	54,2	523,0	88,7	78,4	269,0
Province	71,8	69,0	65,6	63,2	64,4
Russie	95,8	97,3	91,5	91,5	n/a

* Toute la zone fortement contaminée

14. Dix ans après la catastrophe, une rapide augmentation des maladies des organes digestifs chez les liquidateurs est apparue, en même temps que des maladies de l'appareil circulatoire, des os et des maladies musculaires (Figure 5.12). La baisse des diagnostics de dystonie vasculaire végétative a transformé cette constellation de maladies en une maladie organique plus grave : la pathologie dite dyscirculatoire.

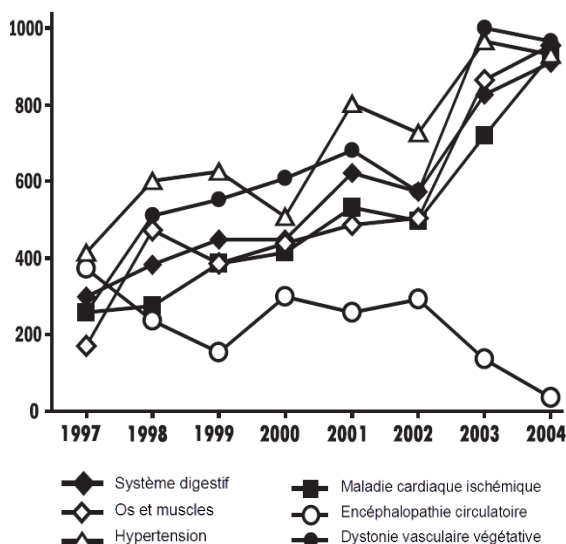


Figure 5.12. Maladies des systèmes digestif, circulatoire, osseux et musculaire chez les liquidateurs de la ville et la province de Moscou (pour 1 000) [Oradovskaya et al., 2006, 2007]

15. L'érosion pathologique de l'émail des dents est très répandue chez les liquidateurs [Pymenov, 2001].

16. Parmi 98 liquidateurs examinés, 82% ont une maladie parodontale chronique, une incidence beaucoup plus élevée que dans les groupes d'âge équivalents dans l'ensemble du pays [Druzhynyna, 2004 ; Matchenko et al., 2001].

17. Une gingivite catarrhale chronique était présente chez 18% de 98 liquidateurs examinés [Druzhynyna, 2004].

18. L'expression de la pancréatite chronique chez les liquidateurs était en corrélation avec le niveau d'irradiation et le degré de la peroxydation lipidique [Onitchenko et al., 2003].

19. La morbidité de liquidateurs de la région de Tomsk ayant souffert de maladies du système digestif durant la décennie 1993-2004 a été huit fois supérieure au niveau régional du groupe d'âge correspondant [Krayouchkina et al., 2006].

5.9.4. Conclusion

On ne peut douter de l'augmentation de l'incidence des maladies de l'appareil digestif à la suite de l'irradiation de Tchernobyl. Dans les territoires contaminés, où le Cs-137 a été facilement détecté, il était accompagné de Sr-90, qui est absorbé au cours du développement intra-utérin et se dépose dans les dents et les os. Le Sr-90 se désintègre en Y-90 en libérant une particule bêta, ce qui est préjudiciable à la dent en développement et le radionucléide qui en résulte, l'Y-90, affaiblit l'intégrité structurale de la dent.

Il y a eu une augmentation immédiate de l'incidence des maladies du tube digestif chez les liquidateurs et une augmentation du nombre de malformations digestives chez les bébés nés dans les territoires contaminés. Il semble prouvé que l'hypothèse de l'irradiation par faibles doses affecte directement d'une façon ou d'une autre la fonction de l'épithélium du tractus gastro-intestinal – et ce, pas seulement pendant le développement intra-utérin.

Considérant la nette augmentation de la morbidité du système digestif chez les enfants de parents irradiés au Japon [Furitsu et al., 1992] et de ceux de la région montagneuse de l'Oural du sud soumis à une contamination radioactive [Ostroumova, 2004], il est logique de penser que des conséquences similaires liées à l'irradiation due à Tchernobyl auront un effet prolongé dans les territoires où persistent les conditions radioactives.

5.10. Maladies de la peau associées à la catastrophe de Tchernobyl

Les maladies de la peau ne reflètent pas seulement l'effet des agents irritants externes, mais aussi des maladies des organes internes et les effets des agents organiques et inorganiques incorporés.

La peau, un organe multicouches à plusieurs fonctions, est composée de l'épiderme, du derme et de diverses cellules, dont les structures kératineuses qui forment les ongles et les cheveux, les mélanocytes, les glandes sébacées et sudoripares (glandes exocrines). La peau est richement dotée en nerfs et vaisseaux sanguins. Ainsi, la peau et toutes ses composantes sous-cutanées reflètent les dommages internes affectant les vaisseaux sanguins et autres tissus de l'organisme, comme le montrent les recherches citées dans cette section.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

5.10.1. Belarus

1. En 1994, les maladies de la peau et du tissu sous-cutané ont augmenté chez les enfants de tous les territoires fortement contaminés par rapport à 1988 [Lomat' *et al.*, 1996].

2. Sur 69 enfants et adolescents admis à l'hôpital avec diverses formes d'alopécie, plus de 70% provenaient de territoires fortement contaminés [Morozevich *et al.*, 1997].

3. Dans le village d'Ivatsevitchi, du district de Louninets, province de Brest, l'incidence des maladies de la peau et du tissu sous-cutané des enfants a augmenté de 1,7 fois de 2000 à 2005 [Dudinskaya *et al.*, 2006].

4. De 1986 à 1993, l'incidence des maladies de la peau chez les 4 598 enfants examinés dans les districts de Korma et de Tchetchersk, de la province de Gomel, où la contamination par le Cs-137 était de 15 à 40 Ci/km², était nettement plus élevée que dans les districts moins contaminés [Gudkovsky *et al.*, 1995].

5. L'incidence des maladies de la peau chez les enfants âgés de 0 à 4 ans au moment de la catastrophe est nettement plus élevée dans les territoires à niveau de contamination de 15-40 Ci/km² que chez les enfants du même âge de territoires contaminés à des niveaux de 5-15 Ci/km² [Kul'kova *et al.*, 1996].

6. Au cours des 9 premières années après la catastrophe, la morbidité des tissus cutané et sous-cutané a atteint un maximum en 1993 [Blet'ko *et al.*, 1995].

5.10.2. Ukraine

1. Les maladies de la peau chez les personnes qui ont vécu de 1988 à 1999 dans les territoires fortement contaminés (évacuées ou y vivant encore) ont plus que quadruplé par rapport aux zones les moins contaminées [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

5.10.3. Russie

1. Dans les territoires contaminés, le lymphœdème sous-cutané (lymphotoxémie) a été observé chez les enfants d'âge préscolaire jusqu'à quatre fois plus souvent qu'avant la catastrophe [Koulakov *et al.*, 2001].

2. De 1995 à 1998, l'incidence de toutes les maladies primitives de la peau chez les enfants des territoires fortement contaminés a été bien plus élevée que dans la province et dans toute la Russie (Tableaux 5.60 et 5.61).

Tableau 5.60. Ensemble des maladies de la peau chez les enfants (pour 1 000) des territoires du sud-ouest de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Sud-ouest*	111,3	105,9	102,1	83,3
Province	83,4	78,3	78,3	76,2
Russie	81,9	84,6	86,0	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

Tableau 5.61. Maladies primitives de la peau chez les enfants (pour 1 000) des territoires du sud-ouest de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.2]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Sud-ouest*	88,5	89,2	95,7	74,8
Province	71,7	69,6	65,3	63,2
Russie	73,1	71,3	68,6	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

3. Une pathologie dermatologique a été trouvée chez 60% des enfants et des adolescents du district de Gordeyevka, province de Briansk, qui est l'un des plus contaminés [Kysleeva et Mozzherova, 2003].

4. En 1996, la morbidité générale de la peau chez l'adulte dans les territoires fortement contaminés de la province de Briansk correspond aux paramètres de l'ensemble de la province (Tableaux 5.62 et 5.63).

Tableau 5.62. Ensemble des maladies de la peau chez les adultes (pour 1 000) des territoires du sud-ouest de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999a : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Sud-ouest*	60,3	67,4	61,4	58,6
Province	68,5	62,4	53,0	54,0
Russie	50,4	48,9	46,3	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

5. L'incidence des maladies cutanées et sous-cutanées chez les liquidateurs a augmenté 6 ans après la catastrophe et, en 1992, elle a dépassé de plus de 16 fois le niveau de 1986 (Tableau 5.64).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.63. Maladies primitives de la peau chez les adultes (pour 1 000) des territoires du sud-ouest de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999a : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Sud-ouest*	50,9	52,5	51,5	45,4
Province	54,1	50,2	42,2	45,0
Russie	40,6	38,7	36,7	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

6. Les pathologies cutanées constatées chez les liquidateurs comprenaient un épaississement des couches cornées et subcellulaires de

l'épiderme, un œdème endothélial, un infiltrat lymphocytaire inflammatoire accompagné d'une panvascularite active de la plupart des petites artères ; les résultats étaient en corrélation avec le niveau de la charge de rayonnement [Porovsky *et al.*, 2005].

7. Chez les 97% de liquidateurs qui ont développé un psoriasis après la catastrophe, ce psoriasis a toujours été associé à une atteinte fonctionnelle du système nerveux et des troubles gastro-intestinaux [Malyuk et Bogdantsova, 2001].

Indubitablement, la période post-Tchernobyl a vu une augmentation des maladies cutanées et sous-cutanées chez les enfants et les liquidateurs.

Tableau 5.64. Malformations de la peau et des tissus sous-cutanés chez les liquidateurs russes (pour 10 000) [Baleva *et al.*, 2001]

Année	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Nombre de cas	46	160	365	556	686	747	756	726

5.11. Infections et infestations parasitaires

Les rayonnements ionisants sont un puissant facteur mutagène (voir la [Section 5.2](#) ci-dessus pour plus de détails). Les nuages de Tchernobyl ont relâché un puissant cocktail de radionucléides sur l'ensemble de l'Hémisphère Nord (voir [Partie I](#) pour plus de détails). La contamination par des radionucléides de Tchernobyl a touché la flore et la faune microbienne ainsi que d'autres de nos symbiotes (parasites et commensaux) et a modifié notre communauté biologique (voir [Partie III. Chapitre 11](#)).

Il existe des preuves de l'augmentation de l'incidence et de la gravité des maladies caractérisées par des toxicoses intestinales, des gastro-entérites, des infections bactériennes, des hépatites virales et des virus respiratoires dans les zones contaminées par des radionucléides de Tchernobyl [Batyan et Kozharskaya, 1993 ; Kapytonova et Kryvitskaya, 1994 ; Nesterenko *et al.*, 1993 ; Busuet *et al.*, 2002 ; et d'autres]. L'instabilité génétique a nettement augmenté dans les territoires contaminés et a abouti à une sensibilité accrue aux virus et à d'autres types d'infections [Vorobtsova *et al.*, 1995].

5.11.1. Belarus

1. L'activation du virus de l'herpès dans les territoires très contaminés de la province de Gomel a provoqué une augmentation du taux de mortalité intra-utérine et des nourrissons [Matveev *et al.*, 1995].

2. Une incidence accrue d'infestation (trichocéphalose) par le trichocéphale (*Trichocephalus trichiurus*) était corrélée à la densité de contamination radioactive dans les provinces de Gomel et de Moguilev [Stepanov, 1993].

3. Dans le village d'Ivatsevitchi, du district de Louninets, province de Brest, l'apparition de maladies infectieuses et de maladies parasitaires chez les enfants a augmenté de 1,54 fois de 2000 à 2005 [Dudinskaya *et al.*, 2006].

4. Sur 135 enfants vivant dans les territoires contaminés du district de Stoline et de la ville de Braguine qui ont été examinés de 1993 à 1995, 20% avaient des infections urogénitales chroniques [Belyaeva *et al.*, 1996].

5. Les données sur 1 026 046 femmes enceintes des territoires contaminés au-delà de 1 Ci/km² ont montré que l'incidence de l'infection puerpérale (septicémie) dans les territoires fortement contaminés a été bien plus élevée

que dans les zones moins contaminées [Busuet *et al.*, 2002].

6. En 1994, les nouveau-nés de mères des territoires du district de Tchettersk, de la province de Gomel, contaminés à un niveau de 5 à 70 Ci/km² avaient des infections congénitales 2,9 fois plus fréquentes qu'avant la catastrophe [Koulakov *et al.*, 1997].

7. En 1993, les femmes atteintes d'herpès gestationnel dans la province de Gomel, où la contamination par le Cs-137 était supérieure à 15 Ci/km², ont subi une mortalité des nourrissons 8,6 fois supérieure à celle des territoires moins contaminés [Matveev *et al.*, 1995].

8. Chez 784 enfants d'âge préscolaire examinés de 1986 à 1991 dans les territoires à niveaux de contamination de 15 à 40 Ci/km², les infections et les infestations ont été nettement plus élevées que chez les enfants de territoires à niveau de contamination de 5 à 15 Ci/km², où 1 057 enfants ont été examinés [Gutkovsky *et al.*, 1995 ; Blet'ko *et al.*, 1995].

9. La tuberculose a été plus virulente dans les zones plus contaminées [Chernetsky et Osynovsky, 1993 ; Belookaya, 1993].

10. Pendant la période 1991-1995, l'incidence de la tuberculose a sérieusement augmenté dans les zones fortement contaminées de la province de Gomel, où il y eut des formes résistantes aux médicaments et un « rajeunissement » de la maladie [Borschevsky *et al.*, 1996].

11. Dans les provinces de Gomel et de Moguilev, le niveau d'infestation par le cryptosporidium était nettement plus élevé : 4,1 contre 2,8% dans les groupes témoins [Lavdovskaya *et al.*, 1996].

12. De 1993 à 1997, dans la province de Vitebsk, la persistance de l'hépatite infectieuse parmi les adultes et les adolescents vivant dans le secteur contaminé de 1 à 5 Ci/km² a été sensiblement plus élevée que dans les groupes témoins vivant dans le secteur contaminé à un niveau inférieur à 1 Ci/km² [Zhavoronok *et al.*, 1998a].

13. Six à sept ans après la catastrophe, les maladies dues à des virus herpétiques dans les territoires fortement contaminés de Gomel et dans la province de Moguilev ont doublé par rapport au reste du pays [Matveev, 1993].

14. Un déclenchement d'infections à cytomégalovirus chez les femmes enceintes a été constaté dans les districts très contaminés des provinces de Gomel et de Moguilev [Matveev, 1993].

15. Dans tous les territoires fortement contaminés, il y a eu une activation des virus herpétiques [Voropaev *et al.*, 1996].

16. Dans la province de Gomel, les hépatites B et C chez les adultes et les adolescents ont fortement augmenté après 1986. Sur 2 653 personnes examinées, l'incidence est passée de 17,0 cas pour 100 000 en 1986 à 35,0 en 1990 [Zhavoronok *et al.*, 1998b].

17. Chez 2 814 personnes examinées, l'incidence des marqueurs spécifiques de l'hépatite virale HBsAg, anti-HBc et anti-VHC était nettement plus élevée chez les liquidateurs et les personnes évacuées que chez les habitants des districts moins contaminés de la province de Vitebsk [Zhavoronok *et al.*, 1998a].

18. De 1988 à 1995, l'hépatite chronique chez les liquidateurs (1 626 personnes examinées) est passée de 221 à 349 pour 10 000 [Zhavoronok *et al.*, 1998b].

5.11.2. Ukraine

1. En 1995, les maladies infectieuses et parasitaires chez les enfants étaient plus de cinq fois plus fréquentes dans les territoires fortement contaminés que dans les zones moins contaminées. En 1988, ces territoires ne différaient pas en termes d'occurrence de ces maladies [Baida et Zhirnosekova, 1998].

2. Des infections congénitales chez des nouveau-nés du district de Polésie, de la province de Kiev, contaminé à un niveau de 20-60 Ci/km², sont apparues 2,9 fois plus souvent qu'avant la catastrophe [Koulakov *et al.*, 1997].

3. L'incidence des infections des reins chez les adolescents a considérablement augmenté après la catastrophe et était en corrélation avec le niveau de contamination [Karpenko *et al.*, 2003].

5.11.3. Russie

1. Les décès dus aux maladies infectieuses chez les nourrissons étaient nettement corrélés avec l'irradiation *in utero* [Ostroumova, 2004].

2. Les infections des nourrissons sont nettement plus élevées dans trois des districts les plus contaminés de la province de Kalouga [Tsyb *et al.*, 2006a].

3. L'incidence des infections entraînant la mort des enfants dans les districts fortement contaminés de la province de Kalouga avait triplé, 15 ans après la catastrophe [Tsyb *et al.*, 2006].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

4. Une forte hausse de l'infestation par le cryptosporidium (8% contre 4% chez les groupes témoins) s'est produite dans la province de Briansk [Lavdovskaya *et al.*, 1996].

5. Le nombre de cas de pneumonie a été sensiblement plus élevé chez les enfants dans les territoires très contaminés de la province de Briansk (56 contre 30% chez les groupes témoins) [Lavdovskaya *et al.*, 1996].

6. Dans les années 1986-1993, l'incidence des maladies infectieuses et parasitaires chez les enfants de 0 à 4 ans au moment de la catastrophe était bien plus élevée dans les territoires à niveaux de contamination de 15 à 40 Ci/km² que chez les enfants du même âge dans les territoires contaminés à un niveau de 5 à 15 Ci/km² [Kul'kova *et al.*, 1996].

7. Les infections congénitales chez les nouveau-nés de mères venant des territoires très contaminés des districts de Mtsensk et Bolkhov, province d'Orel, à des niveaux de 1-5 et 10-15 Ci/km², sont apparues 2,9 fois plus souvent qu'avant la catastrophe [Koulakov *et al.*, 1997].

8. De 1995 à 1998, l'incidence globale des maladies infectieuses et parasitaires dans les territoires fortement contaminés de la province de Briansk a été plus élevée en 1995 et supérieure à l'incidence de la province dans son ensemble (Tableau 5.65).

Tableau 5.65. Maladies infantiles infectieuses et parasitaires (pour 1 000) des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Sud-ouest*	128,3	112,3	99,0	94,8
Province	104,1	79,0	68,8	71,6
Russie	121,6	107,4	102,7	n/a

* Tous les districts fortement contaminés

9. La prévalence et la gravité de la maladie de Gruby (la teigne), causée par la microsporie *Microsporum* sp., a été nettement plus élevée dans les zones fortement contaminées de la province de Briansk (Tableau 5.66).

10. Un an après la catastrophe, les maladies infectieuses et les maladies parasitaires étaient la première cause de maladie chez les militaires qui avaient été liquidateurs [Nedoborsky *et al.*, 2004].

11. Des virus herpétiques et le cytomégalo-virus ont été trouvés dans 20% des échantillons d'éjaculat de 116 liquidateurs examinés [Evdo-kymov *et al.*, 2001].

Tableau 5.66. Incidence (pour 100 000) de la maladie de Gruby (teigne) dans la province de Briansk de 1998 à 2002 [Rudnitsky *et al.*, 2003]

Année	Districts fortement contaminés	Districts moins contaminés
1998	56,3	32,8
1999	58,0	45,6
2000	68,2	52,9
2001	78,5	34,6
2002	64,8	23,7

5.11.4. Autres pays

OUZBÉKISTAN. Chez des liquidateurs de Tachkent (1988 : 960 personnes, 2006 : 522 personnes ; 99,4% d'hommes, âgés en moyenne de 57 ans en 2006), on a fréquemment observé une augmentation de la morbidité sous la forme d'hépatite chronique 10 ans après la catastrophe : 258 cas sur 10 000 en 1991, 4 330 en 1996, 5 621 en 2001, 5 937 en 2006 [Babadzhanov et Babadzhanova, 2012].

5.11.5. Conclusion

Les données ci-dessus concernant les maladies infectieuses et parasitaires chez les liquidateurs et les personnes vivant dans les territoires contaminés reflètent l'activation et la dispersion des infections dangereuses. On ignore encore si c'est en raison de mutations des organismes pathogènes les rendant plus virulents, d'un affaiblissement des défenses immunitaires dans la population ou d'une combinaison des deux. Il est clair que la poursuite détaillée des observations est nécessaire pour étayer le tableau de la propagation et de la virulence des maladies infectieuses et parasitaires chez les personnes dans tous les territoires contaminés.

5.12. Malformations congénitales

Il existe plusieurs milliers de grandes et petites malformations ou anomalies congénitales. Un premier type a une solide base génétique (voir la [Section 5.3](#) ci-dessus pour plus de détails) Le second comprend des anomalies de

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

développement résultant d'impacts au cours du développement embryonnaire ; dont celles nommées « grandes » malformations congénitales (MC), qui sont souvent les seules officiellement enregistrées. Les autres anomalies de développement résultent de dommages au cours du développement prénatal et peuvent être génétiques, provoquées par des mutations ou tératogènes, causées par des influences extérieures toxiques, survenant habituellement dans les 16 premières semaines de grossesse.

Partout où il y eu contamination radioactive par Tchernobyl, il s'est produit une augmentation du nombre d'enfants présentant des anomalies héréditaires et des malformations congénitales. Il s'agit notamment de multiples déficiences structurelles, précédemment rares, des membres, de la tête et du corps [Tsaregorodtsev, 1996 ; Tsymlyakova et Lavrent'eva, 1996 ; Gontcharova, 2000 ; Hoffmann, 2001 ; Ibragymova, 2003 ; et d'autres].

Cette section présente des données relatives aux malformations congénitales et aux anomalies de développement.

5.12.1. Belarus

1. La fréquence de l'apparition des MC, qui a été stable jusqu'en 1986, a nettement augmenté après la catastrophe. Bien que l'augmentation des MC soit marquée principalement dans les territoires fortement contaminés, des augmentations significatives de la morbidité par les MC ont été enregistrées dans l'ensemble du pays, y compris dans la province moins contaminée de Vitebsk [Nykolaev et Khmel', 1998].

2. L'analyse de plus de 31 000 fœtus avortés a révélé que l'incidence des MC officiellement enregistrées a augmenté dans tous les territoires contaminés, mais qu'elle a été particulièrement forte dans les provinces de Gomel et Moguilev où les niveaux de contamination par le Cs-137 dépassaient 15 Ci/km² [Lazjuk *et al.*, 1998, 1999a, b].

3. L'incidence des MC a nettement augmenté, passant de 5,58 pour 1 000 avant la catastrophe à 9,38 de 2001 à 2004 [Rapport national du Belarus, 2006].

4. En 1990, le diagnostic primaire, initial, de MC chez les enfants a été deux fois plus élevé que celui des maladies chez les adolescents de 15 à 17 ans, mais quatre fois plus en 2001 [UNICEF, 2005 : tableau 1.3].

5. Les cas de malformations congénitales (MC) dûment enregistrés durant l'année qui a suivi la catastrophe ont augmenté de 46% et sont restés nombreux jusqu'en 1992. En outre, dans les territoires les plus radiocontaminés (> 15 Ci/km²), la fréquence des MC, à la fois annuellement (à l'exclusion des années 1990 et 1991) et en moyenne, a été plus grande que dans ceux qui ont été moins pollués (Tableau 5.67). Au cours des six années qui ont suivi la catastrophe, le nombre de MC dans les territoires hautement contaminés a presque doublé (de 1,83 fois) en comparaison du nombre moyen quatre ans avant la catastrophe (respectivement 7,09 et 3,89 pour 1 000 naissances).

Tableau 5.67. Incidence (pour 1 000 naissances) des malformations congénitales officiellement enregistrées dans les districts biélorusses contaminés à différents niveaux de 1982 à 1992 [Lazjuk *et al.*, 1996a ; Goncharova, 1997]

Année	Niveau de contamination		
	< 1 Ci/km ²	1-5 Ci/km ²	> 15 Ci/km ²
1982	5,62	5,74	3,06
1983	4,52	3,96	3,58
1984	4,17	4,32	3,94
1985	4,58	4,46	4,76
1982-1985	4,72	4,61	3,87
1987	5,94	5,54	8,14
1988	5,25	4,62	8,61
1989	5,80	6,32	6,50
1990	6,76	7,98	6,00
1991	5,52	5,65	4,88
1992	5,89	6,22	7,77
1987-1992	5,85*	6,01*	7,09*

* 1982-1985 comparé à 1987-1992 ; $p < 0,05$.

6. Il y avait une incidence plus élevée de morbidité par MC dans les zones plus contaminées que dans celles qui l'étaient moins (Tableau 5.68).

7. L'incidence des MC a augmenté dans l'ensemble du pays, passant de 12,5 pour 1 000 nouveau-nés en 1985 à 17,7 en 1994, et la plupart des cas dans les territoires contaminés à plus 15 Ci/km² par le Cs-137 [Lazjuk *et al.*, 1996a].

8. Chaque année dans le pays il n'y a pas moins de 2 500 nouveau-nés présentant une MC. Depuis 1992, un programme d'interruption de grossesse, en fonction de paramètres médicaux et génétiques (500 à 600 cas par an)

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

a stabilisé la naissance d'enfants à MC [Lazjuk et al., 1996a, b].

9. Neuf ans après la catastrophe, le nombre de nouveau-nés morts à cause d'anomalies de développement du système nerveux a été statistiquement élevé [Dzykovich et al., 1996].

10. Dans la province de Gomel, les taux d'anomalies congénitales de l'œil ont plus que

quadruplé : de 0,4% de 1961 à 1972 à 1,63% de 1988 à 1989 [Byrich et al., 1999].

11. En 1994, les MC ont été la deuxième cause de mortalité des nourrissons. L'incidence était plus élevée dans la province de Gomel (4,1%) que dans la province moins contaminée de Vitebsk (3,0%) et que dans l'ensemble du pays (moyenne de 3,9%) [Bogdanovich, 1997].

Tableau 5.68. Incidence (pour 1 000 naissances) des malformations congénitales et nombre total d'enfants nouveau-nés et mort-nés des zones fortement et moins contaminées du Belarus avant et après la catastrophe [Rapport national du Belarus, 2006 : tableau 4.6]

Années	Zones fortement contaminées			Zones moins contaminées		
	1981-1986	1987-1989	1990-2004	1981-1986	1987-1989	1990-2004
Incidence de toutes les MC	4,08	7,82*	7,88*	4,36	4,99	8,00*
Anencéphalie	0,28	0,33	0,75	0,36	0,29	0,71
Hernie spinale	0,57	0,88	1,15	0,69	0,96	1,41
Polydactylie	0,22	1,25*	1,10	0,32	0,50	0,91
Syndrome de Down	0,89	0,59	1,01	0,64	0,88	1,08
MC multiples	1,27	2,97	2,31	1,35	1,23	2,32
Total des nouveau-nés et des mort-nés	58 128	23 925	76 278	98 522	47 877	161 972
Nouveau-nés et mort-nés ayant des MC	237	187	601	430	239	1 295

* $p < 0.05$.

12. L'incidence des MC a commencé à nettement augmenter dans 17 districts fortement contaminés ($> 5 \text{ Ci/km}^2$) 2 à 3 ans après la catastrophe et 4 ans après dans 30 districts moins contaminés ($< 1 \text{ Ci/km}^2$) (Tableau 5.69).

Tableau 5.69. Incidence des malformations congénitales officiellement enregistrées (pour 1 000 naissances viables + fœtus) de 17 districts fortement contaminés et de 30 autres moins contaminés du Belarus [Rapport national du Belarus, 2006]

Districts	1981-1986	1987-1988	1990-2004
A, fortement contaminés	4,08	7,82**	7,88**
B, moins contaminés	4,36	4,99*	8,00**

* $p < 0.05$ comparé à 1981-1986

** $p < 0,01$ comparé à 1981-1986.

13. Il y a eu une augmentation de l'incidence de 26 (catégories de) MC officiellement enregistrées après la catastrophe ; les zones fortement contaminées et moins contaminées différaient par le fait que quelques MC ont augmenté de 1987 à 1988, tandis que

d'autres ont augmenté de 1990 à 2004. Il y a eu une nette différence de la polydactylie et des défauts des membres entre les districts les plus lourdement contaminés et ceux qui l'étaient moins en 1987 et 1988. En fin de compte, il y a eu moins de différences entre les districts les plus lourdement contaminés et les moins contaminés et l'incidence des MC dans les premiers a diminué par rapport à celle des seconds (Tableau 5.70).

14. L'incidence des MC enregistrées a sensiblement augmenté 1 à 2 ans après la catastrophe dans 14 des 16 districts des provinces de Gomel et de Moguilev. Dans quatre districts en particulier et dans l'ensemble de tous les autres, l'augmentation a été forte par rapport aux données d'avant la catastrophe (Tableau 5.71).

15. L'occurrence de MC officiellement enregistrées était corrélée avec le niveau de la contamination radioactive du territoire (Tableau 5.72).

16. Les cas de MC dans la province de Gomel ont été six fois plus nombreux en 1994 [Gontcharova, 2000].

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.70. Incidence des malformations congénitales officiellement enregistrées (pour 1 000 naissances viables + fœtus) des districts contaminés du Belarus. [Rapport national du Belarus, 2006]

Ligne supérieure : données pour 17 districts contaminés au-delà de 5 Ci/km².

Ligne inférieure : données pour 30 districts contaminés en dessous de 5 Ci/km²

	1981-1986	1987-1989	1990-2004
Anencéphalie	0,28 0,36	0,33 0,29	0,75 0,71
Hernie spinale (Spina bifida)	0,57 0,69	0,88 0,96	1,15 1,41
Malformation des lèvres	0,65 0,64	1,09 0,84	1,08 1,23
Polydactylie	0,22 0,32	1,25* 0,50	1,10 0,91
Réduction des membres	0,17 0,22	0,59* 0,13	0,49 0,35
Atrésie de l'œsophage et atrésie anale	0,14 0,19	0,21 0,27	0,21 0,23
MC multiples	1,27 1,35	2,97 1,23	2,31 2,32

* $p < 0,05$.

Tableau 5.71. Incidence des malformations congénitales enregistrées (pour 1 000 naissances viables + fœtus) dans les provinces biélorusses de Gomel et Moguilev avant et après la catastrophe [Lazjuk et al., 1996a]

District	Nombre de cas	
	1982-1985	1987-1989
Province de Gomel		
Braguine	4,1 ± 1,4	9,0 ± 3,0
Bouda-Kocheliov	4,7 ± 1,2	9,3 ± 2,0*
Vetka	2,8 ± 1,0	9,9 ± 2,7
Dobrouch	7,6 ± 2,0	12,6 ± 2,6
Yelsk	3,3 ± 1,4	6,4 ± 2,4
Korma	3,2 ± 1,2	5,9 ± 2,1
Leltchitsy	3,3 ± 1,2	6,6 ± 2,0
Loïew	1,6 ± 1,1	3,7 ± 2,1
Khoïniky	4,4 ± 1,2	10,2 ± 2,6*
Tchetchersk	1,0 ± 0,7	6,6 ± 2,3*
Province de Moguilev		
Bykhov	4,0 ± 1,1	6,5 ± 1,6
Klimovitchi	4,8 ± 1,4	3,2 ± 1,4
Kostioukovitchi	3,0 ± 1,2	12,0 ± 2,9*
Krasnopolie	3,3 ± 1,5	7,6 ± 2,9
Slavgorod	2,5 ± 1,2	7,6 ± 2,7
Tcherikov	4,1 ± 1,7	3,6 ± 1,8
Total	4,0 ± 0,3	7,2 ± 0,6*

* $p < 0,05$.

Tableau 5.72. Taux de malformations congénitales enregistrées officiellement (pour 1 000 naissances viables) et différents niveaux de contamination [Lazjuk et al., 1996a ; Matsko, 1999]

Niveau de contamination	Nombre de cas *	
	1982-1985	1987-1992
< 1 Ci/km ²	4,72 (4,17 – 5,62)	5,85 (5,25 – 6,76)
1-5 Ci/km ²	4,61 (3,96 – 5,74)	6,01 (4,62 – 7,98)
> 15 Ci/km ²	3,87 (3,06 – 4,76)	7,09 (4,88 – 8,61)

* Toutes les différences sont significatives

17. La fréquence de survenue des MC de 1986 à 1996 dans les zones contaminées à plus de 15 Ci/km² était nettement supérieure à celle de Minsk, la plus haute incidence (9,87) survenant en 1992 [Lazjuk et al., 1996b, 1999].

18. Par rapport à Minsk, l'incidence de MC parmi les fœtus à avortement provoqué médicalement ou non dans les zones contaminées des provinces de Moguilev et de Gomel a été bien plus élevée dans la première décennie après la catastrophe (Tableau 5.73).

Tableau 5.73. Comparaison entre l'incidence (pour 1 000) des malformations congénitales, des fœtus à avortement provoqué médicalement ou non – enregistrés officiellement –, à Minsk et celle des provinces de Gomel et Moguilev contaminées au-delà de 5 Ci/km² [Lazjuk et al., 1999a, b]

	Territoires / période		
	Minsk		Districts contaminés
	1980-1985	1986*-1996	1986*-1995
Total des MC	5,60	4,90	7,21**
Anomalies du SNC	0,32	0,53	0,54
Polydactylie	0,63	0,53	0,79
Multiples défauts des membres	0,07	0,10	0,28
Nombre total, n	10 168	20 507	2 701

* Deuxième moitié de 1986 ; ** $p < 0,05$.

5.12.2. Ukraine

1. Avant la catastrophe de Tchernobyl, un seul cas de MC grave d'un nouveau-né a été constaté pendant une période de 5 ans ; après, il y a eu plusieurs cas par an [Horishna, 2005].

2. Après 1986, le nombre d'enfants ayant une MC a augmenté dans les territoires conta-

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

minés [TASS, 1998 ; Golubchikov *et al.*, 2002].

3. L'invalidité due à des malformations congénitales de la naissance à 15 ans a plus que triplé en Ukraine de 1992 à 2001 : de 10 à 31 pour 10 000 [UNICEF, 2005 : tableau 1.5].

4. Le pic d'incidence des MC durant la période de 1987 à 1994 est survenu en 1990 [Orlov, 1995].

5. Pour les enfants irradiés *in utero*, l'apparition de 26 MC enregistrées officiellement a nettement augmenté ($5,52 \pm 0,22$ pour 1 000 contre $2,95 \pm 0,18$ dans les groupes témoins ; $p < 0,001$) et les fréquences relatives de ces 26 malformations officiellement enregistrées étaient différentes entre groupes irradié et non irradié [Stepanova, 1999].

6. Le nombre (le taux) de petites malformations congénitales (anomalies du développement) est en corrélation avec le niveau d'irradiation *in utero* [Stepanova *et al.*, 2002a].

7. Les anomalies de développement chez les enfants des districts fortement contaminés surviennent jusqu'à 2,8 fois plus souvent que dans les zones moins contaminées [Horishna, 2005].

8. Les MC multiples et les MC graves, auparavant rares, telles que la polydactylie, la déformation d'organes internes, l'absence ou la déformation de membres, et le retard de croissance ont fortement augmenté dans les districts contaminés [Horishna, 2005].

9. L'occurrence des MC officiellement enregistrées a augmenté de 5,7 fois au cours des 12 premières années après la catastrophe, comparées à la première ou aux deux premières années après [Grodzinsky, 1999].

10. L'incidence des MC est deux fois plus élevée dans les districts contaminés que dans les zones non contaminées [Horishna, 2005].

11. Dix ans après la catastrophe, le niveau de malformations congénitales dans la province de Rivne est passé de 15,3 à 37,3 (pour 1 000 nouveau-nés), plus marqué dans les districts lourdement contaminés du nord [Evtushok, 1999].

12. Parmi les 13 136 enfants nés de liquidateurs de 1986-1987, 9,6% avaient des MC officiellement enregistrées. Les anomalies courantes de développement (constatées non seulement chez les enfants à MC officiellement enregistrées, mais aussi chez les enfants nés de liquidateurs de 1986-1987) incluent la scoliose, les déformations de la gorge et des dents, les caries dentaires précoces, une peau sèche, rugueuse et tannée, des cheveux anormalement fins, étroitement emmêlés et de l'alopecie [Stepanova, 1999, 2004 ; Horishna, 2005].

13. La plus forte incidence des MC chez les enfants nés de familles de liquidateurs ukrainiens ayant travaillé en 1986-1987 a été observée en 1987-1988, où il a atteint 117 pour 1 000. Par la suite, le pourcentage a commencé à diminuer : 83-102 enfants en 1989-1991, 67 en 1992 et 24-60 en 1993-1997 (Figure 5.13).

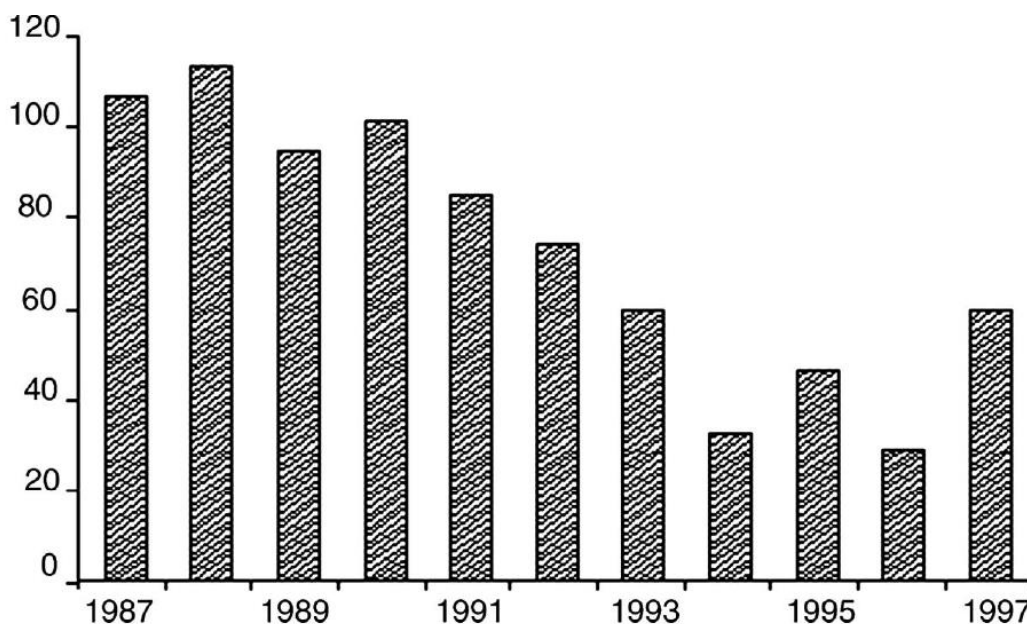


Figure 5.13. Incidence (pour 1 000) des malformations congénitales chez les enfants nés de familles de liquidateurs d'Ukraine ayant travaillé en 1986-1987 [Stepanova, 2006]

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

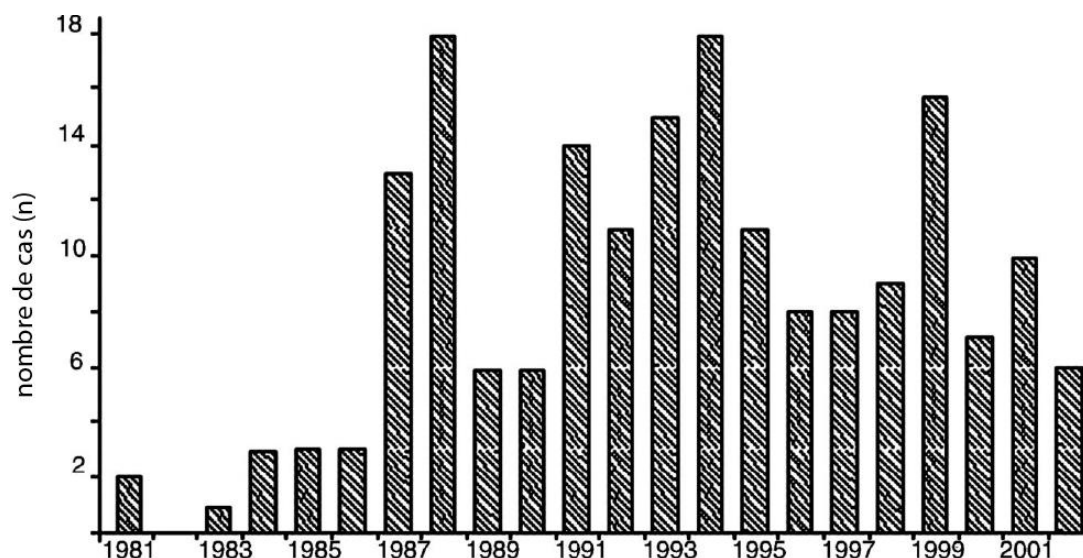


Figure 5.14. Nombre de cas de tumeurs du système nerveux central chez les enfants de moins de 3 ans de 1981 à 2002, d'après des données de l'Institut de neurochirurgie de Kiev [Orlov et Shaversky, 2003]

14. Selon l'Institut de neurochirurgie de l'Académie nationale médicale ukrainienne à Kiev, après la catastrophe, 98% des anomalies du système nerveux central ont été des hydrocéphalies. L'augmentation annuelle moyenne des défauts du système nerveux central a été d'environ 39% sur 2 209 cas enregistrés durant la période de 1981 à 1985 par rapport à 4 925 cas de 1987 à 1994. De 1987 à 2002, l'incidence des tumeurs cérébrales chez les enfants de moins de 3 ans a doublé et, chez les nourrissons, elle a augmenté de 7,5 fois [Orlov *et al.*, 2001, 2006]. La figure 5.14 montre le nombre de tumeurs du système nerveux central chez les enfants de cet institut de 1981 à 2002.

15. La plus forte incidence des MC maxillo-faciales (surtout des fissures labiales et palatines) est apparue chez les enfants nés dans les 9 mois après le 26 avril 1986 et elles ont été de six à dix fois plus courantes dans les zones plus contaminées de la ville de Kiev et dans les provinces de Kiev et de Jitomir par rapport aux provinces moins contaminées de Vinnitsa et de Khmel'nitski [Nyagu *et al.*, 1998].

16. Les MC de l'appareil urogénital ont représenté plus de 20% de l'ensemble des anomalies officiellement enregistrées et elles ont été plus fréquentes de 1998 à 2001 [Sorokman, 1998 ; Sorokman *et al.*, 2002].

17. Il ressort de l'analyse de données recueillies auprès de 96 438 familles de la région de Rivne que, dans la partie la moins radiocontaminée de la région, le taux d'incidence de

facteurs de risques probables de cancers du système nerveux central est de 1,8 pour 1 000, mais qu'il atteint 2,7 pour 1 000 dans la partie septentrionale (Polésie) davantage radiocontaminée. Dans la Polésie, l'incidence de la microcéphalie est 2,8 fois plus élevée (respectivement 0,37 et 0,13 pour 1 000) et l'incidence de la microphthalmie est 4,5 fois plus élevée (respectivement 0,18 et 0,04 pour 1 000) que dans la partie la moins contaminée de la région. Dans la région de Rivne, les cas de naissances de jumeaux siamois sont trois fois plus nombreux et les cas de tératomes (cancer de la région coccygienne de la colonne vertébrale) sont deux à trois fois plus nombreux que dans les pays européens [Wertelecki, 2010].

18. D'après les données officielles, les facteurs de risques probables de cancers recensés d'une manière stricte « conservent en permanence » la première place (conjointement avec les lésions malignes) parmi les causes de mortalité infantile [Ministère ukrainien de la santé, 2011].

5.12.3. Russie

1. Le nombre de MC a notablement augmenté pendant plusieurs années après la catastrophe [Lyaginskaya et Osypov, 1995 ; Lyaginskaya *et al.*, 2007].

2. Le nombre de MC a augmenté de façon marquée pendant plusieurs années après la catastrophe dans les districts fortement conta-

minés de la province de Toulou [Khvorostenko, 1999].

3. L'augmentation du nombre de MC après la catastrophe a abouti, 15 ans plus tard, à un doublement des décès d'enfants dans les districts fortement contaminés de la province de Kalouga [Tsyb *et al.*, 2006].

4. Le nombre de cas de MC dans les régions contaminées a augmenté de trois à cinq fois en 1991 et 1992 par rapport au niveau antérieur à la catastrophe, avec une notable augmentation des anomalies des organes génitaux, du système nerveux, des organes des sens, des systèmes osseux, musculaire et digestif et des cataractes congénitales [Koulakov *et al.*, 2001].

5. La mortalité des nourrissons dans la province de Briansk due aux MC structurelles a été cinq fois plus élevée que la moyenne en Russie de 1995 à 1997 [Zhylenko et Fedorova, 1999].

6. L'apparition des MC officiellement enregistrées dans les districts contaminés de la province de Briansk était nettement plus élevée de 1995 à 1998 que dans l'ensemble de la province (Tableau 5.74).

Tableau 5.74. Morbidité par malformation congénitale (pour 1 000 naissances viables) dans les districts de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km² de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b : tableau 6.1]

Territoire	Nombre de cas			
	1995	1996	1997	1998
Sud-ouest *	14,2	13,1	12,7	11,9
Province	7,9	8,1	8,6	8,9

* Tous les districts fortement contaminés

7. Selon le Registre national russe de dosimétrie médicale, qui comprend plus de 30 000 enfants nés de liquidateurs, 46,7% de ces enfants avaient des anomalies congénitales de développement et des « syndromes génétiques » avec une prévalence d'anomalies osseuses et musculaires. La survenue de MC chez les enfants de liquidateurs a été de 3,6 fois supérieure à son incidence en Russie [Sypagina *et al.*, 2006].

8. Chez les enfants nés dans des familles de liquidateurs de la région de Kalouga, vers l'âge de 10 ans, les malformations congénitales sont trois fois plus nombreuses que dans la population infantine de la région. Ces données sont très proches des niveaux de morbidité chez les

enfants de liquidateurs de toute la Russie, selon les données du RGMDR [Tsyb *et al.*, 2007].

5.12.4. Autres pays

Les registres officiels européens de MC [Registre EUROCAT, 1988] ne couvrent collectivement qu'environ 10% de la population européenne [Hoffmann, 2001]. Les sous-estimations atteignent jusqu'à 30% pour les malformations mineures et 15-20% pour la trisomie-21 [Dolk et Lechat, 1993 ; Czeizel *et al.*, 1991]. La plupart des pays européens n'enregistrent pas systématiquement avant la naissance les malformations qui conduisent à des avortements [Hoffmann, 2001].

1. AUTRICHE. Après Tchernobyl, on a observé plus souvent des cas de défauts du système nerveux central chez les nouveau-nés [Hoffmann, 2001].

2. BULGARIE. Dans la province de Pleven, il y a eu une forte augmentation des MC du cœur et du système nerveux central, ainsi que de multiples anomalies suite à la contamination par Tchernobyl [Moumdjiev *et al.*, 1992, cité par Hoffmann, 2001].

3. CROATIE. L'analyse de 3 541 autopsies à la clinique universitaire de Zagreb entre 1980 et 1993 a montré une incidence nettement accrue des anomalies du système nerveux central au cours de la période post-Tchernobyl [Kruslin *et al.*, 1998, cité par Schmitz-Feuerhake, 2002].

4. RÉPUBLIQUE TCHÈQUE. Pour les 3 années pré-Tchernobyl, le taux de MC enregistré était d'environ 16 pour 1 000 naissances viables et il était d'environ 19 pour les trois années post-Tchernobyl [UNICEF, 2005 ; calculé par A. Y. à partir du tableau 1.2].

5. DANEMARK. Après Tchernobyl, davantage d'enfants sont nés au Danemark avec des malformations du système nerveux central [Hoffmann, 2001 ; Schmitz-Feuerhake, 2002].

6. FINLANDE. Entre février 1987 et décembre 1987, le nombre de cas de MC a été, respectivement supérieur de 10 et de 6% à celui attendu dans les régions modérément et fortement contaminées. Les sous-groupes avec une incidence plus élevée comprenaient des malformations du système nerveux central et des réductions de membres [Harjuletho *et al.*, 1989, 1991].

7. GÉORGIE. Le nombre de cas de MC diagnostiqués comme « bec de lièvre » et « bouche du loup » a augmenté après la catastrophe.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

trophe, surtout dans les zones probablement les plus contaminées de la République d'Adjarie et de la province de Racha [Vepkhvadze *et al.*, 1998].

8. ALLEMAGNE. En 1997, la fréquence des facteurs de risques probables de cancers (FRPC) a assurément augmenté dans tout le pays [Korblein, 2000]. Dans le Registre régional d'Iéna pour lesdits FRPC, on a relevé une augmentation de la fréquence de certains FRPC en 1986-1987, comparé à 1985 [Lotz *et al.*, 1966, d'après Hoffmann, 2001]. Le nombre de FRPC du système nerveux central et de la paroi de la cavité abdominale a connu une croissance toute particulière. D'après les données du registre officiel des FRPC, en ex-RDA, le nombre de cas de fissures labiales et palatines a augmenté de 9,4% en 1987 par rapport au niveau moyen des années 1980-1986. L'aggravation s'est produite surtout là où les retombées de Tchernobyl ont été particulièrement fortes [Zieglowski et Hemprich, 1999]. Sept mois après la catastrophe, la fréquence des FRPC a indiscutablement augmenté de 4% en Bavière [Korblein, 2002a]. À Berlin-Ouest, les cas de trisomie-21 se sont multipliés et le nombre de FRPC découverts chez

les enfants mort-nés a augmenté [Hoffmann, 2001]. Une analyse rétrospective de statistiques médicales officielles [Schreb et Weigelt, 2010] a mis en évidence un accroissement du nombre de FRPC avec anomalies du cœur, de la face, de la mâchoire, des joues, de la colonne vertébrale, des articulations, du pied et des os longs des jambes en Bavière, après 1986 (ICD7540, ICD7541, ICD7542, ICD7543, ICD7544, ICD7546, ICD7547, ICD7548, ICD7565).

Tableau 5.75. Incidence (pour 1 000 naissances) des défauts du tube neural en Turquie avant et après la catastrophe [Hoffmann, 2001 ; Schmitz-Feuerhake, 2006]

Lieux	Avant	Après
Bursa, ouest de la Turquie	5,8 ¹	12,6 ³ -20,0 ² 6,3 ⁴
Trébizonde, nord-est de la Turquie	2,12 ⁵	4,39 ⁶ -
Elazig, est de la Turquie	1,7 ⁷	2,2-12,5 ⁸ 10,0 ⁹

¹ 1983-1986 ; ² janvier-juin 1987 ; ³ juillet-déc. 1987 ;

⁴ janvier-juin 1988 ; ⁵ 1981-1986 ; ⁶ 1987-octobre 1989 ;

⁷ 1985-1986 ; ⁸ 1987-1988 ; ⁹ 1989.

Tableau 5.76. Anomalies congénitales du développement des enfants irradiés in utero résultant de la catastrophe de Tchernobyl dans d'autres pays que le Belarus, l'Ukraine et la Russie européenne [Hoffmann, 2001 ; Schmitz-Feuerhake, 2006 ; Pflugbeil *et al.*, 2006]

Pays, territoire	Malformations congénitales	Sources
Autriche	MC	Hoffmann, 2001
Turquie (Bursa, Izmir, rives de la Mer Noire)	Incidence des défauts du SNC chez les nouveau-nés conçus dans la seconde moitié de 1986	Akar <i>et al.</i> , 1988, 1989 ; Caglayan <i>et al.</i> , 1990 ; Guvenc <i>et al.</i> , 1993 ; Mocan <i>et al.</i> , 1990
Bulgarie (Pleven)	Anomalies cardiaques, défauts du SNC, MC multiples	Moumdjiev <i>et al.</i> , 1992
Croatie (Zagreb)	MC chez les enfants mort-nés et les morts néonatales (y compris anomalies du SNC)	Kruslin <i>et al.</i> , 1998
Danemark (Odense)	Défauts du tube neural (DTN)	EUROCAT, 1988
Finlande	Malformations du SNC et anomalies des membres	Harjuletho-Mervaala <i>et al.</i> , 1992
Hongrie	Malformations congénitales	Czeizel, 1997
Écosse	Syndrome de Down (trisomie-21)	Ramsay <i>et al.</i> , 1991
Suède	Syndrome de Down (trisomie-21)	Ericson et Kallen, 1994
Allemagne de l'Est	Bec de lièvre et/ou fissures palatines, autres MC	Zieglowski et Hemprich, 1999 ; Scherb et Weigelt, 2004
Bavière	En 7 mois après la catastrophe, l'incidence des MC a augmenté de 4%	Korblein, 2002a, 2003a, 2004a ; Scherb et Weigelt, 2003
Berlin Ouest	Les MC chez les enfants mort-nés ont considérablement augmenté en 1987	Hoffmann, 2001
Iéna	Augmentation des MC (y compris malformations du SNC et anomalies de la paroi abdominale)	Lotz <i>et al.</i> , 1996
Toute l'Allemagne	En 1987 l'incidence des MC a augmenté de manière significative	Korblein, 2000

9. HONGRIE. Après Tchernobyl, on a observé en Hongrie plus de cas de défauts du système nerveux central chez des nouveau-nés [Hoffmann, 2001 ; Schmitz-Feuerhake, 2002].

10. MOLDAVIE. Sur 8 509 cas de MC enregistrés pour la période de 1989 à 1996, les plus hautes fréquences d'apparition des malformations (dont la trisomie-21, les malformations structurelles des membres et les hernies abdominales) se trouvaient dans les territoires les plus contaminés du sud-est [Grygory *et al.*, 2003].

11. NORVÈGE. Les données sur tous les nouveau-nés conçus entre mai 1983 et avril 1989 ont révélé une corrélation positive entre les valeurs calculées d'irradiation totale par Tchernobyl et les MC telles que l'hydrocéphalie. Il y avait une corrélation négative avec la trisomie-21 [Terje Lie *et al.*, 1992 ; Castronovo, 1999].

12. TURQUIE. Au début de 1987, une augmentation de l'incidence des MC a été signalée dans l'ouest de la Turquie, qui a été particulièrement sévèrement touché [Akar, 1994 ; Akar *et al.*, 1988, 1989 ; Güvenc *et al.*, 1993 ; Caglayan *et al.*, 1990 ; Mocan *et al.*, 1990]. Le tableau 5.75 est un résumé des données sur la prévalence des anomalies du tube neural (y compris les spina bifida occulta et aperta, l'encéphalocèle et l'anencéphalie) en Turquie avant et après la catastrophe.

13. Des informations sur les MC de nouveau-nés irradiés *in utero* à la suite de la catastrophe dans divers pays sont présentées sur le tableau 5.76.

5.12.5. Conclusion

Une augmentation du nombre de nouveau-nés atteints de malformations congénitales (dont de nombreuses anomalies rarissimes auparavant) a accompagné la contamination radioactive due à Tchernobyl non seulement au Belarus, en Ukraine et en Russie d'Europe [cf. supra et également : Sourikov, 1996 ; Tsaregorodtsev, 1996 ; Tsymalyakova et Lavrentieva, 1996 ; Gontcharova, 2000 ; Ibragimova, 2003, etc.], mais encore dans d'autres pays [pour un tour d'horizon, cf. Hoffmann, 2001 ; Schmitz-Feuerhake, 2006 ; Pflugbeil *et al.*, 2006]. La hausse du nombre des MC dans les territoires radiocontaminés, tout comme la corrélation avec le niveau de l'irradiation, justifie pleinement l'hypothèse de la nature radiogène de la multiplication des cas de MC rencontrés.

Bien que les principaux aspects de l'évolution de la fréquence des MC près de Tchernobyl (non seulement grâce aux très nombreuses données recueillies au Belarus, en Ukraine et en Russie, mais aussi à celles obtenues en Allemagne, en Turquie et dans divers autres pays) soient connus (augmentation dans les premières années et diminution progressive ultérieure), quelques faits demeurent insuffisamment compris. Parmi eux, citons une fréquence moindre dans certains territoires et l'augmentation – dans d'autres – des cas de trisomie-21. L'une des explications plausibles en est la perte, provoquée par l'irradiation, de fœtus trisomiques à des stades plus précoces.

5.13. Autres maladies

1. Les modifications liées au vieillissement, constatées même chez les liquidateurs jeunes, comprenaient un métabolisme anoxique du type fermentation avec formation de conditions pro-oxydatives [Vartanyan *et al.*, 2002].

2. Chez 58 enfants âgés de 7 à 14 ans des districts de Stoline et de Narovlia sans pathologie clinique, les taux sanguins de vitamine E étaient très inférieurs à la normale et étaient particulièrement faibles dans les territoires contaminés à un niveau supérieur à 6 Ci/km² [Zaitsev *et al.*, 1996].

3. Chez 153 femmes enceintes du district de Braguine, les taux de vitamine A étaient sensiblement supérieurs à la normale et les concentrations de vitamine E étaient plus faibles, jusqu'à huit fois [Zaitsev *et al.*, 1996].

5.14. Conclusion

Ce n'est que lorsque nous connaissons toute l'étendue de la catastrophe de Tchernobyl que nous pourrons faire en sorte qu'une telle tragédie ne se reproduise jamais.

La population vivant dans les territoires contaminés a subi toutes sortes de dommages. À peu près tous les systèmes physiologiques ont été très gravement affectés, entraînant des conséquences allant du handicap à la mort. Ces troubles ne peuvent pas être attribués à des facteurs de stress socio-économiques ou comportementaux. Ils sont réels et prouvés.

Les liquidateurs ont été le groupe le plus exhaustivement observé après la catastrophe. Le tableau 5.77 présente des données dramatiques sur l'incidence de 12 groupes de maladies des liquidateurs russes.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.77. Incidence (pour 10 000) de 12 groupes de maladies chez les liquidateurs [Pflugbeil et al., 2006]

Maladie / groupe organique	1986	1988	1990	1992	1993	Augmentation
Sang et organes hématopoïétiques	15	96	191	226	218	14,5 fois
Circulation	183	1 150	2 450	3 770	4 250	23,2 fois
Système endocrinien	96	764	2 020	3 740	4 300	44,8 fois
Système respiratoire	645	3 730	6 390	7 010	7 110	11,0 fois
Appareil urogénital	34	253	646	1 180	1 410	41,5 fois
Système nerveux et organes des sens	232	1 810	4 100	8 110	9 890	42,6 fois
Troubles mentaux	621	1 580	3 380	4 540	4 930	7,9 fois
Système digestif	82	1 270	3 210	5 290	6 100	74,4 fois
Peau et tissus sous-cutanés	46	365	686	756	726	15,8 fois
Infections et parasites	36	197	325	388	414	11,5 fois
Tumeurs	20	180	393	564	621	31,1 fois
Tumeurs cancéreuses	13	40	85	159	184	14,2 fois

Il est raisonnable de penser que l'état de la santé publique dans les territoires touchés peut être encore pire que celui des liquidateurs. Les tableaux 5.78 et 5.79 fournissent une vue d'ensemble de la détérioration de la santé publique dans les territoires touchés du Belarus et d'Ukraine.

Les données existantes présentées dans ce chapitre sont une preuve irréfutable que la fréquence d'apparition de toutes les maladies non cancéreuses s'avère bien plus élevée dans les territoires contaminés.

Tableau 5.78. Incidence de la morbidité juvénile (pour 100 000) de la province de Gomel au Belarus [Pflugbeil et al., 2006, d'après les données officielles – simplifiées – du Centre de santé de Gomel]

Groupe de morbidité / organe	1985	1990	1995	1997	Augmentation
Total des diagnostics initiaux	9 771	73 754	127 768	124 440	12,7 fois
Sang et organes hématopoïétiques	54	502	859	1 146	21,2 fois
Maladies circulatoires	32	158	358	425	13,3 fois
Systèmes endocrinien, métabolique et immunitaire	3,7	116	3 549	1 111	300,3 fois
Système respiratoire	760	49 895	81 282	82 689	108,8 fois
Appareil urogénital	25	555	961	1 199	48,0 fois
Muscles et os / tissus connectifs	13	266	847	1 036	79,7 fois
Troubles mentaux	95	664	908	867	9,1 fois
Système nerveux et organes des sens	645	2 359	7 649	7 040	10,9 fois
Système digestif	26	3 108	5 879	5 548	213,4 fois
Peau et tissus sous-cutanés	159	4 529	7 013	7 100	44,7 fois
Maladies infectieuses et parasitaires	4 761	6 567	11 923	8 694	1,8 fois
Malformations congénitales*	51	122	210	340	6,7 fois
Néoplasme**	1,4	323	144	134	95,7 fois

* Estimation haute de cas non pris en compte du fait des avortements ; ** 1985 : uniquement les neuroplasmes cancéreux.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 5.79. Incidence de la morbidité (pour 100 000) chez les adultes et les adolescents du nord de l'Ukraine de 1987 à 1992 [Pflugbeil et al., 2006]

Maladie / organe	1987	1989	1991	1992	Augmentation
Système endocrinien	631	886	4 550	16 304	25,8 fois
Troubles psychologiques	249	576	5 769	13 145	52,8 fois
Système nerveux	2 641	3 559	15 518	15 101	5,7 fois
Système circulatoire	2 236	4 986	29 503	98 363	44,0 fois
Système digestif	1 041	2 249	14 486	62 920	60,4 fois
Peau et tissus sous-cutanés	1 194	1 262	4 268	60 271	50,5 fois
Muscles et os	768	2 100	9 746	73 440	95,6 fois

Bibliographie

- Aculich, N. V. (2003). Lymphocytes in people after low level irradiation. In: *Selected Scientific Papers* (Mogilev University, Mogilev): pp. 204–207 (en russe).
- Adamovich, V. L., Mikhalev, V. P. & Romanova, G. A. (1998). Leucocytes and lymphocytes reaction as characters of population resistance. *Hematolog. Transfusiol.* **43**(2): 36–42 (en russe).
- Aderikho, K. N. (2003). Hydrocarbons as risk factor for atherosclerosis and cardiac ischemia after irradiation. *Med. News* **9**: 80–84 (en russe).
- Akar, N. (1994). Further notes on neural tube defects and Chernobyl. *Paediat. Perinat. Epidemiol.* **8**: 456–457 (cited by Schmitz-Feuerhake, 2006).
- Akar, N., Ata, Y. & Aytekin, A. F. (1989). Neural tube defects and Chernobyl. *Pediat. Perinat. Epidemiol.* **3**: 102–103 (cited by Hoffmann, 2001).
- Akar, N., Cavdar, A. O. & Arcasoy, A. (1988). High incidence of neural tube defects in Bursa, Turkey. *Paediat. Perinat. Epidemiol.* **2**: 89–92 (cited by Hoffmann, 2001).
- Aleksievich, S. (1997). *Chernobyl Prayer: Chronicle for the Future* ("Ostozh'e," Moscow): 223 pp. (en russe) (cited by Literaturnaya Gazetta, Moscow, April 24, p. 3).
- Almond, D. Jr., Edlung, L., & Palmer, M. (2007). Chernobyl's Subclinical Legacy: Prenatal Exposure to Radioactive Fallout and School Outcomes in Sweden. SSRN Electronic Paper Collection. NBER Working Paper No. W13347 (<http://ssrn.com/abstract=1009797>).
- Al-Shubul, I. & Suprun, L. Ya. (2000). Endometriosis before and after Chernobyl accident. *Publ. Health* **1**: 40–42 (en russe).
- Alymov, N. I., Pavlov, A. Yu., Sedunov, S. G., Gorshenin, A. V., Popovich, V. I., et al. (2004). Immune system abnormalities in inhabitants of territories affected by radioactive contamination after the Chernobyl accident. In: Russian Scientific Conference. Medical and Biological Problems of Radiation and Chemical Protection, May 20–21, 2004, St. Petersburg (Collected Papers, St. Petersburg): pp. 45–46 (en russe).
- Antipchuk, E. Yu. (2002). Neuro-psychological disorders in liquidators. *Chernob. Problem.* (Slavutich) **10**(2): 248–251 (en russe).
- Antipchuk, E. Yu. (2003). Delayed memory disturbances in liquidators. *Ukr. Radiol. J.* **11**(1): 68–72 (en ukrainien).
- Antipkin, Yu. G. & Arabskaya, L. P. (2003). Abnormal hormonal regulation of physical development and bone tissue in children born after accident at Chernobyl Nuclear Power Plant. *Int. J. Radiat. Med.* **5**(1–2): 223–230 (en russe).
- Antonov, M. M., Vasylyeva, N. A., Dudarenko, S. V., Rosanov, M. Yu. & Tsygan, V. N. (2003). Mechanisms of psychosomatic disorders after low doses of ionizing irradiation. *Herald New Med. Technol.* **10**(4): 52–54 (en russe).
- Antushevich, A. E. & Legeza, V. I. (2002). Impact of radiation accidents and low dose irradiation factors on human organs: In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* **3** (Belarus Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 12–13 (en russe).
- Antypova, S. I., Korzhunov, V. M., Polyakov, S. M. & Furmanova, V. B. (1997a). Problems of liquidators' health. In: *Medical-Biological Effects and Ways to Overcome Chernobyl Consequences* (Collected Scientific Papers Dedicated to the Tenth Anniversary of the Chernobyl Accident, Minsk/Vitebsk): pp. 3–5 (en russe).
- Antypova, S. I., Korzhunov, V. M. & Suvorova, I. V. (1997b). Tendency of chronic non-specific morbidity in liquidators. In: Scientific and Practical Conference Dedicated to the Tenth Anniversary of the Chernobyl Accident. *Actual Problems of Medical Rehabilitation of Sufferers from Chernobyl Catastrophe*. June 30, 1997, Minsk (Materials, Minsk): pp. 59–60 (en russe).
- Antypova, S. I., Lomat', L. N. & Denysevich, N. K. (1995). Morbidity and mortality among people evacuated from the exclusion zone. In: *Chernobyl Nine Years Later: Medical Consequences* (Collected Scientific Papers, Minsk) **2**: pp. 46–54 (en russe).
- Arabskaya, L. P., Antipkin, Yu. G. & Tolkach, S. I. (2006). Some aspects of the health and bone system of the first generation from mothers irradiated as children after Chernobyl accident. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery*. May 29–June 3, 2006, Kiev, Ukraine: pp. 16–17 (http://www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDF/Ssi8_2006/T) (en russe).
- Arynchin, A. N. (1998). Brain circulation in children under the impact of long-term complex chemical and radiation exposure. *Publ. Health* **11**: 2–5 (en russe).
- Arynchin, A. N. & Ospennikova, L. A. (1999). Lens opacities in children of Belarus affected by the Chernobyl accident. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Re-*

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- search Activities on the Chernobyl Accident in Belarus, Ukraine and Russia, KURRI-KR-7 (Kyoto University, Kyoto): pp. 168–177.
- Arynchin, A. N., Avkhacheva, T. V., Gres', N. A. & Slobozhanina, E. I. (2002). Health of Belarussian children suffering effects of the Chernobyl accident: Sixteen years after the catastrophe. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 231–240.
- Arynchin, A. N., Gres', N. A., Avkhacheva, T. V., Kuz'myna, I. M., Vorontsova, T. V., et al. (1999). Health of the liquidators' children. Seventh International Scientific and Practical Conference. *Human Ecology in Post-Chernobyl Period*. September 27–29, 1999, Minsk (Materials, Minsk): pp. 5–9 (en russe).
- Arynchin, A. N., Korotkaya, N. A. & Bortnik, O. M. (1996). Character of brain circulation in invalid children in radioactive contaminated Belarussian territories. International Scientific Conference. *Ten Years After Chernobyl Catastrophe: Scientific Aspects*. February 28–29, 1996, Minsk (Abstracts, Minsk): pp. 13–14 (en russe).
- Arynychina, N. T. & Mil'kmanovich, V. K. (1992). Comparison of circadian monitoring of cardiac arrhythmias in patients with cardiac ischemia living in radioactive-contaminated and clean territories of the southern part of Belarus. Jubilee Conference 125 Years of the Belarus Scientific Therapeutic Society, December 22–23, 1992, Minsk (Abstracts, Minsk): pp. 75–76 (en russe).
- Associated Press (2000). Study cites Chernobyl health effects in Poland. Associated Press, April 26, Warsaw, 12:39:09.
- Astakhova, L. N., Demidchik, E. P. & Polyanskaya, O. N. (1995). Main radiation risk for thyroid carcinoma in Belarussian children after the Chernobyl accident. In: Fourth International Conference. *Chernobyl Catastrophe: Prognosis, Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 119–127 (en russe).
- Avkhacheva, T., Arynchin, A. & Slobozhanina, E. (2001). Somatic pathology formation and structural-functional status of erythrocyte membranes in Belarussian children suffering from the Chernobyl accident. *Int. J. Rad. Med.* 3(1–2): 8–9 (en russe).
- Babich, T. & Lypchanskaya, L. F. (1994). State of pituitary and thyroid system in women under the impact of low level radiation. Scientific and Practical Conference of Ukrainian Obstetricians and Gynecologists. *Functional Methods in Obstetrics and Gynecology*. May 19–20, 1994, Donetsk (Abstracts, Donetsk): pp. 9–10 (en ukrainien).
- Babkin, A. P., Choporov, O. N. & Kuralessin, N. A. (2002). Abnormalities of cardiac and circulatory illnesses in liquidators and in a population with radionuclides contamination. *Med. Labour Industr. Ecol.* 7: 22–25 (en russe).
- Baeva, E. V. & Sokolenko, V. L. (1998). T lymphocyte surface marker expression after low dose irradiation. *Immunology* 3: 56–59 (en russe).
- Baida, L. K. & Zhirnosekova, L. M. (1998). Changes in morbidity dynamics of children living in zones with various levels of radiocesium soil contamination. Second Annual Conference. *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe*. June 1–6, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 14–15 (en ukrainien).
- Baleva, L. S., Neiphakh, E. A. & Burlakova, E. B. (2001a). Low intensive irradiation after the Chernobyl accident: Impact on health of children and adults ([//www.biobel.bas-net.by/igc/ChD/Reviews5_r.htm](http://www.biobel.bas-net.by/igc/ChD/Reviews5_r.htm)) (en russe).
- Baleva, L. S., Syropyagina, A. E., Terletskaia, R. N., Sokha, L. G., Yakovleva, I. N., et al. (1996). Results of 10-year cohort analysis of children after ionizing irradiation from the Chernobyl accident. *Hematol. Transfusiol.* 41(6): 11–13 (en russe).
- Baleva, L. S., Terletskaia, R. N. & Zimlyakova, L. M. (2001b). Abnormalities of children's health in radioactive contaminated territories after the Chernobyl accident. Eighth International Scientific and Practical Conference. *Human Ecology in the Post-Chernobyl Period*. October 4–6, 2000, Minsk (Materials, Belarus Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 15–23 (en russe).
- Baloga, V. I. (Ed.) (2006). *Twenty Years of the Chernobyl Catastrophe: View to Future*. National Ukrainian Report ("Attica," Kiev): 232 pp. (en russe).
- Bandazhevskaya, G. S. (1994). Cardiac functional characteristics in children from radioactive contaminated areas. In: International Scientific Symposium on Medical Aspects of Radioactive Impact on Population in Contaminated Territories After Chernobyl Accident (Materials, Gomel): pp. 27–28 (en russe).
- Bandazhevskaya, G. (2003). Cesium (137Cs) and cardiovascular dysfunction in children living in radiocontaminated areas. In: *Health Consequences of Chernobyl in Children*. PSR / IPPNW Switzerland and Faculty of Medical University Bruehl (Abstracts): pp. 10–11 (en russe).
- Bandazhevsky, Yu. I. (1997). *Pathology and Physiology of the Incorporated Ionizing Radiation* (Gomel Medical Institute, Gomel): 104 pp. (en russe).
- Bandazhevsky, Yu. I. (1999). *Pathology of Incorporated Ionizing Radiation* (Belarus Technical University, Minsk): 136 pp. (en russe).
- Bandazhevsky, Yu. I., Kapytonova, A. K. & Troyan, A. I. (1995). Appearance of allergy to cow milk and cortisol level in blood of children from radionuclide contaminated areas. In: Third Congress on Belarus Scientific Society of Immunology and Allergology. *Actual Problems of Immunology and Allergy* (Abstracts, Grodno): pp. 111–112 (en russe).
- Bar'yakhtar, V. G. (Ed.) (1995). *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): 560 pp. ([//www.stopatom.slavutich.kiev.ua](http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua)) (en russe).
- Batyan, G. M. & Kozharskaya, L. G. (1993). Juvenile rheumatoid arthritis in children from the radioactive contaminated areas. In: Sixth Belarus Pediatric Congress. *Belarussian Children's Health under Modern Ecological Conditions: Consequences of the Chernobyl Catastrophe* (Materials, Minsk): pp. 18–19 (en russe).
- Bazarov, V. G., Bylyakova, I. A. & Savchuk, L. A. (2001). Cerebral hemodynamics after experimental vestibular stimulation in liquidators. *J. LOR Diseases* 4: 1–5 (en ukrainien).
- Bazyka, D., Chumak, A., Beylyayeva, N., Gulaya, N., Margytich, V., et al. (2002). Immune cells in liquidators after low dose irradiation. *Sci. Techn. Aspects Chern.* (Slavutich) 4: 547–559 (en russe).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- Belookaya, T. V. (1993). Dynamics of the health status of Belarus children under modern ecological conditions. Conference. *Chernobyl Catastrophe: Diagnostics and Medical-Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 3–10 (en russe).
- Belookaya, T. V., Koryt'ko, S. S. & Mel'nov, S. B. (2002). Medical effects of low doses of ionizing radiation. In: Fourth International Congress on Integrative Anthropology, St. Petersburg (Materials, St. Petersburg): pp. 24–25 (en russe).
- Belyaeva, L. M., Popova, O. V. & Gal'kevich, N. V. (1996). Belarussian children's health and new diagnostic possibilities to estimate vegetative (autonomic) nervous system and abnormal peripheral hemodynamics. In: *Motherhood and Childhood Protection After Chernobyl Catastrophe: Scientific Studies 1991–1995* (Materials, Minsk) 2: pp. 22–25 (en russe).
- Bero, M. P. (1999). Reproductive health disorders of male liquidators. *J. Psych. Med. Psychology* 1(5): 64–68 (en russe).
- Bezdrobna, L., Tsyaganok, T., Romanova, O., Tarasenko, L., Tryshyn, V. & Klimkina, L. (2002). Chromosomal aberrations in blood lymphocytes of residents of the 30-km. Chernobyl NPP exclusion zone. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRIK-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 277–287.
- Bezhenar', V. F. (1999). Immuno-hematological and cytogenetic aspects of low doses ionizing radiation's impact on females. *Herald Rus. Assoc. Obstetr. Gynecol.* 1: 33–36 (en russe).
- Bezhenar', V. F., Kyra, E. F. & Beskrovny, S. V. (2000). Endocrine status dynamic abnormalities in woman after irradiation. *J. Obstetr. Gynecol. Illnesses XLIX* (3): 7 ([//www.jowd.sp.ru/archive/2000.03.05shtml](http://www.jowd.sp.ru/archive/2000.03.05shtml)) (en russe).
- Blet'ko, T. V., Kul'kova, A. V., Gutkovsky, I. A. & Ulanovskaya, E. V. (1995). General morbidity characters of children in Gomel province, 1986 to 1993. In: International Scientific Conference Dedicated to Fifth Anniversary of Establishment of Gomel Medical Institution. November 9–10, Gomel (Materials, Gomel): pp. 5–6 (en russe).
- Bliznyuk, A. I. (1999). Poly-morbidity as a pathologic aging syndrome. Seventh International Scientific and Practical Conference. *Human Ecology in Post-Chernobyl Period*. September 27–29, 1999, Minsk (Materials, Belarus Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 11–16 (en russe).
- Bochkov, N. P. (1993). Analytical review of cytogenetic studies after the Chernobyl accident. *Russ. Med. Acad. Herald* 6: 51–56 (en russe).
- Bochkov, N. P., Chebotarev, A. N., Katosova, L. D. & Platonova, V. I. (2001). Data base for quantitative characteristics of chromosomal aberration frequency in human peripheral blood lymphocyte assay. *Genetics* 37(4): 549–557 (en russe).
- Bochkov, N. P., Kuleshov, N. P. & Zhurkov, V. S. (1972). Review of spontaneous chromosomal aberrations in human lymphocyte culture. *Citol.* 14: 1267–1273 (en russe).
- Bogdanovich, I. P. (1997). Comparative analysis of children's (0–5 years) mortality in 1994 in the radioactively polluted and clean areas of Belarus. In: *Medical-Biological Effects and Ways to Overcome the Consequences of the Chernobyl Accident* (Collected Scientific Papers Dedicated to the Tenth Anniversary of the Chernobyl Accident, Minsk/Vitebsk): pp. 4–6 (en russe).
- Bondar', A. K., Nedel'ko, V. P. & Pol'ka, N. S. (1995). Abnormalities of psycho-physiological functions of various age children living in control territories. International Conference. *Actual and Predicted Disorders of Mental Health After Nuclear Catastrophe in Chernobyl*. May 24–28, 1995, Kiev (Materials, Association of Chernobyl Physicians, Kiev): pp. 288–289 (en russe).
- Bondarenko, N. A., Baleva, L. S., Sypyagyna, A. E., Nykolaeva, E. A. & Suskov, I. I. (2004). Cytogenetics and genomic repair DNA study results in children irradiated at various periods of gestation after the Chernobyl accident. *Rus. Perinat. Pediatr. Herald* 6 ([//www.mediasphera.ru/journals/pediatr/](http://www.mediasphera.ru/journals/pediatr/)) (en russe).
- Borovykova, M. P. (2004). Analysis of medical consequences of Chernobyl catastrophe for children in Kaluga province and elaboration of long-term strategy for special medical care. M.D. Thesis (Institute of Medical Radiology, Obninsk): 42 pp. (en russe).
- Borovykova, M. P., Matveenkov, E. G. & Temnykova, E. I. (1996). Health characteristics of children living in radionuclide contaminated districts of Kaluga province. Scientific and Practical Conference. *Medical, Psychological, Radio-Ecological, Social, and Economic Aspects of Liquidation of Chernobyl Consequences in Kaluga Province* (Materials, Kaluga/Obninsk) 2: pp. 119–132 (en russe).
- Borschevsky, V. V., Kalechits, O. M. & Bogomazova, A. V. (1996). Tuberculosis morbidity after the Chernobyl catastrophe in Belarus. *Medical-Biological Aspects of the Chernobyl Accident*, Vol. 1: pp. 33–37 (en russe).
- Bortkevich, L. G., Konoplya, E. F. & Rozhkova, Z. A. (1996). Immunotropic effects of the Chernobyl catastrophe. Conference. *Ten Years After the Chernobyl Catastrophe: Scientific Problems* (Abstracts, Minsk): p. 40 (en russe).
- Borysevich, N. Y. & Poplyko, I. Y. (2002). *Scientific Solution of the Chernobyl Problems: 2001 Year Results* (Radiology Institute, Minsk): 44 pp. (en russe).
- Bozhko, A. V. (2004). Long-time results of the impact of low ionizing irradiation on pharyngeal lymphoid structures of children. *Otolaryngol. Herald* 4: 9–10 (en russe).
- Brogger, A., Reitan, J. B., Strand, P. & Amundsen, I. (1996). Chromosome analysis of peripheral lymphocytes from persons exposed to radioactive fallout in Norway. *Mutat. Res.* 361: 73–79.
- Bulanova, K. (1996). Intrauterine irradiation. In: Yaroshinskaya, A. A. (Ed.), *Nuclear Encyclopedia* (Yaroshinskaya' Charity, Moscow): pp. 336–339 (en russe).
- Burlak, G., Naboka, M. & Shestopalov, V. (2006). Non-cancer endpoints in children-residents after Chernobyl accident. International Conference. *Twenty Years After Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine. Contributed Papers, Vol. 1 ("HOLTEH," Kiev): pp. 37–40 ([//www.tesec-int.org/T1.pdf](http://www.tesec-int.org/T1.pdf)).
- Burlakova, E. B., Dodina, G. P., Zyuzikov, N. A., Korogodin, V. I., Korogodina, V. L., et al. (1998). Effect of low-dose ionizing radiation and chemical contamination on human and environmental health.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- Programme: "Assessment of combined effect of radionuclide and chemical contamination." *Atomic Energy* **6**: 457–462 (en russe).
- Busuet, G. P., Genchykov, L. A., Shagynyan, I. A. & Margolyna, S. A. (2002). Incidence of nosocomial infections in neonates and puerperae in the radionuclidecontaminated and control territories. *J. Microbiol. Epidemiol. Immunobiol.* **1**: 32–37 (en russe).
- Buzunov, V. & Fedirko, P. (1999). Ophthalmopathology in victims of the Chernobyl accident: Results of clinical epidemiological study. In: Junk, A. K. (Ed.), *Ocular Radiation Risk Assessment in Populations Exposed to Environmental Radiation Contamination* (Kluwer, Amsterdam): pp. 57–67.
- Buzunov, V. A., Fedirko, P. A. & Prykatshikova, U. U. (1999). Abnormalities of structure and prevalence of ophthalmologic pathology among evacuees of various ages. *Ophtalmolog. J.* **2**: 65–69 (en russe).
- Byrich, T. A., Chekina, A. Yu., Marchenko, L. N., Ivanova, V. F. & Dulub, L. V. (1999). Ophthalmological pathology in children inhabiting radioactive contaminated territories of Belarus, and liquidators. In: *Ecological Anthropology: Almanac* (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 183–184 (en russe).
- Byryukov, A., Meurer, M., Peter, R. U., Braun-Falco, O. & Plewig, G. (1993). Male reproductive system in patients exposed to ionizing irradiation from the Chernobyl accident. *Arch. Androl.* **30**(2): 99–104 (en russe).
- Byryukov, A. P., Ivanov, V. K., Maksyutov, M. A., Kruglova, Z. G., Kochergyna, E. V., et al. (2001). Health of liquidators by data from the State medical dosimetry registries. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unites," Moscow): pp. 4–9 (en russe).
- Byryukova, L. V. & Tulupova, M. I. (1994). Dynamics of the endocrine pathologies in Gomel province, 1995–1993. In: International Scientific Symposium on Medical Aspects of the Radioactive Impact on Population in the Chernobyl Contaminated Territories (Materials, Gomel): pp. 29–31 (en russe).
- Caglayan, S., Kayhan, B., Montesoglu, S. & Aksit, S. (1990). Changing incidence of neural tube defects in Aegean Turkey. *Paediat. Perinat. Epidemiol.* **4**: 264–268.
- Castronovo, F. P. (1999). Teratogen update: Radiation and Chernobyl. *Teratology* **60**: 100–106.
- Cheban, A. K. (1999). Chernobyl disaster non-stochastic effects on the thyroid. *Int. J. Rad. Medic.* **34**(3–4): 76–93 (en russe).
- Cheban, A. K. (2002). Influence of the Chernobyl accident on thyroid function and non-tumour morbidity. In: *Chernobyl: Message for the 21st Century* (Excerpta Medica Full Set Series 1234): pp. 245–252.
- Cheburakov, B. I., Cheburakov, S. I. & Belozarov, N. I. (2004). Morphological changes in testicular tissue in clean-up personnel after the Chernobyl nuclear reactor accident. *Arkh. Patol.* **66**(2): 19–21 (en russe).
- Chernetsky, V. D. & Osynovsky, V. A. (1993). Character of tuberculosis epidemiology in regions with low levels of radioactive contamination. Conference. *Chernobyl Catastrophe: Diagnostics and Medical Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 100–104 (en russe).
- Chernobyl Forum (2005). Health effect of the Chernobyl accident and special health care programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Health." Working Draft, August 31, 179 pp.
- Chizhykov, A. G. & Chizhykov, V. V. (2001). Lung cancer risk factors in liquidators. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unites," Moscow): pp. 56–60 (en russe).
- Chuchalin, A. G. (2002). Functional condition of the pulmonary system in liquidators: Seven-year follow up study. *Pulmonology* **4**: 66–71 (en russe).
- Chuchalin, A. G., Chernyaev, A. L. & Vuazen, K. (Eds.) (1998). *Pulmonary Pathology in Liquidators* (Grant, Moscow): 272 pp. (en russe).
- Chuchalin, A. G., Grobova, O. M. & Chernykov, V. P. (1993). Radionuclides in liquidators' lung tissue. *Pulmonology* **4**: 27–31 (en russe).
- Chumak, A. A. & Bazyka, D. A. (1995). Immune system. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): pp. 459–462 ([//www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm](http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm)) (en russe).
- Chuprykov, A. P., Pasechnik, L. I., Kryzhanovskaya, L. A. & Kazakova, S. Ye. (1992). *Mental Disorders and Radiation Brain Damage* (Institute of General Forensic Psychiatry, Kiev): 54 pp. (en russe).
- Chykyna, S. Yu., Kopylev, I. D., Samsonova, M. V., Chernyaev, A. L., Pashkova, A. L., et al. (2001). Lung cancer risk factors in liquidators. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unites," Moscow): pp. 56–60 (en russe).
- Chykyna, S. Yu., Pashkova, T. L., Kopylev, I. D., Chernyaev, A. L., Samsonova, M. V., et al. (2002). Functional condition of liquidators' pulmonary system: Seven-year study. *Pulmonology* **4**: pp. 66–71 (en russe).
- Contis, J. (2002). Holistic approach to remote consequences of Chernobyl accident. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* **3** (Belarus Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 16–17 ([//www.chernobyl.iatp.by/rus/n3/Bul31-1](http://www.chernobyl.iatp.by/rus/n3/Bul31-1)) (en russe).
- Cwikel, J., Abdelgani, A., Goldsmith, J. R., Quastel, M. & Yevelson, I. I. (1997). Two-year follow-up study of stress-related disorders among immigrants to Israel from the Chernobyl area. *Env. Health Perspect.* **105** (Suppl. 6): 545–550.
- Czeisel, A. E. & Billege, B. (1988). Teratological evaluation of Hungarian pregnancy outcomes after the accident in the nuclear power station of Chernobyl. *Orvosi Hetilap* **129**: 457–462 (en hongrois) (cited by Hoffmann, 2001).
- Czeisel, A., Elek, C. & Susansky, E. (1991). The evaluation of germinal mutagenic impact of Chernobyl radiological contamination in Hungary. *Mutagenes* **6**: 285–288.
- Danil'chik, V. S., Ustynovich, A. K. & Vasylevsky, I. V. (1996). Hormonal and biochemical homeostasis in newborns in the radioactive polluted areas. *Publ. Health* **5**: 17–19 (en russe).
- Danylov, V. M. & Pozdeev, V. K. (1994). The epileptiform reactions of the human brain to prolonged exposure to low-dose ionizing radiation. *Physiol. J. Sechenova* **80**(6): 88–98 (en russe).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- Dashkevich, I. E., Kolomyitseva, A. G., Dydenko, L. V., Gutman, L. B., Travyanka, T. D., *et al.* (1995). Health of pregnant women. 2.5. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm>) (en russe).
- Dashkevich, V. E. & Janyuta, S. N. (1997). The course and outcome of pregnancy in women victims of the Chernobyl catastrophe. *Treatment Diagnost.* 2: 61–64 (en ukrainien).
- Dedov, I. I. & Dedov, V. I. (1996). Chernobyl: Radioactive Iodine and the Thyroid Gland (Medicine, Moscow): 103 pp. (en russe)
- Dedov, V. I., Dedov, I. I. & Stepanenko, V. F. (1993). *Radiation Endocrinology* (Medicine, Moscow): 208 pp. (en russe).
- Degutene, I. (2002). Analysis of cytogenetic changes in liquidators. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* 3 (Belarus Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 19–21 (en russe).
- Demedchik, E. P., Drobyshevskaya, I. M. & Cherstvoy, E. D. (1996). Thyroid cancer in children in Belarus. First International Conference. *Radiobiological Consequences of Chernobyl Catastrophe*. March 1996, Minsk, Belarus (Transactions, Minsk): pp. 677–682 (en russe).
- Demyttenaere, K., Bruffaerts, R., Posada-Villa, J., Gasquet, I. & Kovess, V., *et al.* (2004). WHO World Mental Health Survey Consortium: Prevalence, severity, and unmet need for treatment of mental disorders in the World Health Organization. World-MentalHealthSurveys. *JAMA* 291(21): 2581–2590.
- Deomyina, Ae. A., Klyushin, D. A. & Prtyunin, Yu. I. (2002). Cytogenetic and carcinogenic effects of low doses in liquidators. In: Third International Symposium on Mechanism of Action of Ultra-Low Doses. December 3–6, 2002, Moscow (Abstracts, Moscow): pp. 71–72 (en russe).
- Derzhitskaya, E. B., Derzhitskaya, D. B. & Savkova, M. I. (1997). Clinical characteristic changes in children with thyroid cancer. Scientific and Practical Conference Dedicated to the Tenth Anniversary Republican Center for Radiation Medicine. *Actual Problems of Medical Rehabilitation of People Suffering as a Result of the Chernobyl Catastrophe*. June 30, 1997, Minsk (Materials, Minsk): pp. 99–101 (en russe).
- Dobrynina, S. (1998). "Chernobyl children" were also born in the Ural area: Consequences of radioactive snowfall on May 1, 1986, are still with us. *Nezavisimaya Gazeta* (Moscow), May 19, p. 15 (en russe).
- Dolk, H. & Lechat, M. F. (1993). Health surveillance in Europe: Lessons from EUROCAT and Chernobyl. *Int. J. Epidemiol.* 22: 363–368.
- Domrachova, E. V., Aseeva, E. A., D'yachenko, L. V. & Rivkind, N. B. (1997). Study of the level of stable chromosomal aberrations by fluorescent in situ hybridization in liquidators. Third Congress on Radiation Research, October 14–17, 1997, Moscow (Abstracts 2, Moscow): pp. 48–49 (en russe).
- Drozd, V. M. (2002). Thyroid system status in children after irradiation in utero. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* 3 (Belarus Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 23–25 (en russe).
- Druzhynina, I. V. (2004). Character of mandibular tissue in liquidators. In: Inter-Region Inter-Institutional Scientific Student Conference, April 5–7, Perm', Vol. 1 (Materials, Perm'/Izhevsk): pp. 53–54 (en russe)
- Drygyna, L. B. (2002). Clinical laboratory criteria for evaluation of adaptation regulatory system in liquidators in delayed time. Ph.D. Biology Thesis (All-Russian Center for Emergency Medicine, St. Petersburg): 37 pp. (en russe).
- Dubivko, G. F. & Karatay, Sh. S. (2001). Effects on the male sexual function from stressors and radioactive impacts: Diagnosis, cure and rehabilitation of those suffering from emergency cases. *International Interdisciplinary Scientific and Practical Conference Dedicated to the Fifteenth Anniversary of the Chernobyl Catastrophe*. April 25–26, 2001, Kazan' (Materials, Kazan): pp. 113–117 (en russe).
- Dubrova, Y. E. (2003). Radiation-induced transgenerational instability. *Oncogene* 22: 7087–7093.
- Dubrova, Y. E., Grant, G., Chumak, A. A., Stezhka, V. A. & Karakasian, A. N. (2002). Elevated mini-satellite mutation rate in the post-Chernobyl families from Ukraine. *Am. J. Hum. Genet.* 71: 800–809.
- Dubrova, Y. E., Nesterov, V. N., Krouchinsky, N. G., Ostapenko, V. A., Neumann, R. & Jeffreys, A. J. (1996). Human mini-satellite mutation rate after the Chernobyl accident. *Nature* 380: 683–686.
- Dubrova, Y. E., Nesterov, V. N., Krouchinsky, N. G., Ostapenko, V. A., Vergnaud, G., *et al.* (1997). Further evidence for elevated human mini-satellite mutation rate in Belarus eight years after the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* 381: 267–278.
- Duda, V. I. & Kharkevich, O. N. (1996). Endocrine mechanisms of adaptation in the gestation process in women under chronic radiation stress. International Conference. *Motherhood and Childhood Protection After Chernobyl Catastrophe*. Scientific Studies, 1991–1995 (Materials, Minsk) 1: pp. 96–99 (en russe).
- Dudinskaya, R. A. & Suryna, N. V. (2001). Condition of the thyroid system in women during childbirth from the radionuclide contaminated Gomel areas. Third International Conference. *Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Results of 15 Years of Investigations*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 192–193 (en russe).
- Dudinskaya, R. A., Zhyvitskaya, Ya. P. & Yurevich, Ya. N. (2006). Health of children in Luninets district, Brest province (2000–2005). International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery* (Abstracts, Minsk): pp. 4–5 (en russe).
- Dzykovich, I. B., Korniylova, T. I., Kot, T. I. & Vanilovich, I. A. (1996). Health condition of pregnant women and newborns from various areas of Belarus. In: *Medical Biological Aspects of Chernobyl Accident* (Collected Papers, Minsk) 1: pp. 16–23 (en russe).
- Dzykovich, I. B., Vanylovich, I. A. & Kot, T. I. (1994). Children's morbidity on Belarussian territories contaminated by radionuclides. International Conference. *Social and Psychological Rehabilitation of Population Suffering from Ecological and Technological Catastrophes* (Abstracts, Gomel): pp. 21–22 (en russe).
- Dzyublik, A. Ya., Doskuch, V. V., Suslov, E. I. & Syshko, V. A. (1991). Detection and progress of chronic unspecific lung diseases in people exposed to low doses of the ionizing radiation. *Probl. Rad. Med.* 3: 11–14 (en ukrainien).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- Edwards, R. (1995). Will it get any worse? *New Science*, December 9, nr. 14–15.
- Environmental reasons for demographic alteration (2002). In: *Ecological Security of Russia*. Materials Interagency Committee, Russian Security Council (September 1995–April 2002), Pt. 4 (Law Literature, Moscow): pp. 211–225 (en russe).
- Ericson, A. & Kallen, B. (1994). Pregnancy outcomes in Sweden after the Chernobyl accident. *Env. Res.* **67**: 149–159.
- Ermolyna, L. A., Sukhotyna, N. K., Sosyukalo, O. D., Kashnykova, A. A. & Tatarova, I. N. (1996). The effects of low radiation doses on children's mental health (radiation-ontogenetic aspect). Report 2. *Soc. Clinic. Psychiat.* **6**(3): 5–13 (en russe).
- EUROCAT (1988). Preliminary evaluation of the impact of the Chernobyl radiological contamination on the frequency of central nervous system malformations in 18 regions of Europe. *Paediat. Perinat. Epidemiol.* **2**(3): 253–264.
- Evdokymov, V.V., Erasova, V. I., Orlova, E.V. & Deomyn, A. I. (2001). Monitoring of reproductive function of liquidators. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Delayed Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unites," Moscow): pp. 9–13 (en russe).
- Evets, L.V., Lyalykov, S. A. & Ruksha, T.V. (1993). Abnormalities of children's immune system in connection with isotope spectrum of contaminated territory. In: *Chernobyl Catastrophe: Diagnostics and Medical Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Collected Papers, Minsk): pp. 83–85 (en russe).
- Evtushok, L. S. (1999). The incidence of congenital developmental defects among newborn infants of Rivne Province. *Doctor Pract.* **1**: 29–33 (en ukrainien).
- Fedirko, P. (1999). Chernobyl accident and the eye: Some results of a prolonged clinical investigation. *Ophthalmology* **2**: 69–73.
- Fedirko, P. (2000). Radiation cataracts as a delayed effect of the Chernobyl accident. *Data of Scientific Research* **2**: 46–48.
- Fedirko, P. (2002). Clinical and epidemiological studies of occupational eye diseases in Chernobyl accident victims (abnormalities, risk of eye pathology, and prognosis). M.D. Thesis (Institute of Occupational Health, Kiev): 42 pp. (en ukrainien).
- Fedirko, P. & Kadoshnykova, I. (2007). Risks of eye pathology in the victims of the Chernobyl catastrophe. In: Blokov, I., et al. (Eds.), *The Health Effects on the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace International, Amsterdam): pp. 16–24.
- Fedyk, V. S. (2000) Epidemiology of thyroid pathologies of adolescents living in control areas contaminated by the Chernobyl accident. *Herald Soc. Hygiene Manag. Ukrain. Health Protect.* **3**: 16–19 (en ukrainien).
- Fetysov, S. N. (1999a). Analysis of health characteristics of children from territories of Bryansk province radioactively contaminated over 5 Ci/km². In: Fetysov, S. N. (Ed.), *Health of People in Bryansk Province Suffering from Chernobyl Accident*. Collected Analytical Statistical Materials, Years 1995–1998, 4 (Bryansk): pp. 59–71 (en russe).
- Fetysov, S. N. (1999b). Analysis of health characteristics of liquidators in year 1998. In: Fetysov, S. N. (Ed.), *Health of People in Bryansk Province Suffering from Chernobyl Accident*. Collected Analytical Statistical Materials, Years 1995–1998, 4 (Bryansk): pp. 33–44 (en russe).
- Fischbein, A., Zabludovsky, N., Eltes, F., Grischenko, V. & Bartoov, B. (1997). Ultramorphological sperm characteristics in the risk assessment of health effects after radiation exposure among salvage workers in Chernobyl. *Env. Health Perspect.* **105** (Suppl. 6): 1445–1449.
- Foly, T. (2002). Preliminary results of ultra-sound screening of children with high risk of thyroid neoplasms after Chernobyl catastrophe. In: *Biol. Effect. Low-Doses Radiat. Inform. Bull.* **3** (Belarus Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 26–27 (en russe).
- Frentzel-Beyme, R. & Scherb, R. (2007). Epidemiology of birth defects, perinatal mortality and thyroid cancer before and after the Chernobyl catastrophe. Seventh International Scientific Conference. *Sakharov Readings 2007: Environmental Problems of the XXI Century*. May 17–18, 2007, Minsk, Belarus (International Sakharov Environmental University, Minsk) (<http://www.ibb.helmholtz-muenchen.de/homepage/hagen.scherb/Abstract%20Minsk%20Frentzel-Beyme%20Scherb.pdf>).
- Furitsu, K., Sadamori, K., Inomata, M. & Murata, S. (1992). *Underestimated Radiation Risks and Unobserved Injuries of Atomic Bomb Survivors in Hiroshima and Nagasaki* (Hibakusha Investigation Committee of Hannan Chuo hospital): 24 pp.
- Fyllypovich, N. F. (2002). Diagnosis of non-specific inflammation and demyelination in patients with disseminated sclerosis under chronic impact of low doses of radiation. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* **3** (Belarus Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 16–18 (en russe).
- Galitskaya, N.N. (1990). Evaluation of the immune system of children in a zone of elevated radiation. *Belar. Publ. Health* **6**: 33–35 (cited by UNSCEAR 2000, Report of the General Assembly, Annex J: Exposures and Effects of the Chernobyl Accident, Point 359) (en russe).
- Gamache, G. L., Levinson, D. M., Reeves, D. L., Bidyuk, P. I. & Brantley, K. K. (2005). Longitudinal neurocognitive assessments of Ukrainians exposed to ionizing radiation after the Chernobyl nuclear accident. *Arch. Clin. Neuropsychol.* **20**(1): 81–93.
- Gapanovich, V. M., Shuvaeva, L. P., Vynokurova, G. G., Shapovalyuk, N. K., Yaroshevich, R. F. & Melchakova, N. M. (2001). Impact of the Chernobyl catastrophe on the blood of Belarusian children. Third International Conference. *Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Results of 15 Years of Investigations*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 175–176 (en russe).
- Gazheeva, T. P., Tshkotova, E. V. & Krotkova, M. V. (2001). Characteristics of male liquidators' immunity. Eleventh International Symposium on Bioindications. *Actual Problems of Bioindication and Biomonitoring*. September 17–21, 2001, Syktyvkar (Abstracts, Syktyvkar): pp. 31–32 (en russe).
- Gerasymova, T. V. & Romamenko, T. G. (2002). Profile of reproductive losses connected with habitual abortion in territories with increased levels of radionuclide contamination. International Conference. *Early Pregnancy: Problems, Methods of Solution, Perspectives*. April 26, 2002, Moscow (Materials, Moscow): pp. 376–381 (en russe).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- Gofman, J. (1990). Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: An Independent Analysis (Committee for Nuclear Responsibility, San Francisco): 480 pp.
- Gofman, J. (1994). Chernobyl Accident: Radioactive Consequences for the Existing and Future Generations ("Vysheishaya Shkola," Minsk): 576 pp. (en russe).
- Golovko, O. V. & Izhevsky, P. V. (1996). Studies of reproductive behavior en russe and Belarusian populations under impact of the Chernobyl ionizing irradiation. *Rad. Biol. Radioecol.* **36**(1): 3–8 (en russe).
- Golubchykov, M. V., Michnenko, Yu. A. & Babynets, A. T. (2002). Changes in the Ukrainian public health in the post-Chernobyl period. *Sci. Technolog. Aspects Chernobyl* **4**: 579–581 (en ukrainien).
- Goncharik, I. I. (1992). Arterial hypertension among the population in the Chernobyl zone. *Belarus Publ. Health* **6**: 10–12 (en russe).
- Goncharova, R. I. (1997). Ionizing radiation effects on the human genome and its transgenerational consequences. Second International Scientific Conference on Consequences of the Chernobyl Catastrophe. *Health and Information: From Uncertainties to Interventions in the Chernobyl Contaminated Regions*. November 13–14, 1997, Geneva (Geneva University, Geneva) Vol. 2: pp. 48–61.
- Goncharova, R. I. (2000). Remote consequences of the Chernobyl disaster: Assessment after 13 years. In: Burlakova, E. B. (Ed.), *Low Doses of Radiation: Are They Dangerous?* (NOVA Science, New York): pp. 289–314.
- Gordeiko, V. A. (1998). About health changes in people inhabiting Brest province territories contaminated by radionuclides. Conference. *Fundamental and Applied Aspects of Radiobiology: Biological Effect of Low Doses and Radioactive Contamination of the Environment* (Abstracts, Minsk): p. 57 (en russe).
- Gorobets, V. F. (2004). Evaluation of thyroid status of *in utero* irradiated children from iodine-deficit areas by *in vitro* radionuclides methods. Third Congress on Nuclear Medicine and Society and All-Russian Scientific and Practical Conference. *Actual Problems of Nuclear Medicine and Radiopharmacy*. June 20–26, 2004, Dubna/Ratmino (Abstracts, Obninsk): pp. 243–245 (en russe).
- Gorptchenko, I. I., Ivanyuta, L. I. & Sol'sky, Ya. P. (1995). Genital system. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): pp. 471–473 (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm>) (en russe).
- Grebenjuk, A. N., Bezhenar', A. F., Antushevich, A. E. & Lyutov, R. V. (1999). Evaluation of immune status of women at risk of radioactive and chemical factors. *Army Med. J.* **11**: 49–54 (en russe).
- Gridjyuk, M. Yu., Dons, N. P., Drozd, I. P. & Serkiz, Ta. I. (1998). Morbidity of adults in Kozelets district of Chernygov province. Second International Conference. *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe*. June 1–8, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 38–39 (en russe).
- Grodzinsky, D. M. (1999). General situation of the radiological consequences of the Chernobyl accident in Ukraine. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-7 (Kyoto University, Kyoto): pp. 18–28.
- Grygory, E. A., Stratulat, P. M. & Getcoi, Z. V. (2003). Genetic monitoring of congenital malformations in the population of the Republic of Moldova connected with environmental pollution. *Int. J. Rad. Med.* **5**(3): 50–51 (en russe).
- Gudkovsky, I. A., Kul'kova, L. V., Blet'ko, T. V. & Nechai, E. V. (1995). Children's health and level of Cs-137 contamination in the inhabited territories. International Scientific Conference Dedicated to the Fifth Anniversary. November 9–10, 1995, Gomel Medical Institute Belarus (Materials, Gomel): pp. 12–13 (en russe).
- Gurmanchuk, I. E., Tytov, L. P., Kharytonik, G. D. & Kozlova, N. A. (1995). Comparative characteristics of immune status of sick children in Gomel, Mogilev and Brest provinces. Third Congress Belarussian Scientific Society on Immunology and Allergology. *Actual Problems of Immunology and Allergy* (Abstracts, Grodno): pp. 79–80 (en russe).
- Gus'kova, A. K. & Baisogolov, G. V. (1971). *Human Radiation Sickness* (Medicine, Moscow): 383 pp. (en russe).
- G'uvenc, H., Uslu, M. A., G'uvenc, M., Ozkici, U., Kocabay, K. & Bektas, S. (1993). Changing trend of neural tube defects in Eastern Turkey. *J. Epidemiol. Comm. Health* **47**: 40–41.
- Harjuletho, T., Aro, T. & Rita, H. (1989). The accident at Chernobyl and pregnancy outcome in Finland. *Brit. Med. J.* **298**: 995–997.
- Harjuletho, T., Rahola, T., Suomela, M., Arvela, H. & Sax'en, L. (1991). Pregnancy outcomes in Finland after the Chernobyl accident. *Biomed. Pharmacother.* **45**: 263–266.
- Harjuletho-Mervaala, T., Salonen, R. & Aro, T. (1992). The accident at Chernobyl and trisomy 21 in Finland. *Mutat. Res.* **275**: 81–86.
- Havenaar, J. M. (1996). *After Chernobyl: Psychological Factors Affecting Health After a Nuclear Disaster* (Utrecht University, Utrecht): 150 pp.
- Havenaar, J. M., Rumyantseva, G. M., Kasyanenko, A. P., Kaasjager, K., Westermann, A. M., et al. (1997a). Health effects of the Chernobyl disaster: Illness or illness behavior? A comparative general health survey in two former Soviet regions. *Env. Health Perspect.* **105** (Suppl. 6): 1533–1537.
- Havenaar, J. M., Rumyantseva, G. M., van den Brink, W., Poelijoe, N. W., van den Bout, J., et al. (1997b). Long-term mental health effects of the Chernobyl disaster: An epidemiological survey in two former Soviet regions. *Am. J. Psychiat.* **154**: 1605–1607.
- Hoffmann, W. (2001). Fallout from the Chernobyl nuclear disaster and congenital malformations in Europe. *Arch. Env. Health* **56**: 478–484.
- Horishna, O. V. (2005). *Chernobyl Catastrophe and Public Health: Results of Scientific Investigations* (Chernobyl Children's Foundation, Kiev): 59 pp. (en ukrainien).
- Hovhannysyan, N. & Asryan, K. V. (2003). Chernobyl health effects for Armenian children. *Int. J. Rad. Med.* **5**(3): 55–56 (en russe).
- IAEA (1992). The International Chernobyl Project: Technical Report. Assessment of Radiological Consequences and Evaluation of Protective Measures (IAEA, Vienna): 740 pp.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- IAEA (1994). International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for Safety of Radiation Sources (IAEA, Vienna): 387 pp.
- Ibragymova, A. I. (2003). Clinical data on genotoxic effects of ionizing radiation. *Rus. Perinatol. Pediatr. Herald* **48**(6): 51–55 (en russe).
- Igumnov, S. A., Drozdovich, V. V., Kolominsky, Ya. L., Sekach, N. S. & Syvolobova, N. A. (2004). Intellectual development after antenatal irradiation: Ten-year follow up study. *Med. Radiol. Rad. Safety* **49**(4): 29–35 (en russe).
- Il'in, L. A., Balonov, M. I. & Buldakov, L. A. (1989). Ecological abnormalities and medical biological consequences of the Chernobyl catastrophe. *Med. Radiol.* **34**(11): 59–81 (en russe).
- Il'inskikh, E. N., Il'inskikh, N. N. & Smyrenny, L. N. (2002). Methodology for analysis of micronucleus in binuclear lymphocytes, EPR spectrometry of tooth enamel and multi-aberrant cells for radiation biodosimetry. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* **3** (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 10–11 (en russe).
- Irgens, L. M., Lie, R. T., Ulstein, M., Skeie Jensen, T., Skjærven, R., et al. (1991). Pregnancy outcome in Norway after Chernobyl. *Biomed. Pharmacother.* **45**(9): 233–241, 498.
- Iskrytskiy, A. M. (1995). Humoral immunity and immunological character of human milk in the radioactive contaminated areas of Belarus. Third Congress Belarusian Scientific Society Immunology and Allergology. *Actual Problems of Immunology and Allergy* (Abstracts, Grodno): pp. 85–86 (en russe).
- ITAR – TASS (1998). In Ukraine: Establishment for production of L-thyroxine to regulate thyroid functions. April 26, Kiev. Ivanenko, G. F., Suskov, I. I. & Burlakova, E. B. (2004). Glutathione level and cytogenetic characteristic of peripheral lymphocytes from children under low dose impact. *Herald Rus. Acad. Sci. (Biol.)* **4**: 410–415 (en russe).
- Ivanov, E. P., Gorel'chik, K. I., Lazarev, V. S. & Klimovich, O. M. (1990). Forecast of remote oncological and hematological diseases after the Chernobyl accident. *Belar. Publ. Health* **6**: 57–60 (en russe).
- Ivanova, O. V. (2005). Delayed endoscopic diagnosis of digestive organs in liquidators. M.D. Thesis (Roentgenoradiology Center, Moscow) (http://www.vestnik.ncrr.ru/vestnik/v5/papers/litiva_v5.htm) (en russe).
- Ivanova, T. I., Kondrashova, T. V., Krykunova, L. I. & Shentereva, N. I. (2006). Analysis of chromosomal damage in peripheral blood lymphocytes of female residents of radioactively contaminated territories. Fifth Congress on Radiation Research (Radiobiology, Radioecology and Radiation Safety). April 10–14, 2006, Moscow (Abstracts 1, Moscow): pp. 85–86 (en russe).
- Ivanyuta, L. I. & Dubchak, A. E. (2000). Gynecological morbidity and the nature of menstrual cycles in women exposed to radiation after the Chernobyl catastrophe. *Endocrinology* **5** (2): 196–200 (en russe).
- Kapytonova, E. K. & Kryvitskaya, L. V. (1994). Infant morbidity in the radioactive contaminated territories 6 years after the Chernobyl accident. In: International Scientific Symposium on Medical Aspects of Radioactive Impact on Populations After the Chernobyl Accident (Materials, Gomel): pp. 52–54 (en russe).
- Kapytonova, E. K., Matyukhyna, T. G. & Lozovik, S. K. (1996). Thyroid gland's role in chronic digestive tract pathology in children from radionuclide contaminated zones. International Scientific Conference. *Ten Years After Chernobyl Catastrophe: Scientific Aspects of Problems*. February 28–29, 1996, Minsk (Abstracts, Minsk): pp. 130–131 (en russe).
- Karamullin, M. A., Sosyutkin, A. E., Shutko, A. N., Nedoborsky, K. V., Yazenok, A. V., et al. (2004). Significance of irradiation dose factors for liquidator illnesses according to their age well after the Chernobyl accident. Scientific and Practical Conference. *Actual Problems of Radiation Hygiene*. June 21–25, 2004, St. Petersburg (Abstracts, St. Petersburg): pp. 170–171 (en russe).
- Karevskaya, I. V., Kurbatskaya, G. Ya., Vasil'tsova, O. A., Stepunin, L. A. & Zubareva, I. A. (2005). Dispanserization's role in the diagnosis of thyroid diseases in the population of Southwestern district of Bryansk Province. International Scientific and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years After: Social and Economic Problems and Perspectives for Development of the Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 164–165 (en russe).
- Karpenko, V. S., Pavlov, L. P. & Kushnyruk, D. Yu. (2003). Analysis of renal illnesses in ukrainien population in radioactive contaminated areas after Chernobyl accident. *Urology* **7** (1): 70–74 (en russe).
- Karpova, I. S. & Koretskaya, N. V. (2003). Effect of character and dose irradiation on activity of receptor-lectin reaction in liquidators. *Biopolymer. Cell* **19** (2): 133–139 (en russe).
- Kashyryna, M. A. (2005). Social-ecological factors of public health in the radioactive contaminated territories of Bryansk province. International Scientific and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years After: Social and Economic Problems and Perspectives for Development of the Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 166–167 (en russe).
- Kesminiene, A., Kurtinaitis, J. & Rimdeika, G. (1997). The study of Chernobyl clean-up workers from Lithuania. *Acta Med. Lituan.* **2**: 55–61.
- Khaimovich, T. I., Gorbunova, I. N., Nagyba, V. I. & Ivanov, K. Yu. (1999). Cytogenetic effects in somatic cells in nuclear industry personnel: Liquidators. Seventh International Scientific and Practical Conference. *Human Ecology in the Post-Chernobyl Period*. September 27–29, 1999, Minsk (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 312–315 (en russe).
- Khartchenko, V. P., Rassokhin, B. M. & Zybovsky, G. A. (1998). Significance of osteodensitometry for evaluation of osseous mineral density of vertebrae in liquidators. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Results and Problems of Medical Observation for Liquidators' Health* ("MONIKI," Moscow): pp. 103–108 (en russe).
- Khartchenko, V. P., Zybovsky, G. A. & Kholodova, N. B. (1995). Changes in the brains of persons who participated in the cleanup of the Chernobyl AES accident based on radiodiagnostic data (single-photon emission-computed radionuclide tomography, X-ray computed tomography and magnetic resonance tomography) *Herald Rentgenol. Radiol.* **1**: 11–14 (en russe).
- Kharytonik, G. D., Tytov, L. P., Gurmanchik, I. E. & Ignatenko, S. I. (1996). Character and dynamics of

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- immunological indices of change in children living for several years in conditionally clean territories of Braginsk district. Scientific and Practical Conference. *Remote Consequences of Irradiation for Immune and Blood Formation Systems*. May 7–10, 1996, Kiev (Abstracts, Kiev): pp. 59–60 (en ukrainien).
- Khmara, I. M., Astakhova, L. N. & Leonova, L. L. (1993). Immune characteristics of children suffering from autoimmune thyroiditis. *J. Immun.* **2**: 56–58 (cited by UNSCEAR, 2000).
- Kholodova, N. B. (2006). Consequences of Chernobyl catastrophe for liquidators' health. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years of the Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 32–35 (en russe).
- Kholodova, N. B., Buklyna, S. B. & Zhavoronkova, L. A. (1998). Abnormal clinical manifestation of central and peripheral nervous system diseases in liquidators. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Results and Problems of Medical Observation for Liquidators' Health* ("MONIKI," Moscow): pp. 108–114.
- Kholodova, N. B., Kuznetsova, G. D., Zubovsky, G. A., Kazakova, P. B. & Buklina, S. B. (1996). Remote consequences of radiation exposure upon the nervous system. *J. Neuropathol. Psychiatr. Korsakova* **96** (5): 29–33 (en russe).
- Kholodova, N. B., Ryzhov, B. N., Sobolevskaya, L. V., Stetsovskaya, O. B. & Kholodov, V. V. (2001). Psychogenetic and immunological changes in liquidators' children. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unites," Moscow): pp. 47–50 (en russe).
- Khomich, G. E. & Lysenko, Yu. V. (2002). Rheographic characteristics of blood vessels with increasing vessel tonus after a change in position in the legs of girls living in the radioactive contaminated zone (Brest University, Brest): 6 pp. (en russe).
- Khomskaya, E. D. (1995). Some results of a neuropsychological study of liquidators. *Soc. Clinic. Psychiat.* **5** (4): 6–10 (en russe).
- Khrushch, V. T., Gavrulin, Y. I. & Constantinov, Y. O. (1988). Characteristics of radionuclide inhalation. In: *Medical Aspects of the Chernobyl Accident* (Collected Papers, Kiev): pp. 76–87 (en russe).
- Khryanfov, S. A. & Meskikh, N. E. (2001). Analysis of liquidators' morbidity and mortality rates according to the findings of the Russian interdepartmental expert panel. Scientific Regional Conference. *Deferred Medical Effects of the Chernobyl Accident* (Materials, Moscow): pp. 85–92 (en russe).
- Khvorostenko, E. (1999). Territory is recognized as "clean." However in 50 years after the Chernobyl catastrophe, the radioactive cloud will contaminate a fifth part of Tula province. "Nezavisimaya Gazeta" (Moscow), May 14, p. 4 (en russe).
- Kienya, A. I. & Ermolitsky, N. M. (1997). Vegetative component of children's organs with different levels of incorporated Cs-137 activity. In: Bandazhevsky, Yu. I. (Ed.), *Structural and Functional Effects of Radioisotopes Incorporated by the Organism* (Gomel Medical Institute, Gomel): pp. 61–82 (en russe).
- Kirkae, L. (2002). Progression of some illnesses in liquidators. *Clin. Gerontol.* **8** (8): 83–84 (en russe).
- Klymenko, D. I., Snysar', I. A. & Samofalova, E. G. (1996). Immune reactivity and functional characteristics of acoustic and vestibular analysis in liquidators. Scientific and Practical Conference. *Remote Consequences of Irradiation for Immune and Blood Forming Systems*. May 7–10, 1996, Kiev (Abstracts, Kiev): pp. 29–30 (en ukrainien).
- Kogan, E. A. (1998). Lung cancer induced by radionuclides. In: Chuchalin, A. G., Chernyaev, A. L. & Vuazen, K. (Eds.), *Pulmonary System Pathology in Liquidators* (Grant, Moscow): pp. 190–235 (en russe).
- Komarenko, D. I. & Polyakov, O. B. (2003). Post-radiation pancreatic pathology: Remote consequences of ionizing irradiation. *Gastroenterol. Herald* **1**: 31–35 (en ukrainien).
- Komarenko, D. I., Soboleva, L. P. & Maslekha, E. A. (1995). Hepatobiliary system. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): pp. 469–471 (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm>) (en russe).
- Komogortseva, L. K. (2006). Ecological consequences of Chernobyl catastrophe in Bryansk province: Twenty years after. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years After the Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 81–86 (en russe).
- Kondratenko, G. G. (1998). Ulcerative gastro-duodenal hemorrhage incidence after the Chernobyl accident. *Herald Belarus. Nat. Acad. Sci. (Biol.)* **3**: 111–114 (en russe).
- Kondrusev, A. I. (1989). Sanitary and health measures taken to deal with the consequences of the Chernobyl accident. In: *Medical Aspects of the Chernobyl Accident*. IAEA Technical Document 516 (IAEA, Vienna): pp. 39–63.
- Konoplya, E. E. (1998). Status of people with thyroid pathologies suffering from Chernobyl catastrophe. International Scientific and Practical Conference. *Ecology and Youth, Gomel*. March 17–19, 1998 (Materials, Gomel): pp. 31–32 (en russe).
- Korblein, A. (2000). Low dose radiation effects: German data. In: Second Congress of the Vavilov Genetic Selection Society. February 1–5, 2000, St. Petersburg (Abstracts, St. Petersburg), Vol. 2: pp. 337–338 (en russe).
- Korblein, A. (2002). Infant mortality following Chernobyl. In: Third International Symposium on Mechanisms of Ultra-Low Dose Action. December 3–6, 2002, Moscow (Abstracts, Moscow): pp. 157–160 (en russe).
- Körblein, A. (2003). S"auglingssterblichkeit nach Tschernobyl. *Berichte Otto Hug Strahleninstitut* **24**: 6–34 (en allemand).
- Korblein, A. (2004). Fehlbildungen in Bayern nach Tschernobyl. *Strahlentelex* **416–417**: 4–6 (en allemand).
- Korobko, V. I., Korytko, S. S., Bletko, T. V. & Korbut, I. I. (1996). Interferon system function abnormalities in liquidators: Correlation of interferon status and immune and hormonal statuses indices. *Immunology* **1**: 56–58 (en russe).
- Korol, N. A., Treskunova, T. V. & Duchota, T. A. (1999). Children's health status affected by Chernobyl accident. In: *Medical Consequences of the Chernobyl Accident*, Vol. 1 ("MEDECOL," Kiev): pp. 120–134 (en russe).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- Kovalenko, A. N. & Loganovsky, K. N. (2001). Whether Chronic Fatigue Syndrome and Metabolic Syndrome X in Chernobyl accident survivors are membrane pathologies? *Ukr. Med. J.* **6** (26): 70–81 (en russe).
- Kovaleva, L. I., Lyubchenko, P. N. & Shyrokov, E. B. (2004). Myocardial reactive ability in liquidators as indicated by polycardiographic data many years later. *Med. Radiol. Radiat. Safety* **49** (2): 17–21 (en russe).
- Krasnov, V. N., Yurkin, M. M., Vojtsekh, V. F., Skavysh, V. A., Gorobets, L. N., *et al.* (1993). Mental disorders in liquidators. Report I: Structure and current pathogenesis. *Soc. Clin. Psychiat.* **3** (1): 5–10 (en russe).
- Kruslin, B., Jukic, S., Kos, M., Simic, G. & Cviko, A. (1998). Congenital anomalies of the central nervous system at autopsy in Croatia in the period before and after Chernobyl. *Acta Med. Croat.* **52**: 103–107.
- Kuchinskaya, E. A. (2001). Immune system characteristics in practically healthy children and adolescents with autoimmune thyroiditis in various radioecological Belarussian areas. Ph.D. Thesis Biology (Belarus Medical University, Minsk): 21 pp. (en russe).
- Kudryashov, Yu. B. (2001). Radiobiology: Yesterday, today and tomorrow. In: *Chernobyl: Duty and Courage 1* (Institute of Strategic Stability, Ministry for Nuclear Affairs, Moscow) (<http://www.iss.niit.ru/book-4>) (en russe).
- Kulakov, V. I., Sokur, A. L., Volobuev, A. L., Tsybul'skaya, I. S., Malisheva, V. A., *et al.* (1993). Female reproductive functions in areas affected by radiation after the Chernobyl power station accident. *Env. Health Persp.* **101**: 117–123 (en russe).
- Kulakov, V. I., Sokur, T. N., Tsybul'skaya, I. S., Dolzhenko, I. S., Volobuyev, A. I., *et al.* (1997). Chernobyl and Health of the Future Generations. In: *Chernobyl: Duty and Courage 1* (Institute of Strategic Stability, Moscow) (<http://www.iss.niit.ru/book-4>) (en russe).
- Kul'kova, L. V., Ispenkov, E. A., Gutkovsky, I. A., Voinov, I. N., Ulanovskaya, E. V., *et al.* (1996). Epidemiological monitoring of children's health in the radionuclide contaminated territories of Gomel province. *Med. Radiol. Radioact. Safety* **2**: 12–15 (en russe).
- Kureneva, E. Yu. & Shidlovskaya, T. A. (2005). Comparative analysis of tonal audiometry in patients with conventional and abnormal chronic dystrophia and auditory insufficiency associated with radioactive genesis. *Russ. Otorinolaringolog.* **5**: 61–65 (en russe).
- Kurilo, L. F., Lyubashevskaya, I. A. & Dubinskaya, V. P. (1993). Cellular composition of immature sperm cells in ejaculation. *Urol. Nefrol.* **2**: 45–47 (en russe).
- Kut'ko, I. I., Rachkauskas, G. S., Safonova, E. F., Pusovaya, O. A., Mutychko, M. V. & Romashko, A. M. (1996). Clinical and immunological characteristics of liquidators with associated neuropsychological pathology. In: Kut'ko, I. I. & Petruk, P. T., *History of Saburov's Dacha: Successes of Psychiatry, Neurology, Neurosurgery and Psychiatry* **3** (Ukrainian Institute for Clinical Experience in Neurology Psychiatry and Kharkov City Hospital N0 15, Kharkov): pp. 255–257 (en russe).
- Kut'kov, V. A. (1998). Atmospheric radionuclide contamination after the Chernobyl accident and lung irradiation. In: Chuchalin, A. G., Chernyaev, A. L. & Vuazen, K. (Eds.), *Pulmonary System Pathology in Liquidators* (Grant, Moscow): pp. 10–43 (en russe).
- Kut'kov, V. A., Murav'ev, Yu. B., Aref'eva, Z. S. & Kamaritskaya, O. I. (1993). Hot particles: View seven years after the Chernobyl accident. *Pulmonology* **4**: 10–19 (en russe).
- Kuz'myna, N. S. & Suskov, I. I. (2002). Expression of genomic instability in children's lymphocytes living under prolonged impact of radioactive factors. *Rad. Biol. Radioecol.* **42** (6): 735–739 (en russe).
- Kuznetsova, S. M., Krasylenko, E. P. & Kuznetsov, V. V. (2004). Brain circulatory diseases and cerebral circulation in liquidators: Age characteristics. *Clin. Gerontol.* **10** (8): 18–28 (en russe).
- Kyra, E. F., Tsvelev, Yu. V., Greben'kov, S. V., Gubin, V. A. & Chernichenko, I. I. (2003). Female reproductive health in the radioactive contaminated territories. *Military Med. J.* **324** (4): 13–16 (en russe).
- Kyryl'chik, E. Yu. (2000). Characteristics of immune status and immune rehabilitation of children living in radioactive contaminated territories: Clinical laboratory studies 1996–1999. M.D. Thesis (Minsk Medical Institute, Minsk): 21 pp. (en russe).
- Kyseleva, E. P. (2000). Autoimmune abnormalities in liquidators 11 years after the Chernobyl accident. *Rad. Biol. Radiolog.* **1**: 32–36 (en russe).
- Kyseleva, E. P. & Mozzherova, M. A. (2003). Dermatologic morbidity among children from the contaminated areas of Bryansk Province after the Chernobyl accident. *Bryansk Med. Herald* **6**(11): 45–48.
- Lavdovskaya, M. V., Lysenko, A. Ya., Basova, E. N., Lozovaya, G. A., Baleva, L. S. & Rybalkyna, T. N. (1996). The "host-opportunistic protozoa" system: Effect of ionizing radiation on incidence of cryptosporidiosis and pneumocystosis. *Parasitology* **2**: 153–157 (en russe).
- Lazjuk, G. I., Bedelbaeva, K. A. & Fomina, Zh. N. (1990). Cytogenetic effects of additional low doses of ionizing radiation. *Belar. Publ. Health* **6**: 38–41 (en russe).
- Lazjuk, G. I., Kirillova, I. A. & Nykolaev, D. L. (1994). Hereditary pathology in Belarus and the Chernobyl accident. In: *Chernobyl Accident: Medical Aspects* (Collected Papers, Minsk): pp. 167–183 (en russe).
- Lazjuk, G. I., Nykolaev, D. L. & Khmel', R. D. (1996a). Absolute number and frequency of congenital malformations, strict accounting (CM SA) in some Belarus regions. *Biomed. Aspects Chernob. Accident* (Minsk) **1**: 15–17 (en russe).
- Lazjuk, G., Nykolaev, D. & Novykova, I. (1996b). Congenital and hereditary pathology in Belarus in view of the Chernobyl catastrophe. *Medicine* **3** (12): 7–8.
- Lazjuk, G. I., Nykolaev, D. L. & Novykova, I. V. (1997). Changes in registered congenital anomalies in the Republic of Belarus after the Chernobyl accident. *Stem Cells* **15**: (Suppl. 2): 255–260.
- Lazjuk, G. I., Nykolaev, D. L., Novykova, I. V., Poplytyko, A. D. & Khmel', R. D. (1999a). Belarussian population radiation exposure after Chernobyl accident and congenital malformation. *Int. J. Rad. Med.* **1**: 63–70 (en russe).
- Lazjuk, G., Satow, Y., Nykolaev, D. & Novykova, I. (1999b). Genetic consequences of the Chernobyl accident for Belarus Republic. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-7 (Kyoto University, Kyoto): 174–177.

- Lazjuk, G. I., Zatsepin, I.O., Verje, P., Ganier, B., Robert, E., *et al.* (2002). Down Syndrome and ionizing radiation: Direct-effect or by-chance connections. *Rad. Biol. Radioecol.* **42** (6): 678–683 (en russe).
- Lenskaya, R. V., Pyvovarova, A. I., Luk'yanova, A. G., Bykova, I. A., Zakharova, G. A., *et al.* (1995). Results of hematological and cytochemical screening of blood from 906 children from Bryansk province territories with different levels of cesium-137 and strontium-90 soil contamination. *Hematol. Transfusiol.* **40** (6): 30–34 (en russe).
- Lenskaya, R. V., Zubrikhyna, G. N., Tarasova, I. S., Buyankin, V. M. & Kaznacheev, K. S. (1999). Clinical and immunological characteristics of children permanently living in radionuclide-contaminated territories as a function of the dose of internal irradiation. *Haematol. Transfusiol.* **44** (2): 34–37 (en russe).
- Leonova, T. A. (2001). Functional state of reproductive system among girls of pubertal age with autoimmune thyroiditis. Third International Conference. *Medical Consequences of Chernobyl Catastrophe: Outcomes of 15-Year Studies*. June 4–8, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 224–225 (en russe).
- Leonova, T. A. & Astakhova, L. N. (1998). Autoimmune thyroiditis in pubertal girls. *Public Health* **5**: 30–33 (en russe).
- Lipchak, O. V., Elagin, V. V., Kartashova, S. S. & Timchenko, O. I. (2003). Risk of reproductive disorders among population on radioactive contaminated territories of Kiev province. *Health Problems* **3**: 36–39 (en ukrainien).
- Loganovsky, K. N. (1999). Clinical epidemiological aspects and psychiatric consequences of the Chernobyl catastrophe. *Soc. Clin. Psychiat.* **9** (1): 5–17 (en russe).
- Loganovsky, K. N. (2000). Vegetative vascular dystonia and bone pain syndrome or Chronic Fatigue Syndrome as a characteristic after-effect of a radioecological disaster: The Chernobyl accident experience. *J. Chron. Fatig. Syndr.* **7** (3): 3–16.
- Loganovsky, K. N. (2002). Mental disorders following exposure to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident: Neurophysiological mechanisms, unified clinical diagnostics, treatment. M.D. Thesis (Center for Radiation Medicine, Kiev): 24 pp. (en russe).
- Loganovsky, K. N. (2003). Psychophysiological features of somatosensory disorders in victims of the Chernobyl accident. *Human Physiol.* **29** (1): 122–130 (en russe).
- Loganovsky, K. N. & Bomko, M. O. (2004). Structural and functional patterns of radiation brain damage in liquidators. *Ukr. Med. J.* **5** (43): 67–74 (en ukrainien).
- Loganovsky, K. N. & Loganovskaya, T. K. (2000). Schizophrenia spectrum disorders in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. *Schizophr. Bull.* **26**: 751–773.
- Loganovsky, K. N. & Yuryev, K. L. (2001). EEG patterns in persons exposed to ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident: Pt. 1. Conventional EEG analysis. *J. Neuropsychiat. Clin. Neurosci.* **13** (4): 441–458.
- Loganovsky, K. N., Kovalenko, A. N., Yuryev, K. L., Bomko, M. A., Antipchuk, Ye. Yu, *et al.* (2003). Verification of organic brain damage many years after acute radiation sickness. *Ukr. Med. J.* **6** (38): 70–78 (en ukrainien).
- Loganovsky, K.N., Volovik, S.V., Manton, K.G., Bazzyka, D. A. & Flor-Henry, P. (2005). Is ionizing radiation a risk factor for schizophrenia spectrum disorders? *World J. Biol. Psychiat.* **6** (4): 212–230.
- Lomat', L. N., Antypova, S. I. & Metel'skaya, M. A. (1996). Illnesses in children suffering from the Chernobyl catastrophe, 1994. *Med. Biol. Consequences Chernobyl Accident* **1**: 38–47 (en russe).
- Lotz, B., Haerting, J. & Schulze, E. (1996). Veränderungen im fetalen und kindlichen Sektionsgut im Raum Jena nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl. In: International Conference of the Society of Medical Documentation, Statistics and Epidemiology (Presentation, Bonn) (cited by Hoffmann, 2001).
- Lukic, B., Bazjaktarovic, N. & Todorovic, N. (1988). Dynamics of appearance of chromosomal aberrations in newborns during the last ten years. In: Eleventh European Congress of Perinatal Medicine (CIC International, Rome) ([//www.amazon.com/Proceedings-Eleventh-European-CongressPerinatal/dp/3718649195](http://www.amazon.com/Proceedings-Eleventh-European-CongressPerinatal/dp/3718649195)).
- Lukomsky, I. V., Protas, R. N. & Alexeenko, Yu. V. (1993). Neurological disease abnormalities in the adult population in the zone of the tight radiation control. In: *Impact of Radionuclide Contamination on Public Health: Clinical Experimental Study* (Collected Papers, Vitebsk Medical Institute, Vitebsk): pp. 90–92 (en russe).
- Luk'yanova, A. G. & Lenskaya, R. V. (1996). Cytological and chemical characteristics of peripheral blood lymphocytes in Chernobyl children, 1987–1995. *Hematol. Transfusiol.* **41** (6): 27–30 (en russe).
- Luk'yanova, E. M. (Ed.) (2003). Chernobyl Catastrophe: Women's and Children's Health ("Znanie," Moscow): 278 pp. (en russe).
- Luk'yanova, E. M., Antypkin, Y. G., Arabs'ka, L. P., Zadorozhna, T. D., Dashkevych, V. E. & Povoroznyuk, V. V. (2005). *Chernobyl Accident: The State of Osseous System in Children During the Ante- and Postnatal Period of Life* ("Chernobylinterinform," Kiev): 480 pp. (en russe).
- Luk'yanova, E. M., Denysova, M. F. & Lapshin, V. F. (1995). Children's digestive system. 3.19. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* ([//www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm](http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm)) (en russe).
- Lyaginskaya, A. M. & Osypov, V. A. (1995). Comparison estimates of reproductive health of a population from contaminated territories of Bryansk and Ryazan areas of the Russian Federation. Scientific Conference. *Radioecological Medical and Socio-Economical Consequences of the Chernobyl Accident: Rehabilitation of Territories and Populations* (Abstracts, Moscow): p. 91 (en russe).
- Lyaginskaya, A. M., Osypov, V. A., Smirnova, O. V., Isychenko, I. B. & Romanova, S. V. (2002). Reproductive function of liquidators and health of their children. *Med. Radiol. Radiat. Safety* **47** (1): 5–10 (en russe).
- Lyaginskaya, A. M., Tukov, A. R., Osypov, V. A. & Prokhorova, O. N. (2007). Genetic effects on the liquidators. *Rad. Biol. Radioec.* **47** (2): 188–195 (en russe).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- Lyalykov, S. A., Evets, E. B. & Makarchik, A. V. (1993). Endocrine status abnormalities in children affected by long-term low-dose irradiation. International Scientific Conference. *Chernobyl Catastrophe: Diagnostics and Medical-Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 68–70 (en russe).
- Lyasko, L. I., Tsyb, A. F. & Sushkevich, G. N. (2000). Radionuclide methodology for thyroid illnesses in liquidators. In: International Conference and Second Congress for Russian Social and Nuclear Medicine. *Actual Problems of Nuclear Medicine and Radio-Pharmacy*. October 23–27, 2000, Obninsk (Abstracts, Obninsk): pp. 95–96 (en russe).
- Lypyk, V. (2004). Planet and radiation: Reality more frightful than numbers. "PRAVDA.ru," May 12 (<http://www.pravda.ru/>) (en russe).
- Lysyany, N. I. & Lyubich, L. D. (2001). Role of neuro-immune reactions for development of postradiation encephalopathy after low-dose impact. Third International Conference. *Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Results of 15 Years of Investigations*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 225–226 (en russe).
- Lyubchenko, P. N. & Agal'tsev, M. V. (2001). Pathology found in liquidators during 15 years of studies. In: Lyubchenko, P.N. (Ed.), *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* ("Viribus Unites," Moscow): pp. 26–27 (en russe).
- Malyuk, E. S. & Bogdantsova, Ae. N. (2001). Characteristics of development and course of psoriasis in liquidators. In: *185 Years of Krasnodar Regional Hospital Named by Prof. S. V. Ochapovsky* (Collected Papers, Krasnodar): pp. 134–135 (en russe).
- Manak, N. A., Rusetskaya, V. G. & Lazjuk, D. G. (1996). Analysis of blood circulatory illnesses of Belarus population. *Med. Biol. Aspects Chernob. Accident* **1**: 24–29 (en russe).
- Marapova, L. A. & Khytrov, V. Yu. (2001). Mouth disease: Status of liquidators' children. International Scientific and Practical Conference Dedicated to the Fifteenth Anniversary of the Chernobyl Catastrophe. *Diagnosis, Treatment and Rehabilitation of Those Suffering in Emergency Situations*. April 25–26, 2001, Kazan' (Materials, Kazan'): pp. 193–195 (en russe).
- Marples, D. R. (1996). The decade of despair. *Bull. Atomic Sci.* **3**: 22–31. Matchenko, I. S., Klymovich, L. A. & Korsak, Ya. V. (2001). Pathology of interdental bone tissue osteoporosis and generalized periodontitis in liquidators. *Med. Perspect.* **6** (2): 81–83 (en russe).
- Matsko, V. P. (1999). Current state of epidemiological studies on Chernobyl sufferers in Belarus. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 127–138.
- Matveenko, E. G., Borovykova, M. P. & Davydov, G. A. (2005). Physical characteristics and primary morbidity in liquidators' children. International Scientific and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years After: Social and Economic Problems and Perspectives for Development of the Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 176–179 (en russe).
- Matveenko, V. N., Sachek, M. M. & Zhavoronok, S. V. (1995). Liquidators' immunological status study using flow cytometry. In: Third Congress of the Belarusian Scientific Society of Immunology and Allergology. *Actual Problems of Immunology and Allergy* (Abstracts, Grodno): pp. 91–92 (en russe).
- Matveenko, V. N., Zhavoronok, S. V. & Sachek, M. M. (1997). Flow cytometry of subpopulations of leukocytes of Chernobyl liquidators' peripheral blood. In: *Medical and Biological Effects and Ways to Overcome the Consequences of the Chernobyl Accident* (Collection of Papers Dedicated to the Tenth Anniversary of the Chernobyl Accident, Minsk/Vitebsk): pp. 34–36 (en russe).
- Matveev, V. A. (1993). Activity of cytomegalovirus infection in pregnant women as an index of herd immunity in the radionuclide-contaminated regions due to the Chernobyl accident. Effect of environmental contamination with radionuclides on population health: A clinical and experimental study. In: *Collected Transactions* (Vitebsk Medical Institute, Vitebsk): pp. 97–100 (en russe).
- Matveev, V. A., Voropaev, E. V., & Kolomiets, N. D. (1995). Role of the herpes virus infections in infant mortality of Gomel territories with different densities of radionuclide pollution. In: Third Congress of Belarusian Scientific Society of Immunology Allergology. *Actual Problems of Immunology and Allergy* (Abstracts, Grodno): pp. 90–91 (en russe).
- Maznik, N. A. (2004). Results of cytogenetic examinations and biological dosimetry of evacuees from the 30-km Chernobyl zone. *Rad. Biol. Radioecol.* **44** (5): 566–573 (en russe).
- Maznik, N. A. & Vinnykov, V. A. (2002). Level of chromosomal aberrations in peripheral blood lymphocytes of evacuees and of those living in the radioactive contaminated territories after the Chernobyl accident. *Rad. Biol. Radioecol.* **42** (6): 704–710 (en russe).
- Maznik, N. A., Vinnykov, V. A. & Maznik, V. S. (2003). Estimation of liquidators' individual doses of irradiation from results of cytogenetic analysis. *Rad. Biol. Radioecol.* **43** (4): 412–419 (en russe).
- McKusick, V. (1998). Mendelian Inheritance in Man: Catalogs of Autosomal Dominant, Autosomal Recessive and XLinked Phenotypes, 12th Edn. (Johns Hopkins University Press, Baltimore): 2830 pp.
- Mel'nichenko, E.M. & Cheshko, N. N. (1997). Condition of children's teeth and oral health support in the regions with radioactive pollution. *Publ. Health* **5**: 38–40 (en russe).
- Mel'nikov, S. B., Koryt'ko, S. S. & Grytshenko, M. V. (1998). Dynamics of cytogenetical status of liquidators. *Publ. Health* **2**: 21–23 (en russe).
- Mel'nov, S. B. (2002). Genetical instability and somatic pathology. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* **3** (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 25–27 (en russe).
- Mel'nov, S. B. & Lebedeva, T. V. (2004). Molecular genetic status of children and adolescents living under chronic low dose irradiation. *Rad. Biol. Radioecol.* **44**(6): 627–631 (en russe).
- Mel'nov, S. B., Korit'ko, S. S., Aderikho, K. N., Kondrachuk, A. N., Shimanets, T. V. & Nikonovich, S. N. (2003). Evaluation of immunological status of the 1986–1987 liquidators after many years. *Immunopathol. Allergol. Infectol.* **4**: 35–41 (en russe).
- Mel'nov, S. B., Senerichyna, S. E., Savitsky, V. P. & Dudarenko, O. I. (1999). Medical genetic aspects of thyroid cancer in children after the Chernobyl acci-

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- dent. In: *Ecological Anthropology: Almanac* (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 293–297 (en russe).
- Mikhalevich, L. S. (1999). Monitoring of cytogenetic damage in peripheral lymphocytes of children living in radiocontaminated areas of Belarus. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-7 (Kyoto University, Kyoto): pp. 178–188.
- Miksha, Ya. S. & Danylov, I. P. (1997). Consequences of the chronic impact of ionizing irradiation on the haemopoiesis in Gomel area. *Publ. Health* **4**: 19–20 (en russe).
- Mikulinsky, Yu. E., Chub, N. I., Kramar', M. I. & Yurchenko, G. G. (2002). In: Proceedings of International Conference on Genetic Consequences of Emergent Radioactive Situations (Russian University of Friendship Between People, Moscow): pp. 82–83 (en russe).
- Mocan, H., Bozkaya, H., Mocan, Z. M. & Furtun, E. M. (1990). Changing incidence of anencephaly in the eastern Black Sea region of Turkey and Chernobyl. *Paediatr. Perinat. Epidemiol.* **4**: 264–268.
- Mokhort, T. V. (2003). Problems of diabetes type I in Belarus in post-Chernobyl period. *Med. Biol. Aspect. Chernobyl Accident Analyt. Inform. Bull.* **1** (Minsk): pp. 3–8 (en russe).
- Morozevich, T. S., Gres', N. A., Arynchin, A. N. & Petrova, V. S. (1997). Some eco-pathogenic problems of disturbed hair growth in Belarussian children. Scientific and Practical Conference Dedicated to the Tenth Anniversary of the Republican Center for Radiation Medicine. *Actual Problems of Medical Rehabilitation of a Population Suffering from the Chernobyl Catastrophe* June 30, 1997, Minsk (Materials, Minsk): pp. 38–39 (en russe).
- Morozov, A. M. & Kryzhanovskaya, L. A. (1998). Clinical Findings and Treatment of Borderline Mental Disorders in Liquidators ("Chernobylinterinform," Kiev): 352 pp. (http://www.biobel.bas-net.by/igc/ChD/Liquidators6_r.htm-126k) (en russe).
- Moskalenko, B. (2003). Evaluation of consequences from the Chernobyl accident for the Ukrainian population. *World Ecol. Bull.* **XIV** (3–4): 4–7 (en russe).
- Moumdjiev, N., Nedkova, V., Christova, V. & Kostova, Sv. (1992). Influence of the Chernobyl reactor accident on children's health in the region of Pleven, Bulgaria. In: Twentieth International Congress on Pediatrics, September 6–10, 1992, Brasil (Abstracts): p. 57 (cited by Akar, 1994).
- Mozzhukhyna, N. (2004). Resultant thyroid changes from type and dose of irradiation: Literature review. *Herald Rentgenol. Radiol.* **5**: 45–52 (en russe).
- Mytryaeva, N. A. (1996). Hypothalamus–hypophyseal–adrenal system in liquidators (7 years of observation data). *Med. Radiol. Radiat. Safety* **41**(3): 19–23 (en russe).
- Nagornaya, A. M. (1995). Health of adults of Zhytomir Province that suffered from the radioactive impact of the Chernobyl accident and live in the strictly controlled radiation zone (by National Registry data). Scientific and Practical Conference. *Public Health Problems and Perspectives of Zhytomir Province, Dedicated to 100th Anniversary of O. F. Gerbachevsky Hospital*. September 14, 1995, Zhytomir (Materials, Zhytomir): pp. 58–60 (en ukrainien).
- Napreyenko, A. K. & Loganovsky, K. N. (1995). Systematics of mental disorder related sequelae from the Chernobyl NPP accident. *Doct. Pract.* **5–6**: 25–29 (en russe).
- Napreyenko, A. & Loganovsky, K. (2001). Psychiatric management of radioecological disaster victims and local war veterans. *New Trends Experim. Clinic. Psychiat.* **XVII** (1–4): 43–48.
- National Belarussian Report (2006). *Twenty Years After the Chernobyl Catastrophe: Consequences for Belarus Republic and Its Surrounding Area* (Shevchuk, V. F. & Gurachevsky, V. L., Eds.) (Belarus, Minsk): 112 pp. (en russe).
- National Russian Report (1999). *Chernobyl Catastrophe: Results and Problems in Overcoming Its Consequences in Russia 1986 to 1996*. Bol'shov, L. A., Aerutyunyan, R. V., Linge, I. I., Barkhudarov, R. M., Osyp'yants, I. A., et al. (http://www.ibrae.ac.ru/russian/chernobyl/nat_rep_99/131_et_text.html) (en russe).
- National Ukrainian Report (2006). *Twenty Years of the Chernobyl Catastrophe: A View to the Future* (Kiev) (http://www.mns.gov.ua/news_show.php).
- Nedoborsky, K. V., Ogarkov, P. I. & Khodyrev, A. P. (2004). Military-epidemiological significance of infections and parasitic pathology among military personnel owing to the radioactive impact of their liquidation activities many years after Chernobyl catastrophe. *Army Med. J.* **325**(11): 48–49 (en russe).
- Nedvetskaya, V. V. & Lyalykov, S. A. (1994). Cranio-logic interval graphic study of children's nervous systems from radioactive contamination areas. *Belarus Publ. Health* **2**: 30–33 (en russe).
- Nesterenko, V. B. (1996). Scale and Consequences of the Chernobyl Catastrophe for Belarus, Ukraine and Russia (Pravo and Economica, Minsk): 72 pp. (en russe).
- Nesterenko, V. B., Yakovlev, V. A. & Nazarov, A. G. (Eds.) (1993). *Chernobyl Catastrophe: Reasons and Consequences (Expert Conclusion)*. Pt. 4. Consequences for Ukraine and Russia (Test, Minsk): 243 pp. (en russe).
- Noshchenko, A. G. & Loganovsky, K. N. (1994). Functional brain characteristics of people working within the 30-kilometer area of the Chernobyl NPP from the viewpoint of age-related changes. *Doctor Pract.* **2**: 16–19 (en russe).
- Noskov, A. I. (2004). Liquidators' visceral pathology during 15 years of observation. Astrakhan' Scientific and Practical Conference with Participation of the Young Scientists and Scholars Seminar. *Contemporary Progress of Fundamental Science for Solutions to Actual Medical Problems* (Materials, Astrakhan'): pp. 272–274 (en russe).
- Novykova, N. S. (2003). Remote clinical immunological characters of liquidators. M.D. Thesis (Novosibirsk Medical Academy): 22 pp. (en russe).
- Nyagu, A. I. (1994). Medical Consequences of the Chernobyl Accident in Ukraine (Science Technical Center, Kiev) (cited by Pflugbeil et al., 2006) (en russe).
- Nyagu, A. I. (Ed.) (1995a). Actual and predicted disorders of mental health after nuclear catastrophe in Chernobyl (Kiev): 347 pp. (en russe).
- Nyagu, A. I. (1995b). Vegetative dystonia. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): pp. 477–480

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- (//www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm) (en russe).
- Nyagu, A. I. & Loganovsky, K. N. (1998). *Neuro-Psychiatric Effects of Ionizing Radiation* ("Chernobylinterinform," Kiev): 370 pp. (en russe).
- Nyagu, A. I., Loganovsky, K. N. & Loganovskaya, T. K. (1998). Psychophysiological after-effects of prenatal irradiation. *Int. J. Psychophys.* **30**: 303–311.
- Nyagu, A. I., Loganovsky, K. N., Pott-Born, R., Repin, V. S. & Nechayev, S. Yu., *et al.* (2004). Effects of prenatal brain irradiation after the Chernobyl accident. *Int. J. Rad. Med.* **6**(1–4): pp. 91–107 (en russe).
- Nyagu, A. I., Noshchenko, A. G. & Loganovsky, K. N. (1992). Late effects of psychogenic and radiation factors from the Chernobyl accident on the functional state of the human brain. *J. Neuropathol. Psychiat. Korsakova* **92**(4): 72–77 (en russe).
- Nyagu, A. I. (2006). General state of health after Chernobyl. International Conference. *Chernobyl Twenty Years After: View to the Future*. April 22–23, 2006, Kiev, Ukraine (//www.ch20.org/agenda.htm) (en russe).
- Nykolaev, D. L. & Khmel', R. D. (1998). Evaluation of genetic consequences of Chernobyl catastrophe. In: First Congress of Belarus Physicians, June 25–26, 1998, Minsk (Abstracts, Minsk): pp. 149–150 (en russe).
- Nykyforov, V. A. & Eskin, V. Ya. (1998). Delayed characteristics in optical analyses among liquidators. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Delayed Results and Problems of Medical Observation for Liquidators' Health* ("MONIKI," Moscow): pp. 77–80 (en russe).
- Nykytin, A. I. (2005). Harmful Environmental Factors and Human Reproductive System Responsibility for Future Generations (ELBY, St. Petersburg): 216 pp. (en russe).
- Nykytyna, N. V. (2002). Studies of bone mineral density and strength of osseous tissue metabolism in liquidators and their children. Sixth Regional Conference of Young Researchers. Volgograd Province, November 13–16, 2001, Volgograd (Abstracts, Volgograd): pp. 87–88 (en russe).
- Nykytyna, N. V. (2005). Osteoporosis in liquidators and its correction by alfa-calcidol. M.D. Thesis (Volgograd Medical University, Volgograd): 27 pp. (en russe).
- Oganessian, N. M., Asryan, K. V., Myridzhanyan, M. I., Petrosyan, Sh. M., Pogosyan, A. S. & Abramyan, A. K. (2002). Evaluation of medical consequences of low dose ionizing radiation in Armenian liquidators. In: Third International Symposium on Mechanisms of Ultra-Low Dose Action. December 3–6, 2002, Moscow (Abstracts, Moscow): p. 114 (en russe).
- Onitchenko, N. P., Kokyeva, O. V., Sof'yna, L. I., Khosroeva, D. A. & Litvynova, T. N. (2003). Method of risk prognostication for development of chronic pancreatitis in liquidators. Russian Patent 2211449, MPK {7} G-1N 33/48, G01N 33/50/-N 2001114065/14; *Bull.* **24** (en russe).
- Oradovskaya, I. V. (2007). Immunological Monitoring of Chernobyl Catastrophe 2001–2006: Results of Longitudinal Studies (Institute of Immunology, Moscow): 608 pp. (en russe).
- Oradovskaya, I. V., Vykulov, G. Kh., Feoktistov, V. V. & Bozhetskaya, N. V. (2006). Delayed medical consequences in liquidators: Results of 20 years of longitudinal monitoring. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years After the Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 166–184 (en russe).
- Orlov, Yu. A. (1993). Dynamics of congenital malformations and primitive neuroectodermal tumors. Scientific Conference of CIS States. *Social-Psychological and Psycho-Neurological Consequences of Chernobyl Catastrophe* (Materials, Kiev): pp. 259–260 (en russe).
- Orlov, Yu. A. & Shaversky, A. V. (2003). Influence of ionizing radiation and malignant brain injury in children under 3 years of age. *Ukr. Neurosurg. J.* **3**(21) (//www.ecosvit.org/ru/influence.php) (en ukrainien).
- Orlov, Yu. A., Shaversky, A. V. & Mykhalyuk, V. S. (2006). Neuro-oncological morbidity in ukrainian preteen children. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery*. May 29–June 3, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 16–17 (//www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDF/S/si8_2006/T) (en russe).
- Orlov, Yu. A., Verkhoglyadova, T. L., Plavsky, N. V., Malysheva, T. A., Shaversky, A. V. & Guslitzer, L. N. (2001). CNS tumors in children: Ukrainian morbidity for 25 years. Third International Conference. *Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Results of 15 Years of Investigations*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 258–259 (en russe).
- Ostroumova, E. V. (2004). Abnormal clinical processes and fate of persons with chronic radiation sickness following long-term exposure during antenatal and postnatal periods. M.D. Thesis (Tyumen' Medical Academy, Tyumen'): 22 pp. (en russe).
- Otake, M. & Schull, W. J. (1984). *In utero* exposure to Abomb radiation and mental retardation: A reassessment. *Brit. J. Radiolog.* **57**: 409–414.
- Panenko, A. A., Maistryuk, I. D., Nykolaeva, T. N., Podvysotsky, A. A., Fostery, V. G. & Krylova, T. G. (2003). Subclinical hypothyroidism (observed experience). *Herald Physiol. Balneolog.* **9**(2): 55–58 (en russe).
- Paramey, V. T., Saley, M. Ya., Madekin, A. S. & Otlivanchik, I. A. (1993). Lens conditions in people living in the radionuclide contaminated territories. Scientific and Practical Conference. *Chernobyl Catastrophe: Diagnostics and Medical-Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): 105–106 (en russe).
- Paramonova, N. S. & Nedvetskaya, V. V. (1993). Abnormalities in physical and sexual development of children under the impact of long-term low-dose irradiation. Conference. *Chernobyl Catastrophe: Diagnostics and Medical-Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 62–64 (en russe).
- Pelevyna, I. I., Afanas'ev, G. G., Gotlib, V. Ya. & Serebryanny, A. M. (1996). Cytogenetical changes in the peripheral blood of people living in the Chernobyl contaminated areas. In: Burlakova, E. B. (Ed.), *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Public Health* (Center for Russian Ecological Policy, Moscow): pp. 229–244 (en russe).
- Perez, J. A., (2004). Chernobyl blamed for drop in birthrate. Study says radiation affected Czech mothers. *The Prague Post* (Czech Republic), April 1.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- //www.thepraguepost.com/P03/2004/Art/0401/print_template.php.
- Petrenko, S. V., Zaitzev, V. A. & Balakleevskaya, V. G. (1993). Hypophyseal-adrenal system in children living in the radionuclides contaminated territories. *Belar. Publ. Health* **11**: 7–9 (en russe).
- Petrova, A. M., Maistrova, I. N. & Zafranskaya, M. M. (1993). Infants' immune systems in the territories with different levels of Cs-137 soil pollution. Scientific Conference. *Chernobyl Catastrophe: Diagnostics and Medical-Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 74–76 (en russe).
- Petrova, I. N. (2003). Clinical importance of microcirculatory malfunction in liquidators with hypertonic illnesses. M.D. Thesis (Kuban Medical Academy, Krasnodar): 22 pp. (en russe).
- Petrunya, A. M., Yazid, A. Ae. & Mutychko, M. V. (1999). Biochemical and immune disorders in persons with eye pathology associated with neurovascular pathology and lowintensity ionizing irradiation. *Ophthalmol. J.* **2**: 73–77 (en russe).
- Pflugbeil, S., Paulitz, H., Claussen, A. & Schmitz-Feuerhake, I. (2006). *Health Effects of Chernobyl: Twenty Years After the Reactor Catastrophe. MetaAnalysis* (German IPPNW, Berlin): 75 pp.
- Pilinskaya, M. A. (1992). Cytogenetic indicators of irradiation in people suffering as a result of the Chernobyl accident. *Cytol. Genet.* **26**(6): 6–9 (en russe).
- Pilinskaya, M. (1994). Cytogenetic monitoring of people affected by the Chernobyl accident. *Cytol. Genet.* **28**(3): 18–25 (en russe).
- Pilinskaya, M. A. (1999). Cytogenetic effects in somatic cells as biomarkers of low dose ionizing radiation in people suffering from the Chernobyl catastrophe. *Int. J. Rad. Med.* **2**: 60–66 (en russe).
- Pilinskaya, M. A., Dibs'ky, S. S., Dibs'ka, O. B. & Pedan, L. R. (2003a). Cytogenetic study of liquidators with conventional cytogenetic analysis and with fluorescent *in situ* hybridization (FISH). *Herald Nat. Ukr. Acad. Sci.* **9**(3): 465–475 (en ukrainien).
- Pilinskaya, M. A., Dyb'skyi, S. S., Dyb'ska, O. B. & Pedan, L. R. (2003). Somatic chromosomal mutagenesis in children living in the radionuclide polluted territories of Ukraine during the post-Chernobyl period. *Report Nat. Sci. Acad. Ukr.* **7**: 176–182 (en ukrainien).
- Podpalov, V. P. (1994). Development of hypertensive disease in the population of territories with unsafe radioactivity. Scientific Conference. *Chernobyl Accident: Diagnostics and Medical-Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 27–28 (en russe).
- Pohl-Rüling, J., Haas, O., Brogger, A., Obe, G., Lettner, H., et al. (1991). The effect on lymphocyte chromosomes in Salzburg (Austria) from the additional burden of fallout due to the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* **262**: 209–217.
- Polonetskaya, S. N., Chakolva, N. N., Demedchik, Yu. E. & Michalevich, L. S. (2001). Cytogenetic analysis of normal and thyroid gland tumor cells *in vivo*. In: Fourth Congress on Radiation Research (Radiobiology, Radioecology and Radiation Safety). November 20–24, 2001, Moscow 1 (Abstracts, Moscow): pp. 257–258 (en russe).
- Ponomarenko, V. M., Bobyleva, O. O. & Proklyna, T. L. (2002). Actual characteristics of the health of children born to fathers suffering from Chernobyl accident. *Ukr. Herald Soc. Hygien. Publ. Health Manag.* **4**: 19–21 (en ukrainien).
- Popova, O. V., Shmarov, D. A., Budnyk, M. I. & Kozynets, G. I. (2002). Study using nuclear magnetic resonance (NMR) of blood plasma relaxation under the impact of intensive ultra-low ecological factors. In: International Symposium on Mechanisms of Action of Ultra-Low Doses. December 3–6, 2002, Moscow (Abstracts, Moscow): pp. 124–125 (en russe).
- Porovsky, Ya. V., Ryzhov, A. I. & Tetenev, F. F. (2005). Delayed morphological and functional changes in Chernobyl liquidators' skin. *Radiat. Biol. Radioecol.* **45**(1): 86–90 (en russe).
- Potapnev, M. P., Kuz'menok, O. I., Potapova, S. M., Smol'nykova, V. V., Myslytsky, V. F., et al. (1998). Functional deficiency of T cell immunity in liquidators 10 years after the Chernobyl accident. *Transact. Nat. Belar. Acad. Sci.* **42**(4): 109–113 (en russe).
- Prokopenko, N. A. (2003). Cardio-vascular and nervous system pathology as a synergetic result of irradiation and psycho-emotional stress in those suffering from the Chernobyl accident. *Ageing Longevity Probl.* **12** (2): 213–218 (en russe).
- Provotvorov, V. M. & Romashov, B. B. (1997). Epidemiological study of lung cancer morbidity in Voronezh province and connection to the Chernobyl accident. In: Seventh National Congress on Respiratory Illnesses (Collected Papers, Moscow): pp. 325–326 (en russe).
- Prysyzhnyuk, A. Ye., Grishchenko, V. G., Fedorenko, Z. P., Gulak, L. O. & Fuzik, M. M. (2002). Review of epidemiological finding in the study of medical consequences of the Chernobyl accident in ukrainien population. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto), pp. 188–287.
- Pymenov, S.V. (2001). Search of stomatological status and complex health demands of liquidators. M.D. Thesis (Institute of Advanced Training, Moscow): 26 pp. (en russe).
- Rahu, K., Rahu, M., Tekkel, M. & Bromet, E. (2006). Suicide risk among Chernobyl cleanup workers in Estonia still increasing: An updated cohort study. *Ann. Epidemiol.* **16**(12): 917–919.
- Ramsey, C. N., Ellis, P. M. & Zealley, H. (1991). Down syndrome in the Lothian region of Scotland 1978 to 1989. *Biomed. Pharmacother.* **45**: 267–272.
- Revenok, A. A. (1998). Psychopathic-like disorders in persons with organic brain lesions as a result of exposure to ionizing radiation. *Doctor Pract.* **3**: 21–24 (en russe).
- Romanenko, A., Lee, C. & Yamamoto, S. (1999). Urinary bladder lesions after the Chernobyl accident: Immune-histochemical assessment of proliferating cellular nuclear antigen, cyclin D1 and P 21 waf1/Cip. *Japan J. Cancer Res.* **90**: 144–153.
- Romanenko, A. E., Bomko, E. I., Kostenko, A. I. & Bomko, A. A. (2001). Morbidity of children living in radioactively contaminated territories of Ukraine and chronically exposed to low doses of ionizing radiation. *Int. J. Rad. Med.* **3** (3–4): 61–70 (en russe).
- Romanenko, A. E., Pyatak, O. A. & Kovalenko, A. L. (1995a). Liquidators' health. 2.2. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev)

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- (//www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm) (en russe).
- Romanenko, A. E., Pyatak, O. A. & Kovalenko, A. L. (1995b). Evacuees' health. 2.3. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev) (//www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm) (en russe).
- Romanenko, A. Y., Nyagu, A. I., Loganovsky, K. N., Tirmarche, M., Gagniere, B., et al. (2004). Data Base of Psychological Disorders in the Ukrainian Liquidators of the Chernobyl Accident. Franco-German Initiative for Chernobyl Project No. 3 Health Effects on the Chernobyl Accident Sub-Project No 3.4.8, Final Report.
- Romanova, G. D. (2001). Cerebral hemodynamic characteristics and functional condition of liquidators' brains after many years. M.D. Thesis (Center for Emergency Radiation Medicine, St. Petersburg): 17 pp. (en russe).
- Romanova, L. K., Ryabchykov, O. P., Zhorova, E. S., Bugrylova, R. S. & Makarova, L. F. (2004). Abnormalities of human lung prenatal morphogenesis during the first trimester of pregnancy at various times after the Chernobyl accident. *Rad. Biol. Radioecol.* **44** (6): 613–617 (en russe).
- Romanova, T. V. (1998). Clinical, morphological, and immunological characteristics of pulmonary inflammation processes in liquidators many years later. M.D. Thesis, 19 pp. (en russe).
- Romodanov, A. P. & Vynnytskyi, O. R. (1993). Brain lesions in mild radiation sickness. *Doctor Pract.* **1**: 10–16 (en ukrainien).
- Ruban, A. M. (2001). Occupational cataracts in liquidators. M.D. Thesis (Institute of Occupational Medicine, Kiev): 18 pp. (//www.avtoreferat.ukrlib.org/140201.htm) (en ukrainien).
- Rud', L. I., Dubynkyna, V. O., Petrova, I. N. & Kolomyitseva, N. Ae. (2001). Perfusion of the supratrochlear artery and vegetative (autonomic) regulation in liquidators with arterial hypertension after irradiation in the remote period. Twelfth Scientific and Practical Conference. *New Technologies in Eye Micro-Surgery*. November 14, 2001 (Materials, Orenburgh): pp. 298–299 (en russe).
- Rudnytskyi, E. A., Sobolev, A. V. & Kyseleva, L. F. (2003). Incidence of human microsporia in radionuclide contaminated areas. *Probl. Med. Mycol.* **5** (2): 68–69 (en russe).
- Rumyantseva, G. M., Chinkyna, O. V., Levyna, T. M. & Margolyna, V. Ya. (1998). Mental dis-adaptation in liquidators. *Rus. Med. J. Contemp. Psychiat.* **1** (1): 56–63 (//www.rmj.ru /sovpsih/t1/n1/8.htm; //www.rmj.ru/p1998_01/8.htm) (en russe).
- Rumyantseva, G. M., Chinkyna, O. V., Levyna, T. M. & Stepanov, A. L. (2006). Psychological-psychiatric effects of the Chernobyl catastrophe. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years After the Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 222–227.
- Savanevskyi, N. K. & Gamshey, N. V. (2003). Change in Blood Vessel Tonus, Arterial Pressure and Pulse Rate Under Static Loading in Girls With Vessel Spasms Living in the Radioactive Contaminated Territories (Brest University, Brest): 8 pp. (en russe).
- Savchenko, I. M., Vvedensky, D. V. & Vakul'chik, I. O. (1996). Interrelation of hormone-metabolic adaptation and blood loss under Caesarean section in women living in radioactive contaminated territories. In: *Morphological and Functional Aspects of Radionuclide Impact on Antenatal and Postnatal Processes* (Collected Scientific Papers, Gomel): pp. 116–118 (en russe).
- Savyna, N. P. & Khoptynskaya, S. K. (1995). Thymus dysfunction and endocrine control as one reason for development of late post-radiation immunodeficiency. *Rad. Biol. Radioecol.* **35** (4): 463–480 (en russe).
- Scherb, H. & Weigelt, E. (2003). Congenital malformations and stillbirth en Germany and Europe before and after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Env. Sci. Pollut. Res.* **10** (1): 117–125.
- Scherb, H. & Weigelt, E. (2004). Cleft lip and cleft palate birth rate in Bavaria before and after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Mund Kiefer Gesichtschir* **8**: 106–110 (en allemand).
- Schmitz-Feuerhake, I. (2002). *Malformations in Europe and Turkey* (Strahlentelex): pp. 374–375 (en allemand).
- Schmitz-Feuerhake, I. (2006). Teratogenic effects after Chernobyl. In: Busby, C. C. & Yablokov, A. V. (Eds.), *ECRR Chernobyl 20 Years After: Health Effects of the Chernobyl Accident* (Green Audit, Aberystwyth): pp. 105–117.
- Serdychenko, V. I. & Nostopyrena, E. I. (2001). Functional state of children's eyes from the zone of radiation control and the state of organisms, age and ecological characteristics of the environment. *Int. J. Radiat. Med.* **3** (1–2): 116–117 (en russe).
- Serdyuk, A. M. & Bobyleva, O. A. (1998). Chernobyl and Ukrainian public health. Second International Conference. *Remote Medical Consequences of Chernobyl Catastrophe*. June 1–6, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 132–133 (en russe).
- Sergeeva, M. E., Muratova, N. A. & Bondarenko, G. N. (2005). Demographic abnormalities in the radioactive contaminated zone of Bryansk province. International Scientific and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years After: Social and Economical Problems and Perspectives for Development of the Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 302–304 (en russe).
- Sergienko, N. M. & Fedirko, P. (2002). Eye accommodation function in persons exposed to ionizing radiation. *Ophthal. Res.* **34** (4): 192–194.
- Sergienko, S. (1997). Immune system alterations in pregnant women and newborns from radioactive contaminated areas. *Acta Obstet. Gynecol. Scand.* **76** (167): 103–104.
- Sergienko, S. (1998). Aspects of current pregnancies and deliveries in Chernobyl disaster regions. In: Thirteenth Congress of European Association of Gynecologists and Obstetricians (EAGO) (Abstracts, Jerusalem): pp. 97–98.
- Sevan'kaev, A. V., Anykyna, M. A. & Golub, E. B. (1998). Chromosomal aberrations in lymphocytes of people living in radioactively contaminated territories and in liquidators in Russia. Second International Conference. *Remote Medical Consequences of Chernobyl Catastrophe*. June 1–6, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 362–363 (en russe).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- Sevan'kaev, A. V., Mikhailova, G. F., Potetnya, O. I., Tsepenko, V. V., Khvostunov, I. K., *et al.* (2005). Results of cytogenetic observations in children and adolescents living in radioactively contaminated territories after the Chernobyl accident. *Rad. Biol. Radioecol.* **45** (1): 5–15 (en russe).
- Sevan'kaev, A. V., Zamulaeva, I. A., Mikhailova, G. F. & Potetnya, O. I. (2006). Comparative analysis of gene and structural mutations in inhabitants of radionuclide contaminated areas of Oryol province after the Chernobyl accident. In: Fifth Congress on Radiation Research (Radiobiology, Radioecology and Radiation Safety). April 10–14, 2006, Moscow 1 (Abstracts, Moscow): pp. 93–94 (en russe).
- Sevan'kaev, A. V., Zhloba, A. A. & Moiseenko, V. V. (1995a). Results of cytogenetic examination of children and adolescents living in contaminated areas of Kaluga province. *Rad. Biol. Radioecol.* **35** (5): 581–587 (en russe).
- Sevan'kaev, A. V., Zhloba, A. A., Potetnya, O. I., Anykyna, M. A. & Moiseenko, V. V. (1995b). Cytogenetic observations of children and adolescents living in the radionuclide contaminated territories of Bryansk area. *Rad. Biol. Radioecol.* **35** (5): 596–611 (en russe).
- Sevbytov, A. V. (2005). Clinical manifestations of oral diseases and delayed effects of irradiation. M.D. Thesis (Stomatology Institute, Moscow): 51 pp. (en russe).
- Sevbytov, A. V., Pankratova, N. V., Slabkovskaya, A. B. & Scatova, E. A. (1999). Tooth and jaw anomalies in children after impact of the “Chernobyl factor.” In: *Ecological Anthropology: Almanac* (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 188–191 (en russe).
- Shal'nova, S. A., Smolensky, A. V., Shamaryn, V. M., Aectova, T. V., Berzak, N. V., *et al.* (1998). Arterial hypertension and left ventricular hypertrophy in liquidators. *Cardiol.* **6**: 34–36 (en russe).
- Shamaryn, V. M., Martynchik, E. A., Martynchik, S. A., Kukushkin, S. K., Sherashov, V. S., *et al.* (2001). Cardiovascular diseases and level of main risk factors among liquidators: Results of 6-year prospective study. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Medical Consequences of Chernobyl Catastrophe* (“Viribus Unites,” Moscow): pp. 63–66 (en russe).
- Sharapov, A. N. (2001). Regulation of the endocrine–neurovegetative interconnections in children living in the lowdose radionuclide contaminated territories after the Chernobyl accident. M.D. Thesis (Institute of Pediatric Children's Surgery, Moscow): 53 pp. (en russe).
- Shevchenko, V. A. (2002). Modern approach to evaluation of genetic risk from radiation. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* **3** (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 12–15 (en russe).
- Shevchenko, V. A. & Snegyreva, G. P. (1996). Cytogenetic consequences of ionizing radiation's influence on a human population. In: Burlakova, E. B. (Ed.), *Consequences of the Chernobyl Accident: Public Health* (Center for Russian Ecological Policy, Moscow): pp. 24–49 (en russe).
- Shevchenko, V. A. & Snegyreva, G. P. (1999). Cytogenetic effects of the action of ionizing radiation on human populations. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-7 (Kyoto University, Kyoto): pp. 203–216.
- Shevchenko, V. A., Semov, A. B. & Akaeva, Ae. A. (1995). Cytogenetic effects in persons suffering as a result of the Chernobyl catastrophe. *Rad. Biol. Radioecol.* **35** (5): 646–653 (en russe).
- Shilko, A. N., Taptunova, A. I., Iskriyskiy, A. M. & Tschadystov, A. G. (1993). Frequencies and etiology of sterility and spontaneous abortions in the Chernobyl impacted territories. Conference. *Chernobyl Accident: Diagnostics and Medical-Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 65–67 (en russe).
- Shkrobot, S. I., Gara, I. I., Saly, Ya. M. & Furdela, M. Y. A. (2003). Clinical course characteristics of vegetative dysfunction and bone mineral density in liquidators. *Herald Sci. Achiev. Ternopol. Med. Acad.* **2**: 80–81 (en ukrainien).
- Shubik, V.M. (2002). Delayed immunologic changes after impact from low dose ionizing radiation. In: Third International Symposium on Mechanism of Action of Ultra-Low Doses. December 3–6, 2002, Moscow (Abstracts, Moscow): pp. 154–155 (en russe).
- Shvayko, L. I. & Sushko, V. A. (2001). Endoscopic monitoring of bronchopulmonary system in liquidators of Chernobyl catastrophe suffering from chronic obstructive pulmonary disease. *Europ. Respirat. J.* **18** (Suppl. 33): 391.
- Shykalov, V. F., Usaty, A. F., Syvintsev, Yu. V., Kruglova, G. I. & Kozlova, L. V. (2002). Analysis of medical and biological consequences of Chernobyl accident for liquidators from Kurchatov Institute. *Med. Radiol. Radiat. Safety* **47** (3): 23–33 (en russe).
- Sitnykov, V. P., Kunitsky, V. S. & Bakanova, V. A. (1993). Clinical abnormalities of immunological expression of LOR-organ diseases in children from the Chernobyl zone. In: *Impact of Radionuclides Contamination on Public Health: Clinical Experimental Studies* (Transaction, Vitebsk Medical Institute, Vitebsk): pp. 127–130 (en russe).
- Slozyna, N. M. & Neronova, E.G. (2002). Follow-up study of chromosomal aberrations in Chernobyl clean-up workers. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 270–278.
- Snegyreva, G. & Shevchenko, V. (2002). Analysis of chromosome aberrations in human lymphocytes after accidental exposure to ionizing radiation. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto), pp. 258–269.
- Snegyreva, G. P. & Shevchenko, V. A. (2006). Chromosome aberrations in the blood lymphocytes of the people exposed to radiation as a result of the Chernobyl accident. In: Busby, C. C. & Yablokov, A. V. (Eds.), *ECRR Chernobyl 20 Years After: Health Effects of the Chernobyl Accident. Doc. ECCRR* **1**: 95–103.
- Sokolov, V. V. (2003). Retrospective estimation of irradiation doses in the Chernobyl radioactive contaminated territories. Ph.D. in Technology Thesis (Tula University, Tula): 36 pp. (en russe).
- Sokolova, A. V. (2000). Diagnosis and therapy of vegetative (autonomic) sensory polyneuropathy in liquidators.

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- tors. M.D. Thesis (Perm Medical Academy, Perm): 37 pp. (en russe).
- Sokolovskaya, Ya. (1997). One more Chernobyl shock: Radiation harms not only heart and blood, but brain. *Izvestia* (Moscow), October 3, p. 5 (en russe).
- Soloshenko, E.N. (2002). Immune homeostasis in patients with dermatitis suffering from radioactive irradiation as a result of the Chernobyl accident. *Ukr. J. Hematol. Transfusiol.* 5: pp. 34–35 (en ukrainien).
- Sorokman, T. V. (1998). Health monitoring of children residing in zones with long-term low dose radiation after the Chernobyl accident. M.D. Thesis (Bukovina Medical Academy, Chernovtsy): 34 pp. (en ukrainien).
- Sorokman, T. V., Maksiyani, O. I., Bondar, G. B. & Solomatyna, M. O. (2002). Urogenital congenital malformations in children of Chernovtsy Province. *Clinic. Anatom. Operat. Surgery* 1(1): 19–21 (en ukrainien).
- Sosyutkin, A. E., Novozhylova, A. P., Tsherbak, S. G., Belokopytov, I. Yu. & Sarana, A. M. (2004). Ultrastructural pattern of stomach and duodenum in liquidators after many years. All-Russian Scientific Conference. *Medical-Biological Problems of Radioactive and Chemical Protection*. May 20–21, 2004, St. Petersburg (Materials, St. Petersburg): pp. 158–159 (en russe).
- Sperling, K., Neitzel H. & Scherb H. (2008). Low dose irradiation and nondisjunction: Lessons from Chernobyl. 19th Annual Meeting of the German Society of Human Genetics, April 8–10, 2008, Hanover, Germany. Poster (<http://ibb.gsf.de/homepage/hagen.scherb>).
- Sperling, K., Pelz, J., Wegner, R.-D., Dorries, A., Gruters, A. & Mikkelsen, M. (1994). Significant increase in trisomy 21 in Berlin nine months after the Chernobyl reactor accident: Temporal correlation or causal relation. *BMJ* 309: 158–161.
- Sperling, K., Pelz, J., Wegner, R.-D., Schulzke, I. & Struck, E. (1991). Frequency of trisomy 21 in Germany before and after the Chernobyl accident. *Bio-med. Pharmacother.* 45: 255–262.
- Stepanov, A. V. (1993). Analysis of the trichocephaly occurrence in the radioactive contaminated territories: Radionuclide contamination's impact on public health (clinical experimental study). In: *Collected Scientific Papers* (Vitebsk Medical Institute, Vitebsk): pp. 120–124 (en russe).
- Stepanova, E. I. (1999). Medical Biological Consequences of the Chernobyl Accident for Children Suffering in Ukraine. In: Bebeshko, V. G. & Kovalenko, A. N. (Eds.), *Medical Consequences of the Chernobyl Accident. 2. Clinical Aspects of the Chernobyl Accident* ("MEDECOL," Kiev): pp. 5–32 (en russe).
- Stepanova, E. I. (2006). Result of 20 years of observations on health of Ukrainian children suffering from Chernobyl catastrophe. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery*. May 29–June 3, 2006, Kiev, Ukraine (Materials, Kiev): pp. 16–17 http://www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDFS/si8_2006/T (en russe).
- Stepanova, E. I. & Davydenko, O.A. (1995). Hemopoietic system reactions in children from the impact of the Chernobyl accident. In: Third Ukrainian Congress on Hematological Transfusiology. May 23–25, 1995, Sumy, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 134–135 (en ukrainien).
- Stepanova, E. I. & Skvarkaya, E. A. (2002). International Conference. *Genetic Consequences of Radioactive Emergency Situations* (Abstracts, Russian University of Friendship Between People, Moscow): pp. 115–116 (en russe).
- Stepanova, E. I. & Vanyurikhyna, E. A. (1993). Clinical and cytogenetic characteristics of children born to parents with the 1st and 2nd levels of radiation sickness as the result of the Chernobyl accident. *Cytol. Genet.* 27(4): 1013 (en russe).
- Stepanova, E., Kolpakov, I. & Vdovenko, V. (2003). Respiratory System Function in Children Who Had Radiation Exposure as a Result of the Chernobyl Accident ("Chernobylinterinform," Kiev): 103 pp. (en russe).
- Stepanova, E., Kondrashova, V. & Vdovenko, V. Yu. (2002a). Results of 14 years of observation of children exposed prenatally to radiation after the Chernobyl accident. *Int. J. Rad. Med.* 4(1–4): 250–259 (en russe).
- Stepanova, E. I., Misharyna, Zh. A. & Vdovenko, V. Yu. (2002b). Delayed cytogenetic effects in children irradiated in utero after the Chernobyl accident. *Rad. Biol. Radioecol.* 42(6): 700–703 (en russe).
- Stepanova, E. I., Skvarkaya, E. A., Vdovenko, V. J. & Kondrashova, V. G. (2004). Genetic consequences of the Chernobyl accident in children born to parents exposed to radiation. *Probl. Ecol. Med. Genet. Clinic. Immunol.* (Kiev) 7(60): 312–320 (en russe).
- Stepanova, E. I., Vdovenko, V. J., Skvarkaya, E. A. & Misharyna, Z. A. (2007). Chernobyl disaster and the health of children. In: Blok, I., Sadovnichik, T., Labunska, I. & Volkov, I. (Eds.), *The Health Effects on the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace International, Amsterdam): pp. 25–33.
- Stephan, G. & Oestreicher, U. (1993). Chromosome investigation of individuals living in areas of Southern Germany contaminated by fallout from the Chernobyl reactor accident. *Mutat. Res.* 319: 189–196.
- Strukov, E. L. (2003). Hormonal regulation of cardiac and circulatory diseases and some endocrinedysfunction in persons sick from Chernobyl exposures in the Saint Petersburg population. M.D. Thesis (All-Russian Center of Emergency and Radiation Medicine, St. Petersburg): 42 pp. (en russe).
- Sushkevich, G.N., Tsyb, A. F. & Lyasko, L. I. (1995). Level of neuropeptides in liquidators. International Conference. *Actual and Predicted Impairment of Psychological Health after the Chernobyl Nuclear Catastrophe*. May 24–28, 1995, Kiev (Abstracts, Physicians of Chernobyl Association, Kiev): pp. 70–72 (en russe).
- Sushko, V. A. & Shvayko, L. I. (2003a). Effects of external irradiation and inhalation of radionuclides. In: Vazianov, A., Bebeshko, V. & Bazyka, V. (Eds.), *Health Effects of Chernobyl Catastrophe* ("DIA," Kiev): pp. 225–228.
- Sushko, V. A. & Shvayko, L. I. (2003b). The clinical and functional characteristics of the bronchopulmonary system. In: Vazianov, A., Bebeshko, V. & Bazyka, V. (Eds.), *Health Effects of Chernobyl Catastrophe* ("DIA," Kiev): pp. 229–230.
- Sushko, V. O. (1998). Chronic non-specific lung diseases among liquidators of the ChNPP catastrophe: Ten

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- years of observation. *Probl. Rad. Med.* **6**: 35–45 (en ukrainien).
- Suslov, V. S., Sydorovich, A. I. & Medvedeva, M. I. (1997). Results of special clinical examination of children and adolescents in the Slavgorod district, Mogilev province in 1993–1995. In: *Medical Biological Effects and Ways to Overcome Consequences of Chernobyl* (Collected Papers Dedicated to the Tenth Anniversary of the Chernobyl Accident, Minsk/Vitebsk): pp. 17–19 (en russe).
- Svirnovsky, A. I., Shamanskaya, T. V. & Bakun, A. V. (1998). Hematologic and cytogenetic characteristics of persons suffering as a result of the Chernobyl accident. Second International Conference. *Delayed Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe*. June 1–6, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 360–361 (en russe).
- Sychik, S. I. & Stozharov, A. I. (1999a). Analysis of illnesses in children irradiated in utero as a result of the Chernobyl catastrophe. *Publ. Health* **6**: 20–22 (en russe).
- Sychik, S. I. & Stozharov, A. I. (1999b). Evaluation of the long-term impact of prenatal irradiation from Chernobyl on the function of vital organs in children. *Radiat. Biol. Radioecol.* **6**: 128–136 (en russe).
- Sykorensky, A. V. & Bagel, G. E. (1992). Primary arterial hypotension in children of Gomel and Mogilev provinces and view of their improvement in summer camps. Republic Conference. *Improvement and Sanitary Treatment of Persons Suffering From Radiation Impact* (Abstracts, Minsk/Gomel): pp. 59–60 (en russe).
- Synyakova, O. K., Rzhetsky, V. A. & Vasylevich, L. M. (1997). Analysis of some health characteristics of liquidators' children. Scientific and Practical Conference Dedicated to the Tenth Anniversary of the Chernobyl Accident Held at the Republic Radiation Medicine Hospital. *Actual Problems of Medical Rehabilitation of Population Suffering From the Chernobyl Catastrophe*. June 30, 1997, Minsk (Materials, Minsk): pp. 44–45 (en russe).
- Sypyagyna, A. E. (2002). Results of cytogenetic studies of children affected by low dose radiation. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* **3** (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 18–19 (en russe).
- Sypyagyna, A. E., Baleva, L. S., Suskov, I. I. & Zotova, S. A. (2006). Problems of welfare of liquidators' children. In: Fifth Congress on Radiation Research (Radiobiology, Radioecology and Radiation Safety). April 10–14, 2006, Moscow (Abstracts, Moscow), Vol. 1: pp. 16–17 (en russe).
- Syvachenko, T. P., Babeshko, V. G., Elagin, V. V., Nykiphorova, N. V. & Chykalova, I. G. (2003). Radioactive effects of Chernobyl: Thyroid pathology in children under combined effects of radiation and endemic iodine deficiency. *Ukr. Med. Herald* **1**: 60–64 (en ukrainien).
- Syvolobova, L. A., Rzhetsky, V. A., Vasyukhyna, L. V. & Korkhov, A. I. (1997). On the condition of health of adolescents affected by the radioactive impact of the Chernobyl catastrophe. Scientific and Practical Conference Dedicated to the Tenth Anniversary of the Chernobyl Accident, Republic Radiation Medicine Hospital. *Actual Problems of Medical Rehabilitation of Population Suffering From Chernobyl Catastrophe*. June 30, 1997, Minsk (Materials, Minsk): pp. 80–82 (en russe).
- Tabacova, S. (1997). Environmental agents in relation to unfavorable birth outcomes in Bulgaria. In: Johannisson, E., Kovacs, L., Resch, B. A. & Bruyniks, N. P. (Eds.), *Assessment of Research and Service Needs in Reproductive Health in Eastern Europe: Concerns and Commitments* (Parthenon, New York): pp. 175–176.
- Talalaeva, G. V. (2002). Change in biological time in liquidators. *Herald Kazhakh. Nat. Nucl. Cent.* **3**: 11–17 (en russe).
- TASS (1998). Morbidity of Ukrainian children increased six times after Chernobyl accident. *United News Line*, April 6, Kiev (en russe).
- Tataurtchykova, N. S., Sydorovich, I. G., Ardabatskaya, T. B., Zelenskaya, N. S. & Polyushkina, N. S. (1996). Analysis of allergic pathology prevalence in liquidators. *Hematolog. Transfusiol.* **41**(6): 18–19 (en russe).
- Tereshchenko, V. P., Naumenko, O. M., Samuseva, O. S. & Tarasyuk, P. M. (2003). Methodology basis to detect upper respiratory tract pathology induced by Chernobyl catastrophe factors. *J. LOR Illnes.* **5**: 19–23 (en ukrainien).
- Tereshchenko, V. P., Sushko, V. O., Pishchikov, V. A., Sereda, T. P. & Bazyka, D. A. (2004). Chronic non-specific lung diseases among liquidators of the ChNPP catastrophe. (Medinform, Kiev): 252 pp. (en ukrainien).
- Teretshenko, A. I. (2004). Clinical hormonal characteristics of physical and mental development of girls born to liquidator fathers. *Pediatr. Obstetr. Gynecol.* **4**: 26–29 (en ukrainien).
- Terje, Lie, R., Irgens, L. M., Skjærven, R., Reitan, J. B., Strand, P. & Strand, T. (1992). Birth defects in Norway from exposure to levels of external and food-based radiation from Chernobyl. *Am. J. Epidemiol.* **136**(4): 377–388.
- Terletskaia, P. N. (2002). Respiratory organ diseases in children under impact of permanent low dose radiation. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* **3** (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 18–20 (en russe).
- Terletskaia, R. N. (2003). Chronic respiratory illnesses in children living long-term under the impact of low radiation. *Rus. Herald Perinatol. Pediatr.* **48**(4): 22–28 (en russe).
- Tlepshukov, I. K., Baluda, M. V. & Tsyb, A. F. (1998). Changes in homeostatic homeostasis in liquidators. *Hematol. Transfusiol.* **43**(1): 39–41 (en russe).
- Tolkach, S. I., Antypkin, Yu. G. & Arabs'ka, L. P. (2003). Characteristic of teeth in the first generation of mothers irradiated in childhood as a result of Chernobyl accident. *Perinatol. Pediatr.* **3**: 35–38 (en ukrainien).
- Trakhtenberg, A. Kh. & Chissov, V. I. (2001). Clinical oncologic pulmonology ("GEOTAR" Medical, Moscow): 600 pp. (en russe).
- Transaction of the Institute of Radiation Medicine (1996). Belarus Ministry of Health, Minsk.
- Tron'ko, N. D., Tchaban, A. K., Oleinik, V. A. & Epstein, E. V. (1995). Endocrine system. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): pp. 454–456

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- (//www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm) (en russe).
- Troshyna, O. V. (2004). Abnormalities of cerebral hemodynamics and peripheral neuromotor system in liquidators after many years. M.D. Thesis (Institute of Total Pathological Pathophysiology, Moscow): 23 pp. (en russe).
- Tsaregorodtsev, A. D. (1996). Decade-long lessons of Chernobyl. *Med. Radiol. Radioac. Safety* 2: 3–7 (en russe).
- Tseloval'nykova, N. V., Balashov, N. S. & Efremov, O. V. (2003). Prevalence of respiratory illnesses in liquidators. Thirty-Eighth Inter-Regional Scientific and Practical Conference of Physicians. *Prophylaxis: Basis for Modern Public Health* (Materials, Ul'yanovsk): pp. 133–135 (en russe).
- Tsyb, A. F., Ivanov, V. K., Matveenkov, E. G., Borovykova, M. P., Maksyutov, M. A. & Karelo, A. M. (2006a). Analysis of medical consequences of the Chernobyl catastrophe in children living for 20 years in the contaminated territories: Providing a strategy and tactics for special clinical examinations International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years of the Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 263–270 (en russe).
- Tsyb, A. F., Kaplan, M. A. & Lepekhn, N. P. (2002). Evaluation of the reproductive function of liquidators 13 to 14 years after the radiation catastrophe. *Radiat. Risk* 13: 42–44 (en russe).
- Tsyb, A. F., Krykunova, L. I., Mkrtchyan, L. S., Shentereva, N. I., Zamulaeva, I. A., et al. (2006b). Female reproductive system morbidity monitoring in the radioactive contaminated territories 20 years after the Chernobyl catastrophe. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years of the Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 97–103 (en russe).
- Tsybul'skaya, I. S., Sukhanova, L. P., Starostin, V. M. & Mytyurova, L. B. (1992). Functional condition of the cardio-vascular system in young children under the chronic impact of low dose irradiation. *Matern. Childhood* 37(12): 12–20 (en russe).
- Tsygan, V. N. (2003). Psychosomatic disorders after low dose ionizing irradiation. In: All-Russian Scientific and Practical Conference Dedicated to the 300- Year Anniversary of St. Petersburg. *Actual Problems of Neurology, Psychiatry and Neuro-Surgery* (//www.neuro.neva.ru/Russian/Issues/Articles_2/htm) (en russe).
- Tsymlyakova, L. M. & Lavrent'eva, E. B. (1996). Result of 10-year cohort analysis of children affected by ionizing irradiation after the Chernobyl catastrophe. *Hematol. Transfusiol.* 41(6): 11–13 (en russe).
- Tukov, A. R. (2000). Mortality of liquidators and nuclear industry personnel. *Russ. Publ. Health* 3: 18–20 (en russe).
- Tymoshevsky, A. A., Grebenyuk, A. N., Kalynyna, N. M., Solntseva, O. S., Sydorov, D. A. & Sysoev, K. A. (2001). Condition of cellular and cytokine immunity in liquidators 10 to 12 years after leaving the danger zone. *Med. Radiol. Radiat. Safety* 46(4): 23–27 (en russe).
- Tytov, L. P. (2000). *Children's Immune System Reaction to the Impact of Radiation as Result of the Chernobyl Accident* (Institute of Radiation Medicine, Minsk): 24 pp. (en russe).
- Tytov, L. P. (2002). Early and remote consequences of Chernobyl factors in the immune systems of children. In: *Biol. Effect. Low Doses Radiat. Inform. Bull.* 3 (Belarus Committee for Chernobyl Children, Minsk): pp. 21–22 (en russe).
- Ukhal', M. I., Lugovoy, V. N., Lyaginskaya, A. M., Kulykov, V. A. & Ovcharenko, E. P. (1991). *Reproductive System Characteristics of Liquidators* (Institute of Biological Physics, Moscow): NO 51–10–16/92.
- Ulanova, L. N., Blynova, A. S., Sycheva, E. K., Droshneva, T. N. & Podshybyakyna, O. B. (2002). Health states of children whose prenatal and postnatal periods coincided with the Chernobyl accident. *Appl. Inform. Aspects Medic.* 2(3) (//www.visma.ac.ru/publ/vestnik/archiv/priam/V_2_3/PART_2.HTML) (en russe).
- Ulevich, O. (2000). Chernobyl girls turn into boys. "Version" (Moscow) 7, February 22–28, p. 14 (en russe).
- UNICEF (2005). Children and Disability in Transition in CEE/CIS and Baltic States (UNICEF Innocenti Research Center, Florence): 67 pp. (//www.unicef.org/ceecis/Disability-eng.pdf).
- UNSCEAR (1988). Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNScientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly (United Nations, New York): 126 pp.
- UNSCEAR (2000). Sources and Effects of Ionizing Radiation. Report to the General Assembly. Annex J. Exposure and Effects of the Chernobyl Accident (United Nations, New York): 155 pp.
- Unzhakov, S. V., Lvova, G. N. & Chekova, V. V. (1995). DNA repair activity in children exposed to low dose ionizing radiation as a result of the Chernobyl accident. *Genet.* 31(10): 1433–1437 (en russe).
- Ushakov, I. B., Arlashchenko, N. I., Dolzhanov, A. J. & Popov, V. I. (1997). *Chernobyl: Radiation Psychophysiology and Ecology of the Person* (Institute of Aviation Space Medicine, Moscow): 247 pp. (en russe).
- Vartanyan, L. S., Gurevich, S. M., Kozachenko, A. I., Nagler, L. G. & Burlakova, E. I. (2002). Long-term effects of low dose ionizing radiation on human antioxidant system. *Rad. Biol. Radioecol.* 43(2): 203–205 (en russe).
- Vaskevitch, Yu. A. & Chernysheva, V. I. (1994). Children's health in Mozyr city under low radioactive contamination. In: Sixth Congress on Belarus Pediatrics. *Belarussian Children's Health in Current Ecological Situation: Consequences of the Chernobyl Catastrophe* (Materials, Gomel): pp. 27–29 (en russe).
- Vasyna, T. I., Zubova, T. N. & Tarasova, T. G. (2005). Some hematological characteristics in children, living in the territories polluted after the Chernobyl accident. International Scientific and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years After: Social and Economic Problems and Perspectives for Development of the Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 152–154 (en russe).
- Vepkhvadze, N. R., Gelashvili, K. D. & Kyldadze, N. A. (1998). Consequences of the Chernobyl accident for Georgia and perspectives for epidemiologic studies. In: Second International Conference. *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe*. June 1–

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- 6, 1998, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): p. 34 (en russe).
- Voloshyna, N. P. (1997). Structural and functional brain disorders in patients with dementia of different genesis. M.D. Thesis (Kharkiv Institute for Advanced Medical Studies, Kharkiv): 26 pp. (en ukrainien).
- Volovik, S., Loganovsky, K. & Bazyka, D. (2005). Chronic Fatigue Syndrome: Molecular Neuro-Psychiatric Projections. In: Thirteenth World Congress of Psychiatry, September 10–15, 2005, Cairo (Abstracts, Cairo): p. 225.
- Vorobtsova, I. E. & Semenov, A. V. (2006). Complex cytogenetic characteristic of people suffering from the Chernobyl accident. *Rad. Biol. Radioecol.* **46**(2): 140–151 (en russe).
- Vorobtsova, I. E., Vorob'eva, E.M., Bogomazova, A. M., Pukkenen, A. Yu. & Arkhangelskaya, T. V. (1995). Cytogenetic study of children living in St. Petersburg region suffering from the Chernobyl accident: The rate of unstable chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes. *Rad. Biol. Radioecol.* **35**(5): 630–635 (en russe).
- Vorobyovskaya, A. G., Gubyna, L. K. & Mikhailova, E. S. (2006). Compound and complex odontoma in children. *Appl. Infor. Aspect. Medic.* **6**(2) (<http://www.vsmia.ac.ru/publ/priam/006-2/Site/index.htm>) (en russe).
- Voronetsky, B. K., Porada, N. E., Gutkovsky, I. A. & Blet'ko, T. V. (1995). Childhood morbidity in radioactive contaminated territories. International Scientific Conference Dedicated to the Fifth Anniversary of the Chernobyl Accident. November 9–10, 1995, Gomel Medical Institute, Gomel (Materials, Gomel): pp. 10–12 (en russe).
- Voronkin, A.M., Gorchakov, A. M. & Kruchynsky, N. G. (1995). Analysis by micro fluorescence spectrometry of poly-nuclear lymphocytes in children in Mogilev province. In: Second Plenum Belarussian Scientific Society of Immunology Allergology. *Actual Problems of Ecological and Clinical Immunology*. October 20–21, 1993, Mogilev Pt. 2 (Materials, Minsk): pp. 66–68 (en russe).
- Voropaev, E. V., Matveev, V. A., Zhavoronok, S. V. & Naralnikov, V. A. (1996). Activation of Herpes Simplex Virus (HSV-infection) after Chernobyl accident. In: Scientific Conference. *Ten Years After Chernobyl Catastrophe: Scientific Aspects of Problems* (Abstracts, Minsk): pp. 65–66 (en russe).
- Vorsanova, S. G., Beresheva, A. K., Nykolaeva, E. A., Koloty, A. D., Demydova, I. A., et al. (2000). Cytogenetic and molecular-cytogenetic study of specific chromosomal anomalies and variants in children living in radio-caesium (137Cs) contaminated areas of Russia after the Chernobyl accident. *Siberian Ecol. J.* **7**(1): 79–84 (en russe).
- Voskresenskaya, T. V., Kalyuzhin, V. G., Goryachko, A. N. & Platonova, O. A. (1996). Estimation of compensatory and adaptation abilities of newborns from radioactive contaminated areas. In: *Maternity and Childhood Protection after the Chernobyl Catastrophe: Materials of Scientific Studies 1991–1995*, Pt. 1 (Minsk): pp. 38–43.
- Vovk, I. B. (1995). Abnormalities of pre-menarche reproductive function in girls and teenagers after the impact of radiation. 3.21. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm>) (en russe).
- Vovk, U. B. & Mysurgyna, O. A. (1994). Estimation of radioactive contamination and irradiation doses from the Chernobyl accident on the global scale. International Conference. *Nuclear Accidents and the Future of Energy: Chernobyl's Lessons*. April 15–17, 1991, Paris, France (Selected Papers, Minsk): pp. 120–144.
- Vozianov, V. S., Drannik, G. N. & Karpenko, V. S. (1996). Characteristics of immunity in patients with urological pathology living in Polesk and Ivankiv districts, Kiev province. Scientific and Practical Conference. *Remote Consequences of Irradiation for Immune and Blood Forming Systems*. May 7–10, 1996, Kiev (Abstracts, Kiev): pp. 57–58 (en ukrainien).
- Voznenko N.M., Danil'chik V.S., Korosteleva L.B. 1996. Some peculiarities of the infant's antioxidant system in the regions suffering from the Chernobyl catastrophe. In: *"Protection of maternity and childhood after Chernobyl catastrophe"*. Materials of the scientific investigations 1991- 1995. Minsk, part 1, pp. 30 – 37.
- Vozylova, A. V., Akleev, A. V. & Bochkov, H. P. (1997). Remote cytogenetic effects of chronic irradiation. In: Third Congress on Radiation Research, 2 (Abstracts, Moscow): pp. 99–100 (en russe).
- Vyatleva, O. A., Katargyna, T. A., Puchinskaya, L. M. & Yurkin, M. M. (1997). Electrophysiological characterization of the functional state of the brain in mental disturbances in workers involved in the clean-up following the Chernobyl atomic energy station accident. *Neurosci. Behav. Physiol.* **27**(2): 166–172.
- Wals, Ph. de, & Dolk, H. (1990). Effect of the Chernobyl radiological contamination on human reproduction in Western Europe. *Progr. Chem. Biol. Res.* **340**: 339–346.
- WHO (1996). Health Consequences of the Chernobyl Accident: Results of the IPHECA Pilot Projects and Related National Programmes. Souchkevitch, G. N. & Tsyb, A. F. (Eds.). Scientific Report WHO/EHG 95–19, 560 pp.
- Yablokov, A. V. (2006). The Chernobyl catastrophe 20 years after. In: Busby, C. C. & Yablokov, A. V. (Eds.), *ECRR Chernobyl 20 Years After: Health Effects of the Chernobyl Accident*. Doc. ECRR 1 (Green Audit, Aberystwyth): pp. 5–48.
- Yablokov, A.V., Labunska, I. & Blokov, I. (2006). *The Chernobyl Catastrophe: Consequences on Human Health* (Greenpeace International, Amsterdam): 184 pp.
- Yagovdik, I. N. (1998). Menstrual function and radio-caesium incorporation. In: *Chernobyl: Ecology and Health*, 2 (Collected Papers, Gomel): pp. 88–94 (en russe).
- Yakushin, S. S. & Smirnova, E. A. (2002). Ecological and medical aspects of radionuclide lung pathology. In: All-Russian Scientific and Technical Conference for Studies Young Science Specialist. *Biochemical, Medical and Ecological Systems and Complexes: Bio-Medical Systems 2002* (Abstracts, Ryazan): pp. 2–3 (en russe).
- Yakymenko, D. M. (1995). Digestive system. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Biological and Medical Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): pp. 468–469 (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm>) (en russe).

5. Maladies non cancéreuses après la catastrophe de Tchernobyl

- Yamashita, S. & Shibata, Y. (Eds.) (1997). Chernobyl: A decade. In: Fifth Chernobyl Sasakawa Medical Cooperation Symposium, October 14–15, 1996, Kiev (Elsevier, Amsterdam) (cited by UNSCEAR, 2000).
- Zabolotny, D. I., Shidlovskaya, T. V. & Rimar, V.V. (2000). Preventive care and treatment of hearing problems in persons exposed to radiation. *Herald Otorinolaringol.* 2: 9–15 (en russe).
- Zabolotny, D. I., Shidlovskaya, T. V. & Rimar, V.V. (2001). Long-term hemodynamic disorders of the carotid and vertebral-basilar systems in the Chernobyl accident victims with normal hearing and with various hearing impairments. *J. ENT Diseases* 4: 5–13.
- Zadorozhnaya, T. D., Luk'yanova, E. M., Yeschenko, O. I., Hanshow, J. & Antipkin, J. G. (1993). Structural changes of feto-placental complex under impact of small doses of ionizing radiation: Influence on health of children. *Oycumena* 2: 93–99 (en russe).
- Zafranskaya, M. M., Boiko, Yu. N., Sagalovich, E. E. & Petrova, A. M. (1995). Complementary activity of serum and hormonal status of infants from radioactively contaminated areas. In: *Materials of the Second Plenum of Belarussian Scientific Society of Immunologists and Allergologists. Actual Problems of Ecological and Clinical Immunology* October 20–21, 1993, Mogilev, Pt. 2 (Minsk): pp. 87–90 (en russe).
- Zagradskaya, O. V. (2002). Clinical and metabolic long-term consequences of radioactive impact in Chernobyl liquidators suffering from coronary disease. M.D. Thesis (Perm State Medical Academy, Perm): 24 pp. (en russe).
- Zaitsev, V. A., Petrenko, S. V. & Baranovskaya, M. F. (1996). Content of vitamins A and E in blood of children and pregnant women living in radioactive contaminated territories. *Publ. Health* 4: 44–45 (en russe).
- Zak, K. P., Butenko, Z. A. & Mikhailovskaya, Ae. V. (1996). Hematological, immune and molecular genetics: Monitoring of liquidators 1991–1996. Scientific and Practical Conference. *Remote Consequences of Irradiation for Immune and Blood Forming Systems*. May 7–10, 1996, Kiev (Abstracts, Kiev): pp. 12–13 (en russe).
- Zakrevsky, A. A., Nykulyna, L. I. & Martynenko, L. G. (1993). Early postnatal adaptation of newborns whose mothers were impacted by radiation. Scientific and Practical Conference. *Chernobyl and Public Health*, 1 (Abstracts, Kiev): pp. 116–117 (en russe).
- Zalutskaya, A., Bornstein, S. R., Mokhort, T. & Garmayev, D. (2004). Did the Chernobyl incident cause an increase in Type 1 diabetes mellitus incidence in children and adolescents? *Diabetolog.* 47: 147–148.
- Zhavoronkova, L. A., Gabova, A. V., Kuznetsova, G. D., Sel'sky, A. G., Pasechnik, V. I., et al. (2003). Post-radiation effect on inter-hemispheric asymmetry in EEG and thermography findings. *J. High. Nervous Activit.* 53(4): 410–419 (en russe).
- Zhavoronkova, L. A., Gogytidze, N. V. & Kholodova, N. B. (2000). Post-radiation changes in brain asymmetry and higher mental function of right- and left-handed subjects: A sequel of the Chernobyl accident. *J. High. Nervous Activit.* 50(1): 68–79 (en russe).
- Zhavoronkova, L. A., Kholodova, N. B., Zubovsky, G. A., Smirnov, Yu. N., Koptelov, Yu. M. & Ryzhov, N. I. (1994). Electroencephalographic correlates of neurological disorders in the late periods of exposure to ionizing radiation: The after-effects of the Chernobyl accident. *J. High. Nervous Activit.* 44(2): 229–238 (en russe).
- Zhavoronkova, L. A., Ryzhov, B. N., Barmakova, A. B. & Kholodova, N. B. (2002). Abnormalities of EEG and cognitive functional disorders after radioactive impact. *Herald Rus. Acad. Sci.* 386(3): 418–422 (en russe).
- Zhavoronok, S. V., Kalynin, A. L., Grimbaum, O. A., Chernovetskyi, M. A., Babarykyna, N. Z. & Ospovat, M. A. (1998a). Liver viruses B, C, D, G markers in those suffering from the Chernobyl catastrophe. *Publ. Health* 8: 46–48 (en russe).
- Zhavoronok, S. V., Kalynin, A. L., Pylyptsevich, N. N., Okeanov, A. E., Grimbaum, O. A., et al. (1998b). Analysis of chronic hepatitis and hepatic cirrhosis morbidity in populations suffering after Chernobyl accident in Belarus. *Med. Radiol. Radiat. Safety* 43(5): cc. 18–24 (en russe).
- Zhylenko, M. I. & Fedorova, M. V. (1999). Health status of pregnant and lying-in women and newborns under low dose impacts. *Obstetric. Gynecol.* 1: 20–22 (en russe).
- Ziegłowski, V. & Hemprich, A. (1999). Facial cleft birth defect rate in former East Germany before and after the reactor accident in Chernobyl. *Mund Kiefer Gesichtschir* 3: 195–199 (en allemand).
- Zozulya, I. S. & Polischuyk, N. E. (1995). Characteristics of cerebrovascular disorders in persons who suffered ionizing radiation after the Chernobyl accident. *Doctor Pract.* 3–4: 26–28 (en russe).
- Zubovich, V. K., Petrov, G. A., Beresten', S. A., Kil'chevskaya, E. V. & Zemskov, V. N. (1998). Human milk characters and babies' health in radioactive contaminated areas of Belarus. *Publ. Health* 5: 28–30 (en russe).
- Zubovsky, G. & Smirnova, N. (2000). Chernobyl catastrophe and your health. Russian Chernobyl (www.portalus.ru/modules/ecology/print.php?subaction=snowfull&id) (en russe).
- Zubovsky, G. A. & Tararukhyna, O. B. (1991). The state of a hypophyseal-thyroid system during treatment with I-131. *Med. Radiolog.* 3: 32–35 (en russe).
- Zubovsky, G. A. & Tararukhyna, O. I. (2007). Morbidity among persons exposed to radiation as result of the Chernobyl nuclear accident. In: Blok, I., et al. (Eds.), *The Health Effects on the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace International, Amsterdam): pp. 147–151.

Chapitre 6. Maladies oncologiques après la catastrophe de Tchernobyl

Alexey V. Yablokov

Les prévisions les plus récentes des organismes internationaux annonçaient qu'il y aurait de 9 000 à 28 000 cancers mortels entre 1986 et 2056, sous-estimant bien évidemment les facteurs de risque et les doses collectives. Sur la base des doses de radio-isotopes I-131 et Cs-137 auxquelles les populations ont été exposées et d'une comparaison de la mortalité par cancer dans les territoires lourdement et moins contaminés et les taux de cancer pré- et post-Tchernobyl, un chiffre plus réaliste est de 212 000 décès dans l'ex-Union soviétique européenne, de 245 000 dans le reste de l'Europe et de 19 000 dans le reste du monde. Des niveaux élevés de Te-132, de Ru-103, de Ru-106 et de Cs-134 ont persisté des mois après la catastrophe de Tchernobyl et le rayonnement continu du Cs-137, du Sr-90, du Pu et de l'Am va générer de nouveaux néoplasmes pendant des centaines d'années.

Les maladies oncologiques incluent des néoplasmes et des tumeurs malignes (cancéreuses) et non malignes comme conséquences courantes des rayonnements ionisants. Les temps de latence varient entre l'exposition et l'apparition d'une tumeur. Les données recueillies auprès des victimes d'Hiroshima et de Nagasaki montrent que les tumeurs malignes induites par les radiations apparaissent cliniquement comme suit :

- leucémie (différents cancers du sang) : moins de 5 ans ;
- cancer de la thyroïde : moins de 10 ans ;
- cancers du sein et des poumons : dans les 20 ans ;
- cancer de l'estomac, de la peau et du rectum : dans les 30 ans.

Pour les personnes vivant dans les zones contaminées par les retombées radioactives de Tchernobyl, la situation pour le cancer est beaucoup plus compliquée. Bien qu'il n'y ait pas un seul cas dû à une exposition directe à l'explosion qui s'est produite en avril 1986, l'irradiation en cours dans le sillage de l'accident est responsable d'une augmentation des maladies malignes. Étant donné que dix demi-vies sont nécessaires avant que l'essentiel de la désintégration des isotopes ne retombe à des

niveaux sans danger, cela signifie que le rayonnement de Tchernobyl va engendrer de nouvelles tumeurs pendant des centaines d'années.

Ajoutons que, bien qu'avec le temps (du fait de la désintégration spontanée des radioéléments) la dose effective annuelle moyenne puisse diminuer, la dose effective cumulée moyenne ne pourra que croître. Par exemple, dans la région de Briansk où, en 2006, les habitants permanents de 260 villages avaient reçu des surdoses de rayonnements cumulées supérieures à 70 mSv, on a calculé que, vers 2056, c'est bien dans 350 villages que les habitants recevront une surdose individuelle d'irradiation d'un tel niveau [Martchenko, 2006].

Les prévisions initiales ont insisté sur le fait qu'il n'y aurait pas de forte augmentation de nouveaux cas de cancers après la catastrophe. Comme le montrent les données de ce chapitre, les statistiques oncologiques russe et ukrainienne étaient basses et ont grossièrement sous-estimé le taux de morbidité par cancer. Il est officiellement admis que :

« (...) la principale source de données pour les statistiques internationales de la morbidité par cancer est le recueil d'articles « Maladie du cancer sur les cinq continents », publiée par le Centre international de recherche sur le

cancer (CIRC). Tous les 5 ans depuis 1960, (...) ces éditions publient uniquement les données qui correspondent aux normes de qualité établies. Dans les premières éditions, pour toute l'URSS (...) ne figure aucune information. Dans les deux dernières éditions du recueil, contenant des données pour 1983-1987 et 1988-1992, des données sont incluses pour le Belarus, l'Estonie et la Lettonie ; le premier de ces deux recueils contenait aussi des informations concernant Saint-Petersbourg et le Kirghizstan. Néanmoins, les éditeurs du recueil préviennent que toutes les données provenant des anciennes Républiques de l'URSS (sauf pour l'Estonie) sous-estiment la fréquence de la maladie (...) » [UNSCEAR, 2000, point 244, page 48].

Ce chapitre est divisé en plusieurs sections relatives aux divers cancers constatés dans les territoires contaminés par des radionucléides de Tchernobyl. La Section 6.1 traite de la morbidité oncologique générale ; la 6.2 du cancer de la thyroïde ; la 6.3 de la leucémie et la 6.4 de tous les autres néoplasmes malins. Ce chapitre, ainsi que d'autres dans ce livre, n'est pas un panorama exhaustif, mais il reflète vraiment la portée et l'ampleur du problème.

6.1. Augmentation générale de la morbidité oncologique

Il y a deux façons de définir l'échelle de morbidité par cancer associée à la catastrophe de Tchernobyl : (1) sur la base du calcul des doses reçues (avec application de facteurs de risque appropriés) et (2) par comparaison directe de la morbidité par cancer dans les territoires fortement contaminés et dans ceux qui le sont moins.

6.1.1. Belarus

1. La morbidité par cancer au Belarus a augmenté de 40% durant la période 1990-

2000. L'augmentation a atteint un maximum dans la province la plus fortement contaminée de Gomel et elle était plus faible dans les provinces moins contaminées de Brest et Moguilev : respectivement 52, 33 et 32% [Okeanov *et al.*, 2004].

2. Une forte augmentation de la morbidité des néoplasmes malins et bénins est apparue chez les filles âgées de 10 à 14 ans nées de parents irradiés dans les années 1993 à 2003 [Rapport national du Belarus, 2006].

3. Le plus haut niveau de morbidité oncologique générale chez les personnes de 0 à 17 ans entre 1986 et 2000 est apparu dans la province la plus contaminée de Gomel, le plus bas dans les zones les moins contaminées des provinces de Vitebsk et de Grodno [Borysevich et Poplyko, 2002].

4. Le niveau de la morbidité par cancer des provinces de Gomel et Moguilev était corrélé avec le niveau de contamination des zones (Tableau 6.1).

5. De 1987 à 1999, quelque 26 000 cas de tumeurs malignes radio-induites (dont la leucémie) ont été enregistrés. La moyenne annuelle du risque absolu de maladie maligne calculée à partir de ces données est de 434 pour 10 000 personnes/Sv. Le risque relatif de cancer est de 3 à 13 Sv⁻¹, un ordre de grandeur supérieur à celui d'Hiroshima [Malko, 2007].

6. La morbidité totale par cancer a brusquement et fortement augmenté pendant les 4 à 14 années après la catastrophe dans chaque région du Belarus et dans tout le pays (Tableau 6.2).

7. La mortalité par cancer des techniciens agricoles (dans un groupe d'âge de 40 à 59 ans) du district de Narovlia, province de Gomel, était de 26,3% plus élevée en 1993 qu'en 1985 [Zborovsky *et al.*, 1995].

Tableau 6.1. Survenue de cancers (pour 100 000) avant et après la catastrophe dans les territoires biélorusses contaminés par le Cs-137 [Konoplya et Rolevich, 1996 ; Imanaka, 1999]

Contamination, Ci/km ²	Province de Gomel		Province de Moguilev	
	1977-1985	1986-1994	1977-1985	1986-1994
< 5	181,0 ± 6,7	238,0 ± 26,8	248,8 ± 14,5	306,2 ± 18,0*
5-15	176,9 ± 9,0	248,4 ± 12,5*	241,8 ± 15,4	334,6 ± 12,2*
> 15	194,6 ± 8,6	304,1 ± 16,5*	221,0 ± 8,6	303,9 ± 5,1*

* $p < 0,05$.

Tableau 6.2. Fréquence moyenne/an de tous types de cancer (pour 100 000) dans l'ensemble des régions du Belarus et dans tout le pays avant la catastrophe (1976-1985) et 4 à 14 ans après (1990-2000). Elle prend en compte tous les habitants de chaque région [Okeanov *et al.*, 2004]

Région	Fréquence moyenne et écart-type		p
	1976-1985	1990-2000	
Brest	150,1 ± 2,81	199,5 ± 2,6	< 0,001
Vitebsk	158,2 ± 3,24	217,9 ± 3,5	< 0,001
Gomel	147,5 ± 2,52	224,6 ± 6,3	< 0,001
Grodno	143,8 ± 3,11	207,2 ± 4,2	< 0,001
Minsk	145,3 ± 3,26	216,6 ± 3,9	< 0,001
Mogouilev	166,4 ± 3,98	219,6 ± 3,1	< 0,01
Ville de Minsk	223,5 ± 5,72	263,7 ± 1,76	< 0,001

8. Calculé sur la base des données officielles pour les années 1990 à 2004, le nombre de patients chez lesquels un cancer a été diagnostiqué pour la première fois a augmenté de 0,26 à 0,38% (jusqu'à 46%) et, dans la province de Gomel, de 0,25 à 0,42% (jusqu'à 68%). Cet écart marqué par rapport à la tendance à long terme de la fréquence du cancer est très vraisemblablement lié à la contamination par Tchernobyl (Figure 6.1).

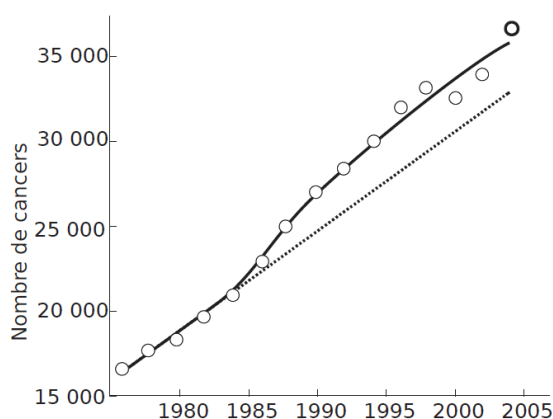


Figure 6.1. Cas de cancers enregistrés pour la première fois au Belarus de 1975 à 2005. L'écart de tendance après 1986 est très probablement associé à d'autres cancers liés à Tchernobyl [Malko, 2007]

9. Jusqu'à 62 500 cancers radio-induits sont prévus au Belarus sur une période de 70 ans après la catastrophe [Malko, 2007].

6.1.2. Ukraine

1. Les néoplasies (tumeurs) malignes « tiennent constamment le premier rang » (avec les MC) parmi les causes de mortalité infantile en Ukraine (Ministère ukrainien de la santé, 2011).

2. Chez les personnes évacuées et dans la population des territoires radiocontaminés, le rythme de l'expansion des maladies oncologiques est plus élevé que dans l'ensemble du pays [Tsimliakova et Lavrent'eva, 1996 ; Golubchikov *et al.*, 2002].

3. Dans les territoires fortement contaminés, la morbidité par cancer a augmenté de 18 à 22% dans les 12 années suivant la catastrophe et elle a augmenté de 12% dans l'ensemble du pays [Omelyanets *et al.*, 2001 ; Omelyanets et Klement'ev, 2001].

4. Chez les adultes des districts contaminés de la province de Jitomir, la morbidité par cancer a presque triplé de 1986 à 1994, passant de 1,34 à 3,91% [Nagornaïa, 1995].

5. Chez les liquidateurs hommes, il y eu 5 396 cas de cancer de 1986 à 2004, alors que le nombre attendu pour cette période était de 793 [Prysyazhnyuk *et al.*, 2007].

6. La morbidité par cancer chez les liquidateurs hommes et femmes a considérablement augmenté de 1990 à 2004 [Rapport national ukrainien, 2006].

6.1.3. Russie

1. En 1997, la morbidité par cancer chez les enfants des provinces contaminées de Briansk, Orel, Toula, Lipetsk et Smolensk a nettement dépassé celle de l'ensemble de la Russie [Ouchakova *et al.*, 2001].

2. La morbidité par cancer chez les enfants habitant dans la province de Toula, dans des zones contaminées par le césium-137 à 3 Ci/km² ou plus, a augmenté de 1,7 fois de 1995 à 1997 et a été sensiblement plus élevée que dans les zones moins contaminées (Tableau 6.3).

3. Dans les 5 ans après la catastrophe, le nombre de tumeurs malignes diagnostiquées pour la première fois dans les provinces de Briansk et d'Orel a augmenté de 30% par rapport à la période des 5 ans avant Tchernobyl [Parshkov *et al.*, 2006].

4. En 1995, la morbidité par cancer dans les districts très contaminés des provinces de Kalouga, Orel, Toula et Briansk a été sensible-

ment plus élevée que dans les zones les moins contaminées [Ouchakov *et al.*, 1997].

Tableau 6.3. Morbidité par cancers chez les enfants (pour 100 000) dans la province de Toula soumise à divers niveaux de contamination, 1995-1997 [Ouchakova *et al.*, 2001]

Districts	Morbidité
« Propres »	7,2
$\geq 3 \text{ Ci/km}^2$	18,8

5. La morbidité générale par cancer pour les tumeurs solides dans la province de Briansk a dépassé la moyenne du pays depuis 1987, même selon les données officielles (Figure 6.2).

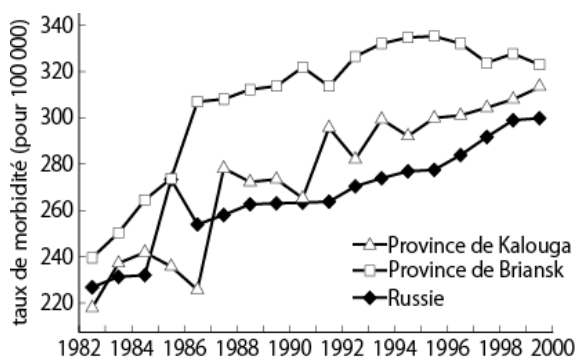


Figure 6.2. Comparaison de la morbidité générale par cancers (pour 100 000 pour les tumeurs solides) dans la province lourdement contaminée de Briansk par rapport à la province moins contaminée de Kalouga et à la Russie [Ivanov et Tsyb, 2002]

6. Neuf ans après la catastrophe, la morbidité générale par cancer dans les districts de la province de Briansk contaminés à 15 Ci/km^2 ou plus a été 2,7 fois plus élevée que dans les zones moins contaminées [Ouchakov *et al.*, 1997].

6.1.4. Autres pays

1. BULGARIE. Selon les évaluations officielles, quelque 500 décès ont été dus à des cancers radio-induits par Tchernobyl durant les 20 ans qui ont suivi la catastrophe [Dymitrova, 2007].

2. POLOGNE. On estime que, pendant les 50 prochaines années, il y aura un surplus de 740 à 6 600 décès liés au cancer en raison de la catastrophe, ce qui représente environ 0,02 à

0,18% de tous les décès liés au cancer dans le pays [Green Brigade, 1994].

3. SUÈDE. Une étude épidémiologique multicentrique reposant sur une comparaison de centaines d'unités administratives contaminées à différents niveaux par le Cs-137 de Tchernobyl a révélé sans équivoque une incidence accrue de tous les cancers dans le nord de la Suède, le territoire le plus contaminé de ce pays [Tondel, 2007]. « Plus de 1 000 » décès par cancer entre 1986 et 1999 dans la province de Norrland, en Suède, ont été attribués aux retombées de Tchernobyl [Abdelrahman, 2007].

6.2. Cancer de la thyroïde

Les rapports initiaux indiquant une augmentation de l'incidence du cancer de la thyroïde en 1991-1992 ont été critiqués et les chiffres attribués à des facteurs tels qu'un dépistage accru, une variation aléatoire et des diagnostics erronés [pour plus de détails, voir Tondel, 2007].

L'incidence du cancer de la thyroïde nécessite une attention spéciale, car il constitue la plus répandue de toutes les tumeurs malignes provoquées par la catastrophe. Comme la thyroïde est une partie critique du système endocrinien, le dysfonctionnement de la glande provoque bien d'autres maladies graves. Les caractéristiques cliniques et moléculaires des cancers de la thyroïde qui se sont développés à la suite de Tchernobyl sont exclusives. Les cancers de la thyroïde de Tchernobyl surviennent pratiquement toujours sous la forme papillaire, sont plus agressifs lorsqu'ils apparaissent et sont souvent associés à une auto-immunité thyroïdienne. En outre, beaucoup sont d'un sous-type inhabituel avec une grande composante solide, se développent rapidement et ont des taux élevés de métastases locales et à distance [Williams *et al.*, 2004 ; Hatch *et al.*, 2005 ; et bien d'autres]. Ils sont également souvent précédés ou accompagnés par des nodules thyroïdiens bénins radio-induits, une hypothyroïdie, une thyroïdite auto-immune et une insuffisance thyroïdienne.

6.2.1. Combien de personnes ont un cancer de la thyroïde ?

Dans les premiers mois après la catastrophe, seuls quelques cas supplémentaires avaient été prévus, puis des centaines, mais à l'époque pas plus de quelques milliers. Il y a

une conclusion commune : sans exception, de nombreuses prévisions officielles ont été optimistes, toutes ont sous-estimé les chiffres de cancers de la thyroïde induits par Tchernobyl [Economist, 1996]. Le nombre réel des cas de cancer de la thyroïde diffère d'un rapport et d'une source à l'autre, reflétant surtout les changements en temps réel, mais il peut aussi résulter de diagnostics plus précis de la maladie (Figure 6.3).



Figure 6.3. Taux d'incidence annuelle du cancer de la thyroïde au Belarus et en Ukraine (pour 100 000) chez les personnes qui étaient des enfants et des adolescents en 1986 [Fairlie et Sumner, 2006]

6.2.1.1. Belarus

1. La morbidité par cancer de la thyroïde chez les enfants et les adultes a fortement augmenté dans le pays depuis 1990 (Figure 6.4).

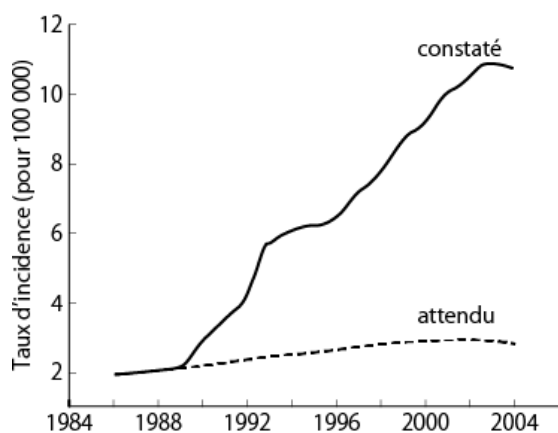


Figure 6.4. Données prospectives (selon les données pré-Tchernobyl) et réelles sur la morbidité par cancer de la thyroïde (pour 100 000) chez les enfants et les adultes au Belarus [Malko, 2007]

2. La morbidité par cancer de la thyroïde chez les enfants et les adultes a commencé à augmenter fortement après 1989 et la morbidité infantile a atteint un maximum en 1995-1996, tandis que celle des adultes a continué de croître jusqu'en 2003 (Figure 6.5).

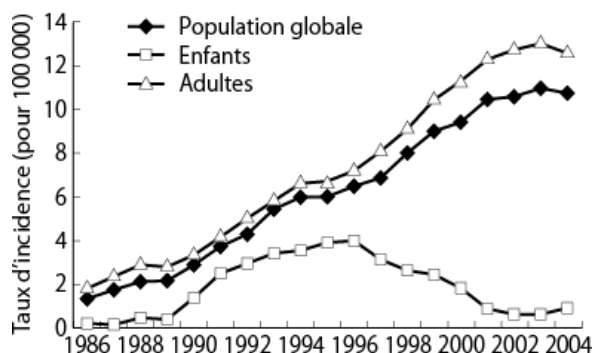


Figure 6.5. Morbidité générale par cancer de la thyroïde chez les enfants et les adultes du Belarus après la catastrophe [Rapport national du Belarus, 2006 : figure 4.1]

3. La morbidité par cancer de la thyroïde chez les enfants a augmenté de 43 fois ($\sim 0,003$ à $0,13$ cas pour 1 000) de 1989 à 1994 [Lomat' et al., 1996].

4. Au bout de 20 ans, l'incidence des cancers de la thyroïde chez les personnes qui avaient moins de 18 ans au moment de la catastrophe a augmenté de plus de 200 fois (Figure 6.6).

5. Comparé à la période pré-Tchernobyl, le nombre de cas de cancer de la thyroïde a augmenté jusqu'en 2000 de 88 fois chez les enfants, de 12,9 fois chez les adolescents et de 4,6 fois chez les adultes [Belookaya et al., 2002].

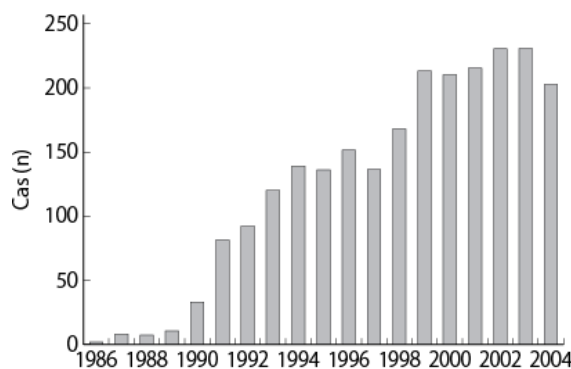


Figure 6.6. Cas de cancers primaires de la thyroïde chez les jeunes de 0 à 18 ans en 1986 [Rapport national du Belarus, 2006 : figure 4.2]

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

Tableau 6.4. Nombre de cancers de la thyroïde au Belarus, d'après diverses sources (cas radiogéniques entre parenthèses)

Nombre de cas, <i>n</i>	Période	Auteur	Commentaires
5 470 (3 748)	1987-1998	Ivanov & Tsyb, 2002 : tableau 3.1, p. 213	Les six provinces les plus contaminées [calculs d'A. Yablokov, sur la base du niveau pré-Tchernobyl]
(1 067)	1990-1998	UNSCEAR, 2000	Âgés de 0 à 17 ans au moment de la fusion
(4 401)	1986-2000	Malko, 2007	Dont 692 enfants
(674)	1986-2000	Demidchik <i>et al.</i> , 2002	Âgés de 0 à 14 ans
« Plus de 8 000 »	1986-2000	Belookaya <i>et al.</i> , 2002	
« Plus de 7 000 »	1986-2000	Borysevich et Poplyko, 2002	Dont 1 000 enfants
(2 399)	1990-2004	Rapport national biélorusse, 2006	Âgés de 0 à 18 ans au moment de la fusion
9 650 (4 560-6 840, moyenne autour de 5 700)	Janvier 1987-décembre 2002	Malko, 2004	Âgés de 0 à 14 ans au moment de la fusion
Environ 7 000	1986-2004	Malko, 2007	Âgés de 0 à 14 ans au moment de la fusion
8 161 (1 670)	1986-2001	Ostapenko, 2002	Données du ministère biélorusse de la santé
1 055 nouveaux cas	2002 seul	Postoyalko, 2004	
2 200 enfants en post-opératoire	1988-2004	Lypik, 2004	
Plus de 10 000 cas post-opératoires (de tous âges)	1987-2004	Nesterenko, communication personnelle.	D'après des données officielles
12 136	1986-2004	Demidchik, 2006	

6. En l'an 2000, plus de 7 000 personnes ont été enregistrées comme atteintes d'un cancer de la thyroïde, dont plus de 1 000 personnes qui étaient enfants au moment de la catastrophe. En 2000, quelque 3 000 personnes subirent une intervention chirurgicale pour un cancer de la thyroïde [Borysevich et Poplyko, 2002].

7. Sur 1 000 personnes spécialement étudiées, 100 avaient des nodules thyroïdiens et parmi elles deux ou trois avaient un cancer [Krysenko, 2002].

8. Des cancers congénitaux de la thyroïde ont été diagnostiqués chez des nouveau-nés [Busby, 1995].

9. Des données récapitulatives sur certains cas de cancer de la thyroïde au Belarus sont présentées sur le tableau 6.4.

10. Les cas de cancer de la thyroïde étaient plus fréquents dans les provinces les plus fortement contaminées par l'I-131 (Figure 6.7).

6.2.1.2. Ukraine

1. Durant les années 1981-1985, on a relevé chaque année en moyenne 12 cas de cancers de la thyroïde chez des enfants et des adolescents. En 1990 déjà, 62 enfants et adolescents furent opérés et, au total, 6 049 malades de cette tranche d'âge furent opérés en Ukraine, de 1986 à 2009, à cause de cette maladie. Plus de

60% de ceux qui ont souffert d'un cancer de la thyroïde pendant leur enfance habitaient au moment de la catastrophe dans les régions les plus contaminées situées dans le nord du pays, principalement dans les régions de Jitomir, Kiev et Tchernigov. La morbidité primaire liée au cancer de la thyroïde est 10 fois supérieure dans ces régions à l'indice correspondant pour le reste du pays [Ministère ukrainien de la santé, 2011].

Comparé à la période pré-Tchernobyl, le nombre de cas de cancer de la thyroïde a augmenté de 5,8 fois de 1990 à 1995, de 13,8 fois de 1996 à 2001 et de 19,1 fois de 2002 à 2004 [Tronko *et al.*, 2006]. Au cours de la période 2001-2008, on a enregistré en moyenne environ 400 cas de cancers de la thyroïde, soit 33 fois plus qu'avant la catastrophe (60,0 fois plus chez les enfants de 0 à 14 ans) [Ministère ukrainien de la santé, 2011].

2. La prévalence des formes invasives de carcinome (87,5%) indique un développement très agressif de la tumeur [Vtyurin *et al.*, 2001]. Cliniquement, cela se traduit par une courte période de latence, l'absence de signes généraux ou de symptômes et un envahissement lymphatique élevé. Quelque 46,9% des patients ont une propagation tumorale au-delà de la thyroïde. Des métastases régionales dans

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

les ganglions lymphatiques du cou sont surveillés chez 55,0% des patients et des opérations répétées ont été nécessaires pour éliminer les métastases résiduelles qui sont apparues peu

après l'opération initiale. De plus, 11,6% des patients ont développé des métastases pulmonaires isolées [Rybakov *et al.*, 2000 ; Komissarenko *et al.*, 2002].

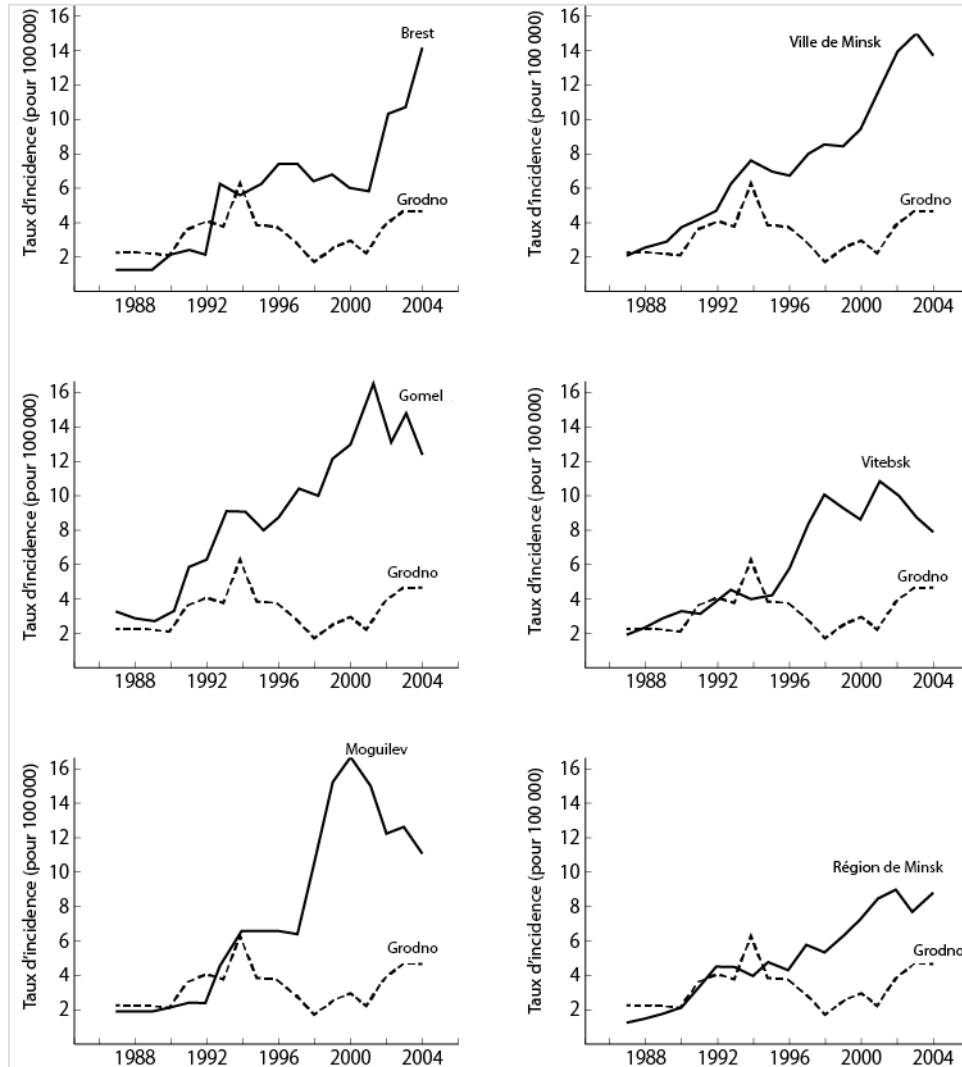


Figure 6.7. Morbidité par cancer de la thyroïde dans cinq provinces contaminées du Belarus et à Minsk par rapport à la province la moins contaminée de Grodno. La multiplication des cas de cancer dans la province plutôt moins contaminée de Vitebsk et la ville de Minsk peut refléter l'afflux d'évacués et de réfugiés [Malko, 2007]

3. Avant la catastrophe, l'occurrence du cancer de la thyroïde chez les enfants et les adolescents était de 0,09 pour 100 000 ; ensuite, en 1990, elle a été de 0,57 à 0,63 pour 100 000. La plus forte hausse de la morbidité a été enregistrée chez les jeunes vivant dans les districts les plus contaminés de Kiev et les provinces de Tchernigov, Jitomir, Tcherkessk et Rivne [Komissarenko *et al.*, 1995]. Dans ces zones la morbidité par cancer de la thyroïde a

atteint 1,32 pour 100 000 personnes, soit 5 fois plus que dans d'autres zones. Les coefficients de régression qui reflètent les tendances temporelles sont de : $0,12 \pm 0,01$ pour l'ensemble de l'Ukraine (pour 100 000 par an) ; $0,41 \pm 0,07$ pour la province de Kiev ; $0,52 \pm 0,05$ pour la ville de Kiev ; $0,22 \pm 0,03$ pour la province de Jitomir ; $0,41 \pm 0,06$ pour d'autres territoires contaminés. Les premiers cas de cancer de la thyroïde chez les enfants de moins

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

de 14 ans vivant dans les territoires contaminés ont été enregistrés en 1990. De 1980 à 1990, aucun cas de ce cancer n'a été classifié ni enregistré dans les zones étudiées [Prysyazhnyuk *et al.*, 2005].

4. Dans les régions de Tchernigov, Kiev et Jitomir, qui ont subi de fortes retombées d'iode-131 au cours de la décennie 1990-1999, le niveau de l'incidence du cancer de la thyroïde dépendait de l'ampleur de ces retombées [Romanenko *et al.*, 2004].

5. Une enquête auprès de 26 601 enfants en 1998 a révélé que, pour chaque cas de cancer de la thyroïde, il y avait 29 cas d'autres pathologies thyroïdiennes [Shybata *et al.*, 2006].

6. Selon le Registre d'État ukrainien pour la période 1982 à 2003, l'incidence des cancers de la thyroïde a fortement augmenté après 1991 pour les trois différentes cohortes étudiées : les liquidateurs qui ont travaillé de 1986 à 1987, les personnes évacuées de la ville de Pripjat et de la zone d'exclusion des 30 km et les habitants des zones contaminées par la radioactivité [Prysyazhnyuk *et al.*, 2002].

7. Diverses estimations du nombre de cancers de la thyroïde en Ukraine sont présentées sur le tableau 6.5.

Tableau 6.5. Nombre de cancers de la thyroïde en Ukraine (cas radiogéniques entre parenthèses)

Nombre de cas, <i>n</i>	Années	Auteurs	Commentaires
1 420 (585)	1990–1997	UNSCEAR, 2000	Âgés de 0 à 15 ans au moment de la fusion
3 914	1986–1996	Dobyshevskaya <i>et al.</i> , 1996	Dont 422 enfants
(937)	1986–1997	Interfax-Ukraine, 1998	Par référence aux données officielles
(1 400)	1986–1999	Reuters, 2000	Par référence aux données officielles
(472)	1986–2000	Tronko <i>et al.</i> , 2002	Âgés de 0 à 14 ans
2 371 post-opératoires	1986–2002	Tsheglova, 2004	Âgés de 0 à 17 ans au moment de la fusion
2 674 post-opératoires	1988–2004	Anonyme, 2005	Enfants
(585)	1990–2004	Prysyazhnyuk <i>et al.</i> , 2007	
3 385	1986–2004	Rapport national d'Ukraine, 2006 : figure 5.2	Âgés de 0 à 18 ans au moment de la fusion (11 sont morts)

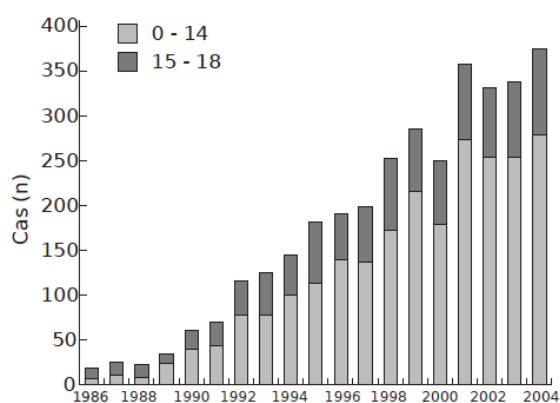


Figure 6.8. Nombre de cas de cancers de la thyroïde en Ukraine chez les personnes âgées de 0 à 18 ans au moment de la fusion [Rapport national d'Ukraine, 2006 : figure 5.2]

8. Une forte augmentation des cas de cancer de la thyroïde a commencé après 1989 chez les personnes âgées de 0 à 18 ans au moment de la catastrophe (Figure 6.8).

9. La morbidité par cancer de la thyroïde chez les femmes dans les territoires fortement contaminés a plus que quintuplé par rapport à celle des hommes (Figure 6.9).

10. En 1998-1999, la morbidité par cancer de la thyroïde était nettement plus élevée dans les territoires contaminés à un niveau supérieur à 100 kBq/m² que dans les zones à des niveaux inférieurs à 100 kBq/m² [Prysyazhnyuk *et al.*, 2007]. L'incidence de la morbidité par cancer de la thyroïde dans les différentes provinces est illustrée sur la figure 6.10.

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

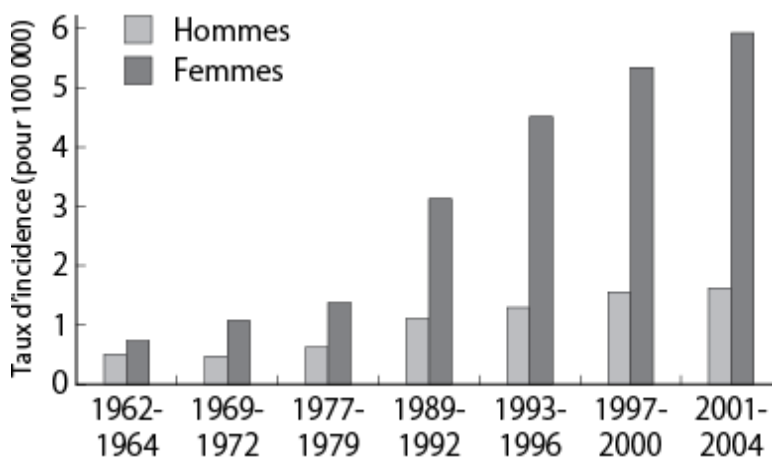


Figure 6.9. Morbidité par cancer de la thyroïde de 1962 à 2004 (pour 100 000) en Ukraine chez les hommes et les femmes [Prysyazhnyuk et al., 2007]

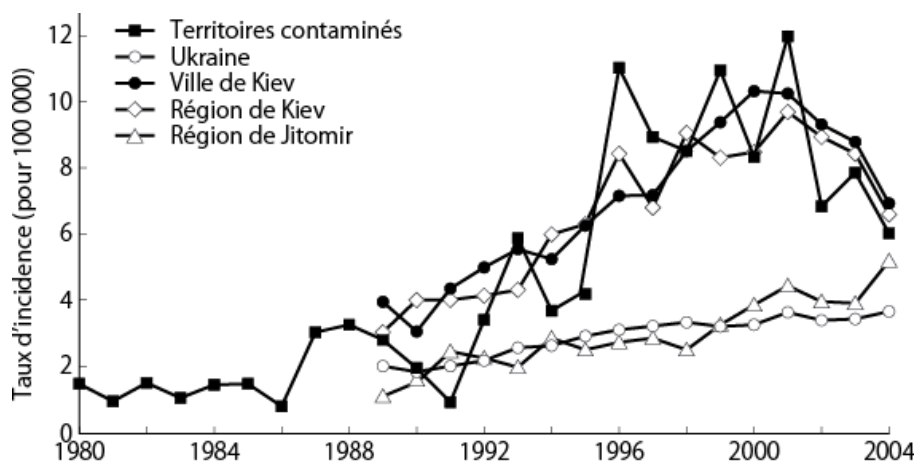


Figure 6.10. Morbidité par cancer de la thyroïde (pour 100 000) dans la province et la ville très contaminées de Kiev et dans la province moins contaminée de Jitomir [Prysyazhnyuk et al., 2007]

11. La morbidité par cancer de la thyroïde a augmenté de façon marquée chez les liquidateurs après 2001 [Législation ukrainienne, 2006].

6.2.1.3. Russie

1. La morbidité par cancer de la thyroïde dans le groupe d'âge de 0 à 30 ans a augmenté de 1,5 fois de 1991 à 1998 [Ivanov et Tsyb, 2002].

2. De 1986 à 2000, la morbidité par cancer de la thyroïde pour la population entière de la province de Briansk a augmenté de 4,2 fois (3,3 à 13,8 cas pour 100 000) et atteignait 20,7 cas chez les enfants dans les districts fortement contaminés [Kukishev et al., 2001b ; Proshin et al., 2005].

3. La morbidité par cancer de la thyroïde dans la province de Briansk était égale au

double de celle de la Russie de 1988 à 1998 et au triple de celle qui existait entre 1999 et 2004 [Malashenko, 2005]. Le niveau réel du cancer de la thyroïde de la province de Briansk pourrait être jusqu'à quatre fois supérieur à celui des 13,8 cas officiels pour 100 000 [Pylyukova, 2004].

4. Depuis 1995, la morbidité par cancer de la thyroïde dans les zones du sud contaminées à plus de 5 Ci/km² est devenue considérablement plus élevée que la moyenne de la province [Kukishev et al., 2001b].

5. La morbidité par cancer de la thyroïde chez les enfants a beaucoup augmenté dans la province de Toula de 1986 à 1997 par rapport aux années précédant la catastrophe [Ouchakova et al., 2001].

6. Depuis 1991, la morbidité par cancer de la thyroïde dans la province de Briansk a

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

commencé à augmenter fortement chez les personnes qui avaient moins de 50 ans au moment de la catastrophe. Le risque relatif de la maladie pour les adultes est deux fois plus élevé que pour les enfants et encore plus élevé pour les femmes [Zvonova *et al.*, 2006].

7. Il y a eu, depuis 1990, une croissance notable de la morbidité par cancer de la thyroïde chez les enfants dans la région des provinces de l'Oural [Dobrynina, 1998].

8. La morbidité par cancer de la thyroïde dans la ville de Lipetsk a augmenté de 3,4 fois de 1989 à 1995 [Krapivin, 1997].

9. Dans les 10 à 15 ans qui ont suivi la catastrophe, la morbidité par cancer de la thyroïde a augmenté de 8 fois dans la province d'Orel [Parshkov *et al.*, 2006].

10. La morbidité par cancer de la thyroïde chez les enfants et les adultes dans la province d'Orel a augmenté fortement dans les 6 à 8 ans après la catastrophe [Kovalenko, 2004]. Le nombre absolu des cas dans la province est présenté sur la figure 6.11.

11. L'incidence des cancers de la thyroïde en Russie européenne est présentée sur le tableau 6.6.

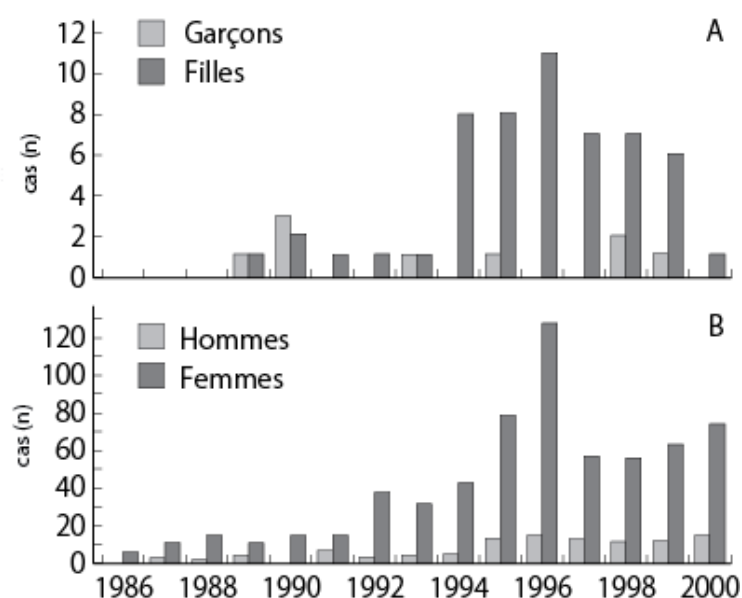


Figure 6.11. Nombre absolu de cas de cancers de la thyroïde chez les enfants et les adolescents âgés de 0 à 18 ans au moment de la fusion (A, au-dessus) et dans la population adulte (B, en-dessous) dans la province d'Orel de 1986 à 2000 [Golyvets, 2002]

Tableau 6.6. Nombre de cas de cancers de la thyroïde en Russie européenne selon diverses sources (cas radio-géniques entre parenthèses)

Nombre de cas, <i>n</i>	Années	Auteurs	Commentaires
4 173 (2 801)	1987-2000	Ivanov et Tsyb, 2002	Les quatre provinces les plus contaminées [calculs d'A. Yablokov, sur la base du niveau pré-Tchernobyl]
(205)	1990-1998	UNSCEAR, 2000	Tout le pays; personnes âgées de 0 à 17 ans au moment de la fusion
1 591	1986-2000	Kukishev <i>et al.</i> , 2001b	Province de Briansk (plus de 50 fois supérieur à la période 1975-1985)
2 638	1986-2005	Malashenko, 2005	Province de Briansk
2 100 (1 071)	1991-2003	Tsheglova, 2004	Par référence au message oral d'A. F. Tsyb
(« Presque 1 800 »)	1990-1998	UNSCEAR, 2000	

12. Dans quatre régions de Russie (Briansk, Toula, Kalouga, Orel) très lourdement contaminées par la radioactivité par suite de la catastrophe, environ 8 900 cas de cancer de la thyroïde ont été enregistrés durant la période 1986-2008 dans le Registre médico-biologique national (Figure 6.12 ; calcul d'après le graphique de présentation de S. Y. Tchekin à l'occasion de la séance du 11 octobre 2010 du comité scientifique de radioprotection de la Fédération de Russie). Après la catastrophe et jusqu'en 2008, on observe une multiplication par six de la fréquence des diagnostics de cancer de la thyroïde par rapport au niveau antérieur à Tchernobyl [Tchekin, 2010 ; Tsyb et Ivanov, 2010]. Si on déduit de ce nombre 2 300 (100 x 23 ans) cas habituels de cancer de la thyroïde (l'incidence au cours des années 1981-1985 étant en moyenne de 100 par an), ce sont donc, en 23 ans, 6 600 cas de cancer de la thyroïde dus à Tchernobyl qui sont survenus dans ces régions.

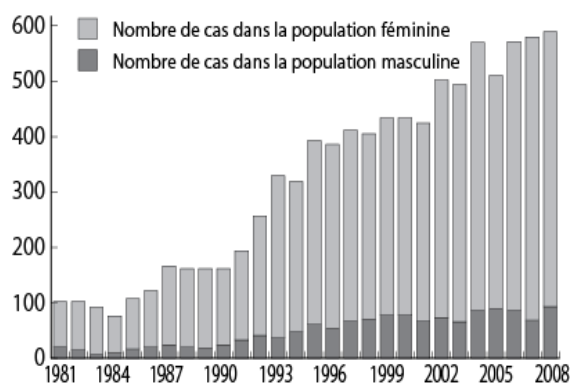


Figure 6.12. Nombre de cas de cancer de la thyroïde diagnostiqués par année dans quatre régions de Russie (Briansk, Toula, Kalouga, Orel) très lourdement contaminées, au cours de la période 1981-2008 [Tchekin, 2010 ; Tsyb, Ivanov, 2010]

13. On distingue trois périodes dans l'augmentation du nombre de cas de cancer de la thyroïde dans les régions de Briansk, Toula, Kalouga et Orel : une petite mais significative augmentation de l'incidence en 1987, suivie d'une stabilisation au cours des trois années suivantes (1987-1990), et une augmentation générale notable (du triple) sur la période 1991-2008. Chez les femmes, ces tendances sont légèrement moins prononcées [Tchekin, 2010 ; Tsyb et Ivanov, 2010].

6.2.1.4. Autres pays

Dans de nombreux pays du monde, on observe au cours des 25 dernières années une augmentation du nombre des cas de cancer de la thyroïde.

Un argument courant opposé à « l'effet de la catastrophe de Tchernobyl » dans l'augmentation de la morbidité par cancer de la thyroïde est qu'il n'est pas en corrélation avec les zones les plus contaminées en 1986. Toutefois, cet argument est erroné. Par exemple, le point de vue officiel en France était que la contamination par l'I-131 avait eu lieu principalement dans la partie sud-est du pays (Figure 6.13), mais il existe des données montrant que certains jours, les nuages de Tchernobyl étaient plus épais sur la partie nord du pays, notamment sur la région Champagne-Ardenne, où est apparue une augmentation de l'incidence des cancers de la thyroïde plusieurs années après. Il est important de noter que non seulement l'I-131, mais encore d'autres radionucléides peuvent provoquer un cancer de la thyroïde.

1. AUTRICHE. Une augmentation du nombre de cancers de la thyroïde a débuté en 1990 et elle a été particulièrement élevée dans les territoires contaminés en 1995 [Weinisch, 2007].

2. RÉPUBLIQUE TCHÈQUE. Pendant la période 1976-1990, l'incidence du cancer de la thyroïde a augmenté en moyenne de 2% par an, mais à partir de 1990 ce rythme a atteint 5%, surtout chez les femmes [Murbeth *et al.*, 2004 ; Frentzel-Beyme et Scherb, 2007].

3. FRANCE. De 1975 à 1995, l'incidence du cancer de la thyroïde a augmenté d'un facteur de 5,2 chez les hommes et de 2,7 chez les femmes [Verger *et al.*, 2003], mais une association avec la catastrophe nucléaire a été officiellement récusée. En 1998-2001, le taux était beaucoup plus élevé en Corse chez les hommes et nettement plus élevé dans le Tarn chez les femmes [Rapport annuel, 2006]. Les données de Champagne-Ardenne sont particulièrement intéressantes parce qu'elles montrent que l'incidence du cancer de la thyroïde a fortement augmenté peu après la catastrophe (Figure 6.14), de façon pratiquement synchrone avec les données belarusses.

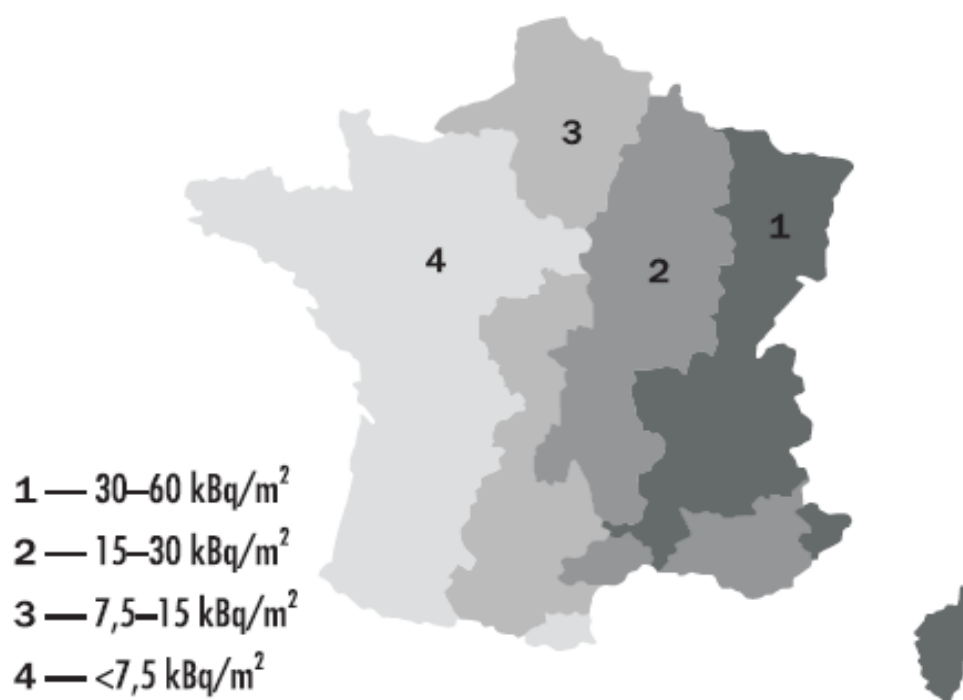


Figure 6.13. Contamination totale de la France en I-131 provenant de Tchernobyl [Cherie-Challine et al., 2006]

4. GRANDE-BRETAGNE. La morbidité par cancer de la thyroïde a sensiblement augmenté dans le nord de l'Angleterre et, surtout, dans les zones les plus contaminées de Cambrie où l'augmentation de la fréquence était bien plus grande (rapport des taux : 12,2 ; IC à 95% : 1,5-101,2) [Cotterill et al., 2001].

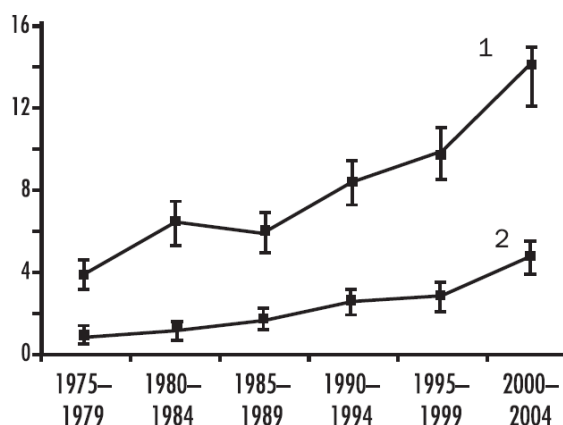


Figure 6.14. Incidence du cancer de la thyroïde (pour 100 000) de 1975 à 2004 dans la région Champagne-Ardenne, France, [Cherie-Challine et al., 2006] ; 1 = hommes ; 2 = femmes.

5. GRÈCE. De 1989 à 1990, il y a eu une importante augmentation du nombre de can-

cers papillaires de la thyroïde et, de 1990 à 1994, de formes mixtes de cancer de la thyroïde (plus courants chez les femmes) (Figure 6.15) ; on peut supposer que cette augmentation est liée à la disponibilité d'outils diagnostiques autant qu'à une attention accrue après Tchernobyl [Ilias et al., 2002]. En Crète, l'incidence des carcinomes papillaires thyroïdiens a augmenté nettement après 1995 chez les patients ayant subi une thyroïdectomie totale (avec un pic en 2000). Cette évolution est probablement associée aux retombées de Tchernobyl [Prokopakis et al., 2007].

6. ISRAËL. L'analyse des dossiers de 5 864 patients du Registre national du cancer d'Israël révèle une forte augmentation des taux d'incidence standardisés par âge (pour 100 000) pour le cancer de la thyroïde entre 1982 et 2001 (de 101% chez les femmes et de 25% chez les hommes ; $p < 0,01$ dans les 2 cas), essentiellement due aux carcinomes papillaires [Lubyna et al., 2006]. En dépit de la conclusion de l'auteur qui affirme que cette hausse « peut être liée en partie à une vigilance accrue lors des diagnostics et à des changements dans les pratiques cliniques », l'évolution temporelle, le sexe et l'origine ethnique n'écartent pas l'influence de Tchernobyl.

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

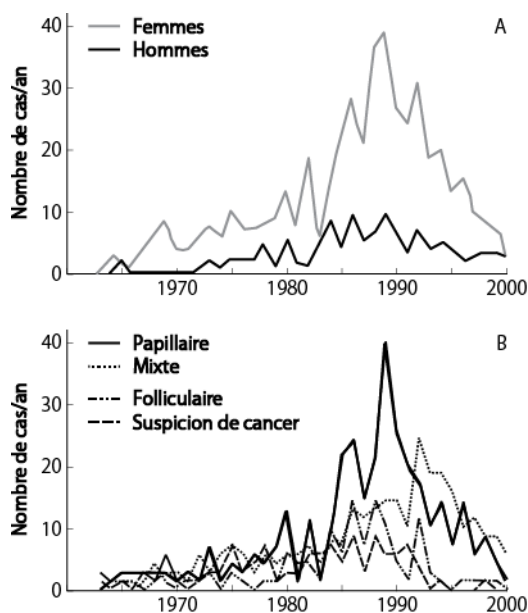


Figure 6.15. Incidence des cancers de la thyroïde par types histologiques différents et par sexe en Grèce de 1963 à 2000 [Ilias *et al.*, 2002]

7. ITALIE. Il y a eu un doublement de la morbidité par cancer de la thyroïde entre 1988

et 2002 qui s'est manifestée notamment après 1992. On a prétendu que cette incidence accrue était probablement due à des techniques de diagnostic améliorées et plus puissantes et non à des facteurs liés à Tchernobyl, qui « bien que possibles, ne sont pas envisagés en ce moment » [Pacini, 2007]. Cependant, il est noté que cette conclusion reposait sur un registre du cancer qui couvrait seulement 25,5% de la population italienne.

8. POLOGNE. Il y a une augmentation notable de la morbidité par cancer de la thyroïde dans les territoires contaminés [Szybinski *et al.*, 2001, 2003].

9. ROUMANIE. La morbidité par cancer de la thyroïde a augmenté dans les zones les plus contaminées de l'est de la Roumanie. Cette augmentation a commencé en 1990 et, en 1997-1998, elle a été beaucoup plus élevée que pendant les années pré-Tchernobyl [Davydescu et Jakob, 2004] (Figure 6.16). Le taux maximum d'incidence pour le cancer de la thyroïde dans la ville de Cluj a été enregistré en 1996, soit 10 ans après la catastrophe [Salagean *et al.*, 1998].

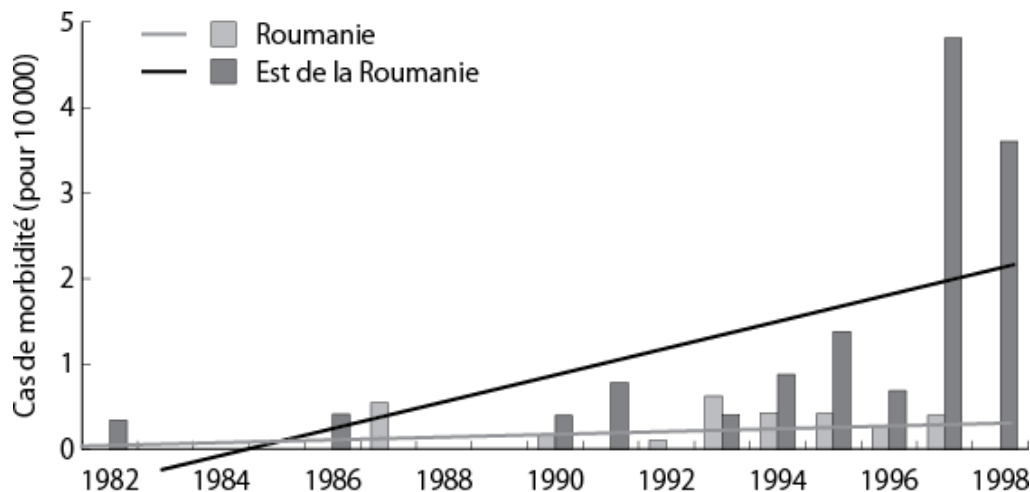


Figure 6.16. Morbidité par cancer de la thyroïde (cas pour 10 000) dans les zones contaminées après la catastrophe dans l'est de la Roumanie et dans l'ensemble de la Roumanie de 1982 à 1998 [Davydescu, 2004]

10. SUISSE. Des comparaisons géographiques des taux d'incidence actuelle, effectuées par le Réseau des registres suisses du cancer, ont permis de détecter dans le pays une augmentation dans le temps des cancers papillaires et une diminution des autres types. Des analyses par âge-période-cohorte ont révélé que les plus jeunes cohortes d'hommes et de

femmes nés après 1940 couraient un risque accru de tous les types de cancer de la thyroïde, alors que la cohorte de personnes nées entre 1920 et 1939 risquaient plutôt un sous-type papillaire. Comme prudemment noté par F. Montanaro, « étant donnée une sensibilité supérieure aux rayonnements ionisants des plus jeunes, un effet de Tchernobyl ne peut pas

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

être définitivement exclu et la poursuite d'une étude sur ce sujet devrait être encouragée » [Montanaro *et al.*, 2006].

11. ÉTATS-UNIS. À partir de 1988, il y a eu une augmentation marquée de l'incidence du cancer papillaire de la thyroïde chez les femmes (Figure 6.17), ce qui peut s'expliquer en partie par le rayonnement de Tchernobyl. Dans le Connecticut, il y a eu deux retombées séparées de radionucléides de Tchernobyl (au milieu du mois de mai et dans la deuxième quinzaine de juin 1986), ce qui a produit une augmentation de 7 à 28 fois du niveau d'I-131 dans le lait. Le taux de cancer de la thyroïde chez les enfants du Connecticut âgés de moins de 15 ans a fortement augmenté (de 0,16 à 0,31 pour 100 000) de 1985-1989 à 1990-1992. Pendant la même période, les taux de cancer de

la thyroïde pour tous les groupes d'âge ont bondi de 24% (de 3,46 à 4,29 pour 100 000), alors qu'ils n'avaient pas varié au cours des 10 années précédentes (Figure 6.18).

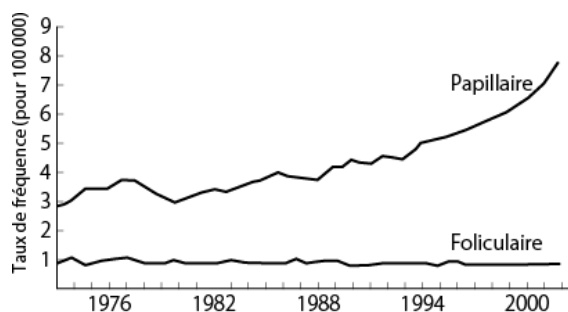


Figure 6.17. Incidence du cancer papillaire de la thyroïde chez les femmes aux États-Unis de 1975 à 2000 [Wartofsky, 2006]

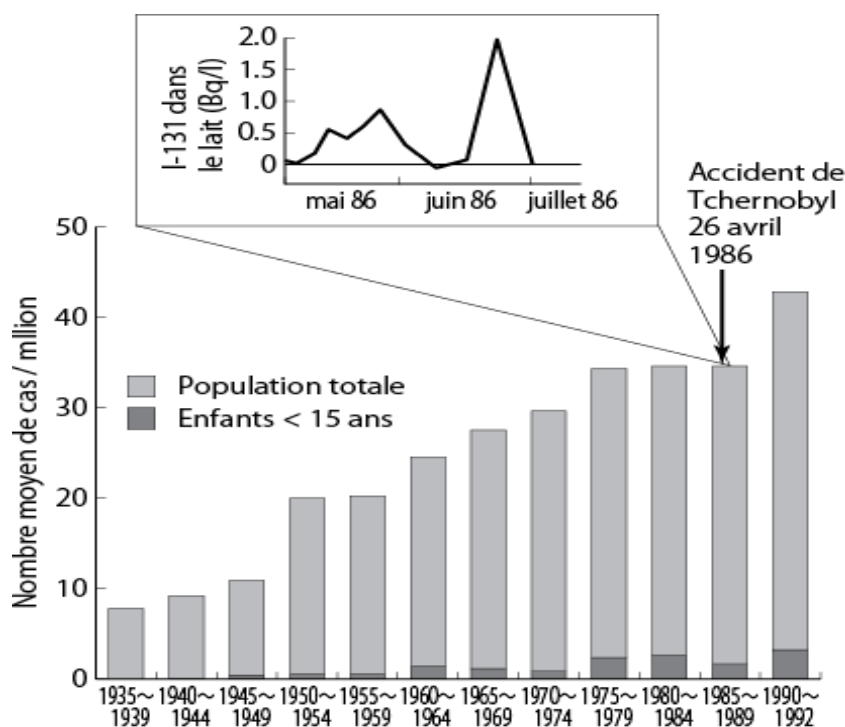


Figure 6.18. Incidence des cancers de la thyroïde au Connecticut entre 1935 et 1992, par million d'enfants de moins de 15 ans et par million dans la population totale (taux ajusté selon l'âge). Concentration d'I-131 dans le lait au Connecticut [Reid et Mangano, 1995]

6.2.2. Quand de nouveaux cas de cancer de la thyroïde de Tchernobyl vont-ils se produire et combien ?

En 1990, lorsque la grave hausse de l'incidence du cancer de la thyroïde dans les territoires contaminés avait déjà commencé, des représentants médicaux officiels de l'Union soviétique ont indiqué qu'ils s'attendaient à 100

cas supplémentaires induits par les radiations de la catastrophe [par exemple Iline *et al.*, 1990]. Le risque supplémentaire du cancer de la thyroïde après Hiroshima et Nagasaki était au plus haut 10 à 15 ans après et des cas sont apparus de 40 à 50 ans plus tard [Demidchik *et al.*, 1996]. Sur cette base, il a été estimé que le nombre de cancers de la thyroïde de Tchernobyl

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

byl augmenterait dans le monde jusqu'en 2011 [Tsyb, 1996 ; Gontcharova, 2000]. Diverses prévisions pour les futurs cancers radiogéniques supplémentaires de la thyroïde sont indiquées sur le tableau 6.7.

Les calculs du tableau 6.7 reposent sur l'estimation par l'UNSCEAR des doses collectives et des coefficients de risque pour l'I-131 et il est tout à fait possible que les déterminations des doses collectives aient été sérieusement sous-estimées [voir, par exemple, Fairlie et Sumner, 2006] et que les facteurs de risque

utilisés n'aient pas été fiables [Busby *et al.*, 2003, dans « Recommandations du Comité européen pour les risques des radiations » (CERR)]. On doit aussi considérer que les cancers de la thyroïde ont été provoqués non seulement par l'I-131, mais aussi par d'autres isotopes de l'iode, dont l'I-129, et par le Te-132, le Ru-103 et le Ru-106 et qu'ils sont aussi une conséquence des effets néfastes du Cs-134 et du Cs-137. Par conséquent, les prévisions du tableau 6.7 doivent être considérées comme des estimations minimales.

Tableau 6.7. Cancers de la thyroïde prévisibles induits par Tchernobyl selon diverses sources

Nombre de cas	Période	Auteur	Commentaires
Belarus			
1 100 chez les garçons, 2 300 chez les filles (tout le pays) ; 730 chez les garçons, 1 500 chez les filles (province de Gomel)	Jusqu'en 2056	Demidchik <i>et al.</i> , 1999	Personnes âgées de 0 à 17 ans au moment de la fusion
12 500 (tout le pays)	À vie	Ostapenko, 2002 ; Fedorov, 2002	Personnes âgées de 0 à 17 ans au moment de la fusion
15 000 (tout le pays)	Jusqu'en 2053	Rapport national du Belarus, 2003	
14 000–31 400 (tout le pays)	Jusqu'en 2056	Malko, 2007	
50 200 (province de Gomel), « au-delà de 5 000 » (province de Moguilev)	À vie	Brown, 2000	Données de l'Agence internationale pour la recherche sur le cancer (AIRC)
« Jusqu'à 50 000 » (tout le pays)	À vie	Krysenko, 2002 ; Fedorov, 2002	Chez les adolescents et les jeunes d'aujourd'hui
Russie			
3 700 (provinces de Kalouga, Toula et Orel)	À vie	Brown, 2000	Données de l'Agence internationale pour la recherche sur le cancer (AIRC)
659 (provinces de Briansk, Toula, Kalouga, Orel, Koursk, Riazan et Leningrad)	À vie	Demidchik <i>et al.</i> , 1996	
Belarus, Ukraine, Russie			
52 330	À vie	Malko, 1998	Dont 5 230 mortels
93 00–131 000	À vie	Gofman, 1994b	

Sur la base du nombre réel de cancers radiogéniques enregistrés pour 1986-2000 dans les territoires contaminés du Belarus et de l'Ukraine, V. Malko (2007) a calculé une parité entre les niveaux de rayonnement et le nombre de cas supplémentaires liés à l'influence de ce rayonnement (c'est à dire le nombre de cancers en fonction de la dose de rayonnement).

Malko a également recalculé le nombre relatif de cas de cancer par dose de retombées de radionucléides de Tchernobyl sur les populations d'Europe. Les résultats de ces calculs (en futurs cas de cancer et tribut en décès) pour la

vie entière de la « génération de Tchernobyl » (1986-2056) sont présentés sur le tableau 6.8.

L'intervalle de confiance pour l'ensemble de l'Europe est de 46 313 à 138 936 cas de cancer de la thyroïde et de 13 292 à 39 875 décès [Malko, 2007 ; tableau 3]. Ces calculs ne comprennent pas les liquidateurs, dont un nombre important (830 000) ne vivent pas dans les territoires contaminés. Les chiffres de Malko pourraient être inférieurs en raison de restrictions sévères de la consommation de légumes et de lait dans de nombreux pays européens les deuxième et troisième jours après la catastrophe. Inversement, le nombre de cas peut

augmenter en raison de l'exposition de plusieurs nouvelles générations au rayonnement du Cs-137.

Tableau 6.8. Cas de cancers de la thyroïde radio-géniques annoncés et nombre des victimes en Europe de 1986 à 2056 [Malko, 2007]

Pays	Nombre de cas, <i>n</i>	Y compris les décès
Belarus	31 400	9 012
Ukraine	18 805	5 397
Russie	8 626	2 476
Yougoslavie	7 137	2 048
Italie	5 162	1 481
Roumanie	3 976	1 141
Pologne	3 221	924
Grèce	2 879	826
Allemagne	2 514	721
Rép. Tchèque et Slovaquie	2 347	674
Bulgarie	1 619	465
France	1 153	331
Suisse	898	258
Autriche	812	233
Grande-Bretagne	418	120
Finlande	334	96
Pays-Bas	328	94
Hongrie	270	78
Belgique	239	69
Suède	165	47
Norvège	136	39
Irlande	100	29
Espagne	54	15
Danemark	19	5
Luxembourg	13	4
Portugal	2	1
Total pour l'Europe	92 627	26 584
Y compris les chiffres du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie	58 831	16 885

La prévalence et l'apparition des cancers de la thyroïde de Tchernobyl sont très différentes des données de référence de Hiroshima et Nagasaki. Les cancers de la thyroïde de Tchernobyl : (1) apparaissent beaucoup plus tôt (dans les 3-4 ans après l'irradiation et non pas 10), (2) se développent d'une manière beaucoup plus agressive et (3) affectent non seulement les enfants, mais aussi les adultes au moment de l'irradiation.

Il est erroné de penser que ce cancer est facilement traité chirurgicalement [Forum de Tchernobyl, 2006]. En dépit du fait que la majorité des victimes subissent une chirurgie, le cancer continue à se développer dans environ un tiers des cas [Demidchik et Demidchik, 1999]. Par ailleurs, dans tous les cas, malgré un traitement chirurgical, la personne reste handicapée pour le reste de sa vie, complètement dépendante d'une supplémentation médicamenteuse.

Enfin, le cancer de la thyroïde n'est que la pointe de l'iceberg pour les troubles radiogéniques de la glande thyroïde (voir [Section 5.3.2](#)) : pour chaque cas de cancer, on trouve des centaines de cas d'autres maladies organiques de la glande thyroïde.

6.3. Cancer du sang – leucémie

La leucémie radiogénique a été détectée à Hiroshima et Nagasaki quelques mois après les bombardements et la morbidité a atteint un sommet en 5 ans. La période de latence pour la leucémie radiogénique est de plusieurs mois à plusieurs années, l'incidence la plus élevée survenant entre 6 et 8 ans après l'exposition [Sinclair, 1996]. En raison de la confidentialité des données officielles et de leur falsification qui s'est poursuivie pendant trois ans après la catastrophe (voir [Chapitre 2](#) pour les détails), un nombre inconnu de cas de leucémie en Ukraine, au Belarus et en Russie n'a été inclus dans aucun registre. Ces distorsions doivent être gardées à l'esprit lorsque l'on analyse les données ci-après.

6.3.1. Belarus

1. Il y a eu 1 117 cas de leucémie chez les enfants de 0 à 14 ans entre 1990 et 2004 [Rapport national du Belarus, 2006].

2. D'après les données du Centre d'oncologie et d'hématologie infantiles de la République, sur les 4 950 cas de néoplasies malignes enregistrés durant les années 1989-2003 au Belarus chez des enfants (de 0 à 14 ans), 52,4% étaient des néoplasies malignes du sang, des organes hématopoïétiques et lymphatiques (dont 25% de leucémies aiguës et 13,7% de lymphomes) [Savva *et al.*, 2006].

3. Depuis 1992 (7 ans après la catastrophe), il y a eu une forte augmentation de toutes les formes de leucémie dans la population adulte. Le taux le plus élevé de la morbidité par rap-

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

port aux données pré-Tchernobyl a été observé en 1992-1994 [Ivanov *et al.*, 1996].

4. Les cancers lymphatiques primaires et les cancers hématopoïétiques chez les hommes évacués ont beaucoup augmenté de 1993 à

2003 [Rapport national du Belarus, 2006].

5. La morbidité par leucémie chez les adultes dans la province de Gomel a considérablement augmenté après la catastrophe (Tableau 6.9).

Tableau 6.9. Leucose (leucémie) aiguë et chronique. Morbidité chez les adultes (pour 100 000) dans la province de Gomel, 1993-2003 [Rapport national du Belarus, 2006]

Leucose	Province entière		Districts fortement contaminés	
	Avant	Après	Avant	Après
Lymphoblastique aiguë	0,28 ± 0,07	0,78 ± 0,11**	0,35 ± 0,08	0,96 ± 0,28*
Non lymphoblastique aiguë	1,23 ± 0,14	1,83 ± 0,11**	1,07 ± 0,132	2,30 ± 0,31**
Leucose érythrocytaire	0,59 ± 0,11	0,93 ± 0,12	0,36 ± 0,13	1,25 ± 0,14***
Toutes leucoses chroniques	5,72 ± 0,32	8,83 ± 0,42***	5,91 ± 0,21	9,94 ± 0,75***
Toutes les leucoses	9,05 ± 0,22	11,79 ± 0,42***	9,45 ± 0,40	13,44 ± 0,69***

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

6. Depuis 1996, le nombre de cas pré-leucémiques a augmenté. Chez les liquidateurs de 1986-1987, le nombre de cas de leucémies aiguës supplémentaires était statistiquement élevé en 1990-1991 [Ivanov *et al.*, 1997].

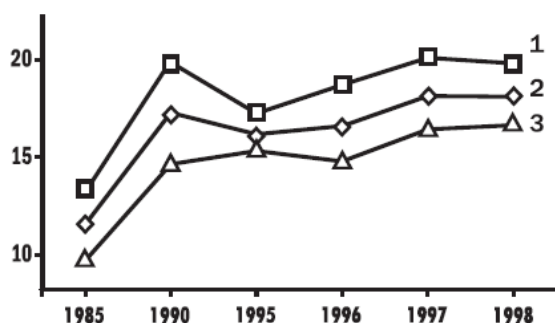


Figure 6.19. Tumeurs lymphoïdes et hématopoïétiques au Belarus en 1985-1998 : (courbe du haut) les hommes, (au milieu) : les deux sexes, (en bas) les femmes

[<http://www.progettohumus.it/NonDimentica/Liquidatori/Pdf/Milyutin1.pdf>]

7. Il y a eu une augmentation notable des cancers lymphoïdes et hématopoïétiques chez les hommes et les femmes au Belarus dans les 5 premières années après la catastrophe (Figure 6.19).

8. Le taux d'incidence le plus élevé pour les leucémies aiguës et chroniques et la maladie de Hodgkin est apparu dans les cinq premières années après la catastrophe. L'augmentation maximale des leucémies érythrocytaires, du lymphome non hodgkinien et surtout du syndrome myélodysplasique est survenue 10 ans après la catastrophe. L'incidence de toutes les formes de maladie leucémique était bien plus élevée après la catastrophe (Tableau 6.10).

9. Il y a eu près de 2 300 cas de leucémie entre 1986 et 2004 [Malko, 2007].

10. Il y a eu une forte augmentation de la morbidité par leucémie chez les personnes âgées, 15 années après la catastrophe [Conséquences médicales de l'accident de Tchernobyl, 2003].

Tableau 6.10. Morbidité par leucémie (pour 100 000) chez les adultes du Belarus, 1979-1997 [Gapanovich *et al.*, 2001]

Types de leucémies	Nombre de cas, <i>n</i>	1979-1985	1986-1992	1993-1997
Leucémie aiguë	4 405	2,82 ± 0,10	3,17 ± 0,11*	2,92 ± 0,10
Leucémie chronique	11 052	6,09 ± 0,18	8,14 ± 0,31*	8,11 ± 0,26*
Érythrémie	n/a	0,61 ± 0,05	0,8 ± 0,05*	0,98 ± 0,05*
Myélome multiple	2 662	1,45 ± 0,06	1,86 ± 0,06*	2,19 ± 0,14*
Maladie d'Hodgkin	4 870	3,13 ± 0,10	3,48 ± 0,12*	3,18 ± 0,06
Lymphome non hodgkinien	5 719	2,85 ± 0,08	4,09 ± 0,16*	4,87 ± 0,15*
Syndrome myélodysplasique	1 543**	0,03 ± 0,01	0,12 ± 0,05*	0,82 ± 0,16*

* $p < 0,05$; ** tous les cas de dépression médullaire osseuse

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

11. Après la catastrophe, de nombreuses formes de la leucémie chez les adultes ont

nettement augmenté dans les provinces de Moguilev et de Gomel (Tableaux 6.11 et 6.12).

Tableau 6.11. Leucose (leucémie) (pour 100 000) chez les adultes des provinces de Moguilev et de Gomel avant et après la catastrophe* [Rapport national du Belarus, 2006 : tableaux 4.2 et 4.3]

	Province de Moguilev		Province de Gomel	
	1979-1985	1993-2003	1979-1985	1993-2003
Leucose lymphoblastique aiguë	0,5 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,2 ± 0,07	0,8 ± 0,1
Leucose non lymphoblastique aiguë	0,3 ± 0,1	1,7 ± 0,2	1,2 ± 0,1	1,8 ± 0,1
Érythrémie	0,4 ± 0,1	0,8 ± 0,1	0,6 ± 0,1	0,9 ± 0,1
Autres leucoses chroniques	0,2 ± 0,1	0,7 ± 0,1	0,2 ± 0,05	1,0 ± 0,1
Toutes les leucoses	9,8 ± 0,6	12,1 ± 0,4	9,1 ± 0,2	11,8 ± 0,4

*Toutes les différences sont significatives.

Tableau 6.12. Morbidité par myélome multiple, lymphome non hodgkinien et maladie de Hodgkin chez les adultes dans les provinces de Gomel et Moguilev avant et après la catastrophe [Rapport national du Belarus, 2006 : tableau 4.4]

	Province de Moguilev		Province de Gomel	
	1979-1985	1993-2003	1979-1985	1993-2003
Myélome multiple	1,68 ± 0,15	2,39 ± 0,20*	1,24 ± 0,12	2,22 ± 0,14**
Maladie de Hodgkin	3,90 ± 0,14	3,06 ± 0,11**	2,95 ± 0,19	3,21 ± 0,23
Lymphome non hodgkinien	2,99 ± 0,21	5,73 ± 0,25**	2,83 ± 0,20	5,57 ± 0,30**

* $p < 0,05$; ** $p < 0,001$.

6.3.2. Ukraine

1. La leucémie aiguë chez les enfants des régions contaminées a augmenté par rapport à des zones « propres » sur une période de 10 à 14 ans après la catastrophe [Moroz, 1998 ; Moroz *et al.*, 1999 ; Moroz et Drozdova, 2000].

2. Pour les enfants, la morbidité par leucémie a commencé à augmenter en 1987 et elle a culminé en 1996 [Horishna, 2005].

3. L'incidence de la leucémie de 1986 à 1996 chez les enfants ukrainiens nés en 1986 et donc exposés *in utero* dans les zones contaminées de la province de Jitomir a été comparée à celle des enfants nés dans la province moins contaminée de Poltava. Les ratios de risques basés sur l'incidence cumulée révèlent de fortes hausses pour toutes les leucémies (rapport de taux : 2,7 ; IC à 95% : 1,9 à 3,8) et pour la leucémie lymphoblastique aiguë (rapport de taux : 3,4 ; IC à 95% : 1,1 à 10,04) ; [Noshchenko *et al.*, 2001, 2002].

4. De 1993 à 1997, il y a eu 652 cas de leucémie aiguë (LA) dans la ville de Kiev et la province de Kiev, dont 247 cas chez les enfants [Gluzman *et al.*, 1998].

5. La morbidité par leucémie dans les provinces très lourdement contaminées était nettement plus élevée chez les enfants nés en 1986 et le taux élevé de morbidité post-exposition a continué pendant 10 ans.

Les taux de leucémie aiguë lymphoblastique (LAL) ont augmenté de façon spectaculaire pour les hommes et dans une moindre mesure pour les femmes. Pour les deux sexes combinés, les taux de morbidité par LAL ont plus que triplé dans les provinces très contaminées par rapport à celles qui l'étaient moins [Noshchenko *et al.*, 2001].

6. Chez les enfants nés en 1986-1987 qui ont développé une leucémie aiguë, une augmentation relative du nombre de cas de leucémie aiguë myéloïde (LAM) a été rapportée (respectivement 21,2 et 25,3% en 1986 et 1987) [Gluzman *et al.*, 2006].

7. Pendant les 4 premières années après la catastrophe, les hémopathies malignes ont été beaucoup plus nombreuses dans les quatre districts les plus contaminés des provinces de Jitomir et de Kiev par rapport à la période pré-Tchernobyl et à 1999-2000 (Figure 6.20).

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

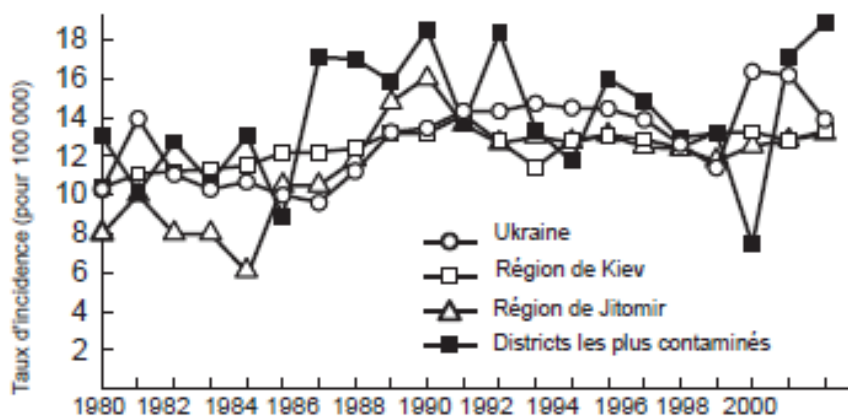


Figure 6.20. Morbidité par leucémie et lymphome (ajustée selon l'âge, pour 100 000, hommes et femmes) en Ukraine, 1980-2000 [Prysazhnyuk et al., 2002]

8. Les néoplasmes du sang ont été particulièrement élevés chez les enfants pendant les 5 premières années après la catastrophe, et parmi les liquidateurs qui ont travaillé en 1986-1987, l'incidence a été maximale 4 à 11 ans après la catastrophe (Tableau 6.13).

Tableau 6.13. Morbidité par leucémie (données standardisées, pour 100 000) en Ukraine [Prysazhnyuk et al., 2002]

Années	Personnes/ années	Nombre de cas		RSI (%)
		Reconnus	Attendus	
Leucémie, enfants, districts contaminés des provinces de Kiev et Jitomir				
1980-1985	337 076	19	10,88	174,6
1986-1991	209 337	22	6,78	324,5
1992-1997	150 170	7	4,87	143,7
1998-2000	80 656	0	2,59	0,0
Leucémie et lymphome, hommes et femmes évacués				
1990-1993	208 805	43	30,0	143,3
1994-1997	200 077	31	29,6	104,7
Leucémie et lymphome, liquidateurs hommes (1986-1987)				
1990-1993	263 084	81	31,8	254,7
1994-1997	314 452	102	49,9	204,4

RSI : ratio standardisé d'incidence

9. Chez les habitants de cinq districts extrêmement contaminés des régions de Jitomir et Kiev, dans la majorité des formes de leucémie, une augmentation incontestable des cas

est survenue au cours des cinq premières années qui ont suivi la catastrophe, dans les cinq à dix ans pour ce qui concerne les lymphosarcomes et les réticulosarcomes et durant les premier et troisième quinquennats après la catastrophe dans le cas des leucémies myéloïdes (Tableau 6.14).

10. Il y avait une augmentation significative du nombre de cas de leucémie chez les liquidateurs 15 ans après la catastrophe [Rapport national d'Ukraine, 2006 ; Législation ukrainienne, 2006].

11. L'incidence du myélome multiple chez les liquidateurs a été deux fois plus élevée que dans la population totale (7,8 contre 4,0%). Cinq liquidateurs de 1986-1987 ont été diagnostiqués avec une inhabituelle bronchopneumopathie chronique lymphoproliférative – leucémie lymphoïde à gros granules [Gluzman et al., 2006].

6.3.3. Russie

1. La morbidité par leucémie infantile a augmenté dans la province de Toulou après la catastrophe (Tableau 6.15) et a largement dépassé la moyenne de la Russie. Les leucémies aiguës chez les enfants étaient particulièrement nombreuses [Ouchakova et al., 2001].

2. Dans la province de Briansk, toutes les formes de leucémies et le lymphome non hodgkinien ont été bien plus nombreux 7 années après la catastrophe que pendant les 6 années la précédant [UNSCEAR, 2000].

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

Tableau 6.14. Morbidité par leucémie et lymphome (pour 100 000) dans cinq districts les plus contaminés des provinces de Jitomir et de Kiev [Prysyazhnyuk et al., 2002]

	Fréquence			
	1980-1985	1986-1991	1992-1997	1998-2000
Leucémie et lymphome	10,12 ± 0,75	15,63 ± 1,06	13,41 ± 1,10	13,82 ± 1,52
Lympho- et réticulosarcome	1,84 ± 0,33	2,70 ± 0,41	3,70 ± 0,58	3,36 ± 0,90
Maladie de Hodgkin	1,82 ± 0,34	2,47 ± 0,48	2,10 ± 0,48	1,23 ± 0,50
Myélomes multiples	0,54 ± 0,16	1,03 ± 0,25	0,78 ± 0,22	1,38 ± 0,40
Leucémie lymphoïde	3,08 ± 0,40	4,93 ± 0,59	2,97 ± 0,49	4,11 ± 0,75
Leucémie myéloïde	0,49 ± 0,17	1,99 ± 0,41	1,06 ± 0,30	2,32 ± 0,62

3. Une augmentation marquée de la leucémie lymphocytaire aiguë est survenue dans les six districts les plus contaminés de la province de Briansk, de 1986 à 1993 [Ivanov et Tsyb, 2002].

4. Depuis 1995, la morbidité par cancer hématopoïétique et lymphatique dans les districts du sud-ouest de la province de Briansk (contamination ≥ 5 Ci/km²) a été significativement plus élevée que la moyenne de la province [Kukishev et al., 2001b].

5. Dans la ville de Lipetsk, la morbidité par leucémie a augmenté de 4,5 fois de 1989 à 1995 [Krapivin, 1997].

6. En 10-15 ans après la catastrophe, la morbidité lymphatique et hématopoïétique a doublé [Parshkov et al., 2006].

7. Parmi les liquidateurs, le premier cas de leucémie a été officiellement enregistré en 1986 ; en 1991 on comptait déjà 11 cas [Ivanov et al., 2004 : tableau 6.6].

8. Dans les 10 à 12 ans après la catastrophe, le nombre de cas de leucémie chez les liquidateurs de 1986-1987 a doublé par rapport à la moyenne du pays [Tsyb, 1996 ; Zubovsky et Smirnova, 2000].

Tableau 6.15. Morbidité par leucémie (pour 10 000) chez les enfants de la province de Toula, 1979-1985 et 1986-1997 [Ouchakova et al., 2001]

Années	Nombre de cas, <i>n</i>	IC à 95%
1979-1985	3,4	2,6-4,4
1986-1997	4,1	3,4-4,9

IC : intervalle de confiance

9. En 2004, la morbidité par cancer lymphatique et hématopoïétique chez les liquidateurs a

été deux fois plus élevée que la moyenne du pays [Zubovsky et Tararukhyna, 2007].

6.3.4. Autres pays

1. ALLEMAGNE. Il y a eu une augmentation de 1,5 fois de l'incidence des leucémies chez les nourrissons nés en Allemagne de l'Ouest entre le 1^{er} juillet 1986 et le 31 décembre 1987 [Pflugbeil et al., 2006].

2. GRANDE-BRETAGNE. En 1987 en Écosse, la leucémie chez les enfants de moins de 4 ans a augmenté de 37% [Gibson et al., 1988 ; Busby et Scot Cato, 2000 ; Busby, 2006].

3. GRÈCE. Les nourrissons nés entre le 1^{er} juillet 1986 et le 31 décembre 1987, exposés aux retombées de Tchernobyl *in utero*, avaient une incidence de la leucémie 2,6 fois plus grande par rapport aux enfants nés entre le 1^{er} janvier 1980 et le 31 décembre 1985 et entre le 1^{er} janvier 1988 et le 31 décembre 1990. Des taux élevés ont été également rapportés pour les enfants nés dans des régions de Grèce où les retombées radioactives atteignaient des niveaux élevés [Petridou et al., 1996].

4. ROUMANIE. L'incidence de la leucémie chez les enfants nés entre juillet 1986 et mars 1987 a été nettement plus élevée que chez ceux nés entre avril 1987 et décembre 1987 (386 contre 173 ; $p = 0,03$). L'effet le plus notable se trouve dans le groupe « 0 à 1 an » [Davydescu et al., 2004].

5. EUROPE. Des pronostics réalistes de fréquence du cancer du sang et de mortalité induite (pour toutes les leucémies) figurent sur le tableau 6.16.

Tableau 6.16. Incidence prévisible du cancer radio-génique du sang (leucémie) et nombre des victimes en Europe de 1986 à 2056 pour la « génération Tchernobyl » [Malko, 2007]

Pays	Nombre de cas, <i>n</i>	Y compris les décès
Ukraine	2 801	1 989
Belarus	2 800	1 988
Russie	2 512	1 784
Allemagne	918	652
Roumanie	517	367
Autriche	500	355
Grande-Bretagne	423	300
République Tchèque	140	99
Italie	373	265
Bulgarie	289	205
Suède	196	139
Grèce	186	132
Pologne	174	124
Finlande	158	112
Suisse	151	107
Moldavie	131	93
France	121	86
Slovénie	95	67
Norvège	91	65
Slovaquie	71	50
Hongrie	62	44
Croatie	62	44
Lituanie	42	30
Irlande	37	26
Pays-Bas	13	9
Belgique	11	8
Espagne	8	6
Lettonie	7	5
Danemark	7	5
Estonie	6	4
Luxembourg	2	1
Total pour l'Europe	12 904	9 161
Y compris les chiffres du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie	8 113	5 761

6.4. Autres cancers

Il existe beaucoup de rapports fragmentaires sur la fréquence accrue des cancers du sein, du poumon et d'autres tumeurs après la catastrophe de Tchernobyl.

6.4.1. Belarus

1. D'après les données du Centre d'oncologie et d'hématologie infantiles de la

République (4 950 cas de néoplasies malignes enregistrés chez des enfants pour la période 1989-2003), ce sont les tumeurs du système nerveux central qui ont occupé la deuxième place dans le tableau de la morbidité oncologique chez les enfants du Belarus (20,5%, après les cancers du sang et des organes hématopoïétiques).

2. D'après ces mêmes données, dans le groupe d'âge « moins de 1 an », 23% étaient des leucémies, 19,2% des tumeurs du système nerveux sympathique (SNS), environ 14% des tumeurs du SNC et du rein ; dans le groupe d'âge « 1-4 ans », 37,4% des cas étaient des leucémies, 19,7% des tumeurs du SNC, 9,8% des lymphomes, 9,1% des tumeurs du rein ; dans le groupe d'âge « 5-9 ans », 27% étaient des tumeurs du SNC, 26,4% des leucémies, 15,6% des lymphomes, 13,5% des carcinomes (principalement de la thyroïde) ; dans le groupe d'âge « 10-14 ans », 13,5% étaient des carcinomes (principalement de la thyroïde), 17,4% des tumeurs du SNC, 16,5% des lymphomes, 15,6% des leucémies [Savva *et al.*, 2006].

3. Toujours selon ces données, 38,8% de tous les cas de néoplasies malignes chez des enfants ont été relevés dans le groupe d'âge des « 10-14 ans », 4,7% dans le groupe « moins de 1 an » [Savva *et al.*, 2006].

4. Et l'analyse de la structure de ces mêmes données par âges de chaque groupe nosologique a montré que : pour les cas du groupe I (leucémies), le pourcentage maximal était enregistré dans le groupe d'âge des « 1-4 ans » (41,6%) ; pour les lymphomes dans le groupe des « 10-14 ans » (47,9%) ; pour les tumeurs du SNC dans le groupe des « 5-9 ans » (36,5%) ; pour les tumeurs du SNS dans le groupe des « 1-4 ans » (53,3%) ; pour les rétinoblastomes dans le groupe des « 1-4 ans » (75,5%) ; pour les tumeurs du rein dans le groupe des « 1-4 ans » (52,7%) ; pour les tumeurs du foie dans le groupe des « 0-4 ans » (70,7%) ; pour les tumeurs des os dans le groupe des « 10-14 ans » (71,5%) ; pour les tumeurs des tissus mous dans le groupe des « 10-14 ans » (41,1%) ; pour les tumeurs des cellules germinales, les tumeurs trophoblastiques et autres tumeurs des gonades dans le groupe des « 10-14 ans » (47,3%) ; pour les carcinomes et autres tumeurs épithéliales dans le groupe des « 10-14 ans » (75,8%) [Savva *et al.*, 2006].

5. Les tumeurs malignes et non malignes chez les filles (de la naissance à 14 ans) nées de parents irradiés ont considérablement augmenté de 1993 à 2003 [Rapport national du Belarus, 2006].

6. De 1987 à 1990 (3 ans après la catastrophe), les admissions au Centre de microchirurgie oculaire de Minsk ont doublé pour traiter le gliome rétinien (rétinoblastome) [Byrich *et al.*, 1994].

7. La morbidité par cancer du poumon chez les personnes évacuées (environ 32 000 examinées) était quatre fois plus élevée que la moyenne du pays [Marples, 1996].

8. De 1987 à 1999, environ 26 000 cas de néoplasmes malins radio-induits (dont la leucémie) ont été enregistrés dans le pays, dont le cancer de la peau – qui a représenté 18,7% des cas –, le cancer du poumon – 10,5% – et le cancer de l'estomac – 9,5% –. Environ 11 000 personnes sont mortes, 20,3% en raison d'un cancer du poumon et 18,4% d'un cancer de l'estomac [Okeanov *et al.* 1996 ; Gontcharova, 2000].

9. L'incidence du cancer du sein a indiscutablement augmenté chez les femmes de la région de Gomel au cours des années 1990-2003 dans les territoires les plus radiocontaminés par le césium-137 en comparaison des secteurs les moins touchés : pour une contamination < 185 kBq/m², $23,2 \pm 1,4$ cas de ce cancer sur 1 000 femmes ; pour une contamination de 185 à 555 kBq/m², $30,2 \pm 2,6$; pour une contamination > 555 kBq/m², 76 ± 12 (Figure 6.21).

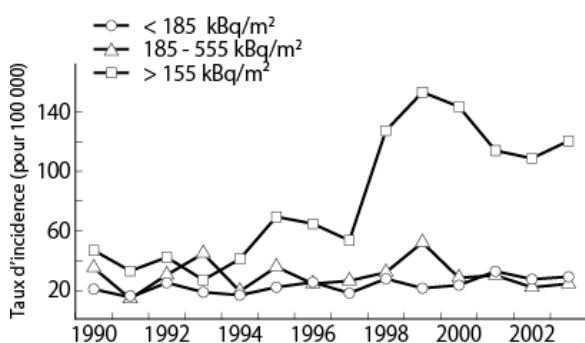


Figure 6.21. Taux de fréquence du cancer du sein (femmes, pour 100 000) dans la province de Gomel avec différents niveaux de contamination par le Cs-137 [Rapport national du Belarus, 2006]

10. L'incidence du cancer du sein a beaucoup augmenté de 1986 à 1999 pour l'en-

semble du pays (de 1 745 à 2 322 cas) [Putyrsky, 2002]. En 2002, la morbidité par cancer du sein chez les femmes de 45 à 49 ans a augmenté de 2,6 fois pour l'ensemble du pays par rapport à 1982. Dans la province la plus contaminée de Moguilev, le cancer du sein a quadruplé de 1993 à 1996 par rapport à la période de 1989 à 1992 [Putyrsky et Putyrsky, 2006].

11. Dans la province fortement contaminée de Gomel, il y a eu une augmentation marquée du nombre de cas de cancers de l'intestin, du côlon, du sein, de la vessie, du rein et du poumon et les occurrences étaient corrélées avec le niveau de contamination de Tchernobyl [Okeanov *et al.*, 1996 ; Okeanov et Yakymovich, 1999].

12. Chez les femmes habitant des territoires à densité de contamination par le césium-137 supérieure à 555 kBq/m² au cours des années 1990-2003, le niveau de morbidité lié au cancer du sein a, statistiquement, nettement dépassé l'indice analogue du groupe témoin et celui relevé dans des territoires à densité de contamination de 37 à 185 kBq/m² et 185 à 555 kBq/m². Le pic d'incidence du cancer du sein chez les femmes des territoires à densité de contamination de 37 à 185 et supérieure à 555 kBq/m² a été atteint 15 ans plus tôt que dans le groupe témoin [Sosnovskaya *et al.*, 2006].

13. D'après des données statistiques et pathomorphologiques, le cancer des poumons chez les liquidateurs venus des régions de Brest, Minsk et Moguilev est apparu plus tôt chez ceux qui avaient subi une irradiation alors qu'ils étaient âgés de 40 à 45 ans. En outre, plus la tumeur est apparue tard après l'irradiation, plus elle a progressé rapidement pour conduire à une issue fatale [Semenenko et Goloubev, 2007a].

14. D'après les données du Registre d'État des personnes soumises aux effets des rayonnements par suite de la catastrophe de la centrale nucléaire de Tchernobyl et du Registre des cancers du Belarus, chez les liquidateurs mâles de la région de Moguilev, 72,6% des malades sont décédés moins d'un an après l'établissement du diagnostic et 16,7% au bout d'un an ; 4% étaient encore vivants cinq ans après [Semenenko et Goloubev, 2007].

15. De 1993 à 2003, les tumeurs malignes intestinales primaires ont fortement augmenté chez les femmes évacuées [Rapport national du Belarus, 2006].

16. De 1993 à 2003, la morbidité générale par cancer a fortement augmenté chez les

hommes et les femmes dans les territoires fortement contaminés, avec un taux annuel d'augmentation plus élevé pour les femmes (18%) que pour les hommes (4,4%) [Rapport national du Belarus, 2006].

17. La nature de la morbidité par cancer a changé de façon marquée après la catastrophe : la proportion de tumeurs de l'estomac a diminué, alors que les cancers de la thyroïde, du poumon, du sein, du système urogénital, du côlon et du rectum ont progressé [Malko, 2002].

18. De 1993 à 2003, il y a eu une importante augmentation de la morbidité par tumeurs malignes des intestins, des organes respiratoires et de l'appareil urinaire chez les liquidateurs hommes et femmes [Rapport national du Belarus, 2006].

6.4.2. Ukraine

1. Le nombre de néoplasmes du système nerveux central des enfants (dont les formes malignes) a augmenté de 1987 à 1994. Le nombre d'enfants admis à l'Institut ukrainien de neurochirurgie de Kiev avec des tumeurs cérébrales de 1987 à 1991 a augmenté de 63,7% par rapport à la période de 1981 à 1985 (données sur 1 699 enfants âgés de 0 à 6 ans) [Orlov, 1993, 1995 ; Orlov et Sharevsky, 2003] (Figure 6.22).

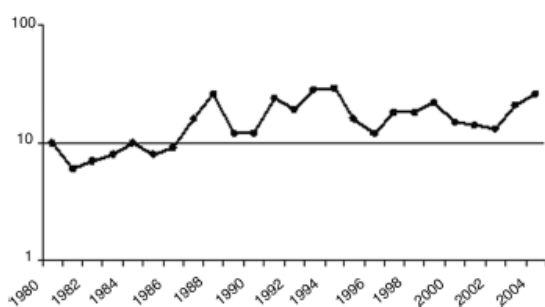


Figure 6.22. Cas de tumeur du système nerveux central (pour 10 000) chez les enfants de moins de 3 ans. Données de l'Institut ukrainien de neurochirurgie pour la période de 1980 à 2005 [Orlov et al., 2006]

2. La structure de la mortalité néonatale due aux néoplasies malignes chez les garçons révèle, au premier rang, les leucémies suivies des tumeurs du cerveau, cet ordre s'inversant chez les filles [Fedorenko et al., 2006].

3. Après la catastrophe, il y a eu une forte augmentation des cancers de la vessie chez les

hommes dans les territoires contaminés [Romanenko et al., 1999].

4. L'incidence du cancer du sein dans les territoires les plus contaminés par la radioactivité a été pratiquement stable de 1980 à 1992 et plus basse, comparée à des zones de grande taille (l'ensemble de l'Ukraine, la région de Kiev et la province de Jitomir). Puis, de 1992 à 2004, le taux a augmenté dans les territoires contaminés [Prysyazhnyuk et al., 2007]. La morbidité par cancer du sein chez les femmes vivant dans les zones contaminées et chez les personnes évacuées a augmenté de 1,5 fois de 1993 à 1997 [Moskalenko 2003 ; Prysyazhnyuk et al., 2002].

5. Il y a eu une augmentation du cancer du sein chez les femmes pré-ménopausées des zones contaminées de l'Ukraine proches de Tchernobyl par rapport à l'ensemble de la population féminine ukrainienne (ratio d'incidence standardisé : 1,50, IC à 95% : 1,27 à 1,73) [Prysyazhnyuk et al., 2002b, cité par Hatch et al., 2005].

6. La morbidité par cancer du sein chez les femmes dans les territoires contaminés et chez les liquidateurs et les personnes évacuées a considérablement augmenté de 1990 à 2004 [Moskalenko, 2003 ; Rapport national d'Ukraine, 2006 ; Prysyazhnyuk et al., 2007].

7. La mortalité par cancer de la prostate a augmenté dans les territoires contaminés jusqu'à 2,2 fois et 1,3 fois dans toute l'Ukraine [Omelyanets et al., 2001].

8. La Commission d'experts interministérielle de Kiev a révélé que, chez les liquidateurs, les tumeurs du système digestif ont été le type de cancer le plus courant (33,7%), suivies par les tumeurs du système respiratoire (25,3%) et les tumeurs des voies urogénitales (13,1%). L'augmentation la plus rapide dans la pathologie cancéreuse a été celle de l'appareil urogénital, qui a presque triplé (de 11,2 à 39,5%) de 1993 à 1996 [Barylyak et Diomyna, 2003].

9. Le taux de mortalité des maladies oncologiques chez les liquidateurs est passé de 9,6 à 25,2% durant la période allant de 1987 à 2004. Pour les adultes ukrainiens, le taux était de 9,9% en 2004 [Horishna, 2005].

10. Une forte hausse des cancers des voies urinaires et de la vessie a été constatée dans les territoires contaminés de l'Ukraine [Romanenko et al., 1999]. Durant la période allant de 1987 à 1994, on a observé une augmentation

du nombre d'enfants souffrant de tumeurs du système nerveux [Orlov, 1995].

11. Le suivi, durant les années 1992-2002, de 7 488 liquidateurs ($45,0 \pm 1,3$ ans) et de 1 728 liquidatrices ($41,5 \pm 1,1$ ans), a révélé que les néoplasies bénignes les plus fréquentes étaient les fibromes (71%), les kératopapillomes, les nævus acanthotiques et les papillomes cornés. L'incidence des tumeurs des tissus adipeux sous-cutanés (lipomes) a été de 17,3% (4,3% dans la population témoin). Chez les liquidateurs, la lipomatose a commencé à se développer six mois après la catastrophe. Sur 911 personnes atteintes de lipomatose, 87% étaient des liquidateurs des années 1986-1987 [Shanoyan *et al.*, 2007].

12. De 1999 à 2004, la mortalité par cancer chez les liquidateurs dépassait les paramètres similaires dans le reste de la population [Législation ukrainienne, 2006].

6.4.3. Russie

1. Il y a eu une augmentation notable des tumeurs des voies respiratoires des femmes dans les zones les plus contaminées de la province de Kalouga [Ivanov *et al.*, 1997].

2. Depuis 1995, dans les districts sud-ouest de la province de Briansk contaminés à des niveaux supérieurs à 5 Ci/km², il y a eu une incidence nettement accrue de certains cancers

de l'estomac, du poumon, du sein, du rectum et du côlon par rapport à la moyenne de la province [Kukyshev *et al.*, 2001].

3. L'incidence des cancers de la cavité buccale, du pharynx et des glandes surrénales chez les enfants de la province de Toula a plus que doublé de 1986 à 1997 comparativement à la période de 1979 à 1985 (Tableau 6.17).

4. Depuis 1990-1994, l'incidence des cancers des tissus mous, des os et du système nerveux central chez les enfants de la province de Toula a été considérablement plus élevée [Ouchakova *et al.*, 2001].

5. Le mélanome de la peau a quintuplé et l'incidence du cancer du cerveau a triplé dans les 10 à 15 premières années après la catastrophe [Parshkov *et al.*, 2006].

6. La mortalité des nourrissons dans les provinces contaminées diffère de celle de l'ensemble du pays par une augmentation de la leucémie et des tumeurs cérébrales chez les garçons et les filles [Fedorenko *et al.*, 2006].

7. Et en 2004, les cancers des reins et de la vessie étaient les tumeurs malignes les plus fréquentes chez les liquidateurs, soit 17,6% de tous les néoplasmes malins, le double de la moyenne de 7,5% du pays. Les tumeurs cérébrales et du larynx étaient également fréquentes [Khrysanfov et Meskikh, 2001 ; Zubovsky et Tararukhyna, 2007].

Tableau 6.17. Augmentation de la morbidité due à divers cancers chez les enfants de la province de Toula, après la catastrophe [Ouchakova *et al.*, 2001]

Localisation des cancers	Cavité buccale et pharynx	Surrénales	Peau	Reins	Organes génitaux (hommes)	Os et tissus mous	Vessie	Tous les cancers
1986-1997 comparé à 1979-1985, %	225%	225%	188%	164%	163%	154%	150%	113%

6.5. Conclusions

L'UNSCEAR, tout comme d'autres organismes internationaux fidèles à l'industrie nucléaire, a estimé que le nombre futur de cancers mortels liés à l'irradiation par Tchernobyl se situerait entre 22 000 et 28 000, voire ne dépasserait pas 9 000 [Forum de Tchernobyl, 2006]. Au moment où le rapport a été émis, le

nombre de décès avait déjà augmenté, mais l'UNSCEAR a sans équivoque sous-estimé le nombre de décès en faisant reposer ses chiffres sur des facteurs de risque erronés et des doses collectives sous-estimées [pour les détails voir Busby *et al.*, 2003 ; Fairlie et Sumner, 2006]. Les tableaux 6.18 et 6.19 présentent des résultats de calculs de mortalité et de morbidité plus réalistes pour l'Europe et le monde.

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

Tableau 6.18. Morbidité par cancer et mortalité prévisible (hors leucémie**) causées par le Cs-137 de Tchernobyl pour les générations futures* [Gofman, 1994b : Volume 2, chapitre 24, page 5]

Région	Nombre de cas	
	Létal	Non létal
Belarus, Ukraine, Moldavie	212 200	212 200
Europe (hors CEI)	244 800	244 800
Autres pays	18 500	18 500
Total	475 500	475 500

* Sur la base d'une dose collective attendue « indéfiniment » pour 127,4 millions de personnes × rad.

** Taux global de décès par leucémie de Tchernobyl selon les calculs de J. Gofman, tels ceux de 1994 : 19 500 personnes.

Tableau 6.19. Morbidité et mortalité supplémentaires par cancer prévues au Belarus, en Ukraine et en Russie européenne* [Malko, 1998]

Cancer	Belarus	Russie	Ukraine
Thyroïde - morbidité	20 300	8 000	24 000
Thyroïde - mortalité	2 030	800	2 400
Leucémie - mortalité	1 300	760	1 550
Tumeurs cancéreuses autres que celles de la thyroïde - mortalité	12 700	7 400	15 100
Mortalité totale	16 030	8 960	19 050
		44 040	

* Monde entier : 90 000 cancers mortels.

En utilisant la méthodologie décrite ci-dessus pour analyser les cancers de la thyroïde (voir [Section 6.2](#)), Malko a fait le pronostic le plus détaillé des cancers liés à Tchernobyl en Europe et de la mortalité consécutive pour la durée de vie de la « génération Tchernobyl » (1986-2056). Les pronostics pour les cancers solides sont donnés sur le tableau 6.20 et ceux pour la leucémie ont déjà été présentés sur le tableau 6.16.

Le tableau 6.20 fournit les données moyennes. Les intervalles de confiance pour l'incidence du cancer se situent entre 62 206 et 196 611 et le nombre de morts se situe entre 40 427 et 121 277 [Malko, 2007]. Ces chiffres pourraient augmenter pour de nombreuses générations à venir, en raison de la poursuite de la libération du rayonnement du Cs-137, du Sr-90, du Pu-241, de l'Am-241, du Cl-36 et du Tc-99.

Tableau 6.20. Incidence prévisible des cancers (cancers solides autres que les cancers de la thyroïde et de la peau non mélanomes) dus à Tchernobyl et nombre des victimes en Europe de 1986 à 2056 [Malko, 2007]

Pays	Nombre de cas, <i>n</i>	
	Tous	Décès
Belarus	28 300	17 546
Ukraine	28 300	17 546
Russie	25 400	15 748
Allemagne	9 280	5 754
Roumanie	5 220	3 236
Autriche	5 050	3 131
Grande-Bretagne	4 280	2 654
Italie	3 770	2 337
Bulgarie	2 920	1 810
Suède	1 980	1 228
Grèce	1 880	1 166
Pologne	1 755	1 088
Finlande	1 600	992
Suisse	1 530	949
République Tchèque	1 410	874
Moldavie	1 320	818
France	1 220	756
Slovénie	960	595
Norvège	920	570
Slovaquie	715	443
Croatie	630	391
Hongrie	625	388
Lituanie	420	260
Irlande	375	233
Pays-Bas	135	84
Belgique	110	68
Espagne	80	50
Lettonie	75	47
Danemark	70	43
Estonie	60	37
Luxembourg	15	9
Total pour l'Europe	130 405	80 851
Y compris chiffres du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie	82 000	50 840

Sans doute les prévisions ci-dessus sont-elles incomplètes. Le fait est que pendant quelques années après la catastrophe, il y a eu une augmentation marquée, et avérée, de l'incidence de diverses tumeurs malignes

dans l'ensemble des territoires soumis aux re-tombées de Tchernobyl, c'est à dire là où des études adéquates ont été effectuées.

Même les données incomplètes maintenant disponibles indiquent le caractère spécifique des cancers dus à Tchernobyl. L'apparition de nombreux cancers a commencé non pas 20 ans après, comme à Hiroshima et Nagasaki, mais quelques années seulement après l'explosion. L'hypothèse [par exemple, Pryasyaznjuk *et al.*, 2007] selon laquelle l'influence de la radioactivité de Tchernobyl sur l'incidence des tumeurs malignes sera beaucoup plus faible que celle du rayonnement de Hiroshima et de Nagasaki est très douteuse. Dans les territoires contaminés par Tchernobyl l'impact radioactif peut être encore plus grand en raison de sa durée et de son caractère, surtout en raison de l'irradiation liée à l'absorption interne de radio-isotopes.

Le nombre de maladies et de décès établi par les calculs de Malko (2007) ne peut pas être rejeté comme grossièrement surestimé : 10 000 à 40 000 décès supplémentaires par cancer de la thyroïde, 40 000 à 120 000 décès par d'autres tumeurs malignes et 5 000 à 14 000 décès par leucémie, soit un total de 55 000 à 174 000 décès pour la « génération Tchernobyl » de 1986 à 2056.

Bibliographie

- Abdelrahman, R. (2007). Swedes still dying from Chernobyl radiation. The Local-Sweden's News in English (<http://www.thelocal.se/7200/20070504/>).
- Annual Report (2006). Industrial Catastrophes and Long-Term Surveillance. Surveillance of Thyroid Cancer: Twenty Years after Chernobyl. French Institute for Public Health Surveillance. (http://www.invs.sante.fr/presentations/edito_en_htm).
- Anonymous (2005). Even nowadays they are doing their best to cover the truth of Chernobyl. November 26 (www.chernobyl-portal.org.ua) (en russe).
- Anonymous (<http://www.progettohumus.it/NonDimentica/Liquidatori/Pdf/Milyutin1.pdf>) (en russe)
- Associated Press (2000). Study cites Chernobyl health effects in Poland. April 26, Warsaw, Poland 12:39:09.
- Barylyak, I. R. & Diomyna, E. A. (2003). Morbidity analysis among the participants of Chernobyl NPP accident liquidation. *Bull. Ukr. Soc. Genet. Breeders* **1**: 107–120 (en ukrainien).
- Belookaya, T. V., Koryt'ko, S. S. & Mel'nov, S. B. (2002). Medical effects of low doses of ionizing radiation. In: *Fourth International Congress on Integrated Anthropology* (Materials, St. Petersburg): pp. 24–25 (en russe).
- Borysevich, N. Y. & Poplyko, I. Y. (2002). Scientific solution of Chernobyl problems. Year 2001 results (Radiology Institute, Minsk): 44 pp. (en russe).
- Brown, P. (2000). 50,000 extra Chernobyl cancers predicted. *The Guardian*, April 26.
- Busby, C. (1995). *The Wings of Death: Nuclear Pollution and Human Health* (Green Audit Books, Aberystwyth): IX + 340 pp.
- Busby, C. (2006). Infant leukemia in Europe after Chernobyl and its significance for radioprotection: A meta-analysis of three countries including new data from the UK. In: Busby, C. C. & Yablokov, A. V. (Eds.), *ECRR Chernobyl 20 Years On: Health Effects of the Chernobyl Accident*. ECRR Doc. 1 (Green Audit Books, Aberystwyth): pp. 135–143.
- Busby, C. & Scot Cato, M. (2000). Increases in leukemia in infants in Wales and Scotland following Chernobyl. *Energ. Environ.* **11**(2): 127–137.
- Busby, C., Bertell, R., Schmitze-Fuerhake, I., Scott Cato, M. & Yablokov, A. (2003). *Recommendations of ECRR. The Health Effect of Ionising Radiation Exposures at Low Doses for Radiation Protection Purposes*. Regulator's Edition (Green Audit Press, Aberystwyth): 186 pp. (www.euradcom.org 2003).
- Byrich, T. V., Byrich, T. A. & Pesaerenko, D. K. (1994) Diagnostics, clinical characters and prophylaxis of cancer setbacks in adults and children. In: *Chernobyl Catastrophe: Prognosis, Prophylaxis, Treatment and Medical-Psychological Rehabilitation of the Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 32–34 (en russe).
- Cardis, E., Krewski, D., Boniol, M., Drozdovitch, V., Darby, S. & Gilbert, E. (2006). Estimates of the cancer burden in Europe from radioactive fallout from the Chernobyl accident. *Int. J. Cancer* **119**: 1224–1235.
- Cherie-Challine, L., Boussac-Zarebska, M., Schvartz, C. & Caserio-Schwenmann, C. (2006). Analyse descriptive de l'incidence des cancers de la thyroïde dans les départements de la Marne et des Ardennes à partir des données du registre 1975-2004. In: Cherie-Challine, L. (Ed.), *Surveillance sanitaire en France en lien avec l'accident de Tchernobyl. Bilan actualisé sur les cancers thyroïdiens et études épidémiologiques en cours en 2006*. Part 4.3 (Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice) : pp. 25–29 (<http://www.invs.sante.fr>) (en français).
- Chernobyl Forum (2006). Health Effect of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Health." Bennett, B., Repacholi, M. & Carr, Zh. (Eds.) (WHO, Geneva): 167 pp. (http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/WHO%20Report%20on%20Chernobyl%20Health%20Effects%20July%202006.pdf)
- Cotterill, S. J., Pearce, M. S. & Parker, L. (2001). Thyroid cancer in children and young adults in the North of England: Is increasing incidence related to the Chernobyl accident? *Eur. J. Cancer* **37**(8): 1020–1026.
- Davydescu, D. & Jakob, O. (2004). Thyroid cancer incidence after the Chernobyl accident in Eastern Romania. *Int. J. Rad. Med.* **6**(1–4): 31–37 (en russe).
- Davydescu, D., Iacob, O., Miron, I. & Georgescu, B. (2004). Infant leukemia in eastern Romania in relation to exposure *in utero* due to the Chernobyl accident. *Int. J. Rad. Med.* **6**(1–4): 38–43 (en russe).
- Demidchik, E. P. (2006). International Conference. *Chernobyl 20 Years After*. April 19–21, 2006, Minsk (Abstracts, Minsk): pp. 193–194 (en russe).

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

- Demidchik, E. P. & Demidchik, Yu. E. (1999). Results of thyroid cancer surgery in children. *Int. J. Rad. Med.* **3/4**:44–47 (en russe).
- Demidchik, E. P., Demidchik, Yu. E. & Gedrevich, Z. E. (2002). Thyroid cancer in Belarus. *Int. Congr. Ser.* **1234**: 69–75.
- Demidchik, E. P., Drobyshevskaya, I. M. & Cherstvoy, E. D. (1996). Thyroid cancer in children in Belarus. First International Conference. *Radiobiological Consequences of the Chernobyl Catastrophe*. March, 1996, Minsk, Belarus (Collected Papers, Minsk): pp. 677–682 (en russe).
- Demidchik, E. P., Kenigsberg, Ya. A., Buglova, E. E. & Golovneva A.L. (1999). Thyroid cancer in Belarusian children and adolescents irradiated after the Chernobyl accident: State and prognosis. *Med. Radiol. Rad. Safety* **2**: 26–35 (en russe).
- Dobrynina, S. (1998). “Chernobyl children” were also born in the Ural area. Consequences of radioactive snowfall on May 1, 1986, are still with us. *Nezavisimaya Gazeta* (Moscow), May 19, p. 15 (en russe).
- Dobyshevskaya, I.M., Krysenko, N. A., Okeanov, A. E. & Stezhko, V. (1996). Public health in Belarus after the Chernobyl catastrophe. *Belarus Publ. Health* **5**: 3–7 (cited by Bandazhevsky, 1999) (en russe).
- Droz, V. M. (2001). Thyroid system in children irradiated in utero. *Inform. Bull.* **3**: *Biological Effects of Low-Dose Ionizing Radiation* (Belarusian Committee on Chernobyl Children, Minsk) (<http://www.library.by/shpargalka/belarus/ecology/001/ec1-005.htm>) (en russe).
- Dymitrova, M. (2007). Chernobyl 21 years later. Bulgaria National Radio, April 26, 2007, 10 05 BG (http://www.bnr.bg/radiobulgaria/emission_english/theme_science_and_nature/material/chernobyl.htm).
- Economist* (1996). Chernobyl, cancer and creeping paranoia. *Economist*, March 9, pp. 91–92.
- Emmanuel P., Prokopakis, E. M., Lachanas, V. A., Velegrakis, G. A., Tsiftsis, D. D., et al. (2007). Increased incidence of papillary thyroid cancer among total thyroidectomies in Crete. *Otolaryng. Head Neck Surgery* **136**(4): 560–562.
- Fairlie, I. & Sumner, D. (2006). *The Other Report on Chernobyl (TORCH)* (Altner Combecher Foundation, Berlin): 91 pp. <http://www.chernobylreport.org/torch.pdf>
- Fedorenko, Z. P., Gulavk, L. O., Gorokh, E. L., Ryzhov, A. Yu., Sumkyna, O. B. & Pushkar, L. O. (2006). Cancer morbidity, occurrence and mortality in Ukrainian children 0–14 years. International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 184–185 (en ukrainien).
- Fedorov, L. A. (2002). Day to Remember All Victims of Radioactive Catastrophe, Problem of Chemical Safety: Chemistry and Life. UCS-INFO 864, April 25 (<http://www.seu.ru/members/ucs/ucsinfo/864.htm>) (en russe).
- Frentzel-Beyme, R. & Scherb, P. (2007). Epidemiology of birth defects, perinatal mortality and thyroid cancer before and after the Chernobyl catastrophe. In: Seventh International Scientific Conference, Sakharov Readings 2007 on Environmental Problems of the XXI Century, May 17–18, 2007 (Sakharov Environmental University, Minsk) (<http://www.ibb.helmholtzmuench.de/homepage/hagen.scherb/Abstract%20Minsk%20Frentzel>) (en russe).
- Gapanovich, V. M., Shuvaeva, L. P., Vinokurova, G. G., Shapovalyuk, N. K., Yaroshevich, R. F. & Melchakova, N. M. (2001). Impact of the Chernobyl catastrophe on blood diseases in Belarussian children. Third International Conference. *Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Results of 15-Year Investigations*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 175–176 (en russe).
- Gibson, B. E., Eden, O. B. & Barrat, A. (1988). Leukemia in young children in Scotland. *Lancet* **630** (cited by Busby, 2006).
- Gluzman, D. F., Abramenko, I. V., Sklyarenko, L. M., Nagornaya, V. A., Belous, N. I., et al. (1998). Acute leucosis (leukemia) morbidity in children and adults in Kiev and Kiev province in post-Chernobyl period 1993–1997. *Hematol. Transfusiol.* **43**(4): 34–39 (en russe).
- Gluzman, D. F., Imamura, N., Nadgornaya, V. A., Sklyarenko, L. M., Zavelevich, M. P., et al. (2006). Patterns of leukemias and lymphomas in clean-up workers and children in post-Chernobyl period. International Conference “Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery” (Abstracts, Kiev), pp. 6–7 (http://www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDF/Ssi8_2006/Tez_engl.pdf).
- Gofman, J. (1994a). *Chernobyl Accident: Radioactive Consequences for Existing and Future Generations* (“Vyshehsaya Shkola,” Minsk): 576 pp. (en russe).
- Gofman, J. (1994b). *Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: An Independent Analysis*, 1, 2. Transl. From English (Socio-Ecological Union, Moscow): 469 pp. (en russe).
- Golubchikov, M.V., Mikhnenko, Yu. A. & Babinets, A. T. (2002). Alterations in the health of the population of the Ukraine in the post-Chernobyl period. *Sci. Techn. Aspects Chern.* **4**: 579–581 (en russe).
- Golyvets, T. P. (2002). Thyroid cancer in children and adults in Belgorod province in post-Chernobyl period. *Modern Oncolog.* **4**(4) (http://www.consiliummedicum.com/media/onkology/02_04/194.shtml) (en russe).
- Goncharova, R. I. (2000). Remote consequences of the Chernobyl disaster: assessment after 13 years. In: Burlakova, E. B. (Ed.), *Low Doses of Radiation: Are They Dangerous?* (Nova, New York): pp. 289–314.
- Green Brigade (1994). We have contaminated almost everything (...) Green Brigade Ecological Paper 12 (<http://www.zb.eco.pl/gb/12/contamin.htm>).
- Hatch, M., Ron, E., Bouville, A., Zablotska, L. & Howe, G. (2005). The Chernobyl disaster: Cancer following the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant. *Epidem. Rev.* **27**(1): 56–66.
- Horishna, O. V. (2005). *Chernobyl Catastrophe and Public Health: Results of Scientific Investigations* (Chernobyl Children’s Foundation, Kiev): 59 pp. (en ukrainien).
- Ilias, I., Alevizaki, M., Lakka-Papadodima, E. & Koutras, D. A. (2002). Differentiated thyroid cancer in Greece 1963–2000: Relation to demographic and environmental factors. *Hormon.* **1**(3): 174–178.
- Ilyin, L. A., Balonov, M. I. & Buldakov, L. A. (1990). Radiocontamination patterns and possible health consequences of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Station. *J. Rad. Protect.* **10**(1): 3–29 (en russe).

- Imanaka, T. (1999). Collection of interesting data published in various documents. In: Imanaka, T. (Ed.), *Research Activities on the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Sufferers from the Accident* (Kyoto University, Kyoto): pp.271–276.
- Interfax (1998). Ukrainian Ministry of Emergency estimated Chernobyl catastrophe damage at \$120–\$130 billion. Economic news from April 22, Kiev.
- Ivanov, E. P., Ivanov, V. E., Shuvaeva, U., Tolocko, G., Becker, S., Kellerer, A. M. & Nekolla, E. (1997). Blood disorders in children and adults in Belarus after Chernobyl NPP accident. International Conference. *One Decade after Chernobyl: Summing Up the Consequences of the Accident* (Presentations, Vienna) 1: pp.111–125.
- Ivanov, E. P., Tolochko, G. V., Shuvaeva, L. P., Jaroshevich, R. F., Ivanov, V. E. & Lazarev, V. S. (1996). Belarussian children's hemoblastoses after the Chernobyl accident. In: *Condition of Belarussian Children's Hemimmune System after Chernobyl Disaster*. Scientific and Practical Materials of 1986–1996 (Institute of Radiation Medicine and Endoecological Center, Minsk): pp. 46–54 (en russe).
- Ivanov, V. K. & Tsyb, A. F. (2002). *Medical Radiological Aftermath of the Chernobyl Accident for the Population of Russia: Assessment of Radiation-Related Risks* ("Meditsina", Moscow): 389 pp.
- Ivanov, V. K., Gorski, A. I., Tsyb, A. F., Ivanov, S. I., Naumenko, K. T. & Ivanova, L. V. (2004). Solid cancer incidence among the Chernobyl emergency workers residing in Russia: Estimation of radiation risks. *Radiat. Env. Biophys.* **43**: 35–42 (en russe).
- Khrysanfov, S. A. & Meskikh, N. E. (2001). Analysis of morbidity and mortality rates of liquidators, according to the findings of the Russian Interdepartmental Expert Panel. Second Scientific Regional Conference. *Deferred Medical Effects of the Chernobyl Accident* (Collected Papers, Moscow): pp. 85–92 (en russe).
- Komissarenko, I. V., Rybakov, S. I., Kovalenko, A. E., Lysenko, A. G., Demchikh, N. P. & Kvachenyuk, A. N. (1995). Modern approaches and prospects of treatment of thyroid gland cancer. *Med. Affair* **9–12**: 23–26 (en russe).
- Komissarenko, I. V., Rybakov, S. I., Kovalenko, A. E. & Omelchuk, A.V. (2002). Results of surgical treatment of radiation-induced thyroid cancer during the period after Chernobyl accident. *Ukr. Surger.* **2**: 62–64 (en ukrainien).
- Konoplya, E. F. & Rolevich, I. V. (Eds.) (1996) *Ecological, Biological, Medical, Sociological, and Economic Consequences of Chernobyl NPP Catastrophe in Belarus* (Ministry of Emergency and Chernobyl Problems, Minsk): 281 pp. (en russe).
- Kovalenko, B. S. (2004). Complex analysis of malignant neoplasm morbidity in Belgorod province: Twenty-year observation data, 1981 to 2000. Scientific and Practical Conference. *Actual Problems of Radiation Hygiene*. June 21–25, 2004, St. Petersburg (Abstracts, St. Petersburg): pp. 176–177 (en russe).
- Krapyyin, N. N. (1997). *Chernobyl in Lipetsk: Yesterday, Today, Tomorrow* . . . (Lipetsk): 36 pp. (en russe).
- Krysenko, N. (2002). Problems of Chemical Safety: Chemistry and Life. UCS-INFO, 864, April 25 ([//www.seu.ru/members/ucs/ucs-info/864.htm](http://www.seu.ru/members/ucs/ucs-info/864.htm)) (en russe).
- Kukyshev, V. P., Proshin, A. D. & Doroshenko, V. N. (2001). Getting medical care to the Bryansk Region population exposed to radiation following the Chernobyl accident. In: *Proceedings of Second Science and Practical Conference on Long-Term Medical Aftermaths of the Chernobyl Accident* (Proceedings, Moscow): pp. 46–49 (en russe).
- Law of Ukraine (2006). A State program to deal with the consequences of the Chernobyl catastrophe for the period from 2006 to 2010. *Bull. Ukr. Parliament (VVP)* **34**: Art. 290.
- Lomat', L. N., Antypova, S. I. & Metel'skaya, M. A. (1996). Illnesses in children suffering from the Chernobyl catastrophe, 1994. *Med. Biol. Conseq. Chernobyl Accident* **1**: 38–47 (en russe).
- Lubyna, A., Cohen, O., Barchana, M., Liphshiz, I., Vered, I., Sadetzki, S. & Karasik, A. (2006). Time trends of incidence rates of thyroid cancer in Israel: What might explain the sharp increase. *Thyroid* **16**(10): 1033–1040.
- Lypic, V. (2004). Planet and radiation: Reality more terrible than statistics ... Pravda-ru, March 12 ([//www.pravda.ru](http://www.pravda.ru)).
- Malashenko, V. A. (2005). Medical and social problems in the territories affected by the Chernobyl NPP accident. International Science and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years Later: Social and Economic Problems and Prospects of Development of the Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 142–144 (en russe).
- Malko, M. V. (1998). Assessment of the Chernobyl radiological consequences. In: Imanaka, T. (Ed.), *Research Activities on the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Sufferers from the Accident*, KURRI-KR-21 (Kyoto University, Kyoto): pp. 65–85.
- Malko, M. V. (2002). Chernobyl radiation-induced thyroid cancers in Belarus. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 240–256.
- Malko, M.V. (2004). Radiogenic thyroid cancer in Belarus as consequences of the Chernobyl accident. Russian Scientific Conference. *Medical Biological Problems of Radioactive Chemical Protection*. May 20–21, 2004, St. Petersburg (Materials, St. Petersburg): pp. 113–114 (en russe).
- Malko, M. V. (2007). Assessment of Chernobyl medical consequences accident. In: Blokov, I., Sadownichik, T., Labunska, I. & Volkov, I. (Eds.), *The Health Effects on the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace International, Amsterdam): pp. 194–235.
- Marples, D. R. (1996). The decade of despair. *Bull. Atom. Sci.* (May/June): 22–31.
- Medical Consequences (2003). Chernobyl NPP accident. Belarussian Comchernobyl ([//www.chernobyl.gov.by/index.php?option=com_content&task=view&id=153&Itemid=112](http://www.chernobyl.gov.by/index.php?option=com_content&task=view&id=153&Itemid=112)).
- Montanaro, F., Pury, P., Bordoni, A. & Lutz, J.-M. (2006). Unexpected additional increase in the incidence of thyroid cancer among a recent birth cohort in Switzerland. *Eur. J. Cancer Prevent.* **15**(2): 178–186.
- Moroz, G. (1998). Childhood leukaemia in Kiev city and Kiev region after Chernobyl: Seventeen-year follow up. *Brit. J. Haematol.* **102**(1): 19–20.

- Moroz, G. & Drozdova, V. (2000). Risk of acute childhood leukaemia in Ukraine after the Chernobyl reactor accident. *Hematol. J.* **1**(1): 3–4 (en russe).
- Moroz, G., Drozdova, V. & Kireyeva, S. (1999). Analysis of acute leukaemia prognostic factors in children of Kiev after Chernobyl. *Annal. Hematol.* **78** (Suppl. II): 40–41.
- Moskalenko, B. (2003). Estimation of the Chernobyl accident consequences for the Ukrainian population. *World Ecol. Bull.* **XIV**(3–4): 4–7 (en russe).
- Mürbeth, S., Rousarova, M., Scherb, H. & Lengfelder, E. (2004). Thyroid cancer has increased in the adult populations of countries moderately affected by Chernobyl fallout. *Med. Sci. Monit.* **10**(7): 300–306.
- Nagornaya, A. M. (1995). Health of the adult population in Zhytomir area, suffering from the radioactive impact of the Chernobyl accident and living in the strictly controlled radiation zone (by National Register data). Scientific and Practical Conference. *Public Health Problems and Perspectives of Zhytomir Province (Dedicated to the 100th Anniversary of O. F. Gerbachevsky' Hospital, Zhytomir)*. September 14, 1995 (Materials, Zhytomir): pp. 58–60 (en ukrainien).
- National Belarussian Report (1998). Chernobyl Catastrophe: Overcoming the Consequences (Ministry of Extraordinary Situations/National Academy of Sciences, Minsk): 101 pp. (en russe).
- National Belarussian Report (2003). *Consequences of the Chernobyl for Belarus 17 Years Later*. Borysevich, N. Ya. & Poplyko, I. Ya. (Eds.). ("Propiley," Minsk): 52 pp.
- National Belarussian Report (2006). *Twenty Years after Chernobyl Catastrophe: Consequences for Belarus Republic and Its Surrounding Area* (Belarus National Publishers, Minsk): 112 pp. (en russe).
- National Ukrainian Report (2006). Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Future Outlook (Kiev) (http://www.mns.gov.ua/news_show.php?).
- Noshchenko, A. G., Moysich, K. B., Bondar, A., Zamoshtyan, P. V., Drozdova, V. D. & Michalek, A. M. (2001). Patterns of acute leukemia occurrence among children in the Chernobyl region. *Int. J. Epidemiol.* **30**(1): 125–129.
- Noshchenko, A. G., Zamoshtyan, P. V. & Bondar, O. Y. (2002). Radiation-induced leukemia risk among those aged 0–20 at the time of the Chernobyl accident: A case-control study in the Ukraine. *Int. J. Cancer* **99**: 609–618.
- Nyagy, A. I. (2006). General state of health after Chernobyl. International Conference. *Chernobyl + 20: Remembering for the Future*. April 22–23, 2006, Kiev, Ukraine (<http://www.ch20.org/agenda.htm>) (en russe).
- Okeanov, A. E. & Yakymovich, A. V. (1999). Incidence of malignant neoplasms in population of Gomel Region following the Chernobyl accident. *Int. J. Rad. Med.* **1**(1): 49–54 (cited by R. I. Goncharova, 2000).
- Okeanov, A. E., Sosnovskaya, E. Y. & Pryatkina, O. P. (2004). A national center registry to assess trends after the Chernobyl accident. *Swiss Med. Weekly* **134**: 645–649.
- Okeanov, A. E., Yakymovich, G. V., Zolotko, N. I. & Kulinkyna, V. V. (1996). Malignant neoplasm incidence in Belarus, 1974 to 1995. *Biomed. Aspects Chernobyl NPP Accident* **1**: 4–14 (en russe).
- Omelyanets, N. I. & Klement'ev, A. A. (2001). Mortality and longevity analysis of Ukrainian population after the Chernobyl catastrophe. Third International Conference. *Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Results of 15 Years of Investigations*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 255–256 (en russe).
- Omelyanets, N. I., Kartashova, S. S., Dubovaya, N. F. & Savchenko, A. B. (2001). Cancer mortality and its impact on life expectancy in the radioactive contaminated territories of Ukraine. Third International Conference. *Medical Consequences of Chernobyl Catastrophe: Results of 15 Years of Investigations*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 254–255 (en russe).
- Orlov, Yu. A. (1993). Dynamics of congenital malformations and primitive neuroectodermal tumors. CIS Scientific Conference with International Participation. *Social, Psychological and Psycho-Neurological Consequences of the Chernobyl Catastrophe* (Materials, Kiev): pp. 259–260 (en russe).
- Orlov, Yu. A. (1995). Neurosurgical pathology in children in the post-Chernobyl period. International Scientific Conference. *Actual and Prognostic Impairment of Psychological Health after the Nuclear Catastrophe in Chernobyl*. May 24–28, 1995, Kiev, Ukraine (Chernobyl Doctors' Association, Kiev): pp. 298–299 (en russe).
- Orlov, Yu. A. & Sharevsky, A. V. (2003). Influence of ionizing radiation causing oncogenic injury to brains of children under 3 years of age. *Ukr. Neurosurg. J.* **3**(21) (<http://www.ecosvit.org/ru/influence.php>) (en ukrainien).
- Orlov, Yu. A., Shaversky, A. V. & Mykhalyuk, V. S. (2006). Dynamics of neuro-oncological morbidity in Ukrainian preteen children. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery*. May 29–June 3, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 16–17 (http://www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDF/S/si8_2006/T) (en russe).
- Ostapenko, V. (2002). In review: Problems of Chemical Safety: Chemistry and Life. UCS-INFO 864, April 25 (<http://www.seu.ru/members/ucs/ucsinfo/864.htm>) (en russe).
- Pacini, F. (2007). Cancers de la thyroïde en Italie: Données épidémiologiques. In: Colloq. sci. "Rencontres Nucl. Santé Actual," 17 – 18 Janvier 2007, Grenoble, France Presentation (<http://www.sante.ujfgrenoble.fr/SANTE/alpesmed/evenements/rms2007/pdf/pacini.pdf>) (en français).
- Parshkov, E. M., Sokolov, V. A., Proshin, A. D. & Kovalenko, B. S. (2006). Structure and dynamics of oncological morbidity in territories contaminated by radionuclides after the Chernobyl accident. International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 151–152 (en russe).
- Petridou, D., Trichopoulos, D., Dessypris, D., Flytzani, V., Haidas, S., et al. (1996). Infant leukaemia after *in utero* exposure to radiation from Chernobyl. *Nature* **382**(July 25): 352–353.
- Pflugbeil, S., Paulitz, H., Claussen, A. & Schmitz-Fuerhake, I. (2006). *Health Effects of Chernobyl: 20 Years after the Reactor Catastrophe. Meta Analysis* (German IPPNW, Berlin): 75 pp.
- Postoyalko, L. A. (2004). Medical consequences of the Chernobyl accident in Belarus: Problems and Prospects. *Med. News* **11**: 3–6 (en russe).

6. Maladies oncologiques après Tchernobyl

- Proshin, A. D., Doroshchenko, V. N., Gavrylenko, S. V. & Pochtennaya, G. T. (2005). Thyroid cancer incidence in Bryansk province after Chernobyl NPP accident. International Science and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years Later: Social and Economic Problems and Prospects of Development of the Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 186–189 (en russe).
- Prysyazhnyuk, A., Gristchenko, V., Fedorenko, Z., Gulak, L., Fuzik, M. & Slypenyuk, K. (2007). Solid cancer incidence in various groups of the population affected by the Chernobyl accident. In: Blokov, I., Sadownichik, T., Labunska, I. & Volkov, I. (Eds.), *The Health Effects on the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace International, Amsterdam): pp. 127–134.
- Prysyazhnyuk, A., Romanenko, A., Kayro, I., Shpak, V., Gristchenko, V., et al. (2005). Risk of development of thyroid cancer in adolescents and adults resident in Ukrainian territories with the highest radioiodine fallout due to the Chernobyl accident. In: *Social Risks 2* (Kiev): pp. 207–219 (en ukrainien).
- Prysyazhnyuk, A. Ye., Grishchenko, V. G., Fedorenko, Z. P., Gulak, L. O. & Fuzik, M. M. (2002). Review of epidemiological finding in study of medical consequences of the Chernobyl accident in Ukrainian population. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities on the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 188–287.
- Prysyazhnyuk, A. Ye., Gristchenko, V. & Zakordonets, V. (1995). Time trends of cancer incidence in the most contaminated regions of the Ukraine before and after the Chernobyl accident. *Rad. Env. Biophys.* **34**: 3–6 (en russe).
- Putyrsky, L. A. (2002). Role of Chernobyl accident in breast cancer morbidity in Belarus. *Inform. Bull.* **3**: *Biological Effects of Low-Dose Ionizing Radiation* (Belarussian Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 23–25 (en russe).
- Putyrsky, Yu. L. & Putyrsky, L. A. (2006). Theoretical background of Chernobyl accident's impact on breast cancer incidence. International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 160–162 (en russe).
- Pylyukova, R. I. (2004). Effectiveness of screening to disclose nodular structures among population affected by radioactivity as a result of the Chernobyl catastrophe. Science and Practical Conference. *Actual Problems of Radiation Hygiene*. June 21–25, 2004, St. Petersburg (Abstracts, St. Petersburg): pp. 187–188 (en russe).
- Reid, W. & Mangano, J. (1995). Thyroid cancer in the United States since accident at Chernobyl. *Brit. Med. J.* **311**: 511.
- Reuters (2000). Chernobyl kills and cripples 14 years after blast. April 21, Kiev.
- Romanenko, A., Lee, C. & Yamamoto, S. (1999). Urinary bladder lesions after the Chernobyl accident: Immune-histochemical assessment of proliferating cell nuclear antigen, cyclin D1 and P 21 waf1/Cip. *Japan J. Cancer Res.* **90**: 144–153.
- Romanenko, A. Ye., Prysyazhnyuk, A. Ye., Grytchenko, V. G., Kayro, I. A., Shpak, V. M., et al. (2004). *Thyroid Cancer in Adolescents and Adults in the Most Affected Territories of Ukraine after the Chernobyl Accident*. 58 pp. (<http://www.chernobyl.net>) (en russe).
- Rybakov, S. J., Komissarenko, I. V., Tronko, N. D., Kvachenyuk, A. N., Bogdanova, T. I., et al. (2000). Thyroid cancer in children of Ukraine after the Chernobyl accident. *World J. Surg.* **24**(11): 1446–1449.
- Salagean, S. S., Burkhardt, R., Mocsy, I. & Muntean, N. (1998). Epidemiological study of thyroid cancer in Cluj County after Chernobyl: Ten-year follow-up. *CEJOEM* **4**(2): 155–160.
- Shybata, Y., Masyakin, V. B., Panasyuk, G. D. & Yamashita, Sh. (2006). Chernobyl accident and thyroid diseases. International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 59–60 (en russe).
- Sinclair, W. K. (1996). The international role of RERF. *RERF Update* **8** (1): 6–8.
- Szybinski, Z., Olko, P., Przybylik-Mazurek, E. & Burzynski, M. (2001). Ionizing radiation as a risk factor for thyroid cancer in Krakow and Nowy Sacz regions. *Wiad. Lek.* **54**(1): 151–156 (cited by Pflugbeil et al., 2006) (en polonais).
- Szybinski, Z., Trofymuk, M., Buziak-Bereza, M., Golkowski, F., Przybylik-Mazurek, E., et al. (2005). Incidence of differentiated thyroid cancer in selected areas in Poland (1990–2005). *J. Endocr. Invest.* **26**(2): 63–70.
- Tondel, M. (2007). Malignancies in Sweden in 1986 after the Chernobyl accident. Linköping University M.D. Thesis, 1001, 57 pp. (http://www.diva-portal.org/diva/getDocument?urn_nbn_se_liu_diva-8886-1_fulltext.pdf).
- Tronko, M., Bogdanova, T., Thomas, G., Williams, E. D., Jacob, P., et al. (2006). Thyroid gland and radiation (20-year follow-up experience). International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 56–57.
- Tronko, N. D., Bogdanova, T. I. & Likhtarev, I. A. (2002). Summary of the 15-year observation of thyroid cancers among Ukrainian children after the Chernobyl accident. *Int. Congr. Ser.* **1234**: 77–83.
- Tsheglova, E. (2004). Liquidators and their children. “Labor” (Moscow), June 19, p. 3 (en russe).
- Tsimlyakova, L. M. & Lavrent'eva, E. B. (1996). Tenyear cohort observation result of children affected by ionizing irradiation as a result of the Chernobyl accident. *Hematol. Transfusiol.* **41**(6): 11–13 (en russe).
- Tsyb, A. F. (1996). A Chernobyl trace in Russia. “Tverskaya, 13” (Moscow) 17: p. 5 (en russe).
- UNSCEAR (2000). United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and effects of ionizing radiation. Report to GA, Annex G. *Levels of Irradiation and Consequence of Chernobyl Accident* (United Nations, New York). (www.unscear.org/docs/reports/annexj.pdf)
- Ushakov, I. B., Arlashchenko, N. I., Dolzhanov, A. J. & Popov, V. I. (1997). *Chernobyl: Radiation Psychophysiology and Ecology of the Person* (SSRI Aviation Space Medicine, Moscow): 247 pp. (en russe).
- Ushakova, T. N., Axel, E. M., Bugaeva, A. R., Maykova, S. A., Durnoe, L. A., et al. (2001). Malignant neoplasm incidence and characteristics in children of Tula province after the Chernobyl accident. In: *Chernobyl: Duty and Courage* (Collected Papers, Moscow): 1:

- pp. 26–30 ([//www.iss.niit/book-4/glav-2-26.htm](http://www.iss.niit/book-4/glav-2-26.htm)) (en russe).
- Verger, P., Catelinois, O., Tirmarche, M., Cherie- Chaline, L., Pirard, P., *et al.* (2003). Thyroid cancers in France and the Chernobyl accident: Risk assessment and recommendations for improving epidemiological knowledge. *Health Phys.* **85**(3): 323–329 ([//www.orspaca.org/4-publications/detail-1803-](http://www.orspaca.org/4-publications/detail-1803-)).
- Vtyurin, B. M., Tsyb, A. F. & Rummyantsev, P. O. (2001). Diagnosis and treatment of thyroid cancer in people living in Russian territories polluted as a result of the Chernobyl NPP accident. *Rus. Oncol. J.* **2**: 4–8 (en russe).
- Wartofsky, L. (2006). Epidemiology of thyroid cancer. In: International Congress on Thyroid Cancer Management, May 30–31, 2006, Siena, Italy.
- Weinisch, A. (2007). Radiological consequences of the Chernobyl accident in Austria. In: Blokov, I., Sadownichik, T., Labunska, I. & Volkov, I. (Eds.), *The Health Effects on the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace International, Amsterdam): pp. 143–146.
- Williams, E. D., Abrosymov, A. & Bogdanova, T. (2004). Thyroid carcinoma after Chernobyl latent period, morphology and aggressiveness. *Brit. J. Cancer* **90**: 2219–2224.
- Zborovsky, E., Grakovich, A. A. & Kozlov, I. D. (1995). Dynamics of mortality in populations of Narovlya area. International Science Conference Dedicated to the 5th Anniversary. November 9–10, 1995, Gomel Medical Institute (Materials, Gomel): pp. 14–15 (en russe).
- Zubovsky, G. A. & Smirnova, N. (2000). Chernobyl catastrophe and your health. Russian Chernobyl 4, 6, 11 ([//www.portalus.ru/modules/ecology/print.php?subaction=snowfull&id](http://www.portalus.ru/modules/ecology/print.php?subaction=snowfull&id)) (en russe).
- Zubovsky, G. A. & Tararukhyna, O. B. (2007). Morbidity among persons exposed to radiation as a result of the Chernobyl NPP accident. In: Blokov, I., Sadownichik, T., Labunska, I. & Volkov, I. (Eds.), *The Health Effects on Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace International, Amsterdam): pp. 147–151.
- Zvonova, I. A., Bratylova, A. A., Dorotshenko, V. N. & Pochtennaya, G. T. (2006). Radioactive-induced risk of thyroid cancer among Bryansk province's population after the Chernobyl accident. International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 103–104 (en russe).

Chapitre 7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

Alexey V. Yablokov

Une étude détaillée révèle que 3,8 à 4% de tous les décès survenus de 1990 à 2004 dans les territoires contaminés de l'Ukraine et de la Russie sont dus à la catastrophe de Tchernobyl. Le manque d'études prouvant l'augmentation de la mortalité dans d'autres pays touchés n'est pas une preuve de l'absence des effets des retombées radioactives. Depuis 1990, la mortalité parmi les liquidateurs a dépassé le taux de mortalité dans des groupes témoins de la population. De 112 000 à 125 000 liquidateurs sont décédés avant 2005 – soit quelque 15% des 830 000 membres des équipes de nettoyage de Tchernobyl. Les chiffres suggèrent que la catastrophe de Tchernobyl a déjà tué plusieurs centaines de milliers d'êtres humains parmi une population de plusieurs centaines de millions de personnes qui ont eu le malheur de vivre dans les territoires touchés par les retombées. Le nombre des victimes de Tchernobyl continuera encore de croître pendant plusieurs générations.

Vingt ans après la catastrophe de Tchernobyl, à part quelques études limitées concernant des groupes spécifiques dans des territoires isolés et prenant en compte essentiellement l'incidence du cancer (voir [Chapitre 6](#)), il n'existait pas de publications officielles sur la mortalité dans les zones affectées par les retombées nucléaires. Les données d'Hiroshima ont fourni des preuves certaines des effets radioactifs sur la mortalité due aux maladies, cancéreuses ou non [Preston *et al.*, 2003]. Les analyses de ce chapitre reposent sur des études de territoires comparables d'un point de vue ethnique, social et économique, mais qui se différencient par leur niveau de contamination radioactive. Depuis la chute de l'Union Soviétique, mais même depuis 1987, l'espérance de vie a nettement décru (Figure 7.1), tandis que le déclin de la mortalité des nourrissons s'est stabilisé. En 1986, la tendance à long terme d'augmentation de l'espérance de vie au Belarus, en Ukraine et en Russie a nettement changé : celle-ci a commencé à décroître nettement (Figure 7.1.). Après l'effondrement de l'Union soviétique en 1991, cette réduction peut s'expliquer sans doute par les énormes changements sociaux et économiques. Mais le changement initial dans la tendance est probablement dû à la catastrophe de Tchernobyl (aucune autre explication logique à ce jour n'a été proposée).

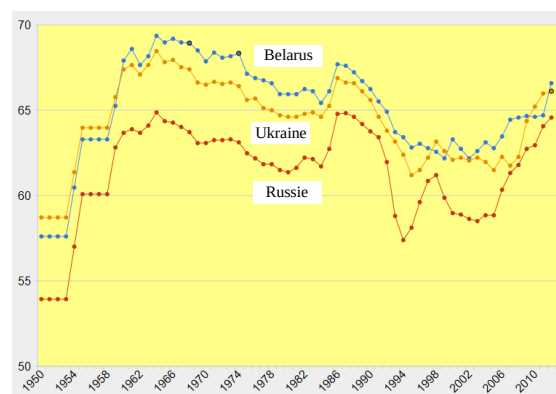


Figure 7.1. Espérance moyenne de vie pour les nouveau-nés mâles de 1950 à 2005 au Belarus, en Ukraine et en Russie

[<http://www.demoscope.ru/weekly/ssp/ge0.php?c2=1&c9=1&c13=1&sex=1&Submit2=%CF%E1%F2%F0%E8%F2%FC+%E3%F0%F4%E8%EA> - Dessiné par A.Y. avec un programme de création de graphique dynamique]

7.1. Augmentation de la mortalité prénatale

L'irradiation a un effet nocif sur l'ovule et le sperme, ainsi que sur l'embryon. Les principaux éléments visibles dans la mortalité prénatale sont les avortements spontanés ou fausses-couches (interruption spontanée de la grossesse jusqu'à la 27^{ème} semaine) et les enfants mort-nés (après 27 semaines).

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

L'augmentation du nombre de fausses-couches et d'enfants mort-nés est l'un des premiers effets de l'irradiation, dans un délai de quelques semaines seulement après l'exposition. Ces effets peuvent se produire après une exposition à de très faibles doses, c'est-à-dire à des doses corps entier ne dépassant pas 5 mSv [Loganovsky, 2005], mais on n'en comprend pas encore les raisons. En règle générale, les avortements spontanés ne sont pas enregistrés et donc une modification de ce taux ne peut être déterminée qu'indirectement par une baisse du taux de natalité. Bien avant la catastrophe de Tchernobyl, des augmentations du taux de mortalité prénatale avaient été constatées dans le sillage des retombées nucléaires des essais d'armes atomiques dans l'atmosphère [Sternglass, 1972 ; Whyte, 1992 ; Playford *et al.*, 1992 ; Tchasnikov, 1996 ; Tkatchev *et al.*, 1996 ; et bien d'autres. Pour une documentation, voir C. Busby, 1995 ; A. Yablokov, 2002 ; A. Duraković, 2003 ; A. Körblein, 2004b]

7.1.1. Belarus

1. L'incidence des fausses-couches a augmenté dans les territoires fortement contaminés [Golovko et Izhevsky, 1996] (Figure 7.2).

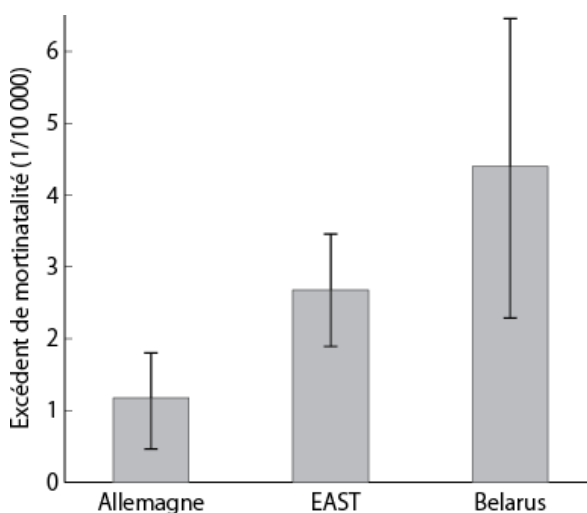


Figure 7.2. Excédent de mortalité en 2007 en Suède, Pologne, Hongrie et Grèce combinées (EAST), Allemagne et Belarus [Körblein, 2000, 2003]. Les barres montrent l'écart-type.

2. En 1987, une forte baisse du taux de naissances a été observée dans la province de Gomel, la région la plus contaminée du Belarus [Kulakov *et al.*, 1993].

3. Une analyse du nombre d'accouchements avant et après la catastrophe (années 1982 à

1985 et 1986 à 1990) a révélé une augmentation de la mortalité néonatale dans les régions de Gomel et de Moguilev, deux des secteurs les plus radiocontaminés du Belarus [Petrova *et al.*, 1997].

7.1.2. Ukraine

1. Dans les districts ukrainiens de Polésie et Tcherkessk, un accroissement significatif du taux d'enfants mort-nés était lié au niveau de contamination du sol par le Cs-137. L'étude reposait sur plus de 7 000 grossesses, 3 ans avant et 5 ans après Tchernobyl [Kulakov *et al.*, 1993].

2. Dans la province de Kiev, une nette hausse du nombre d'avortements spontanés a été constatée dans les territoires les plus contaminés. L'étude reposait sur 66 379 grossesses de 1999 à 2003 [Timtchenko *et al.*, 2006].

3. Partant d'une analyse des cas d'avortements spontanés recensés dans la région de Kiev durant les années 1999 à 2001 (439 cas dans le territoire le plus radiocontaminé et 281 cas dans le territoire le moins radiocontaminé), on suppose qu'un risque maximal d'avortement spontané est lié à une accumulation d'une dose d'irradiation totale supérieure à 5 mSv antérieure à la 13^{ème} semaine de gestation. Environ un tiers des avortements spontanés dans les territoires les plus radiocontaminés peuvent résulter d'une surirradiation due à Tchernobyl [Serdyouk *et al.*, 2004].

4. Après 1986, la prévalence de l'hypofonction ovarienne (l'une des causes majeure de l'avortement spontané) a augmenté d'un facteur de 2,9 par rapport à la période pré-Tchernobyl [Auvinen *et al.*, 2001].

5. Après Tchernobyl, le nombre d'avortements spontanés a beaucoup augmenté dans le district de Naroditchi [Buzhievskaya *et al.*, 1995].

6. Jusqu'en 2004, le nombre total de fausses-couches et d'enfants mort-nés dus à Tchernobyl était estimé à environ 50 000 en Ukraine [Lypic, 2004].

7.1.3 Russie

1. Le nombre d'avortements spontanés dans les territoires contaminés a nettement augmenté [Bulakov *et al.*, 1996].

2. Dans la province de Kalouga, le taux d'avortements spontanés a fortement augmenté

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

5 ans après Tchernobyl dans les trois districts les plus contaminés [Medvedeva *et al.*, 2001].

3. Dans les trois districts les plus contaminés de la province de Kalouga, le taux d'enfants mort-nés a beaucoup crû de 1986 à 1990 comparé à celui d'avant Tchernobyl, et il a toujours été plus élevé que dans les districts moins contaminés pendant les 15 ans de la durée de l'étude (Figure 7.3).

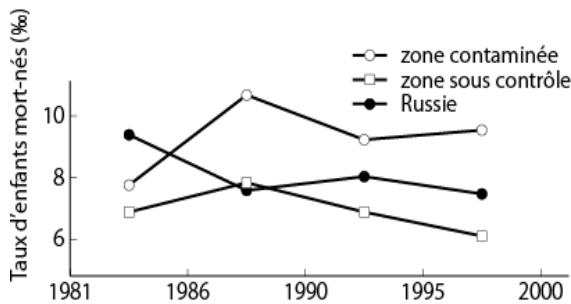


Figure 7.3. Enfants mort-nés (pour 1 000 naissances viables plus les mort-nés) avec une contamination plus forte ou plus faible dans les districts de la province de Kalouga et en Russie pendant les périodes 1981-1986, 1986-1990, 1991-1995 et 1996-2000 [Tsyb *et al.*, 2006]

7.1.4. Autres pays

1 CROATIE. De 1985 à 1990, les taux d'enfants mort-nés ont atteint des sommets en 1986, au début de 1987 et autour de septembre 1988 (Figure 7.4). Le deuxième pic en 1988 peut être lié à la consommation de viande de bœuf contaminée.

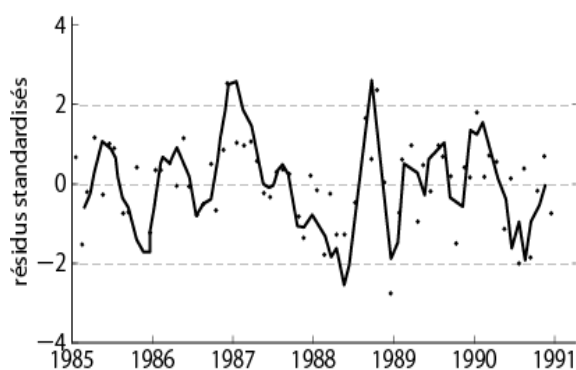


Figure 7.4. Écart des taux d'enfants mort-nés en Croatie de 1985 à 1990 par rapport à la tendance à long-terme en unités d'écart-type (Résidus standardisés) [Körblein, 2008]

2 RÉPUBLIQUE TCHÈQUE. Dans le sex-ratio des nouveau-nés, le pourcentage de garçons dépassait les 50% chaque mois de novembre entre 1950 et 1999, sauf en novembre 1986, où il a nettement diminué (Figure 7.5).

Une hypothèse serait que la catastrophe de Tchernobyl a eu un effet négatif sur les fœtus mâles pendant le troisième mois de développement prénatal [Peterka *et al.*, 2004].

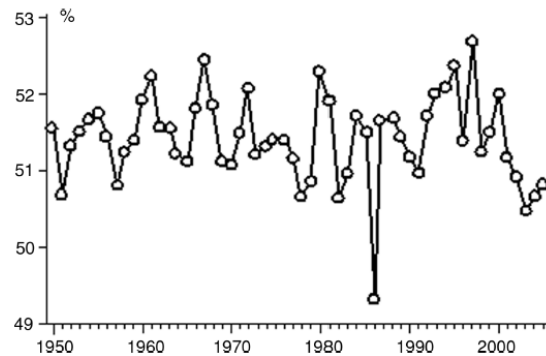


Figure 7.5. Pourcentage de garçons nés en République Tchèque chaque mois de novembre de 1950 à 2005. (Une seule fois, en novembre 1986, le chiffre est en-dessous de 50%) [Peterka *et al.*, 2007]

3. ALLEMAGNE. Dans l'ancienne République Fédérale d'Allemagne (hors Bavière et Berlin-Ouest), la zone de l'ancienne République Démocratique d'Allemagne (incluant Berlin-Ouest) et en Bavière seule, l'excédent de mortalité périnatale a été respectivement de 2,4%, 8,2% et 8,5% en 1987. En 1988 dans la République Démocratique d'Allemagne plus Berlin-Ouest, le taux de mortalité périnatale a dépassé de 7,4% les chiffres attendus (Figure 7.6), ce qui est vraisemblablement une conséquence de la consommation de conserves de viande de bœuf importées d'Union Soviétique [Scherb *et al.*, 2000].

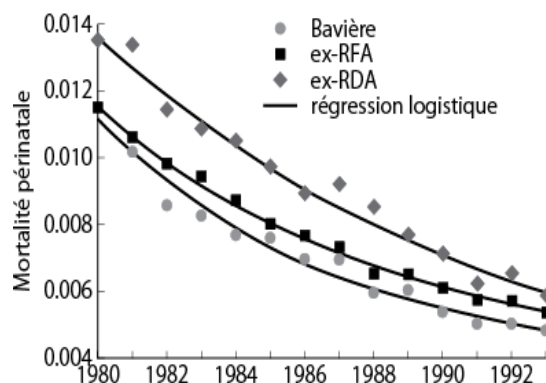


Figure 7.6. Mortalité périnatale dans l'ancienne République Fédérale d'Allemagne (hors Bavière et Berlin-Ouest), l'ancienne République Démocratique d'Allemagne (Berlin-ouest inclus) et en Bavière, de 1980 à 1993 [Scherb *et al.*, 2000 ; fig.4]

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

En 1987, dans les 10 districts les plus touchés de Bavière (une moyenne au sol de 37,2 kBq/m² de Cs-137) la proportion des enfants mort-nés a augmenté de 45% ($p = 0,016$) ; dans les trois districts bavarois les plus contaminés (la ville d'Augsbourg, Berchtesgaden et Garmisch-Partenkirchen), la proportion d'enfants mort-nés a plus que doublé cette année-là par rapport aux chiffres attendus ($p = 0,0004$) [Scherb *et al.*, 2000 ; Scherb et Weigelt, 2010].

4. GRANDE-BRETAGNE. Une hausse marquée de la mortalité périnatale est survenue en mars 1987, quelque 10 mois après la catastrophe, dans les trois comtés les plus contaminés d'Angleterre et du Pays de Galles : Cambrrie, Clwyd et Gwynedd (Figure 7.7).

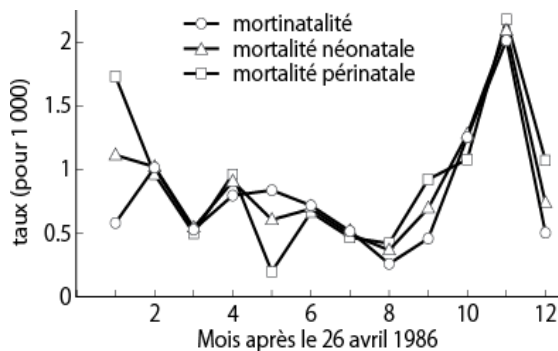


Figure 7.7. Tendances des taux de mortinatalité, de mortalité néonatale et périnatale en Angleterre et au Pays de Galles [Busby, 1995 ; d'après Bentham, 1991]

5. GRÈCE. Une baisse de 10% du taux de natalité, attribuée aux retombées de Tchernobyl, a été observée de janvier à mars 1987. En mai 1986, quelque 23% de femmes enceintes depuis peu ont subi un avortement par peur d'une malformation [Trichopoulos *et al.*, 1987].

6. FINLANDE. Il y a eu une augmentation du taux de mortinatalité de décembre 1986 à janvier 1987 qui, cependant, n'était pas significatif [Auvinen *et al.*, 2001]. Le nombre d'accouchements prématurés a nettement augmenté parmi les bébés exposés aux radiations *in utero* au cours du premier trimestre de grossesse [Harjulehto *et al.*, 1989].

7. HONGRIE. Les taux de natalité ont diminué en février et mars 1987 [Czeizel *et al.*, 1991].

8. ITALIE. En Lombardie, le nombre d'avortements spontanés pendant le premier trimestre de gestation a augmenté de 20%

parmi les fœtus conçus au cours de la période des retombées les plus intenses [Semisa, 1988].

9. NORVÈGE. Une incidence plus élevée d'avortements spontanés a été observée pour les grossesses entamées au cours des trois premiers mois après la catastrophe [Ulstein *et al.*, 1990]. L'augmentation observée pendant 36 mois après Tchernobyl est statistiquement significative, « mais une relation de cause à effet avec l'exposition aux radiations ne peut pas être prouvée ». Le nombre de grossesses a temporairement diminué durant le second semestre de 1986, une période où il y a habituellement davantage de grossesses, alors qu'il n'y a pas eu d'augmentation du nombre d'avortements provoqués [Irgens *et al.*, 1991].

10. POLOGNE. Les données mensuelles de mortalité néonatale font apparaître des pics au début et à la fin de 1987 [Körblein, 2003b ; Busby et Yablokov, 2006].

11. On peut considérer que les baisses du taux de natalité en Suède, Italie, Suisse, Grèce et Finlande au cours de la première année après Tchernobyl ne seraient pas dues aux radiations, mais plutôt à la régulation volontaire des naissances [Auvinen *et al.*, 2001].

12. Une analyse des points de changement des odds ratio (rapport de cotes) par genre, c'est-à-dire le ratio des garçons mort-nés par rapport aux filles, a révélé un changement en 1986 ou 1987 ($p = 0,01$) dans plusieurs pays européens (Figure 7.8).

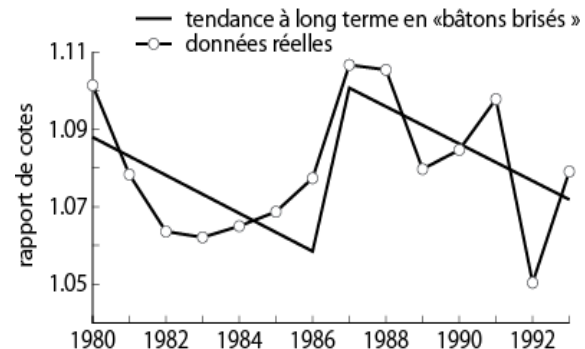


Figure 7.8. Rapport de cotes du sex-ratio et de la mortinatalité par genre dans plusieurs pays européens (garçons mort-nés/garçons viables)/(filles mort-nées/filles viables) [Scherb et Voigt., 2007]

13. Les changements des rapports de cotes du sex-ratio et de la mortinatalité par genre ont été marqués pour le Danemark, l'Allemagne, la Hongrie, la Norvège, la Pologne, la Lettonie et la Suède et visibles, mais non statistiquement significatifs, pour l'Islande (Figure 7.9).

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

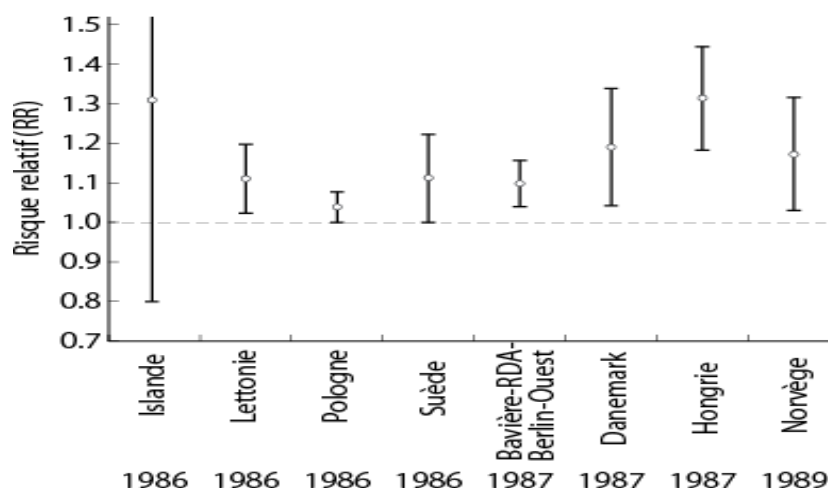


Figure 7.9. Risques relatifs (RR avec 95% d'intervalle de confiance) pour les points de changement des rapports de cotes d'enfants mort-nés en 1986 (Islande, Lettonie, Pologne et Suède), en 1987 (Allemagne, Danemark et Hongrie) et en 1989 (Norvège), déterminés avec un modèle de tendance spatio-temporelle [Scherb et Voigt, 2011]

Tableau 7.1. Augmentation du taux d'avortements spontanés après Tchernobyl [à partir d'études d'Auvinen et al., 2001 et Körblein, 2006a]

Pays	Période	Commentaires	Auteur
Finlande	Juillet à décembre 1986	Augmentation dans les territoires fortement contaminés par le Cs-137	Auvinen <i>et al.</i> , 2001
	À partir de 1986	Jusqu'à 20%	Frentzel-Beyne et Scherb, 2007
Norvège	3 premiers mois après Tchernobyl	Augmentation dans les territoires contaminés	Ulstein <i>et al.</i> , 1990
	1986	Le taux d'avortements spontanés passe de 7,2% avant Tchernobyl à 8,3% l'année suivante dans six comtés contaminés	Irgens <i>et al.</i> , 1991
Suède	1986	Augmentation chez les fœtus de moins de 17 semaines au moment de la catastrophe de Tchernobyl	Ericson et Kallen, 1994
Italie	Juillet 1986	Augmentation de 3% en Lombardie	Bertollini <i>et al.</i> , 1990
	Juin, juillet, septembre 1986	Augmentation dans tout le pays	Spinelli et Osborn, 1991 ; Parazzini <i>et al.</i> , 1998
	1986	Augmentation de 20% d'avortements spontanés au cours du premier trimestre (de grossesse)	Semisa., 1988
Grèce, Hongrie, Pologne, Suède	1986	Augmentation par rapport à 1985	Scherb <i>et al.</i> , 1999
Pologne	À partir de 1986	Jusqu'à 5%	Frentzel-Beyne et Scherb, 2007
Suède		Jusqu'à 10% dans certaines parties du pays	
Danemark		Jusqu'à 20%	
Hongrie		Jusqu'à 30%	
Islande		Jusqu'à 30%	
Allemagne	1987	Augmentation en Bavière, associée à la contamination du sol par le Cs-137	Scherb <i>et al.</i> , 2000
	Février 1987	Diminution de 13% du taux de natalité en Bavière du Sud	Körblein, 2006
Suisse	Juin 1986	Diminution de 50% du taux de natalité dans le canton du Tessin	Perucchi et Domenighetti, 1990

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 7.2. Augmentation des taux d'enfants mort-nés, des taux de mortalité des nourrissons et du faible poids de naissance associée à une exposition in utero aux radiations de Tchernobyl [essentiellement Schmitz-Feuerhake, 2006]

Pays	Commentaires	Références
Grèce		Scherb et Weigelt, 2003
Suède	Augmentation, dans certaines zones, d'environ 10%	Scherb et Weigelt, 2003 ; Frentzel-Beyne et Scherb, 2007
Pologne	Augmentation d'enfants mort-nés d'environ 5%	Körblein, 2003 ; Scherb et Weigelt, 2003 ; Frentzel-Beyne et Scherb, 2007
Norvège		Ulstein <i>et al.</i> , 1990
Hongrie		Czeizel et Billege, 1988 ; Scherb et Weigelt, 2003
Finlande	Augmentation d'environ 20%	Harjulehto <i>et al.</i> , 1989, 1991 ; Scherb et Weigelt, 2003 ; Frentzel-Beyne et Scherb, 2007
Allemagne		Körblein et Küchenhoff, 1997 ; Scherb et Weigelt, 2003 ; Lüning <i>et al.</i> , 1989 ; Grosche <i>et al.</i> , 1997 ; Scherb <i>et al.</i> , 1999 ; Körblein, 2003a ; Frentzel-Beyne et Scherb, 2007
Angleterre et Pays de Galles	Multiplié par deux en février 1987	Bentham, 1991 ; Busby, 1995
Danemark	Augmentation de 20%	Frentzel-Beyne et Scherb, 2007
Islande	Augmentation de 30%	Frentzel-Beyne et Scherb, 2007
Hongrie	Augmentation de 30%	Frentzel-Beyne et Scherb, 2007

14. Les résultats de l'accroissement des taux d'avortements spontanés après la catastrophe de Tchernobyl dans plusieurs pays d'Europe sont résumés dans le tableau 7.1.

15. Une liste de la documentation sur l'augmentation des taux de mortinatalité après Tchernobyl dans plusieurs pays d'Europe est proposée dans le tableau 7.2.

Pendant une période de 18 ans après Tchernobyl, si le nombre de fausses-couches et d'enfants mort-nés à cause des retombées de Tchernobyl a été de 50 000 pour l'Ukraine seule [Lypik, 2004], le nombre total de morts prénatales depuis Tchernobyl jusqu'en 2003 en Russie, au Belarus et en Ukraine a probablement dépassé les 100 000. Comme ces trois pays n'ont reçu que 43% des retombées radioactives de Tchernobyl [voir [Partie I](#) pour plus de détails], on peut s'attendre à 100 000 morts prénatales supplémentaires dans d'autres pays européens et dans le reste du monde. Le chiffre total des morts prénatales dues à Tchernobyl se monterait ainsi à 200 000 cas [Rosen, 2006].

7.2. Augmentation de la mortalité périnatale, néonatale et infantile

Les rapports sur les dégâts les plus probables provoqués par la contamination de Tchernobyl sur la mortalité infantile comprennent : la mortalité périnatale (les enfants mort-

nés plus les décès précoces de 0 à 6 jours), la mortalité néonatale (de 0 à 27 jours), la mortalité des nourrissons (de 0 à 364 jours) et la mortalité des enfants (de 0 à 14 ans). Dans un certain nombre de pays européens la définition d'enfant mort-né a changé autour de 1994, ce qui constitue un problème pour les analyses de tendance dans le temps. Dans l'ancienne Union Soviétique, les données sur la mortalité néonatale et des nourrissons étaient sous-évaluées pour « améliorer » les statistiques de santé, ce qui ne rend pas les chiffres fiables [Losoto, 2004].

7.2.1. Mortalité périnatale

7.2.1.1. Belarus

1. La mortalité périnatale a augmenté après 1988 dans la province de Gomel. Pendant les années 1990, il y a une hausse et une baisse par rapport à la tendance attendue, avec un nombre maximum de 1993 à 1994 [Körblein, 2002b]. La mortalité supplémentaire est associée à la moyenne calculée de la charge de Sr-90 reçue par les femmes enceintes (Figure 7.10).

2. Une analyse de l'issue des grossesses avant et après la catastrophe (de 1982 à 1990) a révélé que la mortalité néonatale a augmenté dans les provinces de Gomel et Moguilev, les deux régions les plus fortement contaminées du Belarus [Petrova *et al.*, 1997].

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

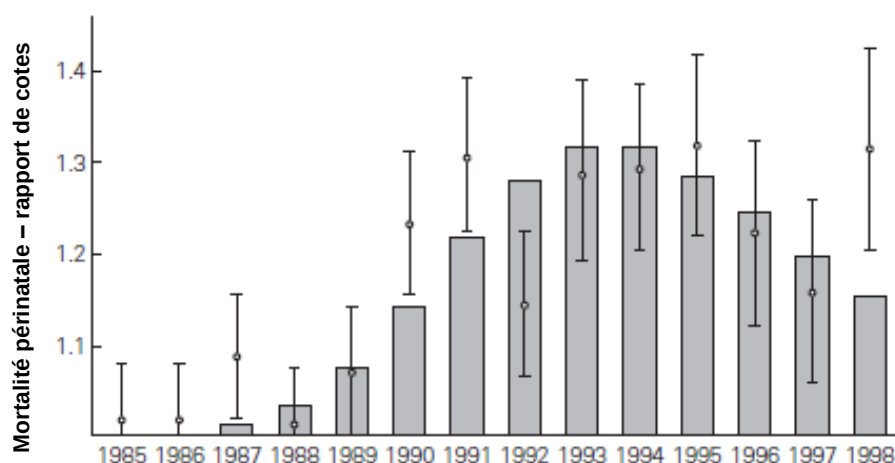


Figure 7.10. Écart de la mortalité périnatale par rapport à la tendance à long terme dans la province de Gomel de 1985 à 1998. Les colonnes montrent la charge moyenne calculée de Sr-90 chez les femmes enceintes [Körblein, 2003b]

7.2.1.2. Ukraine

1. La mortalité périnatale, le taux de mortalité et de mortalité néonatale précoce dans les provinces de Jitomir et de Kiev ont été notablement plus élevés la première année après la catastrophe et de nouveau trois ans plus tard (Figure 7.11). Cette dernière hausse peut être liée à la consommation locale de nourriture contaminée.

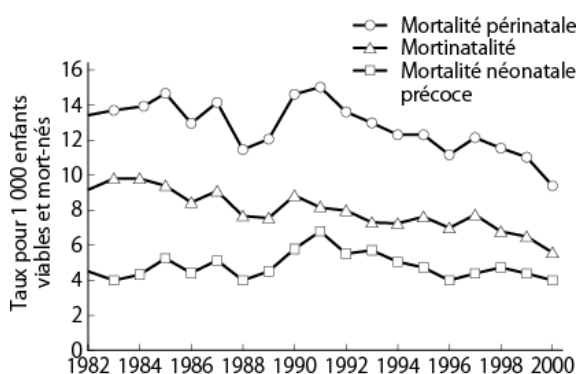


Figure 7.11. Mortalité périnatale, taux de mortalité et de mortalité néonatale précoce dans les provinces de Jitomir et de Kiev (pour 1 000 enfants viables et mort-nés), notablement plus élevés la première année après la catastrophe et, de nouveau, trois ans plus tard [Dzykovich et al., 2004]

2. La comparaison de la mortalité périnatale dans les régions les plus contaminées d'Ukraine (les provinces de Jitomir et de Kiev et la ville de Kiev) avec la mortalité dans le

reste de l'Ukraine donne des chiffres bien plus élevés de 1991 à 1999 (Figure 7.12).

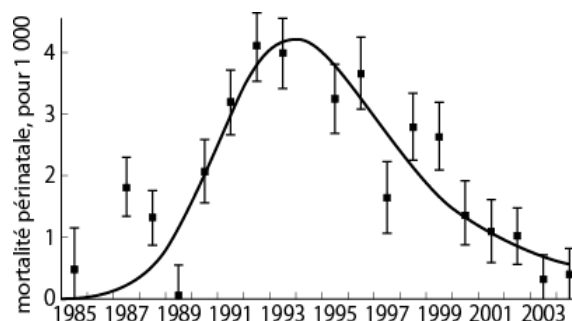


Figure 7.12. Écart de la mortalité périnatale par rapport à la tendance à long terme attendue dans les provinces de Jitomir et Kiev et dans la ville de Kiev, 1985-2004 [Körblein, communication personnelle]

3. L'augmentation de la mortalité périnatale en Ukraine et au Belarus est associée à la charge de Sr-90 reçue par les femmes enceintes [Körblein, 2003b].

7.2.1.3. Autres pays

1. ALLEMAGNE. La mortalité périnatale a fortement augmenté en 1987 par rapport aux données de la tendance à long terme de 1980 à 1993. En 1987, la hausse atteignait 4,8% ($p < 0,005$) de la proportion attendue de morts périnatales. On a pu trouver des niveaux encore plus élevés, respectivement de 8,2% ($p < 0,05$) et de 8,5% ($p = 0,07$), dans les

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

zones les plus lourdement contaminées de l'ancienne République Démocratique d'Allemagne y compris Berlin-Ouest et en Bavière [Scherb et Weigelt, 2000]. Un lien très net entre mortalité périnatale et charges de Cs-137 reçues pendant la grossesse se retrouve dans les données conjuguées de l'Allemagne de l'Ouest et de l'Est [Körblein et Kuchenhoff, 1997]. En Bavière, des analyses spatio-temporelles de la proportion d'enfants mort-nés et de morts périnatales dus au dépôt de Cs-137 après la catastrophe de Tchernobyl révèlent des relations marquées entre exposition et résultat au niveau du district [Scherb *et al.*, 2000].

2. POLOGNE. La mortalité périnatale a beaucoup augmenté en 1987 par rapport à la tendance à long terme. Les données mensuelles de mortalité des nourrissons montrent une corrélation nette avec la charge de Cs-137 pendant la grossesse de 1985 à 1991 [Körblein, 2003b, 2006b].

3. GRANDE BRETAGNE. Dix mois après la catastrophe, une forte augmentation de la mortalité périnatale a été découverte dans les deux comtés les plus contaminés du pays, en Angleterre et au Pays de Galles [Bentham, 1991 ; Busby, 1995] (voir Figure 7.7).

7.2.2. Mortalité des nourrissons

7.2.2.1. Ukraine

1. Une hausse sensible de la mortalité des nourrissons a été constatée en 1987-88 dans les territoires lourdement contaminés [Grodzinsky, 1999 ; Omelyanets et Klement'ev, 2001]. Les pathologies prénatales et les malformations congénitales ont été les principales causes du décès des nourrissons.

Tableau 7.3. Principales causes de mortalité des nourrissons (pour 1 000 enfants viables) en Ukraine de 1990 à 1995 [Grodzinsky, 1999]

Causes	Taux pour 1 000	%
Pathologies prénatales	4,84	33,0
Malformations congénitales	4,26	29,0
Maladies respiratoires	1,45	9,9
Infections	1,12	7,6

2. Au cours des années 1986 à 2000, d'après des statistiques officielles, la mortalité néonatale dans les territoires les plus radiocontaminés d'Ukraine a dépassé le niveau de mortalité néonatale du pays. Elle a baissé pendant

les cinq années 2001-2005, mais elle a recommencé à augmenter ces dernières années (Tableau 7.4).

Tableau 7.4. Mortalité néonatale en Ukraine durant les années 1986-2007 dans les territoires les plus radiocontaminés, en pourcentage de la mortalité néonatale de l'ensemble du pays [Doubovaya, 2010]

Années	Mortalité néonatale
1986-1990	103,0
1991-1995	104,2
1996-2000	103,0
2001-2005	96,8
2006	103,0
2007	102,7

7.2.2.2. Russie

1. La mortalité néonatale a été plus élevée dans les districts plus fortement contaminés de la province de Briansk en 1996 que dans l'ensemble de la province : respectivement 7,4 et 6,3 pour 1 000 [Baleva *et al.*, 2001].

2. Dans les districts fortement contaminés du sud-ouest de la province de Briansk, la mortalité des nourrissons a augmenté après 1986 (Tableau 7.5) alors qu'elle a diminué dans d'autres districts [Utka *et al.*, 2005].

Tableau 7.5. Mortalité des nourrissons (pour 1 000 enfants viables) dans les districts fortement contaminés de la province de Briansk, Russie, de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999 ; Komogortseva, 2006]

Années	Districts fortement contaminés				Province
	1995	1996	1997	1998	1998
Mortalité des nourrissons	17,2	17,6	17,7	20,0	15,7

3. Dans les trois districts les plus radiocontaminés de la région de Kalouga, le niveau de la mortalité néonatale durant les années 1986 à 1990 et 1991 à 1995 a été supérieur à celui des districts voisins moins contaminés et de l'ensemble de la région : 25,2 ; 21,5 ; 17,0 pour 1 000 enfants nés vivants [Tsyb *et al.*, 2006].

7.2.2.3. Autres pays

1. FINLANDE. La mortalité des nourrissons a nettement augmenté immédiatement après la catastrophe et a continué de grimper jusqu'en 1994 (Figure 7.13).

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

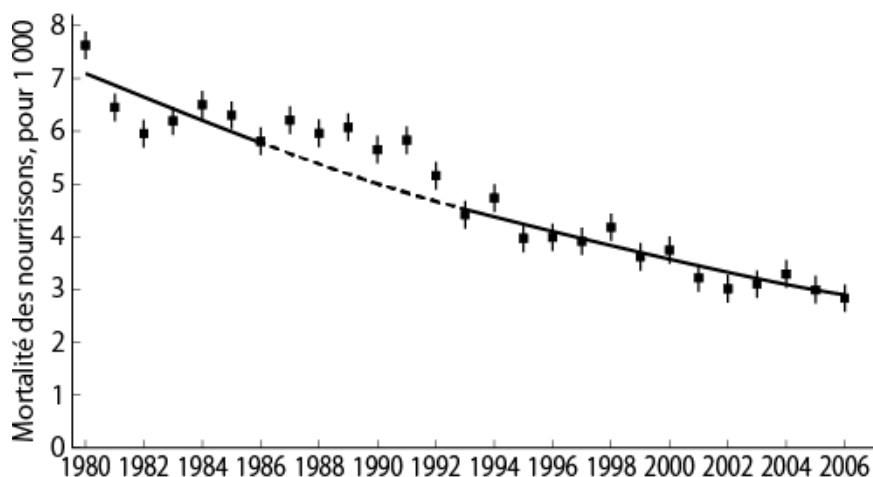


Figure 7.13. Évolution des taux de mortalité des nourrissons en Finlande, 1980-2006, et courbe de tendance non affectée [Körblein, 2008 ; à partir de données statistiques officielles]

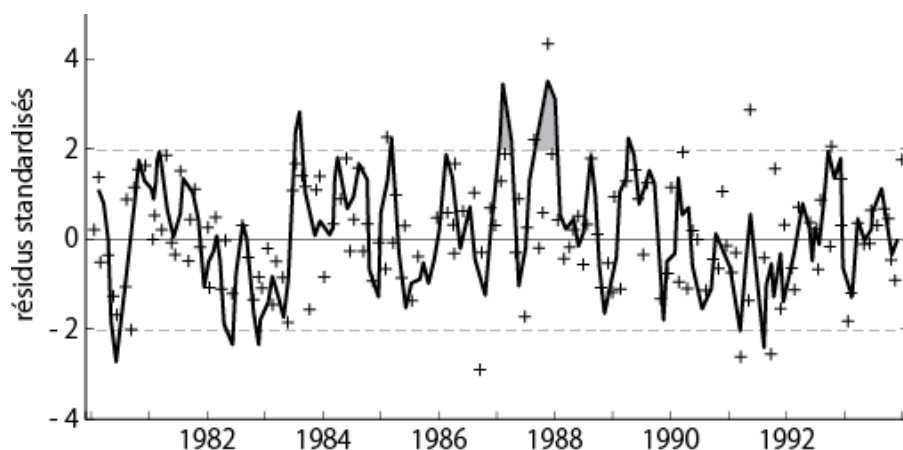


Figure 7.14. Écart de la mortalité des nourrissons par rapport à la tendance à long terme en Allemagne de 1980 à 1994. Les pics de mortalité suivent les pics de charge de Cs-137 avec un décalage de 7 mois [Körblein et Kurchenhoff, 1997]

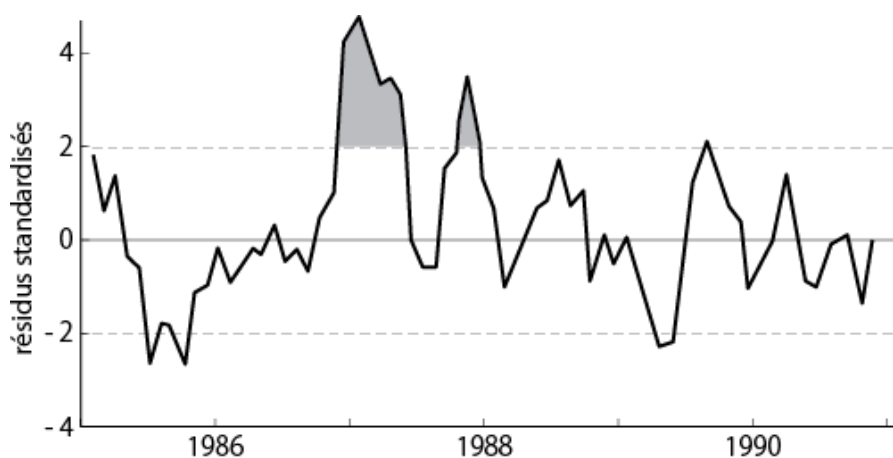


Figure 7.15. Écart de la mortalité des nourrissons par rapport à la tendance à long terme en Pologne de 1985 à 1990. Les pics de mortalité suivent les pics de charge de Cs-137 avec un décalage de 7 mois [Körblein, 2006a]

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

2. ALLEMAGNE. Les données mensuelles sur la mortalité des nourrissons de 1984 à 1994 montrent deux pics post-Tchernobyl marqués, au début et à la fin de 1987 (Figure 7.14).

3. POLOGNE. Les données sur la mortalité des nourrissons de 1985 à 1991 montrent un pic au début et un autre à la fin de 1987 (Figure 7.15).

4. SUÈDE. La mortalité des nourrissons a augmenté immédiatement après la catastrophe et elle a fortement augmenté entre 1989 et 1992 (Figure 7.16).

5. SUISSE. La mortalité des nourrissons a commencé à augmenter en 1988 et est demeurée élevée (par rapport à la tendance à long terme) jusqu'en 1993 (figure 7.17).

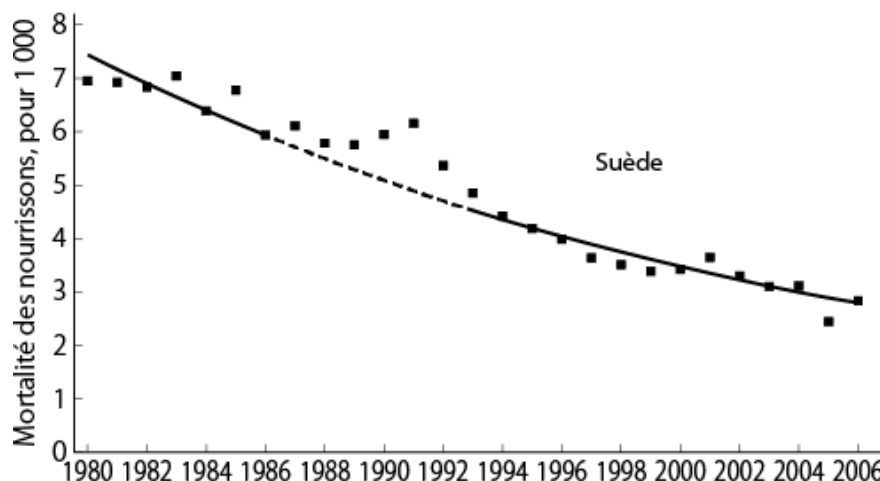


Figure 7.16. Évolution des taux de mortalité des nourrissons en Suède de 1980 à 2006, et courbe de tendance non affectée [Körblein, 2008 ; à partir de données statistiques officielles]

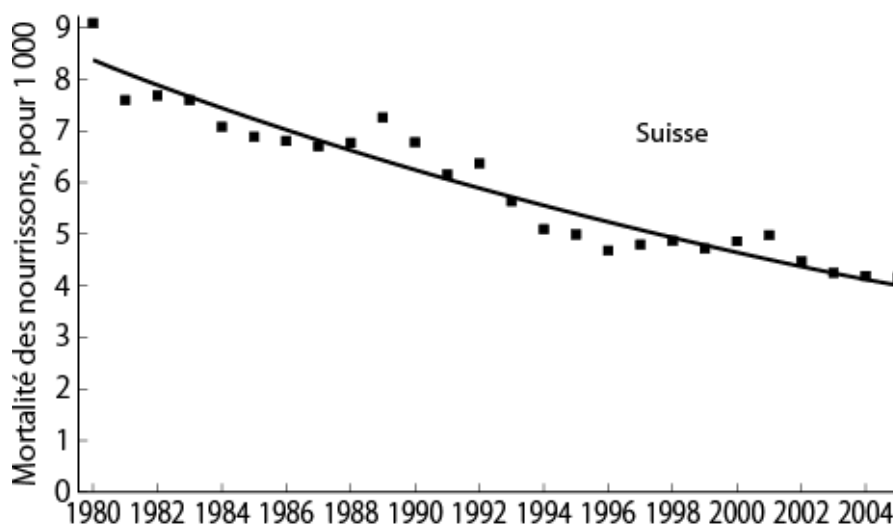


Figure 7.17. Évolution des taux de mortalité des nourrissons en Suisse de 1980 à 2005 et courbe de tendance non affectée [Körblein, 2008 ; à partir de données statistiques officielles]

Comme signalé précédemment (Section 7.2.2), un nombre total de plusieurs centaines de milliers de décès supplémentaires peuvent être attendus en Europe et dans d'autres parties du monde après la catastrophe de Tchernobyl.

Cependant, aucune étude ne sera capable de déterminer le nombre exact de morts supplémentaires, parce la tendance présumée sans la catastrophe de Tchernobyl est inconnue.

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

7.2.3. Mortalité infantile (de 0 à 14 ans)

7.2.3.1. Belarus

1. Dans la province de Gomel, les cancers parmi les enfants sont répertoriés deux fois plus souvent dans les statistiques de mortalité que dans celles de l'ensemble du Belarus et 20 fois plus souvent que dans la province la moins contaminée de Vitebsk [Bogdanovich, 1997].

7.2.3.2. Ukraine

1. La mortalité infantile est passée de 0,5 (pour 1 000 enfants viables) en 1987 à 1,2 en 1994. Les décès par maladies du système nerveux et des organes des sens ont augmenté d'un facteur 5 et les malformations congénitales d'un facteur supérieur à 2 [Grodzinsky, 1999].

2. Selon des données officielles, la mortalité infantile dans les territoires fortement contaminés était de 4,7% en 1997 et de 9,6% parmi les enfants nés de parents irradiés [TASS, 1998].

7.2.3.3. Russie

1. Dans les districts de la province de Toula, où la contamination a atteint les plus hauts niveaux, la mortalité infantile était plus élevée que dans les districts moins contaminés [Khvorostenko, 1999].

Le taux de mortalité infantile dû à la catastrophe de Tchernobyl ne sera jamais déterminé avec précision. Cependant, en se basant sur des données fragmentaires existantes, quelque 10 000 décès supplémentaires d'enfants peuvent être attendus au Belarus, en Ukraine et en Russie.

7.3. Mortalité chez les liquidateurs

L'enregistrement des décès chez les liquidateurs en Ukraine, en Russie et au Belarus n'a pas été complet dans les premières années après Tchernobyl (voir Partie I, Section 1.8 pour plus de détails). Dans l'ensemble, les liquidateurs étaient de jeunes adultes en bonne santé (en moyenne 33 ans) et on pourrait s'attendre à une faible mortalité parmi eux.

7.3.1. Belarus

1. La mortalité chez les liquidateurs hommes qui ont travaillé en 1986 est plus élevée que chez ceux qui ont travaillé en 1987 [Borysevich et Poplyko, 2002].

7.3.2. Ukraine

1. Pour les liquidateurs ukrainiens, le taux de mortalité provenant de maladies non cancéreuses a régulièrement augmenté de 1988 à 2003 (Figure 7.18).

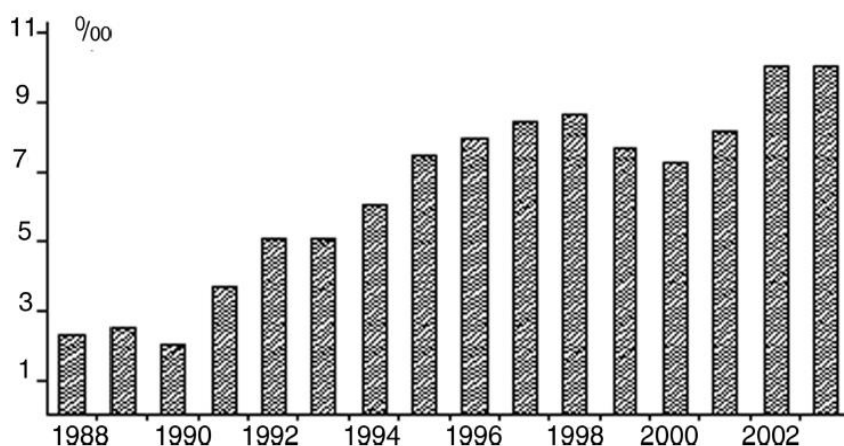


Figure 7.18. Évolution de la mortalité (pour 1 000) due à des maladies non cancéreuses de 1988 à 2003 chez les liquidateurs ukrainiens employés en 1986-1987 [Rapport national d'Ukraine, 2006]

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

2. Dans les territoires contaminés et chez les liquidateurs, la mortalité totale a beaucoup augmenté de 1978 à 2005 (Figure 7.19).

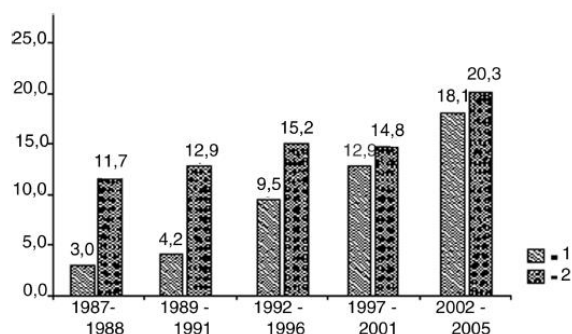


Figure 7.19. Mortalité totale (de toute origine pour 1 000) chez les liquidateurs (1) et dans les territoires contaminés (2) de 1986 à 2006 [Petruk, 2006]

3. Chez les liquidateurs hommes ukrainiens, la mortalité a augmenté de plus de 5 fois de 1989 à 2004, de 3,0 à 16,6 pour 1 000, comparée aux taux de mortalité de 4,1 à 6,0 pour 1 000 chez d'autres travailleurs du même âge [Horishna, 2005].

4. Après 1995, la mortalité des liquidateurs dépassait celle de groupes témoins de la population. [Législation ukrainienne, 2006].

7.3.3. Russie

1. Dix ans après la catastrophe de Tchernobyl, le taux de mortalité chez les liquidateurs employés en 1986 avait nettement augmenté [Sécurité écologique, 2002].

2. Dans le Registre national de Russie, 4 136 décès ont été enregistrés de 1991 à 1998 dans une cohorte de 52 714 liquidateurs. Seuls 216 cas (sans compter les 26 morts par leucémie de 1986 à 1998) sont officiellement reconnus comme étant provoqués par l'irradiation [Ivanov *et al.*, 2004].

3. Selon les données officielles, « plus de 10 000 liquidateurs » étaient morts jusqu'en 2001 [Rapport national de Russie, 2001]. Parmi cette cohorte, l'indice standardisé de mortalité (ISM) se situe entre 0,78 et 0,88 pour les catégories classées « toutes causes », « néoplasme malin », « toutes causes sauf le néoplasme malin » et « traumatismes et empoisonnements » et il ne diffère pas de celui de groupes témoins correspondants dans l'ensem-

ble de la population. Des résultats similaires ont été rapportés pour des employés de l'Institut Kurchatov [Shykalov *et al.*, 2002].

4. Un accroissement marqué de la mortalité par cancer a été constaté de 1991 à 1998 dans une cohorte de 66 000 liquidateurs exposés (selon les données officielles) à des doses d'environ 100 mSv [Maksyutov, 2002].

5. Les indices de mortalité des liquidateurs de la région de Tomsk ont dépassé de 1,1 à 1,3 fois ceux de la région en différentes années. Dix ans après la catastrophe, le coefficient de mortalité des liquidateurs a augmenté en moyenne de 50% et a été 2 à 3 fois supérieur à celui d'un groupe témoin comparable [Kayoushkina *et al.*, 2006].

6. La figure 7.20 montre les données du Registre national sur la mortalité des liquidateurs due à des maladies non cancéreuses.

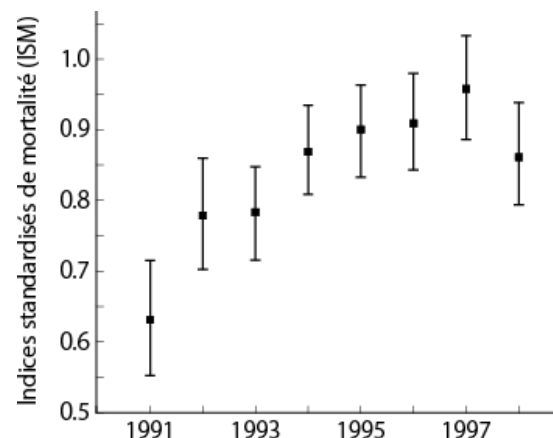


Figure 7.20. Évolution des indices standardisés de mortalité (ISM) par maladies non cancéreuses de 1990 à 1999 chez les liquidateurs [Ivanov *et al.*, 2004]

7. Selon l'organisation non gouvernementale « Syndicat de Tchernobyl », plus de 31 700 liquidateurs russes sur 244 000, soit 13%, étaient décédés avant la fin 2005 [V.V. Grishin, Président du Syndicat de Tchernobyl, communication personnelle].

8. Dans la province de Voronej, parmi 3 208 liquidateurs, 1 113 (34,7%) étaient décédés avant fin 2005 [source : lettre de la branche régionale du Syndicat de Tchernobyl].

9. Dans la république de Carélie, sur 1 204 liquidateurs, 644 (53%) étaient décédés avant fin 2008 [Stolitsa na Onego, 2008].

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 7.6. Age moyen des liquidateurs décédés

Groupe	Nombre de morts	Âge moyen (en années) au moment du décès	Commentaires
Ville de Togliatti, province de Samara	163	46,3	De 1995 à 2005, [calculs d'A.Y., d'après les données de Tynomin, 2005]
Employés de l'industrie nucléaire	169	45,5	De 1986 à 1990 [Tukov, 2000]
République de Carélie	644	43	De 1986 à 2008 [Stolitsa na Onego, 2008]

Tableau 7.7. Causes des décès (%) des liquidateurs russes en 2000, selon différentes sources

Causes des décès	Pourcentage total des décès		
	Khrysansov et Meskikh, 2001 ^a	Loskutova, 2002 ^b	Gil'manov <i>et al.</i> , 2001 ^c
Pathologie du système sanguin et circulatoire	63	45	50,9
Néoplasme malin	31	32	5,3
Pathologie du tractus gastro-intestinal	7	-	5,3
Pathologie du poumon	5	-	-
Traumatisme et suicide	5	14	26,3
Tuberculose	3	-	-
Maladie des rayons	-	1	-
Autre	-	8	12,5

^a Données du Conseil consultatif officiel interdépartemental russe sur l'établissement d'une relation de cause à effet de maladies, incapacités physiques et décès de personnes irradiées.

^b Données de la section de Moscou de l'organisation non gouvernementale « Veuves de Tchernobyl » (559 cas).

^c Données du Registre national russe des liquidateurs.

10. Dans la ville d'Angarsk, province d'Irkoutsk en Sibérie, en 2007, seulement environ 300 des 1 300 liquidateurs étaient encore en vie [Rikhvanova, 2007].

11. Dans la province de Kalouga, 87% de tous les liquidateurs décédés au cours des 12 premières années après la catastrophe étaient âgés de 30 à 39 ans [Lushnykov et Lantsov, 1999].

12. En 2001, la mortalité chez les hommes liquidateurs était de 1,4 à 2,3 fois plus élevée que dans les groupes témoins d'âge équivalent de l'ensemble de la population [Gil'manov *et al.*, 2001].

13. Selon les données du Registre national, de 1987 à 1996, la mortalité due au néoplasme malin du tractus urogénital était bien plus élevée chez les liquidateurs de moins de 50 ans que dans le groupe témoin d'âge équivalent de l'ensemble de la population [Kotchergyna *et al.*, 2001].

14. L'augmentation de la mortalité conduit à une espérance de vie relativement courte pour les liquidateurs (Tableau 7.6).

15. En 1993 selon le Registre national, les trois principales causes de décès chez les liquidateurs étaient le traumatisme et les empoisonnements (46%), les maladies de la circulation sanguine (29%) et le néoplasme malin (13%) [Sécurité écologique, 2002].

16. Selon le Registre national de 1999, parmi les liquidateurs russes employés par le ministère russe de l'énergie nucléaire (14 827 hommes et 2 825 femmes), une hausse marquée de la mortalité a été constatée uniquement dans les groupes qui présentaient des maladies de la circulation sanguine ou vasculo-végétatives (système nerveux autonome) [Tukov, 2000].

17. La diminution de l'espérance de vie parmi les liquidateurs de Tchernobyl employés par le ministère russe de l'énergie nucléaire était due pour 13% aux néoplasmes malins, pour 25,9% aux maladies du sang et pour 39,6% aux traumatismes et empoisonnements [Ignatov *et al.*, 2001].

18. Les données de différentes sources sur les causes de la mortalité parmi les liquidateurs

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

varient considérablement, ce qui remet leur qualité en question (Tableau 7.7).

Les données présentées ci-dessus montrent que depuis 1990 la mortalité parmi les liquidateurs a dépassé le taux des groupes témoins correspondant. En 2005, quelque 112 000 à 125 000 liquidateurs étaient morts, soit environ 15% du cadre total des 830 000.

7.4. Mortalité globale

La contamination de Tchernobyl a indubitablement créé une augmentation de la mortalité globale dans les zones contaminées.

7.4.1. Belarus

1. La mortalité par néoplasme malin des habitants des territoires contaminés par le Cs-137 à des niveaux supérieurs à 555 kBq/m², ainsi que de ceux qui ont quitté ces territoires après la catastrophe, a commencé à dépasser la mortalité de l'ensemble du pays à partir de 1998 [Antypova et Babitchevskaya, 2001].

2. L'espérance de vie moyenne des populations qui vivent dans les territoires avec une contamination du sol par le Cs-137 supérieure à 555 kBq/m² (15 Ci/km²) était de 8 ans inférieure à la moyenne nationale [Antypova et Babitchevskaya, 2001].

3. La concentration de radionucléides incorporés chez la plupart (98%) des 285 personnes qui sont mortes subitement dans la province de Gomel avait fortement augmenté dans le cœur, les reins et le foie [Bandajevsky, 1999].

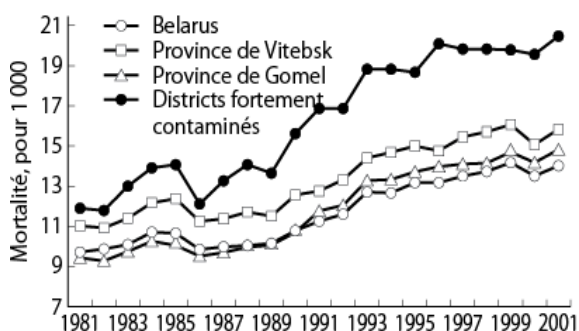


Figure 7.21. Évolution des taux de mortalité (pour 1 000) dans plusieurs régions du Belarus. Les plus forts taux de mortalité se trouvent dans les districts les plus contaminés de la province de Gomel et l'augmentation a été plus marquée après 1989 dans cette province [Rubanova, 2003]

4. Dans les districts fortement contaminés de la province de Gomel, la mortalité est bien plus élevée que dans les zones moins contaminées et elle est plus élevée que dans le reste du Belarus. Le taux de mortalité a commencé à augmenter en 1989 (Figure 7.21).

5. Le taux global de mortalité au Belarus a augmenté de 6,5 à 9,3 pour 1 000, soit de 43% de 1990 à 2004 [Malko, 2007].

7.4.2. Ukraine

1. Après 1986 la mortalité générale a beaucoup augmenté dans les territoires contaminés [PIESAT, 1996 ; Omelyanets et Klement'ev, 2001 ; Grodzinsky, 1999 ; Kashyryna, 2005 ; Sergeeva *et al.*, 2005].

2. Selon les données officielles, le taux global de mortalité dans les territoires fortement contaminés était de 18,3 pour 1 000 en 1999, quelque 28% plus élevé que la moyenne nationale de 14,8 pour 1 000 [Reuters, 2000].

3. Dans les territoires contaminés et chez les personnes évacuées, la mortalité par cancer a augmenté de 18 à 22% de 1986 à 1998 par rapport aux 12% de l'ensemble de l'Ukraine [Omelyanets et Klement'ev, 2001 ; Golubchikov *et al.*, 2002]. La mortalité par cancer de la prostate a augmenté d'un facteur 2,2 dans les territoires contaminés et d'un facteur 1,3 dans l'ensemble de l'Ukraine [Omelyanets et Klement'ev, 2001].

4. Vingt-deux ans après la catastrophe, la population des territoires radiocontaminés (74 districts de 12 régions) a diminué de 16,1% (741 900), soit beaucoup plus que pour le pays tout entier (9%). Comme le taux de natalité dans le pays a baissé de 50,3%, mais seulement de 46% dans les territoires les plus contaminés, la hausse de la mortalité dans les territoires contaminés ne peut pas s'expliquer par une baisse de la natalité. Le pic de mortalité dans les territoires radiocontaminés revient à l'année 1995. Le taux de mortalité standardisé pour les années 1999-2007 dans les territoires les plus radiocontaminés a été de 9% (5,4% pour toute l'Ukraine). En 2007, le coefficient global de mortalité dans les territoires contaminés a augmenté de près de 50% par rapport à 1986. Au cours des années 1986-2007, le taux de mortalité des personnes de 60 ans et plus dans les territoires les plus radiocontaminés a augmenté de presque 45% et, tout au long de cette période, il a été plus élevé que celui de l'ensemble de l'Ukraine [Doubovaya, 2010].

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

Tableau 7.8. Causes de décès dans les territoires contaminés d'Ukraine, 1996 [Grodzinsky, 1999]

Causes de décès	Pourcentage
Maladies du sang	61,2
Maladies oncologiques	13,2
Traumatismes	9,3
Maladies respiratoires	6,7
Maladies du tube digestif	2,2

5. Les maladies du système circulatoire et les affections oncologiques ont été les causes principales de décès chez les habitants des territoires contaminés en 1996 (Tableau 7.8).

7.4.3. Russie

1. De 1994 à 2004, la mortalité globale dans les territoires fortement contaminés de la province de Briansk a augmenté de 22,5%, principalement dans le groupe d'âge des 45-49 ans, où elle a augmenté de 87%. La mortalité globale dans les territoires fortement contaminés était de 23 à 34% plus élevée que la moyenne de la province [Kashyryna, 2005 ; Sergeeva *et al.*, 2005] (Tableau 7.9).

2. La mortalité globale dans la ville de Lipetsk, où la contamination du sol par le Cs-137 était inférieure à 5 Ci/km², a augmenté de 67% de 1986 à 1995 (de 7,5 à 12,6 pour 1 000) [Krapyvin, 1997].

3. De 1997 à 1999, la mortalité globale dans le district de Klinty de la province de

Briansk a été corrélée avec la contamination du sol par le Cs-137. Les maladies cardiovasculaires (60%) et les cancers (10,6%) ont été les causes principales de l'augmentation de la mortalité [Sukal'skaya *et al.*, 2004].

Tableau 7.9. Mortalité globale (pour 1 000) dans les trois districts les plus contaminés de la province de Briansk et en Russie de 1995 à 1998 [Fetysov, 1999b]

	Territoires fortement contaminés				Province	Russie
Année	1995	1996	1997	1998	1998	1997
Mortalité globale	16,7	17,0	18,2	17,7	16,3	13,8

7.5. Calculs de mortalité globale établis d'après les risques cancérigènes

Plusieurs auteurs ont estimé le nombre de décès supplémentaires par cancer dus à Tchernobyl à partir de différents facteurs de risques (excédent de risque par unité de dose) (Tableau 7.10). Les estimations présentées dans ce tableau couvrent une gamme qui englobe deux ordres de grandeur. Ce large domaine dépasse de loin les incertitudes scientifiques habituelles. C'est la raison pour laquelle les estimations sur les dommages que l'exposition aux rayonnements fait subir à la santé devraient être interprétées très prudemment étant donné l'état actuel des connaissances (voir [Chapitre 2](#) pour plus de détails).

Tableau 7.10. Estimations du nombre de décès dus aux cancers résultant des radionucléides Cs-134, Cs-137 et Sr-90 libérés par le réacteur de Tchernobyl

Nombre de décès	Auteur	Commentaires
4 000	Documents de presse donnés au Forum de Tchernobyl (2005)	90 ans, Belarus, Ukraine, Russie européenne
8 930	Forum de Tchernobyl (2006)	90 ans, Belarus, Ukraine, Russie européenne
14 000*	Commission de régulation nucléaire, États-Unis	Pour l'éternité, monde entier
17 400	Anspaugh <i>et al.</i> , (1998)	50 ans, monde entier
28 000	Département de l'énergie, États-Unis (Goldman, 1987)	50 ans, monde entier
30 000*	UNSCEAR (Bennett, 1996)	Pour l'éternité, monde entier
30 000-60 000	Fairlie et Sumner (2006)	Pour l'éternité, monde entier
93 080	Malko (2007)	70 ans, monde entier
180 000	Malko (2007)	70 ans, toutes causes dues à Tchernobyl
495 000	Gofman (1994a, b)	Pour l'éternité, monde entier
899 310-1 786 657	Bertell (2006)	Pour l'éternité, tous radionucléides, monde entier

* D'après J. Fairlie et D. Sumner, 2006 : tableau 6.2.

7.6. Calculs de mortalité globale par comparaison des territoires les plus et les moins contaminés

Une estimation de la surmortalité due à Tchernobyl est possible sur la base d'une comparaison des taux de mortalité dans les territoires fortement contaminés et dans ceux qui le sont moins – dénommés zones « propres » – [Rubanova, 2003 ; Sergeeva *et al.*, 2005 ; Khudoley *et al.*, 2006 ; et d'autres].

De 1985 à 2001, l'indice standardisé de mortalité a augmenté de 37,4 à 43,1% dans les provinces les moins contaminées de Grodno et de Vitebsk au Belarus et de 59,6% dans la province très fortement contaminée de Gomel. Les conditions socio-économiques et ethniques de ces zones sont identiques, la seule différence vient du niveau de contamination. Donc, les écarts observés dans l'augmentation de la mortalité (de 16 à 22%) ne peuvent provenir que des radiations de Tchernobyl [Rubanova, 2003].

Six provinces russes en particulier ont subi une contamination considérable à la suite des retombées de Tchernobyl (Toula, Briansk, Orel, Riazan, Koursk et Kalouga), avec une population totale de 7 418 000 habitants en 2002 (étude régionale). Plus de 5% de cette population a vécu dans des zones fortement contaminées. Les taux de mortalité dans ces régions ont été comparés à la moyenne de la Russie et aux taux des six provinces voisines (officiellement) moins contaminées, à situation géographique et socio-économique similaire, (Smolensk, Belgorod, Lipetsk, Tambov, les provinces de Vladimir et la République de Mordovie), et à population totale de 7 832 000 habitants en 2002 (région témoin) [Khudoley *et al.*, 2006].

Dans la région étudiée, la mortalité globale, ainsi que l'augmentation du taux de mortalité, ont dépassé la moyenne de la Russie. Le tableau 7.11 donne les taux de mortalité bruts (observés) et ceux standardisés selon l'âge dans les six provinces contaminées. Les deux taux, observé et standardisé selon l'âge, dépassent la moyenne russe (Tableau 7.11). Les taux standardisés de mortalité de l'ensemble des six provinces contaminées sont comparés avec ceux de la région témoin sur la figure 7.22. Le nombre total des décès supplémentaires dus à Tchernobyl dans la zone d'étude, calculé sur la base des taux de mortalité standardisés, est

estimé à 60 400 (IC à 95% : de 54 880 à 65 920).

Tableau 7.11. Taux de mortalité observés (bruts) et standardisés (pour 1 000) dans les six régions les plus contaminées de Russie, 2002 [Khudoley *et al.*, 2006]

Région	Taux de mortalité	
	Observés (bruts)	Standardisés
Toula	21,9	19,6
Briansk	19,3	18,0
Orel	18,6	18,1
Riazan	20,6	19,3
Koursk	19,3	18,5
Kalouga	18,8	17,7
Total	16,2	

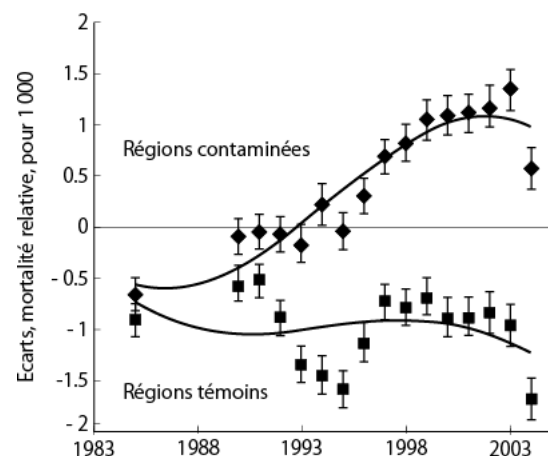


Figure 7.22. Écarts entre les taux standardisés de mortalité (1983-2003) dans l'ensemble des six provinces les plus contaminées et la région témoin. « Zéro » correspond à la moyenne russe [Khudoley *et al.*, 2006]

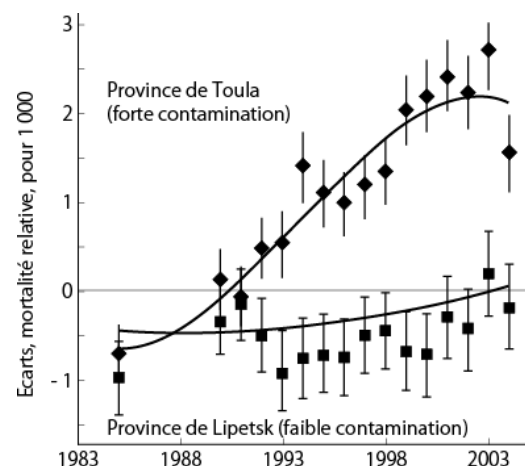


Figure 7.23. Taux standardisés de mortalité, 1983-2003, dans la province la plus contaminée de Toula, la province moins contaminée de Lipetsk et l'ensemble de la Russie (ligne « zéro ») [Khudoley *et al.*, 2006]

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

On obtient un résultat similaire en comparant les régions fortement contaminées et celles qui le sont moins. La figure 7.23 montre les taux standardisés de mortalité pour les provinces voisines de Toula et Lipetsk. Le résultat chiffré d'environ 60 400 décès supplémentaires de 1990 à 2004 dans la zone examinée, correspondant à 37 personnes pour 1 000, révèle la dimension véritable du nombre de décès dus à la catastrophe de Tchernobyl. De 1990 à 2004, le nombre de décès supplémentaires représente 3,75% de l'ensemble de la population des territoires contaminés. Ce résultat concorde avec le chiffre de 4,2% en Ukraine donné par le Rapport national d'Ukraine pour 2006.

Le nombre total de décès supplémentaires dus à Tchernobyl au Belarus, en Ukraine et dans une partie de la Russie européenne est estimé à 212 000 au cours des 15 premières années après la catastrophe (Tableau 7.12). Ces chiffres concernent les populations de l'ensemble des territoires contaminés (1 789 000 habitants en Russie européenne (1999), 1 571 000 au Belarus (2001) et 2 290 000 en Ukraine (2002) [Khudoley *et al.*, 2006] et ils sont établis sur les taux supplémentaires de la Russie.

Ce calcul paraît précis, mais les chiffres réels peuvent être sous-estimés pour plusieurs raisons :

- Les données officielles sur la contamination radioactive des provinces de Belgorod et Lipetsk ne sont pas corrélées avec les modifications correspondantes dans les statistiques de la santé après Tchernobyl. Cela veut dire que les différences de mortalité trouvées par Khudoley *et al.* (2006) entre les populations contaminées et non contaminées pourraient en fait être plus prononcées. Dans ce cas, le chiffre du taux de mortalité de 4,2% en Ukraine serait plus réaliste que le chiffre de 3,75% déterminé pour la Russie.
- Il est bien connu (voir [Partie I](#) pour les détails) qu'il y a eu une contamination considérable (parfois supérieure à 1 Ci/km²), non seulement dans les six régions mentionnées ci-dessus, mais aussi dans 16 régions de la partie européenne de la Russie. Ceci veut dire que pour la Russie le nombre total de décès est supérieur aux estimations de Khudoley *et al.* (2006).
- Tous les calculs de Khudoley *et al.* (2006) couvrent une période de 15 ans (1990-2004). Cependant, la contamination radioactive de Tchernobyl a eu des effets négatifs avant 1990 et continuera à en avoir pendant de longues années encore.

Tableau 7.12. Nombre de décès supplémentaires au Belarus, en Ukraine et en Russie européenne de 1990 à 2004 imputables à la catastrophe de Tchernobyl [Khudoley *et al.*, 2006]

	Région/Pays			
	Russie européenne	Belarus	Ukraine	Total
Population vivant dans des territoires fortement contaminés	1 789 000	1 571 000	2 290 000	5 650 000
Nombre de décès supplémentaires	67 000	59 000	86 000	212 000

7.7. Quel est le nombre total des victimes de Tchernobyl ?

Le Forum de Tchernobyl [OMS, 2006] a calculé qu'un nombre total de 9 000 décès au Belarus, en Ukraine et en Russie pourrait être imputé à la catastrophe de Tchernobyl sur une période de 90 ans après la fusion des réacteurs.

Le tableau 7.10 montre des prévisions du nombre supplémentaire de cas de cancer dus à la catastrophe de Tchernobyl. Toutes les projections sont établies sur les facteurs de risques

de cancer. Cependant, il est bien connu que le cancer n'est pas le seul effet léthal des radiations et qu'il n'en est même pas le plus fréquent (voir par ex. Tableau 7.8).

C'est pourquoi les calculs de V. Khudoley *et al.* (2006), qui reposent sur les statistiques de mortalité réelle due à toutes les causes, revêtent une valeur de premier ordre. La démarche visant à prendre en compte le nombre de victimes dans l'analyse des coefficients de mortalité réelle dans les territoires les plus radiocontaminés en comparaison des territoires

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

« propres » (malgré toutes les difficultés inéluctables pour distinguer les territoires « propres » et, corrélativement, les coefficients de mortalité pour une comparaison avec les territoires contaminés) donne la possibilité de sortir du débat sur les valeurs des coefficients de risque à utiliser pour évaluer la mortalité.

Les suppositions concernant les risques non cancéreux des radiations diffèrent encore plus de celles qui concernent le cancer. Les projections des risques, établies sur l'observation des augmentations de la mortalité globale, sont bien plus significatives et elles sont certainement bien plus réalistes que les calculs qui ne prennent en compte que les doses individuelles ou collectives associées aux facteurs de risque de cancer fatal.

Il est possible d'estimer le nombre total de décès dus à la catastrophe de Tchernobyl en s'appuyant sur les données présentées dans la Section 7.6 :

- Lorsque, comme indiqué précédemment, nous ajoutons 37 décès de plus pour 1 000 à la mortalité dans une période de 15 ans (1990-2004) à la cohorte des liquidateurs ne vivant pas dans les zones contaminées (400 000), aux personnes évacuées et à celles qui sont parties de ces zones (350 000), nous pouvons alors nous attendre à 27 750 autres décès durant la même période. Jusqu'en 2004, le nombre total de décès liés à Tchernobyl est estimé à 239 750 pour le Belarus, l'Ukraine et la Russie.
- Considérant que 10 millions de personnes, hors de l'ancienne Union Soviétique, vivent en Europe sur des territoires dont le sol est contaminé par le Cs-137 à des niveaux supérieurs à 40 kBq/m² (> 1,08 Ci/km²) et que le risque de mortalité est seulement de la moitié de celui qui a été déterminé pour la région de Tchernobyl, soit 18,5 décès pour 1 000 habitants (meilleure nourriture et meilleures conditions médicales et socio-économiques), nous pouvons nous attendre jusqu'en 2004 à 185 000 décès supplémentaires dus à Tchernobyl en Europe, hors de l'ancienne Union Soviétique.
- En outre, si nous supposons que pour les 150 millions d'autres Européens vivant avec une contamination du sol in-

férieure à 40 kBq/m² (voir [Partie I](#) pour les détails), la surmortalité sera 10 fois moindre (par ex. 1,85 décès pour 1 000 de 1990 à 2004), nous pouvons alors nous attendre à 150 000 x 1,85 soit 277 500 décès de plus dans le reste de l'Europe.

- Considérant que 20% des radionucléides libérés par les réacteurs de Tchernobyl se sont déposés hors d'Europe (voir [Partie I](#)) et que la population exposée s'élevait à 190 millions, avec un facteur de risque de 1,85 comme précédemment, nous pourrions nous attendre à 331 500 décès par cancer supplémentaires hors de l'Europe jusqu'en 2004.

Ainsi, la mortalité globale pour la période d'avril 1986 à fin 2004 peut être estimée à 1 033 750 décès supplémentaires. Cette estimation du nombre de décès supplémentaires est similaire à celle de Gofman (1994a) et Bertell (2006). Une projection sur une période plus longue – pour de nombreuses générations futures – est très difficile à établir. Voici quelques aspects allant à l'encontre de ces pronostics :

- Étant donné la demi-vie des deux principaux radionucléides (Cs-137 et Sr-90) d'approximativement 30 années chacun, la charge d'un radionucléide dans les territoires contaminés décroîtra d'environ 50% à chaque génération humaine. Les concentrations de Pu, Cl-36 et Tc-99 demeureront pratiquement les mêmes quasiment pour toujours (demi-vies conséquemment de plus de 20 000 et 200 000 ans) et la concentration d'Am-241, qui est un sous-produit du Pu-241, augmentera pendant plusieurs générations.
- Les dégâts génétiques parmi les descendants de parents irradiés se propageront dans la population et se maintiendront pendant de nombreuses (au moins sept) générations.
- Le déclin de la fertilité après une exposition aux rayonnements est connu [Radzikovsky et Keisevich, 2002].
- Un processus d'adaptation aux radiations peut se produire (cet effet est connu à partir d'expérimentations sur des mammifères) [Yablokov, 2002].

7.8. Conclusion

Il existe de nombreux constats sur la croissance de la mortalité prénatale, infantile et globale dans les territoires fortement contaminés qui est très probablement associée à une irradiation par les retombées de Tchernobyl. De fortes augmentations de la mortalité par cancer ont été observées dans tous les groupes irradiés.

Une étude détaillée révèle qu'environ 4% de tous les décès de 1990 à 2004 dans les territoires contaminés d'Ukraine et de Russie étaient dus à la catastrophe de Tchernobyl. Le manque d'études prouvant l'augmentation de la mortalité dans d'autres pays touchés n'est pas une preuve de l'absence d'effets négatifs des radiations.

Les calculs dans ce chapitre suggèrent que la catastrophe de Tchernobyl a déjà tué plusieurs centaines de milliers d'êtres humains parmi une population de plusieurs centaines de millions qui ont eu le malheur de vivre dans des territoires touchés par les retombées de Tchernobyl. Le nombre de victimes de Tchernobyl continuera de croître pendant encore plusieurs générations.

Bibliographie

- Anspaugh, L. R., Catlin, R. J. & Goldman, M. (1988). The global impact of the Chernobyl reactor accident. *Science* **242**: 1514–1519.
- Antypova, S. I. & Babichevskaya, A. I. (2001). Belarusian adult mortality of evacuees. Third International Conference. *Medical Consequences of the Chernobyl Accident: The Results of 15 Years of Investigations*. June 4–8, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 152–153 (en russe).
- Auvinen, A., Vahteristo, M., Arvela, H., Suomela, M., Rahola, T., et al. (2001). Chernobyl fallout and outcome of pregnancy in Finland. *Env. Health Perspect.* **109**: 179–185
(<http://www.ehponline.org/members/2001/109p179-185auvinen/auvinen-full.html>).
- Baleva, L. S., Terletskaia, R. N. & Zimlakova, L. M. (2001). Abnormal health of children in territories of the Russian Federation with radiation exposure as the result of the Chernobyl NPS accident. In: *Ecological Anthropology, Yearbook. Eighth International Science and Practical Conference. Human Ecology in the Post-Chernobyl Period*. October 4–6, 2000, Minsk (Belarusian Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 15–23 (en russe).
- Bandazhevsky, Yu. I. (1999). *Pathology of Incorporated Ionizing Radiation* (Gomel Medical Institute, Minsk): 136 pp. (en russe).
- Bennett, B. (1996). Assessment by UNSCEAR of worldwide doses from the Chernobyl accident. International Conference. *One Decade after Chernobyl: Summing Up the Consequences of the Accident*. April 8–12, 1996, Vienna (Materials/IAEA, Vienna): pp. 117–126.
- Bentham, G. (1991). Chernobyl fallout and perinatal mortality in England and Wales. *Soc. Sci. Medic.* **33**(4): 429–434.
- Bertell, R. (2006). The death toll of the Chernobyl accident. In: Busby, C. C. & Yablokov, A. V. (Eds.), *ECRR Chernobyl 20 Years On: Health Effects of the Chernobyl Accident*. ECRR Doc. 1 (Green Audit Books, Aberystwyth): pp. 245–248.
- Bertollini, R., di Lallo, D., Mastroiacovo, P. & Perucci, C. A. (1990). Reduction of births in Italy after the Chernobyl accident. *Scand. J. Work Env. Health* **16**: 96–101.
- Bogdanovich, I. P. (1997). Comparative analysis of children's (0–5 years) mortality in 1994 in the radioactive contaminated and clean areas of Belarus. *Medical Biological Effects and Ways to Overcome the Consequences of the Chernobyl Accident* (Collected Papers Devoted to the Tenth Anniversary of the Chernobyl Accident, Minsk/Vitebsk): 47 pp. (en russe).
- Borysevich, N. Y. & Poplyko, I. Y. (2002). Scientific Solution of the Chernobyl Problems: Year 2001 Results. (Radiological Institute, Minsk): 44 pp. (en russe).
- Buldakov, L. A., Lyaginskaya, A. M. & Demin, S. N. (1996). Radiation epidemiologic study of reproductive health, oncological morbidity and mortality in population irradiated as result of Chernobyl accident and industrial activities of ("MAYK" – Institute of Biophysics, Moscow).
- Busby, C. (1995). *The Wings of Death: Nuclear Contamination and Human Health* (Green Audit Books, Aberystwyth): IX + 340 pp.
- Buzhievskaya, T. I., Tchaikovskaya, T. L., Demydova, G. G. & Koblyanskaya, G. N. (1995). Selective monitoring for a Chernobyl effect on pregnancy outcome in Kiev, 1969–1989. *Hum. Biol.* **67**: 657–672 (en russe).
- Chernobyl Forum (2005). *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts. Highlights of the Chernobyl Forum Studies* (IAEA, Vienna): 47 pp.
- Chernobyl Forum (2006). *Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes*. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Health" (2006) Bennett, B., Repacholi, M. & Carr Zh. (Eds.) (WHO, Geneva): 167 p.
(http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/WHO%20Report%20on%20Chernobyl%20Health%20Effects%20July%2006.pdf).
- Czeisel, A. E. & Billege, B. (1988). Teratological evaluation of Hungarian pregnancy outcomes after the accident in the nuclear power station of Chernobyl. *Orvosi Hetilap* **129**: 457–462 (en hongrois) (cit. by Hoffmann, 2001).
- Czeisel, A., Elek, C. & Susansky, E. (1991). The evaluation of germinal mutagenic impact of Chernobyl: Radiological contamination in Hungary. *Mutagenes* **6**: 285–288.
- Duraković, A. (2003). Undiagnosed illnesses and radiological warfare. *Croatian Med. J.* **44**(5): 520–532
(<http://www.ratical.org/radiation/DU/UIandRW.pdf>).
- Dzykovich, I. B., Maksyutov, M. A., Omelyanets, N. I. & Pott-Born, R. (2004). Infant Mortality and Morbidity. French-German Initiative-Health Project (FGI), Oc-

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

- tober 6, 2004, Kiev. Presentation
(www.fgi.icc.gov.ua/eng/1Publications/medicine/Inf%20mort%20workshop%20pott-born%2004.ppt) (en russe).
- Ecological Security (2002). Ecological, radioactive and hygienic problems to safeguard regions, suffering from radioactive contamination (Dedicated to Tenth Anniversary of the Chernobyl Catastrophe). In: *Ecological Security of Russia*. Materials Interagency Commission of Russian Security Council on Ecological Security (September 1995–April 2002) 4 (“Yuridich Literat,” Moscow): pp. 178–203 (en russe).
- Energy (2008). Chernobyl echo in Europe (<http://members.tripod.com/~BRuslan/win/energie1.htm>) (en russe).
- Ericson, A. & Kallen, B. (1994). Pregnancy outcome in Sweden after Chernobyl. *Env. Res.* 67: 149–159.
- Fairlie, I. & Sumner, D. (2006). *The Other Report on Chernobyl (TORCH)* (Altner Combecher Foundation, Berlin): 91 pp.
<http://www.chernobylreport.org/torch.pdf>
- Fetysov, S. N. (1999). Health characteristics of Bryansk province population suffering after the Chernobyl accident. Analytical statistical materials of 1995–1998. Vol. 4 (Bryansk): pp. 33–44 (en russe).
- Frentzel-Beyme R. & Scherb, P. (2007). Epidemiology of birth defects, perinatal mortality and thyroid cancer before and after the Chernobyl catastrophe. In: *Seventh International Science Conference Sakharov Readings 2007 on Environmental Problems of the XXI Century*, May 17–18, 2007, Minsk, Belarus (<http://www.ibb.helmholtz-muenchen.de/homepage/hagen.scherb/Abstract%20Minsk%20Frentzel-Beyme%20Scherb.pdf>).
- Gil'manov, A. A., Molokovich, N. I. & Sadykova, F. Kh. (2001). Health condition of Chernobyl children. International Inter-Disciplinary Science and Practical Conference Dedicated to the 15th Anniversary of the Chernobyl Catastrophe. *Diagnostics, Treatment and Rehabilitation of Sufferers in Emergency Situations*. April 25–26, 2001, Kazan (Materials, Kazan): pp. 25–26 (en russe).
- Gofman, J. (1994a). *Chernobyl Accident: Radioactive Consequences for the Existing and Future Generations* (“Vysheisshaya Shkola,” Minsk): 576 pp. (en russe).
- Gofman, J. (1994b). *Radiation-Induced Cancer from Low-Dose Exposure: An Independent Analysis*. 1/2. Translated from English (Socio-Ecological Union, Moscow): 469 pp. (en russe).
- Goldman, M. (1987). Chernobyl: A Radiological Perspective. *Science* 238: 622–623.
- Golovko, O. V. & Izhevsky, P. V. (1996). Studies of the reproductive behavior en russe and Belarus populations, under the impact of the Chernobyl ionizing irradiation. *Rad. Biol. Radioecol.* 36(1): 3–8 (en russe).
- Golubchikov, M. V., Mikhnenko, Yu. A. & Babynets, A. T. (2002). Alterations in the health of the population of the Ukraine in the post-Chernobyl period. *Sci. Tech. Aspects Chernob.* 4: 579–581 (en russe).
- Grodzinsky, D. M. (1999). General situation of the radiological consequences of the Chernobyl accident in Ukraine. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities about the Chernobyl Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-7 (Kyoto University, Kyoto): pp. 18–28.
- Grosche, B., Irl, C., Schoetzau, A. & van Santen, E. (1997). Perinatal mortality in Bavaria, Germany, after the Chernobyl reactor accident. *Rad. Env. Biophys.* 36: 129–136.
- Harjulehto, T., Aro, T., Rita, H., Rytomaa, T. & Saxen, L. (1989). The accident at Chernobyl and outcome of pregnancy in Finland. *Brit. Med. J.* 298: 995–997.
- Harjulehto, T., Rahola, T., Suomela, M., Arvela, H. & Sax'en, L. (1991). Pregnancy outcome in Finland after the Chernobyl accident. *Biomed. Pharmacother.* 45: 263–266.
- Horishna, O. V. (2005). *Chernobyl Catastrophe and Public Health: Results of Scientific Investigations* (Chernobyl Children's Foundation, Kiev): 59 pp. (en ukrainien).
- Ignatov, A. A., Tukov, A. P., Korovkina, A. P., & Bulanova, T. M. (2004). Estimation of the relative risk of premature death for Chernobyl liquidators. Russian Scientific Conference: *Medical and Biological Problems of Radiation and Chemical Protection*, May 20–21, 2004, St. Petersburg (Collection of Papers, St. Petersburg): pp. 454–455 (en russe).
- IPHECA (1996). Health consequences of the Chernobyl accident. Results of the IPHECA pilot projects and related national programmes. Scientific Report (WHO, Geneva): 520 pp.
- Irgens L. M., Lie, R. T., Ulstein M., Steier J.A., Skjaerven, R., et al. (1991). Pregnancy outcome in Norway after Chernobyl. *Biomed. Pharmacother.* 45(6): 233–241.
- Ivanov, V., Tsyb, A., Ivanov, S. & Pokrovsky, V. (2004). *Medical Radiological Consequences of the Chernobyl Catastrophe in Russia: Estimation of Radiation Risks* (“Nauka,” St. Petersburg): 338 pp.
- Kashyryna, M. A. (2005). Social ecological factors of public health in the radioactive contaminated territories of the Bryansk area. International Science and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years After: Social Economical Problems and Perspectives for Development of the Impacted Territories* (Materials, Bryansk): pp. 166–167 (en russe).
- Khrisanfov, S. A. & Meskikh, N. E. (2001). Analysis of liquidators' morbidity and mortality rates according to the findings of the Russian interdepartmental expert panel. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* (“Viribus Unitis,” Moscow): pp. 85–92 (en russe).
- Khudoley, V. V., Blokov, I. P., Sadovnichik, T. & Byssaro, S. (2006). Attempt to estimate the consequences of Chernobyl catastrophe for population living in the radiation-contaminated territories of Russia. In: Blokov, I. P. (Ed.), *Consequences of the Chernobyl Accident: Estimation and Prognosis of Additional Mortality and Cancer Diseases* (Center for Independent Environmental Assessment, Greenpeace-Russia, Moscow): pp. 3–19 (en russe).
- Khorostenko, E. (1999). Territory is recognized as “clean.” However in 50 years after the Chernobyl catastrophe, the radioactive cloud will contaminate a fifth part of Tula province. *Nezavysymaya Gazeta* (Moscow), May 14, p. 4 (en russe).
- Kochergyna, E. V., Karyakin, O. B. & Byryukov, V. A. (2001). Onco-urological pathology en russe liquidators. In: Lyubchenko, P. N. (Ed.), *Remote Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe* (“Viribus Unitis,” Moscow): pp. 16–21 (en russe).

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

- Komogortseva, L. K. (2006). Ecological consequences of Chernobyl catastrophe for Bryansk province: Twenty years later. International Science and Practical Conference. *Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 81–85 (en russe).
- Körblein, A. (2000). European stillbirth proportion and Chernobyl. *Int. J. Epidemiol.* **29**(3): 599.
- Körblein, A. (2002). Congenital malformations in Bavaria after Chernobyl. In: *Inform. Bull. 3: Biological Effects of Low-Dose Ionizing Radiation* (Belarussian Committee on Chernobyl Children, Minsk): pp. 17–18 (en russe).
- Körblein, A. (2003). Strontium fallout from Chernobyl and perinatal mortality in Ukraine and Belarus. *Rad. Biol. Radioecol.* **43**(2): 197–202 (en russe).
- Körblein, A. (2004a). Fehlbildungen in Bayern nach Tschernobyl. *Strahlentext* **416/417**: 4–6.
- Körblein, A. (2004b). Perinatal mortality in West Germany following atmospheric nuclear tests. *Arch. Env. Health* **59**(11): 604–609.
- Körblein, A. (2006a). Study of pregnancy outcome following the Chernobyl accident. In: Busby, C. C. & Yablokov, A. V. (Eds.), *ECRR Chernobyl 20 Years On: Health Effects of the Chernobyl Accident*. ECCRR Doc. 1 (Green Audit Books, Aberystwyth): pp. 227–243.
- Körblein, A. (2006b). Infant mortality after Chernobyl. International Congress. *Chernobyl: Twenty Years Later*. Berlin (Gesellschaft für Strahlenschutz/European Committee on Radiation Risks): p. 35 (http://www.strahlentext.de/20_Jahre%20nach_Tschernobyl_Abstracts_GSS_Berlin-Charite_2006.pdf).
- Körblein, A. (2008). Infant mortality in Finland after Chernobyl (Personal Communication, March 17, 2008 ([http://www.alfred.koerblein@gmx.de](mailto:alfred.koerblein@gmx.de))).
- Körblein, A. & K'uchenhoff, H. (1997). Perinatal mortality in Germany following the Chernobyl accident. *Rad. Env. Biophys.* **36**(1): 3–7.
- Körblein, A. & Omelyanets, N. I. (2008). Infant mortality in Ukraine and strontium burden of pregnant women (to be published in *Int. J. Radiat. Med.*).
- Kordysh, E. A., Goldsmith, J. R., Quastel, M. R., Poljak, S., Merkin, L., et al. (1995). Health effects in a casual sample of immigrants to Israel from areas contaminated by the Chernobyl explosion. *Env. Health Persp.* **103**: 936–941.
- Krapivin, N. N. (1997). *Chernobyl in Lipetsk: Yesterday, Today, Tomorrow* (Lipetsk): 36 pp. (en russe).
- Kruslin, B., Jukic, S., Kos, M., Simic, G. & Cviko, A. (1998). Congenital anomalies of the central nervous system at autopsy in Croatia in the period before and after Chernobyl. *Acta Med. Croatica* **52**: 103–107.
- Kulakov, V. I., Sokur, A. L. & Volobuev, A. L. (1993). Female reproductive function in areas affected by radiation after the Chernobyl power station accident. *Env. Health Persp.* **101**: 117–123.
- Law of Ukraine (2006). About State program to overcome the consequences of the Chernobyl catastrophe for the period 2006 to 2010. *Bull. Ukr. Parliament* (VVP) 34: Art. 290.
- Loganovsky, K. (2005). Health of children irradiated in utero. (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-2-7.htm>) (en russe).
- Loskutova, V. B. (2002). Fifteen difficult years have passed. In: *Chernobyl: Duty and Courage II* (Institute of Strategic Stability, Moscow) (<http://www.iss.niit.ru/book-4>) (en russe).
- Losoto, A. (2004). Forty-two days without law: Who falsified the infant mortality data? *Rossiiskaya Gazeta* (Moscow), September 1, p. 3 (en russe).
- Lüning, G., Scheer, J., Schmidt, M. & Ziggel, H. (1989). Early infant mortality in West Germany before and after Chernobyl. *Lancet* **II**: 1081–1083.
- Lushnykov, E. F. & Lantsov, S. I. (1999). Liquidators' mortality in Kaluga province 10 years after Chernobyl accident. *Med. Radiol. Radiat. Safety* **2**: 36–44 (en russe).
- Lypic, V. (2004). Planet and radiation: Reality more terrible than statistics. PRAVDA.ru, May 12 (<http://www.pravda.ru>) (en russe).
- Maksyutov, M. M. (2002). Radiation epidemiological studies in Russian national medical and dosimetric registry: Estimation of cancer and non-cancer consequences observed among Chernobyl liquidators. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities about the Chernobyl Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 168–188.
- Malko, M.V. (2007). Assessment of medical consequences of the Chernobyl accident. In: Blokov, I., Blokov, I., Sadownichik, T., Labunska, I. & Volkov, I. (Eds.), *The Health Effects on the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe* (Greenpeace-International, Amsterdam): pp. 194–235.
- Medvedeva, A. I., Saurov, M. M. & Gneusheva, G. I. (2001). Analysis of medical demographical situation among childhood population from the Chernobyl radioactively contaminated districts of Kaluga province. Third International Conference. *Medical Consequences of Chernobyl Catastrophe: Results of 15 Years of Investigations*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 236–237.
- National Russian Report (2001). *Chernobyl Catastrophe: Results and Problems of Overcoming the Difficulties and Its Consequences in Russia 1986–2001* (Ministry of Emergency Situations, Moscow): 39 pp. (http://www.ibrae.ac.ru/russian/nat_rep2001.html) (en russe).
- National Ukrainian Report (2006). *Twenty Years of Chernobyl Catastrophe. Future Outlook*. (Kiev) (http://www.mns.gov.ua/news_show.php?) (en russe).
- Omelyanets, N. I. & Klement'ev, A. A. (2001). Mortality and longevity analysis of Ukrainian population after the Chernobyl catastrophe. Third International Conference. *Medical Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Results of 15 Years of Investigations*. June 4–8, 2001, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 255–256 (en russe).
- Parazzini, F., Repetto, F., Formigaro, M., Fasoli, M. & La Vecchia, C. (1988). Induced abortions after the Chernobyl accident. *Brit. Med. J.* **296**: 136.
- Perucchi, M. & Domenighetti, G. (1990). The Chernobyl accident and induced abortions: Only oneway information. *Scand. J. Work Env. Health* **16**: 443–444.
- Peterka, M., Peterkova, R. & Likovsky, Z. (2004). Chernobyl: Prenatal loss of four hundred male fetuses in the Czech Republic. *Reproduc. Toxicol.* **18**: 75–79.
- Peterka, M., Peterkov'a, R. & Likovsk'y, Z. (2007). Chernobyl: Relationship between the number of missing newborn boys and the level of radiation in the Czech regions. *Env. Health Perspect.* **115**(12): 1801–1806.

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

- Petrova, A., Gnedko, T., Maistrova, I., Zafranskaya, M. & Dainiak, N. (1997). Morbidity in a large cohort study of children born to mothers exposed to radiation from Chernobyl. *Stem. Cells* **15**(1-2): 141-142.
- Petruk, N. (2006). Medical consequences of Chernobyl catastrophe in Ukraine. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery*. May 29-June 3, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 16-17 (http://www.physiciansofchernobyl.org.ua/magazine/PDF/S/si8_2006/T) (en ukrainien).
- Playford, K., Lewis, G. N. J. & Carpenter, R. C. (1992). Radioactive fallout in air and rain: Results to the end of 1990. Atomic Energy Authority Report (cited by ECCR, 2003).
- Preston, D. L., Shimizu, Y., Pierce, D. A., Suyama, A. & Mabuchi, K. (2003). Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13: Solid cancer and non-cancer disease mortality: 1950-1997. *Radiat. Res.* **160**(4): 381-407.
- Radzikhovskiy, A. P. & Keisevich, L. V. (2002). *Human-kind against Human Beings* ("FENIX," Kiev): 456 p. (en russe).
- Reuters. (2000a). Chernobyl kills and cripples 14 years after blast. April 21, Kiev.
- Rikhvanova, M. (2007). One thousand citizens participate in meeting. *Env. Digest Baikal. Ecolog. Wave* **82**: 4 (en russe).
- Rosen, A. (2006). Effects of the Chernobyl catastrophe. Literature Review (Heinrich-Heine University Düsseldorf) (<http://www.ippnw-students.org/chernobyl/Chernobyl-Paper.pdf>).
- Rubanov, E. A. (2003). Character of mortality in population suffering from Chernobyl catastrophe. In: Shakhov'ko, L. P. (Ed.), *Tendencies of Morbidity, Mortality and Longevity in Belarus Republic* (Minsk): pp. 212-239 (see also DEMOSCOP-Weekly 269-270: December 11-31, 2006) (<http://www.demoscope.ru/weekly/2006/0269>) (en russe).
- Scherb, H. & Weigelt, E. (2000). Spatial-temporal change-point regression models for European stillbirth data. In: Thirtieth Annual Meeting of European Society of Radiation Biology, August 27-30, 2000, Warsaw, Poland (Abstracts): p. 14.
- Scherb, H. & Weigelt, E. (2003). Congenital malformations and stillbirths in Germany and Europe before and after the Chernobyl nuclear power plant accident. *Env. Sci. Pollut. Res.* **10**(1): 117-125.
- Scherb, H., Weigelt, E. & Br'uske-Hohlfeld, I. (1999). European stillbirth proportions before and after the Chernobyl accident. *Int. J. Epidemiol.* **28**: 932-940.
- Scherb, H., Weigelt, E. & Br'uske-Hohlfeld, I. (2000). Regression analysis of time trends in perinatal mortality in Germany 1980-1993. *Env. Health Perspect.* **108**: 159-165 (<http://www.ehponline.org/docs/2000/108p159-165scherb/abstract.html>).
- Schmitz-Feuerhake, I. (2006). Radiation-induced effects in humans after *in utero* exposure: Conclusions from findings after the Chernobyl accident. In: Busby, C. C. & Yablokov, A. V. (Eds.), *Chernobyl 20 Years On: The Health Effects of the Chernobyl Accident* (Green Audit Books, Aberystwyth): pp. 105-116 (<http://www.euradcom.org/publications/chernobylebook.pdf>).
- Semisa, D. (1988). The "Chernobyl effect" in Lombardy: The incidence of fetal and infant mortality. *Genus* **44**(3-4): 167-184 (<http://www.popindex.princeton.edu/browse/v55/n4/e.html>).
- Sergeeva, M. E., Muratova, N. A. & Bondarenko, G. N. (2005). Demographic abnormalities in the radioactive contaminated zone of Bryansk province. International Science and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years After: Social and Economic Problems and Perspectives for Development of the Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 302-304 (en russe).
- Shykalov, V. F., Usaty, A. F., Syvyntsev, Yu. V., Kruglova, G. I. & Kozlova, L. V. (2002). Analysis of medical and biological consequences of the Chernobyl accident for liquidator personnel from the Kurchatov Institute. *Med. Radiol. Radiat. Safety* **47**(3): 23-33 (en russe).
- Spinelli, A. & Osborn, J. F. (1991). The effects of the Chernobyl explosion on induced abortions in Italy. *Biomed. Pharmacother.* **45**: 243-247.
- Sternglass, E. J. (1972). Environmental radiation and human health. In: *Proceedings of Sixth Berkeley Symposium on Mathematical and Statistical Probabilities* (University of California Press, Berkeley): pp. 145-216.
- Stolitsa on Onego (2008). Chernobyl's premature dead (Internet-Magazine) (<http://www.stolica.onego.ru/news/2008-04-25.html#108557>) Online 12:38, April 25 (en russe).
- Sukal'skaya, S. Ya., Bronshtein, I. Ea., Nuralov, V. N. & Khrantsov, E. V. (2004). Mortality of Klinty district population, Bryansk Province, under various levels of radioactive impact long after the Chernobyl accident. International Scientific and Practical Conference. *Actual Problems of Radiation Hygiene*. June 21-25, 2004, St. Petersburg (Materials, St. Petersburg): pp. 190-192 (en russe).
- TASS United News-list (1998). After Chernobyl accident Ukrainian children's morbidity increased six times. April 6, Kiev.
- Tchasnykov, I. Ya. (1996). *Nuclear Explosions' Echo* (Almaty): 98 pp. (en russe).
- Timchenko, O. I., Linchak, O. V., Omel'chenko, A. M., Kartashova, S. S., Pokanevich, T. M., et al. (2006). Spontaneous abortions and congenital malformations among pregnancies registered in the radioactive contaminated territories. International Science and Practical Conference. *Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Lessons*. June 6, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 237-242 (en russe).
- Tkachev, A. V., Dobrodeeva, L. K., Isaev, A. I. & Pod'yakova, T. S. (1996). Remote consequences of nuclear tests in Novaya Zemlya archipelago 1955-1962. In: Emel'yanenkov, A. (Ed.), *Atoms without Security Classification 2* (Russian IPPNW, Moscow): pp. 9-20 (en russe).
- Trichopoulos, D., Zavitsanos, X., Koutis, C., Drogari, P., Proukakis, C. & Petridou, E. (1987). The victims of Chernobyl in Greece: Induced abortions after the accident. *Brit. Med. J.* **295**: 1100.
- Tsyb, A. F., Ivanov, V. K., Matveenko, E. G., Borovykova, M. P., Maksyutov, M. A. & Karelo, A. M. (2006). Analysis of medical consequences of the Chernobyl catastrophe among children who inhabit radioactive contaminated territories for 20 years: Strategy and tactics for special medical care. International Science and Practical Conference. *Twenty Years after the Chernobyl Catastrophe: Ecological and Social Les-*

7. Mortalité après la catastrophe de Tchernobyl

- sons. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 263–269 (en russe).
- Tukov, A. R. (2000). Mortality of liquidators from the nuclear industry personnel. *Russ. Publ. Health* **3**: 18–20 (en russe).
- Tymonin, L. (2005). *Letters from the Chernobyl Zone: Nuclear Age Impact on the Lives of the People of Tolyatti City* (“Agy,” Tolyatti): 199 pp. (en russe).
- Ulstein, M., Jensen, T. S., Irgens, L. M., Lie, R. T. & Sivertsen, E. M. (1990). Outcome of pregnancy in one Norwegian county 3 years prior to and 3 years subsequent to the Chernobyl accident. *Acta Obstet. Gynecol. Scand.* **6**: 277–280.
- Utko, V. G., Scorkyna, E. V. & Sadretdynova, L. Sh. (2005). Medical-demographic dynamics in South-Western districts of Bryansk area. International Science and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years After: Social and Economic Problems and Perspectives for Development of Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 201–203 (en russe).
- WHO (2006). Health Effects of the Chernobyl Accident and Special Health Care Programmes. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group “Health” (2006). Bennett, B., Repacholi, M. & Carr, Zh. (Eds.) (WHO, Geneva): 167 pp.
(//www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/WHO%20Report%20on%20Chernobyl%20Health%20Effects%20July%2006.pdf).
- Whyte, R. K. (1992). First day neonatal mortality since 1935: Re-examination of the Cross hypothesis. *Brit. Med. J.* **304**: 343–346.
- Yablokov, A. V. (2002). *Myth on the Safety of Low Doses of Radiation* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): 179 pp. (en russe).

Conclusion de la Partie II

La morbidité et la prévalence de chacune des maladies spécifiques, telles qu'elles sont décrites dans les Chapitres 4, 5, 6 et 7 ne donnent pas toujours une image complète de l'état de la santé publique dans les territoires affectés par Tchernobyl. L'état de la santé de la population du petit district ukrainien de Louguiny, 10 ans après la catastrophe, est présenté dans l'encadré ci-dessous. Louguiny se situe à environ 110 km au sud-ouest de la centrale nucléaire de Tchernobyl, dans la province de Jitomir, et est contaminé à un niveau supérieur à 5 Ci/km².

Il existe des dizaines de territoires ayant une contamination similaire au Belarus, en Ukraine, en Russie européenne, en Suède, en Norvège, en Turquie, en Autriche, dans le sud de l'Allemagne, en Finlande et dans d'autres pays européens. Cependant, le cas de Louguiny est unique, non seulement parce que le même personnel médical a utilisé le même équipement médical et a suivi les mêmes protocoles que ceux utilisés avant la catastrophe, mais aussi parce que les médecins ont rassemblé et publié ces faits.

DÉGRADATION DE LA SANTÉ PUBLIQUE DANS UN DISTRICT UKRAINIEN 10 ANS APRÈS LA CATASTROPHE

District de Louguiny (Ukraine). Population en 1986 : 29 276 personnes ; en 1996 : 22 552 (dont 4 227 enfants). Sur 50 villages, 22 ont été contaminés en 1986 à un niveau de 1 à 5 Ci/km² et 26 autres à un niveau inférieur à 1 Ci/km².

Espérance de vie après le diagnostic d'un cancer des poumons ou de l'estomac :

- années 1984-1985 : de 38 à 62 mois
- années 1994-1995 : de 2 à 7,2 mois

Diagnostic initial de tuberculose active (pourcentage de tuberculoses diagnostiquées – non secondaires à une autre maladie –) :

- années 1985-1986 : de 17,2 à 28,7 pour 100 000
- années 1995-1996 : de 41,7 à 50,0 pour 100 000

Maladies du système endocrinien chez les enfants :

- années 1985-1990 : 10 pour 1 000
- années 1995-1996 : 90 à 97 pour 1 000

Cas de goîtres chez les enfants :

- jusqu'en 1988 : inconnu
- années 1995-1996 : 12 à 13 pour 1 000

Mortalité néonatale (de 0 à 6 jours après la naissance) :

- années 1984-1987 : de 25 à 75 pour 1 000 enfants viables
- années 1995-1996 : de 330 à 340 pour 1 000 enfants viables

Mortalité globale :

- année 1985 : 10,9 pour 1 000
- année 1991 : 15,5 pour 1 000

Espérance de vie :

- années 1984-1985 : 75 ans
- années 1990-1996 : 65 ans

La figure ci-dessous présente les données sur le nombre annuel de nouveau-nés à malformations congénitales dans le district de Louguiny. Il y a eu une augmentation du nombre de tels cas malgré une diminution de 25% de la population totale de Louguiny de 1986 à 1996.

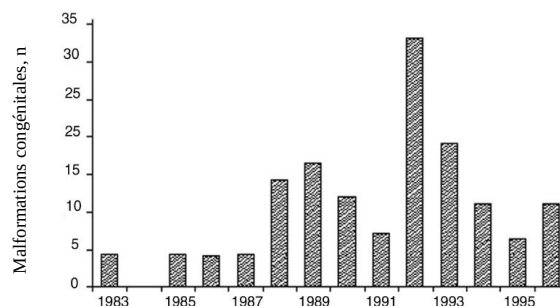


Figure CI.II. Nombre absolu d'anomalies congénitales du développement chez les nouveau-nés du district de Louguiny, province de Jitomir, Ukraine, de 1983 à 1986 [Godlevsky et Nasvit, 1999]

Dans les territoires radiocontaminés, il y a une augmentation notable de l'incidence d'un certain nombre de maladies, ainsi que de signes et de symptômes qui n'apparaissent pas dans les statistiques officielles. Parmi ceux-ci, on peut noter une prise de poids anormalement faible des enfants, une convalescence plus longue après une maladie, des fièvres fréquentes, etc.

La catastrophe de Tchernobyl a doté le monde médical de nouvelles expressions, parmi lesquelles :

- le syndrome dit de « dystonie vasculaire-végétative » (dysfonctionnement du système nerveux autonome) : trouble fonctionnel du système cardiovasculaire avec divers signes cliniques survenant sur fond de stress ;
- le syndrome dit de « radionucléides incorporés de longue vie » [Bandajevsky, 1999] qui comprend une pathologie des systèmes cardiovasculaire, nerveux, endocrinien, reproducteur et autres, résultant de l'accumulation de plus de 50 Bq/kg de Cs-137 et de Sr-90 dans l'organisme d'une personne ;
- le syndrome appelé « lésion aiguë des voies respiratoires supérieures par inhalation » [Chuchalin, 2002] : une combinaison de rhinite, irritation de la gorge, toux sèche et manque de souffle lors d'activités physiques liée à l'impact des radionucléides inhalés, y compris les « particules chaudes » ;
- le syndrome de « la feuille de châtaignier », une atteinte, sous une forme inhabituelle, de la tunique vasculaire du bulbe de l'œil [Fedirko, 1999].

Certains syndromes connus antérieurement apparaissent avec une fréquence élevée, sans précédent. Parmi eux se trouve le syndrome dit de « fatigue chronique » [Lloyd *et al.*, 1988] qui se manifeste par une lassitude, des rêves perturbés, une dépression périodique et une dysphorie, de la fatigue sans cause, une mémoire défaillante, des douleurs musculaires diffuses, des douleurs articulaires, des frissons, une humeur très changeante, une sensibilité des ganglions lymphatiques cervicaux et une perte de masse musculaire. On postule que ces symptômes sont le résultat de la dégradation du système immunitaire en combinaison avec des troubles temporo-limbiques du système

nerveux central. Ceux-ci incluent : (a) le syndrome appelé « maladie persistante du rayonnement » [Furitsu *et al.*, 1992 ; Pshenichnykov, 1996], une combinaison de lassitude inhabituelle, d'étourdissements, de tremblements, de douleurs dorsales et d'une douleur humérale en ceinture, décrite initialement chez les « hibakushas » (les survivants d'Hiroshima et de Nagasaki) et (b) les syndromes qui comprennent une chorioretinopathie, des modifications des vaisseaux rétiens appelées « syndrome de la feuille de châtaignier » et « syndrome en réseau de diffraction » [Fedirko, 1999, 2002].

Parmi les états qui attendent encore une description médicale complète se trouvent d'autres constellations de maladies, dont « l'irradiation *in utero* », le « SIDA de Tchernobyl », le « cœur de Tchernobyl », la « démence de Tchernobyl » et les « jambes de Tchernobyl ».

La contamination radioactive par Tchernobyl supérieure à des niveaux de 1 Ci/km² (comme en 1986-87) est responsable de 3,75 à 4,2% de la mortalité globale dans des zones de Russie, d'Ukraine et du Belarus.

La contribution de Tchernobyl à la morbidité globale est le facteur déterminant dans pratiquement tous les territoires contaminés à un niveau supérieur à 1 Ci/km². Des maladies chroniques d'étiologies différentes sont devenues caractéristiques non seulement des liquidateurs mais aussi des populations affectées et elles se trouvent être exacerbées par la contamination radioactive. La polymorbidité, ou la présence de multiples maladies chez la même personne, est devenu un phénomène courant dans les territoires contaminés. Il apparaît que le taux de cancer de Tchernobyl est l'une des raisons les plus sérieuses pour définir « l'épidémie de cancer » qui a affligé l'humanité depuis la fin du XX^{ème} siècle.

Malgré l'énorme quantité de données concernant la dégradation de la santé publique dans les zones contaminées, le tableau complet de l'impact de la catastrophe sur la santé est loin d'être dressé. Pour établir une image globale et complexe des conséquences de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé, nous devons avant tout :

- développer et non réduire, comme cela a été récemment fait en Russie, en Ukraine et au Belarus, les études radiologiques, biologiques et médicales ;
- obtenir une reconstruction correcte des

doses individuelles, différenciées par la contribution de différents radionucléides à des niveaux à la fois interne et externe, vérifier les comportements et les habitudes individuels et avoir mandat pour déterminer les doses correctes reposant sur les analyses de chromosomes et de l'émail des dents ;

- réaliser des analyses comparatives des statistiques médicales mensuelles avant et après la catastrophe (en particulier pour la première année suivant la catastrophe) pour les unités administratives (locales et régionales) contaminées à différents niveaux par des radionucléides spécifiques.

Le volume sans cesse croissant de données scientifiques objectives concernant les conséquences négatives de Tchernobyl sur la santé publique, non seulement pour l'ancienne Union Soviétique, mais aussi pour la Suède, la Suisse, la France, l'Allemagne, l'Italie, la Turquie, la Finlande, la Moldavie, la Roumanie, la République Tchèque et d'autres pays, n'est pas source d'optimisme (détails dans les Chapitres 4 à 7). Sans programmes spéciaux à grande échelle d'allègement et de prévention de la morbidité et de la mortalité qui en résulte, les maladies liées à la contamination de Tchernobyl survenue quelque 25 ans auparavant, vont continuer à augmenter.

Il existe plusieurs signaux qui doivent alerter le personnel de santé publique dans les territoires contaminés par les retombées de Tchernobyl au Belarus, en Ukraine et en Russie :

- une absence de corrélation entre les doses annuelles moyennes actuelles et les doses reçues en 1986-87 ;
- une augmentation marquée de la contribution à la dose collective chez les personnes vivant dans des zones faiblement contaminées ;
- des niveaux croissants d'irradiation individuelle chez beaucoup de personnes vivant dans les territoires contaminés (au lieu d'une diminution comme on pouvait logiquement le supposer) ;
- la nécessité de supprimer l'exigence d'une période de latence de 20 ans dans le cas de développement d'un cancer (de la peau, du sein, des poumons, etc.). Les différents cancers ont des périodes

de latence différentes selon l'exposition à des agents cancérigènes divers et variés. Les victimes juvéniles en sont un exemple évident.

La suppression prolongée du système immunitaire induira une augmentation de nombreuses maladies. Du fait des dégâts des radiations sur le système nerveux central en général et sur les structures temporo-limbiques du cerveau, de plus en plus de personnes connaîtront des problèmes de développement intellectuel menaçant toute une population de perte de facultés intellectuelles. Les mutations chromosomiques radio-induites élargiront considérablement le spectre des maladies congénitales, non seulement dans les territoires contaminés, mais aussi par migration dans de nombreuses autres régions et sur plusieurs générations.

Bibliographie

- Bandazhevsky, Yu. I. (1999). Pathology of incorporated ionizing radiation (Belarussian Technological University, Minsk): 136 pp. (en russe).
- Chernobyl Forum (2005). *Chernobyl's Legacy: Health, Environmental and Socio-economic Impacts. Highlights of the Chernobyl Forum Studies* (IAEA, Vienna): 47 pp.
- Chuchalin, A. G. (2002). Functional condition of liquidators' pulmonary system: 7-years follow up study. *Pulmonology* 4: 66-71 (en russe).
- Fedirko, P. (1999). Chernobyl accident and the eye: some results of a prolonged clinical investigation. *Ophthalmology* 2: 69-73.
- Fedirko, P. (2002). Clinical and epidemiological studies of eye occupational diseases in the Chernobyl accident victims (peculiarities and risks of eye pathology formation, prognosis). M.D. Thesis (Institute of Occupational Health, Kiev): 42 pp. (en ukrainien).
- Furitsu, K., Sadamori, K., Inomata, M. & Murata S. (1992). Underestimated radiation risks and ignored injuries of atomic bomb survivors in Hiroshima and Nagasaki. The Investigative Committee of Hibakusha of Hannan Chuo Hospital: 24 pp.
- Godlevsky, I. & Nasvit, O. (1999). Dynamics of Health Status of Residents in the Lugini District after the Accident at the ChNPS. In: Imanaka, T. (Ed.). *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*. KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 149-157.
- Lloyd, A. R., Hales, J. P. & Gandevia S. C. (1988). Muscle strength, endurance and recovery in the postinfection fatigue syndrome. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 51(10): 1316-1322.
- Pshenichnykov, B. V. (1996). Low dose radioactive irradiation and radiation sclerosis ("Soborna Ukraina," Kiev): 40 pp. (en russe).

Partie III. Conséquences de la catastrophe de Tchernobyl pour l'environnement

Alexey V. Yablokov ^a, Vassili B. Nesterenko ^{b †}, Alexey V. Nesterenko ^b
et Natalia E. Preobrajenskaya ^c

^a Académie des Sciences de Russie, Moscou, Russie

^b Institut de radioprotection (BELRAD), Minsk, Belarus

^c Fondation « Sauvez les enfants de l'Ukraine de la catastrophe de Tchernobyl »

Mots clés : Tchernobyl, radionucléides, radiolyse, sol, écosystèmes de l'eau, bioaccumulation, rapport de transition, radiomorphose

Le niveau de radioactivité dans l'atmosphère, l'eau et le sol des territoires contaminés va déterminer le niveau éventuel de radiations pour tout ce qui vit, à la fois directement et à travers la chaîne alimentaire. Les modèles de contamination radioactive changent surtout quand les radionucléides sont transportés par l'eau, le vent et les animaux migrateurs. La terre et l'eau, qui ont été exposées à une contamination faible ou nulle, peuvent se retrouver beaucoup plus contaminées par suite d'un transfert secondaire de substances radioactives. Beaucoup de publications en langue russe ont mis en évidence de tels transferts de radionucléides, ainsi que des changements de concentration et de bioaccumulation dans les sols et l'eau, affectant différents animaux et plantes [voir par ex. les études de Konoplya et Rolevitch, 1996 ; Kutlatchmedov et Polykarpov, 1998 ; Sokolov et Kryvolutsky, 1998 ; Kozubov et Taskaev, 2002]. L'effet des retombées de radionucléides de Tchernobyl sur les écosystèmes et les populations d'animaux, de plantes et de micro-organismes est bien établi.

Dans les Parties I et II, nous avons constamment souligné que nous ne présentions pas toutes les données disponibles sur les conséquences de Tchernobyl, mais seulement des extraits sélectionnés pour refléter les nombreux problèmes et montrer l'énorme étendue de la contamination. De même, dans la Partie III, nous n'avons inclus qu'une partie du matériel concernant l'impact de la catastrophe sur la

biosphère – sur la faune, la flore, l'eau, l'air et le sol. Nous soulignons que, comme pour les conséquences sur la santé publique, qui ne diminuent pas mais dont la portée et la gravité vont plutôt croissant, les conséquences pour la nature ne sont pas pleinement étayées ni complètement comprises et elles peuvent aussi ne pas diminuer.

Le Cs-137 est éliminé des chaînes alimentaires cent fois plus lentement que ce qui avait été prédit juste après la catastrophe [Smith *et al.*, 2000 ; et d'autres]. Les « particules chaudes » se désagrègent beaucoup plus rapidement que ce que l'on attendait, entraînant des émissions secondaires impossibles à prévoir pour plusieurs radionucléides. Le Sr-90 et l'Am-241 progressent dans les chaînes alimentaires beaucoup plus vite que ce qui avait été prévu, car ils sont très solubles dans l'eau [Konoplya, 2006 ; Konoplya *et al.*, 2006 ; et beaucoup d'autres]. La contamination radioactive par Tchernobyl a affecté négativement toutes les composantes de l'environnement, biologiques aussi bien que non vivantes : l'atmosphère, les eaux de surface et de la nappe phréatique et les sols.

Bibliographie

Konoplya, E. F. (2006). Radioecological, medical and biological consequences of the Chernobyl catastrophe. In: Fifth Congress of Radiation Research on Radiobiology, Radioecology and Radiation Safety, April

- 10–14, 2006, Moscow, (Abstracts, Moscow) 2: pp. 101–102 (en russe).
- Konoplya, E. F. & Rolevitch, I. V. (Eds.) (1996). *Ecological, Biological, Medical, Sociological and Economic Consequences of Chernobyl Catastrophe in Belarus* (Minsk): 281 pp. (en russe).
- Konoplya, E. F., Kudryashov, V. P. & Grynevitch, S. V. (2006). Formation of air radioactive contamination in Belarus after the Chernobyl catastrophe. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Sociological Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 91–96 ([//www.ecopolicy.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf](http://www.ecopolicy.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf)) (en russe).
- Kozubov, G. M. & Taskaev, A. I. (2002). *Radiobiological Study of Conifers in a Chernobyl Catastrophic Area* (“DIK,” Moscow): 272 pp. (en russe).
- Kutlatchmedov, Yu. A. & Polykarpov, G. G. (1998). *Medical and Biological Consequences of the Chernobyl Accident* (“Medecol,” Kiev): 172 pp. (en russe).
- Smith, J. T., Comans, R. N. J., Beresford, N. A., Wright, S. M., Howard, B. J. & Camplin, W. C. (2000). Contamination: Chernobyl’s legacy in food and water. *Nature* **405**: p. 141.
- Sokolov, V. E. & Kryvolutsky, D. A. (1998). Change in Ecology and Biodiversity after a Nuclear Disaster in the Southern Urals (“Pentsoft,” Sofia/Moscow): 228 pp.

Chapitre 8. Contamination de l'atmosphère, de l'eau et du sol après Tchernobyl

Alexey V. Yablokov, Vassili B. Nesterenko
et Alexey V. Nesterenko

Après l'accident de Tchernobyl, l'activité particulière (radioactivité) de l'air a atteint ses plus hauts niveaux depuis la fin des essais des armes nucléaires – jusqu'à 1 million de fois plus. Il y a eu, dans les territoires lourdement contaminés, des changements essentiels dans la structure des ions, des aérosols et des gaz de l'air au niveau du sol, mesurés par l'électroconductivité et la radiolyse de l'air. Bien des années après la catastrophe, les aérosols dus aux feux de forêts se sont dispersés sur des centaines de kilomètres. Les radionucléides de Tchernobyl se sont concentrés dans les sédiments, l'eau, les plantes et les animaux, parfois 100 000 fois plus que le niveau naturel local. Les conséquences d'un tel choc sur les écosystèmes aquatiques sont en grande partie inconnues. Les hautes eaux de printemps provoquent la contamination secondaire des écosystèmes d'eau douce par entraînement de Cs-137 et Sr-90. La vitesse de migration verticale des différents radionucléides dans les plaines inondables, les zones marécageuses de plaines, les tourbières, etc., est d'environ 2 à 4 cm par an. Suite à cette migration verticale des radionucléides dans le sol, les plantes, par leur système racinaire profond, les absorbent et les ramènent en surface. Ce transfert est l'un des mécanismes importants observés ces dernières années, qui conduit à l'augmentation de l'irradiation interne de la population dans les territoires contaminés.

Adresse pour toute correspondance : Alexey V. Yablokov, Russian Academy of Sciences, Leninsky Prospekt 33, Office 319, 119071 Moscow, Russia. Tél. : +7-495-952-80-19 ; fax : +7-495-952-80-19. Yablokov@ecopolicy.ru

8.1. Contamination par Tchernobyl de l'air au niveau du sol

Les données ci-dessous montrent la détection d'une contamination de l'air au niveau du sol pratiquement sur tout l'Hémisphère Nord (voir Partie I pour les cartes à ce sujet).

8.1.1. Belarus, Ukraine et Russie

Il existe plusieurs centaines de publications sur les niveaux spécifiques des radionucléides dans les territoires de l'ancienne Union Soviétique – dont les données ci-après sont seulement des exemples.

1. Immédiatement après la première explosion dans la centrale nucléaire de Tchernobyl (CNT), le 26 avril 1986, les concentrations de radionucléides ont radicalement changé d'un

endroit à l'autre et d'un jour à l'autre (Tableau 8.1).

Tableau 8.1. Concentration (Bq/m³) de quelques radionucléides du 28 avril au 1er mai 1986, au Belarus (ville de Minsk) et en Ukraine, province de Kiev [Kryshev et Ryazantsev, 2000]

Radio-nucléide	Ville de Minsk, 28-29 avril	Baryshevka, province de Kiev, 30 avril-1 ^{er} mai
Te-132	74	3 300
I-131	320	300
Ba-140	27	230
Cs-137	93	78
Cs-134	48	52
Se-141	-	26
Se-144	-	26
Zr-95	3	24
Ru-103	16	24

Tableau 8.2. Dynamique de la concentration de quelques radionucléides (Bq/m³) dans l'atmosphère de la ville de Tchernobyl de 1986 à 1991 [Kryshev et Ryazantsev, 2000]

Année	Sr-90	Ru-106	Cs-137	Se-144
Juillet-déc. 1986	n/a	13 000	5 000	34 000
1987	n/a	4 000	2 000	12 000
1988	430	400	600	1 400
1989	130	-	90	160
1990	52	-	80	-
1991	52	-	100	-

2. Le tableau 8.2 montre l'évolution des concentrations moyennes annuelles de quelques radionucléides dans l'atmosphère près de la centrale nucléaire de Tchernobyl.

3. On a noté des changements fondamentaux dans la structure des ions, des aérosols et des gaz de l'air au niveau du sol dans la zone de la catastrophe. Une année plus tard, à l'intérieur d'une zone de 7 km autour de la centrale nucléaire de Tchernobyl, l'électro-conductivité de l'air au niveau du sol était 240 à 570 fois plus élevée que dans les territoires moins contaminés situés à plusieurs centaines de km de là [Smirnov, 1992]. Les concentrations d'air ionisé au niveau du sol dans les territoires contaminés près de la centrale nucléaire de Tchernobyl ont régulièrement dépassé ce niveau de 130 à 200 fois dans la province de Kalouga en Russie et dans celle de Jitomir en Ukraine [Kryshev et Ryazantsev, 2000]. Au-delà de la zone des 30 km, la radiolyse de l'air altérerait les écosystèmes.

4. D'avril à mai 1986, la radioactivité de l'air au niveau du sol au Belarus a augmenté jusqu'à un million de fois. Il y a eu ensuite une diminution graduelle jusqu'à la fin de 1986, puis le taux a chuté brutalement. Dans la réserve naturelle de Berezinsky à 400 km de Tchernobyl, les 27 et 28 avril 1986, les concentrations en I-131 et Cs-137 dans l'air atteignaient respectivement 150-200 Bq/m³ et 9,9 Bq/m³. À la mi-1986, à Khoïniki, la concentration de Cs-137 dans l'air au niveau du sol était de $3,2 \times 10^{-2}$ Bq/m³ ; à Minsk elle était de $3,8 \times 10^{-3}$ Bq/m³, des niveaux de 1 000 à 10 000 fois plus élevés qu'avant la catastrophe, où ils se situaient en-dessous de 10^{-6} Bq/m³. La concentration en Pu-239 et Pu-240 de l'air au niveau du sol, au milieu de l'année 1986, était de $8,3 \times 10^{-6}$ Bq/m³ à Khoïniki et de $1,1 \times 10^{-6}$ Bq/m³ à

Minsk, niveaux 1 000 fois plus élevés qu'avant la catastrophe, où ils étaient mesurés à moins de 10^{-9} Bq/m³ [Gres', 1997]. Pour épurer l'air au niveau du sol, la période de « demi-vie » du Pu-139 et du Pu-240 a été de 14,2 mois et il a fallu jusqu'à 40 mois pour le Cs-137 [Nesterenko, 2005]. De nombreuses années après la catastrophe, des niveaux encore très élevés de radionucléides étaient relevés dans l'air au niveau du sol (Figure 8.1).

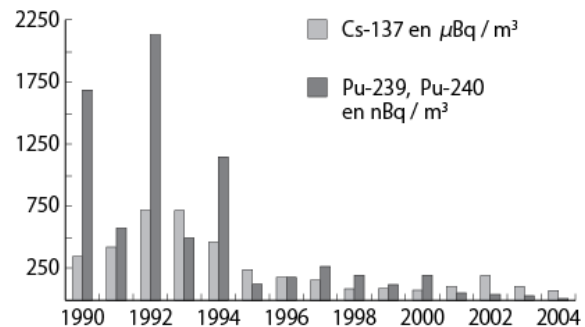


Figure 8.1. Dynamique des radionucléides Pu-239, Pu-240 et Cs-137 dans l'air de surface à Khoïniki, Belarus, 1990-2004 [Konoplya et al., 2006]

5. La radioactivité de l'air au niveau du sol augmente notablement après les travaux agricoles (labourage, hersage, etc.) et d'autres activités créatrices de poussière. Les niveaux de radionucléides ont tendance à augmenter dans l'air de surface pendant les mois de printemps et d'été, surtout par temps sec.

6. La dynamique de la contamination radioactive de l'air au niveau du sol au Belarus résulte de trois composantes : (1) la situation radio-écologique générale ; (2) une composante cyclique liée aux changements de saisons (c'est-à-dire aux activités agricoles) ; et (3) une composante aléatoire, conséquence de nombreux facteurs humains et naturels. Cette dernière a été fortement mise en évidence en 1992, quand d'importants feux de forêts ont ravagé le Belarus. Leur impact sur le niveau radioactif de l'atmosphère a été si grand qu'il a conduit en milieu d'année à une augmentation marquée de la concentration de radionucléides dans l'air au niveau du sol et très probablement de la contamination humaine par inhalation. Dans les territoires à haut niveau de contamination radioactive du sol (terre, eau, végétation), l'air chaud dû aux incendies a entraîné les radionucléides en altitude jusqu'à plus de

8. Contamination de l'atmosphère, de l'eau et du sol

3 km et les a transportés sur des centaines de kilomètres [Konoplya *et al.*, 2006].

7. En Russie, l'activité bêta liée à Tchernobyl a été détectée plusieurs jours après le 26 avril 1986 à Briansk, Toula, Kalouga, Orel, Voronej, Smolensk et Nijni Novgorod (Gorky) ainsi qu'à Rostov, Tambov et dans les provinces de Penza en République de Carélie dans la partie européenne du pays ; en Oural (province de Sverdlovsk), dans le secteur le plus oriental de la Russie (Khabarovsk et Vladivostok) et dans certains lieux, le niveau était plus de 10 000 fois supérieur à celui d'avant la catastrophe [Kryshev et Ryazantsev, 2000].

8. Plusieurs années après la catastrophe, la radioactivité secondaire due aux poussières et aérosols est devenue le premier facteur de contamination. Le 6 septembre 1992, des aérosols radioactifs soulevés par un fort vent depuis la zone des 30 km de Tchernobyl ont atteint les environs de Vilnius en Lituanie (à environ 300 km) en 5 à 7 h : les concentrations de Cs-137 y ont augmenté d'un facteur 100 [Ogorodnykov, 2002]. On retrouve la même échelle de dispersion de radionucléides à la suite des feux de forêts qui ravagent de temps à autre de vastes territoires contaminés du Belarus, de Russie et d'Ukraine. Par exemple, en juillet et août 2010, à Obninsk (région de Kalouga), la concentration moyenne mensuelle du césium-137 a respectivement doublé et triplé ; certains jours d'août, les concentrations maximales en moyenne quotidienne dépassaient jusqu'à 24 fois le niveau de fond [Ivanov *et al.*, 2010]. Ce fut un effet des incendies de forêts radiocontaminées, probablement dans la région de Briansk à 200-300 km d'Obninsk. Au cours des premiers jours qui ont suivi la catastrophe, on a enregistré un brusque accroissement de la conductivité électrique de l'air à des centaines et des centaines de kilomètres, en Suède et en Finlande [Israelsson *et al.*, 1988 ; Tuomi, 1988, 1989].

8.1.2. Autres pays

Voici quelques exemples de la contamination radioactive de l'atmosphère dans l'Hémisphère Nord.

1. CANADA. Trois nuages radioactifs venus de Tchernobyl ont atteint le Canada par l'est : le premier le 6 mai, le second le 14 mai, le troisième les 25 et 26 mai. Les retombées incluaient les radionucléides suivants : Be-7, Fe-59, Nb-95, Zr-95, Ru-103, Ru-106, Cs-137,

I-131, La-141, Ce-141, Ce-144, Mn-54, Co-60, Zn-65 et Ba-140 [Roy *et al.*, 1988].

2. DANEMARK. Du 27 au 28 avril, la concentration moyenne de l'air en Cs-137 était de 0,24 Bq/m³, en Sr-90 de 5,7 mBq/m³, en Pu-239 + Pu-240 de 51 µBq/m³ et en Am-241 de 5,2 µBq/m³ [Aarkrog, 1988].

3. FINLANDE. C'est en Finlande et en Suède qu'a été établie la comptabilité la plus détaillée des retombées des radionucléides de Tchernobyl pendant les premiers jours suivant la catastrophe (Tableau 8.3).

Tableau 8.3. Radioactivité dans l'air (mBq/m³) de 21 radionucléides à Nurmijärvi, Finlande, le 28 avril 1986 [Sinkko *et al.*, 1987]

Nucléide	Activité	Nucléide	Activité
I-131	223 000	Te-131m	1 700
I-133	48 000	Sb-127	1 650
Te-132	33 000	Ru-106	630
Cs-137	11 900	Ce-141	570
Cs-134	7 200	Cd-115	400
Ba-140	7 000	Zr-95	380
Te-129m	4 000	Sb-125	253
Ru-103	2 880	Ce-143	240
Mo-99	2 440	Nd-147	150
Cs-136	2 740	Ag-110m	130
Np-239	1 900		

4. JAPON. Deux nuages radioactifs de Tchernobyl ont été détectés au-dessus du Japon, l'un à une altitude de 1 500 m dans les premiers jours de mai, l'autre à la fin mai à une altitude de plus de 6 000 m [Higuchi *et al.*, 1988]. Jusqu'à 20 radionucléides ont été détectés dans l'air au niveau du sol dont le Cs-137, l'I-131 et le Ru-103. Les concentrations dans l'air au niveau du sol en Cs-131, Cs-134, Cs-137 au nord-ouest du Japon ont augmenté de plus de 1 000 fois [Aoyama *et al.*, 1986 ; Ooe *et al.*, 1988]. Des taux notables en Cs-137 dans l'atmosphère ont été relevés au Japon jusqu'à fin 1988 [Aoyama *et al.*, 1991].

5. YOUGOSLAVIE. L'augmentation du rapport Pu-238/Pu-239-240 dans l'air du site de Vinca-Belgrade au niveau du sol, du 1^{er} au 15 mai 1986, confirme que Tchernobyl en était la source [Mani-Kudra *et al.*, 1995].

6. ÉCOSSE. Les retombées radioactives le soir du 3 mai incluaient : Te-132, I-132, I-131, Ru-103, Cs-137, Cs-134 et Ba-140/La-140 [Martin *et al.*, 1988].

8. Contamination de l'atmosphère, de l'eau et du sol

7. ÉTATS-UNIS. Des nuages radioactifs de Tchernobyl ont été repérés dans la zone de la mer de Behring du Pacifique Nord [Kusakabe et Ku, 1988] et ils ont atteint l'Amérique du Nord. Les panaches de Tchernobyl ont traversé l'Arctique au niveau de la basse troposphère et le Pacifique au niveau de la troposphère moyenne. Les premières radiations mesurées sont arrivées aux États-Unis le 10 mai et il y a eu un second pic du 20 au 23 mai. La seconde phase a apporté une activité des Ru-103 et Ba-140 beaucoup plus forte que celle du Cs-137 [Bondietti *et al.*, 1988 ; Bondietti et Brantley, 1986]. L'activité particulière de l'air aux USA a atteint ses plus hauts niveaux depuis la fin des essais d'armes nucléaires [US EPA, 1986]. Des exemples de cette contamination atmosphérique sont présentés dans le tableau 8.4.

Le tableau 8.5 résume quelques exemples de contamination de l'air au niveau du sol dans plusieurs pays, suite à la catastrophe de Tchernobyl.

Tableau 8.4. Exemples de concentration en I-131, Cs-137, Cs-134 dans l'air au niveau du sol, aux États-Unis après la catastrophe de Tchernobyl en mai 1986 [Larsen et Juzdan, 1986 ; Larsen *et al.*, 1986 ; US EPA, 1986 ; Toppan, 1986 ; Feely *et al.*, 1988 ; Gebbie et Paris, 1986 ; Vermont, 1986]

Radionucléide	Localisation	Activité
I-131	New York, NY	20 720 µBq/m ³
	Rexburg, ID	11 390 µBq/m ³
	Portland, ME	2,9 pCi/m ³
	Augusta, ME	0,80 pCi/m ³
	Barrow, AL	218,7 fCi/m ³
	Mauna Loa, HI	28,5 fCi/m ³
Cs-137	New York, NY	9 720 µBq/m ³
	Barrow, AL	27,6 fCi/m ³
	Mauna Loa, HI	22,9 fCi/m ³
Cs-134	Mauna Loa, HI	11,2 fCi/m ³
	Barrow, AL	18,6 fCi/m ³
Bêta brut	Portland, ME	1,031 pCi/m ³
	Lincoln, NE	14,3 pCi/m ³
	Vermont	0,113 pCi/m ³

Tableau 8.5. Exemples de concentration en divers radionucléides dans l'air au niveau du sol dans l'Hémisphère Nord après la catastrophe de 1986

Radionucléide	Concentration	Localisation	Date	Référence
I-131	223 Bq/m ³	Nurmijärvi, Finlande	28 avril	RADNET, 2008
	251 Bq/m ³	Revelstoke, B.C., Canada	13 mai	
	176 Bq/m ³	Québec, Canada	5-6 mai	
	20,7 Bq/m ³	New York, NY	mai	
	0,8 Bq/m ³	Japon	5 mai	
Cs-137	9,7 Bq/m ³	Vienne, Autriche	30 avril	Imanaka et Koide, 1986
Ru-103	62,5 Bq/m ³			Irlweck <i>et al.</i> , 1993
Bêta brut	160 Bq/m ³	Bulgarie	1 ^{er} mai	Pourchet <i>et al.</i> , 1997
	100 Bq/m ³	Munich, Allemagne	30 avril	Hotzl <i>et al.</i> , 1987
Pu-239 + Pu-240	89 mBq/m ³	Vienne, Autriche	mai	Irlweck <i>et al.</i> , 1993
	0,004 mBq/m ³ *	Paris, France	29-30 avril	Thomas et Martin, 1986

* En 1984, l'activité totale du Pu-239 + Pu-240 était 400 à 100 fois moindre (10 à 40 nBq/m³)

La science moderne est loin de comprendre ou même de pouvoir enregistrer tous les effets radiogéniques spécifiques de chaque radionucléide de Tchernobyl. Cependant, les effets des produits de la radiolyse dus à de si énormes retombées radioactives demandent une attention particulière. L'expression « radiotoxines atmosphériques » apparaît après la catastrophe [Gagarinski *et al.*, 1994]. Comme noté plus haut, la dispersion aérienne de radionucléides

peut être un effet secondaire dû aux incendies de forêts.

8.2. Contamination par Tchernobyl des écosystèmes aquatiques

La contamination de Tchernobyl a traversé l'Hémisphère Nord pendant des heures, des jours, des semaines et s'est déposée grâce à la pluie et à la neige, aboutissant rapidement dans l'eau des rivières, des lacs et des mers. De

nombreux fleuves et rivières du Belarus, d'Ukraine, de Russie, de Lettonie et de Lituanie se sont retrouvés contaminés après la catastrophe, dont les bassins hydrographiques des fleuves et rivières Dniepr, Soj, Pripiat, Niémen, Volga, Don et Daugava (ou Dvina occidentale).

8.2.1. Belarus, Ukraine et Russie

1. Dans les premiers jours après la catastrophe (période de contamination primaire par aérosols), l'activité totale dans l'eau de la rivière Pripiat près de la CNT dépassait 3 000 Bq/l. C'est seulement fin mai 1986 que l'activité est redescendue à 200 Bq/l. La concentration maximale en Pu-239 dans la rivière Pripiat était de 0,37 Bq/l.

2. De mai à juillet 1986 l'intensité du rayonnement dans la partie nord du réservoir d'eau de Kiev a été 100 000 fois plus élevée qu'avant la catastrophe [Ryabov, 2004].

3. La concentration en I-131 dans l'eau de surface de la province de Leningrad (ville de Sosnovy Bor) était de 1 300 Bq/l le 2 mai et de 740 Bq/l le 4 mai [Kryshev et Ryazantsev, 2000 ; Blynova, 1998].

4. Pendant les premiers temps après la catastrophe, la zone littorale fut lourdement contaminée par la radioactivité. Au cours des années suivantes, des masses d'eau ont subi une contamination secondaire du fait de l'entraînement du Cs-137 et du Sr-90 par les hautes eaux de printemps et des retombées des incendies de forêts [Ryabov, 2004].

5. En juillet 1986, les doses des radionucléides apparus les premiers dans les argiles des plans d'eau, près de la CNT, étaient de 27 kBq/kg pour le Nb-98, de 20,1 kBq/kg pour le Ce-144 et de 19,3 kBq/kg pour le Zr-96. En mars-avril 1987, la concentration de radionucléides dans les plantes aquatiques atteignait 29 kBq/kg pour le Nb-95 et, dans les oiseaux, jusqu'à 146 kBq/kg pour le Zr-95 [Kryshev *et al.*, 1992].

6. La contamination par le Sr-90 dans le lit majeur du Dniepr s'est concentrée principalement dans les mollusques bivalves, 10 à 40% se sont concentrés dans les plantes aquatiques, environ 2% dans les poissons, de 1 à 10% dans les gastéropodes et moins de 1% dans le plancton [Gudkov *et al.*, 2006].

7. Dans l'écosystème du lit majeur du Dniepr, le Cs-137 se répartissait comme suit : 85 à 97% dans les plantes aquatiques, 1 à 8% dans le zoobenthos, 1 à 8% dans les poissons et environ 1% dans les gastéropodes [Gudkov *et al.*, 2006].

8. Du fait de la bioaccumulation, le taux de radionucléides peut être des milliers de fois plus élevé dans les plantes, les invertébrés et les poissons que dans l'eau (Tableau 8.6).

9. Dans les territoires contaminés par le Cs-137 à des niveaux de 0,2 Ci/km², le taux du transfert qui s'effectue de l'eau vers les plantes des tourbières peut varier de 15 à 60 fois d'une année sur l'autre [Borysevitch et Poplyko, 2002].

Tableau 8.6. Coefficients d'accumulation de radionucléides de Tchernobyl dans quelques organismes vivants* du Dniepr et du réservoir de Kiev de 1986 à 1989 [Kryshev et Ryazantsev, 2000 : tableaux 9.12, 9.13, 9.14 ; Gudkov *et al.*, 2004]

Radionucléide	Mollusques	Plantes aquatiques	Poissons (brème, sandre, gardon, brème argentée)
Ce-141, Ce-144	3 000-4 600	20 000-24 000	500-900
Ru-103, Ru-106	750-1 000	11 000-17 000	120-130
Cs-134, Cs-137	178-500	2 700-3 000	100-1 100
Zr-95	2 900	20 000	190
Nb-95	3 700	22 000	220
Sr-90	440-3 000	240	50-3 000
Pu	-	4 175	98
Am	-	7 458	1 667
I-131	120	60	2-40

* Concentration dans la faune et la flore aquatique, comparée à la concentration dans l'eau.

10. Plus de 90% du Pu et de l'Am dans les écosystèmes aquatiques se retrouvent dans les sédiments [Borysevitch et Poplyko, 2002].

11. Les concentrations en Cs-137 et Sr-90 ont augmenté dans les eaux souterraines en corrélation avec l'intensité de contamination des terres et des zones d'aération. Le plus haut niveau de Sr-90 (jusqu'à 2,7 Bq/l) a été observé dans les rivières qui traversent les territoires lourdement contaminés. Dans le lit majeur de la rivière Pripiat, dans les territoires contaminés à plus de 1 480 kBq/m², l'activité du Cs-137 a atteint 3 Bq/l et celle du Sr-90 a atteint 0,7 Bq/l dans les eaux profondes [Konoplya et Rolevitch, 1996].

12. Pendant les hautes eaux de printemps, le Cs-137 qui s'est accumulé dans les sédiments est remis en suspension, ce qui conduit à une nette augmentation de la radioactivité dans l'eau. Jusqu'à 99% du Sr-90 sont à nouveau dissous [Konoplya et Rolevitch, 1996].

13. Du fait de sa plus grande solubilité, le Sr-90 quitte l'écosystème de la rivière bien plus vite que le Cs-137. En même temps, le Cs-137 peut s'accumuler jusqu'à 93×10^{-9} Ci/kg dans l'herbe et le gazon des terres inondables [Borysevitch et Poplyko, 2002].

14. Le taux de Cs-137 et de Sr-90 dans l'eau a diminué avec le temps, mais il a augmenté dans les plantes aquatiques et les sédiments [Konoplya et Rolevitch, 1996].

15. L'accumulation de radionucléides est plus intense dans les sédiments des lacs, par suite du pourrissement des plantes annuelles en l'absence de drainage. Dans les 5 à 9 ans après la catastrophe, dans les eaux les plus riches en herbes, il y a eu une décroissance du Cs-137 et du Sr-90 dans l'eau, mais, simultanément, une augmentation de la radioactivité dans les sédiments [Konoplya et Rolevitch, 1996].

16. Dans le lac Svjetsko (district de Vetka, Belarus), la concentration totale de radionucléides dans l'eau était de 8,7 Bq/l, de 3 700 Bq/kg dans les plantes aquatiques et jusqu'à 39 000 Bq/kg dans les poissons [Konoplya et Rolevitch, 1996].

8.2.2. Autres pays

1. FINLANDE, FRANCE et CANADA. Les données sur quelques concentrations en radionucléides dans les eaux de pluie et de surface en Finlande, en France et au Canada sont rassemblées dans le tableau 8.7.

Tableau 8.7. Concentrations de radionucléides dans les eaux de pluie et de surface dans plusieurs pays en 1986-1987

Radionucléide	Concentration maximale	Localisation	Date	Références
Cs-137	5 300 Bq/m ³ *	Finlande	1986	Saxen et Aaltonen, 1987
	325 mBq/litre	Ontario, Canada	mai 1986	Joshi, 1988
	700 Bq/litre	Paris, France	29-30 avril 1986	Thomas et Martin, 1986
Sr-89	11 000 Bq/m ³	Finlande	1986	Saxen et Aaltonen, 1987
Te-132	7 400 Bq/litre	Paris, France	29-30 avril 1986	Thomas et Martin, 1986

* Environ 1 000 fois supérieure à la concentration d'avant la catastrophe et jusqu'à 80 fois supérieure aux valeurs les plus élevées après les essais d'armes nucléaires des années 60.

2. GRANDE BRETAGNE (ÉCOSSE). Le soir du 3 mai, l'un des nuages de Tchernobyl a contaminé la mer en Te-132/I-132, I-131, Ru-103, Cs-137, Cs-134 et Ba-140/La-140, totalisant 7 000 Bq/l [Martin *et al.*, 1988].

3. GRÈCE. La composition en radionucléides et leur activité en Grèce en mai 1986 sont présentées dans le Tableau 8.8.

4. MER DU NORD. Dans un piège à sédiments de la mer du Nord, la plus haute activité a atteint 670 000 Bq/kg, avec une forte prévalence de l'isotope Ru-103 [Kempe et Nies, 1987]. En juin 1986, les niveaux de radionucléides dans l'écume de mer étaient de plu-

sieurs milliers de fois supérieurs à ceux de l'eau de mer. Le Cs-137 et le Cs-134 ont migré rapidement jusque dans les sédiments, tandis que le Ru-106 et l'Ag-110 sont restés dans l'écume [Martin *et al.*, 1988].

5. HOLLANDE. L'I-131, le Te-132, l'I-132, le La-140, le Cs-134, le Cs-137 et le Ru-103 ont été mesurés dans l'eau de pluie de la région de Nimègue du 1^{er} au 21 mai 1986. Le 1^{er} jour de pluie, leur activité totale était de 9 kBq/l (2,7 kBq/l pour l'I-131 et 2,3 kBq/l pour le Te-132 et pour l'I-132). L'activité totale condensée par km² pendant cette période était d'environ 55 GBq [Beentjes et Duijsings, 1987].

8. Contamination de l'atmosphère, de l'eau et du sol

Tableau 8.8. Composition et activité des retombées radioactives de Tchernobyl en Thessalonique, Grèce, (dépôt humide total en Bq/m²), les 5 et 6 mai 1986 [Papastefanou et al., 1988a]

Radionucléide	Concentration maximale
I-131	117 278
Te-132	70 700
I-132	64 686
Ru-103	48 256
Ba-140	35 580
Cs-137	23 900
La-140	15 470
Cs-134	12 276

6. POLOGNE. Les valeurs moyennes du Pu-239 + Pu-240 dans la zone économique polonaise de la mer Baltique variaient de 30 à 98 Bq/m² dans trois lieux d'échantillonnage. La plus haute concentration de Pu dans les sédiments venait probablement de la Vistule qui, en 1989, délivrait 192 MBq de Pu-239 + Pu-240 venus de Tchernobyl dans la mer Baltique [Skwarzec et Bojanowski, 1992]. La charge totale en Cs-137 du lac Sniardwy fut estimée, en moyenne, à 6 100 Bq/m² [Robbins et Jasinski, 1995].

7. SUÈDE. La concentration moyenne annuelle de Cs-137 dans les eaux de surface près de l'île de Gotland, de 1984 à 2004, est montrée sur la figure 8.2.

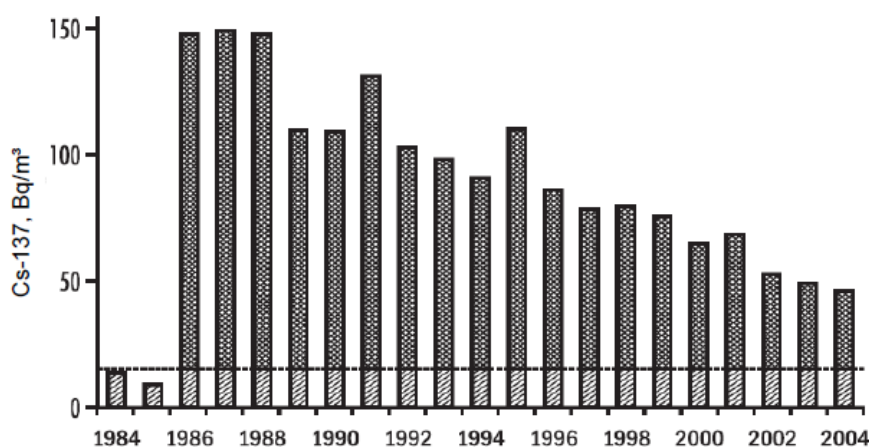


Figure 8.2. Moyenne annuelle de concentration du Cs-137 (Bq/m³) dans les eaux de surface de l'est et de l'ouest du Gotland (prélèvements à une profondeur ≤10 m) de 1984 à 2004. La ligne en pointillé indique le taux moyen avant Tchernobyl (1984-1985) [HELCOM, 2006]

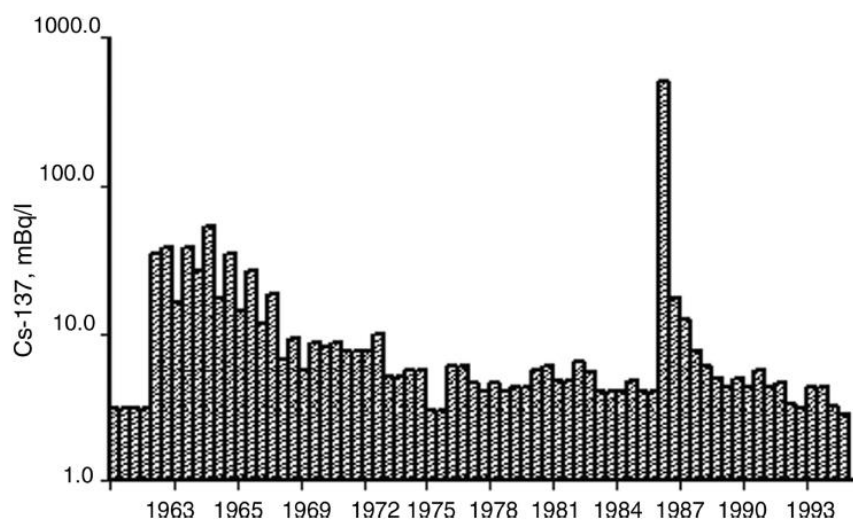


Figure 8.3. Concentration de Cs-137 (mBq/l) dans les eaux de surface de la mer Tyrrhénienne de 1960 à 1995 [Agence européenne de l'environnement, 1999]

8. MER TYRRHÉNIENNE (ITALIE). La concentration du Cs-137 dans les eaux de surface de la mer Tyrrhénienne a nettement augmenté immédiatement après la catastrophe (Figure 8.3). D'après les calculs, la quantité globale du seul césium-137 retombé avec les précipitations atmosphériques à la surface de la mer a été de 3 PBq [UNSCEAR, 2011].

9. MER BALTIQUE. Des calculs montrent que la quantité globale du seul césium-137 retombé avec les précipitations atmosphériques à la surface de la mer a été de 2,8 PBq [UNSCEAR, 2011].

8.3. Contamination des sols par Tchernobyl

Le manteau terrestre accumulera les radionucléides de Tchernobyl à longue demi-vie pendant des siècles. Comme dans les études précédentes, le matériel présenté ici est seulement une sélection représentative d'un très important corpus de données existantes.

8.3.1. Belarus, Ukraine et Russie

1. Au fil du temps, dans les podzols sous strate herbacée et les sols sablo-argileux fortement podzolisés, les radionucléides se déplacent de la surface vers les couches profondes, provoquant une concentration des radionucléides dans la rhizosphère. C'est de cette façon que les sols faiblement contaminés en surface transfèrent la radioactivité dans les parties végétatives (et comestibles) des plantes [Borysevich et Poplyko, 2002].

2. Dans les couches superficielles (0 à 5 cm) des pâturages naturels et labourés situés entre 50 et 650 km de Tchernobyl, les niveaux d'activité du Cs-137 s'échelonnent de 1 à 25 kBq/m². Les niveaux de contamination sont plus élevés dans les herbages naturels que dans les prairies labourées, avec une activité du Sr-90 de 1,4 à 40 kBq/m² [Salbu *et al.*, 1994].

3. Les sols les plus fortement contaminés par l'I-131 se situent dans le nord de l'Ukraine et les provinces russes avoisinantes, mais quelques « taches » de contamination du sol par iode radioactif ont été détectées dans beaucoup d'endroits, dont la province de Kalinin-grad sur le rivage de la Baltique [Makhon'ko, 1992].

4. Dans de nombreux endroits, jusqu'à des centaines de kilomètres de la CNT vers l'ouest, le nord-ouest et le nord-est, les niveaux de

contamination du sol par le Cs-137 dépassaient 1 489 kBq/m² [Ktyshev et Ryazantsev, 2000].

5. Dans les milieux humides tels que les plaines inondables, les zones marécageuses de plaines et les tourbières, la migration verticale a lieu à différentes vitesses selon les différents nucléides (Tableau 8.9).

Tableau 8.9. Nombre d'années nécessaires pour obtenir une réduction de 50% du taux de chaque radionucléide dans la partie supérieure du sol (0-5 cm), à 50 et à 200 km de la CNT [Rapport national du Belarus, 2006]

Radionucléide	Années	
	Jusqu'à 50 kms	Jusqu'à 200 kms
Pu-239, Pu-240	>50	6-7
Am-241	>50	6-7
Sr-90	7-12	7-12
Cs-137	24-27	10-17

6. La décontamination spontanée des sols par migration verticale des radionucléides peut atteindre 2 à 4 cm/an [Bakhur *et al.*, 2005].

7. La granulométrie des sols et leurs caractéristiques agrochimiques modifient le facteur de transfert du Cs-137 (voir Chapitre 9). Il y a, en gros, une variation de 10 fois (de 0,01 à 0,11 Bq/kg) dans le degré de transition du Cs-137 du sol vers la rhizosphère, selon que le sol est un podzol sous strate herbacée, un terreau, un sol sablo-argileux ou sableux [Borysevitch et Poplyko, 2002].

8.3.2. Autres pays

1. AUTRICHE. Les régions alpines furent parmi les plus lourdement contaminées en dehors de l'ex-Union Soviétique. En mai 1986, dans la province de Salzbourg, le dépôt moyen de Cs-137 fut de 31 kBq/m² avec des valeurs maximales dépassant 90 kBq/m² [Letner *et al.*, 2007], voire 200 kBq/m² [Energy, 2008]. Dix ans après la catastrophe, 54% du Cs-137 originaire de Tchernobyl s'étaient enfoncés de 2 cm dans le sol d'une forêt d'épicéas et moins de 3% avaient atteint les couches à plus de 20 cm de profondeur. La moyenne de demi-vie de rétention du Cs-137 était de 5,3 ans dans les couches de 0 à 5 cm, de 9,9 ans dans les couches de 5 à 10 cm et de 1,78 an dans les couches au-delà de 10 cm [Strebl *et al.*, 1996].

2. BULGARIE. L'activité du Cs-137 en surface allait jusqu'à 81,8 kBq/m² dans les territoires les plus contaminés, soit huit fois plus

8. Contamination de l'atmosphère, de l'eau et du sol

que la quantité cumulée déposée pendant le pic des essais d'armes nucléaires [Pourchet *et al.*, 1997].

3. CROATIE. En 1986 les dépôts des retombées de Cs-137 ont atteint 6,3 kBq/m² [Franić *et al.*, 2006].

4. DANEMARK. La moyenne totale des dépôts de Cs-137 et de Sr-90 au Danemark a atteint respectivement 1 300 et 38 Bq/m², suite à Tchernobyl. La plupart des débris se sont déposés durant les 15 premiers jours de mai. Dans les îles Féroé, les dépôts moyens de Cs-137 étaient de 2 kBq/m² et, au Groenland, ils ont atteint 188 Bq/m² [Aarkrog, 1988].

5. ESTONIE. Le dépôt au sol de Cs-137 par Tchernobyl était de 40 kBq/m² [Realo *et al.*, 1995].

6. FRANCE. La contamination maximale des sols a atteint 545 kBq/m² [CRIIRAD, 1988] et la radioactivité des retombées de Tchernobyl dans les Alpes françaises a atteint 400 Bq/m² [Pinglot *et al.*, 1994].

7. ALLEMAGNE. La moyenne des dépôts au sol de tout le césium a été de 6 kBq/m² [Energy, 2008] et la concentration de radionucléides dans les régions du sud du pays fut beaucoup plus élevée (Tableau 8.10).

Tableau 8.10. Dépôts au sol (en kBq/m²) de quelques radionucléides de Tchernobyl en Allemagne en 1986

Radionucléide	Localisation	Concentration maximale	Références
Cs-137	Haute Souabe	43	Bilo <i>et al.</i> , 1993
	Bonn	1,38	Clooth et Aumann, 1990
Cs-134 + Cs-137	Sud de l'Allemagne	60	Energy, 2008
Te-132	Munich*	120	Gogolak <i>et al.</i> , 1986

* 3 juin 1986 ; dépôts secs et humides cumulés.

Tableau 8.11. Exemples de contamination des sols par le Cs-137 en Norvège après la catastrophe de Tchernobyl, 1986

Radioactivité maximale	Localisation	Références
22 kBq/kg *	Graviers des cours d'eau	Hongve <i>et al.</i> , 1995
500 kBq/m ² *	Moyenne dans les sédiments	Hongve <i>et al.</i> , 1995
22 Bq/kg	Glaciers du Svalbard	Pinglot <i>et al.</i> , 1994
80 kBq/m ²	Dovre fjell	Solem et Gaare, 1992
54 kBq/m ² (moyenne)	Pâturages du sud de la Norvège	Staaland <i>et al.</i> , 1995
200 kBq/m ² *	Sols des zones contaminées	Blakar <i>et al.</i> , 1992

* Cs-134 + Cs-137.

8. IRLANDE. Les retombées initiales de Tchernobyl en Cs-137/Cs-134 ont atteint une concentration de 14 200 Bq/m², un niveau 20 fois supérieur à celui d'avant la catastrophe [McAuley et Moran, 1986].

9. ITALIE. Dans les régions montagneuses du Frioul-Vénétie julienne, les premiers dépôts de Cs-137 de Tchernobyl variaient de 20 à 40 kBq/m². La concentration du Cs-137 dans les sols à une profondeur de 0 à 5 cm n'a diminué que de 20% au cours des 5 ans suivant la catastrophe [Velasko *et al.*, 1997].

10. JAPON. Jusqu'à 20 radionucléides ont été détectés sur le sol, dont le Cs-137, l'I-131

et le Ru-103, conduisant à des niveaux respectifs de 414, 19 et 1 Bq/m² [Aoyama *et al.*, 1987].

11. NORVÈGE. De nombreux endroits en Norvège ont été lourdement contaminés après la catastrophe (Tableau 8.11).

12. POLOGNE. Dans la Pologne centrale, le sol a été contaminé par toute une série de radionucléides de Tchernobyl (Tableau 8.12). Dans la partie nord-est du pays, les niveaux de dépôts de Cs-137 + Cs-134 au sol ont atteint 30 kBq/m² et ceux d'I-131 + I-132 furent de 1 MBq/m² [Energy, 2008].

8. Contamination de l'atmosphère, de l'eau et du sol

13. SUÈDE. La moyenne des dépôts de Cs-137 dans les sols des forêts était supérieure à 50 kBq/m² [McGee *et al.*, 2000] et les dépôts maximaux de Cs-137 + Cs-134 au sol atteignaient 200 kBq/m² [Energy, 2008].

Tableau 8.12. Spectre et activité de radionucléides de Tchernobyl dans des échantillons de sol (kBq/m² dans la couche 0-5 cm) de la région de Cracovie, le 1^{er} mai 1986 [Broda, 1987]

Radionucléide	Activité	Radionucléide	Activité
Te-132	29,3	Ba-140	2,5
I-132	25,7	La-140	2,4
I-131	23,6	Mo-99	1,7
Te-129m	8,0	Ru-106	1,3
Ru-103	6,1	Sb-127	0,8
Cs-137	5,2	Cs-136	0,7
Cs-134	2,7	Total	Jusqu'à 360

14. ROYAUME-UNI. Des exemples de contamination radioactive dans le sol sont présentés dans le tableau 8.13. La charge en Cs-137 des sols des plaines inondables était 100 fois supérieure à celle des sols situés au-dessus de ces plaines [Walling et Bradley, 1988]. Le 3 mai, l'un des nuages de Tchernobyl a contaminé les terres d'Écosse par le Te-132/I-132, l'I-131, le Ru-103, le Cs-137, le Cs-134 et le Ba-140/La-140, totalisant 41 kBq/m² [Martin *et al.*, 1988].

15. ÉTATS-UNIS. Les observations de contamination des sols par Tchernobyl aux États-Unis sont présentées dans le tableau 8.14. Les dépôts de Cs-137 au sol ont été proches ou ont dépassé les retombées totales des essais d'armes nucléaires [Dibb et Rice, 1988]. Le spectre des retombées au sol de Tchernobyl aux États-Unis incluait le Ru-103, le Ru-106, le Cs-134, le Cs-136, le Cs-137, le Ba-140, le La-140, l'I-132, le Zr-95, le Mo-95, le Ce-141 et le Ce-144 [Larsen *et al.*, 1986].

Tableau 8.13. Contaminations des sols (en kBq/m²) par les radionucléides – I-131 et Cs-134/Cs-137 – de Tchernobyl dans quelques régions du Royaume-Uni, 1986

Radionucléide	Activité	Localisation	Date	Références
I-131	26	Lerwick, Îles Shetland	1-6 mai	Cambray <i>et al.</i> , 1987
	41	Holmrook, Cambrie		
Cs-137	7,4	Sellafield, Cambrie	mai	Fulker, 1987
	15	Irlande	1986	Rafferty <i>et al.</i> , 1993
	0,6	Berkeley, Gloucestershire	mai	Nair et Darley, 1986
Cs-134/Cs-137	100	Écosse	mai	Wynne, 1989
Bêta brut	88,4	Strathclyde, Écosse	6 mai	RADNET, 2008

Tableau 8.14. Exemples de dépôts au sol de radionucléides de Tchernobyl aux États-Unis [Dibb et Rice, 1988 ; Dreicer *et al.*, 1986 ; Miller et Gedulig, 1986 ; Gebbie et Paris, 1986]

Radionucléide	Localisation	Date en 1986	Activité
Cs-137	Île de Salomon, Maryland	8 mai-20 juin	4 250 Bq/m ²
	Chester, New-Jersey	17 mai	9 400 Bq/m ² *
Cs-134	Île de Salomon, MD	8 mai-20 juin	2 000 Bq/m ²
Ru-103	Île de Salomon, MD	8 mai-20 juin	22 000 Bq/m ²
	Chester, NJ	3 juin	1 846 Bq/m ²
	Chester, NJ	23 mai	15 Bq/m ²
I-131	Chester, NJ	23 mai	472 Bq/m ²
	Portland, Oregon	11 mai	338,81 Bq/m ²

* Dépôts sur l'herbe.

Tableau 8.15. Degré de contamination radioactive du sol du territoire de l'ambassade britannique dans quelques pays d'Europe
[<http://members.tripod.com/~BRuslan/win/energie1.htm>]

Localisation	Cs-134, kBq/m ²	Cs-137, kBq/m ²
République Tchèque (Prague)	4,9	2,9
Hongrie (Budapest)	8,8	5,3
Ex-Yougoslavie (Belgrade)	7,3	4,4
Roumanie (Bucarest)	4,3	2,6
Pologne (Varsovie)	2,8	1,7

16. Le Tableau 8.15 présente des données de contamination par le Cs-137 + Cs-134 dans plusieurs pays d'Europe.

8.4. Conclusion

La contamination radioactive par Tchernobyl a affecté négativement toutes les composantes biologiques mais aussi minérales des écosystèmes : l'atmosphère, les eaux de surface et phréatiques, les couches superficielles et profondes des sols, surtout dans les régions lourdement contaminées du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie européenne. Les niveaux de contamination radioactive des sols ont dépassé, même en Amérique du Nord et en Extrême-Orient, ceux relevés dans le sillage des essais d'armes atomiques des années 1960.

La science moderne est très loin de comprendre ou seulement d'enregistrer tous les effets radiologiques sur les milieux aériens, aquatiques et terrestres dus à la contamination radioactive par l'homme. Sans aucun doute, de tels changements existent, du fait de la quantité des radionucléides de Tchernobyl qui se sont rajoutés à la biosphère et qui perdureront pendant de nombreuses décennies.

Contrairement à une idée courante, selon laquelle les panaches de Tchernobyl contenaient surtout des radionucléides légers et gazeux qui disparaîtraient sans laisser de traces dans l'atmosphère de la Terre, les faits disponibles indiquent que même les concentrations en Pu ont augmenté des milliers de fois jusqu'à des distances de plusieurs milliers de kilomètres de Tchernobyl.

Les estimations courantes du niveau de radionucléides par litre, par mètre cube ou par mètre carré masquent le phénomène de la concentration des radionucléides (de parfois plusieurs milliers de fois) dans les sédiments, l'écume de mer, les micro-organismes du sol,

etc., à travers la bioconcentration (pour plus de détails, voir les [Chapitres 9](#) et [10](#)). Cela signifie que des taux de radioactivité « moyens » qui paraissent inoffensifs ont inévitablement un impact puissant sur les organismes vivants des écosystèmes contaminés.

L'un des résultats de la migration verticale des radionucléides à travers le sol est leur accumulation dans les plantes à enracinement profond. Absorbés par les racines, les radionucléides enfouis remontent en surface et seront incorporés dans les chaînes alimentaires. Ce transfert est un des plus importants mécanismes observés ces dernières années, conduisant à une augmentation de l'irradiation interne des personnes dans tous les territoires contaminés par les retombées nucléaires.

Bibliographie

- Aarkrog, A. (1988). Studies of Chernobyl debris in Denmark. *Env. Intern.* **14**(2): 49–155.
- Aoyama, M., Hirose, K. & Sugimura, Y. (1987). Deposition of gamma-emitting nuclides in Japan after the reactor-IV accident at Chernobyl. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* **116**(2): 291–306.
- Aoyama, M., Hirose, K. & Sugimura, Y. (1991). The temporal variation of stratospheric fallout derived from the Chernobyl accident. *J. Env. Radioact.* **13**(2): 103–116.
- Aoyama, M., Hirose, K., Suzuki, Y., Inoue, H. & Sugimura, Y. (1986). High levels of radioactive nuclides in Japan in May. *Nature* **321**: 819–820.
- Bakhur, A. E., Starodubov, A. V., Zuev, D. M., Dydykin, S. V. & Gogol, S. B. (2005). Current radioecological condition of the environment with prolonged radioactive contamination in the southwest zones of Bryansk province. International Scientific and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years Later: Social and Economic Problems and Perspectives of Development of the Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 14–17.
- Beentjes, L. B. and Duijsings, J. H. (1987). Radioactive contamination in Nijmegen rainwater after the Chernobyl accident. *Sci. Total Environ.* **64**(3): 253–258.
- Bilo, M., Steffens, W. & Fuhr, F. (1993). Uptake of 134/137Cs by cereals as a function of several parameters of three soil types in Upper Swabia and North Rhine-Westphalia (FRG). *J. Env. Radioact.* **19**(1): 25–40.
- Blakar, I. A., Hongve, D. & Njastad, O. (1992). Chernobyl cesium in the sediments of Lake Hoysjoen, central Norway. *J. Env. Radioact.* **17**(1): 49–58.
- Blynova, L. D. (1998). Radioecological monitoring of the atmosphere and hydrosphere near Sosnovy Bor City. Thesis. St. Petersburg, 16 pp. (en russe).
- Bondietti, E. A. & Brantley, J. N. (1986). Characteristics of Chernobyl radioactivity in Tennessee. *Nature* **322**: 313–314.
- Bondietti, E. A., Brantley, J. N. & Rangarajan, C. (1988). Size distributions and growth of natural and Chernobyl

- byl-derived submicron aerosols in Tennessee. *J. Env. Radioact.* **6**: 99–120.
- Borysevich, N. Y. & Poplyko, I. Y. (2002). *Scientific Solution of the Chernobyl Problems: Year 2001 Results* (Radiology Institute, Minsk): 44 pp. (en russe).
- Broda, R. (1987). Gamma spectroscopy analysis of hot particles from the Chernobyl fallout. *Acta Physica Polica.* **B18**: 935–950.
- Cambray, R. S., Cawse, P. A., Garland, J. A., Gibson, J. A. B., Johnson, P., *et al.* (1987). Observations on radioactivity from the Chernobyl accident. *Nucl. Energy* **26**(2): 77–101.
- Clooth, G. & Aumann, D. C. (1990). Environmental transfer parameters and radiological impact of the Chernobyl fallout in and around Bonn. *J. Env. Radioact.* **12**(2): 97–120.
- CRIIRAD (1988). Contamination radioactive de l'Arc Alpin. Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité (CRIIRAD, Valence) (cited by RADNET, 2008).
- Dibb, J. E. & Rice, D. L. (1988). Chernobyl fallout in the Chesapeake Bay region. *J. Env. Radioact.* **7**: 193–196.
- Dreicer, M., Helfer, I. K. & Miller, K. M. (1986). Measurement of Chernobyl fallout activity in grass and soil in Chester, New Jersey. In: *Compendium of Environmental Measurement Laboratory Research Projects Related to the Chernobyl Nuclear Accident*. Report EML-460 (Department of Energy, New York): pp. 265–284 (cited by RADNET, 2008).
- Energy (2008). Chernobyl echo in Europe (<http://www.members.tripod.com/~BRuslan/win/energe1.htm>).
- European Environmental Agency (1999). *State and Presures of the Marine and Coastal Mediterranean Environment* (European Environmental Agency, Copenhagen): 44 pp. (http://www.reports.eea.europa.eu/medsea/en/medsea_en.pdf).
- Feely, H. W., Helfer, I. K., Juzdan, Z. R., Klusek, C. S., Larsen, R. J., *et al.* (1988). Fallout in the New York metropolitan area following the Chernobyl accident. *J. Env. Radioact.* **7**: 177–191.
- Franić, Z., Marović, G. & Lokobauer, N. (2006). Radiocesium activity concentrations in wheat grains in the Republic of Croatia from 1965 to 2003 and dose assessment. *Env. Monitor. Assess.* **115**(1–3): 51–67.
- Fulker, M. J. (1987). Aspects of environmental monitoring by British Nuclear Fuels plc following the Chernobyl reactor accident. *J. Env. Radioact.* **5**: 235–244 (cited by RADNET, 2008).
- Gagarinsky, A. Yu., Golovin, I. S. & Ignat'ev, V. V. (1994). *Nuclear-Energy Complex of Former USSR: Analytical Review* (Russian Nuclear Society, Moscow): 106 pp. (en russe).
- Gebbie, K. M. & Paris, R. D. (1986). *Chernobyl: Oregon's Response* (Oregon Department of Human Resources, Portland) (cited by RADNET, 2008).
- Gogolak, C. V., Winkelmann, I., Weimer, S., Wolff, S. & Klopfer, P. (1986). Observations of the Chernobyl fallout in Germany by in situ gamma-ray spectrometry. In: *Compendium of Environmental Measurement Laboratory Research Projects Related to the Chernobyl Nuclear Accident*. Report EML-460 (US DOE, New York): pp. 244–258 (cited by RADNET, 2008).
- Gres', N. A. (1997). Influence of pectinous formulations on the micro-element composition of children's blood. Yablokov *et al.*: Atmospheric, Water, and Soil Contamination In: *Micro Elementary Disorders and Belarussian Children's Health after Chernobyl Catastrophe*. Collected Papers (Institute of Radiation and Medical Endocrinology, Minsk): pp. 108–116 (en russe).
- Gudkov, D. I., Derevets, V. V., Kuz'menko, M. I., Nazarov, A. B., Krot, Yu. G., *et al.* (2004). Hydrobionts of exclusion zone Chernobyl NPP: Actual level of radionuclides incorporation, doses and cytogenetic effects. In: Second International Conference *Radioactivity and Radioactive Elements in the Human Environment*, Tomsk, October 18 – 22, 2004 ("Tandem-Art," Tomsk): pp. 167–170 (en russe).
- Gudkov, D. I., Kuz'menko, M. I., Derevets, V. V., Kyreev, S. I. & Nazarov, A. B. (2006). Radioecological consequences of Chernobyl catastrophe for water ecosystems in the exclusion zone. International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 233–234 (en russe).
- HELCOM Indicator Fact Sheets (2006). (http://www.helcom.fi/environment2/ifs/ifs2006/en_GB/cover).
- Higuchi, H., Fukatsu, H., Hashimoto, T., Nonaka, N., Yoshimizu, K., *et al.* (1988). Radioactivity in surface air and precipitation in Japan after the Chernobyl accident. *J. Env. Radioact.* **6**: 131–144 (cited by RADNET, 2008).
- Hongve, D., Blakar, I. A. & Brittain, J. E. (1995). Radiocesium in the sediments of Ovre Heimdalsvatn, a Norwegian subalpine lake. *J. Env. Radioact.* **27**: 1–11 (cited by RADNET, 2008).
- Hotzl, H., Rosner, G. & Winkler, R. (1987). Ground deposition and air concentrations of Chernobyl fallout of radionuclides in Munich-Neuherberg. *Radiachim. Acta.* **41**: 181–190.
- Imanaka, T. & Koide, H. (1986). Chernobyl fallout in Japan. *J. Env. Radioact.* **4**: 149–153.
- Irlweck, K., Khademi, B., Henrich, E. & Kronraff, R. (1993). Pu-239(240), 238, Sr-90, Ru-103 and Cs-137 concentrations in surface air in Austria from dispersion of Chernobyl releases over Europe. *J. Env. Radioact.* **20**(2): 133–148.
- Joshi, S. R. (1988). The fallout of Chernobyl radioactivity in Central Ontario, Canada. *J. Env. Radioact.* **6**: 203–211.
- Kempe, S. & Nies, H. (1987). Chernobyl nuclide record from North Sea sediment trap. *Nature* **329**: 828–831.
- Kryshev, I. I. & Ryazantsev, E. P. (2000). *Ecological Security of Russian Nuclear-Power Industry* ("IZ-DAT," Moscow): 384 pp. (en russe).
- Kryshev, I. I., Ryabov, I. N. & Sazykina, T. G. (1992). Estimation of radiation dose dynamics for hydrobiotics from the Chernobyl NPP cooling pond. *Treatises Inst. Experim. Meteorol.* **19**(52): 167–172 (en russe).
- Kusakabe, M. & Ku, T. L. (1988). Chernobyl radioactivity found in mid-water sediment in the northern Pacific and Bering Seas. *Geophys. Res. Letter* **15**(1): 44–47 (cited by RADNET, 2008).
- Larsen, R. & Juzdan, Z. R. (1986). Radioactivity at Barrow and Mauna Loa following the Chernobyl accident. Geophysical Monitoring of Climate Change 14, Summary Report 1985 (U.S. Department of Communications, Washington) (cited by RADNET, 2008).
- Larsen, R. J., Sanderson, C. G., Rivera, W. & Zamichieli, M. (1986). The characterization of radionuclides in

- North American and Hawaiian surface air and deposition following the Chernobyl accident. In: *Compendium of Environmental Measurement Laboratory Research Projects Related to Chernobyl Nuclear Accident: October 1, 1986*. Report No. EML-460 (US Department of Energy, New York): 104 pp. (cit by RADNET, 2008).
- Lettner, H., Hubmer, A., Bossew, P. & Strebl, B. (2007). Cs-137 and Sr-90 transfer into milk in Austrian alpine agriculture. *J. Env. Radioact.* **98**(1–2): 69–84.
- Makhon'ko, K. P. (Ed.) (1992). *Radioactive Situation on Russia and Adjacent Countries*. Yearbook ("Tiphon," Obninsk): 245 pp. (en russe).
- Mani-Kudra, S., Paligori, D., Novkovi, D. F., Smiljani, R., Miloevi, Z. & Suboti, K. (1995). Plutonium isotopes in the surface air at Vina-Belgrade site in May 1986. *J. Radioanalyt. Nucl. Chem.* **199**(1): 27–34.
- Martin, C. J., Heaton, B. & Robb, J. D. (1988). Studies of I-131, Cs-137 and Ru-103 in milk, meat and vegetables in northeast Scotland following the Chernobyl accident. *J. Env. Radioact.* **6**: 247–259.
- McAuley, I. R. & Moran, D. (1989). Radiocesium fallout in Ireland from the Chernobyl accident. *J. Radiol. Prot.* **9**(1): 29–32.
- McGee, E. J., Synnott, H. J., Johanson, K. J., Fawaris B. H., Nielsen S. P., et al. (2000). Chernobyl fallout in a Swedish spruce forest ecosystem. *J. Environ. Radioact.* **48**(1): 59–78.
- Miller, K. M. & Gedulig, J. (1986). Measurements of the external radiation field in the New York metropolitan area. In: *Compendium of Environmental Measurement Laboratory Research Projects Related to the Chernobyl Nuclear Accident*. Report EML-460 (US DOE, New York): pp. 284–290 (cited by RADNET, 2008).
- Nair, S. & Darley, P. J. (1986). A preliminary assessment of individual doses in the environs of Berkeley, Gloucestershire, following the Chernobyl nuclear reactor accident. *J. Soc. Radiol. Prot.* **6**(3): 101–108.
- National Belarussian Report (2006). *Twenty Years after Chernobyl Catastrophe: Consequences for Belarus and Its Recovery* (GosKomChernobyl, Minsk): 81 pp. (en russe).
- Nesterenko, V. B. (2005). High levels of Cs-137 concentration in children from Belarussian Chernobyl areas, revealed by individual radioactive counter monitoring and the necessity for their protection by using pectin-containing food additives. In: *Interagency Coordination Council on Scientific Provision of Chernobyl Programme*. Report, January 4, 2005 (National Belarussian Academy, Minsk): 55 pp. (en russe).
- Ogorodnykov, B. I. (2002). Chernobyl: Fifteen Years Later. In: *Chernobyl: Duty and Courage* (Collected Papers, Moscow) 1: pp. 26–30 (www.iss.niit/book-4/glav-2-24.htm) (en russe).
- Ooe, H., Seki, R. & Ikeda, N. (1988). Particle-size distribution of fission products in airborne dust collected at Tsukuba from April to June 1986. *J. Env. Radioact.* **6**: 219–223 (cited by RADNET, 2008).
- Papastefanou, C., Manolopoulou, M. & Charamlambous, S. (1988). Radiation measurements and radioecological aspects of fallout from the Chernobyl reactor accident. *J. Env. Radioact.* **7**: 49–64.
- Pinglot, J. F., Pourchet, M., Lefauconnier, B., Hagen, J. O., Vaikmae, R., et al. (1994). Natural and artificial radioactivity in the Svalbard glaciers. *J. Env. Radioact.* **25**: 161–176.
- Pourchet, M., Veltchev, K. & Candaudap, F. (1997). Spatial distribution of Chernobyl contamination over Bulgaria. In: *International Symposium OM2on Observation of the Mountain Environment in Europe*. October 15–17, 1997, Borovets, Bulgaria (cited by RADNET, 2008).
- RADNET (2008). Information about source points of anthropogenic radioactivity: A Freedom of Nuclear Information Resource (Center of Biological Monitoring, Liberty) (www.davistownmuseum.org/cbm/Rad12.html).
- Rafferty, B., McGee, E. J., Colgan, P. A. & Synnott, H. J. (1993). Dietary intake of radiocesium by free ranging mountain sheep. *J. Env. Radioact.* **21**(1): 33–46.
- Realo, E., Jogi, J., Koch, R. & Realo, K. (1995). Studies on radiocesium in Estonian soils. *J. Env. Radioact.* **29**: 111–120.
- Robbins, J. A. & Jasinski, A. W. (1995). Chernobyl fallout radionuclides in Lake Sniardwy, Poland. *J. Env. Radioact.* **26**: 157–184.
- Roy, J. C., Cote, J. E., Mahfoud, A., Villeneuve, S. & Turcotte, J. (1988). On the transport of Chernobyl radioactivity to Eastern Canada. *J. Env. Radioact.* **6**: 121–130 (cited by RADNET, 2008).
- Ryabov, I. N. (2004). Radioecology of fishes from the Chernobyl zone ("KMK," Moscow): 216 pp. (en russe).
- Salbu, B., Oughton, D. H., Ratnykov, A. V., Zhygareva, T. L., Kruglov, S. V., et al. (1994). The mobility from Cs-137 and Sr-90 in agricultural soils in the Ukraine, Belarus, and Russia, 1991. *Health Physics* **67**(5): 518–528.
- Saxen, R. & Aaltonen, H. (1987). Radioactivity of surface water in Finland after the Chernobyl accident in 1986. Supplement 5, Annual Report STUK-A55 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Sinkko, K., Aaltonen, H., Mustonen, R., Taipale, T. K. & Juutilainen, J. (1987). Airborne radioactivity in Finland after the Chernobyl accident in 1986. Report No. STUK-A56 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Skwarzec, B. & Bojanowski, R. (1992). Distribution of plutonium in selected components of the Baltic ecosystem within the Polish economic zone. *J. Env. Radioact.* **15**(3): 249–264.
- Smirnov, V. V. (1992). *Ionization in the Troposphere* ("Gydrometeoizdat," St. Petersburg): 197 pp. (en russe).
- Solem, J. O., Gaare, E. (1992). Radiocesium in aquatic invertebrates from Dovrefjell, Norway, 1986 to 1989, after the Chernobyl fall-out. *J. Env. Radioact.* **17**(1): 1–12.
- Staaland, H., Garmo, T. H., Hove, K. & Pedersen, O. (1995). Feed selection and radiocesium intake by reindeer, sheep and goats grazing on alpine summer habitats in southern Norway. *J. Env. Radioact.* **29**(1): 39–56.
- Strebl, F., Gerzabek, M. H., Karg, V. & Tataruch, A. (1996). Cs-137 migration in soils and its transfer to roe deer in an Austrian forest stand. *Sci. Total Env.* **181**(3): 237–247.
- Thomas, A. J. & Martin, J. M. (1986). First assessment of Chernobyl radioactive plume over Paris. *Nature* **321**: 817–819.
- Toppan, C. (1986). Memos released May 9–13, 1986. Update on DHS radiation monitoring. Manager, De-

8. Contamination de l'atmosphère, de l'eau et du sol

- partment of Human Services, Augusta, ME (cited by RADNET, 2008).
- US EPA (1986). Environmental radiation data: April–June 1986. Report No. EPA520/5-87-004 (US EPA, Washington) (cited by RADNET, 2008).
- Velasko, R. N., Toso, J. P., Belli, M. & Sansone, U. (1997). Radiocesium in the northeastern part of Italy after the Chernobyl accident: Vertical soil transport and soil-to-plant transfer. *J. Env. Radioact.* **37**(1): 73–83.
- Vermont (1986). Vermont state environmental radiation surveillance program. Division of Occupational Radiation Health (Vermont State Department of Health, Montpelier) (cited by RADNET, 2008).
- Walling, D. E. & Bradley, S. B. (1988). Transport and redistribution of Chernobyl fallout radionuclides by fluvial processes: Some preliminary evidence. *Env. Geochem. Health* **10**(2): 35–39.
- Wynne, B. (1989). Sheep farming after Chernobyl. *Environm.* **31**(2): 10–39.

Chapitre 9. Impact de la radioactivité de Tchernobyl sur la flore

Alexey V. Yablokov et Natalia E. Preobrajenskaya

Les plantes et les champignons accumulent les radionucléides de Tchernobyl à un taux qui dépend du sol, du climat, d'une biosphère particulière, de la saison, de l'intensité de la contamination radioactive, des particularités des espèces et des populations (sous-espèces, cultivars), etc. Chaque radionucléide a ses propres caractéristiques d'accumulation (par exemple, les niveaux d'accumulation du Sr-90 sont beaucoup plus élevés que ceux du Cs-137 et des milliers de fois moindres que ceux du Ce-144). Les coefficients d'accumulation et les ratios de transfert varient tellement dans le temps et dans l'espace qu'il est difficile, sinon impossible, de prédire les taux réels de Cs-137, de Sr-90, de Pu-238, de Pu-239, de Pu-240 et d'Am-241 à chaque endroit, à chaque moment et pour chaque exemplaire de plante ou de champignon. L'irradiation due à Tchernobyl a causé des anomalies structurelles et des changements de type tumoral chez de nombreuses espèces de plantes. Des ensembles pathologiques exclusifs sont constatés dans la zone de Tchernobyl, tels qu'un pourcentage élevé d'anomalies des grains de pollen et des spores. L'irradiation due à Tchernobyl a conduit à des dérèglements génétiques qui se poursuivent parfois pendant de nombreuses années et il se trouve qu'elle a révélé des gènes restés silencieux pendant de longues périodes de l'évolution.

Il existe des milliers d'articles concernant les plantes agricoles, médicinales et autres et les champignons contaminés après la catastrophe de Tchernobyl [Aleksakhin *et al.*, 1992 ; Aleksakhin, 2006 ; Grodzinski *et al.*, 1991 ; Ipat'ev, 1994, 1999 ; Parfenov et Iakushev, 1995 ; Krasnov, 1998 ; Orlov, 2001 ; et beaucoup d'autres]. Il existe aussi d'abondantes publications sur les changements génétiques, morphologiques et autres des plantes dus aux radiations de Tchernobyl. Dans ce chapitre, nous ne présentons qu'un nombre relativement limité des très nombreux articles scientifiques qui dressent un tableau de l'impact de la radioactivité de Tchernobyl sur la flore.

La catastrophe de Tchernobyl a provoqué, dans la zone des 30 km, la mort de la forêt, qui n'a pas résisté au puissant choc des radiations (« forêt rousse »). Là, durant les premières semaines et les premiers mois, la contamination par la radioactivité atteignait plusieurs milliers de Ci/km². Avec les radiotoxines atmosphériques initiales de la catastrophe (voir [Chapitre 8](#)) et les « particules chaudes », la surface du sol et des végétaux s'est trouvée

contaminée et un cycle d'absorption et de relargage (libération) des radio-isotopes du sol vers les plantes et vice versa s'est mis en action (Figure 9.1).

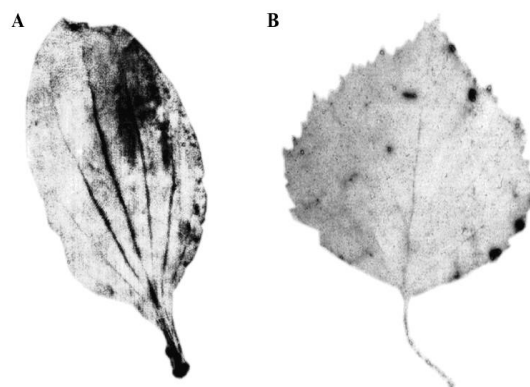


Figure 9.1. Radio-autographies de plantes à radionucléides de Tchernobyl : (A) feuille de plantain commun (*Plantago major*) ; (B) feuille de tremble (*Populus tremula*) ; province de Briansk, Russie, 1991 [photographies de A.E. Bakhur, avec son autorisation].

Des taches de radioactivité élevée sont visibles.

9. Impact de la radioactivité sur la flore

Tableau 9.1. Radioactivité après Tchernobyl des feuillages de quatre espèces dans la ville de Kiev fin juillet 1986 (Bq/kg de poids sec) [Grodzinski, 1995b]

Nucléide	Marronnier d'Inde *	Tilleul **	Bouleau **	Pin sylvestre **
Pm-144	58 800	146 150	10 800	—
Ce-141	18 800	—	6 500	4 100
Ce-144	63 300	—	21 800	18 800
La-140	1 100	1 930	390	660
Cs-137	4 030	—	3 400	4 300
Cs-134	2 000	—	1 540	2 100
Ru-103, Rh-103	18 350	36 600	10 290	7 180
Ru-106	14 600	41 800	400	5 700
Zr-95	35 600	61 050	11 400	6 500
Nb-95	53 650	94 350	18 500	9 900
Zn-65	—	400	—	—
Activité totale	312 000	399 600	101 400	70 300

* Près de la station de métro « Darnitsa » ; ** près de la station de métro « Lesnaya ».

Peu après la catastrophe, les végétaux et les champignons des territoires contaminés sont devenus des concentrateurs de radionucléides, les extrayant du sol via leurs racines et les envoyant dans d'autres parties de la plante. Les niveaux de radionucléides dans les plantes dépendent du ratio de transfert (TR) et du coefficient d'accumulation (CA). Les relations entre l'activité spécifique d'un radionucléide dans la biomasse d'une plante et l'activité du même radionucléide dans le sol s'écrivent :

$TR = (Bq/kg \text{ de biomasse de plante}) / (kBq/m^2 \text{ de contamination du sol})$;

$CA = (Bq/kg \text{ de biomasse de plante}) / (kBq/kg \text{ de sol})$.

9.1. Contamination radioactive des plantes, champignons et lichens

Le niveau d'incorporation radioactive (accumulation) dans un organisme vivant est un marqueur simple et fiable du dommage potentiel infligé aux systèmes génétiques et immunologiques et aux systèmes de survie de cet organisme. La première partie de cette section présente des données concernant la contamination radioactive des plantes et la seconde rapporte les niveaux de contamination dans les champignons et les lichens.

9.1.1. Plantes

1. Les niveaux de contamination de surface de quatre espèces de plantes dans la ville de Kiev ont atteint 399 600 Bq/kg et ont varié

selon leur localisation et le nucléide considéré (Tableau 9.1).

2. Le tableau 9.2 présente des données sur l'accumulation de radionucléides dans les aiguilles de pins en Finlande après la catastrophe.

Tableau 9.2. Concentration de trois radionucléides dans les aiguilles de pins dans le centre de la Finlande, mai-décembre 1986 [Lang et al., 1988]

Radionucléide	Concentration en Bq/kg
Cs-137	30 000
Ce-141	40 000
Ru-103	35 000

3. Les données du tableau 9.3 montrent le niveau de contamination de plantes par des radionucléides dans le monde entier après la catastrophe.

4. Il y a eu de hauts niveaux d'accumulation de nucléides dans les plantes aquatiques (Tableau 9.4).

5. Après la catastrophe, les niveaux d'incorporation des radionucléides ont bondi dans tous les territoires lourdement contaminés. Dans les plantes annuelles telles que l'absinthe (*Artemisia absinthium*), les concentrations en carbone-14 (C-14) ont été multipliées par 5 en 1986 [Grodzinski *et al.*, 1995c]. La figure 9.2 montre la concentration en C-14 (en pourcentage comparé au niveau de 1950) dans les anneaux de croissance de pins (*Pinus sylvestris*) de la zone des 10 km.

9. Impact de la radioactivité sur la flore

Tableau 9.3. Exemples de contamination mondiale des plantes (Bq/kg) en 1986

Nucléide	Plante	Activité	Pays	Référence
Cs-137	Mousse	40 180 *	Norvège	Staaland <i>et al.</i> , 1995
	Mousse, partie aérienne	28 000	Finlande	Ilus <i>et al.</i> , 1987
	Mousse	20 290 **	Norvège	Staaland <i>et al.</i> , 1995
	Mousse	12 370 ***	Allemagne	Elstner <i>et al.</i> , 1987
	Thé de Chine, <i>Thea sinensis</i>	44 000	Turquie	Gedikoglu et Sipahi, 1989
	Mousse, <i>Hylocomium splendens</i>	40 000	Norvège	Steinnes et Njastad, 1993
	Mousse	30 000	Allemagne	Heinzel <i>et al.</i> , 1988
I-131	Plantes	2 100	Japon	Ishida <i>et al.</i> , 1988
	Algues marines comestibles	1 300	Japon	Hisamatsu <i>et al.</i> , 1987
	Herbe	15 000 Bq/m ²	Royaume-Uni	Clark, 1986
Ce-141	Aiguilles de pins	40 000	Finlande	Lang <i>et al.</i> , 1988
Ru-103	Aiguilles de pins	35 000	Finlande	Lang <i>et al.</i> , 1988
	Mousse, partie aérienne	18 000	Finlande	Ilus <i>et al.</i> , 1987
Te-132	Herbes aromatiques	730	Finlande	Rantavaara, 1987
Sr-89	Mousse, partie aérienne	3 500	Finlande	Ilus <i>et al.</i> , 1987

* 1987 ; ** 1988 ; *** jusqu'à 139 fois plus qu'en 1985.

Tableau 9.4. Niveaux d'accumulation de radionucléides par quelques plantes aquatiques (Bq/kg de poids sec), Ukraine, 1986-1993 [Bar'yakhtar, 1995]

Espèces	Ce-144	Ru-103, Rh-103	Ru-106, Rh-106	Cs-137	Cs-134	Nb-95, Zr-95	Sr-90
Potamot nageant (<i>Potamogeton natans</i>)	44 400	4 800	33 300	12 600	8 100	63 000	925
Roseau commun (<i>Phragmites communis</i>), parties aériennes	26 000	3 700	8 900	12 900	4 800	3 700	5
Roseau commun (<i>Phragmites communis</i>), parties aquatiques	99 900	6 700	129 500	66 600	21 800	13 700	2 400
Massette à feuilles étroites (<i>Typha angustifolia</i>)	20 350	7 000	24 800	3 700	1 370	1 330	270

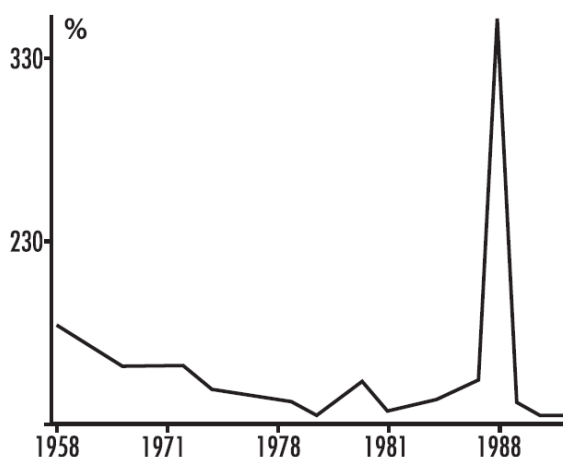


Figure 9.2. Concentration de C-14 dans les cernes de croissance de pins (*Pinus sylvestris*) de la zone des 10 km de Tchernobyl ; différence de pourcentage avec la valeur de 1950 [Grodzinski, 1995c]

6. Après la catastrophe, il y a eu une augmentation marquée du taux de radionucléides des anneaux de croissance de pins (*Pinus sylvestris*) en République de Carélie au nord-ouest de la Russie (à plus de 1 200 km de Tchernobyl) (Figure 9.3). Il importe de noter que la Carélie a officiellement un taux de contamination très modéré ($< 0,5 \text{ Ci/km}^2$) [Cort et Tsaturov, 1998].

7. Au Belarus, les baies produites par des sous-arbrisseaux de la famille des Ericaceae sont caractérisées par une intensité maximale d'accumulation de Cs-137 [Mukhamedshin *et al.*, 1995 ; Kenigsberg *et al.*, 1996 ; Jacob et Likhtarev, 1996].

8. Le coefficient d'accumulation du Cs-137 dans les canneberges (*Oxycoccus palustris*) atteint 1 028 [Orlov et Krasnov, 1997 ; Krasnov et Orlov, 2006].

9. Impact de la radioactivité sur la flore

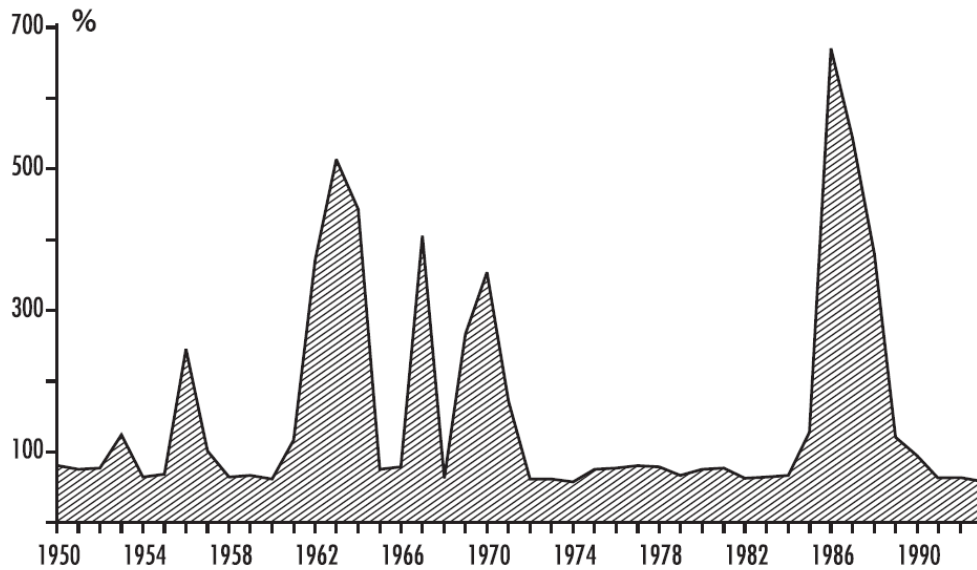


Figure 9.3. Radioactivité totale dans des cernes de croissance de pins (*Pinus sylvestris*) près de la ville de Petrozavodsk, en Carélie, pendant la période de 1975 à 1994 [Rybakov, 2000]

9. Il y a de grandes variations intraspécifiques de l'activité massique du Sr-90 : de 2-3 à 555 Bq/kg dans les myrtilles fraîches (*Vaccinium myrtillus*) des pinèdes, où elles poussent en abondance [Orlov *et al.*, 1996].

10. Les radionucléides se sont davantage accumulés dans les systèmes racinaires : jusqu'à 7 fois plus que dans les parties aériennes des plantes. Dans les parties aériennes, les plus hautes concentrations de radionucléides se trouvent dans les feuilles et les plus basses dans les fleurs [Grodzinsky, 1995a]. Pendant la période de fructification (juillet), les feuilles de myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) contiennent 31% de l'activité générale du Cs-137, les tiges 26%, les baies 25% et les rhizomes et racines 18% [Korotkova et Orlov, 1999].

11. La concentration en Cs-137 dans différentes variétés de lupin (*Lupinus*) est en moyenne 5 fois plus élevée que dans le maïs (*Zea*) et le trèfle (*Trifolium*), tandis que la vesce (*Vicia*) a des niveaux intermédiaires. L'accumulation de césium-137 dans les différentes céréales cultivées varie d'un facteur 37 dans les sols podzoliques sous strate herbacée et d'un facteur 49 dans les tchernozioms [Kutnetsov *et al.*, 2000]. Le transfert le plus actif des radionucléides du sol aux plantes a lieu dans les tourbières. Le ratio de transfert du Cs-137 des forêts à riche strate arbustive est jusqu'à trois fois plus élevé sur des sols à moitié inondés, comparés aux sols plus secs ; et il va jusqu'au double pour une végétation mixte,

comparée à celle des pinèdes [Borysevitch et Poplyko, 2002].

12. Le degré d'incorporation radioactive tend à être corrélé avec la densité de contamination radioactive des sols (Figure 9.4).

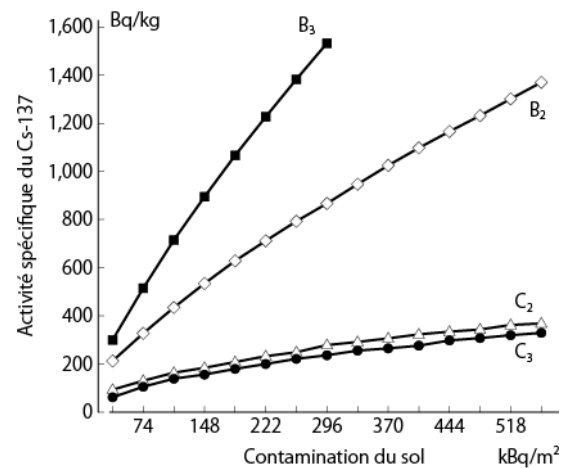


Figure 9.4. Corrélation entre le taux de Cs-137 dans des myrtilles fraîches (*Vaccinium myrtillus*) (Bq/kg) et le niveau de contamination du sol (kBq/m²) pour 4 biosphères différentes de la Polésie centrale en Ukraine [Orlov, 2001]

13. Il existe de fortes corrélations entre l'activité spécifique du Cs-137 dans la phytomasse du muguet (*Convallaria majalis*) et, à la fois, entre la densité de contamination du sol ($r = 0,89$) et l'activité spécifique du Cs-137 dans le sol ($r = 0,84$) [Elyashevich et Rubanova, 1993].

9. Impact de la radioactivité sur la flore

14. Le CA du Cs-137 de 120 espèces de plantes diminue dans l'ordre suivant des écotopes : forêt marécageuse (425) > chênaie (241) > dépressions entre les coteaux boisés des plaines inondables (188) > pinèdes (94) > basses terres marécageuses non drainées (78) > coteaux boisés des plaines inondables (68) > prairies des hautes terres (21) > sols tourbeux drainés (21) > sols en jachères de longue durée (0,04) [Elyashevich et Rubanova, 1993].

15. Les ratios de transfert (TR) du sol aux plantes diffèrent selon l'espèce ainsi que la saison et le biotope (Tableau 9.5).

16. Au Belarus, le ratio de transfert maximal du Sr-90 (du sol vers les plantes) a été mesuré dans les fraises sauvages (TR 14-15) et le ratio minimal dans les myrtilles (TR 0,6-0,9). Le ratio de transfert du Cs-137 dans les myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) est trois fois plus élevé que celui des fraises sauvages (*Fragaria vesca*) [Ipat'ev, 1994 ; Bulavik, 1998].

17. Les plantes poussant sur un sol hydromorphe (c.-à-d. saturé en eau), accumulent 10 fois plus de Cs-137 que celles qui poussent sur un sol automorphe (c.-à-d. bien drainé). La différence de TR du Cs-137 peut varier jusqu'à 50 fois entre les environnements automorphe et hydromorphe : l'intensité d'accumulation du Cs-137 dans les baies est bien plus basse sur les sols riches et secs que sur les sols pauvres et humides [Tsvetnova *et al.*, 1990 ; Wirth *et al.*, 1996 ; Korotkova, 2000 ; et d'autres].

18. On trouve de lourdes contaminations en Cs-137 dans la partie aérienne des plantes dans les pinèdes mixtes humides d'Ukraine pour les espèces du genre *Vaccinium* : le TR est d'environ 74 dans les myrtilles (*Vaccinium myrtillus*), de 67 dans les airelles (*Vaccinium vitis-idaea*) et de 63 dans les myrtilles des marais (*Vaccinium uliginosum*) [Krasnov, 1998].

19. Pour les plantes médicinales non ligneuses, l'incorporation de Cs-137 est, par ordre décroissant : baies de myrtilles (*Vacci-*

nium myrtillus) > feuilles de myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) > serpolet (*Thymus serpyllum*) > muguet (*Convallaria majalis*) > feuilles des fraises des bois (*Fragaria vesca*) > immortelle des sables (*Helichrysum arenarium*) > millepertuis (*Hypericum perforatum*) et bétoine (*Betonica officinalis*) > origan commun (*Origanum vulgare*) [Orlov, 2001].

20. Les valeurs maximales de TR dans les plantes sauvages sont de 451 pour le lédon des marais (*Ledum palustre*), 122 pour la renouée poivre d'eau (*Polygonum hydropiper*), 159 pour les baies de myrtilles (*Vaccinium myrtillus*), 73 pour les feuilles des fraisiers des bois (*Fragaria vesca*) et 79 pour celles des airelles (*Vaccinium vitis-idaea*). Elles sont de 61 pour les bourgeons du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) et de 47 pour ceux du bouleau verruqueux (*Betula pendula*) [Elyashevitch et Rubanova, 1993].

21. Dans la Polésie ukrainienne, le Cs-137 a diminué d'un facteur 5 entre 1991 et 1998 dans les baies fraîches et les pousses de myrtilles séchées à l'air libre [Korotkov, 2000]. Selon d'autres données de 1991 à 1999, le taux de Cs-137 dans les baies de myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) a varié grandement [Orlov, 2001].

22. Dans les pinèdes moussues, la concentration de Cs-137 dans les baies de myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) a été pratiquement stable dans certains endroits de 1987 à 1990, tandis que dans d'autres zones il y a eu une décroissance d'un facteur 3 du TR en 1989-1990 comparé à 1987-1988 [Parfenov et Yakushev, 1995].

23. L'activité maximale du Cs-137 dans les parties végétatives des sous-arbrisseaux et des arbres est observée en mai et juin [Korotkova et Orlov, 1999 ; Borysevitch et Poplyko, 2002].

24. L'activité spécifique du Sr-90 dans les baies fraîches de myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) des pinèdes ukrainiennes variait de 2 à 555 Bq/kg [Orlov, 2001].

Tableau 9.5. Ratio de transfert (TR) du Cs-137 du sol aux fruits frais des principales baies sauvages d'Ukraine [Orlov, 2001]

Espèces	TR	Espèces	TR
Myrtille (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	3,4-16,1	Mûre de ronce de Nees (<i>Rubus nessensis</i>)	6,6
Airelle (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	8,3-12,9	Mûre de ronce bleue (<i>Rubus caesius</i>)	1,0
Myrtille des marais (<i>Vaccinium uliginosum</i>)	9,4-11,7	Fraise des bois (<i>Fragaria vesca</i>)	2,0-10,9
Canneberge (<i>Oxycoccus palustris</i>)	13,0-16,6	Sorbe des oiseaux (<i>Sorbus aucuparia</i>)	1,0
Framboise (<i>Rubus idaeus</i>)	0,8-8,4	Viorne obier (<i>Viburnum opulus</i>)	0,3

9. Impact de la radioactivité sur la flore

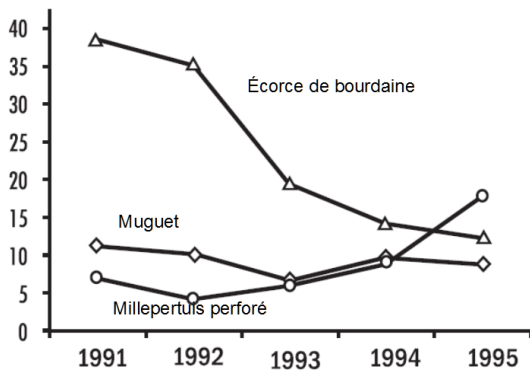


Figure 9.5. Variations du ratio de transfert (TR) du Cs-137 pour 3 plantes médicinales – l'écorce de bourdaine (*Frangula alnus*), le muguet (*Convallaria majalis*) et le millepertuis perforé (*Hypericum perforatum*) – sur plusieurs années (1991-1995). Données moyennes pour 28 stations en Polésie ukrainienne [Krasnov, 1998]

25. Les dynamiques à long terme du TR du Cs-137 du sol aux plantes ont révélé toutes les variations possibles : pour le muguet (*Convallaria majalis*), le ratio de transfert diminue légèrement au fil du temps ; pour le millepertuis perforé (*Hypericum perforatum*), il y a une légère décroissance de 1991 à 1992, puis une augmentation de plus du double de 1993 à 1995 ; pour l'écorce de bourdaine (*Frangula alnus*), la décroissance est constante d'un facteur trois de 1991 à 1995 (Figure 9.5) ; pour les myrtilles, le ratio de transfert fluctue sur les 9 ans et, pour les fraises, il y a une baisse entre 1993 et 2000 (Fig. 9.6).

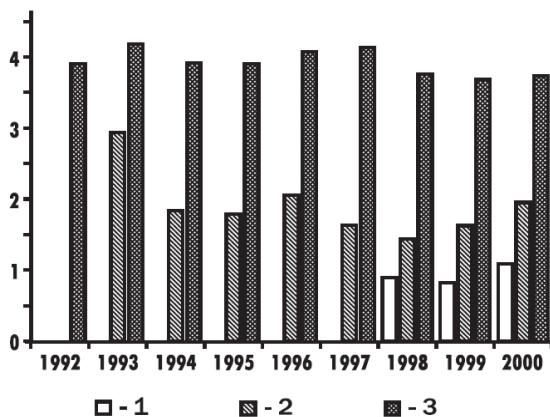


Figure 9.6. Variation du ratio de transfert (TR) pour le Cs-137 de trois espèces de baies de la forêt biélorusse – framboise (*Rubus idaeus*) (1), fraise des bois (*Fragaria vesca*) (2) et myrtille (*Vaccinium myrtillus*) (3) – dans la même région de 1992 à 2000 [Ipat'ev, 2000]

26. La répartition semi-logarithmique du TR dans la même espèce et dans un environnement écologique similaire rend impossible l'estimation correcte d'un TR spécifique par des observations sporadiques [Jacob et Likhatarev, 1996].

27. Il y a de grandes variations inter- et intra- spécifiques dans le TR pour les baies sauvages comestibles (Tableau 9.6).

Tableau 9.6. Variations inter- et intra-spécifiques du TR (m²/kg x 10⁻³) du sol aux baies comestibles fraîches des zones de forêts affectées par les retombées de Tchernobyl au Belarus, en Ukraine et en Russie [d'après de nombreuses références d'Orlov, 2001]

Espèces	TR (Lim)	Limite supérieure/ limite inférieure
Framboise (<i>Rubus idaeus</i>)	0,8-8,4	10,5
Fraise des bois (<i>Fragaria vesca</i>)	2,0-10,9	5,5
Myrtille (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	3,4-16,1	4,7
Airelle (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	8,1-12,9	1,6
Canneberge (<i>Oxycoccus palustris</i>)	13-16,6	1,3
Myrtille des marais (<i>Vaccinium uliginosum</i>)	9,4-11,7	1,2
Mûre de ronce de Nees (<i>Rubus nessensis</i>)	6,6	
Mûre de ronce bleue (<i>Rubus caesius</i>)	1,0	
Sorbe des oiseaux (<i>Sorbus aucuparia</i>)	1,0	
Viorne obier (<i>Viburnum opulus</i>)	0,3	

28. Pour une même espèce, le TR diffère selon les différents biotopes (Tableau 9.7).

Tableau 9.7. TR moyen dans les myrtilles fraîches dans trois types de pinèdes différents en 1995 [Ipat'ev et Bulko, 2000]

Type de pinèdes	TR
à myrtilles	5,19
à polytrix commun	14,00
à lédon des marais	24,00

29. La dynamique de contamination de différentes parties du pin sylvestre (*Pinus sylvestris*) par le Cs-137 est présentée sur la figure 9.7. Les niveaux de contamination du tronc,

9. Impact de la radioactivité sur la flore

des branches et des aiguilles ont légèrement augmenté sur 12 ans.

30. Dans les paysages automorphes, le TR du Cs-137 a diminué de 1988 à 1995 dans des espèces de Poaceae. Dans les paysages hydro-morphes, il y a une augmentation graduelle de ce coefficient à partir de 1992 [Tscheglov, 1999].

31. Les intensités d'accumulation du Cs-137 dans les plantes étudiées se divisent en cinq groupes : très forte accumulation (TR moyen > 100), forte accumulation (TR 50-100), accumulation moyenne (TR 10-50), accumulation faible (TR 1-10) et très faible accumulation (TR < 1) (Tableau 9.8).

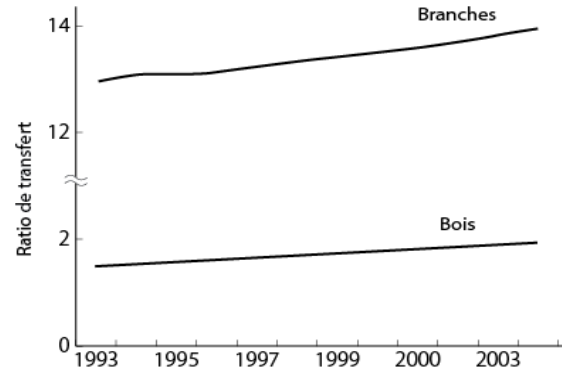


Figure 9.7. Évolution du ratio de transfert (TR) du Cs-137 ($TR \times 10^{-3}$) pour les branches et le bois de pin (*Pinus sylvestris*) de 1993 à 2004 [Averin et al., 2006]

Tableau 9.8. Intensité d'accumulation du Cs-137 dans plusieurs espèces de plantes en Ukraine [Krasnov et Orlov, 1996]

Groupe	Espèces	Partie de la plante	TR (M ± m)
Très forte accumulation	Champignon chaga (<i>Inonotus obliquus</i>)	Fruits	130 ± 30
	Myrtille (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	Baies	125 ± 18
	Lycopode à massues (<i>Lycopodium clavatum</i>)	Spores	120 ± 20
	Airelle (<i>Vaccinium vitis-idaea</i>)	Feuilles	94 ± 14
Forte accumulation	Lédon des marais (<i>Ledum palustre</i>)	Branches	82 ± 18
	Grande chélidoine (<i>Chelidonium majus</i>)	Plante entière	79 ± 14
	Myrtille (<i>Vaccinium myrtillus</i>)	Feuilles	78 ± 6
	Pin sylvestre (<i>Pinus sylvestris</i>)	Bourgeons	77 ± 11
	Petite centaurée (<i>Centaurium erythraea</i>)	Plante entière	61 ± 6
	Pensée sauvage (<i>Viola tricolor</i>)	Plante entière	27 ± 4
Accumulation modérée	Potentille blanche (<i>Potentilla alba</i>)	Rhizomes	20 ± 3
	Millepertuis (<i>Hypericum perforatum</i>)	Plante entière	18 ± 2
	Sureau noir (<i>Sambucus nigra</i>)	Inflorescences	18 ± 2
	Muguet (<i>Convallaria majalis</i>)	Inflorescences	16 ± 2
	Bourdaïne (<i>Frangula alnus</i>)	Écorces	15,4 ± 1,8
	Tanaisie (<i>Tanacetum vulgare</i>)	Inflorescences	15,0 ± 1,2
	Potentille blanche (<i>Potentilla alba</i>)	Plante entière	12,5 ± 1,4
	Raisin d'ours (<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>)	Feuilles	12,1 ± 2,5
	Muguet (<i>Convallaria majalis</i>)	Plante entière	9,8 ± 0,8
	Grande ortie (<i>Urtica dioica</i>)	Plante entière	8,6 ± 0,7
Faible accumulation	Origan commun (<i>Oryganum vulgare</i>)	Plante entière	7,4 ± 2,8
	Chêne rouvre (<i>Quercus robur</i>)	Écorces	7,2 ± 1,2
	Immortelle des sables (<i>Helichrysum arenarium</i>)	Inflorescences	5,4 ± 0,6
	Serpolet (<i>Thymus serpyllum</i>)	Plante entière	4,6 ± 0,5
	Digitale à grande fleur (<i>Digitalis grandiflora</i>)	Plante entière	4,4 ± 0,7
	Agripaume (<i>Leonurus cardiaca</i>)	Plante entière	3,9 ± 0,5
	Achillée millefeuille (<i>Achillea millefolium</i>)	Plante entière	2,9 ± 0,6
	Genévrier commun (<i>Juniperus communis</i>)	Baies	0,64 ± 0,05
	Valériane officinale (<i>Valeriana officinalis</i>)	Rhizomes	0,36 ± 0,05
	Acore odorant (<i>Acorus calamus</i>)	Rhizomes	0,27 ± 0,03

9. Impact de la radioactivité sur la flore

32. La plus haute intensité d'accumulation du Cs-137 selon les espèces a été trouvée dans les familles des Ericaceae et des Fabaceae, un peu moins chez les Boraginaceae et les Caryophyllaceae, encore moins chez les espèces de la famille des Lamiaceae (origan commun – *Origanum vulgare*, sauge officinale – *Salvia officinalis*, thym – *Thymus sp.*) et la plus basse dans les espèces de la famille des Asteraceae (achillée millefeuille – *Achillea millefolium*, souci officinal – *Calendula officinalis*) et des Hypericaceae (millepertuis – *Hypericum perforatum*) [Aleksenyzer *et al.*, 1997].

33. Le TR du Sr-90 du sol aux plantes est 10 à 20 fois plus élevé que celui du Cs-137 dans le même habitat et pour les mêmes espèces [Orlov *et al.*, 1999].

34. Dans la Polésie ukrainienne, l'intensité d'accumulation du Sr-90 dans les espèces à baies varie selon l'ordre suivant : fraises des bois (*Fragaria vesca*) > myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) > airelles (*Vaccinium vitis-idaea*) > myrtilles des marais (*Vaccinium uliginosum*) > viorne obier (*Viburnum opulus*) [Orlov *et al.*, 1999].

35. Pour les arbustes médicinaux, le TR du Sr-90 est dans l'ordre suivant : 3 à 4 pour les sommités fraîches de nerprun (*Rhamnus*) et de sorbier des oiseaux (*Sorbus aucuparia*), 7 pour l'écorce de chêne, 7 à 9 pour les branches de coudrier (*Corylus avellana*) et de bourdaine (*Frangula alnus*), 11 pour les branches de framboisiers (*Rubus idaeus*), 13 pour les branches de ronce bleue (*Rubus caesius*) et 13-18 pour celles de sorbier des oiseaux (*Sorbus aucuparia*), dans les biotopes humides [Borysevitch et Poplyko, 2002].

36. Le TR du Sr-90 était de 14,0 à 15,1 pour les fraises sauvages (*Fragaria*), de 0,6 à 0,9 pour les myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) et de 0,9 pour les framboises (*Rubus idaeus*) [Ipat'ev, 1999].

37. Le Tr du Sr-90 dans les baies sauvages des forêts dépend du niveau de contamination du sol : il apparaît que le TR est plus bas lorsque la contamination est plus forte (Tableau 9.9).

38. Au Belarus, voici, par ordre croissant, le niveau de Cs-137 dans les graines de céréales étudiées : blé de printemps < orge < avoine ; parmi les légumes-racines : carottes < betteraves < radis. Pour le Sr-90, les niveaux étaient dans l'ordre suivant : blé < avoine < orge ; radis et carottes < betteraves [Borysevitch et Poplyko, 2002].

Tableau 9.9. Ratio de transfert (TR) du Sr-90 dans trois baies sauvages selon le degré de contamination du sol [Ipat'ev, 1999]

Espèces	Niveau de contamination du sol, kBq/m ²	
	1,9	28,1
Myrtille	0,8	1,0
Framboise	14,6	9,1
Fraise des bois	22,7	10,0

39. Il existe des différences marquées dans le taux d'incorporation des radionucléides, même pour différents cultivars de la même espèce, parmi les carottes, betteraves et radis [Borisevich et Poplyko, 2002].

40. L'activité gamma totale incorporée dans différentes populations de lupins (*Lupinus luteus*) variait d'un facteur 20 [Grodzinsky, 1995b].

41. Les concentrations de Sr-90, Pu-238, Pu-239 et Pu-240 étaient bien plus élevées dans la phytomasse de surface des fraises sauvages (*Fragaria vesca*) que dans celle des myrtilles (*Vaccinium myrtillus*) dans les pinèdes à myrtilles [Parfenov et Yakushev, 1995].

42. Le principal contaminant radioactif dans la plupart des espèces de plantes médicinales au Belarus avant 1990 était le Cs-137, mais associé aux Ce-144 et Ru-106 dans les écorces [Tsvenova *et al.*, 1990].

43. Parmi les espèces de plantes annuelles, celles de la famille des pois (Fabaceae) tendent à concentrer le Pu et l'Am [Borysevitch et Poplyko, 2002].

44. Les concentrations de Cs-137 et Cs-134 dans des cernes de croissance de sapin du Colorado (*Abies concolor*) de la frontière franco-allemande, en France près de Nancy, reflètent les retombées de Tchernobyl [Garrec *et al.*, 1995].

9.1.2. Champignons et lichens

1. Le tableau 9.10 présente les données d'accumulation des radionucléides dans les lichens et les champignons après la catastrophe.

2. Diverses espèces de champignons ont des caractéristiques de TR différentes (Tableau 9.11).

9. Impact de la radioactivité sur la flore

Tableau 9.10. Exemples de contamination mondiale des champignons et lichens (Bq/kg) en 1986

Nucléide	Espèces	Activité	Pays	Références
Cs-137	Bolet bai (poids sec)	4 000 000 *	Ukraine	UNSCEAR, 2011
	Lichen	40 040 **	Norvège	Staaland <i>et al.</i> , 1995
	Lichen	36 630	Pologne	Seaward <i>et al.</i> , 1988
	Lichens des rennes	25 000 ***	Norvège	Solem et Gaare, 1992
	Champignons	16 300	Japon	Yoshida <i>et al.</i> , 1994
	Champignons (poids sec)	15 700 *****	Suisse	Hartmann, 2003
	Lichen	14 560	Grèce	Papastefanou <i>et al.</i> , 1988b
	Champignons	8 300 ****	Allemagne	Elstner <i>et al.</i> , 1987
	Champignons	6 680	Finlande	Rantavaara, 1987
Cs-135/Cs-137	Lichen, <i>Cladonia stellaris</i>	60 000	Norvège	Brittain <i>et al.</i> , 1991 ; Steinnes <i>et al.</i> , 1993
	Champignons	24 000	France	Coles, 1987
Ce-144	Lichen	18 500	Pologne	Seaward <i>et al.</i> , 1988
Nb-95	Lichen	8 114	Pologne	Seaward <i>et al.</i> , 1988
Ru-106/Rh-106	Lichen	16 570	Pologne	Seaward <i>et al.</i> , 1988
Total de l'activité	Lichen, <i>Cladonia sylvatica</i>	400 000	Ukraine	Grodzinsky, 1995b

* 1992 ; ** 1987 ; *** jusqu'à 75 fois plus qu'en 1985 ; **** jusqu'à 93 fois plus qu'en 1985 ; ***** automne 2003

3. Il y a une corrélation entre l'activité spécifique du Cs-137 dans le carpophore (c.-à-d. la partie visible) des champignons et l'intensité radioactive de la contamination du sol [Krasnov *et al.*, 1998 ; Kubert, 1988].

4. La concentration de Cs-137 dans les champignons de la même espèce varie d'un facteur supérieur à 500 selon les niveaux de concentration de radionucléides dans le sol [Shatova *et al.*, 2002].

Tableau 9.11. Ratio de transfert (TR) du Cs-137 dans des champignons des écosystèmes de Pologne ukrainienne [Orlov *et al.*, 1998 ; Krasnov *et al.*, 1997 ; Kubert, 1998]

TR	Espèces
1-10	Armillaire couleur de miel (<i>Armillaria mellea</i>), chanterelle (<i>Cantharellus cibarius</i>), bolet comestible (<i>Boletus edulis</i>), bolet roux (<i>Boletus versipellis</i>)
1-50	Lactaire laiteux noir (<i>Lactarius</i> sp.), bolet velouté (<i>Xerocomus subtomentosus</i>)
50-100	Bolet rude (<i>Leccinum scabrum</i>), russule des marais (<i>Russula paludosa</i>), bolet bai (<i>Xerocomus badius</i>), bolet bleuisant/indigotier (<i>Gyroporus cyanescens</i>)
> 100	Paxille (<i>Paxillus</i> sp.), bolet jaune (ou nonnette des pins) (<i>Suillus luteus</i>)

5. L'activité massique du Cs-137 dans les carpophores de champignons tels que le lactaire meurtrier (*Lactarius necator*), l'armillaire couleur miel (*Armillaria mellea*) et le bolet bai

(*Xerocomus badius*) augmente exponentiellement avec l'augmentation de la densité de contamination radioactive du sol [Krasnov *et al.*, 1998].

6. L'accumulation de Cs-137 dans les carpophores des champignons est moindre dans des conditions environnementales riches : chez les russules (*Russula* sp.), la différence entre l'accumulation de Cs-137 dans les chênaies mixtes et les pinèdes pures et mixtes va jusqu'à quatre fois ; pour le bolet blafard (*Boletus luridus*), elle est d'environ trois fois [Krasnov *et al.*, 1998].

7. L'accumulation de Cs-137 dans les carpophores des bolets comestibles (*Boletus edulis*) est particulièrement basse dans les pinèdes ; il en est de même pour le bolet bai (*Xerocomus badius*) dans les pinèdes mixtes [Krasnov *et al.*, 1998].

8. La quantité de césium-137 accumulée de 1991 à 1999 dans les champignons des pinèdes de la région de Jitomir a peu évolué (Figure 9.8).

Le niveau d'accumulation des radionucléides dans les plantes et les champignons dépend du sol, du climat, d'une biosphère particulière, de la saison, des taches de contamination radioactive, des espèces et des populations (sous-espèces, cultivars), etc. Chaque radionucléide a ses propres caractéristiques d'accumulation. Les coefficients d'accumulation et les ratios de transfert varient tellement dans le

9. Impact de la radioactivité sur la flore

temps et l'espace qu'il est difficile, sinon impossible, de prédire individuellement des niveaux réels de Cs-137, Sr-90, Pu-238, Pu-239, Pu-240 et Am-241 en chaque lieu et à chaque moment pour chaque plante ou champignon.

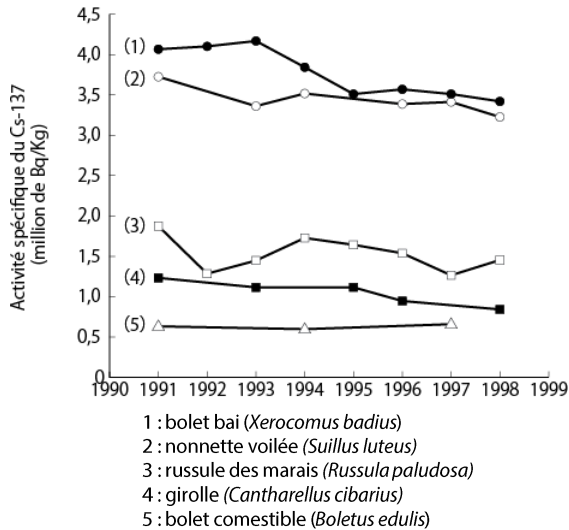


Figure 9.8. Teneur en Cs-137 (Bq/kg de poids sec) de différents champignons de pinèdes de la région de Jitomir à niveau de Cs-137 atteignant dans le sol 555 kBq/m² en 1986 [données de l'UNSCEAR, 2011 d'après : AIEA, 2002]

9.2. Anomalies morphologiques et tumeurs radio-induites

Les modifications de la structure morphologique normale des plantes sous l'effet des radiations (radiomorphose) sont des manifestations typiques dans les territoires lourdement contaminés [Grodzinsky *et al.*, 1991 ; Grodzinsky, 1998 ; Gudkov et Vinitchuk, 2006 ; et d'autres]. La radiomorphose apparaît principalement parce que les processus de duplication des cellules vivantes sont altérés sous l'influence de l'irradiation externe et/ou interne.

1. Les changements induits observés dans les plantes des territoires contaminés de Tchernobyl (zone des 30 km) incluent des altérations de forme, fusions, torsions, plissements, bifurcations, aplatissements anormaux des tiges, etc. (Tableau 9.12).

2. Quand meurent les bourgeons apicaux, dans lesquels se produit une division cellulaire active, il y a une perte de la dominance apicale et un transfert d'activité vers les bourgeons axiaux qui, dans des conditions normales, sont en état de repos et sont davantage radio-résistants. Les nouveaux bourgeons actifs produisent des tiges, feuilles et fleurs nouvelles [Gudkov et Vinitchuk, 2006].

Tableau 9.12. Quelques changements morphologiques de plantes induits par les radiations dans les régions lourdement contaminées après la catastrophe [Grodzinsky, 1998 ; Gudkov et Vinitchuk, 2006]

Parties	Modifications morphologiques
Feuilles	Augmentation ou diminution en taille et quantité Modification de la forme Torsions Plissements Rupture de nervures Asymétrie Amincissement Fentes dans la partie large des feuilles Attaches en faisceaux et tuméfactions Apparition de taches de nécrose Perte de la partie large de la feuille Défoliation prématurée
Jeunes pousses	Bourgeons végétatifs latéraux et apicaux supplémentaires Atteinte de l'orientation géotropique des bourgeons Pousses « chauves »
Tiges	Accélération ou inhibition de la croissance Échec de la phyllotaxie (ordre de placement des feuilles) Modification de couleur Perte de la dominance apicale Dichotomie et fasciations Tuméfactions
Racines	Accélération ou inhibition de la croissance Scission de la racine principale Mort de la racine principale Émondage de la zone du méristème (zone de croissance à partir de cellules indifférenciées) Absence de racines latérales Tuméfactions et torsions Apparition de racines aériennes Perte de l'héliotropisme
Fleurs	Accélération ou inhibition de la floraison Modification de couleur Augmentation ou diminution quantitative Modification de forme Défoliation des fleurs et des floscules (petites fleurs des fleurs composées) Tuméfactions Stérilité

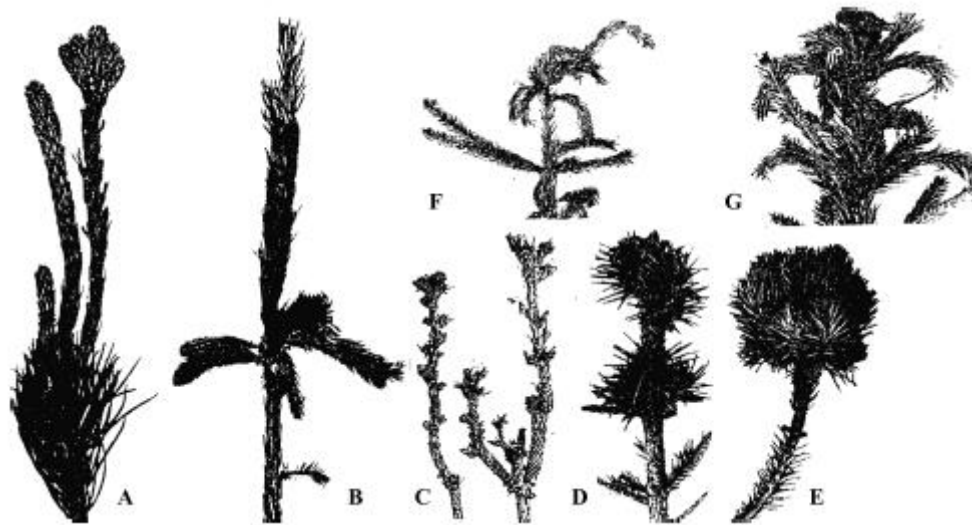


Figure 9.9. Anomalies des bourgeons de pin sylvestre (*Pinus sylvestris* : A et B) et d'épicéa (*Picea abies* : C à G) dans la zone des 30 km en 1986-1987 [Kozubov et Taskaev, 2022 ; Grodzinsky et al., 1991]

Tableau 9.13. Impact de l'irradiation de Tchernobyl sur la morphométrie du pin (*Pinus sylvestris*) et de l'épicéa (*Picea abies*) [Sorotchinsky, 1998] *

	Caractères	Faible contamination	Forte contamination
Pin	Longueur des aiguilles, mm	60 ± 4	19 ± 3
	Poids des aiguilles, mg	80 ± 3	14 ± 2
Épicéa	Longueur des aiguilles, mm	16 ± 2	40 ± 3
	Poids des aiguilles, mg	5 ± 1	95 ± 5

* Toutes les différences sont significatives.

3. L'induction, par les radiations, de la mort du méristème de la racine principale dans les plantes à racine-pivot entraîne un développement latéral plus actif qui, à son tour, provoque la croissance de plusieurs organes aériens. Des excroissances à aspect de tumeurs sur les feuilles, tiges, racines, fleurs et autres organes sont apparues aussi comme conséquences de l'irradiation dans la zone des 30 km en 1986. En 1987 et les années suivantes, le nombre de ces anomalies a augmenté et elles ont été observées principalement chez les conifères, sur lesquels les aiguilles sont remplacées toutes les quelques années et sur les bourgeons et branches pérennes (Figure 9.9).

4. Le tableau 9.13 présente des changements morphologiques induits par les radiations chez le pin (*Pinus sylvestris*) et l'épicéa (*Picea abies*).

5. Le nombre d'anomalies structurelles du pollen de blé tendre a augmenté dans les terri-

toires lourdement contaminés [Kovalchuk *et al.*, 2000].

6. Dans les années qui ont suivi la catastrophe, il y a eu une nette augmentation de l'incidence d'atteintes tératologiques variées sur les jeunes pousses de plantain (*Plantago lanceolata*) poussant à l'intérieur de la zone des 30 km [Frolova *et al.*, 1993].

7. L'incidence de deux caractéristiques morphologiques du blé tendre (*Triticum aestivum*) a augmenté après la catastrophe, puis diminué dans les deux générations suivantes (Groupe I) ; la fréquence de neuf autres caractéristiques morphologiques (Groupe II) a augmenté dans les générations postérieures (Tableau 9.14).

8. L'irradiation dans les territoires contaminés a eu une influence notablement plus élevée sur les pollens d'orge qu'une irradiation gamma dans des conditions maîtrisées (Tableau 9.15).

9. Impact de la radioactivité sur la flore

Tableau 9.14. Fréquence de quelques changements morphologiques dans trois générations d'une espèce de blé tendre (*Triticum aestivum*) dans les territoires contaminés par Tchernobyl [Grodzinsky, 1998, 2006]

Caractères	Année		
	1986	1987	1988
Groupe I			
Zones infertiles dans les épis	49,0	29,8	1,9
Épis tronqués	10,0	9,4	0,8
Groupe II			
Tiges rallongées	4,4	4,7	5,4
Barbe rugueuse	1,4	3,4	2,9
Épis fendus	4,5	11,1	9,4
Barbe allongée	2,8	2,8	4,7
Angulations	4,9	14,0	24,7
Changement de couleur du pédoncule	0,9	1,7	1,9
Gigantisme de l'épi	1,4	1,8	2,9
Tige plate	4,5	5,7	4,9
Épillets supplémentaires	14,0	14,8	29,7

Tableau 9.15. Fréquence de grains de pollens anormaux (pour 1 000 000) de l'orge (*Hordeum vulgare*) après 55 jours d'irradiation autour de la CNT, et dans des conditions expérimentales de champ-gamma [Bubryak et al., 1991]

	Taux de dose, $\mu\text{Sv/h}$	Dose, mSv	Grains anormaux, %
Zone des 30 km	Témoin (0,96)	1,3	0
	59	75	23
	320	422	79
	400	528	86
	515	680	90
Champ- γ expérimental	Taux de base (0,11)	0,1	0
	5	3,0	43
	50	29,6	45
	500	296	59
	5 000	2 960	57
	50 000	29 600	72

9. Les rayonnements de Tchernobyl, qui entraînent des cassures morphogénétiques, provoquent le développement de tumeurs dues à la bactérie *Agrobacterium tumefaciens*. Le développement actif de telles tumeurs se voit chez certaines plantes, dont *Hieracium murorum* (épervière des murs), *Hieracium umbellatum*

(épervière en ombelle), *Rubus idaeus* (framboisier) et *Rubus caesius* (ronce bleue), dans les territoires lourdement contaminés [Grodzinsky et al., 1991].

10. Un tissu de type tumoral est trouvé dans 80% des laitrons des champs (*Sonchus arvensis*) poussant dans les sols lourdement contaminés [Grodzinsky et al., 1991].

11. Dans les territoires lourdement contaminés, il y a eu une nette augmentation des formations de galles sur les feuilles de chênes (*Quercus*) [Grodzinsky et al., 1991].

12. La formation de tissus tumoraux (cals) chez les plantes sous l'influence de sols contaminés par la radioactivité a été confirmée expérimentalement (Tableau 9.16).

Tableau 9.16. Influence d'extraits de sol de Tchernobyl (à activité totale de $3,1 \times 10^4$ Bq/kg pour le Cs-137 et le Ce-144) sur la croissance et la division cellulaire d'un *Datura stramonium* (stramoine commune) [Grodzinsky et al., 2006]

	Cellules, pour 1g de tissu		Cellules, par cal	
	n x 10 ⁵	%	n x 10 ⁵	%
Tissu normal	39,7	100	78,6	100
Avec un extrait	38,9	98	100,4	127,6
Tissu avec tumeur	23,0	100	74,5	100
Avec un extrait	32,4	140,7	91,5	122,8

13. Il y a une tendance à la normalisation du nombre d'anomalies de la gamétogénèse dans le blé tendre (*Triticum aestivum*) en quatre à six générations après l'irradiation de Tchernobyl, mais il y a eu une accumulation de mutations dans certaines populations de blé [Grodzinsky, 1995a].

9.3. Altérations génétiques

1. Immédiatement après la catastrophe, la fréquence des mutations des plantes a augmenté brusquement et l'augmentation est restée à un niveau élevé pendant plusieurs années (Tableaux 9.17 et 9.18).

2. Dans les 2-3 premières années après la catastrophe, le nombre de mutations létales et chlorophylliennes dans toutes les populations d'*Arabidopsis thaliana* (arabette des dames) de la zone des 30 km a fortement augmenté. Le niveau initial spontané de mutations a été atteint en 6 ans dans les zones à niveau de rayonnement gamma atteignant 10 mR/h. Dans les zones à rayonnement gamma atteignant 130

9. Impact de la radioactivité sur la flore

mR/h, le niveau de mutations a été jusqu'à 8 fois plus élevé que le niveau spontané pendant 8 ans après la catastrophe [Abramov *et al.*, 1995].

Tableau 9.17. Fréquence (en %) des mutations de la chlorophylle de l'orge commune (*Hordeum vulgare*) et du seigle (*Secale seriale*) dans la zone des 30 km avec contamination des sols par les Cs-134, Cs-137, Ce-144 et Ru-106 [Grodzinsky *et al.*, 1991]

	Témoin	Années de contamination			
		1986	1987	1988	1989
Seigle, variété « Kiev-80 »	0,01	0,14	0,40	0,91	0,71
Seigle, variété « Kharkov-03 »	0,02	0,80	0,99	1,20	1,14
Orge, variété # 2	0,35	0,81	0,63	0,70	0,71

Tableau 9.18. Fréquence d'aberrations chromosomiques (en %), de 1986 à 1989, dans le méristème de quelques plantes cultivées dans les territoires contaminés par Tchernobyl [Grodzinsky, 2006] *

	Témoin	Années			
		1986	1987	1988	1989
<i>Lupinus alba</i> (lupin blanc)	0,9	19,4	20,9	14,0	15,9
<i>Pisum sativum</i> (pois cultivé)	0,2	12,9	14,1	9,1	7,9
<i>Secale cereale</i> (seigle)	0,7	14,9	18,7	17,1	17,4
<i>Triticum aestivum</i> (blé tendre)	0,9	16,7	19,3	17,7	14,2
<i>Hordeum vulgare</i> (orge commune)	0,8	9,9	11,7	14,5	9,8

* Toutes les différences par rapport aux témoins sont significatives.

3. La fréquence des mutations dans le blé tendre (*Triticum aestivum*) a été multipliée par 6 dans les territoires contaminés quelques années après la catastrophe [Kovalchuk *et al.*, 2000]. Quelque 13 ans après la catastrophe, la fréquence des aberrations chromosomiques dans deux cultivars de blé dans la zone des 30 km était bien plus haute que la fréquence spontanée [Yakimtchuk *et al.*, 2001].

4. Dans les glands du chêne *Quercus robur* et les pommes de pins de *Pinus sylvestris* dans certains lieux de la ville de Voronej, contaminée par les retombées de Tchernobyl, il y a une

forte augmentation de l'activité mitotique, démontrée par l'augmentation de la fréquence de cellules à résidus nucléaires après métaphase, anaphase et télophase, et la persistance de cellules multi-nucléées « de nombreuses années » après la catastrophe [Butoryna *et al.*, 2000 ; Aryukhov *et al.*, 2004].

5. Le taux d'aberrations chromosomiques dans les oignons est corrélé avec la densité de contamination radioactive du territoire (Tableau 9.19).

6. La fréquence moyenne de mutations du pin (*Pinus sylvestris*) est corrélée avec la densité de contamination de la zone par les radiations et elle est 10 fois plus haute dans la zone des 30 km que dans des lieux témoins [Shevtchenko *et al.*, 1996].

7. Les tests de descendance sur le plantain lancéolé (*Plantago lanceolata*), la porcelle enracinée (*Hypochoeris radicata*), le liondent d'automne (*Leontodon autumnalis*), la laitue des murs (*Mycelis muralis*), l'achillée millefeuille (*Achillea millefolium*), la verge d'or (*Solidago virgaurea*) et l'armoise boréale (*Artemisia campestris*), collectés dans la zone des 30 km (activité gamma au niveau du sol de 130 à 3 188 Ci/km²), après une intense irradiation additionnelle, ont révélé bien plus de mutations que sur les plantes témoins (c'est à dire que le nombre d'aberrations chromosomiques est corrélé avec la densité de contamination). Seule la scabieuse des prés (*Succisa pratensis*) a montré une résistance plus forte à la radioactivité [Dmitryeva, 1996].

8. La nette augmentation du niveau de mutations dans les graines de pins (*Pinus sylvestris*) de la zone des 30 km persiste 8 ans après la catastrophe [Kal'chenko *et al.*, 1995].

9. Dans les 6 à 8 ans après la catastrophe, le nombre d'anomalies de mitose dans la formation de microspores (nombre d'anomalies dans un méristème radical) et le nombre d'anomalies des grains de pollen étudiées dans 8 à 10% de 94 espèces de plantes sont corrélés avec le niveau d'irradiation gamma [Kordyum et Sydorenko, 1997].

10. Dans les populations naturelles de *Crepis tectorum* (crépide des toits) de la zone des 30 km, le taux de germination des graines n'excède pas 50%. Le nombre de cellules des racines à désordres chromosomiques (inversions, translocations, modification du nombre des chromosomes, etc.), est nettement plus élevé que chez les plantes témoins [Shevtchenko *et al.*, 1995].

9. Impact de la radioactivité sur la flore

Tableau 9.19. Atteinte du méristème de la racine apicale (germe de croissance) d'oignons (*Allium cepa*) avec différents niveaux de contamination des sols par Tchernobyl [Grodzinsky, 2006]

Activité du sol, kBq/kg	Nombre de cellules, n	Index mitotique, %	Pourcentage par rapport au témoin		
			Cellules aberrantes	Cellules à micronoyau	Cellules dégénérées
Témoin	15 005	4,1	100	100	100
37	33 275	4,4	240	171	250
185	29 290	4,4	216	129	500
370	23 325	117	150	229	900

11. Le nombre de grains de pollen stériles chez les pensées (*Viola matutina*) est corrélé au degré de contamination radioactive du sol [Popova *et al.*, 1991].

12. Les recombinaisons homologues extra-chromosomiques de l'arabette des dames (*Arabidopsis thaliana*) ont une fréquence 10 fois plus basse chez les plantes de territoires contaminés par la radioactivité [Kovalchuk *et al.*, 2004].

13. Dans la zone des 30 km, des complexes polynotératogènes exclusifs sont détectés : un fort pourcentage de grains de pollen et de spores avec différentes anomalies génétiques (grains de pollen et spores mal développés, formes naines et extrêmement naines et polynomorphisme divergeant de la norme sur plusieurs caractéristiques morphologiques). Ceci indique que la catastrophe de Tchernobyl a causé une « catastrophe géobotanique » [Levkovskaya, 2005].

9.4. Autres changements chez les plantes et champignons des territoires contaminés

1. Les forêts de conifères ont souffert le plus fortement des radiations (phénomène des « forêts rousses »), comparativement aux forêts mixtes et à feuilles caduques [Kryshev et Ryzantsev, 2000].

2. Certains processus métaboliques des plantes sont perturbés dans les territoires contaminés [Sorotchinsky, 1998]. Le tableau 9.20 donne des exemples de telles atteintes, exprimées en changement de concentration d'anthocyanine (couleur violette).

3. La radiosensibilité de certaines espèces de plantes augmente sous l'effet d'une faible dose chronique d'irradiation dans la zone des 30 km, conduisant à une perte graduelle de capacité de réparer l'ADN [Grodzinsky, 1999].

4. Des composés phénoliques à structure qualitative altérée se sont accumulés dans tous

les blés tendres, les seigles d'hiver et les cultivars de céréales, dans la zone des 30 km pendant les 6 années qui ont suivi la catastrophe [Fedenko et Struzhko, 1996].

5. La croissance radiale des arbres, dans les zones lourdement contaminées, a ralenti [Kozubov et Taskaev, 1994 ; Shmatov *et al.*, 2000].

6. Une nouvelle forme de la rouille noire (champignon parasite du blé ; *Puccinia graminis*) est présente dans la zone de Tchernobyl et sa virulence est plus élevée que celle des souches témoins [Dmitryev *et al.*, 2006].

Tableau 9.20. Changement de concentration d'anthocyanine dans les plantes irradiées [Grodzinsky, 2006]

	Niveaux d'irradiation	Anthocyanine (% du témoin)
Pousses de maïs (<i>Zea mays</i>)	Sol : 975 Bq/kg	119
Haricot mungo (<i>Phaseolus aureus</i>)	Irradiation chronique : 0,5 Gy	157
Arabette des dames (<i>Arabidopsis thaliana</i>)	Irradiation chronique : 0,5 Gy	173

Il est clair que les plantes et les champignons sont devenus des accumulateurs naturels des radionucléides de Tchernobyl. Les niveaux d'une telle accumulation et le transfert des radionucléides du sol aux plantes et champignons sont spécifiques de chaque radionucléide et varient selon l'espèce, la saison, l'année, le paysage, etc.

L'irradiation due à Tchernobyl a provoqué de nombreuses anomalies structurales et des changements d'aspect tumoral chez de nombreuses espèces de plantes et a conduit à des désordres génétiques qui perdurent de nombreuses années. Il apparaît que Tchernobyl a réveillé des gènes qui étaient latents depuis de longues périodes de l'évolution.

Vingt-cinq ans après la catastrophe, il est encore trop tôt pour savoir si l'ensemble des changements radiogéniques des plantes a été discerné. Nous sommes loin de connaître toutes les conséquences de la catastrophe pour la flore.

Bibliographie

- Abramov, V. I., Dyneva, S. V., Rubanovich, A. V. & Shevchenko, V. A. (1995). Genetic consequences of radioactive contamination of *Arabidopsis thaliana* populations in 30-km zone around Chernobyl NPP. *Rad. Biol. Radioecol.* **35**(5): 676–689 (en russe).
- Aleksakhin, R. M. (2006). Radioecology and problems of radiation safety. *Med. Radiol. Radiat. Safety* **52**(1): 28–33 (en russe).
- Aleksakhin, R.M., Vasil'ev, A.V. & Dykarev, V.G. (1992). *Agricultural Radioecology* ("Ecologia," Moscow): 400 pp. (en russe).
- Aleksenyzer, M. L., Bondarchuk, L. I., Kubaichuk, V. P., & Prister, S. S. (1997). About possibility of harvesting medicinal plants in areas contaminated in result of the Chernobyl accident. In: Fourth International Conference on Medical Botany (Abstracts, Kiev): pp. 17–18 (en russe).
- Artyukhov, V. G., Kalaev, V. N. & Savko, A. V. (2004). Effect of radioactive irradiation of parent *Quercus* (*Quercus robur* L.) on progeny and cytogenetic characters (remote consequences). Herald Voronezh University, *Physics Math* **1**: 121–128 (en russe).
- Averin, V. S., Ageets, V. Yu. & Braboshkin, A. V. (2006). Radioecological consequences of the Chernobyl accident. In: National Belarussian Report. *Twenty Years after Chernobyl Catastrophe: Consequences for Belarus and Its Overcoming Them* (Belarus, Minsk): pp. 13–28 (en russe).
- Bar'yakhtar, V. G. (Ed.) (1995). *Chernobyl Catastrophe: Historiography, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): 560 pp. (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua>) (en russe).
- Borysevich, N. Y. & Poplyko, I. Y. (2002). *Scientific Solution of the Chernobyl Problems: Year 2001 Results* (Radiology Institute, Minsk): 44 pp. (en russe).
- Brittain, J. E., Storruste, A. & Larsen, E. (1991). Radiocesium in brown trout (*Salmo trutta*) from a subalpine lake ecosystem after the Chernobyl reactor accident. *J. Env. Radioact.* **14**(3): 181–192.
- Bubryak, I., Naumenko, V. & Grodzinsky, D. (1991). Genetic damage occurred in birch pollen under conditions of radionuclide contamination. *Radiobiol.* **31**(4): 563–567 (en russe).
- Bulavik, I. M. (1998). Justification of forestry under radioactive contamination of Belarussian Poles'e. Doctoral Thesis (Gomel): 39 pp. (en russe).
- Butoryna, A. K., Kalaev, V. N., Vostryakova, T. V. & Myagkova, O. E. (2000). Cytogenetic character of seed prosperity: Three species under anthropogenic contamination in Voronezh City. *Citolog* **42**(2): 196–200 (en russe).
- Clark, M. J. (1986). Fallout from Chernobyl. *J. Soc. Radiol. Prot.* **6**(4): 157–166.
- Coles, P. (1987). French suspect information on radiation levels. *Nature* **329**: 475.
- Cort, M. de & Tsaturov, Yu. S. (Eds.) (1998). Atlas on Cesium contamination of Europe after the Chernobyl nuclear plant accident (ECSC – EEC – EAEC, Brussels – Luxembourg): 46 pp. + 65 plates.
- Dmitryev, A. P., Gutcha, N. I. & Kryzhanovskaya, M. S. (2006). Effect of chronic irradiation on interrelation of pathogen-plant system. International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 238–240 (en russe).
- Elstner, E. F., Fink, R., Holl, W., Lengfelder, E. & Ziegler, H. (1987). Natural and Chernobyl-caused radioactivity in mushrooms, mosses, and soil-samples of defined biotopes in SW Bavaria. *Oecolog* **73**: 553–558.
- Elyashevich, N.V. & Rubanova, K. M. (1993). Concentration of radionuclides by medicinal plants in various ecotops. Radiobiological Congress, September 20–25, 1993, Kiev (Abstracts, Putschyno) **1**: pp. 338 (en russe).
- Fedenko, V. S. & Struzhko, V. S. (1996). Phenolic compounds in corn cultivars from anthropogenic radionuclide anomaly. *Physiol. Biochem. Cultivars* **28**(4): 273–281 (en russe).
- Frolova, N. P., Popova, O. N. & Taskaev, A. I. (1993). Growth of incidence of teratological changes in 5th post-accident generation of *Plantago lanceolata* L. seedlings from the 30-km Chernobyl zone. *Radiobiolog* **33**(2): 179–182 (en russe).
- Garrec, J.-P., Suzuki, Y., Mahara, Y., Santry, V. S., Miyahara, S., et al. (1995). Plutonium in tree rings from France and Japan. *Appl. Radiat. Isotop.* **46**(11): 1271–1278.
- Gedikoglu, A. & Sipahi, B. L. (1989). Chernobyl radioactivity in Turkish tea. *Health Physics* **56**(1): 97–101.
- Grodzinsky, D. M. (1995a). Biogeochemical transformations of radionuclides. 3.4. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev) (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua>) (en russe).
- Grodzinsky, D. M. (1995b). Late effects of chronic irradiation in plants after the accident at the Chernobyl Nuclear Power Station. *Radiat. Protect. Dosimetry* **62**: 41–43 (en russe).
- Grodzinsky, D. M. (1995c). Ecological and biological consequences of Chernobyl catastrophe. 4. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economics, Geochemical, Medical and Biological Consequence* ("Naukova Dumka," Kiev) (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua>) (en russe).
- Grodzinsky, D. M. (1999). General situation of the radiological consequences of the Chernobyl accident in Ukraine. In: Imanaka, T. (Ed.), *Recent Research Activities about the Chernobyl NPP Accident in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-7 (Kyoto University, Kyoto): pp. 18–28.
- Grodzinsky, D. M. (2006). Reflection of the Chernobyl catastrophe on the plant world: Special and general biological aspects. In: Busby, C. C. & Yablokov, A. V. (Eds.), *ECRR Chernobyl 20 Years On: Health Consequences of the Chernobyl Accident*. ECRR Doc. 1 (Green Audit Books, Aberystwyth): pp. 117–134.
- Grodzinsky, D. M., Bulakh, A. A. & Gudkov, I. N. (1995). 4.4. Radiobiological consequences in plants. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe*:

- Historiography, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev) (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua>) (en russe).
- Grodzinsky, D. M., Kolomiets, O. D. & Kutlachmedov, Yu. (1991). *Anthropogenic Radionuclide Anomaly and Plants* ("Naukova Dumka" Kiev): 158 pp. (en russe).
- Gudkov, I. M. & Vinichuk, M.M. (2006). *Radiobiology and Radioecology* (NAUU, Kiev): 296 pp. (en russe).
- Heinzl, J., Korschinek, G. & Nolte, E. (1988). Some measurements on Chernobyl. *Physica Scripta* **37**: 314–316.
- Hisamatsu, S., Takizawa, Y. & Abe, T. (1987). Reduction of I-131 content in leafy vegetables and seaweed by cooking. *J. Radiat. Res.* **28**(1): 135–140.
- Ilus, E., Sjoblom, K. L., Saxen, R., Aaltonen, H. & Taipale, T. K. (1987). Finnish studies on radioactivity in the Baltic Sea after the Chernobyl accident in 1986. Report STUK-A66 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Ipat'ev, V. A. (1994). *Forest and Chernobyl: Forest Ecosystem after Chernobyl Accident, 1986–1994* ("Stener," Minsk): 248 pp. (en russe).
- Ipat'ev, V. A. (Ed.) (1999). *Forest. Human. Chernobyl. Forest Ecosystems after the Chernobyl Accident: Conditions, Forecast, People's Reaction, Ways of Rehabilitation* (Forestry Institute, Gomel): 454 pp. (en russe).
- Ipat'ev, V. (2008). Clean soil under forest radiocontamination: Is it real? *Sci. Innovat.* **61**(3): 36–38 (en russe).
- Ipat'ev, V. A. & Bulko, N. I. (2000). On "antagonism" and "dilution" effects in reducing radionuclide accumulation by woody plants. *Proc. Nat. Akad. Sci. Belarus.* **44**(2): 66–68 (en biélorusse).
- Ishida, J., Miyagawa, N., Watanabe, H., Asano, T. & Kitahara, Y. (1988). Environmental radioactivity around Tokai-Works after the reactor accident at Chernobyl. *J. Env. Radioact.* **7**: 17–27.
- Jacob, P. & Likhtarev, I. (1996). *Pathway Analysis and Dose Distribution* (Final Report of JSP-5, Luxembourg): 147 pp.
- Kal'chenko, V. A., Shevchenko, V. A., Rubanovich, A.V., Fedotov, I. S. & Spyryn, D. A. (1995). Genetic effects in *Pinus sylvestris* L. populations with Eastern Ural radioactive traces, Chernobyl zone and Semipalatinsk nuclear test site area. *Radiat. Biol. Radioecol.* **35**: 702–707 (en russe).
- Kenigsberg, J., Belli, M. & Tikhomyrov, F. (1996). Exposures from consumption of forest produce. In: First International Conference on Radiological Consequences of the Chernobyl Accident, March 18–22, 1996, Minsk, Belarus (Proceedings, Luxembourg): pp. 271–281.
- Kordyum, E. L. & Sydorenko, P. G. (1997). Results of cytogenetic monitoring of angiosperm plants in Chernobyl zone. *Cytol. Genet.* **31**(3): 39–46 (en russe).
- Korotkova, E. Z. (2000). Cs-137 concentration in main berry plants in Ukrainian Poles'e forests. Doctoral Thesis (Zhytomir): 19 pp. (en russe).
- Korotkova, E. Z. & Orlov, A. A. (1999). Cs-137 redistribution in organs of berry plant family *Vacciniaceae* depending upon age. In: *Problems of Forest Ecology and Forestry in Ukrainian Poles'e* (Transactions Poles'e Forest Station 6, Volyn): pp. 62–64 (en russe).
- Kovalchuk, I., Abramov, V., Pogribny, I. & Kovalchuk, O. (2004). Molecular aspects of plant adaptation to life in the Chernobyl zone. *Plant Physiol.* **135**(1): 357–363 (<http://www.pubmedcentral.nih.gov/redirect3.cgi?&&auth=0oq8av>) (en russe).
- Kovalchuk, O., Dubrova, Y., Arkhipov, A., Hohn, B. & Kovalchuk, I. (2000). Wheat mutation rate after Chernobyl. *Nature* **407**: 583–584.
- Kozubov, G. M. & Taskaev, A. I. (1994). *Radiobiological and Radio-Ecological Studies of Three Plants: Materials from 7 Years of Studies in the Chernobyl Zone* ("Nauka," St. Petersburg): 265 pp. (en russe).
- Kozubov, G. M. & Taskaev, A. I. (2002). Radiobiological studies of coniferous plants in Chernobyl area ("DIK," Moscow): 272 pp. (en russe).
- Krasnov, V. P. (1998). Radioecology of Ukrainian Poles'e forests ("Volyn," Zhytomir): 112 pp. (en ukrainien).
- Krasnov, V. P. & Orlov, A. A. (1996). Crop-producing power of main berry plants fam. *Ericaceae* in Ukrainian Poles'e and possibilities to exploit its resources after Chernobyl catastrophe. *Plant Resources* **1/2**: 41–48 (en russe).
- Krasnov, V. P. & Orlov, A. A. (2006). Actual problems of rehabilitation of radioactively contaminated forests. International Scientific Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Contributed Papers, Kiev) **3**: pp. 321–327 (en russe).
- Krasnov, V. P., Kubert, T. V., Orlov, A. A., Shelest, Z. M. & Shatrova, N. E. (1998). Impact of ecological factors on Cs-137 concentration in edible mushrooms in Central Ukrainian Poles'e. Annual Scientific Conference of the Nuclear Institute, January 27–30, 1998 (Materials, Kiev): pp. 305–307 (en russe).
- Krasnov, V. P., Orlov, A. A., Irkliencko, S. P., Shelest, Z.M., Turko, V. N., et al. (1997). Radioactive contamination of forest products in Ukrainian Poles'e. Forestry Abroad, Express-inform **5** (Moscow): pp. 15–25 (en russe).
- Kryshev, I. I. & Ryazantsev, E. P. (2000). Ecological security of Russian nuclear-energy complex ("IZ-DAT" Moscow): 384 pp. (en russe).
- Kubert, T. V. (1998). Regularity of Cs-137 concentration of edible mushrooms in Central Ukrainian Poles'e forests. First International Scientific and Practical Conference. *Ecology and Youth*. March 17–19, 1998, Gomel **1** (2) (Abstracts, Gomel): pp. 106–107 (en russe).
- Kuznetsov, V. K., Sanzhárova, N. I., Kalashnykov, K. G. & Aleksakhin, R. M. (2000). Cs-137 accumulation in crop products depending on species and cultivar abnormalities of agricultural crops. *Agro. Biol.* **1**: 64–69 (en russe).
- Lang, S., Raunemaa, T., Kulmala, M. & Rauhamaa, M. (1988). Latitudinal and longitudinal distribution of the Chernobyl fallout in Finland and deposition characteristics. *J. Aerosol. Sci.* **19**(7): 1191–1194.
- Levkovskaya, G. M. (2005). What are some natural or anthropogenic geobotanical catastrophes from the palynological statistical point of view? In: Proceedings of Eleventh All-Russian Palynological Conference on Palynology: Theory and Applications, September 27–October 1, 2005, Moscow (Abstracts,

9. Impact de la radioactivité sur la flore

- Moscow): pp. 129–133 ([//www.paleo.ru/download/palinolog_2005/tesises1.pdf](http://www.paleo.ru/download/palinolog_2005/tesises1.pdf)) (en russe).
- Mukhamedshin, K. D., Chylymov, A. I., Mishukov, N. P., Bezuglov, V. K. & Snytkin, G. V. (1995). Radioactive contamination in non-timber forest production. In: *Forestry under Radiation* (All-Russian Center LESRESURS, Moscow): pp. 31–38 (en russe).
- Orlov, A. A. (2001). Accumulation of technogenic radionuclides by wild forest berries and medicinal plants. *Chernobyl Digest* 1998–2000, 6 (Minsk) ([//www.biobel.bas-net.by/igc/ChD/ChD_r.htm](http://www.biobel.bas-net.by/igc/ChD/ChD_r.htm)) (en russe).
- Orlov, A. A. & Krasnov, V. P. (1997). Cs-137 accumulation intensity under soil cover in quercus and pinequercus forests sugrudoks of Ukrainian Poles'e. In: *Problems of Forest Ecology and Forestry in Ukrainian Poles'e*. Collection of Scientific Papers (Poles'e Forest Station, Zhytomir) 4: pp. 25–30 (en ukrainien).
- Orlov, A. A., Kalish, A. B., Korotkova, E. Z. & Kubers, T. V. (1998). Quantitative estimation of soil characters and intensity of Cs-137 migration in "soil–plant" and "soil–mushroom" chains based on a phytocological approach. In: *Agrochemistry and Pedology* (Collection of Papers, Kharkov) 4: pp. 169–176 (en russe).
- Orlov, A. A., Krasnov, V. P., Grodzinsky, D. M., Khomlyak, M. N. & Korotkova, E. Z. (1999). Radioecological aspects of using wild medicinal plants: Cs-137 transition from raw materials to watersoluble drugs. In: *Problems of Forest and Forestry Ecology in Ukrainian Poles'e* (Collection of Scientific Papers, Poles'e Forest Station, Volyn) 6: pp. 51–61 (en russe).
- Orlov, A. A., Krasnov, V. P., Irkliencko, S. P. & Turko, V. N. (1996). Investigation of radioactive contamination of medicinal plants of Ukrainian Poles'e forests. In: *Problems of Forest and Forestry Ecology in Ukrainian Poles'e*. Collection of Papers (Polessk Forest Station, Zhytomir) 3: pp. 55–64 (en ukrainien).
- Papastefanou, C., Manolopoulou, M. & Charamlambous, S. (1988). Radiation measurements and radioecological aspects of fallout from the Chernobyl reactor accident. *J. Env. Radioact.* 7: 49–64.
- Parfenov, V. I. & Yakushev, B. I. (Eds.) (1995). *Radioactive Contamination of Belarussian Plants Connected to the Chernobyl Accident* (Scientific Technical Publications, Minsk): 582 pp. (en russe).
- Popova, O. I., Taskaev, A. I. & Frolova, N. P. (1991). Indication of radioactive contamination of the environment by gametocide effects. *Radiobiol.* 31(2): 171–174 (en russe).
- Rantavaara, A. (1987). Radioactivity of vegetables and mushrooms in Finland after the Chernobyl accident in 1986: Supplement 4 to Annual Report STUKA55. Report No. STUK-A59 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET).
- Rybakov, D. S. (2000). Features of the distribution of industrial pollutants in annual rings of pine. Third International Symposium on Structure, Characters and Quality of Timber, September 11–14, 2000, Petrozavodsk (Karelian Scientific Center, Petrozavodsk): pp. 72–75.
- Seaward, M. R. D., Heslop, J. A., Green, D. & Bylinska, E. A. (1988). Recent levels of radionuclides in lichens from southwest Poland with particular reference to Cs-134 and Cs-137. *J. Env. Radioact.* 7: 123–129.
- Shatrova, N. E., Ogorodnik, A. F. & Prydyuk, N. P. (2002). Present-day Cs-137 accumulation by mushrooms from the Chernobyl zone. *Sci. Techn. Aspects Chernob.* 4: 448–451 (en russe).
- Shevchenko, V. A., Abramov, V. I., Kal'chenko, V. A., Fedotov, I. S. & Rubanovich, A. V. (1996). Genetic consequences of radioactive contamination of the environment connected with the Chernobyl accident to plant populations. In: Zakharov, V. M. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe Consequences: Environmental Health* (Center of Russian Environmental Policy, Moscow): pp. 118–133 (en russe).
- Shevchenko, V. V., Grynikh, L. I. & Shevchenko, V. A. (1995). Cytogenetic effects in natural population of *Crepis tectorum*, after chronic irradiation in the Chernobyl area: Analysis of chromosome aberrations, frequencies and karyotypic changes in 3rd and 4th year after accident. *Radiat. Biol. Radioecol.* 35(5): 695–701 (en russe).
- Shmatov, V., Ivanov, V. & Smirnov, S. (2000). Why do spruce get dry? "BryanskWorker" (Bryansk), January 2: p. 1 (en russe).
- Solem, J. O. & Gaare, E. (1992). Radio-caesium in aquatic invertebrates from Dovrefjell, Norway, 1986 to 1989, after the Chernobyl fall-out. *J. Env. Radioact.* 17(1): 1–12.
- Sorochin'sky, B. V. (1998). Protein characters in anomalous needles of spruce (*Picea abies*) and pine (*Pinus sylvestris*) from 1-km Chernobyl zone. *Cytol. Genet.* 32(5): 35–40 (en russe).
- Staaland, H., Garmo, T. H., Hove, K. & Pedersen, O. (1995). Feed selection and radio-caesium intake by reindeer, sheep and goats grazing alpine summer habitats in southern Norway. *J. Env. Radioact.* 29(1): 39–56.
- Steinnes, E. & Njastad, O. (1993). Use of mosses and lichens for regional mapping of Cs-137 fallout from the Chernobyl accident. *J. Env. Radioact.* 21(1): 65–74.
- Tscheglov, A. I. (1999). *Biogeochemistry of Technogenic Radionuclides in Forest Ecosystems: Results of 10 Years of Studies in Chernobyl Zone* ("Nauka," Moscow): 268 pp. (en russe).
- Tsvetnova, O. B., Tscheglov, A. I. & Chernov, S. A. (1990). Radionuclide contents in row medicinal plant materials from radioactive contaminated forests. Scientific and Practical Conference. *Basic Foundations of Forestry under Radioactive Contamination* (Abstracts, Gomel): pp. 27–28 (en russe).
- Wirth, E., Kammerer, L. & R'uhm, W. (1996). Uptake of radionuclides by understorey vegetation and mushrooms. In: Belli, M. & Tikhomyrov, F. (Ed.), *Behavior of Radionuclides in Natural and Semi-Natural Environments* (Final Report of ECP-9, Luxembourg): pp. 69–73.
- Yakimchuk, R. A., Moregun, V. V. & Logvinenko, V. F. (2001). Genetic consequences of radionuclides contamination in exclusion zone 13 years after the Chernobyl accident. *Physiol. Biochem. Cultivars* 33(3): 226–231 (en russe).
- Yoshida, S., Muramatsu, Y. & Ogawa, M. (1994). Radiocesium concentrations in mushrooms collected in Japan. *J. Env. Radioact.* 22(2): 141–154.

Chapitre 10. Impact de la radioactivité de Tchernobyl sur la faune

Alexey V. Yablokov et Natalia E. Preobrajenskaya

Le choc radioactif de l'explosion d'un réacteur de Tchernobyl en 1986 conjugué à une contamination chronique par de faibles doses a entraîné des désordres morphologiques, physiologiques et génétiques dans chaque catégorie d'espèces animales étudiée : mammifères, oiseaux, amphibiens, poissons et invertébrés. Ces populations présentent toutes sortes de difformités morphologiques, absentes des autres populations. Malgré les rapports sur des écosystèmes « sains » à proximité de Tchernobyl pour des espèces rares d'oiseaux et de mammifères, la présence d'une telle vie sauvage est probablement le résultat d'une immigration et non du maintien de populations locales. Vingt-cinq ans après la catastrophe, les niveaux de radionucléides incorporés restent dangereusement élevés pour les mammifères, les oiseaux, les amphibiens et les poissons dans certaines régions d'Europe. Les taux de mutations dans les populations animales des territoires contaminés sont nettement plus élevés et l'instabilité génomique transgénérationnelle des populations animales se manifeste par des effets cellulaires et systémiques néfastes. Les observations à long terme de populations d'animaux sauvages ou de laboratoire dans les territoires lourdement contaminés montrent de fortes augmentations de morbidité et de mortalité qui présentent une saisissante ressemblance avec les changements dans la santé des humains : augmentation de l'apparition de tumeurs et d'immunodéficiences, diminution de l'espérance de vie, vieillissement prématuré, modifications du sang et du système circulatoire, malformations et autres facteurs compromettant la santé.

La catastrophe de Tchernobyl a eu un impact sur la faune et continuera à avoir des effets pendant de nombreuses décennies à venir, ces effets allant de modifications dans la vitalité des populations jusqu'à une reproduction anormale et des désordres génétiques. Il est bon de rappeler que les *Homo sapiens* font partie du règne animal et souffrent des mêmes sortes de conséquences que les animaux.

Comme dans les chapitres précédents, seule une faible partie de la documentation scientifique disponible est présentée ici, mais plusieurs monographies sélectives ont été incluses : Frantsevitch *et al.*, 1991 ; Sutshenya *et al.*, 1995 ; Zakharov et Krysanov, 1996 ; Sokolov et Kryvolutsky, 1998 ; Ryabov, 2002 ; Gontcharova, 2000 ; et d'autres.

En dehors des études zoologiques, il existe des centaines d'études publiées par des vétérinaires en Ukraine, au Belarus et en Russie qui montrent une détérioration de la santé des vaches, porcs, moutons et volailles dans les territoires contaminés par Tchernobyl.

La première partie de ce chapitre est consacrée aux niveaux d'accumulations des radionucléides de Tchernobyl dans différentes espèces. La seconde partie expose les anomalies reproductives des animaux dans les territoires contaminés et les changements génétiques qui en résultent. Voici l'ordre de présentation : mammifères, oiseaux, amphibiens, poissons et invertébrés.

10.1. L'incorporation des radionucléides

La quantité de radionucléides contenus dans le corps d'un animal dépend du ratio de transfert (TR) et du coefficient d'accumulation (CA), c'est à dire de la relation entre l'activité massique d'un radionucléide dans un corps et l'activité spécifique du même radionucléide dans l'écosystème : $[TR = (Bq/kg \text{ de biomasse animale}) / (kBq/m^2 \text{ de rayonnement ambiant}) ; CA = (Bq/kg \text{ de biomasse animale}) / (Bq/kg \text{ d'air, de sol ou d'eau})]$.

10. Impact de la radioactivité sur la faune

Les animaux, des mammifères aux oiseaux, poissons, vers et insectes, dépendent de la nourriture qu'ils peuvent attraper. La santé et la survie des animaux donnent un aperçu des

niveaux ambiants des radiations et de leurs effets.

1. Le Tableau 10.1 présente les concentrations maximales de quelques radionucléides chez les mammifères après la catastrophe.

Tableau 10.1. Concentration maximale (Bq/kg, poids vif) de quelques radionucléides après la catastrophe

Nucléide	Bq/kg	Espèce	Pays	Référence
Sr-90	1 870	Campagnol roussâtre (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	Belarus	Ryabokon' <i>et al.</i> , 2005*
Cs-137	400 000	Campagnol roussâtre (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	Belarus	Ryabokon' <i>et al.</i> , 2005*
	187 000	Sanglier (<i>Sus scrofa</i>)	Russie	Pelgounov <i>et al.</i> , 2006
	74 750	Chevreuil (<i>Capreolus capreolus</i>)	Russie	Pelgounov <i>et al.</i> , 2006
	48 355	Musaraigne commune (<i>Sorex araneus</i>)	Russie	Ushakov <i>et al.</i> , 1996
	42 000	Musaraigne pygmée (<i>Sorex minutus</i>)	Russie	Ushakov <i>et al.</i> , 1996
	24 630	Mulot à collier roux (<i>Apodemus flavicollis</i>)	Russie	Ushakov <i>et al.</i> , 1996
	7 500	Lièvre d'Europe (<i>Lepus europaeus</i>)	Russie	Pelgounov <i>et al.</i> , 2006
	3 320	Élan (<i>Alces alces</i>)	Russie	Pelgounov <i>et al.</i> , 2006
	1 954	Cerf de Virginie	Finlande	Rantavaara, 1987
	1 888	Lièvre variable (<i>Lepus timidus</i>)	Finlande	Rantavaara <i>et al.</i> , 1987
	1 610	Élan (<i>Alces alces</i>)	Finlande	Rantavaara <i>et al.</i> , 1987
	760 ¹	Élan (<i>Alces alces</i>)	Suède	Johanson et Bergström, 1989
	720	Renne (<i>Rangifer tarandus</i>)	Finlande	Rissanen et Rahola, 1990
Cs-134	60 000	Campagnol roussâtre (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	Belarus	Ryabokon' <i>et al.</i> , 2005*
Cs134/Cs-137	100 000	Renne (<i>Rangifer tarandus</i>)	Norvège	Strand, 1987
	15 000	Mouflon (argali) (<i>Ovis ammon</i>)	Norvège	Strand, 1987
	3 898	Mouflon (argali) (<i>Ovis ammon</i>)	Grande-Bretagne (Cambrie)	Sherlock <i>et al.</i> , 1988
	3 200	Chevreuil (<i>Capreolus capreolus</i>)	Allemagne	Heinzl <i>et al.</i> , 1988
Pu-239 + Pu-240	1,3	Campagnol roussâtre (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	Belarus	Ryabokon' <i>et al.</i> , 2005*
Pu-238	0,6	Campagnol roussâtre (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	Belarus	Ryabokon' <i>et al.</i> , 2005*
Am-241	12	Campagnol roussâtre (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	Belarus	Ryabokon' <i>et al.</i> , 2005*
	< 0,01	Sanglier (<i>Sus scrofa</i>)	Belarus	Borysevich et Poplyko, 2002
Ag-110m	74	Bovin (<i>Bos taurus</i>)	Grande-Bretagne	Jones <i>et al.</i> , 1986
Total gamma	58 000	Chevreuil (<i>Capreolus capreolus</i>)	Europe de l'Ouest	Eriksson <i>et al.</i> , 1996
	113 000	Sanglier (<i>Sus scrofa</i>)	France	Tchykin, 1997
	79 500 poids sec ²	Loutre de rivière (excréments)	Écosse	Mason et Mac Donald, 1988

* Calculs d'après les chiffres de Ryabokon' *et al.*, 2005 [A.Y.].

¹ Jusqu'à 33 fois supérieur au niveau d'avant Tchernobyl [Danell *et al.*, 1989].

² 10,7 fois supérieur au pic de concentration d'avant Tchernobyl.

2. Des espèces indicatrices, telles que le campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*) et le mulot à collier roux (*Apodemus flavicollis*), qui habitent les écosystèmes forestiers naturels du Belarus montrent des niveaux maximaux de Cs-134 et Cs-137 pendant 1 à 2 ans après la catastrophe. En revanche, les concentrations de Sr-90 incorporé augmentent pendant les 10 ans qui suivent la catastrophe (Figure 10.1).

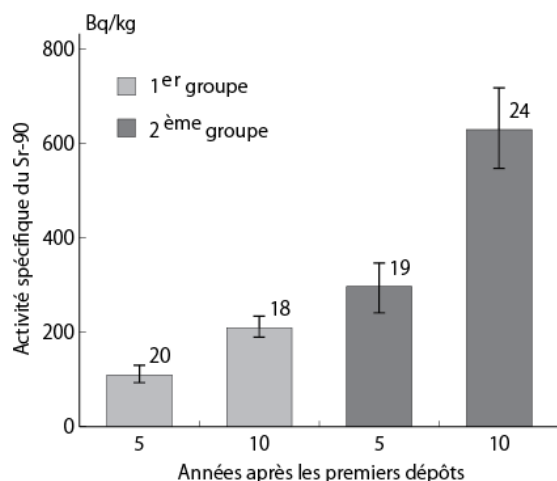


Figure 10.1. Concentration de l'activité (activité spécifique ; Bq/kg) du Sr-90 au fil du temps dans deux populations bélarusses de campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*) en 1991 et 1996 (5 et 10 ans après la catastrophe). Les écarts types des valeurs moyennes sont indiqués ; $p < 0,01$ par comparaison avec les années précédentes [Ryabokon' et al., 2005]

3. Cinq ans après la fusion (du cœur du réacteur), une activité significative en Am-241 a été détectée chez les campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) des territoires à haut niveau de contamination. Les niveaux ont augmenté jusqu'à la dixième année et on s'attend à ce qu'ils continuent de croître [Ryabokon' et al., 2005].

4. Il existe une variabilité individuelle notable dans l'incorporation des Cs-134, Cs-137, Sr-90, Pu et Am-241 chez les populations de campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) vivant dans les territoires contaminés du Belarus (Figure 10.2) [Ryabokon' et al., 2005].

5. Le niveau d'accumulation des radionucléides chez le chevreuil (*Capreolus capreolus*) peut varier de 10 à 30 fois selon les saisons [McGee et al., 2000].

6. En automne, le niveau d'incorporation de césium-137 dans les muscles et les organes internes du chevreuil (*Capreolus capreolus*) augmente d'un facteur 7 à 11 [Krasnov et al., 1997]. Ce sont les trembles, les chênes, les bruyères, les myrtilles et autres éricacées qui contribuent très fortement à faire entrer du césium-137 dans l'organisme du chevreuil [Krasnov et al., 1998].

7. Dix ans après la catastrophe, dans les régions contaminées de l'ouest de l'Europe, la radioactivité dans la viande de chevreuil (*Capreolus capreolus*) atteignait en moyenne 58 000 Bq/kg et elle avait augmenté jusqu'à 113 000 Bq/kg dans celle du sanglier (*Sus scrofa*) [Eriksson et Petrov, 1995 ; Eriksson et al., 1996 ; Tchykin, 1997].

8. La diminution de la concentration du Cs-137 chez les bovins (*Bos taurus*) dans les territoires contaminés s'est révélée beaucoup plus lente que ce qui était prédit par tous les modèles de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) [Thiessen et al., 1997].

9. Le niveau d'incorporation du Cs-137 des bovins (*Bos taurus*), est très différent dans les territoires lourdement et moins contaminés d'Ukraine (Tableau 10.2).

Tableau 10.2. Incorporation du Cs-137 (Bq/kg, Bq/litre) dans les membranes amniotiques, les placentas et le colostrum de vaches de régions lourdement et moins contaminées de la province de Jitomir en Ukraine, 1997-1999 [Karpuk, 2001] ¹

	Niveau de contamination	
	5-15 Ci/km ²	< 0,1 Ci/km ²
Placentas et membranes amniotiques	24,3 ± 2,1 *	3,1 ± 0,1
Placentas (cotylédons)	36,3 ± 4,2 *	4,9 ± 0,4
Colostrum	17,3 ± 1,4 *	4,4 ± 0,5

¹ Données en Ci/km² – récapitulées sur deux fermes par A. Y.

* $p < 0.001$.

10. L'accumulation du Cs-137 montre des variations individuelles marquées chez le sanglier (*Sus scrofa*) et le chevreuil (*Capreolus capreolus*), mais elle est plus homogène chez l'élan (*Alces alces*), car elle ne dépend pas seulement des chaînes alimentaires spécifiques de l'espèce, mais aussi des taches de contamination radioactive (voir Partie I pour les détails) et de la radioactivité dans une zone spécifique (Tableau 10.3).

10. Impact de la radioactivité sur la faune

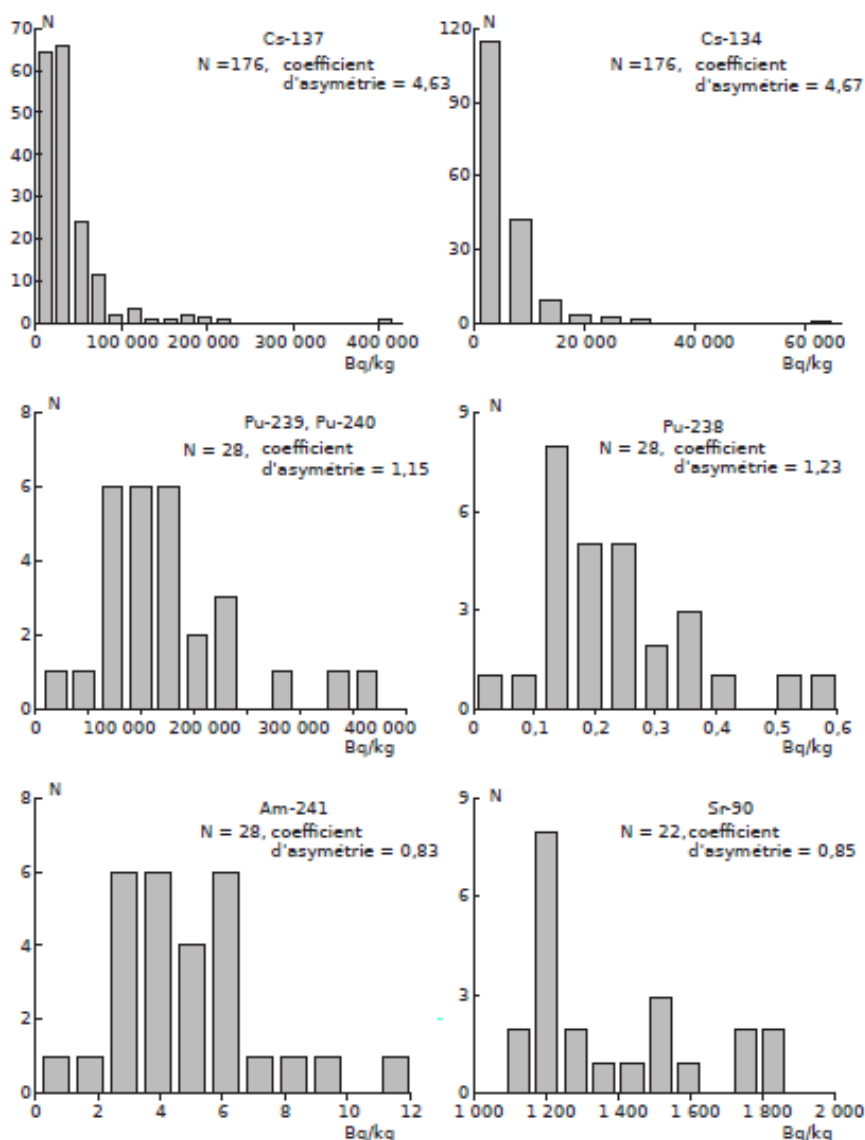


Figure 10.2. Variabilité individuelle du niveau d'incorporation de radionucléides chez des populations de campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) au Belarus : Cs-137 et Cs-134 (3 ans après la catastrophe) ; Pu-238, Pu-239, Pu-240, Am-241 et Sr-90 (10 ans après) [Ryabokon' et al., 2005]

Tableau 10.3. Accumulation du Cs-137 (Bq/kg de poids vif) dans les muscles de plusieurs espèces de mammifères chassés dans des zones contaminées par 8 à 28 Ci/km² de la province de Briansk, 1992-2006 [Pelgounov et al., 2006]

Espèce	$M \pm m$	Mini-maxi
Sanglier (<i>Sus scrofa</i>), $n = 59$	13 120 $\pm$ 3 410	250-187 900 *
Chevreuril (<i>Capreolus capreolus</i>), $n = 97$	12 660 $\pm$ 1 340	800-74 750
Élan (<i>Alces alces</i>), $n = 30$	1 860 $\pm$ 160	240-3 320
Lièvre d'Europe (<i>Lepus europaeus</i>), $n = 8$	2 560	504-7 500

* Niveau autorisé en Russie = 320 Bq/kg

11. La figure 10.3 donne la concentration moyenne du césium-137 dans l'organisme d'élans (*Alces alces*) sur des territoires radio-contaminés de la région de Briansk respectivement 6 à 7, 10 à 12 et 20 à 22 ans après la catastrophe.

12. L'étude de 44 espèces d'oiseaux dans la zone des 5 km de Tchernobyl de 2003 à 2005 a montré que la plus grande contamination se manifestait pendant la période de nidification et de couvaison. Les femelles accumulent davantage de Sr-90 que les mâles, tandis que les oisillons et les jeunes en accumulent plus que les femelles. L'accumulation de Cs-137 ne

10. Impact de la radioactivité sur la faune

diffère pas entre les jeunes et les adultes ou entre les sexes. Les taux maximaux d'accumulation de Sr-90 et de Cs-137 sont exposés dans le tableau 10.4.

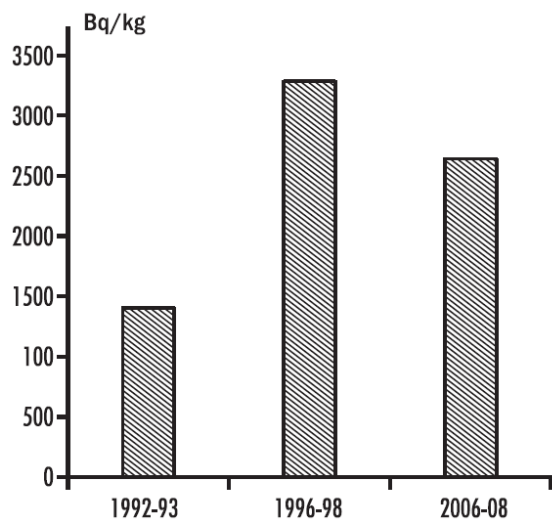


Figure 10.3. Concentration moyenne du Cs-137 (Bq/kg de poids vif) dans l'organisme d'élan (*Alces alces*) sur des territoires radiocontaminés de la région de Briansk pendant les années 1992-1993, 1996-1998 et 2006-2008 [Pelgounov et al., 1009]

13. Au Belarus, 10 ans après la catastrophe, les niveaux totaux de radionucléides émetteurs gamma dans le corps des sarcelles d'été et d'hiver (*Anas querquedula* et *Anas crecca*) dépassaient 13 000 Bq/kg ; chez le canard colvert (*Anas platyrhynchos*), on trouve environ 10 000 Bq/kg et chez les foulques macroules (*Fulica atra*), on a plus de 4 000 Bq/kg [Sutchenya et al., 1995].

14. Les variations (individuelles) intraspécifiques de concentration du Cs-137 sont plus importantes que les variations interspécifiques (Tableau 10.5).

15. Dans la zone des 30 km, les accumulations de Cs-137 et Sr-90 ont atteint 5,3 kBq/kg chez certains amphibiens. Le ratio de transfert (TR) du substrat à l'animal, mesuré en Bq/kg, montre que le TR est plus élevé pour le Sr-90 et moindre pour le Cs-137 chez tous les amphibiens étudiés. Les TR pour le Sr-90 étaient respectivement, par ordre décroissant : 44,1 chez le crapaud sonneur (*Bombina bombina*), 34,4 chez le pélobate brun (*Pelobates fuscus*), 20,6 chez la rainette verte (*Hyla* sp.) et 20,4 chez les vraies grenouilles (*Rana* sp.) [Bondar'kov et al., 2002].

Tableau 10.4. Concentration de quelques radionucléides (Bq/kg de poids vif) chez plusieurs espèces d'oiseaux après la catastrophe

Radionucléide	Bq/kg	Espèce	Pays	Référence
Sr-90	1 635 000	Mésange charbonnière (<i>Parus major</i>)	Ukraine	Gaschak et al., 2008
	556 000	Mésange à longue queue (<i>Aegithalos caudatus</i>)	Ukraine	Gaschak et al., 2008
	226 000	Rossignol (<i>Luscinia luscinia</i>)	Ukraine	Gaschak et al., 2008
Cs-137	367 000	Mésange charbonnière (<i>Parus major</i>)	Ukraine	Gaschak et al., 2008
	305 000	Merle (<i>Turdus merula</i>)	Ukraine	Gaschak et al., 2008
	85 000	Grive musicienne (<i>Turdus philomelos</i>)	Ukraine	Gaschak et al., 2008
	1 930	Canard colvert (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Russie	Pelgounov et al., 2006
	450	Perdrix grise (<i>Perdix perdix</i>)	Russie	Pelgounov et al., 2006
	470	Bécasse des bois (<i>Scopolax rusticola</i>)	Russie	Pelgounov et al., 2006
	350	Rouge-gorge (<i>Erithacus rubecola</i>)	Pays-Bas	De Knijff et Van Swelm, 2008
	112	Rouge-gorge (<i>Erithacus rubecola</i>)	Pays-Bas	De Knijff et Van Swelm, 2008
Cs-134	10 469	Canard domestique (<i>Anas</i> sp.)	Finlande	Rantavaara et al., 1987
Cs-134, Cs-137	6 666	Garrot à œil d'or (<i>Bucephala clangula</i>)	Finlande	Rantavaara et al., 1987
Zr-95	467	Rouge-gorge (<i>Erithacus rubecola</i>)	Pays-Bas	De Knijff and Van Swelm, 2008
Nb-95	1 292	Rouge-gorge (<i>Erithacus rubecola</i>)	Pays-Bas	De Knijff and Van Swelm, 2008
Total gamma	> 13 000	Sarcelle (<i>Anas querquedula</i> et <i>A. crecca</i>)	Belarus	Sutchenya et al., 1995
	10 000	Canard colvert (<i>Anas platyrhynchos</i>)	Belarus	Sutchenya et al., 1995
	> 4 000	Foulque macroule (<i>Fulica atra</i>)	Belarus	Sutchenya et al., 1995

10. Impact de la radioactivité sur la faune

Tableau 10.5. Accumulation de Cs-137 (Bq/kg de poids vif) pour trois espèces de gibier à plumes de zones contaminées par 8 à 28 Ci/km² dans la province de Briansk de 1992 à 2006 [Pelgounov et al., 2006]

Espèce	Moyenne	Min-max *
Canard colvert (<i>Anas platyrhynchos</i>), n = 28	920	314-1 930
Perdrix grise (<i>Perdix perdix</i>), n = 14	350	280-450
Bécasse des bois (<i>Scopolax rusticola</i>), n = 11	370	270-470

* Niveau autorisé en Russie : 180 Bq/kg.

16. Les TR les plus élevés pour le Cs-137 ont été trouvés chez le crapaud commun (*Bufo bufo*) : 12,9 et chez la grenouille des champs (*Rana arvalis*) : 10,0 [Bondar'kov et al., 2002].

17. Les degrés de contamination après la catastrophe chez quelques poissons sont exposés dans le tableau 10.6.

18. Les prévisions initiales d'une rapide élimination du Cs-137 par les poissons (de 5 à 7 ans) se sont révélées erronées : après 3 à 4 ans de déclin rapide, la baisse des niveaux de contamination a terriblement ralenti (Figure 10.4).

Tableau 10.6. Concentration (Bq/kg) de quelques radionucléides dans les poissons après la catastrophe

Nucléide	Concentration	Espèce	Pays	Référence
Cs-137	16 000	Perche (<i>Perca fluviatilis</i>)	Finlande	Saxen et Rantavaara, 1987
	10 000	Brochet (<i>Esox lucius</i>)	Finlande	Saxen et Rantavaara, 1987
	7 100	Corégone (<i>Coregonus</i> sp.)	Finlande	Saxen et Rantavaara, 1987
	6 500	Poisson-chat (<i>Silurus glanis</i>)	Ukraine	Zarubin et al., 2006
	4 500	Brème (<i>Abramis brama</i>)	Finlande	Saxen et Rantavaara, 1987
	2 000	Corégone blanc (<i>Coregonus albula</i>)	Finlande	Saxen and Rantavaara, 1987
	708	Carassin commun (<i>Carassius carassius</i>)	Russie	Ushakov et al., 1996
	493	Brème (<i>Abramis brama</i>) *	Pologne	Robbins and Jasinski, 1995
	190	« Poisson »	Baltique	Ilus et al., 1987
Cs-134/137	15-30	« Brochet et morue » **	Baltique	Ikaheimonen et al., 1988
	55 000	« Poisson d'eau douce »	Norvège	Strand, 1987
	12 500	Truite saumonée (<i>Salmo trutta</i>)	Norvège	Brittain et al., 1991
Sr-90	157	Carassin commun (<i>Carassius carassius</i>)	Russie	Ushakov et al., 1996
Total gamma	300 000	Poisson prédateur	Ukraine	Gudkov et al., 2004

* 120 fois le niveau d'avant Tchernobyl.

** Environ 5 fois le niveau d'avant Tchernobyl.

Tableau 10.7. Quelques radionucléides liés à Tchernobyl dans le zooplancton [d'après J. Turner, 2002]

Mer	Date	Notes	Référence
Mer du Nord au large de la Norvège	Mai-juin 1986	Nb-95, Zr-95, Ru-103, Ru-106, Cs-134, Cs-137, Ce-144 ; profondeur de 222 m. Résidus fécaux dans des pièges à sédiments	Kempe et Nies, 1987
Mer Méditerranée au large de la Corse	8 au 15 mai (chutes de pluies les 4-5 mai) 1986	Ce-141 et Ce-144 ; profondeur de 200 m. > 70% composés de résidus fécaux de copépodes (petits crustacés)	Fowler et al., 1987
Mer Noire	Mai-juin 1986	Ru-106, Cs-137, Ce-144 ; profondeur de 1 071 m (<i>Emiliana huxleyi</i> = algue unicellulaire très courante)	Buesseler et al., 1987 ; Kempe et al., 1987
Pacifique Nord et Mer de Béring	Juin-juillet 1986	Ru-103, Cs-134, Cs-137, de 110 à 780 m	Kusakabe et Ku, 1988

10. Impact de la radioactivité sur la faune

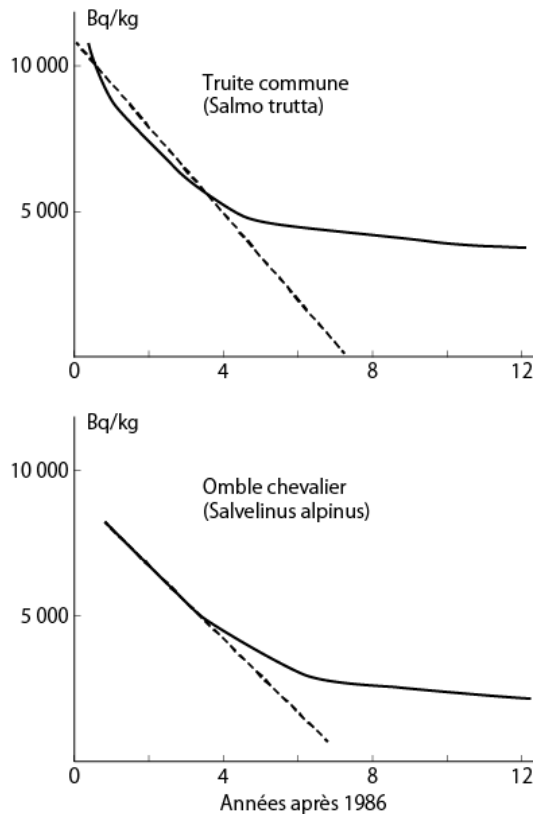


Figure 10.4. Dynamique de concentration du Cs-137 de Tchernobyl chez la truite commune (*Salmo trutta*) et l'omble chevalier (*Salvelinus alpinus*) dans les lacs de Norvège du Nord de 1986 à 1998. [Jonsson *et al.*, 1999]
Ligne en pointillés : prévisions ;
ligne continue : concentration mesurée

19. Jusqu'en 1994, le taux de Cs-137 dans les perches communes (*Perca fluviatilis*) des lacs suédois et finlandais a dépassé le taux admissible officiel [Kryshev et Ryazantsev, 2000].

20. De 1987 à 2002, le taux de Cs-137 dans les muscles de silures glanes (*Silurus glanis*) dans le réservoir de refroidissement de la centrale nucléaire de Tchernobyl (CNT) est passé de 1 140 à 6 500 Bq/kg [Zarubin *et al.*, 2006].

21. Dans les étendues d'eau enclavées des zones contaminées, la concentration en radionucléides des poissons prédateurs atteignait 300×10^3 Bq/kg [Gudkov *et al.*, 2004].

22. Durant plusieurs mois après la catastrophe, en Allemagne, le miel était lourdement contaminé par l'I-131 ($> 14 \times 10^3$ Bq/kg) et par le Ru-103 (> 750 Bq/kg) (Bunzl et Kracke, 1988).

23. Le tableau 10.7 fournit des données sur les concentrations de radionucléides de Tchernobyl dans le zooplancton, qui reflètent à la

fois les hauts niveaux d'accumulation et la grande diversité des eaux contaminées.

24. En 1986, la contamination radioactive du plancton de la Baltique a atteint 2 600 Bq/kg d'activité bêta brute et 3 900 Bq/kg de Np-239 [Ikaheimonen *et al.*, 1988].

10.2. Anomalies de la reproduction

Des observations biologiques régulières dans les territoires lourdement contaminés d'Ukraine, du Belarus et de Russie européenne n'ont commencé que 2 mois après l'explosion. Heureusement, pendant cette période, des données concernant les effets nuisibles de la contamination de Tchernobyl sur le bétail et les autres animaux de ferme ont été collectées par de nombreux vétérinaires [Il'yazov, 2002 ; Konyukov *et al.*, 1994 ; Novykov *et al.*, 2006 ; et beaucoup d'autres].

1. En septembre 1986, les populations de muridés dans les territoires lourdement contaminés avaient diminué jusqu'à 80% [Bar'yakhtar, 1995].

2. La mortalité des souris de laboratoire (*Mus musculus*) qui étaient restées jusqu'à 14 jours dans la zone des 10 km a beaucoup augmenté et elle est associée à l'irradiation supplémentaire [Nazarov *et al.*, 2007].

3. Il y a eu une augmentation de l'incidence des morts embryonnaires sur 22 générations de campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) des territoires contaminés. Une mortalité prénatale très élevée a persisté malgré une diminution du niveau de contamination du sol [Gontcharova et Ryabokon', 1998a, b ; Smolich et Ryabokon', 1997].

4. Pendant un mois et demi, les surmulots mâles sexuellement actifs (*Rattus norvegicus*) à l'intérieur de la zone des 30 km ont présenté un arrêt de l'activité sexuelle et de l'érection, ce qui a entraîné une réduction du nombre de femelles fécondées, un déclin de la fertilité et une augmentation des morts préimplantatoires [Karpenko, 2000].

5. Des observations dans les fermes d'élevages de sangliers reproducteurs (*Sus scrofa*), avec des taux de contamination de Cs-137 de 1 à 5 Ci/km² et des taux de Sr-90 de 0,04 à 0,08 Ci/km², ont révélé une baisse marquée du nombre de canaux séminaux, surtout pour les sangliers âgés de 2 à 4 ans, ainsi qu'un élargissement, une nécrose et une disposition inhabituelle des gamètes à l'intérieur des canaux (Tableau 10.8).

10. Impact de la radioactivité sur la faune

Tableau 10.8. Caractéristiques histologiques des testicules de sangliers liées à la contamination par le Sr-90 et le Cs-137 [Oleinik, 2005]

Âge	Nombres spécifiques de canaux séminaux		Épaisseur des albuginées, µm	
	Contaminés	Témoins	Contaminés	Témoins
5 mois	39,0 ± 0,7 *	63,7 ± 2,8	178,0 ± 8,5 *	465,2 ± 11,7
8 mois	20,5 ± 0,9	21,4 ± 0,9	231,0 ± 12,7 *	572,0 ± 18,1
2 ans	13,4 ± 0,4 *	21,2 ± 0,8	335,0 ± 8,81 *	428,0 ± 17,3
4 ans	12,9 ± 0,6 *	19,2 ± 0,9	380,3 ± 22,2	349,5 ± 26,0

* $p < 0,05$.

Tableau 10.9. Poids, morbidité totale et mortalité (en %) de veaux des districts lourdement (5-15 Ci/km²) et moins (< 1 Ci/km²) contaminés de la province de Jitomir en Ukraine, 1997-1999 [Karpuk, 2001]

	Poids			Morbidité totale	Mortalité
	Moins de 26 kg	Plus de 35 kg	Normal		
Faible contamination	13,3	10	76,7	34	7
Forte contamination	20	15	65	50,5 *	12 *

* $p < 0,01$.

6. Il y a eu une diminution nette de l'insémination et 1,8 à 2,5% des porcelets sont mort-nés ou avec des malformations congénitales touchant la bouche, l'anus, les pattes, le gigantisme de la tête, etc. [Oleinik, 2005].

7. L'issue des gestations et quelques caractéristiques de la santé des veaux (*Bos taurus*, une race de Polésie) dans les territoires lourdement contaminés des districts de Korosten et Naroditchi, province de Jitomir en Ukraine (niveau de Cs-137 de 5 à 15 Ci/km²), ont été nettement différentes de celles de veaux de la même espèce élevés dans des régions moins contaminées (< 0,1 Ci/km²) du district de Baranovka. Les veaux avaient plus souvent un poids anormal et la morbidité et la mortalité étaient plus élevées dans les territoires lourdement contaminés (Tableau 10.9).

8. Les problèmes de vêlage comprenaient un retard dans l'expulsion du placenta et des membranes amniotiques. Le poids des tissus amniotiques et les caractéristiques des lobules placentaires étaient très inférieurs chez les vaches (*Bos Taurus*) des territoires contaminés (Tableau 10.10).

9. Dans les territoires lourdement contaminés, les populations de souris communes (*Mus musculus*) ont diminué du fait de problèmes de stérilité ainsi que d'anomalies des spermatozoïdes [Pomerantseva *et al.*, 1990, 1996].

10. La plus forte mortalité prénatale a été observée chez les souris des champs (*Clethrionomys* et *Microtus* sp.) au cours des premières années après la catastrophe dans les territoires

lourdement contaminés à la suite de modifications pathologiques de l'appareil urogénital et de résorptions embryonnaires aux premiers stades du développement [Medvedev, 1991 ; Sokolov et Krivolutsky, 1998].

Tableau 10.10. Quelques caractéristiques des membranes placentaires chez les vaches (*Bos taurus*) des zones les plus et les moins contaminées de la province de Jitomir, Ukraine, en 1997-1999 [Karpuk, 2001] ¹

	Niveau de contamination	
	5-15 Ci/km ²	< 0,1 Ci/km ²
Poids des membranes amniotiques en kg	4,6 ± 0,3	5,6 ± 0,3 *
Lobules placentaires		
- en nombre	76,9 ± 4,0	88,0 ± 2,7 *
- par cm ²	4 043 ± 118	4 853 ± 206 *

¹ Données en Ci/km² - récapitulées pour deux fermes par A. Y.

* $p < 0,05$.

11. En octobre 1986 un établissement spécifique pour animaux de laboratoire – rats surmulots (*Rattus norvegicus*) appartenant à la lignée originaire des colonies du laboratoire de Kiev – fut installé dans la ville de Tchernobyl. Après la catastrophe il y a eu une grande diminution de la durée de vie dans les deux groupes, à Tchernobyl et à Kiev (Tableau 10.11).

12. Le sex-ratio des campagnols roussâtres (*Clethrionomys* sp.) en pourcentage des jeunes

10. Impact de la radioactivité sur la faune

de l'année dévie nettement dans les territoires lourdement contaminés [Kudryashova *et al.*, 2004].

Tableau 10.11. Durée de vie moyenne de rats de laboratoire (*Rattus norvegicus*) soumis à une irradiation forte dans la ville de Tchernobyl et moindre à Kiev [Serkiz, 1995]

	Octobre 1986 à 1989		Kiev avant avril 1986
	Ville de Tchernobyl	Ville de Kiev	
Durée de vie en mois	20,3 ± 0,8	21,6 ± 0,5	28,2 ± 0,6

13. Dans les zones contaminées, l'irradiation a entraîné une augmentation de la mortalité pré- et post-natale et le succès de la reproduction dans les populations de campagnols roussâtres a diminué (*Clethrionomys* sp.) [Kudryashova *et al.*, 2004].

14. Chez les campagnols roussâtres (*Clethrionomys* sp.) la contamination radioactive a entraîné une maturation plus précoce et une intensification de la reproduction, associées à un vieillissement prématuré et à une réduction de l'espérance de vie [Kudryashova *et al.*, 2004].

15. Le taux de reproduction (nombre de portées pendant la période reproductive et nombre de nouveau-nés dans chaque portée) de la lignée CC 57W de souris de laboratoire (*Mus musculus*) d'une population expérimentale de Tchernobyl a décliné progressivement sur sept générations. En même temps, le nombre de morts post-natales des premiers mois et de la période préimplantatoire a beaucoup augmenté [Stolyna et Solomko, 1996].

16. Les études à long terme de petits rongeurs (*Clethrionomys glareolus* et autres) dans la réserve naturelle de Kaniev, avant et après la catastrophe, ont montré des perturbations dans l'équilibre écologique, des retards dans l'horloge biologique et un turnover biotique [Mezhzherin et Myakusho, 1998].

17. La taille des portées de loups (*Lupus lupus*) dans les territoires contaminés de Russie est corrélée négativement avec le niveau de contamination radioactive et l'activité spécifique du Cs-137 dans leur pelage [Adamovich, 1998].

18. Des observations faites de 1978 à 1999, couvrant l'équivalent de 5 427 années de reproduction équine, ont montré que le succès de la reproduction de chevaux d'élevage (*Equus caballus*) est corrélé avec le niveau de la con-

tamination radioactive de la ferme : on trouve le plus grand nombre d'avortements, de poulains mort-nés ou malades de 1993 à 1999 dans un centre de reproduction équine de la région de Gomel, au Belarus, où la contamination était supérieure à 40 Ci/km². Un niveau intermédiaire de problèmes a été relevé dans un centre de reproduction de la région de Briansk, en Russie, avec des niveaux de rayonnement ambiant de 1 à 5 Ci/km², et des problèmes moindres dans un centre équestre de la région de Smolensk, en Russie, avec des niveaux de contamination de moins de 1 Ci/km² [Yakovleva, 2005].

19. La taille des couvées de certaines espèces d'oiseaux a diminué aux États-Unis en Californie, à Washington et en Oregon en juin-juillet 1986, très probablement en relation avec les retombées de Tchernobyl [DeSante et Geupel, 1987 ; Millpointer, 1991].

20. Les taux de survie des hirondelles de cheminée (*Hirundo rustica*) dans les sites les plus contaminés près de la centrale nucléaire de Tchernobyl sont proches de zéro. Dans les sites à contamination plus modérée, la survie annuelle est inférieure à 25% (contre 40% dans les populations témoins d'Ukraine, d'Espagne, d'Italie et du Danemark). En général, les populations d'oiseaux de Tchernobyl présentent une énorme réduction du taux de reproduction et une diminution du taux de survie de leur progéniture [Møller *et al.*, 2005].

21. Des spermatozoïdes anormaux (angulation de la tête, tête dupliquée, flagelle double, etc.) chez les hirondelles de cheminée (*Hirundo rustica*) apparaissent avec une fréquence significativement plus élevée dans les territoires lourdement contaminés [Møller *et al.*, 2005].

22. Les populations d'hirondelles de cheminée de Tchernobyl se maintiennent uniquement via l'immigration à partir de populations voisines non contaminées. Les analyses par isotopes stables des spécimens actuels et anciens (possédés par des musées) ont indiqué que les populations actuelles de Tchernobyl sont constituées de groupes d'individus plus variés (c'est à dire d'immigrants) que dans une population témoin ou dans les populations de la région de Tchernobyl antérieures à la catastrophe [Møller *et al.*, 2006].

23. Des prospections ornithologiques détaillées montrent que beaucoup d'espèces sont soit absentes, soit présentes en très faibles effectifs

dans la région de Tchernobyl [Møller et Mousseau, 2007a].

24. Les concentrations de caroténoïdes totaux, de vitamines A et E dans le jaune d'œuf de la mésange charbonnière (*Parus major*) ont diminué dans la zone des 10 km en comparaison de leur concentration dans des régions moins contaminées en Ukraine et en France. Les dates de ponte des œufs ont été avancées et la taille des couvées a augmenté dans les nichoirs des zones à taux de radiations élevé. Il y a eu une diminution du succès des couvées dans les nichoirs à haut niveau de radiations, ce qui, finalement, a supprimé, voire inversé l'avantage reproductif associé à une reproduction précoce et à une grande taille des couvées. Ces constatations sont compatibles avec l'hypothèse selon laquelle la contamination radioactive abaisse les niveaux d'antioxydants alimentaires dans le jaune d'œuf, entraînant des conséquences négatives pour le succès des couvaisons et de la reproduction [Møller *et al.*, 2008 a].

25. La mésange charbonnière (*Parus major*) et le gobe-mouche noir (*Ficedula hypoleuca*) sont deux espèces qui ont régulièrement évité les nichoirs des zones lourdement contaminées. Là où cela interagissait avec l'habitat, pour la mésange charbonnière, et avec la date de ponte, pour le gobe-mouche noir, le succès de la couvaison diminuait quand la contamination radioactive augmentait [Møller et Mousseau, 2007b].

26. Vingt ans après la catastrophe, la diversité de l'avifaune sylvoicole dans le secteur de Tchernobyl a baissé de plus de 50%. Dans les territoires fortement radiocontaminés (en comparaison de ceux qui le sont peu), les effectifs des populations d'oiseaux ont baissé de 66% [Møller et Mousseau, 2007a]. En comparaison des rythmes de baisse des effectifs de diverses espèces, il est apparu que les espèces aux plumages les plus colorés connaissent une diminution plus rapide.

27. Une nette diminution du volume et de la concentration du liquide séminal ainsi que des changements destructeurs dans les testicules ont été observés chez plusieurs générations de carpes argentées reproductrices (*Hypophthalmichthys molitrix*) d'un réservoir de refroidissement de la centrale nucléaire de Tchernobyl [Verygin *et al.*, 1996].

28. Un développement anormal du tissu conjonctif testiculaire, une diminution de la concentration du sperme et une augmentation du nombre de spermatozoïdes anormaux ont été constatés chez les carpes à grosse tête (*Aristichthys nobilis*) qui ont été irradiées en 1986 à l'âge de 1 à 2 ans et qui ont vécu ensuite dans des conditions de faibles doses chroniques de radiations [Makeeva *et al.*, 1996].

29. Les caractéristiques de reproduction de la carpe commune (*Cyprinus carpio*) étaient corrélées avec les niveaux de radionucléides incorporés dans le sperme et les œufs (Figure 10.5).

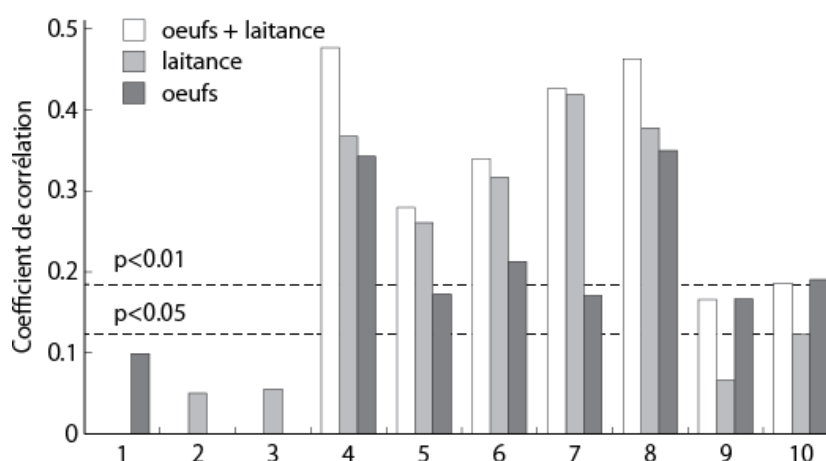


Figure 10.5. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques de reproduction de la carpe commune (*Cyprinus carpio*) et la concentration de radionucléides dans les œufs et le sperme (laitance). Les coefficients de corrélation sont donnés en valeur absolue : (1) nombre d'œufs (en millions par femelle) ; (2) quantité de laitance (en ml par mâle) ; (3) qualité de la laitance ; (4) fertilisation en % ; (5) nombre de pré-larves (en millions par femelle) ; (6) nombre de larves (en millions par femelle) ; (7) larves survivantes en % ; (8) fréquence d'anomalies morphologiques en % ; (9) indice mitotique en % ; (10) fréquence d'aberrations chromosomiques au stade blastula tardif en % [Gontcharova, 1997]

30. Des modifications morphologiques dégénératives dans les oocytes du brochet (*Esox lucius*) ont été observées au cours de la vitellogenèse dans les eaux fortement contaminées. Dans les gonades de poissons de deux lacs de la zone des 30 km (le lac Smerzhov où les niveaux de Cs-134 et Cs-137 atteignaient 5 800 Bq/kg en 1991 et le lac Perstok avec des niveaux jusqu'à 199 000 Bq/kg en 1995), l'épaisseur de la membrane radiale dans les œufs atteignait 25 à 30 µm tandis que l'épaisseur était d'environ 10 µm pour les cellules d'œufs provenant de la rivière Pripiat (875 Bq/kg en 1992) [Kokhenko, 2000].

31. Des déviations de la gamétogenèse (des modifications des oocytes normaux et des noyaux, des anomalies de développement des oocytes, un épaississement de la paroi folliculaire, une décomposition du noyau, etc.) ont été constatés chez la brème commune (*Abramis brama*) et le gardon (*Rutilus rutilus*) de la rivière Pripiat et du lac Smerzhov (province de Gomel, Belarus). Ces changements étaient corrélés avec le niveau de contamination radioactive des réservoirs [Petukhov et Kokhenko, 1998].

32. Les vers de terre adultes dominaient dans les zones fortement contaminées pendant la première période après la catastrophe, tandis que, dans les aires témoins, il y avait parité entre les jeunes et les adultes [Victorov, 1993 ; Privolutsky et Pokarzhevsky, 1992].

33. Neuf ans après la catastrophe, dans les étendues d'eau à forte radioactivité, 20% des oligochètes (*Stylaria lacustris* ; petit ver d'eau douce) avaient des gamètes, alors que cette espèce se reproduit normalement par voie asexuée [Tsytugyna *et al.*, 2005].

10.3. Modifications génétiques

1. En 1989, il y a eu une fréquence nettement plus élevée de troubles cytogénétiques des cellules germinales et somatiques (nombre de chromosomes et d'aberrations dans les cellules médullaires) des campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) et des mulots à collier roux (*Apodemus flavicollis*) dans les territoires ayant des niveaux de Cs-137 de 8 à 1 526 kBq/m² et des souris de laboratoire (*Mus musculus*) de lignée CBA x C57Bl/6j (F1) dans les zones fortement contaminées. Ces anomalies se sont maintenues à un niveau élevé pendant au moins 22 générations et elles ont augmenté de 1986 à 1991/1992 dans toutes les

populations étudiées en dépit d'une diminution de la contamination [Gontcharova et Ryabokon', 1998a, b ; Smolitch et Ryabokon', 1997 ; Ryabokon', 1999a].

2. Dans toutes les populations de campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) étudiées dans les territoires fortement contaminés du Belarus, le taux d'apparition de cellules polyploïdes a dépassé le triple de celui antérieur à la catastrophe [Ryabokon', 1999].

3. Le nombre de cellules polyploïdes dans toutes les populations de campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) étudiées dans les territoires fortement contaminés du Belarus est corrélé avec la quantité de radionucléides incorporés [Ryabokon', 1999a].

4. Le nombre de mutations génomiques dans une population de campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) a augmenté jusqu'à la 12^{ème} génération après la catastrophe (de 1986 à 1991) malgré une diminution du niveau de la radioactivité ambiante [Ryabokon', 1999b].

5. La descendance de femelles de campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) capturées dans les territoires contaminés et élevées dans des conditions hors contamination a montré la même augmentation du niveau d'aberrations chromosomiques que leurs mères contaminées [Ryabokon' et Gontcharova, 2006].

6. Les populations sauvages de souris commune (*Mus musculus*) vivant dans les territoires contaminés présentent une forte augmentation du niveau de mutations létales dominantes et de translocations chromosomiques. La fréquence de translocations réciproques dans les spermatocytes était plus élevée dans les zones plus intensément contaminées pendant la période de 1986 à 1994 [Pomerantseva *et al.*, 1990, 1996].

7. La fréquence de mutations sur plusieurs générations de souris commune (*Mus musculus*), à la fois pour les cellules somatiques et germinales, est restée bien plus élevée après irradiation en comparaison avec les descendants non irradiés [Dubrova *et al.*, 2000].

8. Les souris de laboratoire (*Mus musculus*) des lignées C57BL/6, BALB/C, CC57W/Mv installées à l'intérieur de la zone des 30 km, ainsi que d'autres rongeurs capturés en 1995 dans la zone des 10 km, présentaient un large spectre d'anomalies cytogénétiques [Glazko *et al.*, 1996].

10. Impact de la radioactivité sur la faune

9. La fréquence des mutations de l'ADN mitochondrial des campagnols dans la zone des 30 km a beaucoup augmenté durant les premières années après la catastrophe [Freemantle, 1996 ; Baker, 1996 ; Hillis, 1996].

10. Le nombre de macrophages alvéolaires aberrants chez le campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*) était nettement plus élevé dans les populations vivant dans les territoires lourdement contaminés [Yelyseeva, 1996].

11. Les fréquences de micronoyaux chez les souris de laboratoire (*Mus musculus*) ont fortement augmenté après un séjour de 30 jours dans la « forêt rousse » (zone des 10 km) pour la lignée BALB/c et après 10 jours pour la lignée C57BL/6 [Rodgers *et al.*, 2001].

12. Le taux d'aberrations chromosomiques et de mortalité embryonnaire a augmenté nettement pendant plus de 22 générations de campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*), alors que les taux de dose absorbée par le corps entier diminuaient exponentiellement après 1986 [Gontcharova *et al.*, 2005].

13. Chez les souris de laboratoire (*Mus musculus*), les cultures de fibroblastes issus d'embryons conçus dans la zone des 10 km ont montré une nette augmentation des cellules présentant des aberrations chromosomiques, dont des aberrations cellulaires multiples [Nazarov *et al.*, 2007] (Tableau 10.12).

Tableau 10.12. Anomalies dans des cultures cellulaires de fibroblastes de souris de laboratoire (*Mus musculus*) après 5 jours d'exposition dans la zone des 10 km [Pelevyna *et al.*, 2006]

	Aberrations chromosomiques	
	Pourcentage de cellules	Types
Témoins	Jusqu'à 3	Suppressions
Après exposition	Jusqu'à 24,5	Suppressions, fragments et translocations

14. Le fait de garder des souris de laboratoire (*Mus musculus*) pendant 3 mois dans la zone des 30 km a entraîné une augmentation brusque et forte de l'incidence des micronoyaux dans les érythroblastes polychromatophiles de la moelle osseuse (Tableau 10.13).

15. Le nombre d'aberrations chromosomiques chez le campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*) est plus élevé dans un environnement plus radioactif (Tableau 10.14).

Tableau 10.13. Nombre de micronoyaux dans les érythroblastes polychromatophiles de la moelle osseuse chez des souris de laboratoire (*Mus musculus*) après 12 semaines dans la zone des 30 km de Tchernobyl [Sushko *et al.*, 2006] *

	Sexe	Cellules étudiées, <i>n</i>	Cellules avec micronoyaux, %
Témoins	♂	5 000	0,34 ± 0,11
	♀	5 000	0,29 ± 0,09
Zone des 30 km	♂	5 000	4,1 ± 0,45
	♀	5 000	4,06 ± 0,53

* Toutes les différences par rapport aux groupes témoins sont significatives.

Tableau 10.14. Fréquence de cellules aberrantes chez le campagnol roussâtre (*Clethrionomys glareolus*) soumis à des niveaux variables de contamination radioactive en 1993 dans la province de Briansk, en Russie [Krysanov *et al.*, 1996]

Niveau de contamination	Cellules étudiées, <i>n</i>	Fréquence de cellules aberrantes
20 µR/h	229	0,04 ± 0,008
60 µR/h	593	0,06 ± 0,006
180 µR/h	325	0,13 ± 0,02
220 µR/h	864	0,11 ± 0,02

16. Le degré de mutations à la fois somatiques et génomiques dans une population d'hirondelles de cheminée (*Hirundo rustica*) dans la zone de Tchernobyl est deux à dix fois plus élevé que dans d'autres populations en Ukraine et en Italie [Ellegren *et al.*, 1997].

17. Des populations d'hirondelles de cheminée (*Hirundo rustica*) originaires de la zone ukrainienne de Tchernobyl présentent après la catastrophe une forte augmentation (jusqu'à 15%) des formes mutantes albiniques (Figure 10.6). Les taux de mutation observés au sein des populations de Tchernobyl montrent un nombre beaucoup plus élevé de défauts morphologiques, en comparaison de populations témoins d'Ukraine, d'Italie, d'Espagne et du Danemark [Møller et Mousseau, 2001 ; Møller *et al.*, 2007].

18. Il y a une corrélation positive entre le nombre d'anomalies des rouges-queues noirs (*Phoenicurus ochruros*) et des moineaux domestiques (*Passer domesticus*) et le niveau de rayonnement ambiant en Ukraine [Møller et Mousseau, 2007c].



Figure 10.6. Une hirondelle normale à gauche et une albinos partielle à droite [photo de T. Mousseau]

19. De 2005 à 2006, on a constaté de grandes différences dans la mobilité et la morphologie des spermatozoïdes des hirondelles de cheminée (*Hirundo rustica*) vivant dans les zones fortement contaminées (390 mR/h) autour de Tchernobyl et deux zones moins contaminées (0,25 et 0,006 mR/h) d'Ukraine. L'incidence de spermatozoïdes à faible mobilité, haute linéarité, faible amplitude, déplacement latéral de la tête et faible vitesse sur leur trajectoire a augmenté avec l'augmentation du niveau de rayonnement ambiant [Møller *et al.*, 2008 b].

20. Les grenouilles rousses et des champs (*Rana temporaria*, *R. arvalis*) des territoires lourdement contaminés ont montré un nombre nettement plus élevé de cellules aberrantes dans la moelle osseuse et l'épithélium intestinal, et un nombre plus élevé de micronoyaux dans le sang périphérique [Yelyseeva *et al.*, 1996].

21. L'incidence d'érythrocytes avec micronoyau était plus élevée chez la grenouille verte (*Rana esculenta*) dans les régions les plus contaminées de la province de Briansk (Tableau 10.15).

22. La fréquence d'anomalies morphologiques (malformations congénitales) dans les embryons, larves et alevins de carpes communes (*Cyprinus carpio*) était beaucoup plus élevée dans les étangs les plus contaminés du Belarus [Slukvin et Gontcharova, 1998].

23. La fréquence d'aberrations chromosomiques et de mutations génétiques dans les populations de carpes (*Cyprinus carpio*) était

bien plus élevée dans les étangs les plus contaminés du Belarus [Gontcharova *et al.*, 1996].

Tableau 10.15. Fréquence des micronoyaux dans les érythrocytes de grenouilles vertes (*Rana esculenta*) dans trois populations de la province de Briansk en 1993 [Chubanishvili, 1996]

Contamination, dose		
15 μ R/h	60 μ R/h	220 μ R/h
0,22%	1,33%	1,55%*

* $p < 0,05$.

24. Des mutations des dessins des ailes de doryphores (*Leptinotarsa decemlineata*) apparaissent avec une plus grande fréquence dans les territoires les plus contaminés du Belarus [Makeeva *et al.*, 1995].

25. La fréquence des mutations létales et semi-létales dans les populations de drosophiles (*Drosophila melanogaster*) est nettement plus élevée dans les territoires contaminés du Belarus [Makeeva *et al.*, 1995].

26. Dans les populations sauvages de drosophiles (*Drosophila melanogaster*) du district de Vetka, province de Gomel (niveau de radiations de 24 Ci/km²), l'incidence des mutations létales dominantes et récessives liées au sexe est beaucoup plus basse que dans les régions moins contaminées de la réserve de Berezinsky, du fait de l'augmentation de la radiorésistance des populations irradiées (Tableau 10.16).

10. Impact de la radioactivité sur la faune

Tableau 10.16. Fréquence (en %) des mutations létales dominantes (MLD) et des mutations létales récessives (MLR) liées au sexe chez la drosophile sauvage (*Drosophila melanogaster*) de la région du district de Vetka dans la province de Gomel, comparée à la population de la réserve de Berezinsky, moins contaminée, au Belarus [Glushkova et al., 1999]

	District de Vetka	Réserve de Berezinsky
MLD	42,76 ± 0,88	63,09 ± 0,91 *
MLR	6,65 ± 0,66	12,64 ± 1,15 **

* $p < 0,05$; ** $p < 0,001$.

27. Le plus haut degré de mutations a été observé dans des populations de crustacés aquatiques amphipodes et de vers plathelminthes (vers plats) dans la zone des 10 km de Tchernobyl, comparées à des populations de la mer Noire, de la mer Égée, du Danube et du Dniepr [Tsytugyna et Polycarpov, 2007].

28. Le Tableau 10.17 présente quelques données supplémentaires sur des modifications génétiques des animaux associées à la contamination par Tchernobyl.

Tableau 10.17. Exemples de changements génétiques dans la faune par suite de la catastrophe de Tchernobyl [d'après Møller et Mousseau, 2006]

Espèce	Marqueur génétique	Effet, commentaires	Référence
Mulot à collier roux (<i>Apodemus flavicollis</i>)	Aberrations chromosomiques	Augmentation d'un facteur de 3 à 7	Savchenko, 1995
Souris grise (<i>Mus musculus</i>)	Translocations réciproques	Augmentation d'un facteur 15	Pomerantseva et al., 1990, 1996
Campagnol roussâtre (<i>Clethrionomys glareolus</i>)	Mutation somatique	Augmentation *	Matson, 2000
	Multiples substitutions dans le cytochrome-b et transversions	Seulement pour les échantillons de Tchernobyl	Baker et al., 1999
	Mutation et hétéroplasmie **	Augmentation *	Wickliffe et al., 2002
	Mutations ponctuelles	Augmentation *	Wickliffe et al., 2002
Hirondelle rustique (<i>Hirundo rustica</i>)	Microsatellites	Augmentation d'un facteur de 2 à 10	Ellegren et al., 1997
Barbue de rivière (<i>Icterus punctatus</i>)	Cassure de l'ADN de type I	Taux augmenté	Sugg, 1996
Carassin commun (<i>Carassius carassius</i>)	Contenu de l'ADN	Modifications	Lingenfelser, 1997
Quatre espèces de poissons	Fréquence d'aneuploïdie	Augmentation	Dallas, 1998
Drosophile (<i>Drosophila melanogaster</i>)	Mutations létales liées au sexe	Augmentation	Zainullin, 1992
Trois espèces d'oligochètes	Aberrations chromosomiques	Augmentation d'un facteur d'environ 2	Tsytugyna et Polycarpov, 2003

* Statistiquement non significatif.

** Hétéroplasmie – mitochondrie mixte dans une même cellule.

10.4. Modifications d'autres caractéristiques biologiques

1. Les campagnols (*Clethrionomys* sp. et *Microtus* sp.) des zones contaminées ont montré des déficiences de développement cérébral et des déformations des membres [Sokolov et Kryvolutsky, 1998].

2. L'activité phagocytaire des leucocytes neutrophiles vis à vis du staphylocoque doré (*Staphylococcus aureus*) dans le sérum sanguin et le système des lymphocytes B avait beaucoup diminué chez les vaches des territoires les

plus contaminés ($p < 0,05$ et $p < 0,001$) [Karpuk, 2001].

3. Les caractéristiques hématologiques varient fortement entre les bovins (*Bos taurus*) de zones à différents niveaux de contamination (Tableau 10.18)

4. Des rats albinos de laboratoire (*Rattus norvegicus*) âgés de 20 jours, dont la mère gestante a vécu 25 jours dans un lieu contaminé par le Cs-137 à 116 Ci/km² et par le Sr-90 à 26 Ci/km², présentent une hypoplasie et une dystrophie dégénérative du thymus. Ces changements incluent une cytolysse accélérée et une activité mitotique réduite. De telles modifica-

10. Impact de la radioactivité sur la faune

tions dans le thymus conduisent à des troubles immunitaires [Amvros'ev *et al.*, 1998].

5. L'activité endogène a beaucoup changé dans les cellules nerveuses de la moelle épinière et dans le cerveau de souris de laboratoire (*Mus musculus*) des lignées C57BI/6 après un séjour de 40 jours dans la zone de Tchernobyl à rayonnement ambiant de 100 à 120 mR/h [Mustafin *et al.*, 1996].

Tableau 10.18. Quelques caractéristiques hématologiques de vaches gestantes des régions lourdement et moins contaminées, province de Jitomir, Ukraine, de 1997 à 1999 [Karpuk, 2001] ¹

	5-15 Ci/km ²	< 0,1 Ci/km ²
Érythrocytes (milliers/litre)	4,8 ± 0,1	5,8 ± 0,2 *
Leucocytes (g/litre)	6,2 ± 0,4	6,9 ± 0,3
Hémoglobine (g/l)	78,6 ± 2,0	91,4 ± 2,8 *
Basophiles, %	0,3 ± 0,2	1,3 ± 0,2 *
Éosinophiles, %	10,0 ± 1,0	4,6 ± 0,3
Neutrophiles hypersegmentés, %	24,7 ± 1,5	32 ± 0,9 *
Lymphocytes, %	57,7 ± 1,5	60,9 ± 0,8 *
Monocytes, %	3,8 ± 0,3	4,5 ± 0,3

¹ Données en Ci/km² - récapitulées pour deux fermes par A. Y.

* $p < 0,01$.

6. Des vaches laitières (*Bos taurus*) de zones contaminées à des niveaux de 15 à 40 Ci/km² ont développé, 4 ans après la catastrophe, des modifications inflammatoires et atrophiques des tissus lymphoïdes, accompagnées d'une diminution de l'activité fonctionnelle des lymphocytes T, et ont présenté un développement anormal du tissu conjonctif [Velykanov et Molev, 2004].

7. Des vaches laitières (*Bos taurus*), dans des régions contaminées par 15-40 Ci/km², ont présenté des indurations de la rate, avec diminution de son volume et forte diminution de la pulpe blanche. Il y a eu un épaississement des structures fibreuses réticulaires, une dispersion et une diminution des ganglions lymphatiques dans le cortex [Velykanov et Molev, 2004].

8. Des asymétries du crâne des mulots à collier roux (*Apodemus flavicollis*) étaient bien plus fréquentes dans les populations des territoires les plus contaminés [Smith *et al.*, 2002].

9. Après 20 semaines d'exposition dans la zone des 30 km, l'incidence de cancers du poumon chez les souris de laboratoire (*Mus*

musculus) était beaucoup plus élevée (Tableau 10.19).

Tableau 10.19. Fréquence de néoplasie pulmonaire chez les souris de laboratoire (*Mus musculus*) après 20 semaines d'exposition dans la zone des 30 km [Sushko *et al.*, 2006]

	Néoplasmes par souris
Témoin	0,26 ± 0,06
Zone des 30 km	0,77 ± 0,17

10. Il y a eu une diminution de la densité des cellules endothéliales dans diverses parties du cerveau de souris de laboratoire (*Mus musculus*) après un mois de vie dans la zone des 10 km [Pelevyna *et al.*, 2006 ; Nazarov *et al.*, 2007].

11. Une diminution de l'activité lysosomiale dans le petit lait et une moindre résistance aux infections cutanées, éléments significatifs du développement d'une immunodéficience, ont été trouvés chez des bovins à grandes cornes (*Bos taurus*) des régions contaminées [Il'yazov, 1993, 2002].

12. La résistance de la peau aux infections est réduite chez les rongeurs sauvages de la famille des muridés dans les territoires lourdement contaminés [Kozynenko et Zavodnykova, 1993].

13. La sensibilité aux infections virales est accrue chez les souris de laboratoire (*Mus musculus*) après un séjour dans la zone des 10 km [Savtsova *et al.*, 1991].

14. Après une inoculation expérimentale de cellules tumorales, on assiste à une nette augmentation de la fréquence des tumeurs chez les souris de laboratoire (*Mus musculus*) quand elles ont séjourné dans la zone des 10 km [Savtsova *et al.*, 1991].

15. Les animaux de la zone de Tchernobyl ont eu un vieillissement accéléré du système immunitaire [Savtsova, 1995].

16. Des rats de laboratoire (*Rattus norvegicus*) installés dans la zone des 10 km de 1986 à 1993 ont présenté [Pinchuk et Rodionova, 1995 ; Serkiz *et al.*, 2003] :

- une diminution des cellules de la moelle osseuse, des leucocytes du sang périphérique, et des myélocaryocytes ;
- une anémie hypochrome, une leucopénie (débutant dès le troisième mois de séjour dans la zone radioactive), une

10. Impact de la radioactivité sur la faune

granulopénie avec un très haut niveau d'éosinophiles et une éosinophilie ;

- une augmentation du nombre de cellules anormales (très forte hypersegmentation des polynucléaires neutrophiles, cellules à fragments nucléaires, cellules à structure chromatinienne hirsute, inclusions nucléaires intracytoplasmiques et lymphocytes multinucléés).

17. Après avoir résidé de 3 à 6 mois dans la zone des 10 km, des rats de laboratoire (*Rattus norvegicus*) ont présenté une forte augmentation de l'activité mitotique (parfois accompagnée d'une augmentation du nombre de cellules médullaires) et, ultérieurement, une diminution de l'activité mitotique. Des phénomènes similaires ont été observés chez des muridés sauvages vivant dans la zone des 10 km [Serkiz *et al.*, 2003].

18. Un faible taux de globules rouges, des taux d'hémoglobine réduits et une diminution des pourcentages de polynucléaires neutrophiles et de monocytes ont été trouvés chez les bovins (*Bos taurus*) qui étaient restés dans la zone des 12 km pendant 2 mois après la catastrophe [Il'yazov, 1993 ; Il'yazov *et al.*, 1990].

19. Du bétail (*Bos taurus*) vivant à une distance de 3 à 6 km de la centrale nucléaire de Tchernobyl, en stabulation libre jusqu'en octobre 1986, a présenté une importante éosinophilie et des taux bas de lymphocytes ainsi que des cellules indifférenciées, des débris de cellules lysées et une anémie hyperchrome [Gla-zko *et al.*, 1996].

20. De 1997 à 2001, dans des fermes d'élevage de sangliers reproducteurs (*Sus scrofa*) des districts de Mlinov et Sarny de la province de Rivne en Ukraine, où les taux de Cs-137 ont atteint de 1 à 5 Ci/km² et ceux de Sr-90 de 0,04 à 0,08 Ci/km², les taux d'érythrocytes (globules rouges) avaient nettement diminué (jusqu'à 15,0%), l'hémoglobine avait diminué jusqu'à 45,0%, le pourcentage de jeunes leucocytes à noyau non segmenté avait augmenté de 1,3 à 2,8 fois et les quantités de globulines alpha et gamma dans le sang avaient décru jusqu'à 44,4% [Oleinik, 2005].

21. Des rats de laboratoire (*Rattus norvegicus*) gardés un mois dans la zone des 30 km présentaient une forte augmentation des leucocytes ainsi qu'une tendance à la multiplication des cellules médullaires [Izmozherov *et al.*, 1990].

22. Des souris de laboratoire (*Mus musculus*) gardées dans la zone des 30 km pendant 1 mois présentaient une forte augmentation du nombre de lymphocytes et de leucocytes [Pelelyna *et al.*, 1993].

23. Les causes de mort brutale les plus courantes chez le rat de laboratoire (*Rattus norvegicus*) dans les élevages des villes de Tchernobyl et de Kiev après la catastrophe étaient des phénomènes inflammatoires des poumons et de l'intestin [Serkiz, 1995]. Le tableau 10.20 présente leurs données de mortalité de 1986 à 1989.

Tableau 10.20. Cause de décès (en %) des rats de laboratoire (*Rattus norvegicus*) des vivariums de la ville de Tchernobyl (forte radioactivité ambiante) et de Kiev (moindre radioactivité ambiante) d'octobre 1986 à décembre 1989 [Serkiz, 1995]

Cause de décès	Kiev	Ville de Tchernobyl
Bronchopneumonie, hémorragie pulmonaire	10,3	35,5
Inflammation pulmonaire	8,4	11,1
Colite	19,1	31,1
Hyperplasie des ganglions lymphatiques	10,3	13,2
Hyperplasie du thymus et de la rate	2,4	4,4

24. Des adénofibromes mammaires, des cancers du poumon et des tumeurs intestinales sont apparus prématurément chez les rats de laboratoire (*Rattus norvegicus*) de la ville de Tchernobyl de 1987 à 1989, notamment des tumeurs des tissus lymphoïdes et conjonctifs, dont des lymphosarcomes (Tableau 10.21).

Tableau 10.21. Âge moyen d'apparition et probabilité de survenue (%) de tumeurs malignes chez le rat de laboratoire (*Rattus norvegicus*) dans les vivariums de Tchernobyl et Kiev après la catastrophe (1987-1989) [Pinchuk, 1995]

	Ville de Tchernobyl	Ville de Kiev
Âge moyen d'apparition de tumeurs malignes, mois *	10	14
Probabilité de survenue de tumeurs malignes, %	35	17

* Avant la catastrophe : 16 mois

25. Des tumeurs se sont développées chez 74% des rats de laboratoire (*Rattus norvegicus*) dans les colonies de reproduction expérimentales.

10. Impact de la radioactivité sur la faune

tale (vivariums) des villes de Tchernobyl et Kiev de 1989 à 1992. Des tumeurs des glandes endocrines (Tableau 10.22) combinées avec des tumeurs mammaires (Tableau 10.23) étaient typiques des rats de Tchernobyl. Les adénocarcinomes et les tumeurs épithéliales des rats de Tchernobyl n'étaient pas observés parmi les rats du groupe de Kiev et n'étaient pas non plus présents dans les tumeurs spontanées des lignées reproductrices avant la catastrophe [Pinchuk, 1995].

Tableau 10.22. Événements (en % des tumeurs totales) chez les rats de laboratoire (*Rattus norvegicus*) de 1986 à 1989 dans les vivariums des villes de Tchernobyl et Kiev [Pinchuk, 1995]

	Ville de Tchernobyl	Ville de Kiev
Tumeur du thymus *	15,9	2,7
Adénome du cortex surrénal	43,2	6,8
Tumeur de la glande thyroïde	43,2	15,7
Adénome cellulaire des îlots de Langerhans	34,1	1

* Entre 1986 et 1989, à Kiev, les animaux n'avaient pas de telles tumeurs, mais elles se sont développées chez 4,8% de tous les animaux dans les élevages de Tchernobyl.

Tableau 10.23. Apparition et types de néoplasies du sein chez les rats de laboratoire (*Rattus norvegicus*) de 1989 à 1992 dans les vivariums des villes de Tchernobyl et Kiev [Pinchuk, 1995]

	Ville de Tchernobyl	Ville de Kiev
Adénofibrome cancéreux du sein, % *	14,7	9,5
Animaux ayant de multiples tumeurs mammaires, % **	29	27
Animaux ayant une tumeur du sein conjuguée à d'autres tumeurs, % **	58,8	20,3

* % du nombre total d'animaux.

** % du nombre total d'animaux ayant des tumeurs de la glande mammaire.

26. Des rates (*Rattus norvegicus*), âgées de 4 à 5 mois et présentant une hyperthyroïdie après 30 jours passés dans la zone des 30 km, présentaient une forte baisse de l'activité basale de l'adényl-cyclase myocardique (ACS) ($14,48 \pm 0,78$ nmol/mg de protéine/min contre $20,78 \pm 0,57$ pour les animaux témoins). Un test d'activation d'enzyme F-dépendante a révélé une forte diminution de l'effet stimulant de l'acti-

vé de l'ACS sur le myocarde des animaux vivant sous irradiation. Les données indiquent la possibilité d'effets modulateurs de l'hyperthyroïdie sur les liens β -adrénergiques de l'ACS dans les cardiomyocytes d'animaux exposés aux radiations [Komar *et al.*, 2000].

27. Le degré de variation d'asymétrie de populations de musaraignes communes (*Sorex araneus*) était plus élevé dans les lieux les plus fortement contaminés par la radioactivité de la province de Briansk en Russie (Tableau 10.24).

Tableau 10.24. Degré de fluctuation de l'asymétrie (cas d'asymétrie par caractère) chez trois populations de musaraignes communes (*Sorex araneus*) à différents degrés de contamination radioactive, province de Briansk en 1992 [Zakharov *et al.*, 1996b]

Contamination, dose		
60 μ R/h	180 μ R/h	220 μ R/h
0,016 $\pm$ 0,03	0,24 $\pm$ 0,03	0,26 $\pm$ 0,03

28. Les variations d'asymétrie de nombreux caractères morphologiques (mesure qui indique le degré de stabilité du développement) estimées chez l'hirondelle commune (*Hirundo rustica*) étaient nettement plus élevées dans les territoires contaminés [Møller, 1993].

29. Le métabolisme des glucides et le bilan lipidique étaient nettement anormaux chez certains oiseaux de la zone de Tchernobyl, reflétant le dysfonctionnement du système endocrinien [Mykytyuk et Ermakov, 1990].

30. Le pourcentage de cellules en lyse dans la rate et la moelle osseuse de grenouilles des champs (*Rana arvalis*), pour des populations vivant depuis 7-8 ans dans un environnement très radioactif, différait fortement de celui de populations témoins après exposition expérimentale à des doses supplémentaires de rayonnements [Afonin et Voitovich, 1998 ; Afonin *et al.*, 1999].

31. Le nombre d'érythrocytes micronucléés dans toutes les populations de grenouilles rousses (*Rana temporaria*) de zones fortement contaminées capturées avant 1991 était bien plus élevé ($p < 0,001$) que celui des grenouilles de zones moins contaminées (parfois d'un facteur 30). Une aggravation des dommages cytogénétiques dans les cellules médullaires des os et les érythrocytes et des changements dans les proportions d'érythrocytes dans le sang périphérique ont été trouvées chez deux espèces, la grenouille rousse (*Rana temporaria*) et la gre-

10. Impact de la radioactivité sur la faune

nouille des champs (*Rana arvalis*), habitant des régions contaminées par les radiations [Voitovich, 2000].

32. Chez les grenouilles des champs (*Rana arvalis*) vivant dans la zone des 30 km, on a découvert que l'irradiation gamma additionnelle induisait l'apoptose des cellules de la moelle osseuse. Chez les animaux de la zone des 30 km, la proportion initiale de cellules présentant des modifications de la chromatine était nettement plus grande ($p < 0,05$) [Afonin *et al.*, 1999].

33. On a constaté des changements dans l'activité fonctionnelle immunitaire chez la grenouille verte (*Rana esculenta*) dans les zones les plus contaminées (Tableau 10.25).

Tableau 10.25. Statut immunitaire de la grenouille verte (*Rana esculenta*) dans deux populations présentant des niveaux de contamination différents dans la province de Briansk en 1994 [Isaeva et Vyazov, 1996]

Indice	Contamination, $\mu\text{R/h}$	
	60	220
Leucocytes, $10^6/\text{litre}$	$15,32 \pm 0,99$	$21,7 \pm 1,83$
Lymphocytes, $10^6/\text{litre}$	$6,16 \pm 0,41$	$11,08 \pm 1,0$
Neutrophiles, %	$47,2 \pm 1,11$	$28,9 \pm 1,55$
Lymphocytes T, %	$47,1 \pm 1,45$	$26,6 \pm 1,03$
Lymphocytes B, %	$20,9 \pm 0,56$	$12,5 \pm 0,67$
Cellules en phase G0	$32,0 \pm 1,59$	$61,9 \pm 1,38$
Neutrophiles formant des rosettes, %	$22,8 \pm 1,22$	$17,7 \pm 0,49$

34. Le nombre de cas d'asymétrie par caractère (mesure qui indique le degré de stabilité du développement) dans trois populations de grenouilles vertes (*Rana esculenta*) était plus bas dans les environnements les moins contaminés (Tableau 10.26).

Tableau 10.27. Degré d'asymétrie et nombre d'écarts phénotypiques dans des populations de carassins communs (*Carassius carassius*) et de poissons rouges (*Carassius auratus*) à différents niveaux de contamination radioactive de l'eau dans la province de Briansk en 1992 [Zakharov *et al.*, 1996a]

Espèce	Caractère	60 $\mu\text{R/h}$	80 $\mu\text{R/h}$	180 $\mu\text{R/h}$
Carassin commun (<i>C. carassius</i>)	Cas d'asymétrie par caractère	$0,31 \pm 0,07$	$0,37 \pm 0,04$	$0,42 \pm 0,06$
	Phénotévation par spécimen	$1,57 \pm 0,61$	$2,93 \pm 0,26$	$4,88 \pm 0,30$
Poisson rouge (<i>C. auratus</i>)	Cas d'asymétrie par caractère	$0,26 \pm 0,03$	$0,45 \pm 0,04$	-
	Phénotévation par spécimen	$2,0 \pm 0,29$	$4,10 \pm 0,27$	-

Tableau 10.26. Degré de stabilité du développement (cas d'asymétrie par caractère) dans des populations de grenouille verte (*Rana esculenta*) à différents degrés de contamination radioactive, dans la province de Briansk, en 1992 et 1993 [Chubanišvyli *et al.*, 1996]

Année	Contamination, dose		
	15 $\mu\text{R/h}$	60 $\mu\text{R/h}$	220 $\mu\text{R/h}$
1992	$0,45 \pm 0,03$	$0,46 \pm 0,03$	$0,54 \pm 0,03$
1993	-	$0,54 \pm 0,03$	$0,64 \pm 0,03$

35. Le degré d'asymétrie et le nombre d'écarts phénotypiques du carassin commun (*Carassius carassius*) et du poisson rouge (*Carassius auratus*) étaient plus élevés chez les poissons vivant dans les eaux les plus contaminées par les radiations dans la province de Briansk en Russie (Tableau 10.27).

36. Après la catastrophe, il y a eu beaucoup d'individus malformés parmi les punaises adultes (*Heteroptera*) collectées dans les zones les plus radioactives de l'est de la Suède (à Gysinge, Österfärnebo et Gävle) et du sud de la Suisse (à Melano, canton du Tessin). En 1990, jusqu'à 22% de tous les insectes attrapés dans le district de Polésie, près de la zone des 30 km, étaient malformés [Hesse-Honegger, 2001 ; Hesse-Honegger et Wallimann, 2008].

37. Le nombre d'espèces d'acariens oribates vivant sur les troncs des pins et sur les lichens de type parmélie grise (*Hypogymnia physodes*) a fortement décliné sur les arbres contaminés par la radioactivité à 2-3 km de la centrale nucléaire de Tchernobyl. Avant la catastrophe il y en avait 16 espèces ; ensuite, leur nombre est passé à 0 en 1986, 2 en 1987 et 1988, 4 en 1991, 6 en 1999 et 8 en 2002 [Kryvolutsky, 2004].

10. Impact de la radioactivité sur la faune

38. Durant les 5 à 6 ans qui ont suivi la catastrophe, la diversité des espèces de grands invertébrés du sol a nettement diminué et, même 13 à 15 ans après, il y avait beaucoup moins d'espèces de petite taille [Pokarzhevsky *et al.*, 2006].

39. L'intensité des infections par cestodes et nématodes était plus importante dans les environnements les plus radioactifs (Tableau 10.28).

Tableau 10.28. Intensité de l'invasion des campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) par les nématodes et cestodes dans la province de Briansk, Russie, de 1992 à 1995 [Pelgounov *et al.*, 2006]

	60 µR/h	180 µR/h	220 µR/h
Nématodes *			
Intensité, % ¹	3,5	5,0	48,1
Indice de quantité ²	3,0	3,9	40,0
Cestodes **			
Intensité, %	1,6	1,1	3,4
Indice de quantité	0,53	0,71	2,1

* Espèces prédominantes : *Heligmosomum mixtum*, *Heligmosomoides glareoli* et *Syphacia obvelata*.

** Espèces prédominantes : *Catenotaenia cricetorum* et *Paranoplocephala omphalodes*.

¹ Intensité : nombre (en %) de campagnols roussâtres à parasites (nématodes ou cestodes)

² Indice de quantité : nombre de parasites (nématodes ou cestodes) par campagnol roussâtre

40. Pendant les 10 ans qui ont suivi la catastrophe, la biodiversité des protozoaires du sol n'a pas dépassé 50% du niveau antérieur à la catastrophe [Pokarzhevsky *et al.*, 2006].

10.5. Conclusion

En 1986, dans les territoires contaminés, une énorme quantité de radionucléides très variés a été absorbée par les animaux via la nourriture, l'eau et l'air. Parfois, les quantités de radionucléides incorporées ont été des centaines de fois plus grandes qu'avant la catastrophe. Maintenant, 25 ans après la catastrophe, les quantités de radionucléides incorporées dans certaines régions d'Europe restent dangereux pour les mammifères, les oiseaux, les amphibiens et les poissons. Ce premier choc radioactif associé à une contamination chronique par des faibles doses a provoqué des troubles dans la morphologie, la physiologie et la génétique de tous les animaux étudiés : mammifères, oiseaux, amphibiens, poissons et invertébrés. Les populations « tchernoby-

liennes » présentent toutes sortes de déformations morphologiques qu'on ne retrouve pas dans les populations d'animaux domestiques, même les coléoptères, vivant dans les territoires contaminés.

Certaines espèces d'oiseaux peuvent persister dans la zone des 30 km uniquement via l'immigration à partir de territoires non contaminés. En dépit des rapports évoquant un environnement de Tchernobyl « sain » pour des espèces rares d'oiseaux et de mammifères, leur existence en ces lieux est très probablement le résultat d'une immigration et non d'un maintien prolongé des populations locales.

Les taux de mutations des populations animales des territoires irradiés ont beaucoup augmenté. Il y a eu une accumulation transgénérationnelle d'instabilité génomique dans les populations animales, se manifestant par des effets cellulaires et systémiques néfastes. Ces effets peuvent même être plus nuisibles à long terme, car le génome des animaux des générations suivantes sont plus sensibles aux effets des très faibles doses de radiations [Gontcharova, 2005].

Depuis la catastrophe, les observations à long terme des populations sauvages et expérimentales d'animaux dans les zones lourdement contaminées révèlent de graves hausses de morbidité et de mortalité qui font apparaître une ressemblance frappante avec les changements dans la santé des humains : augmentation du taux des tumeurs, immunodéficiences, diminution de l'espérance de vie, vieillissement prématuré, modification de la formation sanguine, malformations et autres atteintes de la santé.

Bibliographie

- Adamovich, V. L. (1998). Hydrophobia in animals on radioactively contaminated territories. *Ecolog* **3**: 237–240 (en russe).
- Afonin, V. Yu. & Voitovich, A. M. (1998). Ionizing irradiation impact on cell destruction in frog spleens. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **4**: 153–154 (en biélorusse).
- Afonin, V. Yu., Voitovich, A. M. & Yeliseeva, K. G. (1999). Additional γ -irradiation induced apoptosis of bone marrow cells in amphibians inhabiting radio-contaminated areas. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **4**: 131–132 (en biélorusse).
- Amvros'ev, A. P., Rogov, Yu. I., Pavlenko, V. S. & Kozlovskaya, N. E. (1998). Thymus morphological characteristics of rat embryos from radionuclides contaminated zone. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **4**: 128–133 (en russe).

10. Impact de la radioactivité sur la faune

- Baker, R. J. (1996). High levels of genetic change in rodents of Chernobyl. *Nature* **383**: 226.
- Baker, R. J., DeWoody, J. A., Wright, A. J. & Chesser, R. K. (1999). On the utility of heteroplasm in genotoxic studies: An example from Chernobyl. *Ecotoxicology* **8**: 301–309.
- Bar'yakhtar, V. G. (Ed.) (1995). *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev): 560 pp. (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua>) (en russe).
- Bondar'kov, M. D., Gatshak, S. P., Goryanaya, Yu. A., Maksymenko, A. M., Shul'ga, A. A., et al. (2002). Amphibian abnormalities from radioactive contamination in the Chernobyl zone. *Sci. Tech. Aspects Chernobyl* (Slavutich) **4**: 508–517 (en ukrainien).
- Borysevich, N. Y. & Poplyko, I. Y. (2002). *Scientific Solution of the Chernobyl Problems: Year 2001 Results* (Radiology Institute, Minsk): 44 pp. (en russe).
- Brittain, J. E., Storruste, A. & Larsen, E. (1991). Radium in brown trout (*Salmo trutta*) from a subalpine lake ecosystem after the Chernobyl reactor accident. *J. Env. Radioact.* **14**(3): 181–192.
- Buesseler, K. O., Livingston, H. D., Honjo, S., Hay, B. J., Manganini, S. J., et al. (1987). Chernobyl radionuclides in a Black Sea sediment trap. *Nature* **329**: 825–828.
- Bunzl, K. & Kracke, W. (1988). Transfer of Chernobyl-derived ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ¹³¹I and ¹⁰³Ru from flowers to honey and pollen. *J. Env. Radioact.* **6**: 261–269.
- Chubanishvili, A. T. (1996). Cytogenetic homeostasis. In: Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.), *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): pp. 51–52 (en russe).
- Chubanishvili, A. T., Borisov, V. I. & Zakharov, V. M. (1996). Amphibians: Developmental stability. In: Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.), *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): pp. 47–51 (en russe).
- Dallas, C. E. (1998). Flow cytometric analysis of erythrocyte and leukocyte DNA in fish from Chernobyl-contaminated ponds in the Ukraine. *Ecotoxicology* **7**: 211–219.
- Danell, K., Nelin, P. & Wickman, G. (1989). ¹³⁷Caesium in Northern Swedish moose: The first year after the Chernobyl accident. *Ambio* **18**(2): 108–111.
- De Knijff, P. & Van Swelm, N. D. (2008). Radioactive robins (<http://www.members.lycos.nl/radioactiverobins/>).
- DeSante, D. F. & Geupel, G. K. (1987). Landbird productivity in central coastal California: The relationship to annual rainfall and a reproductive failure in 1986. *The Condor* **86**: 636–653.
- Dubrova, Y. E. (2003). Radiation-induced transgenerational instability. *Oncogene* **22**: 7087–7093.
- Dubrova, Y. E., Grant, G., Chumak, A. A., Stezhka, V. A. & Karakasian, A. N. (2002). Elevated mini-satellite mutation rate in the post-Chernobyl families from Ukraine. *Am. J. Hum. Genet.* **71**: 800–809.
- Dubrova, Y. E., Nesterov, V. N., Krouchinsky, N. G., Ostapenko, V. A., Neumann, R. & Jeffreys, A. J. (1996). Human mini-satellite mutation rate after the Chernobyl accident. *Nature* **380**: 683–686.
- Dubrova, Y. E., Nesterov, V. N., Krouchinsky, N. G., Ostapenko, V. A., Vergnaud, G., et al. (1997). Further evidence for elevated human mini-satellite mutation rate in Belarus eight years after the Chernobyl accident. *Mutat. Res.* **381**: 267–278.
- Dubrova, Y. E., Plumb, M., Brown, J., Boulton, E., Goodhead, D. & Jeffreys, A. J. (2000). Induction of minisatellite mutations in the mouse germline by low-dose chronic exposure to g-radiation and fission neutrons. *Mutat. Res.* **453**: 17–24.
- Ellegren, H., Lindgren, G., Primmer, C. R. & Møller, A. P. (1997). Fitness loss and germline mutations in barn swallows breeding in Chernobyl. *Nature* **389**: 593–596.
- Eriksson, O. & Petrov, M. (1995). Wild boars (*Sus scrofa* L.) around Chernobyl, Ukraine. Seasonal feed choice in an environment under transition: A baseline study. *Ibex* **1995**: 171–173.
- Eriksson, O., Gaichenko, V., Goshcak, S., Jones, B., Jungskär, W., et al. (1996). Evolution of the contamination rate in game. In: Karaoglou, A., Desmet, G., Kelly, G. N. & Menzel, H. G. (Eds.), *The Radiological Consequences of the Chernobyl Accident* (European Community, Belarus Ministry of Chernobyl Affairs): pp. 147–154.
- Fowler, S. W., Buat-Menard, P., Yokoyama, Y., Ballesstra, S., Holm, E. & Nguyen, H. V. (1987). Rapid removal of Chernobyl fallout from Mediterranean surface waters by biological activity. *Nature* **329**: 56–58.
- Frantsevich, L. I., Gaichenko, V. A. & Kryzhanovsky, V. I. (1991). *Animals in Radioactive Zone* ("Naukova Dumka," Kiev): 128 pp. (en russe).
- Freemantle, M. (1996). Ten years after Chernobyl: Consequences are still emerging. *Chem. Engin. News* (April 29): 18–28.
- Gaschak, S. P., Maklyuk, Yu. A., Maksymenko, A. N., Maksymenko, V. M., Martynenko, V. I., et al. (2008). Radioactive contamination and abnormalities in small birds in the Chernobyl zone from 2003–2005. *Rad. Biol. Radioecol.* **28**(1): 28–47 (en russe).
- Glazko, V. I., Arkhypov, N. P. & Sozynov, A. A. (1996). Dynamics of biochemical allele variant markers in cattle generations in Chernobyl's exclusion zone. *Cytol. Genet.* **30**(4): 49–54 (en russe).
- Glushkova, I. V., Mosse, I. B., Malei, L. P. & Anoshenko, I. P. (1999). Radio-sensitivity of natural drosophila populations. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **4**: 33–35 (en biélorusse).
- Goncharova, R. I. (1997). Ionizing radiation effects on human genome and its trans-generation consequences. Second International Scientific Conference. *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Health and Information. From Uncertainties to Interventions in the Chernobyl Contaminated Regions*. November 13–14, 1997, Geneva (University of Geneva, Geneva) **2**: pp. 48–61.
- Goncharova, R. I. (2000). Remote consequences of the Chernobyl disaster: Assessment after 13 years. In: Burlakova, E. B. (Ed.), *Low Doses of Radiation: Are They Dangerous?* (NOVA, New York): pp. 289–314.
- Goncharova, R. I. (2005). Genomic instability after Chernobyl: Prognosis for the coming generations. International Conference. *Health of Liquidators (Cleanup Workers): Twenty Years after the Chernobyl Explosion*, PSR/ IPPNW, November 12, Berne, Switzerland (Abstracts, Berne): pp. 27–28.
- Goncharova, R. & Ryabokon', N. (1998a). Results of long-term genetic monitoring of animal populations chronically irradiated in the radio-contaminated are-

- as. In: Imanaka, T. (Ed.), *Research Activities on the Radiological Consequences of the Chernobyl NPS Accident and Social Activities to Assist the Survivors from the Accident* (Kyoto University, Kyoto): pp. 194–202.
- Goncharova, R. I. & Ryabokon', N. I. (1998b). Biological effects in natural populations of small rodents in radioactively contaminated territories: Dynamics of chromosome aberration frequencies in generations of European red voles. *Rad. Biol. Radioecol.* **38**(5): 746–753 (en russe).
- Goncharova, R. I., Ryabokon', N. I. & Slukvin, A. M. (1996). Dynamics of mutability in somatic and germ cells of animals inhabiting the regions of radioactive fallout. *Cytol. Genet.* (Kiev) **30**(4): 35–41 (en russe).
- Gudkov, D. I., Derevets, V. V., Kuz'menko, M. I., Nazarov, A. B., Krot, Yu. G., et al. (2004). Hydrobiotics of exclusion zone Chernobyl NPP: Actual levels of radionuclide incorporation, doses and cytogenetic effects. Second International Conference. *Radioactivity and Radioactive Elements in Human Environment*. October 18–22, 2004, Tomsk (Tandem-Art, Tomsk): pp. 167–170 (en russe).
- Heinzel, J., Korschinek, G. & Nolte, E. (1988). Some measurements on Chernobyl. *Physica Scripta* **37**: 314–316.
- Hesse-Honegger, C. (2001). *Heteroptera: The Beautiful and the Other, or Images of a Mutating World* (Scalo, Zurich): 293 pp.
- Hesse-Honegger, C. & Wallimann, P. (2008). Malformation of true insects (Heteroptera): A phenotype field study on the possible influence of artificial low-level radioactivity. *Chem. Biodivers.* **5**(4): 499–539.
- Hillis, D. M. (1996). Life in the hot zone around Chernobyl. *Nature* **380**: 665–666.
- Ikaheimonen, T. K., Ilus, E. I. & Saxen, R. (1988). Finnish studies on radioactivity in the Baltic Sea in 1987. Report STUK-A82 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Ilus, E., Sjoblom, K. L., Saxen, R., Aaltonen, H. & Taipale, T. K. (1987). Finnish studies on radioactivity in the Baltic Sea after the Chernobyl accident in 1986. Report STUK-A66 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Il'yazov, P. G. (Ed.) (2002). *Ecological and Radiobiological Consequences of Chernobyl Catastrophe for Animal Breeding and Ways to Overcome Them* ("FEN," Kazan): 330 pp. (en russe).
- Il'yazov, R. G. (1993). Biological effect of radioiodine on physiological condition, productive parameters and reproductive qualities of cattle in a 30-km zone of radioactive emissions from the Chernobyl NPP. Radiobiological Congress, Putschino (Abstracts, Putschino): pp. 418–419 (en russe).
- Il'yazov, R. G., Parfent'ev, N. I. & Mikhalsev, V. I. (1990). Clinical, hematological and biochemical parameters in cattle after long stay in a 30-km zone after the Chernobyl accident. First International Conference. *Biological and Radioecological Consequences of Chernobyl Accident*. Zeleny, Mys (Abstracts): pp. 64, 260 (en russe).
- Isaeva, E. I. & Vyazov, S. O. (1996). Amphibians: Immune status. In: Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.), *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): pp. 52–59 (en russe).
- Izmozherov, N. A., Izmozherova, E. L., & Yanovskaya, N. P. (1990). Some radiobiological characters in tissue of the rats after a chronic irradiation in Chernobyl zone: First International Conference. *Biological and Radioecological Aspects of Consequences of the Chernobyl Accident* (Abstracts, Zeleny Mys): p. 176.
- Johanson, K. J. & Bergström, R. (1989). Radiocaesium from Chernobyl in Swedish moose. *Env. Pollut.* **61**(3): 249–260.
- Jones, G. D., Forsyth, P. D. & Appleby, P. G. (1986). Observation of 110mAg in Chernobyl fallout. *Nature* **322**: 313.
- Jonsson, B., Forseth, T. & Ugedal, O. (1999). Chernobyl radioactivity persists in fish. *Nature* **400**: 417.
- Karpenko, N. A. (2000). Sexual function of male rats exposed to the factors of the Chernobyl exclusion zone. *Rad. Biol. Radioecol.* **40**(1): 86–91 (en russe).
- Karpuk, V. V. (2001). Influence of low doses of radioactive irradiation on pregnancy and delivery of Poles'e meat breed cattle and origin of Rotaviridae infection contamination in neonatal calves. M.D. Thesis (Kharkov Zoovet Institute, Kharkov): 18 pp. (en ukrainien).
- Kempe, S. & Nies, H. (1987). Chernobyl nuclides record from a North Sea sediment trap. *Nature* **329**: 828–831.
- Kokhnenko, O. S. (2000). Gametogenesis of pike (*Esox lucius*) in radioactive contaminated Belarussian reservoirs. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **1**: 113–116 (en biélorusse).
- Komar, E. S., Bulanova, K. Ya., Bagel, I. M. & Lobanok, L. M. (2000). Abnormalities of the functional state of the adenylate cyclase system of cardiomyocytes in euthyroid and hyperthyroid rats kept in radioactive contaminated zone. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **4**: pp. 54–57 (en biélorusse).
- Konyukhov, G. V., Kirshin, V. A. & Novykov, V. A. (1994). Reproductive properties of cattle in various Chernobyl zones. Fourth International Scientific and Technical Conference. *Chernobyl 94: Results of Liquidation of Chernobyl Consequences*. Zeleny, Mys (Materials): pp. 190–191 (cited by Novykov, 2002) (en russe).
- Kozyntenko, I. I. & Zavodnykova, P. C. (1993). Immune microbiological studies of murine rodents from the Chernobyl affected zone. Radiobiological Congress, September 20–25, 1993, Kiev (Abstracts, Putschino) **2**: pp. 469–470 (en russe).
- Krasnov, V. P., Kurbet, T. V., Orlov, A. A., Shelest, Z. M. & Shatrova, N. E. (1998). Impact of ecological factors on Cs-137 accumulation by edible mushrooms in Central Ukrainian Poles'e area. Annual Scientific Conference. Institute of Nuclear Studies, January 27–30, 1998 (Materials, Kiev): pp. 305–307 (en russe).
- Krasnov, V. P., Orlov, A. A., Irkliencko, S. P., Shelest, Z. M., Turko, V. N., et al. (1997). Radioactive contamination of forest products in ukrainien Poles'e. Forestry abroad express-info 5 (Institute of Forest Resources, Moscow): pp. 15–25 (en russe).
- Krysanov, E. Yu., Dmitriev, S. G. & Nadzhafova, R. S. (1996). Cytogenetic homeostasis. In: Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.), *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): pp. 77–83 (en russe).
- Kryshev, I. I. & Ryazantsev, E. P. (2000). Ecological security of Russian nuclear-energy industry ("Iz-

10. Impact de la radioactivité sur la faune

- dAT," Moscow): 384 pp. (en russe).
- Kryvolutsky, D. A. (2004). Arboreal acarides as bioindicators of environment quality. *Report Rus. Acad. Sci.* **399**(1): 134–137 (en russe).
- Kryvolutsky, D. A. & Pokarzhevsky, A. D. (1992). Effect of radioactive fallout on soil animal populations in the 30 km zone of the Chernobyl NPP. *Sci. Total Env.* **112**: 69–77 (en russe).
- Kudryashova, A. G., Zagorskaya, N. G., Shevchenko, O. G. & Bashlykova, L. A. (2004). Population of the root voles in various radioecological environments. International Conference. *Ecological Problems of North Regions and Their Solutions*. August 31–September 3, 2004 (Materials, Apatyty) 1: pp. 147–148 (en russe).
- Kusakabe, M. & Ku, T. L. (1988). Chernobyl radioactivity found in mid-water sediment interceptors in the N. Pacific and Bering Sea. *Geophys. Res. Letter* **15**(1): 44–47 (cited by RADNET, 2008).
- Lingenfelter, S.K. (1997). Variation in blood cell DNA in *Carassius carassius* from ponds near Chernobyl, Ukraine. *Ecotoxicology* **6**: 187–203.
- Makeeva, A. P., Belova, N. V., Emel'yanova, N. T., Verygin, B. V. & Ryabov, I. N. (1996). Condition of reproductive system in motley silver carp *Aristichthys nobilis* in cooling pond of Chernobyl NPP after the accident. *Probl. Ichtiol.* **36**(2): 239–247 (en russe).
- Makeeva, E. N., Klymets, E. P., Mosse, I. B., Anoshenko, I. P., Ushakova, D. A. & Glushkova, I. V. (1995). Character of insect natural population from Belarusian territories with increased background radiation. Republican Conference. Actual Problems in Genetics and Selection, June 4–6, 1995, Minsk (Abstracts, Minsk): pp. 83–84 (en russe).
- Mason, C. F. & MacDonald, S. M. (1988). Radioactivity in otters in Britain following the Chernobyl reactor accident. *Water Air Soil Pollut.* **37**: 131–137.
- Matson, C. W. (2000). Genetic diversity of *Clethrionomys glareolus* populations from highly contaminated sites in the Chernobyl region, Ukraine. *Environ. Toxicol. Chem.* **19**: 2130–2135.
- McGee, E. J., Synnott, H. J., Johanson, K. J., Fawaris, B. H., Nielsen, S. P., et al. (2000). Chernobyl fallout in a Swedish spruce forest ecosystem. *J. Env. Radioact.* **48**(1): 59–78.
- Medvedev, Zh. A. (1991). Breakthroughs do not become attacks: Why do Soviet academics' journals keep silent about Chernobyl? *Energy* **4**: 2–6 (en russe).
- Mezhzherin, V. A. & Myakushko, S. A. (1998). Strategies of small rodent populations in Kanevsky reserve under habitat condition changes due to the influence of technogenic contamination and the Chernobyl accident. *Proc. Acad. Sci. (Biol.)* **3**: 374–381 (en russe).
- Millpointer, K. (1991). Silent summer. Chapter 3. In: Gould, J. M. & Goldman, B. A., *Deadly Deceit: Low-Level Radiation-High Level Cover-Up* (Four Walls Eight Windows, New York): pp. 29–37 (cited by Russian translation 2001).
- Møller, A. P. (1993). Morphology and sexual selection in the barn swallow *Hirundo rustica* in Chernobyl, Ukraine. *Proc. R. Zool. Soc., Lond.* **252**: 51–57.
- Møller, A. P. & Mousseau, T. A. (2001). Albinism and phenotype of barn swallows *Hirundo rustica* from Chernobyl. *Evolution* **55**(10): 2097–2104.
- Møller, A. P. & Mousseau, T. A. (2006). Biological consequences of Chernobyl: Twenty years on. *Trend Ecol. Evol.* **2**(4): 200–207
- (//www.cricket.biol.sc.edu/chernobyl/papers/Møsh;ller-Mousseau-TREE-2006-PR1.pdf).
- Møller, A. P. & Mousseau, T. A. (2007a). Species richness and abundance of forest birds in relation to radiation at Chernobyl. *Biol. Lett. Roy. Soc.* **3**: 483–486 (//www.cricket.biol.sc.edu/Chernobyl.htm).
- Møller, A. P. & Mousseau, T. A. (2007b). Birds prefer to breed in sites with low radioactivity in Chernobyl. *Proc. Roy. Soc.* **274**: 1443–1448.
- Møller, A. P., Hobson, K. A., Mousseau, T. A. & Peklo, A. M. (2006). Chernobyl as a population sink for barn swallows: Tracking dispersal using stable isotope profiles. *Ecol. Appl.* **16**: 1696–1705.
- Møller, A. P., Karadas, F. & Mousseau, T. A. (2008a). Antioxidants in eggs of great tits *Parus major* from Chernobyl and hatching success. *J. Comp. Physiol. B.* **178**: 735–743.
- Møller, A. P., Mousseau, T. A., Lynn, C., Ostermiller, S. & Rudolfsen, G. (2008b). Impaired swimming behaviour and morphology of sperm from barn swallows *Hirundo rustica* in Chernobyl. *Mutat. Res.* **650**: 210–216.
- Møller, A. P., Mousseau, T. A., Milinevsky, G., Peklo, A., Pysanets, E. & Sz'ep, T. (2005). Condition, reproduction and survival of barn swallows from Chernobyl. *J. Anim. Ecol.* **74**: 1102–1111.
- Mustafin, A. G., Yarygin, V. N., Vakhtel, N. M. & Bybaeva, L. V. (1996). Radiation impact on chromatin characteristics in neurons of mice exposed in the Chernobyl zone. *Bull. Exp. Biol. Medic.* **5**: 555–55 (en russe).
- Mykytyuk, A. Yu. & Ermakov, A. A. (1990). Low dose ionizing radiation's impact on level basal metabolism in birds. In: Biological and Radioecological Aspects of the Chernobyl Accident and their Consequences ("Nauka," Moscow): 68–70 (en russe).
- Nazarov, A. G., Burlakova, E. B., Pelevyna, I. I., Oradovskaya, I. V. & Letov, V. N. (2007). Chernobyl, biosphere, and humans: Looking into the future. In: *Atomic Energy Society Security. Public forum dialog, April 18–19, 2007, Moscow* (Russian Green Cross, Moscow): pp. 77–110 (en russe).
- Novykov, N. A., Kotomyna, M.G. & Maslov, C.D. (2006). Radioecological monitoring of the technogenic radionuclide plume many years later. *Herald Altay Agrarian University* **3**(23): 17–20. (//www.asau.ru/doc/nauka/vestnik/2006/3/Agroekologiya_Novikov.pdf) (en russe).
- Oleinik, V. R. (2005). Veterinary background to manage boars in farms with low radioactive contamination. D.V.M. Thesis (L'vov Academy of Veterinary Medicine, Lvov): 18 pp. (en ukrainien).
- Pelevyna, I. I., Afanas'ev, G.G., Gotlib, V.Ya., Al'ferovich, A. A., Antochyna, M. M., et al. (1993). Exposition of the cells in cell culture and exposition of animals (mice) in 10-km Chernobyl zone: Impact on sensitivity to future irradiation. *Radiat. Biol., Radioecol.* **33**(1–4): 508–519.
- Pelevyna, I. I., Gorlib, A. Ya. & Konradov, A. A. (2006). Twenty years is much too little for estimation of Chernobyl consequences. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Sociological Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 185–196 (//www.ecopolicy.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf) (en russe).

10. Impact de la radioactivité sur la faune

- Pelgounov, A. N., Phylippova, A. Yu. & Pel'gunova, L. A. (2006). An estimation of the movement of radioactive cesium from terrestrial ecosystems into settlements as a result of hunting. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Sociological Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 105–112 (http://www.ecopolicy.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf) (en russe).
- Petukhov, V. B. & Kokhnenko, O. S. (1998). Gametogenesis in bream (*Abramis brama*) and small fry (*Rutilus rutilus*) in radioactively contaminated Belarusian water bodies. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **3**: 115–120 (en biélorusse).
- Pinchuk, L. B. & Rodionova, N. K. (1995). Impact on blood-forming system. Section 4.2.5. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev) (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/1.htm>) (en russe).
- Pinchuk, V. G. (1995). Oncological effects. Section 4.2.7. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev) (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/1.htm>) (en russe).
- Pokarzhevsky, A. D., Kryvolutsky, D. A. & Viktorov, A. G. (2006). Soil fauna and radiation accidents. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Sociological Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 205–213 (http://www.ecopolicy.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf) (en russe).
- Pomerantseva, M. D., Ramaya, L. K. & Chekhovich, A. V. (1996). Genetic monitoring of house mouse population from radionuclide contaminated areas as a result of the Chernobyl accident. *Cytol. Genet.* **30**(4): 42–48 (en russe).
- Pomerantseva, M. D., Shevchenko, V. A., Ramaya, L. K. & Testvov, I. M. (1990). Genetic damages in house mouse living under increasing radiation background. *Genet.* **26**(3): 46–49 (en russe).
- Rantavaara, A. (1987). Radioactivity of vegetables and mushrooms in Finland after the Chernobyl accident in 1986. Report STUK-A59 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Rissanen, K., Ikaheimonen, T. K. & Matishov, D. G. (1999). Radionuclide concentrations in sediment, soil and plant samples from the archipelago of Franz Joseph Land, an area affected by the Chernobyl fallout. In: Fourth International Conference. *Environmental Radioactivity in the Arctic*, Edinburgh, Scotland, September 20–23, 1999 (Abstracts, Edinburgh): pp. 325–326.
- Robbins, J. A. & Jasinski, A. W. (1995). Chernobyl fallout radionuclides in Lake Sniardwy, Poland. *J. Env. Radioact.* **26**: 157–184.
- Ryabokon', N. I. (1999a). Biological effects in natural populations of small rodents on radioactively contaminated territories: Marrow polyploidy cell frequencies in red voles in various times after Chernobyl catastrophe. *Rad. Biol. Radioecol.* **39**(6): 613–618 (en russe).
- Ryabokon', N. I. (1999b). Genetic monitoring of murine rodents in radioactively contaminated Belarusian territories. M.D. Thesis (Minsk): 24 pp. (en russe).
- Ryabokon', N. I. & Goncharova, R. I. (2006). Transgenerational accumulation of radiation damage in small mammals chronically exposed to Chernobyl fallout. *Rad. Env. Biophys.* **45**(3): 167–177.
- Ryabokon', N. I., Smolich, I. I., Kudryashov, I. P. & Goncharova, R. I. (2005). Long-term development of the radionuclide exposure of murine rodent populations in Belarus after the Chernobyl accident. *Rad. Env. Biophys.* **44**: 169–181.
- Ryabov, I. N. (2002). Long-term observation of radioactive contamination in fish around Chernobyl. In: Imanaka, T. (Ed.), *Research Activities on the Chernobyl NPS in Belarus, Ukraine and Russia*, KURRI-KR-79 (Kyoto University, Kyoto): pp. 112–123.
- Savchenko, V. K. (1995). *The Ecology of the Chernobyl Catastrophe: Scientific Outlines of an International Programme of Collaborative Research: Man & the Biosphere Series*. V. 16. Taylor and Francis, Parthenon Group Ltd., New York: 200 pp.
- Savtsova, Z. D. (1995). Influence on immune system. Section 4.2.4. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev) (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/1.htm>) (en russe).
- Savtsova, Z. D., Kovbasyuk, S. L. & Judyna, O. J. (1991). Biological effects in animals in connection with Chernobyl accident: Report 9. Morphological and functional parameters of some immunocompetent factors in mice. *Radiobiol.* **31**(5): 679–686 (en russe).
- Saxen, R. & Rantavaara, A. (1987). Radioactivity in fresh water fish in Finland after the Chernobyl accident in 1986: Supplement 6 to Annual Report STUKA55. Report No. STUK-A61 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Serkiz, Ya. I. (1995). 4.2.6. Remote consequences, morbidity and longevity. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History of Events, Social, Economic, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ("Naukova Dumka," Kiev) (<http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/1.htm>) (en russe).
- Serkiz, Ya. I., Indyk, V. M., Pinchuk, L. B., Rodionova, N. K., Savtsova, Z. D., et al. (2003). Short-term and long-term effects of radiation on laboratory animals and their progeny living in the Chernobyl Nuclear Power Plant region. *Env. Sci. Pollut. Res. Int.* **1**: 107–116.
- Sherlock, J., Andrews, D., Dunderdale, J., Lally, A. & Shaw, P. (1988). The *in vivo* measurement of radiocesium activity in lambs. *J. Env. Radioact.* **7**: 215–220 (cited by RADNET, 2008). Yablokov: Radioactive Impact on Fauna.
- Slukvin, A. M. & Goncharova, R. I. (1998). Pond carp defenses to low dose external and inner chronic irradiation. *Chernobyl Ecol. Health* (Gomel) **2**(6): 56–57 (en russe).
- Smith, M. H., Novak, J. M., Okelsyk, T. K., Purdue, J. R. & Gaschak, S. (2002). Fluctuating asymmetry of shape in rodents from radioactively contaminated environments in Chernobyl. *Sci. Tech. Aspects Chernobyl* (Slavutich) **4**: 492–503 (en russe).
- Smolich, I. I. & Ryabokon', N. I. (1997). Micronucleus frequencies in somatic cells of red vole (*Clethrionomys glareolus*) from radioactive exposed populations. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **4**: 42–46 (en biélorusse).

10. Impact de la radioactivité sur la faune

- Sokolov, V. E. & Krivolutsky, D. A. (1998). *Change in Ecology and Biodiversity after a Nuclear Disaster in the Southern Urals* (Pensoft, Sofia/Moscow): 228 pp.
- Stolyna, M. P. & Solomko, A. P. (1996). Impact of low dose chronic ionizing radiation on some characteristics of reproduction in mice CC57W/Mv from the Chernobyl experimental population. *Cytol. Genet.* **30**(1): 53–58 (en russe).
- Strand, T. (1987). Doses to the Norwegian population from naturally occurring radiation and from the Chernobyl fallout. Doc Dissert (National Institute of Radiation Hygiene, Oslo) (cited by RADNET, 2008).
- Sugg, D.W. (1996). DNA damage and radiocesium in channel catfish from Chernobyl. *Environ. Toxicol. Chem.* **15**: 1057–1063.
- Sushko, S. N., Savin, A. O., Kadukova, E. M. & Malenchenko, A. F. (2006). Role of ecological factors on genetic effects in cells from the exclusion Chernobyl zone. International Scientific and Practical Conference. *Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Sociological Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow): pp. 227–231 (http://www.ecopolicy.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf) (en russe).
- Sutshenya, L. M., Pykulik, M. M. & Plenin, A. E. (Eds.) (1995). *Animal life in the Chernobyl zone* (Science and Technology, Minsk): 263 pp. (en russe).
- Tchynkin, M. (1997). Chernobyl spots on map of France. *Komsomol Pravda* (Moscow), March 26, p. 6 (en russe).
- Thiessen, K. M., Hoffman, O. F., Rantavaara, A. & Hossain, Sh. (1997). Environmental models undergo international test: The science and art of exposure assessment modeling were tested using real-world data from the Chernobyl accident. *Env. Sci. Tech.* **31**(8): 358–363.
- Tsytugyna, V.G. & Polikarpov, G.G. (2003). Radiological effects on populations of Oligochaeta in the Chernobyl contaminated zone. *J. Env. Radioact.* **66** (1/2): 141–154.
- Tsytugyna, V.G. & Polykarpov, G.G. (2007). The criteria of identification of “critical” populations in aquatic radiochemoecology. *Rad. Biol. Radioecol.* **46** (2): 200–207 (en russe).
- Tsytugyna, V. G., Polykarpov, G. G. & Gorbenco, V. P. (2005). Rate of adaptation to antropogenic contamination of populations of hydrobionts with different reproductive strategies. *Herald Nat. Ukran. Acad. Sci.* **1**: 183–187 (en russe).
- Turner, J.T. (2002). Zooplankton fecal pellets, marine snow and sinking phytoplankton blooms. *Aquatic Microb. Ecol.* **27**: 57–102.
- Ushakov, S. I., Pelgunova, I. I. & Krysanov, E. Yu. (1996). Radiation situation. In: Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.), *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environment Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): 12–16 (en russe).
- Velykanov, V. I. & Molev, A. I. (2004). Characteristics of spleen and lymph nodes in cattle kept in areas contaminated by Chernobyl fallout. All-Russian Scientific Conference. *Medical and Biological Problem Radiation and Chemical Protection*. May 20–21, 2004, St. Petersburg (Materials, St. Petersburg): pp. 60–62 (en russe).
- Verygin, B. V., Belova, N. V., Emel'yanova, N. G., Makeeva, A. P., Vybornov, A. A. & Ryabov, I. N. (1996). Radio-biological analysis of silver carp *Hypophthalmichthys Molitrix* in Chernobyl NPP cooling pond in the post-catastrophe period. *Probl. Ichtyol.* **36**(2): 248–259 (en russe).
- Viktorov, A. G. (1993). Radio-sensitivity and radio-pathology of earthworms and their use as bioindication of radioactive territories. In: *Bioindication of Radioactive Contamination* (“Nauka,” Moscow): pp. 213–217 (en russe).
- Voitovich, A. M. (2000). Micronuclei frequency in erythrocytes and disturbance in differentiation process in brown-frog under chronic radiation exposure. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **3**: 60–63 (en biélorusse).
- Wickliffe, J. K., Chesser, R. K., Rodgers, B. E. & Baker, R. J. (2002). Assessing the genotoxicity of chronic environmental irradiation by using mitochondrial DNA heteroplasmy in the bank vole (*Clethrionomys glareolus*) at Chernobyl, Ukraine. *Env. Toxicol. Chem.* **21**(6): 1249–1254.
- Yakovleva, S. E. (2005). Consequences of territorial radioactive contamination on breeding properties of Russian trotting mares. International Scientific and Practical Conference. *Chernobyl 20 Years After: Social Economical Problems and Perspectives of Development of Affected Territories* (Materials, Bryansk): pp. 131–133 (en russe).
- Yelyseeva, K. G., Kartek, N. A., Voitovich, A. M., Trusova, V. D., Ogurtsova, S. E. & Krupnova, E. V. (1996). Chromosome aberrations in some tissues of murine rodents and amphibians from Belarussian radionuclide contaminated territories. *Cytol. Genet.* **30**(4): 20–24 (en russe).
- Zainullin, V.G. (1992). The mutation frequency of *Drosophila melanogaster* populations living under conditions of increased background radiation due to the Chernobyl accident. *Sci. Total Environ.* **112**: pp. 37–44.
- Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.) (1996). *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): 60 pp. (en russe).
- Zakharov, V. M., Borysov, V. I., Borysov, A. S. & Valetsky, A. V. (1996a). Fish: Developmental stability. In: Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.), *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): pp. 39–46 (en russe).
- Zakharov, V.M., Borysov, V. I., Baranov, A. S. & Valetsky, A. V. (1996b). Mammals: Developmental stability. In: Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.), *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): pp. 62–72 (en russe).
- Zarubin, O. L., Volkova, E.N., Belyaev, V.V. & Zalissky, A. A. (2006). Dynamics of radionuclide incorporation in fishes from large bodies of water in Kiev Province (1986–2005). International Conference. *Twenty Years after Chernobyl Accident: Future Outlook*. April 24–26, 2006, Kiev, Ukraine (Abstracts, Kiev): pp. 245–246 (en russe).

Chapitre 11. Impact de la radioactivité de Tchernobyl sur les micro-organismes

Alexey V. Yablokov

La totalité des quelques micro-organismes qui ont été étudiés ont subi des modifications rapides dans les zones lourdement contaminées par Tchernobyl. Des organismes tels que le bacille tuberculeux, les virus d'hépatites, d'herpès et de la mosaïque du tabac, le cytomégalovirus et les bactéries du sol se sont activés de différentes façons. Les ultimes conséquences à long terme pour la vie microbiologique de Tchernobyl peuvent être pires que ce que nous connaissons aujourd'hui. Comparés aux humains et autres mammifères, les profonds changements qui ont lieu chez ces petits organismes vivants, au rythme de reproduction rapide, ne sont pas de bon augure pour la santé et la survie des autres espèces.

Un gramme de sol contient quelques 2,5 milliards de micro-organismes (bactéries, champignons microscopiques et protozoaires). Jusqu'à 3 kg de la masse d'un être humain adulte sont faits de bactéries, virus et champignons microscopiques. En dépit du fait qu'ils représentent des écosystèmes si importants et si fondamentalement vivants, il n'y a que de rares données sur les diverses conséquences microbiologiques de la catastrophe de Tchernobyl.

Plusieurs éléments suggèrent qu'une augmentation de la morbidité de certaines maladies infectieuses pourrait être due à une augmentation de la virulence de populations microbiennes résultant de l'irradiation liée à Tchernobyl.

1. Peu après la catastrophe, des études ont observé l'activation de rétrovirus [Kavsan *et al.* 1992].
2. Il y a une augmentation avérée de la sensibilité à *Pneumocystis carinii* et au cytomégalovirus chez les enfants dont le système immunitaire a été affaibli dans les territoires contaminés du district de Novozybkov de la province de Briansk [Lysenko *et al.* 1996].
3. La tuberculose est devenue plus virulente dans les régions les plus contaminées du Belarus [Chernetsky et Osynovsky, 1993 ; Belookaya, 1993 ; Borschevsky *et al.*, 1996].

4. Dans quelques zones lourdement contaminées du Belarus et de Russie, le niveau d'infestation par les cryptosporidies a nettement augmenté [Lavdovskaya *et al.*, 1996].
5. De 1993 à 1997, les virus d'hépatites B, C, D et G sont devenus nettement plus virulents dans les zones lourdement contaminées du Belarus [Zhavoronok *et al.*, 1998a, b].
6. Les virus de l'herpès étaient plus virulents dans les territoires lourdement contaminés du Belarus 6 à 7 ans après la catastrophe [Matveev, 1993 ; Matveev *et al.*, 1995 ; Voropaev *et al.*, 1996].
7. L'activation de cytomégalovirus a été constatée dans les districts lourdement contaminés des provinces de Gomel et de Moguilev au Belarus [Matveev, 1993].
8. L'incidence de *Pneumocystis* était notablement plus élevée dans les territoires lourdement contaminés de la province de Briansk [Lavdovskaya *et al.*, 1996].
9. La fréquence et la gravité des maladies à dermatophytes – teigne (*tinea capitis*), herpès circiné, ... – dues au champignon *Microsporium* sp. étaient beaucoup plus élevées dans les zones lourdement contaminées de la province de Briansk [Rudnitsky *et al.*, 2003].

10. Le nombre de bactéries saprophytes dans les sols podzoliques du Belarus est sensiblement plus élevé dans les zones où le niveau de pollution radioactive ne dépasse pas 15 Ci/km² par rapport aux territoires où la pollution atteint 40 Ci/km² et plus [Zymenko *et al.*, 1995].
11. Un large éventail de radionucléides s'accumule dans les micromycètes du sol. Le facteur d'accumulation du Cs-137 dans le *Stemphylium* (hyphomycète, famille des Dematiaceae) est de 348 et de 28 dans le *Verticillium* (famille des Mucdinaceae) [Zymenko *et al.*, 1995].
12. Depuis la catastrophe, la fréquence des champignons microscopiques noirs a énormément augmenté dans les sols contaminés autour de Tchernobyl [Zhadanova *et al.*, 1995].
13. Parmi les bactéries du sol, celles qui accumulent le plus activement le Cs-137 sont *Agrobacterium* sp. (facteur d'accumulation de 587), *Enterobacter* sp. (de 60 à 288) et *Klebsiella* sp. (de 256) [Zymenko *et al.*, 1995].
14. Dans tous les échantillons de sol de la zone des 10 km de Tchernobyl, l'abondance des bactéries du sol (les bactéries nitrifiantes, sulfatoréductrices, fixatrices d'azote et agents de fermentation de la cellulose ainsi que les bactéries hétérotrophes ferro-oxydantes) avait diminué de deux ordres de grandeur comparée aux zones témoins [Romanovskaya *et al.*, 1998].
15. Dans les zones contaminées, plusieurs nouvelles variantes du virus de la mosaïque du tabac affectant d'autres plantes que les solanacées sont apparues et leur virulence est très clairement corrélée avec le niveau de contamination radioactive dans ces zones. L'infection des plants de tabac par le virus de la mosaïque du tabac et le virus de la mosaïque du colza a révélé que cela induisait un triplement des recombinaisons homologues de l'ADN dans les tissus non infectés [Boyko *et al.*, 2007 ; Kovalchuk *et al.*, 2003].
16. Toutes les souches d'espèces de champignons microscopiques étudiées (*Alternaria alternata*, *Mucor hiemalis* et *Paezilomyces lilacinus*) dans les zones lourdement contaminées par Tchernobyl ont présenté un développement d'hyphes filamenteux agrégés, alors que les mêmes espèces poussent normalement dans des sols faiblement contaminés par les radionucléides. Seule l'espèce à croissance lente *Cladosporium cladosporioides* présente un développement en agrégats dans les sols contaminés comme dans les sols légèrement contaminés [Ivanova *et al.*, 2006].
17. Une réduction brutale de l'abondance des bactéries bifidus et la fréquence des microbes du genre *Escherichia*, en particulier une brusque augmentation d'*E. coli*, ont été notées dans l'intestin des enfants évacués qui vivaient en Ukraine [Luk'yanova *et al.*, 1995].
18. Une étude à long terme (de 1954 à 1994 – avant et après la catastrophe) au Belarus, en Ukraine et en Russie a révélé que, dans les zones fortement contaminées par la radioactivité (740-1 480 kBq/m² et plus) des provinces de Briansk, Moguilev, Gomel, Tchernigov, Soumy, Kalouga, Orel, Smolensk et Koursk, pratiquement aucun cas de rage chez les animaux sauvages n'a été rapporté depuis la catastrophe [Adamovich, 1998]. Ceci suggère que le virus de la rage a disparu ou est devenu inactif.
19. Les rongeurs des territoires lourdement contaminés du Belarus ont été largement envahis par des coccidies (parasites protozoaires intracellulaires obligatoires du phylum *Apicomplexa*) [Sutchenya *et al.*, 1995].
20. Chez les campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) de la province de Briansk, les oocytes de coccidies (*Eimeria cernae*) sont moins nombreux que d'habitude, ont davantage de formes anormales et pas de sporulation (Tableau 11.1).
21. Six ans après la catastrophe, une population d'*Eimeria cernae* de *Clethrionomys glareolus* vivant dans un sol lourdement contaminé (jusqu'à 7,3 kBq/kg de Cs-134, Cs-137, Sr-90 et Pu) de la province de Kiev présentait des oocytes anormaux [Soshkin et Pelgounov, 1994].
22. L'indice de biodiversité de Shannon fait apparaître un net déclin des infusoires et une augmentation concomitante de leur abondance dans l'embouchure de la rivière Pripiat de 1986 à 1988 [Nebrat, 1992].

11. Impact de la radioactivité sur les micro-organismes

Tableau 11.1. Caractéristiques d'oocytes de coccidie (*Eimeria cernae*) des campagnols roussâtres (*Clethrionomys glareolus*) de deux sites différemment contaminés de la province de Briansk (en %) [Pelgounov, 1996]

	Niveau de contamination	
	20 µR/h	180-220 µR/h
Normal	94,5	76,6
Anormal	0	6,3
Pas de sporulation	5,2	12,2

Tous les micro-organismes (virus, bactéries, champignons et protozoaires) et les communautés de micro-organismes dans leur ensemble subissent de rapides modifications après toute irradiation supplémentaire. Le mécanisme de telles modifications est bien connu : inclusion et augmentation de fréquence des mutations par sélection naturelle et préservation des nouveaux gènes bénéfiques qui, pour une raison quelconque, apparaissent plus viables dans les nouvelles conditions. Ce mécanisme microévolutif s'est déclenché dans toutes les régions contaminées par la radioactivité et a conduit à la régénérescence d'anciennes formes de virus et de bactéries et à l'apparition de nouvelles. À part quelques micro-organismes, tous ceux qui ont été étudiés dans les territoires affectés par Tchernobyl ont subi de rapides modifications dans les régions lourdement contaminées.

Nos connaissances actuelles sont trop limitées pour comprendre ne serait-ce que les principales conséquences des inévitables changements génétiques induits par la radioactivité parmi des myriades de virus, bactéries, protozoaires et champignons qui habitent les intestins, les poumons, le sang, les organes et les cellules des êtres humains. La forte association entre la carcinogenèse et les virus (papillomavirus, virus d'hépatite, virus Epstein-Barr, sarcome de Kaposi et herpès virus) fournit une autre raison à l'augmentation des cancers dans les zones contaminées par l'irradiation liée à Tchernobyl [voir l'étude de Sreelekha *et al.*, 2003].

Non seulement le cancer, mais aussi beaucoup d'autres maladies sont liées aux virus et bactéries. Les changements pathologiques radio-induits dans la microflore humaine risquent de renforcer la prédisposition aux infections, aux maladies inflammatoires d'origine bactérienne ou virale (influenza, maladies chroniques intestinales, pyélonéphrites, cys-

tites, vaginites, entérocolites, asthme, dermatites et ischémie), ainsi qu'aux diverses pathologies de la grossesse.

Les conséquences à long terme pour les micro-organismes peuvent être pires que ce que nous en comprenons aujourd'hui.

Bibliographie

- Adamovich, V. L. (1998). Hydrophobia in animals on radioactively contaminated territories. *Ecolog* **3**: 237–240 (en russe).
- Belookaya, T. V. (1993). Dynamics of Belarussian children's health status under modern ecological conditions. Scientific and Practical Conference. *Chernobyl Catastrophe: Diagnostics and Medical and Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 3–10 (en russe).
- Borshevsky, V. V., Kalechits, O. M. & Bogomazova, A. V. (1996). Course of tuberculosis morbidity after the Chernobyl catastrophe in Belarus. *Med. Biol. Aspects Chernobyl Accident* (Slavutich) **1**: pp. 33–37 (en russe).
- Boyko, A., Kathyria, P., Zemp, F. J., Yao, Y., Pogribny, I. & Kovalchuk, I. (2007). Transgenerational changes in genome stability and methylation in pathogen-infected plants (virus-induced plant genome instability). *Nucl. Acids Res.* **35**(5): 1714–1725.
- Chernetsky, V. D. & Osynovsky, D. F. (1993). Epidemiological abnormalities of tuberculosis in a region with a low level of radioactive contamination. Scientific and Practical Conference. *Chernobyl Catastrophe: Diagnostics, Medical and Psychological Rehabilitation of Sufferers* (Materials, Minsk): pp. 100–104 (en russe).
- Ivanova, A. E., Aslanydi, K. B., Karpenko, Yu. V., Belozerskaya, T. A. & Zhdanova, N. N. (2006). Phenotypical characteristics of microfungi from the exclusion zone of the Chernobyl NPP. *Adv. Med. Mycol.* **7**: 10–11 ([//www.mycology.ru/nam/pdf/vol7.pdf](http://www.mycology.ru/nam/pdf/vol7.pdf)) (en russe).
- Kavsan, V. M., Frolov, A. F. & Antonenko, S. V. (1992). Activation of human retroviruses after the Chernobyl accident. International Conference. *AIDs, Cancer and Human Retroviruses*. November 18–22, 1992, St. Petersburg ([//www.biomed.spb.ru/conf_program/1992rus.pdf](http://www.biomed.spb.ru/conf_program/1992rus.pdf)) (en russe).
- Kovalchuk, I., Kovalchuk, O., Kalck, V., Boyko, V., Filkowski, J., *et al.* (2003). Pathogen-induced systemic plant signal triggers DNA rearrangements. *Nature* **423**: 760–762.
- Lavdovskaya, M.V., Lysenko, A. Ya., Basova, E.N., Lozovaya, G. A., Baleva, L. S. & Rybalkina, T. N. (1996). The "host-opportunistic protozoa" system: Effect of ionizing radiation on incidence of cryptosporidiosis and pneumocystosis. *Parasitology* **30**(2): 153–157 (en russe).
- Luk'yanova, E. M., Denysova, M. F. & Lapshin, V. F. (1995). Children's digestive systems. Sect 3.19. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* ([//www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm](http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua/2-3-19.htm)) (en russe).

11. Impact de la radioactivité sur les micro-organismes

- Lysenko, A., Lavdovskaya, M. V., Basova, E. N., Lozovaya, G. A., Baleva, L. S. & Rybalkyna, T. N. (1996). The host-opportunistic protozoa system, and the incidence of mixed infections (Pneumocystis and cytomegalovirus) in children living in radionuclide contaminated areas. *Parasitol.* **30**(3): 223–228 (en russe).
- Matveev, V. A. (1993). Activity of cytomegalovirus infection in pregnant women as an index of herd immunity in the radionuclide contaminated regions resulting from the Chernobyl accident. Effect of radionuclides environmental contamination on the population health: Clinical and experimental study. In: *Collected Transactions* (Vitebsk Medical Institute, Vitebsk): pp. 97–100 (en russe).
- Matveev, V. A., Voropaev, E.V. & Kolomiets, N.D. (1995). Role of the herpes virus infections in infant mortality of Gomel province areas with different densities of radionuclide contamination. Third Congress of the Belarussian Scientific Society of Immunology and Allergy. *Actual Problems of Immunology and Allergy* (Abstracts, Grodno): pp. 90–91 (en russe).
- Nebrat, A. A. (1992). Plankton infusorias from downstream in the Pripyat River. *Hydrobiol. J.* **28**(6): 27–31 (en russe).
- Pelgounov, A. N. (1996). Parasitological study of rodents. In: Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.), *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow): pp. 136–143 (en russe).
- Romanovskaya, V. A., Sokolov, I. G., Rokitko, P. V. & Chernaya, N. A. (1998). Ecological consequences of radioactive contamination for soil bacteria in the 10-km Chernobyl zone. *Microbiology* **67**(2): 274–280 (en russe).
- Rudnitsky, E. A., Sobolev, A. V. & Kyseleva, L. F. (2003). Incidence of human microsporia in radionuclide contaminated areas. *Probl. Med. Mycol.* **5**(2): 68–69 (en russe).
- Soshkin, D. V. & Pel'gunov, A. N. (1994). Three-years of morphological monitoring of *Eimeria cernae* (Eucoccidiida, Eimeriidae) from red voles *Clethrionomys glareolus* (Rodentia, Cricetidae) in a low level radioactive contaminated territory. *Zool. J.* **73**(7–8): 5–7 (en russe).
- Sreelekha, T. T., Bency, K. T., Jansy, J., Thankappan, B., Hareendran, N. K., et al. (2003). Environmental contamination impact on carcinogenesis. Third International Conference on Environment and Health, December 15–17, 2003, Chennai, India (Proceedings, Chennai): pp. 502–511 (http://www.yorku.ca/bunchmj/ICEH/proceedings/Sreelekha_TT_ICEH_papers_502to511.pdf).
- Sutchenya, L. M., Pikulik, M. M. & Plenin, A. E. (Eds.) (1995). *Animals in the Chernobyl Zone* (“Nauka Tekhn,” Minsk): 263 pp. (en russe).
- Voropaev, E. V., Matveev, V. A., Zhavoronok, S. V. & Naralencov, V. A. (1996). Activation of VPG infections after the Chernobyl accident. Scientific Conference. *Ten Years after Chernobyl Catastrophe: Scientific Aspect of Problems* (Abstracts, Minsk): pp. 65–66 (en russe).
- Zhavoronok, S. V., Kalynin, A. L., Fylyptsevich, N. N., Okeanov, A. E., Greenbaum, O. A., et al. (1998a). Analyses of chronic hepatitis and liver cirrhosis in a population in Belarus, suffering from the Chernobyl accident. *Med. Radiol. Radiat. Safety* **43**(5): 18–24 (en russe).
- Zhavoronok, S. V., Kalynin, A. L., Greenbaum, O. A., Chernovetsky, M. A., Babarykyna, N. Z. & Ospovat, M. A. (1998b). Hepatoviruses B, C, D, and G markers in those suffering from the Chernobyl catastrophe. *Publ. Health* **8**: 46–48 (en russe).
- Zhdanova, N. N., Vasylevskaya, A. I., Artyshkova, L. V., Gavrylyuk, V. I., Lashko, T. N. & Sadovnikov, Yu. S. (1991). Complexes of soil micromycetes in the area influenced by the Chernobyl NPP. *Microbiol. J.* **53**: 3–9 (en russe).
- Zhdanova, N. N., Zakharenko, V., Vasylevskaya, A., Shkol'nyi, O., Nakonechnaya, L. & Artyshkova, L. (1994). Abnormalities in soil mycobiologic composition around Chernobyl NPP. *Ukr. Bot. J.* **51**: 134–143 (en russe).
- Zymenko, T. G., Chernetsova, I. B. & Mokhova, S. V. (1995). Microbiologic complex in radioactively contaminated sod-potboil soils. *Herald Nat. Belar. Acad. Sci. (Biol.)* **4**: 69–72 (en biélorusse).

Conclusion de la Partie III

Les retombées radioactives de Tchernobyl ont eu un impact sur la faune et la flore de tout l'Hémisphère Nord. Des niveaux élevés de radioactivité ont été trouvés dans les végétaux et les animaux (ainsi que dans les micro-organismes) en Europe occidentale, en Amérique du Nord, en Arctique et en Asie orientale et ces niveaux étaient souvent des centaines de fois plus élevés que ceux de la radioactivité naturelle, considérés comme « normaux ». Cet énorme déversement d'une radioactivité d'un niveau élevé associé à l'irradiation chronique par faibles doses qui s'ensuivit, ont induit des perturbations morphologiques, physiologiques et génétiques dans tous les organismes vivants : végétaux, mammifères, oiseaux, amphibiens, poissons, invertébrés, bactéries et même les virus. Les effets négatifs ont été constatés dans toutes les plantes et tous les animaux étudiés, sans la moindre exception.

Les populations touchées ont montré une large variété de difformités morphologiques qui étaient très rares, voire inconnues, avant la catastrophe. Plus de vingt ans après, le gibier et les animaux d'élevage de certains territoires contaminés par Tchernobyl, loin de l'Ukraine, présentent encore des niveaux dangereux de radionucléides incorporés.

L'effet global de la radioactivité de Tchernobyl sur l'eau, l'atmosphère et le sol a une dynamique due au déclin et aux transformations des radionucléides ainsi qu'à des processus écologiques, chimiques, géologiques et biologiques tels que la migration et l'accumulation des radionucléides, dont leur insertion dans de multiples chaînes alimentaires. La migration active des Sr-90, Cs-137, Pu, Am et d'autres isotopes aboutit à une bioaccumulation qui va provoquer des surprises dans les décennies et les siècles à venir.

Les données présentées dans la Partie III, aussi diverses soient-elles, démontrent que la catastrophe de Tchernobyl a eu et continuera à avoir de multiples conséquences sur la faune et la flore.

Dès que les pressions exercées par l'industrie, l'agriculture et l'homme diminuent, la vie sauvage commence à récupérer et même paraît devenir florissante. Les grands animaux

(loups, élans, sangliers sauvages, daims et oiseaux, dont les aigles) vivent encore dans la zone contaminée de Tchernobyl, mais la prospérité de cette vie sauvage est décevante. L'étude des oiseaux montre que certaines espèces peuvent être trouvées dans les régions contaminées uniquement grâce à leur migration depuis les zones non contaminées [Møller et Mousseau, 2007]. Des études morphologiques, cytogénétiques et immunologiques de populations de plantes, poissons, amphibiens et mammifères révèlent une dégradation de tous les organismes analysés en détail [voir les études de Grodzinsky, 2006 et Zakharov et Krysanov, 1996].

Le poids et le rythme des mutations dans les plantes, les animaux et les micro-organismes des territoires contaminés par Tchernobyl sont beaucoup plus élevés qu'ailleurs. L'exposition chronique aux faibles doses de radioactivité de Tchernobyl a produit une accumulation d'instabilité génomique transgénérationnelle, qui se manifeste par des effets systémiques et cellulaires anormaux. Ces effets transgénérationnels à long terme sont néfastes parce que les génomes des animaux des générations futures seront plus sensibles à l'irradiation par les faibles doses, comparés à ceux des animaux des premières générations [Goncharova, 2000 ; Peveline *et al.*, 2006].

À l'inverse, dans les territoires contaminés, la survie des individus les moins sensibles à la radioactivité dépend aussi d'actifs processus de sélection naturelle (des processus de radio-adaptation). La radio-adaptation dans une population exposée à une contamination chronique conduira à abaisser la radiosensibilité sur plusieurs générations et la théorie de l'évolution prédit que ceci se produira à cause d'une adaptation particulière accompagnée d'une élimination des génotypes sensibles et d'un appauvrissement du patrimoine génétique. Des plantes et des animaux de la zone de Tchernobyl ont montré un retour à des types de systèmes génétiques historiquement ataviques et primitifs [Glazko *et al.*, 1996]. Ces faits laissent entrevoir une augmentation du nombre et de la diversité des insectes préjudiciables à l'agriculture dans les zones dont le niveau de

radioactivité a augmenté [Mosse, 2002]. Compte tenu de la courte durée de vie d'une génération de micro-organismes, ce rapide processus microévolutif peut conduire à l'activation de formes de vie plus primitives et à l'apparition de nouvelles formes de virus, bactéries et champignons.

Le corpus présenté dans la Partie III témoigne du fait qu'il est dangereux et peu perspicace de considérer la zone radioactive de Tchernobyl comme une réserve naturelle où les plantes et les animaux pourraient se développer et prospérer. Pour une compréhension approfondie des nombreux processus encore à l'œuvre dans la zone contaminée de Tchernobyl, la recherche biologique ne devrait pas être amputée et arrêtée (comme c'est le cas au Belarus, en Ukraine et en Russie), mais elle doit être soutenue, étendue et intensifiée pour comprendre, prévoir et éviter des successions inattendues et dangereuses d'événements.

Il y a aussi une dimension plus essentielle dans l'étude des animaux des territoires contaminés. Nous autres, les êtres humains, nous appartenons au règne animal et nous avons les mêmes organes et systèmes biologiques que les souris et les rats. Le corpus de la Partie III montre une croissance brutale du poids des mutations et une augmentation de la morbidité et des cancers. Plus de 70% de tous les rats de laboratoires élevés dans les conditions de contamination de Tchernobyl ont développé des cancers aux cours des années suivantes, ont souffert de nombreuses autres maladies et ont eu une compétence immunitaire amoindrie. L'ensemble de ces processus, qui se sont produits pendant les 5 à 7 premières années autour de Tchernobyl, annonçaient précisément ce qu'il est advenu plus tard des populations humaines exposées.

Tchernobyl est, d'un côté, un incubateur de la microévolution, transformant activement le pool génétique avec des conséquences imprévisibles et, d'un autre côté, un trou noir dans lequel se produit une dégénérescence génétique accélérée des grands animaux. À nos risques et périls, nous ne tenons pas compte de ces observations.

Bibliographie

Glazko, V. I., Arkhypov, N. P. & Sozynov, A. A. (1996). Dynamic of biochemical markers' allele variants in cattle generations in the Chernobyl exclusion zone. *Cytology and Genetics* **30**(4): 49–54 (en russe).

Goncharova, R. I. (2000). Remote consequences of the Chernobyl disaster: Assessment after 13 years. In: Burlakova, E. B. (Ed.). *Low Doses of Radiation: Are They Dangerous?* (NOVA, New York): pp. 289–314.

Grodzinsky, D. M. (2006). Reflection of the Chernobyl catastrophe on the plant world: Special and general biological aspects. In: Busby, C. C. & Yablokov, A. V. (Eds.). *ECRR Chernobyl: 20 Years On: Health Consequences of the Chernobyl Accident*. ECRR Doc 1 (Green Audit Book, Aberystwyth): pp. 117–134.

Møller, A. P. & Mousseau, T. A. (2007). Species richness and abundance of forest birds in relation to radiation at Chernobyl. *Biol. Lett. Roy. Soc.* **3**: 483–486.

Mosse, I. B. (2002). Genetic effects in natural populations of animals from the Belarussian radiocontaminated areas: Biological effects of low doses. Information Bulletin 3 (Belarussian Chernobyl Children Committee, Minsk): pp. 28–30. (en russe).

Pelevyna, I. I., Gorlib, A. Ya. & Konradov, A. A. (2006). 20 years is much or little for an estimation of Chernobyl consequences. In: International Scientific Practical Conference. *20 Years of the Chernobyl Catastrophe: Ecological and Sociological Lessons*. June 5, 2006, Moscow (Materials, Moscow), pp. 185–196 (http://www.ecopolicy.ru/upload/File/conferencebook_2006.pdf) (en russe).

Zakharov, V. M. & Krysanov, E. Yu. (Eds.). (1996). *Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Environmental Health* (Center for Russian Environmental Policy, Moscow), 160 pp. (en russe).

Partie IV. Radioprotection après la catastrophe de Tchernobyl

Alexey V. Nesterenko ^a, Vassili B. Nesterenko ^{a †} et Alexey V. Yablokov ^b

^a Institut de radioprotection (BELRAD), Minsk, Belarus

^b Académie des Sciences de Russie, Moscou, Russie

Mots-clés : Tchernobyl ; charge de dose ; décorporation de radionucléides

Depuis la catastrophe de Tchernobyl, plusieurs millions de personnes (surtout au Belarus, en Ukraine et en Russie, mais aussi en Suède, Finlande, Norvège, Écosse et quelques autres – voir [Partie I](#) pour les détails –) continuent à vivre dans des territoires contaminés. Une radioprotection est nécessaire pour toutes ces personnes.

Après la catastrophe, il y a eu d'énormes efforts pour mettre en œuvre des mesures préventives au Belarus, en Ukraine en Russie – reloger des milliers de personnes pour essayer de réduire l'exposition à la contamination radioactive.

Les mesures qui ont été prises incluaient notamment la restriction de la consommation de nourriture et des modifications dans la préparation des aliments, ainsi que des changements dans les pratiques agricoles, piscicoles et forestières, sous la direction d'un personnel scientifique qualifié [Bar'yakhtar, 1995 ; Aleksakhin, 2006].

La situation en matière de radioprotection dans les territoires contaminés met les défenseurs de la santé publique dans une situation décrite en russe comme « entre les meules du moulin » et, dans les pays occidentaux, comme « entre le marteau et l'enclume ». Les autorités allouent aussi peu de ressources financières que possible pour la réhabilitation et la gestion des catastrophes et, en même temps, elles sont réticentes à accepter des données sur des niveaux dangereux de contamination des populations, de la nourriture et de l'environnement. Ces attitudes valent pratiquement pour toutes les administrations dans le monde.

La réticence de l'administration à reconnaître la vérité sur les conséquences de Tchernobyl a conduit des citoyens inquiets à s'organiser pour trouver des sources supplémentaires d'information et à concevoir des moyens pour aider ceux qui souffrent. Des centaines d'organisations publiques locales, nationales et internationales ont été créées, telles que « Enfants de Tchernobyl », « Médecins de Tchernobyl », « Veuves de Tchernobyl » et syndicats de liquidateurs au Belarus, en Ukraine, en Russie et dans de nombreux autres pays dont l'Allemagne, l'Autriche, la France, la Suisse, le Canada, les États-Unis et Israël.

En 1987, à l'initiative du physicien et humaniste Andreï Sakharov, du célèbre écrivain biélorusse Alès Adamovitch et du champion du monde d'échecs Anatoly Karpov, l'Institut biélorusse de radioprotection BELRAD a été créé en tant qu'organisme public indépendant consacré à l'aide aux enfants biélorusses – ceux qui ont le plus souffert après la contamination catastrophique de Tchernobyl. Depuis sa création, l'Institut BELRAD a rassemblé une base de données considérable dans le domaine de la radioprotection et il est devenu un centre non gouvernemental exceptionnel sur Tchernobyl, disposant d'informations à la fois scientifiques et pratiques.

La Partie IV repose principalement sur les données de BELRAD. Le [Chapitre 12](#) présente des données sur la contamination de la nourriture et des humains par Tchernobyl dans de nombreux pays ; le [Chapitre 13](#) rapporte l'expérience du Belarus où des mesures préventives efficaces ont été prises pour abaisser les

niveaux de radionucléides incorporés, tels que l'utilisation d'entérosorbants, et le Chapitre 14 présente des mesures préventives courantes contre la contamination radioactive dans l'agriculture et l'exploitation forestière.

Bibliographie

- Aleksakhin, R. M., Bagdevich, I. M., Fesenko, S. V., Sanzheva, N. I., Ageets, V. Yu. & Kashparov, V. A. (2006). Protecting measures' role in rehabilitation of contaminated territories. In: International Conference. *Chernobyl 20 Years After: Strategy for Recovering and Sustaining Development of Affected Territories*. April 19–21, 2006 (Materials, Minsk): pp. 103–108 (en russe).
- Bar'yakhtar, V. G. (Ed.) (1995). Chernobyl Catastrophe: Historiography, Social Economic, Geochemical, Medical and Biological Consequences ("Naukova Dumka," Kiev): 558 pp. (en russe).

Chapitre 12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes par Tchernobyl

Alexey V. Nesterenko, Vassili B. Nesterenko et Alexey V. Yablokov

Dans de nombreux pays européens, les niveaux d'I-131, de Cs-134/137, de Sr-90 et d'autres radionucléides dans le lait, les produits laitiers, les légumes, les céréales, la viande et le poisson ont énormément augmenté (parfois jusqu'à 1 000 fois) immédiatement après la catastrophe. Jusqu'en 1991, les États-Unis ont importé des produits alimentaires ayant des quantités mesurables de contamination radioactive liée à Tchernobyl, la plupart du temps en provenance de Turquie, d'Italie, d'Autriche, d'Allemagne de l'Ouest, de Grèce, de Yougoslavie, de Hongrie, de Suède et du Danemark. Ces produits comprenaient des jus de fruits, des fromages, des pâtes, des champignons, des noisettes, de la sauge, des figues, du thé, du thym, du genièvre, des graines de carvi et des abricots. Dans les provinces de Gomel, Moguilev et Brest au Belarus, 7 à 8% du lait et 13 à 16% d'autres produits alimentaires venant de petites fermes ont dépassé les niveaux admissibles de Cs-137, même aussi récemment qu'en 2005-2007. En 2000, jusqu'à 90% des baies sauvages et des champignons dépassaient les niveaux admissibles de Cs-137 dans les provinces de Rivne et Jitomir en Ukraine. En raison de différences de poids et de métabolisme, l'exposition d'un enfant au rayonnement est de 3 à 5 fois supérieure à celle d'un adulte ayant le même régime alimentaire. De 1995 à 2007, jusqu'à 90% des enfants des territoires fortement contaminés du Belarus avaient des niveaux d'accumulation de Cs-137 supérieurs à 15-20 Bq/kg, les teneurs maximales allant jusqu'à 7 300 Bq/kg dans le district de Narovlia, province de Gomel. Les niveaux moyens de Cs-137 et de Sr-90 incorporés dans les territoires fortement contaminés du Belarus, d'Ukraine et de Russie européenne n'ont pas diminué mais plutôt augmenté entre 1991 et 2005. Étant donné que plus de 90% des retombées actuelles de rayonnement sont dus au Cs-137, à demi-vie d'environ 30 ans, nous savons que les zones contaminées seront dangereusement radioactives pendant environ les trois prochains siècles.

Bien que beaucoup d'argent soit attribué par chaque gouvernement pour la radioprotection (par exemple, au Belarus, près de 300 millions ont été alloués en 2006 pour réduire la contamination radioactive dans la production agricole), aucune nation n'a la capacité d'assurer une protection totale contre les rayonnements pour les populations vivant dans les zones contaminées et mangeant des légumes produits localement, des produits forestiers, des poissons et du gibier qui sont contaminés par des radionucléides.

Il est donc d'une importance primordiale que la capacité de surveillance des rayonnements soit établie au niveau local afin que les citoyens aient accès à l'information, puissent surveiller leur propre nourriture produite loca-

lement et participer activement à l'organisation et à la mise en œuvre de la radioprotection. Trop souvent, les centres de collecte de données de surveillance ne sont guère incités à s'assurer de ce que tous les habitants du pays obtiennent l'information qu'ils devraient avoir.

12.1. Surveillance radiologique des aliments

12.1.1. Belarus

Fin 1993, afin de surveiller le rayonnement des aliments, l'Institut BELRAD, avec le soutien du Comité d'État chargé des conséquences de la catastrophe à la centrale nucléaire de Tchernobyl (« Comchernobyl »), a créé 370

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

centres publics locaux de contrôle des radiations (CLCR) pour contrôler les denrées alimentaires dans les zones contaminées. La base de données générale de BELRAD, disponible aujourd'hui, sur les denrées alimentaires contaminées, contient plus de 340 000 mesures, notamment quelque 111 000 tests sur le lait.

1. Selon la base de données de BELRAD, jusqu'à 15% du lait de petites fermes et jusqu'à 80% d'autres produits alimentaires dans trois provinces du Belarus ont été contaminés par le Cs-137 au-delà des niveaux admissibles en 1992 (Tableau 12.1).

2. Le pourcentage de produits alimentaires dont la contamination radioactive dépasse les niveaux officiels admissibles n'a pas diminué pendant 14 ans après la catastrophe ; au contraire, en 1997, dans les régions de Gomel et de Brest, ce pourcentage a commencé à augmenter (Tableau 12.2).

3. En 1996, jusqu'à 34,3% de tout le lait testé dans la province de Brest avait des niveaux de rayonnement plus élevés que ceux autorisés. Le nombre de tests de lait montrant des niveaux dangereux était bien supérieur dans les provinces de Gomel et de Brest à celui de la province de Moguilev. De 1993 à 2006, il y a eu une certaine diminution du nombre de tests de lait dépassant le niveau admissible (Tableau 12.3).

4. À certains endroits, le pourcentage des analyses de lait montrant des niveaux dangereux de Cs-137 était nettement au-dessus de la moyenne. Par exemple, en 2006 dans le village de Louga du district de Louninets (province de Gomel), les résultats de 90,7% des tests ont dépassé le niveau autorisé et ces niveaux étaient plus de 16 fois supérieurs à la moyenne provinciale [base de données BELRAD].

5. Il existe des différences saisonnières du niveau de contamination des produits alimentaires locaux (cf. Figure 12.8). Chaque année, en règle générale, aux troisième-quatrième trimestres, la proportion d'aliments fortement contaminés par des radionucléides augmente (cela concerne les champignons, les baies, la viande de gibier ainsi que le lait, contaminés du fait des fourrages stockés pour l'hiver, qui ont une teneur élevée en Cs-137).

6. Des données officielles mettent également en évidence des cas de produits dépassant le niveau de contamination admissible (NCA).

Tableau 12.1. Pourcentage des aliments dont la contamination par le Cs-137 dépasse les niveaux admissibles en 1992 [données de BELRAD]

Aliments	Nombre d'échantillons	% supérieur au niveau officiel admissible en 1992	Niveau officiel admissible en Bq/kg en 1992
Champignons (agaric étoilé)	133	80,5	370
Canneberges	429	62,7	185
Mûres	1 383	61,0	185
Viande (gibier)	125	58,4	600
Champignons (séchés)	459	57,7	3 700
Bolet rude	160	57,5	370
Cèpe de Bordeaux	561	54,4	370
Champignons (bouillis)	87	52,9	370
Chanterelles	125	52,8	370
Mûres (confitures)	150	42,0	185
Kéfir	71	25,4	111
Armillaire couleur de miel	57	22,8	370
Lait	19 111	14,9	111
Lard	234	14,1	185
Crème aigre	242	12,8	111
Framboises	154	11,7	185
Fromage blanc	344	11,6	111
Carpes	152	11,2	370
Fraises des bois (<i>Fragaria vesca</i>)	73	9,6	185
Eau	2 141	8,8	185
Betteraves	1 628	8,2	185
Crème	51	7,8	111
Fraises de jardins (<i>Fragaria x ananassa</i>)	389	6,4	185
Carottes	1 439	5,8	185
Choux	590	4,4	185
Viande (bœuf)	297	3,7	600
Concombres	433	3,2	185
Tomates	141	2,8	185
Poires	208	2,4	185
Pommes	1 547	2,3	185
Oignons	435	2,1	185
Cerises	196	2,0	185
Viande (porc)	969	2,0	600
Beurre	51	2,0	185
Pommes de terre	4 996	1,6	370

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

Tableau 12.2. Pourcentage d'aliments dépassant les niveaux admissibles de Cs-137 dans les provinces de Brest, Gomel et Moguilev au Belarus de 1993 à 2007 [base de données de BELRAD]

Province	Années							
	1993-94	1995-96	1997-98	1999-00	2001-02	2003-04	2005-06	2007
Gomel *	12,1	9,6	12,0	12,7	14,8	19,9	14,8	16,3
Moguilev	9,2	4,0	4,2	5,3	4,8	5,4	15,2	n/a
Brest	15,5	16,6	14,2	17,8	18,0	19,2	13,0	12,5

* Les données de la province de Gomel ont pu être sous-estimées depuis 1995 (24 centres locaux de contrôle des radiations – LCRC – des zones fortement contaminées du district de Leltchitsy ont été retirés à BELRAD et transférés à l'Institut officiel de radiologie – Comchernobyl)

Tableau 12.3. Pourcentage de tests sur le lait dépassant les niveaux admissibles de Cs-137 dans les provinces de Brest, Gomel et Moguilev au Belarus de 1993 à 2007 [base de données BELRAD]

Province	Années							
	1993-94	1995-96	1997-98	1999-00	2001-02	2003-04	2005-06	2007
Gomel *	16,6	8,6	8,7	9,6	8,6	12,9	6,8	6,7
Moguilev	12,0	2,8	1,2	0,5	0,2	0,6	7,2	n/a
Brest	21,7	33,5	18,5	21,4	22,8	17,8	7,9	8,0

* Voir note du Tableau 12.2

Ainsi, en 2008, dans la région de Minsk, des dépassements de niveaux admissibles quant à la teneur en Cs-137 ont été enregistrés dans des baies sauvages (4,5% des échantillons), des champignons (11,3%), de la viande de gibier (17,6%) et dans des plantes médicinales (5,8%) (<http://gigiena.minsk-region.by/ru/docum>). En 2008, dans la région de Gomel (étude portant sur 2 576 échantillons d'aliments produits par des particuliers), on a constaté des dépassements du NCA par le Cs-137 dans 435 échantillons (16,9%). En outre, dans des échantillons de champignons frais et en conserve, l'activité massique du Cs-137 a atteint 35 820 Bq/kg (la norme est de 370 Bq/kg) ; dans des échantillons de champignons séchés, un maximum de 118 600 Bq/kg (la norme est de 2 500 Bq/kg) ; dans des échantillons de viande de gibier, un maximum de 8 279 Bq/kg (la norme est de 500 Bq/kg) ; dans des échantillons de baies sauvages et de conserves confectionnées à partir de celles-ci, un maximum de 659 Bq/kg (la norme est de 185 Bq/kg) (<http://gmlocge.by/ru/Rezultaty-radiatsionno-go-kontrolja-produktov-pitanija-i-vody-v-oktjabre-2008-g/?sSid=5417765a3c6d37e5fd4518d67f56c790>)

12.1.2. Ukraine

1. Même jusqu'à l'an 2000, les niveaux de Cs-137 sont restés supérieurs aux niveaux ad-

missibles : 80% dans les baies et les champignons dans la province de Rivne, 90% dans la province de Jitomir, 24% dans la forêt-steppe de Vinnitsa et dans les provinces de Tcherkessk et 15% dans la province de Volhynie [Orlov, 2001].

2. En 2000, selon les données du ministère de la santé de l'Ukraine, de 1,1 à 70,8% du lait et de la viande dans le secteur privé des provinces de Volhynie, Jitomir, Kiev, Rivne et Tchernigov avaient des niveaux de Cs-137 dépassant les limites admissibles [Omelyanets, 2001].

12.1.3. Autres pays et régions

Une quantité considérable de données existe dans d'autres pays sur la contamination de la nourriture liée à Tchernobyl.

1. FINLANDE. Le niveau de Cs-137 dans le lait, le bœuf et le porc en Finlande a énormément augmenté immédiatement après la catastrophe (Figure 12.1). À partir de 1995, quelque 7,7 tonnes de champignons (surtout *Lactarius* sp.) qui ont été cueillies annuellement contenaient 1 600 MBq de Cs-137, soit environ 300 Bq de Cs-137 par personne [Rantavaara et Markkula, 1999].

2. ZONE DE LA MER BALTIQUE. Une forte augmentation de la contamination par le Cs-137 est apparue dans les poissons de la Baltique (Figure 12.2) et il y a même eu une augmentation plus marquée dans les poissons

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

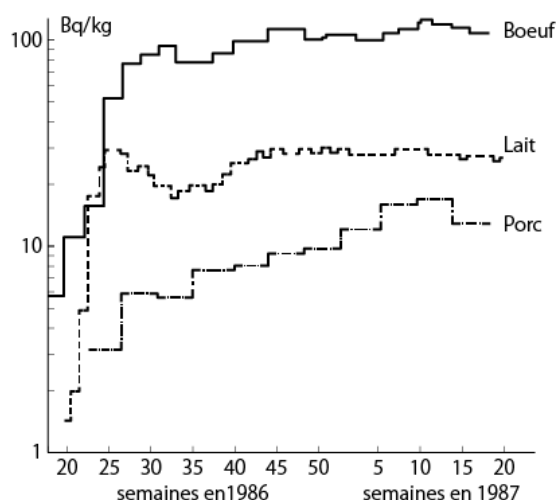


Figure 12.1. Concentration nationale moyenne de Cs-137 dans la viande et le lait en Finlande [UNSCEAR, 1988]

d'eau douce (Tableau 12.4). Toutes les espèces de gibier ont été fortement contaminées ; par exemple, les niveaux de Cs-137 et de Cs-134 atteignaient environ 6 700 Bq/kg chez le garrot et environ 10 500 Bq/kg chez les autres oiseaux aquatiques [Rantavaara *et al.* 1987].

3. CROATIE. Après la catastrophe, la concentration de Cs-137 dans le blé a augmenté de plus de 100 fois (Figure 12.3).

Tableau 12.4. Contamination des poissons par le Cs-137 en Finlande en 1986 [Saxen et Rantavaara, 1987]

Espèces	Concentration, Bq/kg *
Perche	16 000
Brochet	10 000
Corégone	7 100
Brème	4 500
Corégone blanc	2 000

* Dans l'Union Européenne, la limite de Cs-137 pour la consommation de poissons sauvages d'eau douce est de 3 000 Bq/kg.

4. FRANCE. En 1997, dans les Vosges, la contamination par le Cs-137 des sangliers et des champignons a dépassé jusqu'à 40 fois les normes [Chykin, 1997].

5. GRANDE BRETAGNE. Le pic de contamination du lait par Tchernobyl a été atteint en mai 1986 : jusqu'à 1 000 fois les valeurs moyennes rapportées en 1985 pour l'I-131 et le Cs-137 et jusqu'à quatre fois pour le Sr-90 [Jackson *et al.*, 1987]. Vingt-trois ans après la catastrophe, selon le ministère de la santé de la Grande-Bretagne, 369 fermes en Grande-Bretagne, ce qui représente plus de 190 000 moutons, ont continué à être dangereusement contaminées par le Cs-137 de Tchernobyl [Maccalister et Carter, 2009].

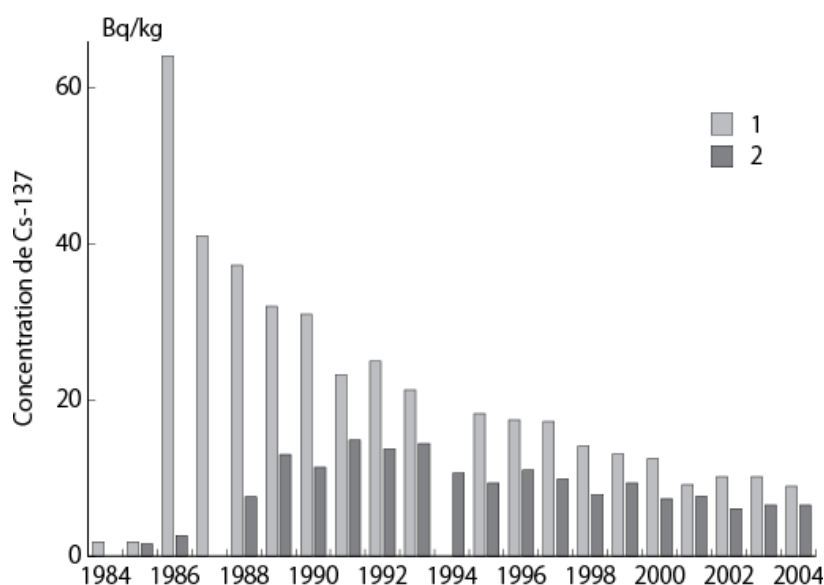


Figure 12.2. Concentrations de Cs-137 (Bq/kg) dans : (1) les harengs (*Clupea harengus*) du golfe de Botnie, (2) les limandes (*Platichthys flesus*) et les carrelets (*Pleuronectes platessa*) vers l'île de Bornholm et dans le sud de la mer Baltique de 1984 à 2004 (moyennes annuelles). Les concentrations avant Tchernobyl (1984-1985) étaient de 2,5 pour les harengs et 2,9 pour les limandes et les carrelets [Fiches d'information HELCOM. 2006]

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

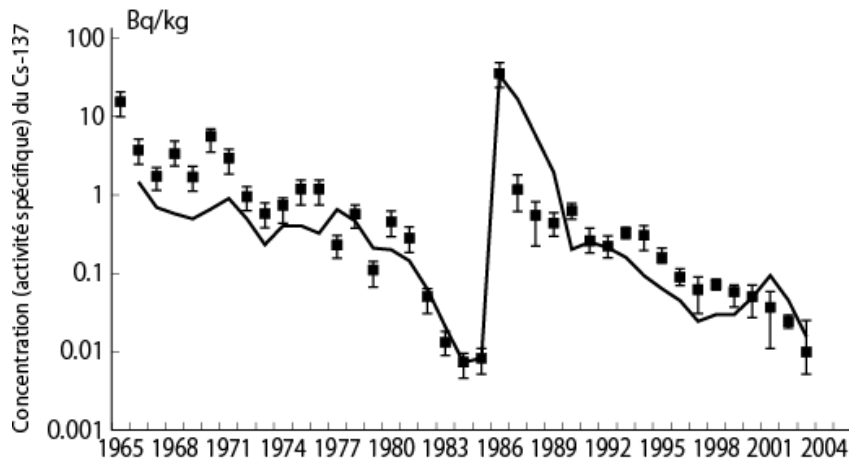


Figure 12.3. Concentration de Cs-137 dans le blé en Croatie de 1965 à 2003 [Franic et al., 2006]

6. ITALIE. D'après les mesures de rayonnement obtenues en juin 1988 de la Direction pour la sécurité nucléaire et la protection de la santé, la viande, les pâtes, le pain, le lait et le fromage étaient encore nettement contaminés par les radionucléides de Tchernobyl [WISE, 1988a].

7. MEXIQUE. En 1988, le Mexique a renvoyé 3 000 tonnes de lait en poudre à l'Irlande du Nord, en raison de la contamination radioactive liée à Tchernobyl [WISE, 1988b].

8. POLOGNE. En juin 1987, une cargaison de 1 600 tonnes de lait en poudre envoyée par la Pologne au Bangladesh présentait des niveaux élevés de radioactivité inacceptables [Mydans, 1987].

9. SUÈDE. La concentration moyenne de Cs-137 dans la viande d'élan (*Alces alces*) était de 9 à 14 fois plus élevée après Tchernobyl. Les niveaux étaient de 470 Bq/kg pour les veaux et 300 Bq/kg pour les animaux plus âgés, comparés au niveau moyen de 33 Bq/kg avant la catastrophe [Danell et al., 1989].

10. TURQUIE. Quelque 45 000 tonnes de thé étaient contaminées par la radioactivité de Tchernobyl en 1986-1987 et plus d'un tiers de la récolte de 1986 n'a pu être utilisé [WISE, 1988c].

11. ÉTATS-UNIS. La contamination des aliments due à Tchernobyl est particulièrement intéressante en raison de la répartition géographique de grande ampleur de la contamination et de la large gamme d'aliments contaminés. En dépit du secret officiel (voir la [Partie II, Chapitre 2](#) pour plus de détails), un tableau complet de la contamination des aliments par Tchernobyl aux États-Unis se dessine. Le pic

d'I-131 résultant de la catastrophe de Tchernobyl dans les aliments importés a été observé en mai-juin 1986 et, pour le Cs-134 et le Cs-137, environ 10 à 16 mois après la catastrophe [RADNET, 2008, Section 9, partie 4].

Entre le 5 mai 1986 et le 22 décembre 1988, la FDA a testé la contamination par l'I-131, le Cs-134 et le Cs-137 dans 1 749 échantillons d'aliments importés. Les résultats de l'enquête sont restés secrets et n'ont été obtenus qu'après une demande récente d'accès à l'information [RADNET, 2008]. Le premier aliment contaminé par la radioactivité de Tchernobyl, importé aux États-Unis, était le poisson de Norvège avec un niveau détectable de Cs-137. La contamination a été révélée le 5 mai 1986, c'est-à-dire 11 jours après la catastrophe. En mai-juin 1986, il a été constaté que 15 échantillons d'aliments importés (la plupart du temps des champignons et du fromage d'Italie, mais aussi du fromage provenant d'Allemagne de l'Ouest et du Danemark) dépassaient le niveau de 1 000 pCi/kg d'I-131. Du 1er février au 4 octobre 1987, environ 44% de ces échantillons avaient des niveaux de Cs-137 supérieurs à 100 pCi/kg et 5% dépassaient les 5 000 pCi/kg. Plus de 50% des échantillons du 5 février au 24 juin 1987 avaient des niveaux de Cs-137 supérieurs à 100 pCi/kg, et environ 7% des échantillons avaient plus de 5 000 pCi/kg.

Selon d'autres données [Cunningham et al., 1994], jusqu'à 24% des échantillons d'aliments importés en 1989 étaient sensiblement contaminés. 25% des échantillons étaient contaminés en 1990, 8% en 1991 et 2% en 1992. « En dépit de la baisse générale, des aliments con-

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

taminés ont encore été parfois trouvés au cours des années 1991 et 1992. En effet, la viande d'élan recueillie en 1991 contenait la contamination la plus élevée par le Cs-137 constatée depuis l'accident de Tchernobyl : 81 000 pCi/kg » [Cunningham *et al.* 1994, p 1426 ; cité par RADNET, 2008]. Selon la réglementation fédérale américaine, les aliments importés contenant plus de 10 000 pCi de Cs-134 + Cs-137 doivent être saisis et détruits [Directives de la FDA du 16 mai 1986, États-Unis ; cité par RADNET, 2008]. Les documents officiels obtenus à la demande de RADNET (Section 9) montrent que 12 saisies ont été effectuées entre 1986 et 1988.

Les produits alimentaires contaminés par la radioactivité de Tchernobyl importés aux États-Unis de 1986 à 1988 provenaient (par ordre du nombre de cas) : de Turquie, d'Italie, d'Autriche, d'Allemagne de l'Ouest, de Grèce, de Yougoslavie, de Hongrie, de Suède, de Danemark, d'Égypte, de France, des Pays-Bas, d'Espagne et de Suisse. Les denrées alimentaires contaminées étaient les suivantes, par ordre de fréquence : le jus de pommes, le fromage, les pâtes, l'origan, les jus de fruits de baies, les champignons, les noisettes, les avelines (*Corylus* sp.), la sauge (*Salvia* sp.), les figues, les feuilles de laurier, le thé, le thym, les lentilles rouges (*Lens* sp.), le genièvre, les graines de cumin (*Carum* sp.), les endives (*Cychorium* sp.), les abricots et même le chocolat suisse.

Le tableau 12.5 montre le niveau de contamination radioactive dans le lait produit localement aux États-Unis après la catastrophe. En dépit de toutes les mesures, selon le niveau officiel d'intervention pour les mesures de protection (DIL), il est un fait que les retombées de Tchernobyl ont déposé des radio-isotopes nocifs sur toute l'Amérique du Nord.

La concentration de Cs-134 + Cs-137 de Tchernobyl dans la viande d'élan a augmenté jusqu'à 3 000 Bq/kg [RADNET, 2008] ; la concentration de Ru-106 et de Cs-137 dans les crosses de fougères était respectivement de 261 et 328 pCi/kg ; dans les champignons la concentration de Cs-137 était de 3 750 pCi/kg [RADNET, 2008].

12. Quelques exemples de contamination radioactive des produits alimentaires dans d'autres pays sont énumérés dans le tableau 12.6. Bien que le Cs-137, le Sr-90, le Pu et l'Am se concentrent dans la rhizosphère des plantes, ils resteront actifs pendant des dizaines à des centaines d'années et les produits agri-

coles continueront de stocker de la radioactivité dans tous les pays de l'Hémisphère Nord contaminés par Tchernobyl.

Tableau 12.5. Concentration de radionucléides (pCi/l) de Tchernobyl dans le lait produit localement aux États-Unis en 1986 [plusieurs auteurs de RADNET, 2008]

Radio-nucléide	Concentration	Localisation	Date
I-131	560	Redland, CA	5 mai
	167	Vallée de Willamette	12 mai
	88	Vermont	Mai
	82	Région de New York	28 mai
	52,5	Maine	16 mai
	40	Région de New York	12 mai
Cs-137	20,3	Maine	Juin
	39,7	Chester, New Jersey	17 mai
	40,5	Ville de New York	Mai
	66	Seattle	4 juin
	80	État de New York	12 mai
	97	Vallée de Willamette	19 mai
Cs-134	9,7	Maine	Juin
Cs-134 + Cs-137	1 250 *		5 mai

* Aliments, pCi/kg.

12.2. Suivi des radionucléides incorporés

Pour une radioprotection efficace, en particulier pour les enfants, il est nécessaire de surveiller non seulement la nourriture, mais aussi de contrôler directement les radionucléides incorporés dans le corps. Une telle surveillance peut déterminer le niveau de contamination pour chaque lieu particulier dans un territoire contaminé et pour chaque groupe de personnes à niveaux élevés de radionucléides incorporés afin de permettre une application adéquate de la protection radiologique.

12.2.1. Belarus

Pour déterminer la corrélation entre la contamination radioactive des aliments et les radionucléides incorporés chez les enfants (les enfants sont les plus exposés aux risques induits par les rayonnements), l'Institut BELRAD a choisi les territoires les plus intensément contaminés du point de vue de la valeur

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

Tableau 12.6. Contamination radioactive de la nourriture par les retombées de Tchernobyl dans plusieurs pays en 1986–1987

Radio-nucléide	Aliments	Concentration maximale	Pays	Références
Cs-137 *	Viande de renne	44 800 Bq/kg	Suède	Ahman et Ahman, 1994
	Champignons	> 20 000 Bq/kg	Allemagne	UNSCEAR, 1988
	Lait de brebis	18 000 Bq/litre	Grèce	Assikmakopoulos <i>et al.</i> , 1987
	Champignons	16 000 Bq/kg **	Japon	Yoshida <i>et al.</i> , 1994
	Renne	> 10 000 Bq/kg	Suède	UNSCEAR, 1988
	Pommes de terre	1,100 ± 0,650 Bq/kg	Croatie	Franic <i>et al.</i> , 2006
	Agneau	1 087 Bq/kg	Suède	Rosen <i>et al.</i> , 1995
	Porc	45 Bq/kg (moyenne)	Ex-Tchécoslovaquie	Kliment and Bucina, 1990
	Lait	500 Bq/litre	Royaume-Uni	Clark, 1986
	Viande	395 Bq/kg	Italie	Capra <i>et al.</i> , 1989
	Lait	254 Bq/dm ³	Italie	Capra <i>et al.</i> , 1989
	Perche	3 585 Bq/kg (moyenne 1986)	Suède	Hakanson <i>et al.</i> , 1989
	Perche	6 042 Bq/kg *** (moyenne 1988)	Suède	Hakanson <i>et al.</i> , 1989
	Lait	400 Bq/litre	Bulgarie	Energy, 2008
	Lait maternel	110 Bq/litre (moyenne)	Ex-Tchécoslovaquie	Kliment et Bucina, 1990
Cs-134	Lait maternel	55 Bq/l (moyenne)	Ex-Tchécoslovaquie	Kliment et Bucina, 1990
I-131	Lait	135 000 Bq/litre	Italie	Orlando <i>et al.</i> , 1986
	Lait de ferme	2 900 Bq/litre	Suède	Reizenstein, 1987
	Yaourt	6 000 Bq/kg	Grèce	Assikmakopoulos <i>et al.</i> , 1987
	Algues marines comestibles	1 300 Bq/kg	Japon	Hisamatsu <i>et al.</i> , 1987
	Lait	500 Bq/litre	Royaume-Uni	Clark, 1986
	Lait	21,8 Bq/litre	Japon	Nishizawa <i>et al.</i> , 1986
	Lait	20,7 Bq/litre	États-Unis	RADNET, 2008
Total	Viande de renne	15 000 Bq/kg	Suède	Fox, 1988
	Mouton	10 000 Bq/kg	Ex-Yougoslavie	Energy, 2008
	Lait	3 000 Bq/litre	Ex-Yougoslavie	Energy, 2008
	Fruits	>1 000 Bq/kg	Italie	Energy, 2008

* Limites de consommation du Cs-137 dans l'Union Européenne : 600 Bq/kg pour les aliments, 370 Bq/kg pour le lait et les aliments pour bébés, 3 000 Bq/kg pour la viande de renne et le gibier.

** Année 1990.

*** Année 1988.

de la dose réelle de rayonnement en milieu d'année et du niveau de contamination des aliments locaux.

Les résultats accumulés au cours des années 2001 à 2007 par l'Institut BELRAD dans le cadre de mesures d'incorporation du Cs-137 dans l'organisme d'enfants à l'aide de spectromètres pour rayonnement humain sont présentés dans les bulletins « Suivi radiométrique

des habitants et de leurs aliments » [Nesterenko, 2008].

1. Vers 2011, ces « bulletins » contenaient les résultats de 400 000 mesures sur des enfants de 265 localités de 19 districts : Braquigne, Bouda-Kocheliov, Vetka, Dobrouch, Yelsk, Jitkovitchi, Kalinkovitchi, Korma, Krasnopolie, Leltchitsy, Loïev, Louninets, Narovlia, Retchitsa, Rogatchev, Svetlogorsk,

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

Khoïniki, Tchetchersk, Stoline, des régions de Brest, Gomel et Moguilev.

2. L'analyse des résultats des mesures réalisées dans chaque localité contient, outre une série de facteurs sociodémographiques généraux, les dates de toutes les mesures de Cs-137 incorporé, l'activité massique moyenne et maximale de ce dernier chez tous les enfants et dans leur groupe critique (30 individus pour les écoles urbaines et 15 individus pour les écoles rurales avec des niveaux maximaux constatés d'activité massique du Cs-137), la médiane du groupe général et du groupe critique, un graphique de répartition de l'accumulation par intervalles d'observations.

3. Dans de nombreuses localités, des mesures ont été faites régulièrement pendant plusieurs années, ce qui a permis d'observer la dynamique de la concentration du Cs-137 incorporé, de mettre en lumière un lien entre l'accumulation et la saison, des différences entre les tranches d'âge et les sexes.

4. Voici une liste de facteurs qui, parmi d'autres, déterminent le niveau d'accumulation du Cs-137 dans l'organisme des enfants qui habitent au Belarus dans les territoires contaminés par les radionucléides rejetés par la centrale de Tchernobyl :

- niveau de contamination des écosystèmes par le Cs-137 ;
- particularités individuelles de l'organisme ;
- habitat urbain ou rural (les citadins consomment surtout des aliments issus de l'agro-industrie ; les villageois se tournent principalement vers les ressources locales) ;
- caractère de la famille (davantage de radionucléides s'accumulent dans l'organisme des enfants des familles nombreuses, défavorisées, monoparentales) ;
- présence, à proximité d'une localité, de massifs forestiers, de prairies inondables, etc. ;
- particularités de la tenue de la maison et de la préparation des repas (maîtrise des pratiques de traitement des produits pour réduire leur concentration de radionucléides) ;
- quantité d'engrais utilisés en agriculture (par exemple, en cas d'insuffisance d'engrais potassiques, le Cs-137 se re-

trouve plus facilement dans les chaînes alimentaires) ;

- abondance des récoltes de produits forestiers (en 2001, 2004 et 2008, qui furent des « années à champignons », les niveaux d'accumulation du Cs-137 furent nettement supérieurs) ;
- mise en œuvre de mesures administratives limitant la cueillette des champignons et des baies dans les forêts à haut niveau de contamination ;
- saison (l'accumulation connaît un pic en octobre-novembre du fait des champignons et des baies ; parfois, en mai, on relève une augmentation de l'accumulation, car les animaux laitiers sont conduits dans des pâturages contaminés) ;
- présence de chasseurs dans la famille (dans la viande de gibier, les normes admissibles sont généralement dépassées des centaines de fois) ;
- sensibilisation de la population ;
- emploi de radioprotecteurs et de décorporants (cf. [Chapitres 13 et 14](#)) ;
- désir des parents d'élever des enfants sains.

D'après la dynamique de l'accumulation du Cs-137 dans l'organisme des enfants, on peut (sous certaines conditions) distinguer trois groupes de populations :

- dans 65% des localités suivies, on a observé une diminution régulière des niveaux d'accumulation des radionucléides (par exemple, dans la campagne de Polésie, en 2001, la valeur moyenne de l'activité massique du Cs-137 dans l'organisme des enfants des groupes critique et restant était de 346 Bq/kg et 103 Bq/kg ; en 2010, elle était respectivement de 34 et 26 Bq/kg ;
- dans 35% des localités suivies, les niveaux d'accumulation du Cs-137 restent inchangés ou changent très peu (pas plus de 10% de variation) ;
- dans 5% des localités suivies, les niveaux d'accumulation du Cs-137 montent.

5. Parmi les principales causes de la nette baisse des niveaux d'accumulation de Cs-137 dans l'organisme ces 10 dernières années : le fait que les enfants ont bénéficié d'une alimen-

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

tation gratuite et exempte de radionucléides dans les écoles et l'organisation de leur repos annuel dans des centres de santé (tant au Belarus qu'à l'étranger).

6. Une hausse des niveaux d'accumulation du Cs-137 dans l'organisme d'enfants a été liée à une plus grande consommation d'aliments radiocontaminés (par exemple du fait d'abondantes cueillettes de champignons), ainsi qu'à un comportement insuffisamment responsable des parents et de l'administration des écoles en ce qui concerne les mesures de protection.

7. Une analyse des résultats du suivi radiométrique d'enfants par l'Institut BELRAD a montré que, ces dernières années, les principaux produits entraînant une dose d'irradiation interne des enfants par le Cs-137 sont les produits de la forêt (viande de gibier, baies et champignons) et, dans une moindre mesure, le lait.

8. Les mesures réalisées par l'Institut BELRAD sur 400 000 enfants pendant les années

1995 à 2010 font ressortir que chez 70 à 90% des enfants des régions fortement contaminées du Belarus, les niveaux d'accumulation de Cs-137 incorporé dépassent 15 à 20 Bq/kg (ce qui correspond à une dose d'exposition annuelle de 0,1 mSv/an). Dans de nombreuses localités, les niveaux d'accumulation du Cs-137 chez les enfants atteignent 200 à 400 Bq/kg, voire plus de 2000 Bq/kg chez certains enfants des régions de Gomel et de Brest.

9. Des niveaux élevés d'accumulation de Cs-137 ont été trouvés chez un nombre important d'enfants dans le district de Leltchitsy (Figure 12.5), le district de Yelsk (Figure 12.6) et le district de Tchetchersk (Figure 12.7) de la province de Gomel. Les niveaux maximaux d'accumulation de Cs-137 incorporé ont été constatés chez une partie notable des enfants du district de Narovlia (6 700 à 7 300 Bq/kg) (Figure 12.4). Dans une série de localités de ce district, le nombre d'enfants recevant une dose dépassant 1 mSv/an atteint 10 à 33% (Tableau 12.7).

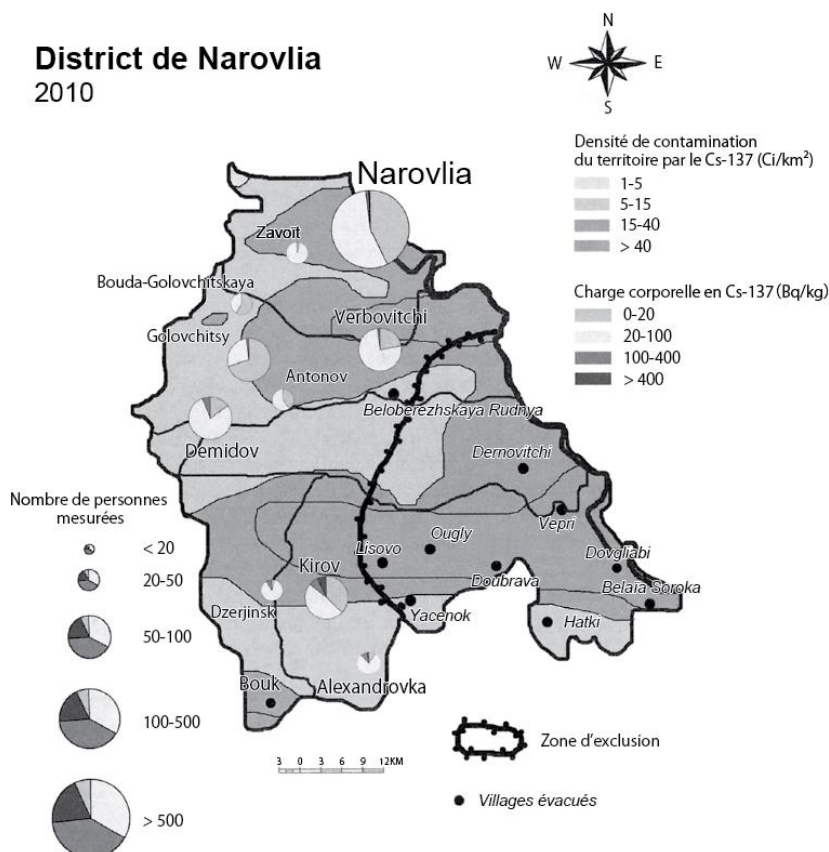


Figure 12.4. Niveau de Cs-137 incorporé chez des enfants de localités du district de Narovlia, dans la région de Gomel, en 2010 [données de l'Institut BELRAD]

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

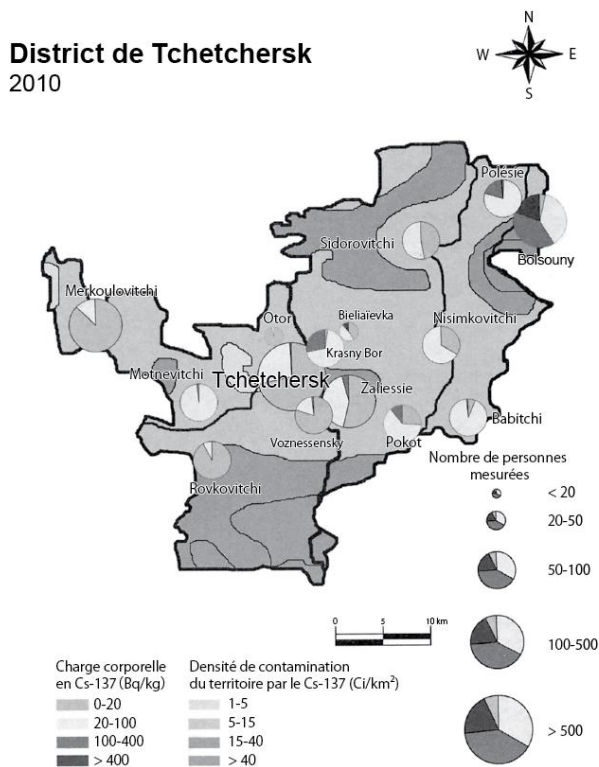


Figure 12.5. Niveau de Cs-137 incorporé chez des enfants de localités du district de Tchetchersk, dans la région de Gomel, en 2010 [données de l'Institut BELRAD]

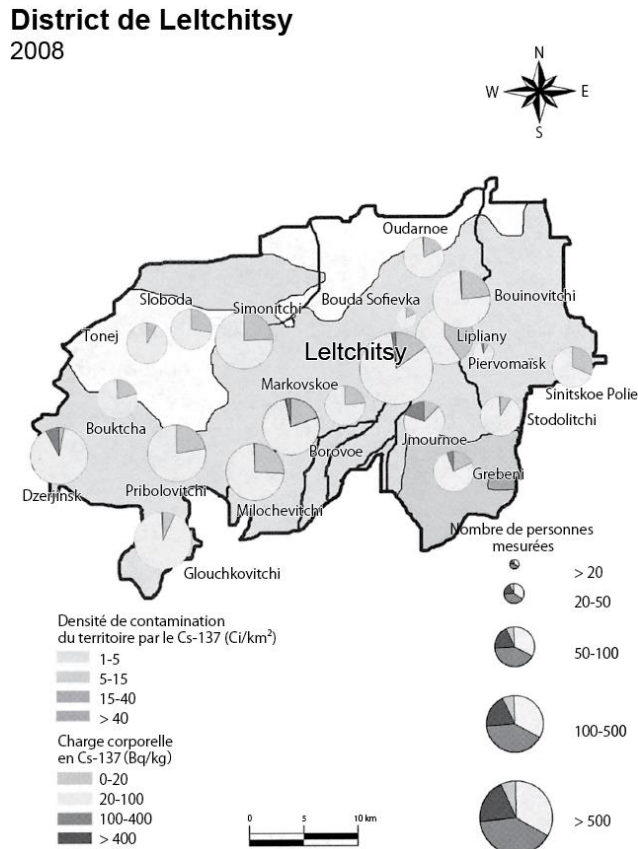


Figure 12.6. Niveau de Cs-137 incorporé chez des enfants de localités du district de Leltchitsy, dans la région de Gomel, en 2008 [données de l'Institut BELRAD]

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

District de Yelsk 2007

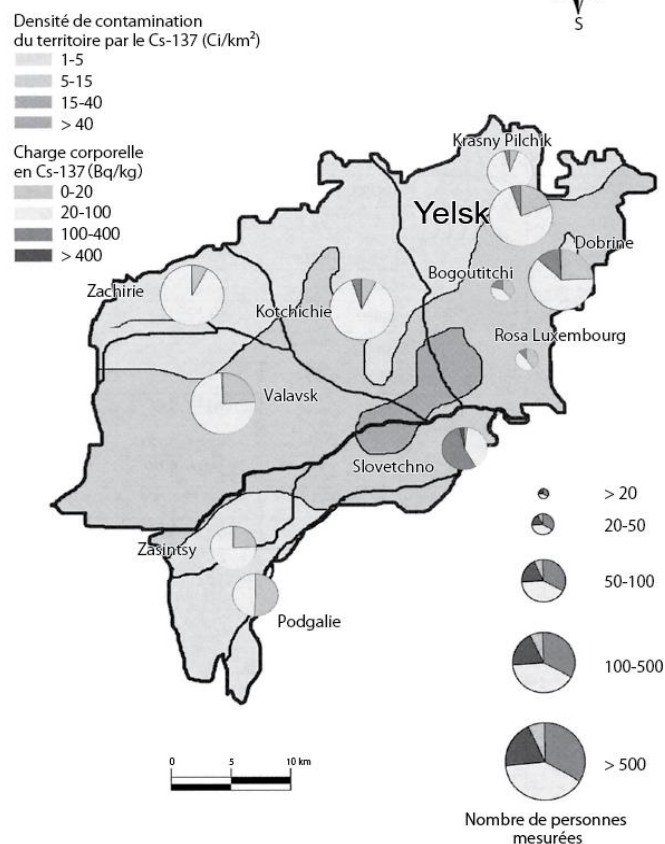


Figure 12.7. Niveau de Cs-137 incorporé chez des enfants de localités du district de Yelsk, dans la région de Gomel, en 2007 [données de l'Institut BELRAD]

Tableau 12.7. Charge corporelle de Cs-137 chez les enfants des districts de Narovlia, Braguine et Tchetchersk mesurée par des radiamètres individuels de 1999 à 2003 [données de BELRAD]

Date	Localisation	Mesurée par CIR * chez les enfants, n (% de la population totale)	% d'enfants ayant une dose d'exposition ≥ 1 mSv/an
Juin 1999	Grouchevka	35 (18,6)	26
Novembre 2001		44 (23,4)	11
Avril 2002		64 (34)	11
Novembre 2001	Verbovitchi	60 (20)	33
Janvier 2002		65 (21,5)	9
Avril 2002		64 (21)	5
Novembre 2002		41 (13,5)	20
Décembre 2002		35 (11,6)	13
Novembre 2003		51 (16,8)	20
Novembre 2001	Golovchitsy	139 (33)	8
Janvier 2002		56 (13,3)	4
Novembre 2002		103 (24,5)	2
Octobre 2003		130 (30,9)	2

Suite page suivante

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

Tableau 12.7. Suite

Date	Localisation	Mesurée par CIR * chez les enfants, n (% de la population totale)	% d'enfants ayant une dose d'exposition ≥ 1 mSv/an
Janvier 1999	Demidov	109 (38,5)	10
Novembre 2001		110 (38,8)	12
Décembre 2001		91 (32,3)	9
Avril 2002		94 (33,2)	9
Novembre 2002		75 (26,5)	12
Janvier 2003		65 (23)	5
Janvier 2000	Zavoit	51 (12,8)	4
Novembre 2001		52 (13)	19
Janvier 2002		49 (12,3)	2
Octobre 2003		50 (12,5)	6
Janvier 1999	Kirov	94 (22,2)	16
Mars 1999		98 (23,1)	21
Novembre 2001		92 (21,7)	22
Janvier 2002		84 (19,8)	13
Mars 2002		91 (21,5)	22
Avril 2002		75 (17,7)	12
Mai 2002		90 (21,2)	12
Juin 2003		43 (10,1)	7
Juin 1999	Krasnovka	21 (11)	14
Novembre 2001	Narovlia	34	5
Janvier 2002		221	14
Février 2002		170	8
Novembre 2002		56	7
Novembre 2003		140	6
Décembre 2003		35	6
Février 1999	Doubline	98 (28,3)	4
Février 1999	Belayevka	98 (23,8)	11
Mars 1999		96 (23,3)	
Octobre 2001		81 (19,7)	
Janvier 1999	Polésie	132 (25,3)	14
Octobre 1999		185 (35,4)	3
Octobre 2001		95 (18,2)	25
Novembre 2001		95 (18,2)	25
Janvier 2002		148 (28,4)	11
Avril 2002		144 (27,6)	3
Janvier 2003		148 (28,4)	5
Septembre 2003		141 (27)	9
Novembre 2003		140 (26,8)	10
Décembre 2001	Sidorovitchi	84 (30,3)	
Janvier 2002		105 (37,9)	

* compteur individuel de radioactivité/spectromètre.

10. Des mesures ont été prises dans le village de Valavsk du district de Yelsk de la province de Gomel, où vivaient 800 habitants,

dont 159 enfants. Le village est situé dans une zone contaminée par le Cs-137 à 8,3 Ci/km² (307 kBq/m²). Selon les données de 2004, la

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

dose réelle totale annuelle était de 2,39 mSv/an et la dose d'irradiation interne était de 1,3 mSv/an.

11. Il y avait une corrélation entre les niveaux de la contamination alimentaire locale (Figure 12.8) et la quantité de radionucléides incorporés dans les organes des enfants (Figure 12.9).

Le profil des courbes dans les figures 12.8 et 12.9 reflète la variation saisonnière (en cours d'année) de la consommation d'aliments contaminés et donc l'accumulation de Cs-137 dans le corps d'un enfant. En règle générale, le niveau de contamination a augmenté en automne et en hiver (troisième et quatrième trimestres) en raison de l'augmentation de la consumma-

tion d'aliments fortement contaminés (champignons, baies, viande d'animaux sauvages). La contamination du lait reflète les niveaux élevés de Cs-137 dans le fourrage préparé pour l'hiver.

12. Sur environ 300 000 enfants de territoires très contaminés du Belarus, contrôlés par BELRAD de 1995 à 2007, quelque 70 à 90% avaient des niveaux d'accumulation de Cs-137 de plus de 15 à 20 Bq/kg (conduisant à 0,1 mSv/an en irradiation interne). Dans de nombreux villages, les niveaux d'accumulation de Cs-137 atteignaient 200 à 400 Bq/kg, et certains enfants de Gomel et des provinces de Brest avaient des niveaux allant jusqu'à 2 000 Bq/kg (jusqu'à 100 mSv/an) (Tableau 12.7).

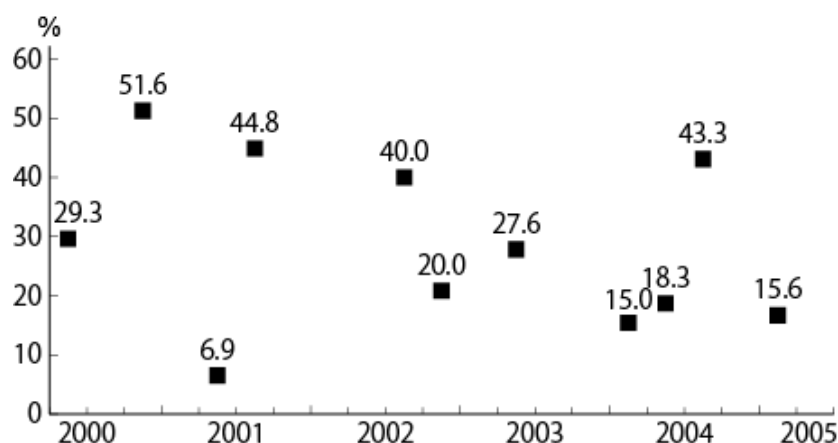


Figure 12.8. Pourcentage d'aliments excédant les niveaux admissibles de Cs-137 pour les années 2000 à 2005, village de Valavsk, Province de Gomel au Belarus [données de BELRAD]. L'axe horizontal montre l'année divisée en trimestres ; l'axe vertical indique le pourcentage d'aliments dans lesquels les niveaux dépassent la norme.

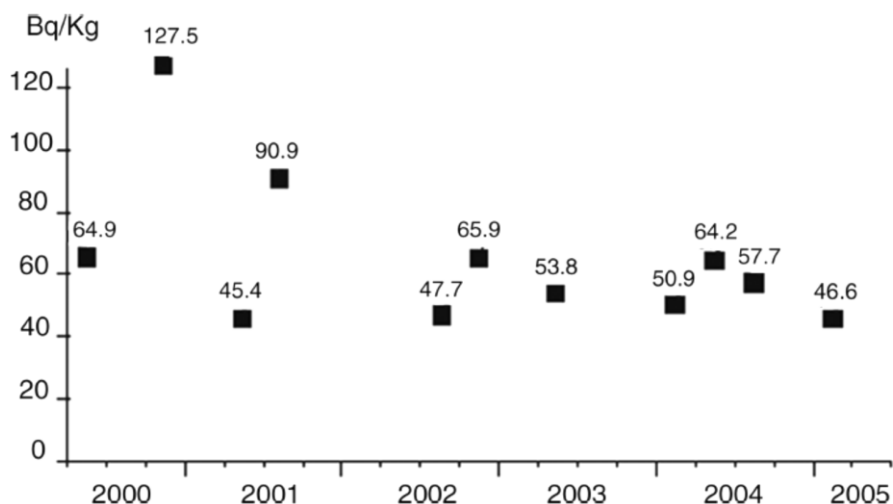


Figure 12.9. Activité spécifique moyenne du Cs-137 (Bq/kg) chez les enfants du village de Valavsk, Province de Gomel au Belarus de 2000 à 2005 [données de BELRAD]

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

13. Le Belarus et l'Ukraine, avec des niveaux d'incorporation de 50 Bq/kg, ce qui est courant dans les territoires contaminés par le Cs-137 à un niveau de 555 kBq/m², montrent une augmentation de diverses maladies et des taux de mortalité ainsi qu'une diminution du nombre d'enfants sains [Résolution, 2006] (voir aussi la [Partie II](#)).

14. Le niveau d'incorporation des radionucléides varie nettement selon les différents organes (Tableau 12.8).

Tableau 12.8. Concentration (Bq/kg) de Cs-137 dans des organes autopsiés (sur 52 enfants d'un âge maximal de 10 ans) dans la province de Gomel en 1997 [Bandajevsky, 2003]

Organe	Concentration
Thyroïde	2 054 ± 288
Glandes surrénales	1 576 ± 290
Pancréas	1 359 ± 350
Thymus	930 ± 278
Muscle squelettique	902 ± 234
Rate	608 ± 109
Cœur	478 ± 106
Foie	347 ± 61

15. La concentration moyenne de Sr-90 dans les organes des habitants de la province de Gomel a beaucoup augmenté de 1991 à 2000 [Borysevich et Poplyko, 2002].

16. Quatre à cinq ans après l'accident de Tchernobyl, la contamination corporelle par le Pu chez les habitants de Gomel est en moyenne trois à quatre fois plus élevée que le niveau global [Hohryakov *et al.*, 1994].

12.2.2. Ukraine et Russie

1. Chez les enfants et les adolescents vivant en permanence dans les territoires les plus radiocontaminés de la région de Jitomir (le suivi a porté sur 14 500 jeunes de 5 à 16 ans), 10 à 14 ans après la catastrophe, environ 69,8 à 72,0% avaient un niveau de Cs-137 incorporé atteignant 50 Bq/kg, 28,0% à 30,2% avaient plus de 50 Bq/kg (les valeurs les plus élevées ont été enregistrées en zone rurale) [Sorokoman, 1999].

2. Durant les années 1991 à 1996, on a déterminé l'activité du Cs-137 incorporé dans l'organisme de 3 737 enfants et adolescents (6 à 15 ans) habitant en permanence dans des districts très fortement radiocontaminés du

nord de la région de Jitomir. On a constaté un niveau très élevé de Cs-137 incorporé chez des enfants des districts de Naroditchi, Olevsk, Korosten et Ovrouth (ce qui correspond au niveau de contamination du sol et des aliments) [Doubey, 2001].

3. Au cours de l'année, c'est en juin que l'on enregistre les plus hauts niveaux d'incorporation de Cs-137. Le niveau moyen du Cs-137 incorporé a baissé en 1992 et augmenté en 1993 et 1994. Le niveau absolu et relatif (en Bq/kg) de la concentration du césium-137 augmente avec l'âge [Doubey, 2001].

4. D'après les données de dosimétrie individuelle de masse dans la région de Kalouga, un pourcentage élevé d'enfants présentant un dépassement de la concentration massique de Cs-137 dans l'organisme est apparu durant les années 1992 à 2001. En 1996, chez 40,9% des enfants, la concentration massique du césium radioactif atteignait 0,4 nCi/kg et, chez 59,1%, 0,4 nCi/kg de poids [Tsyb *et al.*, 2006b].

5. Dans le district de Zlynka de la région de Briansk, l'organisme de 6% des habitants contient plus de 25 000 Bq de Cs-137 [Komogortseva, 2006].

12.2.3. Autres pays

1. DANEMARK. La contamination par le Sr-90 et le Cs-137 se produit chez l'homme, le Sr, le Ca et le Cs s'accumulant dans les mêmes tissus que le K. La teneur moyenne en Sr-90 des vertèbres chez l'adulte, mesurée en 1992, était de 18 Bq/(kg Ca). Des mesures de Cs-137 dans le corps entier ont été reprises après la catastrophe de Tchernobyl. Le niveau moyen de Cs-137 mesuré en 1990 était de 359 Bq/(kg K) [Aarkrog *et al.*, 1995].

2. FINLANDE. À la fin de 1986, la charge corporelle moyenne de Cs-134 était de 730 Bq. La charge corporelle moyenne de Cs-137 est passée de 150 à 1 500 Bq en décembre 1986. Les niveaux maximaux des charges corporelles de Cs-134 et Cs-137 étaient respectivement de 6 300 et 13 000 Bq [Rahola *et al.*, 1987].

3. JAPON. Avant l'accident de Tchernobyl les charges corporelles de Cs-137 étaient d'environ 30 Bq, augmentant dans l'année suivant 1986 à plus de 50 Bq avec des valeurs qui augmentent encore en mai 1987. On peut les comparer avec les charges corporelles en Angleterre : 250 à 450 Bq [Uchiyama et Kobayashi, 1988]. Les concentrations maxi-

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

males d'I-131 dans l'urine ont augmenté jusqu'à 3,3 Bq/ml chez les hommes adultes [Kawamura *et al.*, 1988].

4. ITALIE. L'incorporation moyenne d'I-131 par la thyroïde pour 51 adultes était de 6,5 Bq/g du 3 mai au 16 juin 1986 [Orlando *et al.*, 1986]. Un pic d'excrétion urinaire de Cs-137 a eu lieu de 300 à 425 jours après le passage, le 5 mai 1986, du plus gros nuage de retombées : pic de 15 à 20 Bq/jour [Capra *et al.*, 1989].

5. ALLEMAGNE ET FRANCE. Il existe des données concernant la contamination humaine par les radionucléides de Tchernobyl en dehors de l'ex-URSS. La figure 12.10 montre les niveaux de charge corporelle de Cs-137 en Allemagne et en France.

6. GRANDE-BRETAGNE. En 1986, après la catastrophe, les niveaux de charge corporelle moyenne de Cs-134 + Cs-137 pour les adultes en Écosse étaient les suivants : 172 Bq pour le Cs-134, 363 Bq pour le Cs-137 et 4 430 Bq pour le K-40. Les pics de concentration étaient de 285 Bq pour le Cs-134 et 663 Bq pour le Cs-137 [Watson, 1986]. La charge corporelle de Cs-137 en Angleterre en 1987 était de 250 à 450 Bq [Uchiyama et Kobayashi, 1988]. La charge thyroïdienne en I-131 mesurée au niveau du cou a atteint jusqu'à 33 Bq chez les adultes et jusqu'à 16 Bq chez les enfants en Grande-Bretagne [Hill *et al.*, 1986].

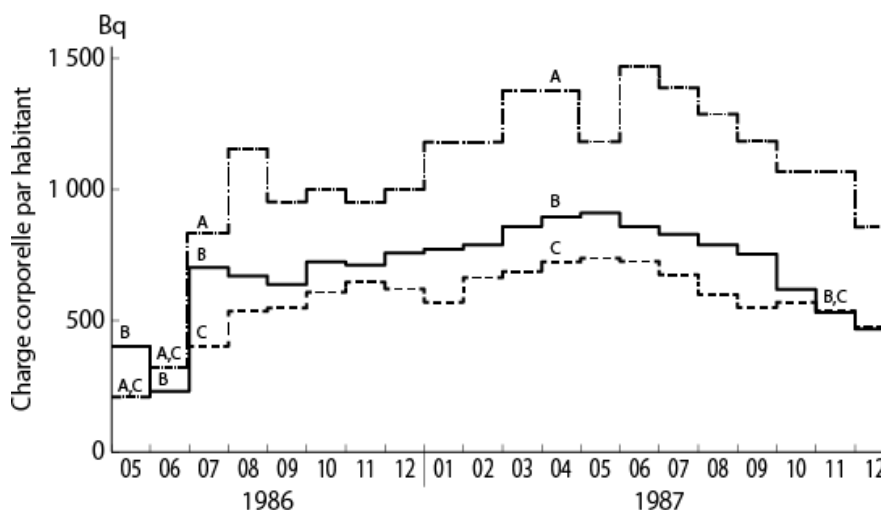


Figure 12.10. Charge corporelle de Cs-137 (Bq) des habitants de Munich en Allemagne : (A) hommes, (B) femmes ; et à Grenoble en France (C) adultes [UNSCEAR, 1988]

12.3. Conclusion

Toutes les personnes vivant dans les territoires fortement contaminés par les retombées de Tchernobyl continuent à être exposées à de faibles doses de rayonnement chronique. Les êtres humains n'ont pas d'organes des sens pour détecter les rayonnements ionisants, car ils ne peuvent pas être perçus par la vue, l'odorat, le goût, l'ouïe, le toucher. Par conséquent, sans équipement spécial pour identifier les niveaux de contamination de l'environnement, il est impossible de savoir quels sont les niveaux de concentration de radionucléides dans notre nourriture et notre eau ni quels radionucléides ont été incorporés dans notre organisme.

La façon la plus simple d'assurer la sécurité radiologique dans toutes les zones contaminées par Tchernobyl est de surveiller les radionucléides incorporés dans les aliments. L'analyse des niveaux de radionucléides gamma incorporés, par spectrométrie personnelle (CIR) et par surveillance radioactive des aliments locaux dans de nombreux endroits au Belarus, a démontré une forte corrélation entre la contamination des aliments par le Cs-137 et la quantité de radionucléides chez les humains et, surtout, chez les enfants.

La Partie II de ce livre a détaillé beaucoup de cas de détérioration en matière de santé publique associée à la contamination par les radionucléides de Tchernobyl. Beaucoup de personnes souffrent de la contamination chro-

nique à faible dose 25 ans après la catastrophe, en raison principalement de la consommation d'aliments contaminés par la radioactivité. Un élément important est le fait que, pour une alimentation identique, l'exposition d'un enfant aux rayonnements est de trois à cinq fois plus élevée que celle d'un adulte. Étant donné que plus de 90% de la charge de rayonnement sont aujourd'hui dus au Cs-137, qui a une demi-vie d'environ 30 ans, les zones contaminées continueront à être dangereusement radioactives pendant environ les trois siècles à venir.

Avec un niveau d'accumulation de Cs-137 de 50 Bq/kg dans l'organisme (ce qui n'est pas rare dans les districts à densité de contamination de 37 à 555 kBq/m²), les diverses maladies et la mortalité augmentent, le nombre d'enfants réellement en bonne santé diminue [Résolution, 2006].

L'expérience a montré que les systèmes officiels de surveillance de la radioactivité existants sont inadaptés (pas seulement dans les pays de l'ex-Union Soviétique). En règle générale, les systèmes couvrent des territoires sélectionnés, ne mesurent pas chaque personne et souvent dissimulent des faits importants lors de la diffusion des informations. Le facteur commun entre tous les gouvernements est de minimiser les dépenses pour ce dont ils ne sont pas directement responsables, telle la catastrophe de Tchernobyl, qui a eu lieu il y a 25 ans. Ainsi, les fonctionnaires ne sont pas pressés d'obtenir des données objectives sur la contamination radioactive des communautés, des individus ou de la nourriture. Dans de telles circonstances, qui sont courantes, un système indépendant de surveillance publique est nécessaire. Un tel système indépendant n'est pas un substitut à la responsabilité ou au contrôle officiels, mais il est nécessaire pour réaliser un suivi volontaire et régulier de la nourriture pour chaque famille, permettant de déterminer le niveau des radionucléides chez chaque personne.

Nous devons assumer la responsabilité non seulement pour notre propre santé, mais pour la santé des générations futures d'êtres humains, de plantes et d'animaux, qui peuvent être lésés par des mutations résultant de l'exposition ne serait-ce qu'à la plus petite quantité de contamination radioactive.

Bibliographie

- Aarkrog, A., Bøtter-Jensen, L., Chen, Q. J., Clausen, J. L., Dahlgaard, H., et al. (1995). *Environmental Radioactivity in Denmark in 1992 and 1993*, Risø-R-756 (Risø National Laboratory, Roskilde): 130 pp. (cited by RADNET, 2008).
- Ahman, B. & Ahman, G. (1994). Radiocesium in Swedish reindeer after the Chernobyl fallout: Seasonal variations and long-term decline. *Health Physics* **66**(5): 506–508.
- Assikmakopoulos, P. A., Ioannides, K. G. & Pakou, A. (1987). Transport of radioisotopes iodine-131, cesium-134, and cesium-137 into cheese and cheese-making products from the fallout following the accident at the Chernobyl nuclear reactor. *J. Dairy Sci.* **70**: 1338–1343.
- Bandazhevsky, Yu. I. (2003). Cs-137 incorporation in children's organs. *Swiss Med. Week.* **133**: 488–490.
- Borysevich, N. Y. & Poplyko, I. Y. (2002). *Scientific Solution of the Chernobyl Problems: Year 2001 Results* (Radiology Institute, Minsk): 44 pp. (en Russe).
- Capra, E., Drigo, A. & Menin, A. (1989). Cesium-137 urinary excretion by northeastern (Pordenone) Italian people following the Chernobyl nuclear accident. *Health Physics* **57**(1): 99–106.
- Chernobyl Forum (2005). Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE). Working Draft, August 2005 (IAEA, Vienna): 280 pp. (http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/Pub1239_web.pdf).
- Chykin, M. (1997). Chernobyl spots on the map of France. *Komsomol'skaya Pravda* (Moscow), March 25: p. 6 (en russe).
- Clark, M. J. (1986). Fallout from Chernobyl. *J. Soc. Radiol. Prot.* **6**(4): 157–166.
- Cunningham, W.C., Anderson, D.L. & Baratta, E.J. (1994). Radionuclides in Domestic and Imported Foods in the United States, 1987–92. *J. AOAC Int.* **77**(6): pp. 1422–1427.
- Danell, K., Nelin, P. & Wickman, G. (1989). Cesium-137 in Northern Swedish moose: The first year after the Chernobyl accident. *Ambio* **18**(2): 108–111.
- Energy (2008). Chernobyl echo in Europe (<http://www.members.tripod.com/~BRuslan/win/energe1.htm>) (en russe).
- Fox, B. (1988). Porous minerals soak up Chernobyl's fallout. *New Sci.* **2**: 36–38.
- Franic, Z., Marovic, G. & Lokobauer, N. (2006). Radiocesium activity concentration in wheat grain in the Republic of Croatia for the years 1965 to 2003 and dose assessment. *Env. Monit. Assess.* **115**: 51–67.
- Hakanson, L., Andersson, T. & Nilsson, A. (1989). Radioactive cesium in fish in Swedish lakes 1986–1988: General pattern related to fallout and lake characteristics. *J. Env. Radioact.* **15**(3): 207–230.
- HELCOM Indicator Fact Sheets (2006). (<http://www.helcom.fi/environment2/ifs/ifs2006/en>).
- Hill, C. R., Adam, I., Anderson, W., Ott, R. J. & Sowby, F. D. (1986). Iodine-131 in human thyroids in Britain following Chernobyl. *Nature* **321**: 655–656.

12. Contamination radioactive de l'alimentation et des personnes

- Hisamatsu, S., Takizawa, Y. & Abe, T. (1987). Reduction of I-131 content in leafy vegetables and seaweed by cooking. *J. Rad. Res.* **28**(1): 135–140 (cited by RADNET, 2008).
- Hohryakov, V. F., Syslova, C.G. & Skryabin, A.M. (1994). Plutonium and the risk of cancer: A comparative analysis of Pu-body burdens due to releases from nuclear plants (Chelyabinsk-65, Gomel area) and global fallout. *Sci. Total Env.* **142**(1–2): 101–104.
- Kawamura, H., Sakurai, Y., Shiraishi, K. & Yanagisawa, K. (1988). Concentrations of I-131 in the urine of Japanese adults and children following the Chernobyl nuclear accident. *J. Env. Radioact.* **6**: 185–189.
- Kliment, V. & Bucina, I. (1990). Contamination of food in Czechoslovakia by cesium radioisotopes from the Chernobyl accident. *J. Env. Radioact.* **12**(2): 167–178.
- Macalister, T. & Carter, H. (2009). Britain's farmers still restricted by Chernobyl nuclear fallout. *The Guardian*. 13 May.
- Mydans, S. (1987). Specter of Chernobyl looms over Bangladesh. *New York Times*, June 5 (cited by RADNET, 2008).
- Nesterenko, V. B. (2007). Radiation monitoring of inhabitants and their foodstuff in the Chernobyl zone of Belarus (Gomel region, Narovlya district). *BELRAD Newsletter* **30**: 180 pp. (en russe).
- Nesterenko, Vassili. B. (2008) (http://belrad-institute.org/RU/doku.php?id=%D0%BF%D1%83%D0%B1%D0%BB%D0%B8%D0%BA%D0%B0%D1%86%D0%B8%D0%B8:%D0%B1%D1%8E%D0%BB%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BD%D1%8C_31)
- Nishizawa, K., Takata, K., Hamada, N., Ogata, Y., Kojima S., et al. (1986). I-131 in milk and rain after Chernobyl. *Nature* **324**: 308–309.
- Omelyanets, N. I. (2001). Radioecological situation and state of health of the victims in Ukraine as a result of Chernobyl catastrophe on the threshold of the third decade. International Conference. *Health Consequences of the Chernobyl Catastrophe: Strategy of Recovery* (Abstracts, Kiev): pp. 15–16.
- Orlando, P., Gallelli, G., Perdelli, F., DeFlora, S. & Malcontenti, R. (1986). Alimentary restrictions and I-131 in human thyroids. *Nature* **324**: 23–24.
- Orlov, A. A. (2002). Accumulation of technogenic radionuclides by wild forest berry and medical plants. *Chernobyl-Digest* 6 (Minsk) (http://www.biobel.bas-net.by/igc/ChD/Contents6_r.htm) (en russe).
- RADNET (2008). Information about source points of anthropogenic radioactivity: A Freedom of Nuclear Information Resource (Davidson Museum, Liberty) (<http://www.davistownmuseum.org/cbm/Rad12.html>) (accessed March 4, 2008).
- Rahola, T., Suomela, M., Illukka, E., Puhakainen, M. & Pusa, S. (1987). Radioactivity of people in Finland after the Chernobyl accident in 1986. Report STUK-A64 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Rantavaara, A. & Markkula, M.-L. (1999). Dietary intake of Cs-137 from mushrooms: Data and an example of methodology. *Problems of Ecology in Forests and Forest Use in Ukrainian Poles'e* (Zhytomir/Volyn) **6**: 34–38.
- Rantavaara, A., Nygren, T., Nygren, K. & Hyvonen, T. (1987). Radioactivity of game meat in Finland after the Chernobyl accident in 1986. Report STUK-A62 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Reizenstein, P. (1987). Carcinogenicity of radiation doses caused by the Chernobyl fall-out in Sweden, and prevention of possible tumors. *Med. Oncol. Tumor Pharmacother.* **4**(1): 1–5.
- Resolution (2006). International Conference. *Medical Consequences of Chernobyl Catastrophe and Strategy to Surmount Them*. May 29–June 3, 2006, Kiev (<http://www.ukraine3000.org.ua/img/forall/r-Rezol.rtf>) (en russe).
- Rosen, K., Andersson, I. & Lonsjo, H. (1995). Transfer of radiocesium from soil to vegetation and to grazing lambs in a mountain area in northern Sweden. *J. Env. Radioact.* **26**: 237–257.
- Saxen, R. & Rantavaara, A. (1987). Radioactivity of fresh water fish in Finland after the Chernobyl accident in 1986. Report STUK-A61 (Finnish Center for Radiation and Nuclear Safety, Helsinki) (cited by RADNET, 2008).
- Uchiyama, M. & Kobayashi, S. (1988). Consequences of the Chernobyl reactor accident and the Cs-137 internal dose to the Japanese population. *J. Env. Radioact.* **8**: 119–127.
- UNSCEAR (1988). Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNScientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly (United Nations, New York): 126 pp.
- Watson, W. S. (1986). Human Cs-134/Cs-137 levels in Scotland after Chernobyl. *Nature* **323**: 763–764.
- WISE (1988a). Chernobyl. Italy. MA Nuova, Ecologia, Italy, Lega per l'Ambiente, April 22, cited by NuclearFiles.org (<http://www.nuclearfiles.org/menu/key-issues/nuclear-weapons/issues/accidents/accidents-1980%>).
- WISE (1988b). Chernobyl. Mexico. LaVoz del Interior, January 31, 1988, cited by NuclearFiles.org (<http://www.nuclearfiles.org/menu/key-issues/nuclearweapons/issues/accidents/accidents-1980%>).
- WISE (1988c). Chernobyl. Turkey, WISE-Berlin, April 1, cited by NuclearFiles.org (<http://www.nuclearfiles.org/menu/key-issues/nuclear-weapons/issues/accidents/accidents-1980%>).
- Yoshida, S., Muramatsu, Y. & Ogawa, M. (1994). Radiocesium concentrations in mushrooms collected in Japan. *J. Env. Radioact.* **22**(2): 141–154.

Chapitre 13. Décorporation des radionucléides de Tchernobyl

Vassili Nesterenko B. et Alexey V. Nesterenko

Des dizaines de milliers d'enfants de Tchernobyl (la plupart du temps du Belarus) partent chaque année dans d'autres pays pour recevoir un traitement et des soins de santé. Des médecins de nombreux pays travaillent gratuitement dans les territoires contaminés de Tchernobyl, aidant à limiter les conséquences de cette catastrophe technologique, la plus terrible de l'histoire. Mais l'ampleur et le spectre des conséquences sont si étendus qu'aucun pays au monde ne peut faire face seul aux conséquences à long terme d'une catastrophe telle que Tchernobyl. Les pays qui ont le plus souffert, en particulier l'Ukraine et le Belarus, expriment leur gratitude pour l'aide fournie par l'intermédiaire des Nations Unies et d'autres organismes internationaux, ainsi que par des fonds et des initiatives privés. Vingt-cinq ans après les rejets de Tchernobyl, dans les territoires fortement contaminés du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie européenne, la charge annuelle de dose individuelle dépasse la dose limite de 1 mSv/an en raison de la seule consommation inévitable de produits locaux contaminés. L'expérience acquise au fil des années par l'Institut BELRAD montre que, pour une radioprotection efficace des enfants, il est nécessaire de fixer le niveau d'intervention à 30% de la limite dangereuse officielle (c.-à-d. 15 à 20 Bq/kg). Les mesures directes par comptage corps entier de l'accumulation de Cs-137 dans les organes des habitants de la région biélorusse fortement contaminée montrent que le catalogue officiel de dose sous-estime de trois à huit fois les charges annuelles. En pratique, l'usage curatif d'additifs alimentaires – tels ceux à base de pectine de pomme – pourrait être particulièrement utile pour une décorporation efficace du Cs-137. De 1996 à 2007, un total de plus de 160 000 enfants biélorusses ont reçu des additifs alimentaires à base de pectine pendant 18 à 25 jours de traitement (5 g deux fois par jour). Le résultat est que les quantités de Cs-137 dans le corps des enfants ont diminué de 30 à 40% en moyenne après chaque cure d'additifs à base de pectine. La fabrication et l'utilisation de divers additifs alimentaires et de boissons à base de pectine de pomme (utilisant des groseilles, du raisin, des algues marines, etc...) est l'un des moyens les plus efficaces pour la radioprotection individuelle (par décorporation) dans des circonstances où la consommation d'aliments contaminés par la radioactivité est inévitable.

L'irradiation interne fait courir un grand danger aux personnes vivant dans les territoires radiocontaminés du Belarus, d'Ukraine et de Russie : 94% de tous les radionucléides pénètrent dans l'organisme via la nourriture, 5% avec l'eau et 1% par les voies respiratoires.

Il est possible de réduire de trois manières fondamentales les niveaux des radionucléides dans le corps des personnes vivant dans les territoires contaminés : réduire la quantité des radionucléides dans les aliments consommés, accélérer l'élimination des radionucléides de

l'organisme et stimuler l'immunité de l'organisme et d'autres systèmes de protection.

13.1. Réduire les radionucléides dans les aliments

Le trempage dans l'eau, l'ébullition, le salage, la conservation au vinaigre d'aliments tels que champignons et légumes et le traitement des graisses du lait et des fromages peuvent réduire de plusieurs fois la quantité de radionucléides dans certains aliments.

La stimulation des défenses naturelles de l'organisme par l'usage d'additifs alimentaires qui augmentent la résistance à l'irradiation est également utile. Parmi ces additifs, on compte les vitamines antioxydantes A et C et les oligo-éléments I, Cu, Zn, Se et Co, qui contrecarrent la formation de radicaux libres. Les additifs préviennent l'oxydation des substances organiques provoquée par l'irradiation (peroxydation des lipides). Divers compléments alimentaires peuvent stimuler l'immunité : les germes de plantes, tels que le blé, les algues marines (par exemple, la spiruline), les aiguilles de pin, le mycélium et d'autres.

L'accélération de l'élimination des radionucléides se fait de trois manières [Rudnev *et al.*, 1995 ; Trakhtenberg, 1995 ; Leggett *et al.*, 2003 ; et beaucoup d'autres) :

- augmenter les éléments stables dans les aliments pour faire obstacle à l'incorporation des radionucléides. Par exemple, le K et le Rb s'opposent à l'incorporation de Cs ; le Ca interfère avec le Sr et le Fe trivalent contrarie l'absorption de Pu ;
- utiliser divers additifs alimentaires qui peuvent immobiliser les radionucléides ;
- augmenter la consommation de liquides pour « lessiver » les radionucléides – infusions, jus de fruits, et autres liquides – ainsi que des aliments enrichis par des fibres alimentaires.

Les décorporants (décontaminants) sont des préparations qui favorisent l'élimination des radionucléides incorporés par l'excrétion dans les selles et l'urine. Plusieurs décorporants efficaces, spécifiques d'un traitement médical d'une contamination lourde par radionucléides, sont connus (les composés du Fe pour le Cs ; les alginates et les sulfates de baryum pour le Sr ; les résines échangeuses d'ions pour le Pu, etc.). Ils sont efficaces en cas de contamination soudaine. Dans les territoires fortement contaminés du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie européenne, la situation est différente. L'exposition quotidienne à de petites quantités de radionucléides (principalement au Cs-137) est pratiquement inévitable, car elles pénètrent dans le corps par l'alimentation (jusqu'à 94%) et la boisson (jusqu'à 5%) et par l'air (environ 1%). L'accumulation des radionucléides dans l'organisme est dangereuse, principalement

pour les enfants, et pour ceux qui vivent dans les territoires contaminés où les denrées alimentaires locales contiennent beaucoup de Cs-137 (cf. [Chapitre 12](#)). L'incorporation de radionucléides est actuellement la première cause de dégradation de la santé publique dans les territoires contaminés (cf. [Partie II](#) pour plus de détails) et toutes les pistes possibles devraient être utilisées pour atténuer les conséquences de l'irradiation.

Il existe des preuves que l'incorporation de 50 Bq/kg de Cs-137 dans le corps d'un enfant peut produire des modifications pathologiques dans les systèmes organiques vitaux (cardio-vasculaire, nerveux, endocrinien et immunitaire), ainsi que dans les reins, le foie, les yeux et d'autres organes [Bandajevskaya *et al.*, 2004]. Chez les adultes, on a relevé une insuffisance cardiaque chronique pour une concentration moyenne du Cs-137 de 136 ± 33 Bq/kg dans le myocarde [Bandajevskaya, 2003]. De tels niveaux d'incorporation de radio-isotopes ne sont pas inhabituels de nos jours dans les zones contaminées par Tchernobyl au Belarus, en Ukraine et en Russie européenne (cf. [Chapitre 12](#) pour plus de détails). C'est pourquoi il est nécessaire d'utiliser toutes les mesures possibles visant à réduire le niveau d'incorporation des radionucléides chez les personnes vivant dans ces territoires. Quand les enfants se nourrissent comme les adultes, ils ingèrent des charges corporelles jusqu'à cinq fois plus élevées, à partir des denrées alimentaires produites localement, en raison de leur poids plus faible et de processus plus actifs de leur métabolisme. Les enfants vivant en zone rurale ont une charge corporelle 5 à 6 fois plus élevée que les enfants du même âge vivant en ville.

13.2. Résultats de la décontamination par les entérosorbants à base de pectine

Il est connu que la pectine se lie chimiquement aux cations tels que le Cs dans le tractus gastro-intestinal et en augmente ainsi l'excrétion fécale. Le Centre ukrainien de recherche et de développement de la médecine des rayonnements [Porokhnyak-Ganovska, 1998] et l'Institut biélorusse de médecine des rayonnements et d'endocrinologie [Gres *et al.*, 1997] sont parvenus à la conclusion que l'ajout de préparations de pectine dans la nourriture des habitants des régions contaminées par Tcher-

13. Décorporation des radionucléides

nobyl favorise une excrétion efficace des radionucléides incorporés.

1. En 1981, sur la base de 2 ans d'essais cliniques, le Comité mixte de l'OMS et de la FAO sur les additifs alimentaires a déclaré les entérosorbants pectine efficaces et sans danger pour un usage quotidien [OMS, 1981].

2. En Ukraine et au Belarus, diverses préparations à base de pectine ont été étudiées comme agents favorisant l'excrétion des radionucléides incorporés [Gres', 1997 ; Ostapenko, 2002 ; Institut ukrainien, 1997]. Le produit à base de pectine extrait d'une plante aquatique (*Zostera*), commercialisé sous le nom Zosterin-Ultra®, est un agent de prophylaxie de masse utilisé dans l'industrie nucléaire russe. Comme il s'agit d'une pectine non assimilée, l'injection de zostérine dans le flux sanguin ne perturbe pas la nutrition, le métabolisme ni d'autres fonctions. La Zosterin-Ultra® prise par voie orale sous forme liquide a été agréée par le ministère ukrainien de la santé (1998) et le ministère russe de la santé (1999) comme additif alimentaire biologiquement actif (ou thérapeutique) à propriétés entérosorbantes et hémosorbantes.

3. En 1996, l'Institut BELRAD a lancé des traitements établis à partir d'additifs entérosorbants à base de pectine (Medetopect®, France ; Yablopect®, Ukraine) pour accélérer l'excrétion du Cs-137. En 1999, BELRAD en collaboration avec Hermes GmbH (Munich, Allemagne) a mis au point un composé d'additifs à base de pectine de pomme, appelé poudre Vitapect®, constitué de pectine (concentration de 18 à 20%) complétée par des vitamines B1, B2, B6, B12, C, E, du bêta-carotène, de l'acide folique, des oligo-éléments K, Zn, Fe et Ca et des substances aromatiques. BELRAD a produit cet additif alimentaire qui est agréé par le ministère de la santé du Belarus depuis 2000.

4. En juin-juillet 2001 dans le sanatorium Silver Springs (Svetlogorsk, province de Gomel), BELRAD et l'association « Enfants de Tchernobyl Belarus » (France) ont mené une étude contrôlée par placebo à double insu sur 615 enfants à contamination interne traités avec du Vitapect (5 g deux fois par jour) pendant une période de 3 semaines. Chez les enfants prenant le Vitapect (avec de la nourriture saine), les niveaux de Cs-137 ont diminué beaucoup plus fortement que dans le groupe témoin, qui avait une nourriture saine combinée à un placebo (Tableau 13.1 et Figure 13.1).

5. Dans un autre groupe d'enfants, la réduction relative de l'activité spécifique du Cs-137 dans le groupe prenant du Vitapect a été de $32,4 \pm 0,6\%$ et dans le groupe placebo elle a été de $14,2 \pm 0,5\%$ ($p < 0,001$), avec une moyenne de demi-vie active du Cs-137 dans le corps de 27 jours pour le groupe avec pectine et de 69 jours pour le groupe sans pectine. Cela correspondait à une réduction de la demi-vie active d'un facteur de 2,4. Ces résultats signifient que l'additif à base de pectine Vitapect associé à une nourriture saine semble être de 50% plus efficace pour réduire les niveaux de Cs-137 que la nourriture saine seule [Nesterenko *et al.*, 2004].

Tableau 13.1. Baisse de la concentration du Cs-137 après l'utilisation du Vitapect pendant 21 jours (sur un total de 615 enfants) en 2001 au sanatorium bélarusse « Silver Springs » [données de l'Institut BELRAD]

Groupe	Concentration du Cs-137, Bq/kg		
	Avant	Après 21 jours	Baisse, en %
Vitapect	$30,1 \pm 0,7$	$10,4 \pm 1,0$	63,6 *
Placebo	$30,0 \pm 0,9$	$25,8 \pm 0,8$	13,9

* $p < 0,01$.

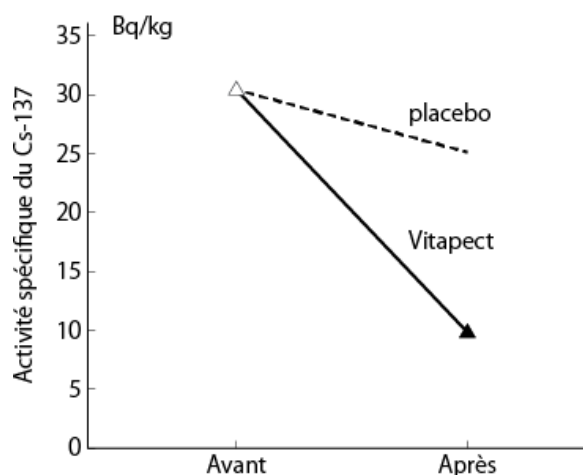


Figure 13.1. Baisse des niveaux de l'activité spécifique dans le corps d'enfants après des prises de Vitapect (5 g deux fois par jour) pendant 21 jours [Nesterenko *et al.*, 2004]

6. Une étude clinique de 94 enfants, âgés de 7 à 17 ans, divisés en deux groupes en fonction de leur niveau initial de contamination par le Cs-137, déterminée par comptage corps entier (CCE), et prenant du Vitapect par voie orale pendant 16 jours (5 g deux fois par jour) a

13. Décorporation des radionucléides

révélé à la fois une baisse nette du Cs-137 incorporé et une amélioration marquée de leurs électrocardiogrammes (ECG) (Tableau 13.2).

Tableau 13.2. Résultats de la normalisation des électrocardiogrammes (ECG) dans les deux groupes d'enfants contaminés par le Cs-137 et traités avec du Vitapect [Bandajevskaya et al., 2004]

Groupe	Avant		Après 16 jours	
	ECG normal, %	Bq/kg	ECG normal, %	Bq/kg
1	72	38 ± 2,4	87	23
2	79	122 ± 18,5	93	88

7. De 2001 à 2003, l'association « Enfants de Tchernobyl Belarus » (France), le Fonds Mitterrand (France), le Fonds pour les enfants de Tchernobyl (Belgique) et l'Institut BELRAD ont financé le traitement de 1 400 enfants (10 écoles desservant 13 villages) dans le district de Narovlia de la province de Gomel, par cycles durant lesquels les enfants recevaient cinq fois au cours d'une année la préparation Vitapect à base de pectine. Les résultats ont démontré une diminution annuelle de la contamination radioactive de trois à cinq fois chez les enfants qui ont pris du Vitapect. Les résultats pour un village peuvent être constatés sur la figure 13.2.

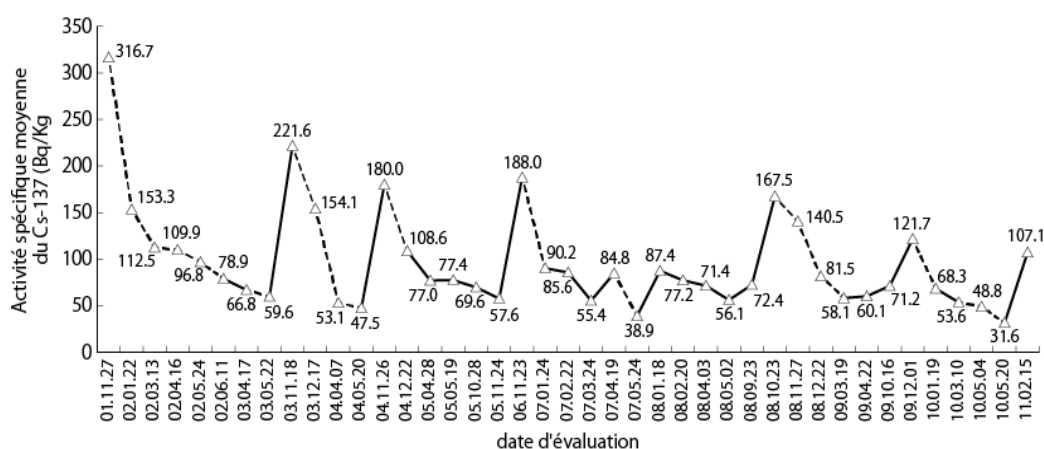


Figure 13.2. Modifications de l'activité moyenne spécifique du Cs-137 (Bq/kg) dans le corps d'enfants du village de Verbovichi du district de Narovlia dans la province de Gomel [Nesterenko et al., 2004]. La courbe indique les moyennes de ces données. Les lignes en pointillé indiquent les périodes de prise de Vitapect.

8. Il était à craindre que les entérosorbants pectine ne supprimassent non seulement le Cs-137, mais également les oligo-éléments indispensables. Des études spéciales ont été réalisées en 2003 et 2004 dans le cadre du projet « Enfants hautement irradiés du Belarus » avec le soutien de l'Office fédéral allemand de protection contre les radiations (BfS). Les tests effectués dans trois des sanatoriums du Belarus (Timberland, Silver Springs et Belarussian Girls) ont montré que le Vitapect ne nuit pas au bilan positif des Cu, K, Zn et Fe dans le sang des enfants [Nesterenko et al., 2004].

9. À la demande des ONG « Enfants de Tchernobyl » en Allemagne, en France, en Angleterre et en Irlande, l'Institut BELRAD a effectué des mesures du Cs-137 chez les enfants avant leur départ et après leur retour de

séjours sanitaires dans ces pays. Chez les enfants qui n'avaient mangé que de la nourriture saine au cours des 25-30 jours, les niveaux de Cs-137 avaient diminué de quelque 20 à 22%, alors que chez les enfants qui avaient aussi suivi une cure de Vitapect, le niveau d'incorporation de Cs-137 avait encore plus fortement diminué (Tableaux 13.3 et 13.4).

Tableau 13.3. Résultats du traitement de 46 enfants en France pendant 30 jours en 2004 [données de l'Institut BELRAD]

	Concentration, Bq/kg		Baisse, %
	Avant	Après	
Vitapect	39,0 ± 4,4	24,6 ± 3,4	37 *
Placebo	29,6 ± 2,7	24,6 ± 2,1	17

* $p < 0,05$.

13. Décorporation des radionucléides

Tableau 13.4. Quelques résultats du traitement par Vitapect d'enfants bélarusses [données de l'Institut BELRAD]

Concentration, Bq/kg		Baisse, %	Données par groupe
Avant	Après		
30,0 ± 1,5	19,2 ± 1,4 *	36	Allemagne, n = 43 ; du 7 juillet au 29 août 2007
42,1 ± 5,1	19,6 ± 2,5 *	34	Espagne, n = 30 ; du 30 juillet au 30 août 2007
26,4 ± 1,5	13,2 ± 0,8 *	50	Canada, n = 22 ; du 26 juin au 22 août 2007
23,4 ± 2,0	11,8 ± 0,7 *	49	Canada, n = 15 ; du 24 juin au 22 août 2007

* $p < 0,01$.

10. La répartition de la fréquence de réduction d'activité lors d'une expérience est illustrée sur la figure 13.3. La réduction relative de l'activité spécifique pour les groupes « à pectine » était respectivement de 32,4% (moyenne arithmétique) et de 33,6% (médiane), alors que l'activité spécifique chez les enfants ayant reçu des placebos n'avait diminué respectivement que de 14,2% (moyenne arithmétique) et de 13,1% (médiane). Cela correspond à une réduction de la moyenne de la demi-vie active de 27 jours pour les groupes « pectine », par rapport à 69 jours pour les groupes « placebo ».

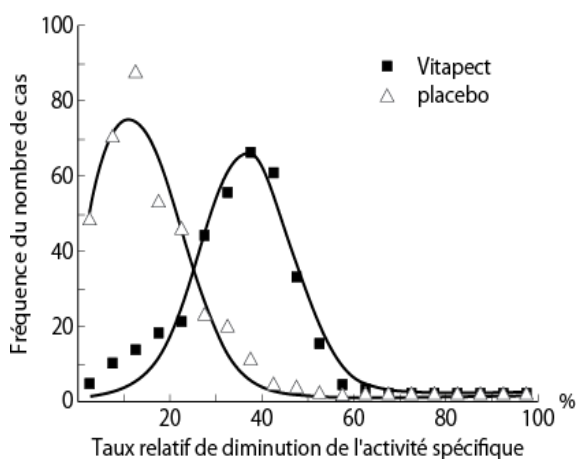


Figure 13.3. Fréquence du nombre de cas de réduction relative de la charge corporelle de Cs-137 observée chez des enfants bélarusses en relation avec un traitement au Vitapect [Hill et al., 2007]

11. Les calculs de deux fonctions de rétention dans le corps entier sont présentés sur la figure 13.4 (pour les adultes). La première courbe représente l'effet du remplacement de nourriture contaminée par de la nourriture saine efficace à partir de $t = 0$; la seconde courbe correspond à une alimentation saine, plus du Vitapect, efficace elle aussi à partir de $t = 0$. La réduction observée de la moyenne de la demi-vie active (de 69 à 27 jours) correspond à un facteur de 2,5.

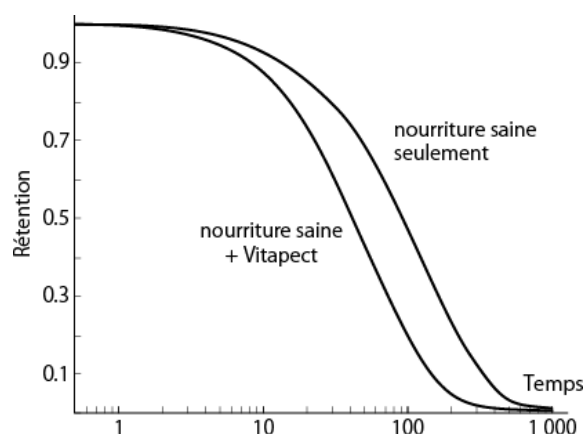


Figure 13.4. Fonctions de rétention théorique chez des adultes sur la base du modèle de Leggett et al. (2003) [Hill et al., 2007]. La courbe supérieure montre l'effet de la nourriture saine et la courbe inférieure illustre l'effet supplémentaire du blocage de l'absorption par utilisation du Vitapect.

12. De 1996 à 2007, un total de plus de 160 000 enfants bélarusses ont reçu du Vitapect par voie orale (5 g deux fois par jour) pour une cure de traitement de 18 à 25 jours. Les résultats ont montré une diminution des niveaux de Cs-137 de 30 à 40% en moyenne après chaque cure.

S'appuyant sur une longue expérience, l'Institut BELRAD recommande que tous les enfants vivant dans les territoires contaminés reçoivent une quadruple cure de pectine par voie orale chaque année avec leur ration alimentaire normale. Onze ans d'activités de BELRAD sur le contrôle des niveaux de Cs-137 chez plus de 327 000 enfants n'ont pas provoqué d'alerte ni de radiophobie dans la population et ont conduit à la diffusion des connaissances concernant la radioprotection et à un sentiment accru de responsabilité personnelle à l'égard de sa santé.

13.3. Nouveaux principes de radioprotection reposant sur les mesures directes

Les nombreuses années d'expérience de l'Institut BELRAD montrent que pour une radioprotection efficace dans les territoires contaminés, un niveau d'intervention – à 30% de la limite dangereuse officielle (c.-à-d. 15 à 20 Bq/kg) – doit être établi pour les enfants.

1. Le comptage direct dans le corps entier (CCE) de l'accumulation de Cs-137 chez les personnes des régions fortement contaminées du Belarus a montré que le catalogue officiel de dose établi sur la base des concentrations de Cs-137 dans 10 échantillons de lait et 10 échantillons de pommes de terre sous-estime la charge annuelle de dose personnelle de trois à huit fois et ne peut pas être invoqué en matière de radioprotection efficace.

2. Il est évident qu'un vrai catalogue de dose de la population contaminée doit être établi sur la base des données obtenues à partir des mesures du comptage direct du Cs-137 dans le corps entier (CCE), qui reflète la charge de dose interne cumulée. Ceci devrait être fait par l'intermédiaire d'un échantillonnage fiable des habitants de chaque région du Belarus touchée par Tchernobyl.

3. C'est seulement en combinant les mesures CCE d'accumulation du Cs-137 dans le corps avec des évaluations médicales que peut être connu le lien de causalité (la dépendance par rapport à la dose) entre l'augmentation de la morbidité et les radionucléides incorporés dans la population. Pour l'instant, ces données ne peuvent être obtenues que dans les régions du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie européenne contaminées par la catastrophe de Tchernobyl. Cette information peut être un facteur important pour concevoir la radioprotection et le traitement des personnes, pour persuader la communauté mondiale de la nécessité d'aider le Belarus à réduire à un minimum l'exposition aux rayonnements et pour comprendre l'ampleur des conséquences de la catastrophe de Tchernobyl.

13.4. Où l'aide internationale pour les enfants de Tchernobyl pourrait être particulièrement efficace

Aucun pays au monde n'est en mesure de faire face seul aux conséquences à long terme d'une catastrophe de l'ampleur de Tchernobyl.

Les pays les plus gravement touchés, en particulier l'Ukraine et le Belarus, qui ont beaucoup souffert, sont reconnaissants de l'aide qu'ils reçoivent de l'Organisation des Nations Unies et d'autres organismes internationaux, ainsi que d'initiatives et de fonds privés.

Chaque année, des dizaines de milliers d'enfants de Tchernobyl vont suivre une cure à l'étranger afin d'améliorer leur santé. Des médecins de nombreux pays travaillent bénévolement dans des territoires contaminés par Tchernobyl pour aider à limiter les conséquences de cette catastrophe technologique, la plus terrible de l'histoire. L'échelle et la gamme des conséquences sont si étendues qu'on se pose toujours la question de savoir comment rendre une telle aide encore plus efficace.

L'expérience des programmes de grande envergure et à long terme pour surveiller les denrées alimentaires et les niveaux de radionucléides incorporés dans le corps de ceux qui vivent dans les territoires contaminés sert de base aux propositions suivantes pour accroître l'efficacité des programmes nationaux et internationaux :

- des études conjointes afin de déterminer la fréquence et l'intensité de diverses maladies, en particulier chez les enfants, en corrélation avec les niveaux de radionucléides incorporés ;
- une évaluation radiométrique individuelle régulière des populations, surtout des enfants, dans tous les territoires contaminés. Pour ce faire, le Belarus devra porter de huit à douze ou quinze le nombre de laboratoires mobiles. De la même façon que pour le système biélorusse, des centres scientifiques/cliniques indépendants doivent être établis en Ukraine et en Russie européenne pour utiliser les résultats d'une telle surveillance radiométrique régulière afin d'identifier les groupes critiques ayant des niveaux élevés d'incorporation de radionucléides ;
- la fabrication et l'administration de différents additifs alimentaires et de boissons à base de pectine (ainsi que de pommes, groseilles, raisins, algues marines, etc.), considérés comme l'un des moyens les plus efficaces de fournir une protection individuelle contre les radiations (par décorporation) lorsque

les circonstances rendent inévitable l'utilisation d'aliments contaminés ;

- la surveillance et le contrôle indépendants des rayonnements dans les denrées alimentaires locales en utilisant l'expérience de l'Institut BELRAD dans la mise en place de centres locaux pour le contrôle de la radioactivité. Cela ne remplace pas le système officiel existant, mais peut l'améliorer ;
- les cures régulières d'additifs alimentaires à base de pectine pour la prévention.

13.5. Conclusions

Vingt-cinq ans après la catastrophe la situation réelle dans les territoires lourdement contaminés par Tchernobyl montre que la charge annuelle de dose individuelle dépasse la limite de 1 mSv/an acceptée sur le plan international, en raison de la consommation inévitable des produits locaux contaminés par la radioactivité. Donc, le moyen le plus recommandé pour diminuer les niveaux de radionucléides incorporés est de ne consommer que des aliments sains. Dans les situations où la nourriture saine n'est pas disponible, des additifs décorporants et absorbants doivent être utilisés pour éliminer le plus possible de radionucléides absorbés et incorporés.

Il existe beaucoup de décorporants et absorbants plus ou moins efficaces. Une large gamme de produits est disponible : l'acide alginique des algues (surtout contenu dans les algues brunes) favorise la réduction du Sr. Des cyanures de fer et de cuivre (par exemple, le ferrocyanure bleu) favorisent la réduction du Cs. Le charbon activé, la cellulose et les pectines diverses sont également des sorbants efficaces de radionucléides incorporés.

En pratique, l'administration thérapeutique d'additifs alimentaires à base de pectine de pomme peut être particulièrement utile pour décorporer efficacement le Cs-137.

Ce qui peut être fait :

- réduire la concentration de Cs-137 dans le principal produit responsable de la contamination – le lait – en alimentant les vaches avec du fourrage mixte contenant des sorbants et en séparant le lait pour produire de la crème et du beurre ;
- donner aux enfants et aux femmes enceintes des denrées alimentaires saines

et des additifs alimentaires pour accroître l'élimination des radionucléides et des métaux lourds de leur organisme ;

- informer la population sur les niveaux de contamination des denrées alimentaires locales par des radionucléides et sur leur concentration dans le corps des habitants (en particulier les enfants), en prenant en considération les aliments disponibles existants et les modes de vie locaux ;
- instituer la pratique régulière de la décorporation de radionucléides dans la vie courante comme mesure efficace de protection contre les radiations pour la population des régions contaminées par Tchernobyl.

L'utilisation d'additifs alimentaires, les préparations à base de pectine avec un complexe de vitamines et de microéléments ont fait preuve d'une grande efficacité dans l'élimination des radionucléides incorporés.

Bibliographie

- Bandazhevskaya, G. S., Nesterenko, V. B., Babenko, V. I., Babenko, I. V., Yerkovich, T. V. & Bandazhevsky, Yu. I. (2004). Relationship between Cesium (Cs-137) load, cardiovascular symptoms, and source of food in "Chernobyl" children: Preliminary observations after intake of oral apple pectin. *Swiss Med. Wkly.* **134**: 725–729.
- Gres', N. A. (1997). Influence of pectinous formulations on dynamics of micro elementary composition of children's blood. In: *Micro Elementary Disorders and Belarusian Children's Health after Chernobyl Catastrophe*. Collected Papers (Institute for Radiation Medicine and Endocrinology, Minsk): 108–116 (en russe).
- Hill, P., Schl'ager, M., Vogel, V., Hille, R., Nesterenko, A. V. & Nesterenko, V. ; (2007). Studies on the current Cs-137 body burden of children in Belarus: Can the dose be further reduced? *Rad. Protec. Dosim.* **125**(1–4): 523–526 (<http://www.rpd.oxfordjournals.org/misc/terms.shtml>) (en russe).
- Leggett, R. W., Williams, L. R., Melo, D. R. & Lipsztein, J. L. (2003). A physiologically based biokinetic model for Cesium in the human body. *Sci. Total Env.* **317**: 235–255.
- Nesterenko, V. B. (2005). Radiation monitoring of inhabitants and their foodstuffs in Chernobyl zone of Belarus. *BELRAD Inform. Bull.* **28** (BELRAD, Minsk): 129 pp. (en russe).
- Nesterenko, V. B., Nesterenko, A. V., Babenko, V. I., Yerkovich, T. V. & Babenko, I. V. (2004). Reducing the Cs-137 load in the organs of Chernobyl children with apple-pectin. *Swiss Med. Wkly.* **134**: 24–27.
- Ostapenko, V. (2002) (Interview). Belarusian Minister of Public Health predicts increasing thyroid cancer

- morbidity in Belarussian population. Problems with Chemical Safety, UCS-INFO 864 ([//www.seu.ru/members/ucs/ucs-info/864.htm](http://www.seu.ru/members/ucs/ucs-info/864.htm)) (en russe).
- Porokhnyak-Ganovska, L. V. (1998). New ways of prophylaxis and rehabilitation of populations from radioactive contaminated territories: Apple-pectin powder and fortified vitamized soluble tablets “Yablopect.” *Med. Adviser* 1: 7–8 (en russe).
- Rudnev, M. I., Malyuk, V. I. & Korzun, V. N. (1995). Decorporants. Sect 6.7. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* (“Naukova Dumka,” Kiev) ([//www.stopatom.slavutich.kiev.ua](http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua)) (en russe).
- Trakhtenberg, I. M. (1995). Enterosorbents. Sect. 6.8. In: Bar'yakhtar, V. G. (Ed.), *Chernobyl Catastrophe: History, Social, Economical, Geochemical, Medical and Biological Consequences* (“Naukova Dumka,” Kiev) ([//www.stopatom.slavutich.kiev.ua](http://www.stopatom.slavutich.kiev.ua)) (en russe).
- Ukrainian Institute (1997). Report on Scientific Research of Clinical Studies of Pectinaceous Preparations Based on Apple Flakes “Yablopect” (Ukrainian Institute of Industrial Medicine, Kryvoy Rog): 58 pp. (en russe).
- WHO (1981). Toxicological evaluation of certain food additives: Pectins and Amidated. WHO Food Additives Series, 16 (WHO, Geneva) ([//www.inchem.org](http://www.inchem.org)).

Chapitre 14. Mesures de protection pour les activités dans les territoires contaminés par la radioactivité de Tchernobyl

Alexey V. Nesterenko et Vassili B. Nesterenko

À cause de l'absorption interne de radionucléides, les niveaux d'irradiation pour les personnes vivant dans les territoires contaminés du Belarus, d'Ukraine et de Russie ont augmenté régulièrement depuis 1994. Des mesures particulières de protection en relation avec l'agriculture, la sylviculture, la chasse et la pêche sont nécessaires pour protéger la santé des populations dans tous les territoires contaminés par la radioactivité. Parmi les mesures qui ont prouvé leur efficacité pour réduire les niveaux de radionucléides incorporés dans la production de viande, se trouvent des additifs alimentaires dont les ferrocyanures, les zéolites et les sels minéraux. De fortes diminutions des niveaux de radioactivité dans les céréales sont obtenues par l'utilisation de chaux contre le Sr-90, d'engrais potassiques contre le Cs-137 et d'engrais phosphorés qui forment un phosphate stable et soluble avec le Sr-90. Le passage du disque et le relabourage des prairies en incorporant des engrais organiques et minéraux réduisent les niveaux de Cs-137 et Sr-90 de trois à cinq fois dans les herbages poussant sur des sols minéralisés. Parmi les technologies alimentaires pour réduire la teneur en radionucléides, on peut citer le nettoyage des graines de céréales, la transformation des pommes de terre en amidon, la transformation des produits contenant des hydrates de carbone en sucres et la transformation du lait en crème et beurre. Il existe plusieurs techniques simples de cuisson qui diminuent les radionucléides dans les aliments. Le Belarus a recouru efficacement à certaines interventions sylvicoles pour créer une « cloison vive » afin de réguler la redistribution des radionucléides dans les écosystèmes. Toutes ces mesures de protection seront nécessaires dans beaucoup de territoires européens pendant de nombreuses générations.

À cause de la catastrophe de Tchernobyl, des millions d'hectares de terres agricoles sont dangereusement contaminés par le Cs-137 avec des concentrations dépassant 37 kBq/m² : 1,8 million d'hectares au Belarus, 1,6 million d'hectares en Russie et 1,2 million d'hectares en Ukraine. Selon le ministre bélarusse de l'agriculture, la production agricole actuelle est réalisée sur plus de 1,1 million d'hectares de terres contaminées par le Cs-137 à un niveau de 37 à 1 480 kBq/m² et 0,38 million d'hectares supplémentaire est également contaminé par le Sr-90 à un niveau de plus de 5,55 kBq/m².

Dans la province de Gomel, 56% de toutes les terres agricoles sont contaminées et dans la province de Moguilev, 26% sont touchées. Il apparaît que des millions d'hectares de forêts du Belarus, de Russie et d'Ukraine (plus de 22% de l'ensemble des forêts du Belarus) sont

dangereusement contaminées [Rapport national du Belarus, 2006]. Plus de 5 millions de personnes vivent dans les territoires contaminés du Belarus, de Russie et d'Ukraine (voir [Partie I](#) pour plus de détails). De plus, une partie des prairies, forêts, montagnes et lacs en Norvège, Écosse, Allemagne, Suisse, Autriche, Italie, France et Turquie présentent encore une contamination mesurable.

Durant les 25 années écoulées depuis la catastrophe, grâce à l'activité et au dévouement de plusieurs milliers de scientifiques et de techniciens spécialisés, diverses méthodes et mesures pratiques ont été développées pour réduire les risques de contamination liés à l'utilisation des ressources naturelles (agriculture, sylviculture, chasse, etc.). Une étude exhaustive de tous ces résultats nécessiterait une monographie séparée. Ce court chapitre esquisse

simplement quelques techniques de base utilisées pour réaliser une radioprotection des ressources utilisées dans la vie de tous les jours dans les territoires contaminés.

14.1. Mesures pour la radioprotection dans l'agriculture

1. Lorsqu'il est devenu impossible de produire avec des taux « acceptables » de radionucléides, les terres agricoles ont été retirées de la production : 265 000 hectares au Belarus, 130 000 hectares en Ukraine et 17 000 hectares en Russie, [Aleksakhin *et al.*, 2006].

2. Les terres agricoles contaminées par la radioactivité font l'objet d'une surveillance obligatoire à la fois du sol et des processus de production du produit fini avec une technologie de contrôle pour assurer des niveaux acceptables de Cs-137 et Sr-90 dans les produits alimentaires. Ce niveau « acceptable » est établi en calculant la moyenne de la consommation annuelle individuelle de sorte que la dose réelle de radiation équivalente soit limitée à moins de 1 mSv/an. Pour le bœuf et le mouton, le taux de Cs-137 ne doit pas dépasser 500 Bq/kg au Belarus et 160 Bq/kg en Ukraine et en Russie, la farine et le froment de sarrasin ne doivent pas dépasser 90 Bq/kg, etc. [Bagdevich *et al.*, 2001]. Chaque pays a ses propres règles de radioprotection.

3. Des diminutions réelles des quantités de radionucléides dans les récoltes sont obtenues par application de chaux contre le Sr-90, d'engrais potassiques contre le Cs-137, d'engrais phosphorés pour former des phosphates stables solubles et précipiter le Sr-90, ainsi que des zéolites, du sapropèle (tourbe) et d'autres antagonistes et absorbants naturels [Aleksakhin *et al.*, 1992 ; et beaucoup d'autres] (Tableau 14.1).

4. Les prairies (prés et pâturages) utilisées pour la production de lait et de viande comptent pour près de la moitié de toutes les terres agricoles contaminées du Belarus. Le disquage et le relabourage des prairies, en y incorporant un épandage d'engrais organiques et minéraux, réduisent les niveaux d'accumulation de Cs-137 et de Sr-90 de trois à cinq fois dans les herbages poussant sur des sols minéralisés. De tels traitements radicaux des prairies sur sol tourbeux réduisent fortement le Cs-137 mais sont moins efficaces sur le Sr-90. À cause de la dégradation des prairies cultivées, les terres

herbeuses doivent être renouvelées avec un épandage d'engrais tous les 3 à 6 ans.

Tableau 14.1. Efficacité des mesures agrochimiques prises pour réduire les concentrations de Cs-137 et de Sr-90 dans la production agricole [Gdkov, 2006]

Méthode	Facteur de réduction	
	Cs-137	Sr-90
Chaux	1,5-4	1,5-2,5
Engrais phosphoriques	1,5-2	1,2-1,5
Engrais potassiques	1,8	Aucun
Engrais biologiques (40 tonnes/ha)	1,5-3	1,5-2
Épandage conjugué de chaux, d'engrais minéraux et organiques	2-5	2-4
Absorbants minéraux du sol (zéolites, vermiculites, bentonites, etc.) *	1,5-2,5	1,5-2

* Ils ont été plus efficaces pendant les cinq premières années après la catastrophe [Kenik, 1998].

5. Comme noté précédemment, les mesures de radioprotection sont effectivement appliquées dans les grandes propriétés de l'État et dans les fermes collectives. Dans le secteur privé des petits jardins familiaux et des petites fermes, qui comptent pour plus de 50% de la production agricole au Belarus, ces mesures sont accessoires. Globalement, pour chaque vache dans une ferme privée du Belarus, il y a environ un hectare de prairie et de pâturage amendé. Cela n'est pas suffisant pour nourrir l'animal, aussi les fermiers doivent-ils récolter du foin dans des clairières en forêt et sur des terres non cultivables qui sont contaminées à de plus hauts niveaux de radioactivité que les prairies cultivées. Ainsi, un certain nombre de règlements, même 25 ans après la catastrophe, sont inadéquats pour la radioprotection de la production agricole. Il y a plus de 300 règlements de ce type en Ukraine, autant au Belarus et plus de 150 en Russie [Kashparov *et al.*, 2005].

6. Vingt ans après la catastrophe, 10 à 15% du lait des fermes privées du Belarus présentaient une contamination par le Cs-137 supérieure au taux admissible. En 2006, dans certains cas, le lait de production domestique contenait jusqu'à 1 000 Bq/litre. En 2004, dans la province de Gomel, quelque 12% de la viande de bœuf présentaient des taux de Cs-137 dépassant 160 Bq/kg [données de l'Institut BEL-RAD].

14. Mesures de protection pour les activités dans les territoires contaminés

7. Il existe quelques mesures efficaces pour réduire les niveaux de radioactivité incorporée dans la production de la viande (Tableau 14.2) et des techniques de préparation de la nourriture réduisant le taux de radionucléides contenus dans les aliments (Tableau 14.3).

Tableau 14.2. Efficacité des mesures prises pour réduire la concentration de Cs-137 et Sr-90 dans les troupeaux [Gudkov, 2006]

Mesure	Facteur de réduction	
	Cs-137	Sr-90
Amélioration des prairies et des pâturages *	1,5-10	1,5-5
Additifs alimentaires contenant du ferrocyanure	2-8 (jusqu'à 20)	Aucun
Additifs alimentaires contenant des zéolites	2-4	Aucun
Additifs alimentaires contenant des sels minéraux	1,5-2	2-3
Mois d'affourage sain avant l'abattage	2-4	Aucun

* Moins efficace sur sol tourbeux

Tableau 14.3. Efficacité des mesures prises pour réduire le Cs-137 et le Sr-90 dans les produits alimentaires [Gudkov, 2006]

Mesure	Facteur de réduction	
	Cs-137	Sr-90
Nettoyage des graines de céréales	1,5-2	
Transformation de pommes de terre en fécule	15-50	
Traitement d'aliments contenant des glucides : production de sucres	60-70	
Traitement d'aliments contenant des glucides : production d'alcool éthylique	Jusqu'à 1 000	
Transformation du lait en crème	6-12	5-10
Transformation du lait en beurre	20-30	30-50
Traitement culinaire de la viande	2-4	Aucun

8. Le Tableau 14.4 présente les principales mesures chimiques et pharmacologiques anti-radiations connues pour réussir un élevage d'animaux sains dans les territoires contaminés.

9. Toutes les méthodes décrites pour réduire les radiations dans la production agricole nécessitent du matériel et du travail supplémentaires, ce qui compromet l'efficacité écono-

mique dans les régions contaminées. En dépit des mesures prises et des subventions, la production agricole dans les régions contaminées par la radioactivité reste difficile et souvent les fermiers se tournent vers des entreprises spécialisées pour l'élevage du bétail, pour la production de viande, la production d'oléagineux et les récoltes industrielles, etc.

Tableau 14.4. Remèdes chimiques et pharmacologiques antiradiations [basé sur Gudkov, 2006]

Bloqueurs de radionucléides et décontaminants :	
Antagonistes - concurrents	Isotopes stables, analogues chimiques
Entérosorbants	Charbon actif, zéolite, Vitapect, Algisorb, etc.
Complexes non solubles	Ferrocyanures, alginates, pectines, phosphates
Complexes solubles	Naturels (flavonoïdes : flavones, anthocyanes, catechines) et synthétiques (Zinkacyne, etc.)
Radioprotecteurs :	
Antioxydants	Aminothiols ; disulfures; thiosulfates ; vitamines A, C, E
Stabilisants de l'ADN et des membranes	Ions métalliques, chélates, flavonoïdes
Inhibiteurs du métabolisme	Cyanures, nitriles, azides, endotoxines
Adaptogènes	Immunostimulants, vitamines, oligo-éléments, etc.

14.2. Mesures de radioprotection en sylviculture, chasse et pêcheries

Les zones forestières ont accumulé environ 70% des radionucléides de Tchernobyl qui sont retombés sur le Belarus. Peu après la catastrophe, la plus grande partie des radionucléides contaminants s'est déposée à la surface des arbres. Les racines ont absorbé le Cs-137 et le Sr-90 du sol et les ont transférés dans le bois et d'autres parties de la plante. L'activité spécifique du Cs-137 peut dépasser 20 kBq/kg dans les baies forestières et les champignons, jusqu'à 150 kBq/kg dans les champignons séchés et 250 kBq/kg dans la viande de gibier sauvage. Chez les poissons prédateurs élevés dans des bassins clos, les niveaux peuvent atteindre 300 kBq/kg (voir [Partie III](#) pour les détails).

1. Dans la zone d'exclusion qui, en 1986-1987, était large de 30 km, ainsi que dans la zone de réinstallation obligatoire, toutes les activités forestières sont interdites partout où le

risque de dose individuelle dépasse 5,0 mSv. Dans cette zone, l'habitat permanent est interdit et l'activité économique est strictement limitée. La zone de réinstallation obligatoire est une aire hors de la zone d'exclusion où le niveau de contamination du sol par le Cs-137 dépasse les 15 Ci/km², où celui du Sr-90 dépasse les 3 Ci/km² et où ceux du Pu-239 et du Pu-240 sont supérieurs à 0,1 Ci/km². Les territoires de réinstallation obligatoire comprennent aussi quelques aires à bas niveau de radioactivité où les radionucléides migrent dans les plantes à partir du sol contaminé.

2. Selon les données officielles bélarusses, pendant plusieurs années après la catastrophe le taux de radiations dans les produits des forêts contaminées (baies, champignons, bois de chauffage, etc.) a dépassé celui des produits de l'agriculture familiale (lait, pain, céréales, etc.).

3. Dix ans après la catastrophe, le taux de radionucléides dans les parties souterraines des arbres avait doublé et atteint 15% de la quantité totale dans les écosystèmes forestiers. Même maintenant au Belarus, à cause de la contamination externe par les radiations, les forestiers sont exposés à des niveaux deux à trois fois plus élevés que les travailleurs agricoles.

4. Parmi les principales mesures proposées pour réduire le risque d'irradiation des travailleurs forestiers, on peut : (a) raccourcir la durée de séjour dans les territoires contaminés ; (b) limiter les technologies manuelles et favoriser la mécanisation ; (c) fournir des équipements individuels de protection et blinder les cabines des conducteurs des machines et engins agricoles pour les protéger contre les rayons gamma ; (d) exiger une autorisation spéciale pour pénétrer dans les forêts et (e) imposer une régulation saisonnière des travaux forestiers [Maradudin et al., 1997].

5. La contamination s'accroît et il est clair qu'elle augmentera encore plus avec l'utilisation de bois contaminé pour le chauffage et de ses cendres radioactives comme fertilisant ; toutes ces activités vont renforcer les doses individuelles d'irradiation.

6. Parmi les produits de la forêt, les champignons, les baies et les noisettes sont les plus contaminés. Jusqu'à 50% des champignons et des baies qui ont été mesurés dépassent les taux de Cs-137 autorisés (370 Bq/kg). Au Belarus, la consommation des produits de la forêt représente plus de 40% de la dose individuelle annuelle d'irradiation interne. La persistance de Cs-137 dans les produits de la forêt dépasse

les niveaux admissibles même dans les territoires dont la contamination du sol est inférieure à 37 kBq/m² (<1 Ci/km²).

7. L'Institut forestier de l'Académie nationale des Sciences du Belarus a révélé que la forêt peut servir de « cloison vive », en régulant la redistribution des radionucléides dans les écosystèmes. Dans les terrains d'expérimentation des sections des forêts de Vetka et Yelsk de la province de Gomel, les taux de radionucléides dans les racines des arbres, les baies de la forêt et les champignons ont diminué jusqu'à 7 fois grâce à une sylviculture spécifique et des mesures de défrichement [Ipat'ev, 2008].

8. Pour empêcher la dispersion de radionucléides des zones forestières contaminées vers les territoires voisins du fait de l'érosion par le vent et l'eau, il est nécessaire de reboiser les terres érodées. Des efforts généralisés pour prévenir les incendies de forêt et améliorer l'efficacité de la lutte contre le feu sont nécessaires pour stopper la dispersion de radionucléides via les courants aériens jusqu'à des centaines, voire des milliers de kilomètres des territoires contaminés. Malheureusement, cela n'a pas été fait pendant les incendies qui ont ravagé les forêts en 1992.

9. Il est dangereux de consommer du gibier sauvage dans les zones ayant un niveau de Cs-137 supérieur à 15 Ci/km². Un contrôle total obligatoire de toute la production de gibier est nécessaire dans les zones contaminées à plus de 15 Ci/km². Dans les territoires contaminés, il est recommandé de ne tuer que les sangliers sauvages et les chevreuils âgés de deux ans ou plus, car leur taux de radionucléides incorporés est plus bas que chez les plus jeunes.

10. Pour les élans, c'est l'inverse. Le taux de radionucléides incorporés chez les jeunes animaux est bien plus bas que celui des adultes.

11. Les concentrations de radionucléides dans les viscères de mammifères chassés (cœur, foie, rein, poumons, etc.) sont nettement plus élevées que dans les tissus musculaires.

12. Les niveaux décroissants de contamination radioactive spécifique des principaux gibiers sont les suivants : loup > renard > sanglier sauvage > chevreuil > lièvre > canard > élan.

13. Dans les territoires contaminés, les mêmes espèces de poissons pêchés dans les rivières et les ruisseaux présentent des taux de radionucléides beaucoup plus bas que ceux de

lacs et d'étangs. Les poissons phytophages (végétariens) ont des taux de radionucléides trois à quatre fois plus bas que les espèces prédatrices (poisson-chat, brochet, etc.). Les poissons benthiques (de fond) (carassin, tanche, etc.) sont largement plus contaminés que les poissons vivant en eaux de surface (friture, chevesne, etc.).

14. Il existe plusieurs méthodes efficaces pour réduire nettement la contamination par radionucléides dans les piscicultures, en labourant le fond du bassin sur une profondeur de 50 cm et en lavant à l'eau courante, en épandant des engrais potassiques et en utilisant des vitamines et des antioxydants (radio-protecteurs) comme additifs alimentaires pour les poissons [Slukvin et Goncharova, 1998].

14.3. Mesures de radioprotection dans la vie quotidienne

Des instructions pour la protection radiologique et les mesures correctrices personnelles peuvent être trouvées dans les écrits de : Ramzaev, 1992 ; Nesterenko, 1997b ; Beresdorf et Wright, 1999 ; Annenkov et Averin, 2003 ; Babenko, 2008 ; Parkhomenko *et al.*, 2008 ; et beaucoup d'autres.

Il est très important d'éviter les radionucléides dans la nourriture et, s'ils sont consommés, de tenter de les éliminer du corps aussi vite que possible. Chez un bébé, la demi-vie biologique du Cs-137 est de 14 jours ; à 4-5 ans elle est de 21 jours ; à 10 ans de 49 jours ; pour les adolescents autour de 90 jours et pour un jeune homme d'environ 100 jours [Nesterenko, 1997b].

1. La façon la plus directe de réduire l'absorption de radionucléides est d'éviter les aliments susceptibles d'être lourdement contaminés et de consommer des produits qui le sont peu. Cependant, ce n'est pas facile à réaliser, car le taux moyen de bioaccumulation des radionucléides diffère dans chaque région selon les différences de sols, de cultivars, de techniques agricoles, etc.

Voici plusieurs exemples de différents niveaux de contamination :

1.1. Légumes : ordre de décroissance du Cs-137 dans quelques régions du Belarus : poivron doux > chou > pomme de terre > betterave > oseille > laitue > radis > oignon > ail > carotte > concombre > tomate. Dans la province de Gomel, l'ordre de décroissance est :

oseille > haricot > radis > carotte > betterave > pomme de terre > ail > poivron doux > tomate > courge > concombre > chou (chou rave) > chou-fleur > chou cavalier [Institut de radiologie, 2003].

1.2. Baies : ordre de décroissance en Cs-137 de quelques baies : myrtille (*Vaccinium myrtillus*), airelle (*V. vitis-idaea*), groseille rouge, cassis (*Ribes* sp.) et canneberge (*Oxycoccus*), qui accumulent habituellement davantage de Cs-137 que : fraise (*Fragaria*), groseille à maquereau (*Grossularia*), groseille blanche, framboise (*Rubus*) et sorbe (*Sorbus*).

1.3. Viande : ordre de décroissance du Cs-137 dans quelques viandes : volailles > bœuf > mouton > porc. Les viandes des animaux les plus âgés contiennent davantage de radionucléides que celle des plus jeunes à cause d'une plus longue accumulation. Les os des animaux jeunes contiennent davantage de Sr-90. Parmi les viscères, l'ordre de décroissance des taux du Cs-137 est : poumons > reins > foie > graisse.

1.4. Œufs : ordre de décroissance : coquille > blanc d'œuf > jaune.

1.5. Poissons : Les poissons prédateurs et benthiques (brochet, perche, carpe, poisson-chat, tanche, etc.) sont plus contaminés ; les poissons vivant dans les rivières et les ruisseaux sont toujours moins contaminés que ceux des lacs et des étangs.

1.6. Champignons : le chapeau contient habituellement davantage de Cs-137 que le pied. Les agarics concentrent habituellement plus de radionucléides que les bolets.

2. Les propriétés biologiques du Cs-137 sont similaires à celles des éléments stables K (potassium) et Rb (rubidium). Le Sr-90 et le Pu sont similaires au Ca. Ces propriétés déterminent où ils se concentrent dans le corps, donc l'emploi d'éléments stables peut aider à réduire l'absorption des radionucléides.

Les aliments riches en potassium comprennent les pommes de terre, le maïs, les haricots, les betteraves, le raisin, les abricots secs, le thé, les noix, les citrons et les pruneaux. Les aliments riches en calcium comprennent le lait, les œufs, les légumes, le raifort, les oignons verts, les navets, le persil, le fenouil et les épinards. Les légumes verts, les pommes, les graines de tournesol, les baies d'aronia noir, le pain de seigle sont riches en fer et le rubidium se trouve dans le raisin rouge.

3. Un régime protégeant de la contamination radioactive devrait comporter des fruits et légumes non contaminés, ceux riches en pectine et ceux contenant des complexes riches en fibres, pour favoriser une élimination rapide des radionucléides.

4. Une importante consommation de boissons, dont des jus de fruits, facilite l'excrétion des contaminants dans les urines.

5. Un apport quotidien d'antioxydants (vitamines A, C, E et oligo-éléments Zn, Co, Cu et Se) est recommandé.

6. Les personnes exposées à la contamination radioactive devraient consommer des additifs alimentaires spéciaux tels que le Vitapect (voir [Chapitre 13](#)) et des produits fabriqués à partir de pommes, d'algues vertes (*Spirulina*), d'aiguilles de pin, etc.

7. Il existe plusieurs techniques de cuisson simples qui réduisent les taux de radionucléides : faire bouillir les aliments plusieurs fois et jeter l'eau, laver la nourriture soigneusement, faire tremper certains aliments et jeter l'eau, éviter les pelures de fruits et légumes, saler et faire macérer au vinaigre certains aliments, mais jeter le liquide de macération ! Éviter de manger des bouillons épais, employer du beurre clarifié, etc.

14.4. Conclusion

Après la catastrophe, des expériences dans le monde entier montrent que les citoyens des pays qui n'ont pas fourni des informations ni des méthodes pour contrer les effets des retombées radioactives allaient moins bien que ceux des pays qui avaient apporté une telle aide. En 1986, la dose individuelle réelle pour une personne « moyenne » en Bulgarie, où il n'y avait pas eu de mesures de protection d'urgence était de 0,7 à 0,8 mSv, environ trois fois plus élevée que la dose pour le Norvégien « moyen ». Le gouvernement norvégien avait mis en place l'interdiction de consommer les légumes à feuilles et de boire le lait frais, avait détruit la nourriture contaminée, maintenu le bétail à l'étable, stoppé l'utilisation des pâturages et des réservoirs et rendu obligatoire l'alimentation du bétail par du foin non contaminé avant l'abattage, etc. Cette disparité dans les doses de contamination est apparue alors même que le taux de contamination mesuré en Bulgarie était inférieur à celui de la Norvège [Energy, 2008].

Depuis 1994, l'exposition aux radiations des personnes vivant dans les territoires contaminés du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie a continué à augmenter à cause de l'absorption interne de radionucléides – la forme d'exposition aux radiations la plus dangereuse –, en dépit d'une diminution naturelle de la radioactivité.

La migration des radionucléides de Tchernobyl dans le sol au niveau des racines permet aux plantes de les absorber, de les transporter vers la surface et de les incorporer dans les parties comestibles de la plante. Les radionucléides produits par l'agriculture et la forêt sont introduits dans la chaîne alimentaire, aggravant significativement le danger des radiations pour tous ceux qui consomment ces produits. Aujourd'hui les agents contaminants les plus préoccupants sont le Cs-137 et le Sr-90. Dans les années à venir la situation changera et l'Am-241 posera un sérieux problème (voir [Partie I](#) pour les détails).

Pendant au moins six à sept générations, de vastes territoires du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie devront prendre des mesures spéciales de lutte contre l'exposition aux radiations dans l'agriculture, les activités forestières, la chasse et la pêche. Et il en ira de même pour d'autres pays où des régions ont une forte contamination radioactive, dont la Suède, la Norvège, la Suisse, la France et l'Allemagne. Ceci signifie que les économies locales auront besoin de subventions d'État et de dons pour faire diminuer la quantité de radionucléides dans tous les produits, car beaucoup de régions ne disposent pas des fonds nécessaires pour contrôler, enseigner et faire réaliser la protection. Le problème de la contamination a une dynamique et nécessite une constante surveillance et des contrôles de la pollution par Cs-137 et Sr-90 au moins pendant les 150 à 300 ans à venir. La contamination par un plus large spectre de radionucléides est dynamique elle aussi et nécessitera une surveillance constante et un contrôle quasi perpétuel.

Bibliographie

Aleksakhin, R. M., Bagdevich, I. M., Fesenko, S. V., Sanzheva, N. I., Ageets, V. Yu. & Kashparov, V. A. (2006). Role of protective measures in rehabilitation of contaminated territories. International Conference. *Chernobyl 20 Years After: Strategy for Recovering and Sustainable Development of Affected Territories*. April 19–21, 2006, Minsk, Belarus (Materials, Minsk): pp. 103–108 (en russe).

14. Mesures de protection pour les activités dans les territoires contaminés

- Aleksakhin, R.M., Vasylyev, A.V. & Dykarev, V.G. (1992). *Agricultural Radioecology* ("Ecologiya," Moscow): 400 pp. (en russe).
- Annenkov, B. N. & Averin, V. S. (2003). *Agriculture in Radioactive Contaminated Areas: Radionuclides in Food* ("Propiley," Minsk): 84 pp. (en russe).
- Babenko, V. I. (2008). How to protect yourself and your child from radiation ([//www.belradinstitute.boom.ru/frameru.htm](http://www.belradinstitute.boom.ru/frameru.htm)) (en russe).
- Bagdevich, I. M., Putyatin, Yu. V., Shmigel'skaya, I. A., Tarasyuk, S.V., Kas'yanchik, S. A. & Ivanyutenko, V. V. (2001). *Agricultural Production on Radioactive Contaminated Territories* (Institute for Soil Science and Agrochemistry, Minsk): 30 pp. (en russe).
- Beresdorf, N. A. & Wright, S. M. (Eds.) (1999). Selfhelp countermeasure strategies for populations living within contaminated areas of the former Soviet Union and an assessment of land currently removed from agricultural usage. EC projects RESTORE (F14-CT95-0021) and RECLAIM (ERBIC15-CT96-0209) (Institute of Terrestrial Ecology, Monks Wood): 83 pp.
- Energy (2008). Chernobyl echo in Europe ([//www.members.tripod.com/~BRuslan/win/energel.htm](http://www.members.tripod.com/~BRuslan/win/energel.htm)) (en russe).
- Gudkov, I. N. (2006). Strategy of biological radiation protection of biota in radionuclide contaminated territories. In: Signa, A. A. & Durante, M. (Eds.), *Radiation Risk Estimates in Normal and Emergency Situations* (Dordrecht Springer, Berlin/London/New York): pp. 101-108.
- Ipat'ev, V. (2008). Clean soil under radio-contaminated forest: Is it real? *Sci. Innovat.* **61**(3): 36-38 (en russe).
- Kashparov, V. A., Lazarev, N. M. & Poletchuk, S. V. (2005). Actual problems of agricultural radiology in Ukraine. *Agroecolog. J.* **3**: 31-41 (en ukrainien).
- Kenik, I. A. (Ed.) (1998). *Belarus and Chernobyl: Priorities for Second Decade after the Accident* (Belarus Ministry for Emergency Situations, Minsk): 92 pp. (en russe).
- Maradudin, I. I., Panfylov, A.V., Rusyna, T.V., Shubin, V. A., Bogachev, V. K., et al. (1997). Manual for forestry in Chernobyl radioactively contaminated zones (for period 1997-2000). Authorized by order N 40 from 1.03.97 of Russian Federal Forestry Service: 7 pp. (en russe).
- National Belarussian Report (2006). *Twenty Years after Chernobyl Catastrophe: Consequences for Belarus Republic and Its Surrounding Areas* (Shevchuk, V. F. & Gurachevsky, V. L., Eds.) (Belarus National Publishers, Minsk): 112 pp. (en russe).
- Nesterenko, V. B. (1997). Radiation monitoring of inhabitants and their foodstuffs in Chernobyl zone of Belarus. *BELRAD Inform. Bull.* **6** ("Pravo Ekonomika," Minsk): 71 pp. (en russe).
- Parkhomenko, V. I., Shutov, V. N., Kaduka, M. V., Kravtsova, O. S., Samiolenko, V. M., et al. (2008). Protection from radiation: Manual on radiation safety ([//www.eco.scilib.debryansk.ru/2infres/radiation/content.html](http://www.eco.scilib.debryansk.ru/2infres/radiation/content.html)) (en russe).
- Radiology Institute (2003). Life in territory contaminated by radioactive substances (Radiology Institute, Gomel): 21 pp. ([//www.mondoincammino.org/humus/azioni/docs/opuscolo.pdf](http://www.mondoincammino.org/humus/azioni/docs/opuscolo.pdf)) (en russe).
- Ramzaev, P. V. (Ed.) (1992). Recommendations to public on behavior on radionuclide contaminated territory ("IzDAT," Moscow): 16 pp. (en russe).
- Slukvin, A. M. & Goncharova, R. I. (1998). Pond carp defenses from low doses on outer and inner chronic irradiation. *Chernobyl Ecol. Health (Gomel)* **2**(6): 56-57 (en russe).

Conclusion de la Partie IV

Dans les derniers jours du printemps et au début de l'été 1986, la radioactivité s'est échappée de la centrale nucléaire de Tchernobyl et est retombée sur des centaines de millions de personnes. Les quantités de radionucléides qui en sont issues ont été des centaines de fois plus grandes que celles de la bombe atomique d'Hiroshima.

La vie normale de dizaines de millions de personnes a été détruite. Aujourd'hui, plus de 6 millions de personnes vivent sur des terres dangereusement contaminées, des terres qui continueront à être contaminées durant des décennies et des siècles. D'où les questions qui se posent quotidiennement : comment vivre et où vivre ?

Dans les territoires contaminés par les retombées de Tchernobyl, il est impossible de travailler en sécurité dans l'agriculture, la sylviculture, la pisciculture et même de chasser en sécurité ; et il est dangereux de s'alimenter avec des produits locaux ou de boire du lait et même de l'eau. Ceux qui vivent dans ces territoires se demandent comment éviter la tragédie d'un enfant né avec des malformations dues à l'irradiation. Peu après la catastrophe, ces questions essentielles se sont posées dans les familles de liquidateurs, souvent trop tard pour éviter les drames.

En même temps, des mesures complexes ont été prises pour limiter les risques dans l'agriculture et la sylviculture pour ceux qui vivaient dans les territoires contaminés, dont l'organisation de la radioprotection individuelle, le soutien d'une production agricole non-radioactive et des méthodes plus sûres en sylviculture.

La plupart des efforts déployés pour venir en aide aux habitants des territoires contaminés sont menés par des programmes d'État. Le problème avec ces programmes est qu'ils ont un double objectif : fournir une aide tout en espérant minimiser les accusations de nocivité des retombées de Tchernobyl.

Pour simplifier la vie de ceux qui souffrent des effets de l'irradiation, un énorme travail d'éducation et d'organisation doit être conduit pour surveiller les radionucléides incorporés, surveiller (sans exception) tous les produits

alimentaires, déterminer les doses cumulées individuelles par des méthodes objectives et fournir des conseils médicaux et génétiques, surtout pour les enfants.

Plus de vingt ans après la catastrophe, le danger n'a pas diminué dans ces territoires grâce à la migration naturelle des radionucléides, mais il s'aggrave et continuera à le faire pendant de nombreuses années à venir. Il faut donc élargir les programmes d'aide aux personnes qui continuent de souffrir dans les territoires contaminés, ce qui requiert une assistance internationale, nationale, étatique et philanthropique.

Partie V. Résumé des conséquences, 25 ans après

**Alexey V. Yablokov ^a, Vassili B. Nesterenko ^{b †}, Alexey V. Nesterenko ^b
et Natalia E. Preobrajenskaya ^c**

^a *Académie des Sciences de Russie, Moscou, Russie*

^b *Institut de radioprotection (BELRAD), Minsk, Belarus*

^c *Fondation « Sauvez les enfants de l'Ukraine de la catastrophe de Tchernobyl »*

Chapitre 15. Conséquences de la catastrophe de Tchernobyl pour la santé publique et l'environnement, 25 ans plus tard

Alexey V. Yablokov, Vassili B Nesterenko et Alexey V. Nesterenko

Plus de 50% des radionucléides de Tchernobyl ont été dispersés en dehors du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie européenne et sont retombés jusqu'en Amérique du Nord. En 1986, près de 400 millions de personnes vivaient dans les zones contaminées par la radioactivité à un niveau supérieur à 4 kBq/m² et près de 5 millions de personnes sont toujours exposées à une contamination dangereuse. L'augmentation de la morbidité, du vieillissement prématuré et des mutations apparaît dans tous les territoires contaminés qui ont été étudiés. La hausse du taux de mortalité total pour les 17 premières années a été de 3,75% en Russie européenne et de 4,2% en Ukraine. Les niveaux de l'irradiation interne sont en augmentation en raison de l'absorption et du recyclage du Cs-137, du Sr-90, du Pu et de l'Am par les plantes. Au cours de ces dernières années, où les niveaux internes de Cs-137 ont dépassé 1 mSv/an, ce qui est considéré comme « sans danger », ils doivent descendre à 50 Bq/kg chez l'enfant et à 75 Bq/kg chez l'adulte. Les pratiques nécessaires pour y parvenir comprennent l'épandage d'engrais minéraux sur les terres agricoles, de potassium et de lignine organosoluble sur les sols forestiers et la consommation individuelle régulière d'entérosorbants à base de pectine naturelle. Une aide internationale considérable est nécessaire pour la radioprotection des enfants, en particulier au Belarus où, sur les 25 à 30 prochaines années, les radionucléides continueront à contaminer les plantes à travers les couches du sol correspondant à la rhizosphère. Les populations de plantes et d'animaux irradiés présentent des difformités morphologiques diverses et ont des niveaux nettement plus élevés de mutations qui étaient rares avant 1986. La zone de Tchernobyl est un « trou noir » : certaines espèces peuvent y persister uniquement via l'immigration en provenance des zones non contaminées.

L'explosion du quatrième bloc de la centrale nucléaire de Tchernobyl en Ukraine, le 26 avril 1986, a été le pire accident d'origine technologique de l'histoire. Les informations présentées dans les 14 premiers chapitres de ce livre ont été résumées à partir de plusieurs milliers d'articles scientifiques référencés et d'autres documents. Ce qui suit est un résumé des principaux résultats de cette méta-analyse des conséquences de la catastrophe de Tchernobyl.

L'approche méthodologique principale de cette méta-analyse consiste à révéler les conséquences de Tchernobyl en comparant les différences entre les populations, incluant des territoires ou sous-groupes qui ont subi et subissent encore des niveaux de contamination différents, mais sont comparables par leurs caracté-

ristiques ethniques, biologiques, sociales et économiques. Cette approche est assurément plus valable que d'essayer de trouver des corrélations « statistiquement significatives » entre les doses auxquelles les populations ont été soumises, impossibles à quantifier après coup, et les conséquences sur la santé définies précisément par les données sur la morbidité et sur la mortalité.

15.1. L'échelle planétaire de la catastrophe

1. À la suite de la catastrophe, 40% de l'Europe ont été contaminés par une radioactivité dangereuse. L'Asie et l'Amérique du Nord ont également été exposées à des quantités élevées de retombées radioactives. Les pays contami-

15. Conséquences pour la santé publique et l'environnement, 25 ans plus tard

nés comprennent l'Autriche, la Finlande, la Suède, la Norvège, la Suisse, la Roumanie, la Grande-Bretagne, l'Allemagne, l'Italie, la France, la Grèce, l'Islande et la Slovaquie, ainsi que l'Afrique du Nord et de vastes territoires en Asie, dont la Turquie, la Géorgie, l'Arménie, les Émirats et la Chine. Près de 400 millions de personnes vivaient dans des zones où la radioactivité dépassait un niveau de 4 kBq/m² ($\geq 0,1$ Ci/km²) au cours de la période d'avril à juillet 1986.

2. Le Belarus en particulier a été fortement contaminé. Vingt-cinq ans après la catastrophe, près de 5 millions de personnes, dont environ 1 million d'enfants, vivaient dans de vastes zones du Belarus, d'Ukraine et de Russie européenne où persistaient de dangereux niveaux de contamination radioactive (voir [Partie I](#)).

3. L'affirmation de l'AIEA, de l'UNSCEAR et de plusieurs autres groupes, selon laquelle les retombées radioactives de Tchernobyl ajoutent « seulement » 2% au fond de radioactivité naturelle de l'environnement occulte plusieurs faits :

1. de nombreux territoires continuent d'être soumis à des niveaux dangereusement élevés d'irradiation ;
2. les niveaux élevés d'irradiation se sont dispersés au loin et largement dans les premières semaines après la catastrophe ;
3. il y aura des décennies de contamination chronique de faible niveau après la catastrophe (Figure 15.1) ;
4. chaque augmentation de radiations nucléaires a un effet sur les cellules somatiques et sur celles de la reproduction de tous les êtres vivants.

4. Il n'y a aucune justification scientifique au fait que les spécialistes de l'AIEA et de l'OMS (Forum de Tchernobyl, 2005) ont totalement négligé de citer les nombreuses données sur les conséquences négatives de la contamination radioactive dans les zones autres que le Belarus, l'Ukraine et la Russie européenne, où environ 57% des radionucléides de Tchernobyl se sont déposés.

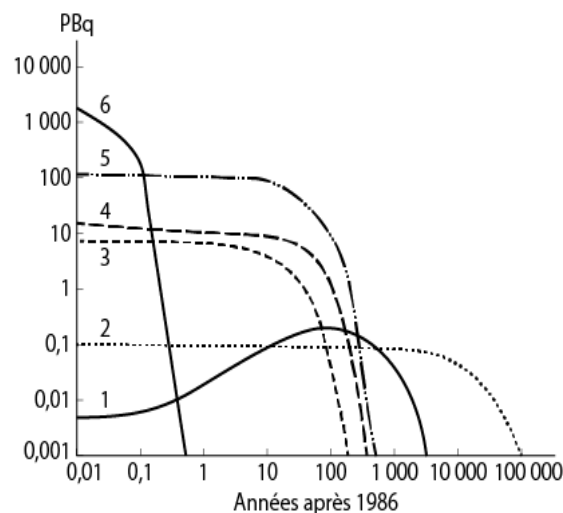


Figure 15.1. Radioactivité totale supplémentaire (en pétébequerels) dans l'écosystème planétaire après la catastrophe de Tchernobyl [Mulev, 2006]

(1) Am-241 (2) Pu-(239 + 240) (3) Pu-241
(4) Sr-90 (5) Cs-137 (6) I-131

15.2. Obstacles à l'analyse des conséquences de Tchernobyl

1. Parmi les raisons qui compliquent l'estimation totale de l'impact de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé, on compte :

- le secret officiel et la falsification non rectifiable des dossiers médicaux de l'Union soviétique pendant les 3 ans et demi qui se sont écoulés après la catastrophe ;
- le manque de statistiques médicales détaillées et absolument fiables en Ukraine, au Belarus et en Russie ;
- les difficultés à estimer les doses individuelles réelles de radioactivité en vue de : (a) la reconstruction des doses reçues dans les premiers jours, semaines et mois après la catastrophe ; (b) l'incertitude liée à l'influence des « particules chaudes » individuelles ; (c) les problèmes liés à la prise en compte de la contamination inégale et de la contamination sporadique et (d) l'incapacité de déterminer l'influence de chacun des nombreux radionucléides, seuls ou en combinaison ;

15. Conséquences pour la santé publique et l'environnement, 25 ans plus tard

- l'insuffisance des connaissances actuelles concernant : (a) l'effet spécifique de chacun des nombreux radionucléides ; (b) la synergie des interactions des radionucléides entre eux et avec d'autres facteurs environnementaux ; (c) les variations de radiosensibilité de chaque personne et des populations ; (d) l'impact de doses ultra-faibles et des débits de dose et (e) l'impact de la contamination radioactive interne sur les divers organes et les systèmes biologiques.

2. L'exigence des experts de l'AIEA et de l'OMS d'une « forte corrélation » entre des niveaux de rayonnement individuels calculés sans précision (et donc des groupes d'individus) et des maladies diagnostiquées avec précision comme seule preuve indubitable pour associer la maladie au rayonnement de Tchernobyl, n'est pas, à notre avis, scientifiquement valable.

3. Nous croyons qu'il est scientifiquement incorrect de rejeter les données générées par plusieurs milliers de scientifiques, médecins et autres experts qui ont directement observé la souffrance de millions de personnes touchées par les retombées radioactives au Belarus, en Ukraine et en Russie comme « non-conformes aux protocoles scientifiques ». Il est scientifiquement valable de trouver des moyens d'extraire des informations précieuses à partir de ces données.

4. Des informations objectives sur l'impact de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé peuvent être obtenues de plusieurs manières :

- comparer la morbidité et la mortalité sur des territoires ayant des profils géographiques, sociaux et économiques identiques et qui ne diffèrent que par les niveaux et les spectres de contamination radioactive auxquels ils ont été et sont encore exposés ;
- suivre l'état de santé du même groupe de personnes au cours de périodes spécifiques à compter de la catastrophe ;
- suivre l'état de santé d'une même personne au regard des troubles liés au rayonnement qui ne dépendent pas de l'âge ni du sexe (par exemple, les aberrations chromosomiques stables) ;
- suivre l'état de santé des personnes vivant dans des territoires contaminés

grâce à des mesures de la quantité de Cs-137, de Sr-90, de Pu et d'Am incorporés. Cette méthode est particulièrement efficace pour évaluer la santé des enfants nés après la catastrophe ;

- établir des corrélations entre les changements pathologiques dans des organes particuliers en mesurant leurs quantités de radionucléides incorporés.

L'établissement de preuves objectives des conséquences de la catastrophe requiert l'analyse de l'état de santé de quelque 800 000 liquidateurs, de centaines de milliers de personnes évacuées et de ceux qui ont quitté volontairement les territoires contaminés du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie (et de leurs enfants), et qui vivent maintenant en dehors de ces territoires et même dans d'autres pays.

5. Il est nécessaire de déterminer quels territoires en Asie (dont la Transcaucasie, l'Iran, la Chine, la Turquie, les Émirats), en Afrique du Nord et en Amérique du Nord ont été exposés aux retombées de l'accident de Tchernobyl d'avril à juillet 1986 et d'analyser les statistiques médicales détaillées pour ceux-ci et pour les territoires environnants.

15.3. Conséquences de Tchernobyl sur la santé

1. Une augmentation marquée de la morbidité générale est manifeste dans tous les territoires contaminés par Tchernobyl qui ont été étudiés.

2. Parmi les troubles de santé spécifiques associés au rayonnement de Tchernobyl, la morbidité et la fréquence des groupes de maladies suivants ont augmenté :

- système circulatoire (principalement en raison de la destruction de l'endothélium – le revêtement interne des vaisseaux sanguins – par la radioactivité) ;
- système endocrinien (en particulier la pathologie thyroïdienne bénigne) ;
- système immunitaire ;
- système respiratoire ;
- appareil urogénital et troubles de la reproduction ;
- système musculo-squelettique (y compris les modifications pathologiques de la structure et de la composition des os : l'ostéopénie et l'ostéoporose) ;

15. Conséquences pour la santé publique et l'environnement, 25 ans plus tard

- système nerveux central (changements dans les lobes frontaux, temporaux et occipito-pariétaux du cerveau, conduisant à une diminution de l'intelligence et à des troubles mentaux et comportementaux) ;
- yeux (cataracte, destruction du corps vitré, anomalies de la réfraction et troubles conjonctivaux) ;
- tube (système) digestif ;
- malformations et anomalies congénitales (y compris de multiples défauts, auparavant rares, de la tête et des membres) ;
- cancer de la thyroïde (toutes les prévisions concernant ce type de cancer ont été erronées ; les cancers de la thyroïde liés à Tchernobyl ont eu une apparition rapide et un développement agressif, frappant les enfants et les adultes. Après la chirurgie, la personne devient dépendante à vie d'un traitement hormonal substitutif) ;
- leucémie (cancer du sang), non seulement chez les enfants et les liquidateurs mais dans la population adulte des territoires contaminés ;
- autres tumeurs malignes.

3. Autres conséquences de la catastrophe sur la santé :

- modifications de l'équilibre biologique de l'organisme, conduisant à une augmentation du nombre de maladies graves dues à des toxicoses intestinales, des infections bactériennes et des septicémies ;
- intensification des maladies infectieuses et parasitaires (par exemple, hépatite virale et virus des voies respiratoires) ;
- augmentation de l'incidence des troubles de santé chez les enfants nés de parents irradiés (liquidateurs et personnes qui ont quitté les territoires contaminés), notamment chez les enfants irradiés *in utero*. Ces troubles, impliquant pratiquement tous les organes et les systèmes du corps, comprennent également des modifications génétiques ;
- état catastrophique de la santé des liquidateurs (en particulier des liquidateurs qui ont travaillé en 1986-1987) ;

- vieillissement prématuré chez les adultes et les enfants ;
- incidence accrue de multiples mutations somatiques et génétiques.

4. Les maladies chroniques liées à la contamination radioactive sont omniprésentes chez les liquidateurs et dans la population vivant dans les territoires contaminés. Chez ces personnes, la polymorbidité individuelle est courante, c'est-à-dire qu'elles sont souvent affligées de maladies multiples simultanées.

5. Tchernobyl a « enrichi » la médecine du monde avec des termes tels que « rajeunissement du cancer », ainsi que trois nouveaux syndromes :

- la « dystonie vasculaire végétative » – dysfonctionnement de la régulation du système nerveux impliquant les organes cardiovasculaires et d'autres organes (également appelé « dysfonctionnement du système nerveux autonome »), avec des signes cliniques qui se présentent dans un contexte de stress ;
- le syndrome des « radionucléides incorporés à longue durée de vie » : troubles fonctionnels et structurels des systèmes cardiovasculaire, nerveux, endocrinien, reproducteur et autres du fait des radionucléides absorbés ;
- les « lésions aiguës des voies respiratoires supérieures par inhalation » : la combinaison d'une rhinite, de picotements de la gorge, d'une toux sèche, de difficultés de la respiration et d'essoufflements en raison de l'effet de radionucléides inhalés, dont des « particules chaudes ».

6. Plusieurs nouveaux syndromes, reflétant l'incidence de certaines maladies, sont apparus après Tchernobyl. Parmi eux :

- le « syndrome de fatigue chronique », – fatigue excessive et non soulagée par le repos, fatigue sans cause évidente, dépression périodique, perte de la mémoire, douleurs musculaires et articulaires diffuses, frissons et fièvre, changements d'humeur fréquents, sensibilité des ganglions lymphatiques du cou, perte de poids. Il est également souvent associé à des dysfonctionnements du système immunitaire et des troubles du système nerveux central ;

- le « syndrome de la maladie persistante du rayonnement » : une combinaison de fatigue excessive, de vertiges, de tremblements et de douleurs dorsales ;
- le « syndrome de vieillissement précocité » : une divergence entre l'âge physique et chronologique, avec des maladies caractéristiques des personnes âgées survenant à un âge précocé.

7. Des syndromes spécifiques de Tchernobyl, tels que l'« irradiation *in utero* », le « SI-DA de Tchernobyl », le « cœur de Tchernobyl », les « membres de Tchernobyl » et d'autres, attendent une description médicale plus détaillée et définitive.

8. Le tableau complet de la dégradation de la santé dans les territoires contaminés est encore loin d'être réalisé, en dépit d'une grande quantité de données. La recherche médicale, biologique et radiologique doit se développer et être soutenue pour fournir un tableau complet des conséquences de Tchernobyl. Au lieu de cela, cette recherche a été réduite en Russie, en Ukraine et au Belarus.

9. La dégradation de la santé publique (en particulier des enfants) dans les territoires contaminés par Tchernobyl, 25 ans après la catastrophe, n'est pas due au stress psychologique ni à la radiophobie, ni à un déménagement, mais elle est principalement et avant tout due à l'irradiation liée à Tchernobyl. Superposée au premier choc puissant de 1986, une exposition chronique aux radionucléides à faible dose et à faible débit de dose se poursuit.

10. Les facteurs psychologiques (« phobie du rayonnement ») ne peuvent tout simplement pas être la cause déterminante, car la morbidité a continué d'augmenter pendant quelques années après la catastrophe alors que les préoccupations au sujet du rayonnement ont diminué. Et quel est le niveau de la phobie des rayonnements chez les campagnols, les hirondelles, les grenouilles et les pins qui affichent des troubles de santé similaires, y compris l'augmentation des taux de mutation ? Il n'y a aucun doute que les facteurs sociaux et économiques sont désastreux pour les malades irradiés. La maladie, les enfants difformes et handicapés, la mort de la famille et des amis, la perte de domicile et de biens précieux, la perte de travail et le déracinement induisent de graves perturbations financières et mentales.

15.4. Nombre total de victimes

1. Les premières prévisions officielles de l'AIEA et de l'OMS avaient annoncé peu de cas supplémentaires de cancer. En 2005, le Forum de Tchernobyl a déclaré que le nombre total de morts dû à la catastrophe serait d'environ 9 000 et le nombre de malades dans les 200 000. Ces chiffres ne peuvent pas distinguer les décès liés aux rayonnements de ceux dus à la mortalité et à la morbidité naturelle sur une vaste base de population.

2. Peu de temps après la catastrophe, l'espérance de vie moyenne a nettement diminué et la morbidité et la mortalité ont augmenté en Union Soviétique chez les nourrissons et les personnes âgées.

3. Des comparaisons statistiques détaillées de territoires très contaminés avec d'autres, moins contaminés, ont montré une augmentation des taux de mortalité dans les territoires contaminés de Russie européenne et d'Ukraine respectivement jusqu'à 3,75% et 4,2% dans les 15 à 17 premières années après la catastrophe.

4. Selon des évaluations fondées sur des analyses statistiques démographiques officielles détaillées dans les territoires contaminés du Belarus, d'Ukraine et de Russie européenne, le nombre de décès supplémentaires liés à Tchernobyl pour les 15 premières années après la catastrophe s'élève à près de 237 000 personnes. Il est raisonnable de supposer que le nombre total de décès liés à Tchernobyl pour la période allant de 1987 à 2004 a atteint près de 462 000 dans d'autres parties de l'Europe, en Asie et en Afrique et près de 331 000 en Amérique du Nord, ce qui représente environ 1 million de décès dans le monde.

5. Le nombre de victimes de Tchernobyl continuera d'augmenter pendant plusieurs générations.

15.5. Retombées de Tchernobyl et conséquences environnementales

1. Le déplacement des radionucléides de Tchernobyl à longue demi-vie par l'eau, les vents et la migration des animaux provoque (et continuera à provoquer) une contamination radioactive secondaire à des centaines et des milliers de kilomètres de la centrale nucléaire de Tchernobyl.

2. Toutes les prévisions initiales d'élimination ou de décroissance rapide des radionucléides de Tchernobyl dans les écosystèmes

étaient fausses : cela prend beaucoup plus de temps que prévu parce qu'ils se recyclent. L'état général de la contamination dans l'eau, l'air et le sol semble fluctuer énormément et la dynamique de la contamination par le Sr-90, le Cs-137, le Pu et l'Am réserve encore bien des surprises.

3. En raison de l'accumulation de Cs-137, de Sr-90, de Pu et d'Am dans la couche profonde du sol – la rhizosphère –, les radionucléides ont continué à se concentrer dans les plantes au cours des dernières années. Remontant avec l'eau vers les parties aériennes des plantes, les radionucléides (qui avaient auparavant disparu de la surface) se concentrent dans les parties comestibles, entraînant une augmentation des niveaux d'irradiation interne et du débit de dose chez les personnes malgré une diminution des quantités totales de radionucléides par désintégration naturelle au cours du temps.

4. En raison de la bioaccumulation des radionucléides, le taux dans les plantes, les champignons et les animaux peut augmenter de 1 000 fois par rapport aux concentrations dans le sol et l'eau. Les coefficients d'accumulation et de transfert varient considérablement selon la saison, y compris pour les mêmes espèces, ce qui rend difficile la détermination des niveaux dangereux de radionucléides dans les plantes et les animaux pour la sécurité alimentaire. Seul un suivi direct peut déterminer les niveaux réels.

5. En 1986, les niveaux d'irradiation dans les plantes et les animaux en Europe de l'Ouest, en Amérique du Nord, en Arctique et en Asie orientale ont été parfois des centaines, voire des milliers de fois au-dessus des normes acceptables. L'impulsion initiale de haute puissance d'irradiation, suivie par une exposition à des radionucléides à faible niveau chronique, a entraîné des troubles morphologiques, physiologiques et génétiques dans tous les organismes vivants étudiés dans les zones contaminées : les plantes, les mammifères, les oiseaux, les amphibiens, les poissons, les invertébrés, les bactéries et les virus.

6. Vingt-cinq ans après la catastrophe, tous les gibiers des zones contaminées du Belarus, d'Ukraine et de Russie européenne ont accumulé de grandes quantités de radionucléides de Tchernobyl. Il est encore possible de trouver des élans, des sangliers et des chevreuils dangereusement contaminés en Autriche, en

Suède, en Finlande, en Allemagne, en Suisse, en Norvège et dans plusieurs autres pays.

7. Toutes les populations de plantes et d'animaux affectés, qui ont fait l'objet d'études détaillées, montrent un large éventail de déformations morphologiques rares ou inconnues avant la catastrophe.

8. La stabilité du développement individuel (déterminée par le niveau de fluctuation de la symétrie, un procédé spécifique pour détecter le niveau de l'instabilité du développement de l'individu) est plus faible chez toutes les plantes, tous les poissons, les amphibiens, les oiseaux et les mammifères qui ont été étudiés dans les territoires contaminés.

9. Le nombre de grains de pollen et de spores génétiquement anormaux et mal développés dans les sols contaminés par la radioactivité de Tchernobyl indique une perturbation géobotanique.

10. Toutes les plantes, les animaux et les micro-organismes qui ont été étudiés dans les territoires contaminés par l'accident de Tchernobyl ont des niveaux de mutations considérablement plus élevés que ceux des zones moins contaminées. L'exposition chronique à de faibles doses dans les territoires de Tchernobyl provoque l'accumulation transgénérationnelle d'une instabilité génomique, manifestée par des effets cellulaires et systémiques. Les taux de mutation de certains organismes ont augmenté au cours des dernières décennies, en dépit d'une diminution des niveaux locaux de contamination radioactive.

11. La faune sauvage des territoires fortement contaminés par Tchernobyl semble parfois florissante, mais les apparences sont trompeuses. Selon les tests morphogénétiques, cytogénétiques et immunologiques, toutes les populations de plantes, de poissons, d'amphibiens et de mammifères étudiées sont en mauvais état. Cette zone est analogue à un « trou noir » : certaines espèces ne peuvent y persister que grâce à l'immigration à partir de zones non contaminées. La zone de Tchernobyl est la « marmite » de la microévolution, où les réservoirs de gènes des créatures vivantes vont activement se transformer, avec des conséquences imprévisibles.

12. Ce qui est arrivé aux campagnols et aux grenouilles dans la zone de Tchernobyl montre ce qui peut arriver à l'homme dans les générations à venir : augmentation des taux de mutation, augmentation de la morbidité et de la mortalité, réduction de l'espérance de vie, di-

minution de l'intensité de la reproduction et changements dans le sex-ratio mâles/femelles.

13. Pour une meilleure compréhension des processus de transformation de la faune dans les zones contaminées par Tchernobyl, les études scientifiques, radiobiologiques et autres, ne devraient pas être arrêtées, comme cela s'est produit partout au Belarus, en Ukraine et en Russie, mais elles doivent être élargies et intensifiées pour comprendre les conséquences attendues et inattendues et contribuer à les atténuer.

15.6. Efforts sociaux et environnementaux visant à réduire au minimum les conséquences de la catastrophe

1. Pour des centaines de milliers de personnes (tout d'abord au Belarus, mais aussi dans de vastes territoires de l'Ukraine, de la Russie et dans certaines régions d'autres pays) l'irradiation supplémentaire liée à Tchernobyl dépasse toujours le niveau considéré comme « inoffensif » de 1 mSv/an.

2. Actuellement, pour les personnes vivant dans les régions contaminées du Belarus, de l'Ukraine et de la Russie, 90% de la dose d'irradiation est due à la consommation de nourriture locale contaminée ; aussi des mesures doivent-elles être mises à leur disposition pour débarrasser leur organisme des radionucléides incorporés (voir la [Partie IV](#)).

3. De multiples mesures ont été prises pour produire des aliments sains et pour améliorer la santé des habitants du Belarus, d'Ukraine et de la Russie européenne. Il s'agit notamment de l'épandage de plus grandes quantités d'engrais sélectionnés, de programmes spéciaux pour réduire les niveaux de radionucléides dans les produits agricoles et la viande, de la distribution de nourriture sans radionucléides dans les écoles et les jardins d'enfants et de programmes spéciaux pour améliorer la santé des enfants en les envoyant périodiquement dans des endroits non contaminés. Malheureusement, ces mesures ne sont pas suffisantes pour ceux qui dépendent de la nourriture de leur propre jardin ou des forêts et des eaux locales.

4. Il est absolument nécessaire de mettre au point des mesures pour réduire l'accumulation de Cs-137 dans les organes des habitants des zones contaminées. Ces niveaux, reposant sur les données disponibles concernant l'effet des radionucléides incorporés sur la santé, sont de

30 à 50 Bq/kg pour les enfants et de 70 à 75 Bq/kg pour les adultes. En 2006, dans certains villages biélorusses, des enfants avaient des niveaux allant jusqu'à 2 500 Bq/kg !

5. L'expérience acquise par l'Institut BELRAD au Belarus a montré que des mesures de décontamination active doivent être introduites lorsque les niveaux de Cs-137 dépassent 25 à 28 Bq/kg. Cela correspond à 0,1 mSv/an, soit, selon l'UNSCEAR, le niveau qu'une personne vivant dans les territoires contaminés reçoit inévitablement par irradiation externe.

6. En raison de la consommation alimentaire individuelle et familiale et de la disponibilité variable de la nourriture locale, une surveillance permanente des produits locaux avec une mesure des différents niveaux de radionucléides est nécessaire, en particulier chez les enfants. Il doit y avoir un durcissement général des niveaux admissibles de radionucléides dans les aliments locaux.

7. Afin de réduire l'irradiation à un niveau de sécurité considéré comme sans danger (1 mSv/an) pour ceux qui vivent en zone contaminée au Belarus, en Ukraine et en Russie, il est de bonne pratique :

- d'épandre des engrais minéraux au moins trois fois par an sur toutes les terres agricoles, y compris les jardins, les pâturages et les prairies de fauche ;
- d'ajouter du K et de la lignine soluble dans les écosystèmes forestiers dans un rayon allant jusqu'à 10 km des colonies de peuplement pour réduire efficacement la présence de Cs-137 dans les champignons, les noix et les baies, qui sont des aliments locaux importants ;
- de fournir régulièrement un apport individuel d'entérosorbants naturels dérivés de la pectine (les pommes, les raisins de Corinthe, etc.) pendant un mois au moins quatre fois par an et d'ajouter de la pectine dans les jus de fruits quotidiens des enfants dans les jardins d'enfants et les écoles afin de favoriser l'excrétion des radionucléides ;
- de prendre des mesures préventives pour le lait, la viande, le poisson, les légumes et d'autres produits alimentaires locaux afin de réduire les concentrations de radionucléides ;

15. Conséquences pour la santé publique et l'environnement, 25 ans plus tard

- d'utiliser des entérosorbants (ferrocyanures, etc.) lors de l'engraissement des animaux destinés à la boucherie.

8. Pour abaisser les niveaux de morbidité et favoriser l'amélioration de la santé, il est de bonne pratique, dans les zones contaminées, de fournir :

- une détermination annuelle individuelle des niveaux réels de radionucléides incorporés, à l'aide d'un radiamètre pour le corps entier (pour les enfants, cela doit être fait tous les trimestres) ;
- une reconstitution de tous les niveaux d'irradiation individuelle externe depuis la période initiale après la catastrophe en utilisant la dosimétrie RPE (résonance paramagnétique électronique) et la mesure des aberrations chromosomiques, etc. Cela devrait inclure toutes les victimes, y compris celles qui ont quitté les zones contaminées : les liquidateurs, les évacués, les migrants volontaires et leurs enfants ;
- des consultations génétiques obligatoires dans les territoires contaminés (et volontaires pour tous les citoyens en âge de procréer) portant sur les risques de malformations congénitales graves dans leur descendance. Il est possible, en utilisant les caractéristiques et les spectres de mutations dans le sang ou la moelle osseuse des futurs parents, de définir le risque de donner naissance à un enfant ayant une malformation génétique et d'éviter ainsi des tragédies familiales ;
- un diagnostic prénatal des malformations congénitales graves et un soutien aux programmes d'avortements médicaux pour les familles vivant dans les territoires contaminés du Belarus, d'Ukraine et de Russie ;
- un dépistage oncologique régulier et préventif et des pratiques médicales d'anticipation pour la population des territoires contaminés.

9. La catastrophe de Tchernobyl montre clairement qu'il est impossible d'assurer une protection contre les retombées radioactives en utilisant uniquement les ressources nationales. Au cours des 20 premières années, les dommages économiques directs au Belarus, en

Ukraine et en Russie ont dépassé 500 milliards de dollars. Afin d'en atténuer certaines des conséquences, le Belarus dépense environ 20% de son budget national annuel, l'Ukraine jusqu'à 6% et la Russie jusqu'à 1%. Une aide internationale considérable sera nécessaire pour protéger les enfants pendant au moins les 25 à 30 prochaines années, en particulier ceux du Belarus, car les radionucléides restent dans les couches de la rhizosphère du sol.

10. L'absence de distribution d'iode stable en avril 1986 dans les territoires contaminés a conduit à des augmentations substantielles du nombre de victimes. En cas d'accident dans une centrale nucléaire, les pathologies thyroïdiennes sont l'une des premières conséquences ; il est donc nécessaire d'établir un système fiable pour distribuer ce produit chimique simple à tous ceux qui subissent des retombées nucléaires. Il est clair que chaque pays ayant des centrales nucléaires doit aider tous les pays à stocker de l'iodure de potassium en prévision d'une autre catastrophe dans une centrale nucléaire.

11. La tragédie de Tchernobyl montre que dans le monde entier, les sociétés (et surtout au Japon, en France, en Inde, en Chine, aux États-Unis et en Allemagne) doivent prendre en considération l'importance d'une surveillance radiologique indépendante des aliments et des niveaux d'irradiation individuels dans le but d'atténuer le danger et de prévenir des maladies supplémentaires.

12. La surveillance des radionucléides incorporés, en particulier chez les enfants, est nécessaire autour de chaque centrale nucléaire. Cette surveillance doit être indépendante de l'industrie nucléaire et les résultats doivent être mis à la disposition du public.

15.7. Les organismes associés à l'industrie nucléaire protègent d'abord l'industrie, pas le public

1. Une leçon importante tirée de l'expérience de Tchernobyl est que les experts et les organismes liés à l'industrie nucléaire ont rejeté et occulté les conséquences de la catastrophe.

2. Il a fallu 8 ou 9 ans après la catastrophe pour qu'une augmentation universelle des caractères soit admise par les responsables médicaux. Il en est allé de même pour le cancer de la thyroïde, la leucémie et les troubles organiques du système nerveux central. Traîner des pieds pour reconnaître l'évidence des pro-

15. Conséquences pour la santé publique et l'environnement, 25 ans plus tard

blèmes et les retards qui s'ensuivent dans la prévention de l'exposition et l'atténuation de ses effets, telle est la tentation de partisans de l'énergie nucléaire plus intéressés par la préservation du statu quo que par l'aide à des millions d'innocents qui souffrent sans avoir commis aucune faute. Il faut changer l'accord officiel entre l'OMS et l'AIEA [OMS, 1959] qui permet de cacher au public toute information dont la diffusion ne serait pas souhaitée par l'industrie nucléaire.

15.8. Il est impossible d'oublier Tchernobyl

1. Les données de plus en plus nombreuses sur les conséquences négatives de la catastrophe de Tchernobyl pour la santé publique et la nature n'incitent pas à l'optimisme : sans programmes nationaux et internationaux spécifiques et à grande échelle, la morbidité et la mortalité dans les territoires contaminés vont augmenter. Moralement, il est inexplicable que les experts associés à l'industrie nucléaire proclament : « Il est temps d'oublier Tchernobyl ».

2. Une politique judicieuse et efficace, aux niveaux national et international, d'atténuation et de limitation des conséquences de Tchernobyl doit être fondée sur le principe : « Il est nécessaire de comprendre et de limiter les conséquences de cette terrible catastrophe ».

15.9. Conclusion

Le président américain John F. Kennedy, parlant de la nécessité d'arrêter les essais nucléaires dans l'atmosphère, a dit en juillet 1963 :

« (...) Le nombre d'enfants et de petits enfants atteints de cancer des os, de leucémie sanguine ou de contamination pulmonaire peut sembler statistiquement faible à certains, comparé aux risques naturels pour la santé, mais ce n'est pas un problème de risque naturel et ce n'est pas un problème statistique. La perte d'une seule vie humaine ou même la malformation d'un seul bébé, qui peut naître longtemps après que nous serons partis, devrait être une préoccupation pour nous tous. Nos enfants et petits-enfants ne sont pas simplement des statistiques à l'égard desquelles nous pouvons rester indifférents ».

La catastrophe de Tchernobyl démontre que la volonté de l'industrie nucléaire d'exposer la

santé de l'humanité et de notre environnement aux risques des centrales nucléaires entraînera non seulement théoriquement, mais pratiquement, le même niveau de danger que les armes nucléaires.

Bibliographie

- Chernobyl Forum (2005). Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE) Working Draft, August 2005 (IAEA, Vienna): 280pp. http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1239_web.pdf
- Kennedy, J. F. (1963). Radio/TV address regarding the Nuclear Test Ban Treaty, July 26, 1963 (<http://www.ratical.org/radiation/inetSeries/ChernyThyrd.html>).
- Mulev, St. (2008). Chernobyl's continuing hazards. BBC News website, April 25, 17.25. GMT.
- OMS (1959). Résolution WHA12-40 de l'Assemblée générale mondiale, Art.3, §1 (<http://independentwho.org/fr/accord-wha12-40/>).

Chapitre 16. Épilogue : Tchernobyl – Fukushima (septembre 2011)

Au moment où la deuxième édition en russe du présent ouvrage était sous presse, a éclaté la catastrophe de la centrale nucléaire japonaise de Fukushima Daiichi ; à la suite d'un séisme et d'un tsunami, quatre réacteurs nucléaires et la piscine de combustible usé se sont trouvés endommagés, une grande quantité de radionucléides a été projetée dans l'atmosphère et est retombée dans l'océan, des dizaines de milliers d'habitants ont été évacués, les premières victimes sont apparues chez les « kamikazes de l'atome » – les liquidateurs japonais. Il devient de plus en plus évident que le Japon s'apprête à partager en grande partie le sort que connaissent le Belarus, l'Ukraine et la Russie à la suite de la catastrophe de Tchernobyl.

Exprimant leur plus profonde compassion envers le peuple japonais, les auteurs sont persuadés qu'il faut, posément et sans tarder, prendre connaissance des leçons de Tchernobyl pour éviter et atténuer les souffrances et limiter au maximum – pour autant que cela apparaisse possible – les conséquences de la radiocontamination. En 25 années de tragédie provoquée par Tchernobyl, une énorme expérience (à la fois bonne et mauvaise) a été acquise dans nos pays pour venir en aide aux sinistrés et organiser la vie et l'économie dans les territoires contaminés par la radioactivité. Peut-être cette expérience se révélera-t-elle utile au Japon.

L'expérience de Tchernobyl témoigne de ce qu'on ne pourra pas retrouver le mode de vie antérieur, dans un avenir prévisible, dans les territoires fortement contaminés. Ici, une existence sans danger ne sera possible qu'à condition de prendre des mesures de sécurité dans la vie de famille, l'agriculture et l'industrie. Parmi les mesures incontournables :

- il faut élaborer un système de mesures pour éliminer plus rapidement les radionucléides à longue période des couches du sol où s'enracinent les végétaux ;
- il faut mettre au point des techniques de production d'aliments sains (exempts de radionucléides), de production de cultures non alimentaires à usages techniques et autres ;
- il faut apprendre aux gens à échapper aux radionucléides de Fukushima, à se protéger efficacement contre la pénétration de radionucléides dans leur organisme et, d'autre part, à constamment débarrasser leur organisme des radionucléides qui s'y retrouvent (il faut pouvoir accéder à une large gamme de radioprotecteurs et d'incorporants) ;
- le gouvernement et les autorités locales doivent élaborer des programmes spéciaux pour l'organisation de la vie dans les territoires contaminés, y compris une puissante assistance médicale, des programmes sociaux et autres.

Assurer la radioprotection et l'aide au développement socio-économique des territoires sinistrés exige avant tout la fondation d'un organe d'État doté de pouvoirs spéciaux, bénéficiant d'une forte dotation financière et d'une totale liberté décisionnelle.

Autre leçon de Tchernobyl : un soutien international se révélera indispensable même pour un pays aussi développé et puissant que le Japon. En outre, il pourra bénéficier de l'expérience de coopération humanitaire à grande échelle, pour venir en aide à la population sinistrée, apportée par des organisations (non gouvernementales) d'utilité publique en matière de suivi radiométrique et de radioprotection.

Et pour éviter que de semblables tragédies ne se renouvellent, nous espérons que le courageux et talentueux peuple japonais refusera le recours à l'énergie nucléaire et son inacceptable dangerosité et se tournera, pour la production d'électricité, vers les inépuisables sources d'énergie géothermique et océanique dont la nature a doté ce remarquable pays.

Alexey Yablokov (Russie),
Alexey Nesterenko (Belarus),
Natalia Preobrajenskaya (Ukraine)
Septembre 2011

Sommaire détaillé

AUX LECTEURS FRANÇAIS.....	7
AVANT-PROPOS	9
PRÉFACE.....	12
REMERCIEMENTS.....	16
INTRODUCTION : LA DIFFICILE VÉRITÉ SUR TCHERNOBYL	19
PARTIE I. LA CONTAMINATION LIÉE À TCHERNOBYL : UNE VUE D'ENSEMBLE	22
CHAPITRE 1. CONTAMINATION LIÉE À TCHERNOBYL À TRAVERS LE TEMPS ET L'ESPACE.....	23
1.1. Contamination radioactive.....	24
1.2. Caractéristiques géographiques de la contamination.....	24
1.2.1. Europe	25
1.2.1.1. Belarus.....	29
1.2.1.2. Ukraine	32
1.2.1.3. Russie d'Europe.....	32
1.2.1.4. Autres pays d'Europe.....	34
1.2.2. Asie.....	35
1.2.3. Amérique du Nord.....	35
1.2.4. Régions arctiques.....	36
1.2.5. Afrique du Nord	36
1.2.6. Hémisphère Sud	36
1.3. Estimations des principales émissions de radionucléides de Tchernobyl	36
1.4. Caractéristiques écologiques de la contamination	38
1.4.1. Irrégularité et inégalité des dépôts de contamination	38
1.4.2. Problème des « particules chaudes »	39
1.5. Modifications dans le spectre des radionucléides	42
1.6. Contamination par le plomb	43
1.7. Évaluation des doses reçues par la population à la suite de l'accident de Tchernobyl	43
1.8. Combien de personnes étaient et seront exposées à la contamination de Tchernobyl ?	43
1.9. Conclusion	45
PARTIE II. CONSÉQUENCES DE LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL SUR LA SANTÉ PUBLIQUE.....	49
CHAPITRE 2. CONSÉQUENCES DE TCHERNOBYL SUR LA SANTÉ PUBLIQUE	50
2.1. Difficultés à obtenir des données objectives sur l'impact de la catastrophe.....	50
2.2. Les « protocoles scientifiques »	54
2.3. Rejeter l'impact des radionucléides de Tchernobyl est une erreur.....	56

2.4. Déterminer l'impact de la catastrophe de Tchernobyl sur la santé publique	57
CHAPITRE 3. MORBIDITÉ ET INVALIDITÉ GLOBALES	60
3.1. Belarus	60
3.2. Ukraine.....	63
3.3. Russie	67
3.4. Autres pays	69
CHAPITRE 4. LE VIEILLISSEMENT ACCÉLÉRÉ COMME CONSÉQUENCE DE LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL	74
CHAPITRE 5. MALADIES NON CANCÉREUSES APRÈS LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL	77
5.1. Maladies du sang et du système lymphatique	77
5.1.1. Maladies du sang et des organes hématopoïétiques	77
5.1.1.1. Belarus.....	77
5.1.1.2. Ukraine	79
5.1.1.3. Russie	80
5.1.2. Maladies cardiovasculaires.....	82
5.1.2.1. Belarus.....	82
5.1.2.2. Ukraine	83
5.1.2.3. Russie	84
5.1.2.4. Autres pays	85
5.1.3. Conclusion.....	85
5.2. Modifications génétiques.....	85
5.2.1. Changements dans la fréquence des mutations	86
5.2.1.1. Mutations chromosomiques.....	86
5.2.1.1.1. Belarus.....	86
5.2.1.1.2. Ukraine.....	87
5.2.1.1.3. Russie	89
5.2.1.1.4. Autres pays	91
5.2.1.2. Mutations génomiques.....	92
5.2.1.2.1. Trisomie-21 (syndrome de Down)	92
5.2.1.2.2. Trisomie-13 et autres mutations génomiques	93
5.2.2. Polymorphisme génétique des protéines et autres maladies génétiques.....	93
5.2.3. Les changements dans l'ADN satellite	93
5.2.4. Anomalies congénitales de développement d'origine génétique	94
5.2.5. Enfants de parents irradiés.....	94
5.2.6. Les aberrations chromosomiques comme indicateurs de l'état de santé.....	96
5.2.7. Conclusion.....	97
5.3. Maladies du système endocrinien.....	98
5.3.1. Évaluation du système endocrinien. Données sur la maladie.....	98
5.3.1.1. Belarus.....	98
5.3.1.2. Ukraine	100
5.3.1.3. Russie	101
5.3.2. Insuffisance thyroïdienne	103
5.3.2.1. Belarus.....	104

5.3.2.2. Ukraine	105
5.3.2.3. Russie	106
5.3.2.4. Autres pays	107
5.3.3. Conclusion.....	107
5.4. Maladies du système immunitaire.....	108
5.4.1. Belarus.....	108
5.4.2. Ukraine	110
5.4.3. Russie	112
5.4.4. Conclusion.....	113
5.5. Maladies du système respiratoire	113
5.5.1. Belarus.....	114
5.5.2. Ukraine	114
5.5.3. Russie	116
5.5.4. Conclusion.....	117
5.6. Maladies de l'appareil urogénital et troubles de la reproduction	117
5.6.1. Belarus.....	117
5.6.2. Ukraine	118
5.6.3. Russie	120
5.6.4. Autres pays	122
5.6.5. Conclusion.....	123
5.7. Maladies des os et des muscles	123
5.7.1. Belarus.....	123
5.7.2. Ukraine	123
5.7.3. Russie	124
5.7.4. Conclusion.....	125
5.8. Maladies du système nerveux et des organes des sens.....	125
5.8.1. Maladies du système nerveux.....	126
5.8.1.1. Belarus.....	126
5.8.1.2. Ukraine	126
5.8.1.3. Russie	129
5.8.1.4. Autres pays	133
5.8.1.5. Conclusion.....	133
5.8.2. Maladies des organes des sens	133
5.8.2.1. Belarus.....	134
5.8.2.2. Ukraine	135
5.8.2.3. Russie	136
5.8.2.4. Autres pays	136
5.8.3. Conclusion.....	137
5.9. Maladies du système digestif et des organes internes	137
5.9.1. Belarus.....	137
5.9.2. Ukraine	138
5.9.3. Russie	139
5.9.4. Conclusion.....	141

5.10. Maladies de la peau associées à la catastrophe de Tchernobyl.....	141
5.10.1. Belarus.....	142
5.10.2. Ukraine	142
5.10.3. Russie	142
5.11. Infections et infestations parasitaires.....	143
5.11.1. Belarus.....	143
5.11.2. Ukraine	144
5.11.3. Russie	144
5.11.4. Autres pays	145
5.11.5. Conclusion.....	145
5.12. Malformations congénitales	145
5.12.1. Belarus.....	146
5.12.2. Ukraine	148
5.12.3. Russie	150
5.12.4. Autres pays	151
5.12.5. Conclusion.....	153
5.13. Autres maladies.....	153
5.14. Conclusion	153
CHAPITRE 6. MALADIES ONCOLOGIQUES APRÈS LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL... 177	
6.1. Augmentation générale de la morbidité oncologique	178
6.1.1. Belarus.....	178
6.1.2. Ukraine	179
6.1.3. Russie	179
6.1.4. Autres pays	180
6.2. Cancer de la thyroïde.....	180
6.2.1. Combien de personnes ont un cancer de la thyroïde ?	180
6.2.1.1. Belarus.....	181
6.2.1.2. Ukraine	182
6.2.1.3. Russie	185
6.2.1.4. Autres pays	187
6.2.2. Quand de nouveaux cas de cancer de la thyroïde de Tchernobyl vont-ils se produire et combien ?.....	190
6.3. Cancer du sang – leucémie	192
6.3.1. Belarus.....	192
6.3.2. Ukraine	194
6.3.3. Russie	195
6.3.4. Autres pays	196
6.4. Autres cancers	197
6.4.1. Belarus.....	197
6.4.2. Ukraine	199
6.4.3. Russie	200
6.5. Conclusions.....	200

CHAPITRE 7. MORTALITÉ APRÈS LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL	208
7.1. Augmentation de la mortalité prénatale	208
7.1.1. Belarus.....	209
7.1.2. Ukraine	209
7.1.3 Russie	209
7.1.4. Autres pays	210
7.2. Augmentation de la mortalité périnatale, néonatale et infantile	213
7.2.1. Mortalité périnatale	213
7.2.1.1. Belarus.....	213
7.2.1.2. Ukraine	214
7.2.1.3. Autres pays	214
7.2.2. Mortalité des nourrissons	215
7.2.2.1. Ukraine	215
7.2.2.2. Russie	215
7.2.2.3. Autres pays	215
7.2.3. Mortalité infantile (de 0 à 14 ans)	218
7.2.3.1. Belarus.....	218
7.2.3.2. Ukraine	218
7.2.3.3. Russie	218
7.3. Mortalité chez les liquidateurs.....	218
7.3.1. Belarus.....	218
7.3.2. Ukraine	218
7.3.3. Russie	219
7.4. Mortalité globale	221
7.4.1. Belarus.....	221
7.4.2. Ukraine	221
7.4.3. Russie	222
7.5. Calculs de mortalité globale établis d'après les risques cancérogènes.....	222
7.6. Calculs de mortalité globale par comparaison des territoires les plus et les moins contaminés.	223
7.7. Quel est le nombre total des victimes de Tchernobyl ?	224
7.8. Conclusion	226
CONCLUSION DE LA PARTIE II	231
PARTIE III. CONSÉQUENCES DE LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL POUR L'ENVIRONNEMENT.....	234
CHAPITRE 8. CONTAMINATION DE L'ATMOSPHÈRE, DE L'EAU ET DU SOL APRÈS TCHERNOBYL	236
8.1. Contamination par Tchernobyl de l'air au niveau du sol	236
8.1.1. Belarus, Ukraine et Russie	236
8.1.2. Autres pays	238
8.2. Contamination par Tchernobyl des écosystèmes aquatiques	239
8.2.1. Belarus, Ukraine et Russie	240

8.2.2. Autres pays	241
8.3. Contamination des sols par Tchernobyl	243
8.3.1. Belarus, Ukraine et Russie	243
8.3.2. Autres pays	243
8.4. Conclusion	246
CHAPITRE 9. IMPACT DE LA RADIOACTIVITÉ DE TCHERNOBYL SUR LA FLORE.....	250
9.1. Contamination radioactive des plantes, champignons et lichens	251
9.1.1. Plantes	251
9.1.2. Champignons et lichens.....	257
9.2. Anomalies morphologiques et tumeurs radio-induites.....	259
9.3. Altérations génétiques	261
9.4. Autres changements chez les plantes et champignons des territoires contaminés.....	263
CHAPITRE 10. IMPACT DE LA RADIOACTIVITÉ DE TCHERNOBYL SUR LA FAUNE.....	267
10.1. L'incorporation des radionucléides.....	267
10.2. Anomalies de la reproduction.....	273
10.3. Modifications génétiques	277
10.4. Modifications d'autres caractéristiques biologiques.....	280
10.5. Conclusion	285
CHAPITRE 11. IMPACT DE LA RADIOACTIVITÉ DE TCHERNOBYL SUR LES MICRO- ORGANISMES.....	291
CONCLUSION DE LA PARTIE III.....	295
PARTIE IV. RADIOPROTECTION APRÈS LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL.....	297
CHAPITRE 12. CONTAMINATION RADIOACTIVE DE L'ALIMENTATION ET DES PERSONNES PAR TCHERNOBYL	299
12.1. Surveillance radiologique des aliments.....	299
12.1.1. Belarus.....	299
12.1.2. Ukraine	301
12.1.3. Autres pays et régions	301
12.2. Suivi des radionucléides incorporés	304
12.2.1. Belarus.....	304
12.2.2. Ukraine et Russie.....	312
12.2.3. Autres pays	312
12.3. Conclusion	313
CHAPITRE 13. DÉCORPORATION DES RADIONUCLÉIDES DE TCHERNOBYL	316
13.1. Réduire les radionucléides dans les aliments.....	316
13.2. Résultats de la décontamination par les entérosorbants à base de pectine	317
13.3. Nouveaux principes de radioprotection reposant sur les mesures directes....	321

13.4. Où l'aide internationale pour les enfants de Tchernobyl pourrait être particulièrement efficace	321
13.5. Conclusions.....	322
CHAPITRE 14. MESURES DE PROTECTION POUR LES ACTIVITÉS DANS LES TERRITOIRES CONTAMINÉS PAR LA RADIOACTIVITÉ DE TCHERNOBYL	324
14.1. Mesures pour la radioprotection dans l'agriculture.....	325
14.2. Mesures de radioprotection en sylviculture, chasse et pêcheries	326
14.3. Mesures de radioprotection dans la vie quotidienne	328
14.4. Conclusion	329
CONCLUSION DE LA PARTIE IV	331
PARTIE V. RÉSUMÉ DES CONSÉQUENCES, 25 ANS APRÈS.....	332
CHAPITRE 15. CONSÉQUENCES DE LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL POUR LA SANTÉ PUBLIQUE ET L'ENVIRONNEMENT, 25 ANS PLUS TARD	333
15.1. L'échelle planétaire de la catastrophe.....	333
15.2. Obstacles à l'analyse des conséquences de Tchernobyl.....	334
15.3. Conséquences de Tchernobyl sur la santé	335
15.4. Nombre total de victimes.....	337
15.5. Retombées de Tchernobyl et conséquences environnementales.....	337
15.6. Efforts sociaux et environnementaux visant à réduire au minimum les conséquences de la catastrophe	339
15.7. Les organismes associés à l'industrie nucléaire protègent d'abord l'industrie, pas le public	340
15.8. Il est impossible d'oublier Tchernobyl.....	341
15.9. Conclusion	341
CHAPITRE 16. ÉPILOGUE : TCHERNOBYL – FUKUSHIMA	342
 <i>SOMMAIRE DÉTAILLÉ</i>	 343
<i>LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX</i>	350
<i>INDEX</i>	364

Liste des figures et tableaux

Figure 1.1. Répartition spatiale des radionucléides de Tchernobyl dans l'Hémisphère Nord 10 jours après l'explosion	23
Figure 1.2. Répartition géographique des radionucléides de Tchernobyl	24
Figure 1.3. Retombées radioactives de Tchernobyl dans l'Hémisphère Nord	24
Tableau 1.1. Estimations de la répartition géographique du Cs-137 de Tchernobyl	25
Figure 1.4. Six étapes de la formation des émissions radioactives gazeuses en aérosol de Tchernobyl du 26 avril au 4 mai 1986	25
Figure 1.5. Une version non officielle de la répartition des émissions radioactives gazeuses en aérosol au-dessus de l'Europe du 26 avril 2006 au 6 mai 1986	26
Figure 1.6. Une partie des principales régions d'Europe contaminées par le Cs-137 au-delà de 1 Ci/km ² à la suite de la catastrophe de Tchernobyl	27
Figure 1.7. Trajet de l'un des nuages radioactifs de Tchernobyl au-dessus de l'Europe du 27 avril au début mai 1986.....	27
Tableau 1.2. Contamination des pays européens par le Cs-137 de Tchernobyl	28
Figure 1.8. Reconstitution de la contamination du Belarus par l'I-131 le 10 mai 1986.....	30
Figure 1.9. Reconstitution de la contamination du Belarus par le Te-132 et l'I-132 d'avril à mai 1986	30
Figure 1.10. Reconstitution de la contamination du Belarus par le Cs-137 le 10 mai 1986.....	31
Figure 1.11. Contamination du Belarus par le Sr-90 début 2005	31
Figure 1.12. Contamination du Belarus par les radionucléides transuraniens en 2005	32
Figure 1.13. Contamination de l'Ukraine par le Cs-137 et le Pu à la suite de la catastrophe de Tchernobyl	33
Tableau 1.3. Contamination radioactive de la Russie européenne à la suite de la catastrophe de Tchernobyl	34
Figure 1.14. Activité du Cs-137 dans les sédiments du lac Dabusupao (nord-est de la Chine).....	35
Tableau 1.4. Données sur les pics de concentration de certains radionucléides aux États-Unis	36
Tableau 1.5. Quelques estimations de la quantité des principaux radionucléides émis du 26 avril au 20 mai 1986 par le réacteur n° 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl	37
Figure 1.15. Concentration en taches de Cs-137 et de Ce-144 dans la zone forestière située dans le périmètre des 30 km autour de Tchernobyl	38
Figure 1.16. Cartes des retombées de Tchernobyl : (A) Sb-124, 125 ; (B) Cs-137 et (C) Ag-110m en Grèce continentale.....	40
Figure 1.17. Dynamique de la structure radio-isotopique de la contamination par Tchernobyl	42
Tableau 1.6. Dose collective totale réelle d'irradiation supplémentaire due à la catastrophe de Tchernobyl	43
Tableau 1.7. Population souffrant de la catastrophe de Tchernobyl au Belarus, en Ukraine et en Russie européenne	44
Tableau 1.8. Estimation de la population exposée à la contamination radioactive par Tchernobyl hors de l'Europe en 1986	45
Tableau 1.9. Estimation de la population souffrant de la contamination radioactive par Tchernobyl à différents niveaux de radiations, établie sur des doses collectives.....	45

Liste des figures et tableaux

Tableau 3.1. Contamination par la radioactivité et les métaux lourds chez les enfants des zones fortement et moins contaminées.....	61
Tableau 3.2. Fréquence des symptômes sur l'état de santé – Mêmes enfants que dans le tableau 3.1	62
Tableau 3.3. Fréquence des syndromes cliniques et diagnostics - Mêmes enfants que dans les tableaux 3.1 et 3.2.....	62
Figure 3.1. Dynamique des invalidités primaires au Belarus	63
Tableau 3.4. Morbidité primaire et morbidité totale des enfants de 0 à 14 ans des territoires fortement contaminés d'Ukraine	63
Figure 3.2. Nombre d'enfants « médicalement en bonne santé » et atteints de « pathologies chroniques » dans les territoires contaminés d'Ukraine de 1987 à 2003.....	64
Figure 3.3. Nombre d'enfants invalides en Ukraine de 1987 à 2003	64
Tableau 3.5. État de santé des enfants des territoires contaminés d'Ukraine de 1986 à 1991.....	65
Tableau 3.6. Maladies invalidantes primaires liées à la catastrophe de Tchernobyl de 1992 à 2005.....	65
Figure 3.4. Prévalence des maladies non cancéreuses chez les adultes évacués et dans la population de l'Ukraine de 1988 à 2003	65
Tableau 3.7. Pourcentage de personnes « médicalement saines » dans les trois catégories de victimes de Tchernobyl en Ukraine de 1987 à 1994	66
Tableau 3.8. Morbidité dans les territoires irradiés d'Ukraine	66
Tableau 3.9. Invalidités primaires en Ukraine de 1987 à 1994	66
Figure 3.5. Invalidité suite à des maladies non cancéreuses chez les liquidateurs ukrainiens (1986-1987) de 1988 à 2003.....	66
Figure 3.6. Dynamique, durant la période 1998-2010, du taux d'invalidité chez les liquidateurs des années 1986-1987 en fonction de leur âge au moment de la catastrophe.....	67
Tableau 3.10. Morbidité des enfants selon le diagnostic initial dans les districts contaminés de la province de Kaluga de 1981 à 2000	67
Tableau 3.11. État de santé des liquidateurs russes : pourcentage de personnes officiellement reconnues comme « malades »	68
Tableau 3.12. Résultats du suivi dynamique complexe de 100 familles de liquidateurs des années 1986-1988 du secteur de Zalesny dans la ville de Novomoskovsk et de 100 familles qui y habitaient effectivement, sur une durée de 15 années après la catastrophe.....	69
Tableau 3.13. Handicap chez les liquidateurs comparé aux doses calculées de radiation de 1990 à 1993	69
Figure 3.7. Pourcentage de nouveau-nés ayant un poids de naissance inférieur à 1,5 kg de 1983 à 1992 et niveau de Sr-90 dans le sol au Pays de Galles	69
Tableau 5.1. Statistiques des cas annuels d'enfants biélorusses ayant une dépression des organes hématopoïétiques après la catastrophe.....	78
Tableau 5.2. Dynamique de la corrélation par type lymphopoiétique chez les liquidateurs russes	82
Tableau 5.3. Caractéristiques cardiovasculaires des liquidateurs hommes de la province de Voronej.....	84
Tableau 5.4. Incidence de cellules aberrantes et d'aberrations chromosomiques avant et après la catastrophe de Tchernobyl	86
Tableau 5.5. Nombre de micronoyaux dans les lymphocytes des liquidateurs biélorusses 15 ans après la catastrophe	87

Liste des figures et tableaux

Tableau 5.6. Incidence de divers types d'aberrations chromosomiques parmi les « samosels » (occupants sans titre) et les habitants de la province de Kiev.....	88
Tableau 5.7. Fréquence des aberrations chromosomiques parmi les mêmes 20 « samosels » (occupants sans titre) selon les examens de 1998-1999 et 2001.....	88
Tableau 5.8. Comparaison de l'incidence des aberrations chromosomiques entre une zone de 30 km de la province de Kiev (Ukraine) et les territoires fortement contaminés de la province biélorusse de Gomel, de 1986 à 1988.....	88
Tableau 5.9. Taux d'aberrations chromosomiques chez les enfants et les adolescents de territoires contaminés, 17 ans après la catastrophe	89
Tableau 5.10. Nombre de cellules mutantes et incidence des aberrations chromosomiques chez les femmes des territoires contaminés des provinces de Toulou et de Briansk présentant un myome utérin.....	89
Tableau 5.11. Incidence d'aberrations chromosomiques chez les habitants des territoires contaminés de la province de Briansk.....	90
Tableau 5.12. Mutations chromosomiques chez différents groupes de liquidateurs au cours des trois premiers mois après la catastrophe.....	90
Figure 5.1. Taux moyen de dicentriques dans un groupe de liquidateurs de 1986 au cours de 18 années après la catastrophe	90
Tableau 5.13. Nombre d'aberrations chromosomiques dans les lymphocytes des liquidateurs de 1990 à 1995	91
Tableau 5.14. Fréquence de translocations chez les liquidateurs	91
Tableau 5.15. Nombre d'aberrations chromosomiques chez les liquidateurs salariés du Centre nucléaire fédéral russe de Sarov	91
Tableau 5.16. Incidence du syndrome de Down dans 17 districts fortement contaminés et 30 autres moins contaminés du Belarus de 1987 à 2004.....	92
Figure 5.2. Prévalence de la trisomie-21 au Belarus de 1982 à 1992 et modèle du point de changement montrant un saut marqué et un « bâton brisé » en décembre 1986 puis un pic en janvier 1987	92
Figure 5.3. Prévalence de la trisomie-21 à Berlin-Ouest de 1982 à 1992 et modèle du point de changement montrant un saut marqué en décembre 1986 et un pic en janvier 1987.....	93
Figure 5.4. Prévalence des anomalies congénitales du développement (ACD) chez les nourrissons nés de familles de liquidateurs (1986-1987) dont le père a travaillé pour l'industrie nucléaire russe de 1988 à 1994.....	94
Tableau 5.17. Statistiques sanitaires de 1987 sur des enfants de 11 ans nés de liquidateurs biélorusses exposés en 1986	95
Tableau 5.18. Premiers rapports au sujet des maladies chez les enfants de liquidateurs de la province de Briansk.....	95
Tableau 5.19. Morbidité primaire chez les enfants des liquidateurs de Briansk et tous les enfants de la province de Briansk	96
Tableau 5.20. Valeur moyenne des caractéristiques antioxydantes chez des groupes de liquidateurs russes présentant divers niveaux d'aberrations chromosomiques	97
Tableau 5.21. Cas de diabète de type 1 pour 100 000 enfants et adolescents avant et après la catastrophe dans les territoires fortement et moins contaminés du Belarus.....	99
Tableau 5.22. Concentration d'hormones chez les liquidateurs biélorusses hommes	100
Tableau 5.23. Pathologies endocriniennes globales chez les enfants de la province de Briansk de 1995 à 1998 dans les zones contaminées par le Cs-137 au-delà de 5 Ci/km ²	101
Figure 5.5. Incidence des maladies endocriniennes et du métabolisme (1) chez les enfants de liquidateurs de la ville d'Obninsk, province de Kalouga ; (2) les enfants d'Obninsk ; (3) les enfants de la Russie.....	102

Liste des figures et tableaux

Tableau 5.24. Pathologies endocriniennes globales chez les adultes de la province de Briansk de 1995 à 1998 dans les zones contaminées par le Cs-137 au-delà de 5 Ci/km ²	102
Tableau 5.25. Pathologies endocriniennes globales chez les adultes et les liquidateurs de la province de Briansk de 1995 à 1998 dans les zones contaminées par le Cs-137 au-delà de 5 Ci/km ²	102
Tableau 5.26. Pathologies endocriniennes chez les liquidateurs russes	103
Tableau 5.27. Modifications structurelles de la glande thyroïde chez les liquidateurs biélorusses hommes (1986-1987).....	105
Tableau 5.28. Incidence de pathologies somatiques chez les enfants présentant divers degrés d'hyperplasie de la thyroïde.....	106
Figure 5.6. Fréquence des thyroïdites chroniques chez les adolescents et les adultes d'Ukraine de 1992 à 2000	106
Tableau 5.29. Cas de premier et de second degré d'hyperplasie de la glande thyroïde chez les enfants des districts hautement et lourdement contaminés (Cs-137 $\geq$ 5 Ci/km ²) de la province de Briansk de 1995 à 1998.....	107
Tableau 5.30. État immunitaire des enfants des territoires contaminés du Belarus ayant des maladies fréquentes et prolongées	109
Tableau 5.31. Nombre de lymphocytes T et B chez 150 liquidateurs hommes biélorusses en 1996.....	110
Figure 5.7. Morbidité due à la bronchite chronique et à la broncho-pneumopathie chronique obstructive (BPCO) chez les liquidateurs ukrainiens de 1996 à 2004	115
Figure 5.8. Maladies broncho-pulmonaires chez les liquidateurs ukrainiens hommes sur une période de 20 ans.....	115
Tableau 5.32. Morbidité respiratoire chez les enfants des districts de la province de Briansk contaminés à un niveau supérieur à 5 Ci/km ² de 1995 à 1998.....	116
Tableau 5.33. Morbidité respiratoire chez la population adulte des zones contaminées à un niveau supérieur à 5 Ci/km ² de la province de Briansk de 1995 à 1998	116
Tableau 5.34. Morbidité respiratoire chez les liquidateurs russes au cours des 8 premières années après la catastrophe.....	117
Tableau 5.35. Données concernant les femmes enceintes irradiées pendant leur enfance en 1986 dans les territoires contaminés.....	119
Tableau 5.36. Morbidité urogénitale chez les enfants des districts de la province de Briansk irradiés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	121
Tableau 5.37. Morbidité urogénitale chez les adultes des districts de la province de Briansk irradiés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	121
Tableau 5.38. Fréquence des maladies du système reproductif et des pathologies précancéreuses chez les femmes de certains territoires des provinces de Toul et Briansk contaminés par le Cs-137.....	121
Figure 5.9. Incidence d'avortements spontanés chez les familles de liquidateurs et dans la province de Riazan de 1987 à 1994.....	121
Tableau 5.39. Dynamique de la morbidité urogénitale chez les liquidateurs de 1986 à 1993.....	122
Tableau 5.40. Concentration de radionucléides dans le corps des femmes enceintes et les organes des enfants mort-nés	123
Tableau 5.41. Morbidité ostéo-musculaire globale chez les enfants des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	124
Tableau 5.42. Morbidité ostéo-musculaire primaire chez les enfants de la province de Briansk de 1995 à 1998.....	124
Tableau 5.43. Morbidité ostéo-musculaire globale chez les adultes des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	124

Liste des figures et tableaux

Tableau 5.44. Morbidité ostéo-musculaire chez les liquidateurs et les adultes des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998.....	125
Tableau 5.45. Fréquence des désordres neurologiques et psychiatriques chez les enfants irradiés <i>in utero</i>	127
Figure 5.10. Évaluation du développement intellectuel (QI) pour un groupe d'enfants de personnes évacuées de la ville de Pripiat et pour des enfants de la ville de Kiev, moins irradiés	127
Tableau 5.46. Paramètres quantitatifs du développement intellectuel d'enfants de personnes fortement irradiées évacuées de la ville de Pripiat et d'enfants moins exposés de la ville de Kiev	128
Tableau 5.47. Morbidité du système nerveux dans les territoires contaminés d'Ukraine de 1987 à 1992	128
Tableau 5.48. Morbidité du système nerveux et des organes des sens chez les enfants des districts de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998.....	130
Tableau 5.49. Dynamique de la morbidité du système nerveux et des organes des sens chez les liquidateurs russes de 1986 à 1993	131
Tableau 5.50. Morbidité du système nerveux et des organes des sens chez les liquidateurs et les adultes des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1994 à 1998.....	131
Tableau 5.51. Incidence des cataractes au Belarus de 1993 à 1995.....	134
Tableau 5.52. Incidence des opacités des deux cristallins chez les enfants vivant dans des territoires contaminés à divers niveaux en 1992	134
Figure 5.11. Nombre d'opacités bilatérales des cristallins et niveau de Cs-137 incorporé chez les enfants biélorusses	135
Tableau 5.53. Anomalies du pancréas dépistées par échographie chez les liquidateurs ukrainiens hommes.....	139
Tableau 5.54. Incidence des anomalies dentaires chez les enfants des provinces de Toula et Briansk nés avant et après la catastrophe et exposés à divers niveaux de contamination.....	139
Tableau 5.55. Morbidité globale du système digestif chez les enfants des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	140
Tableau 5.56. Morbidité primitive du système digestif chez les enfants des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	140
Tableau 5.57. Morbidité générale du système digestif chez les adultes des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	140
Tableau 5.58. Morbidité du système digestif chez les liquidateurs russes	140
Tableau 5.59. Morbidité générale du système digestif chez les liquidateurs et la population adulte des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1994 à 1998	140
Figure 5.12. Maladies des systèmes digestif, circulatoire, osseux et musculaire chez les liquidateurs de la ville et la province de Moscou	141
Tableau 5.60. Ensemble des maladies de la peau chez les enfants des territoires du sud-ouest de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	142
Tableau 5.61. Maladies primitives de la peau chez les enfants des territoires du sud-ouest de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	142
Tableau 5.62. Ensemble des maladies de la peau chez les adultes des territoires du sud-ouest de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	142
Tableau 5.63. Maladies primitives de la peau chez les adultes des territoires du sud-ouest de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	143

Liste des figures et tableaux

Tableau 5.64. Malformations de la peau et des tissus sous-cutanés chez les liquidateurs russes	143
Tableau 5.65. Maladies infantiles infectieuses et parasitaires des territoires de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	145
Tableau 5.66. Incidence de la maladie de Gruby (teigne) dans la province de Briansk de 1998 à 2002	145
Tableau 5.67. Incidence des malformations congénitales officiellement enregistrées dans les districts biélorusses contaminés à différents niveaux de 1982 à 1992	146
Tableau 5.68. Incidence des malformations congénitales et nombre total d'enfants nouveau-nés et mort-nés des zones fortement et moins contaminées du Belarus avant et après la catastrophe	147
Tableau 5.69. Incidence des malformations congénitales officiellement enregistrées de 17 districts fortement contaminés et de 30 autres moins contaminés du Belarus	147
Tableau 5.70. Incidence des malformations congénitales officiellement enregistrées des districts contaminés du Belarus	148
Tableau 5.71. Incidence des malformations congénitales enregistrées dans les provinces biélorusses de Gomel et Moguilev avant et après la catastrophe	148
Tableau 5.72. Taux de malformations congénitales enregistrées officiellement et différents niveaux de contamination	148
Tableau 5.73. Comparaison entre l'incidence des malformations congénitales, des fœtus à avortement provoqué médicalement ou non –enregistrés officiellement –, à Minsk et celle des provinces de Gomel et Moguilev contaminées au-delà de 5 Ci/km ²	148
Figure 5.13. Incidence des malformations congénitales chez les enfants nés de familles de liquidateurs d'Ukraine ayant travaillé en 1986-1987	149
Figure 5.14. Nombre de cas de tumeurs du système nerveux central chez les enfants de moins de 3 ans de 1981 à 2002, d'après des données de l'Institut de neurochirurgie de Kiev	150
Tableau 5.74. Morbidité par malformation congénitale dans les districts de la province de Briansk contaminés au-delà de 5 Ci/km ² de 1995 à 1998	151
Tableau 5.75. Incidence des défauts du tube neural en Turquie avant et après la catastrophe	152
Tableau 5.76. Anomalies congénitales du développement des enfants irradiés <i>in utero</i> résultant de la catastrophe de Tchernobyl dans d'autres pays que le Belarus, l'Ukraine et la Russie européenne	152
Tableau 5.77. Incidence de 12 groupes de maladies chez les liquidateurs	154
Tableau 5.78. Incidence de la morbidité juvénile de la province de Gomel au Belarus	154
Tableau 5.79. Incidence de la morbidité chez les adultes et les adolescents du nord de l'Ukraine de 1987 à 1992	155
Tableau 6.1. Survenue de cancers avant et après la catastrophe dans les territoires biélorusses contaminés par le Cs-137	178
Tableau 6.2. Fréquence moyenne/an de tous types de cancer dans l'ensemble des régions du Belarus et dans tout le pays avant la catastrophe (1976-1985) et 4 à 14 ans après (1990-2000)	179
Figure 6.1. Cas de cancers enregistrés pour la première fois au Belarus de 1975 à 2005	179
Tableau 6.3. Morbidité par cancers chez les enfants dans la province de Toulou soumise à divers niveaux de contamination, 1995-1997	180
Figure 6.2. Comparaison de la morbidité générale par cancers dans la province lourdement contaminée de Briansk par rapport à la province moins contaminée de Kalouga et à la Russie	180
Figure 6.3. Taux d'incidence annuelle du cancer de la thyroïde au Belarus et en Ukraine chez les personnes qui étaient des enfants et des adolescents en 1986	181

Liste des figures et tableaux

Figure 6.4. Données prospectives et réelles sur la morbidité par cancer de la thyroïde chez les enfants et les adultes au Belarus	181
Figure 6.5. Morbidité générale par cancer de la thyroïde chez les enfants et les adultes du Belarus après la catastrophe	181
Figure 6.6. Cas de cancers primaires de la thyroïde chez les jeunes de 0 à 18 ans en 1986.....	181
Tableau 6.4. Nombre de cancers de la thyroïde au Belarus, d'après diverses sources	182
Figure 6.7. Morbidité par cancer de la thyroïde dans cinq provinces contaminées du Belarus et à Minsk par rapport à la province la moins contaminée de Grodno.....	183
Tableau 6.5. Nombre de cancers de la thyroïde en Ukraine	184
Figure 6.8. Nombre de cas de cancers de la thyroïde en Ukraine chez les personnes âgées de 0 à 18 ans au moment de la fusion.....	184
Figure 6.9. Morbidité par cancer de la thyroïde de 1962 à 2004 en Ukraine chez les hommes et les femmes	185
Figure 6.10. Morbidité par cancer de la thyroïde dans la province et la ville très contaminées de Kiev et dans la province moins contaminée de Jitomir	185
Figure 6.11. Nombre absolu de cas de cancers de la thyroïde chez les enfants et les adolescents âgés de 0 à 18 ans au moment de la fusion et dans la population adulte, dans la province d'Orel de 1986 à 2000	186
Tableau 6.6. Nombre de cas de cancers de la thyroïde en Russie européenne selon diverses sources.....	186
Figure 6.12. Nombre de cas de cancer de la thyroïde diagnostiqués par année dans quatre régions de Russie (Briansk, Toulou, Kalouga, Orel) très lourdement contaminées, au cours de la période 1981-2008.....	187
Figure 6.13. Contamination totale de la France en I-131 provenant de Tchernobyl	188
Figure 6.14. Incidence du cancer de la thyroïde de 1975 à 2004 dans la région Champagne-Ardenne, France.....	188
Figure 6.15. Incidence des cancers de la thyroïde par types histologiques différents et par sexe en Grèce de 1963 à 2000.....	189
Figure 6.16. Morbidité par cancer de la thyroïde dans les zones contaminées après la catastrophe dans l'est de la Roumanie et dans l'ensemble de la Roumanie de 1982 à 1998.....	189
Figure 6.17. Incidence du cancer papillaire de la thyroïde chez les femmes aux États-Unis de 1975 à 2000.....	190
Figure 6.18. Incidence des cancers de la thyroïde au Connecticut entre 1935 et 1992, par million d'enfants de moins de 15 ans et par million dans la population totale	190
Tableau 6.7. Cancers de la thyroïde prévisibles induits par Tchernobyl selon diverses sources.....	191
Tableau 6.8. Cas de cancers de la thyroïde radiogéniques annoncés et nombre des victimes en Europe de 1986 à 2056	192
Tableau 6.9. Leucose (leucémie) aiguë et chronique. Morbidité chez les adultes dans la province de Gomel, 1993-2003.....	193
Figure 6.19. Tumeurs lymphoïdes et hématopoïétiques au Belarus en 1985-1998.....	193
Tableau 6.10. Morbidité par leucémie chez les adultes du Belarus, 1979-1997.....	193
Tableau 6.11. Leucose (leucémie) chez les adultes des provinces de Moguilev et de Gomel avant et après la catastrophe.....	194
Tableau 6.12. Morbidité par myélome multiple, lymphome non hodgkinien et maladie de Hodgkin chez les adultes dans les provinces de Gomel et Moguilev avant et après la catastrophe	194
Figure 6.20. Morbidité par leucémie et lymphome en Ukraine, 1980-2000.....	195
Tableau 6.13. Morbidité par leucémie en Ukraine	195

Liste des figures et tableaux

Tableau 6.14. Morbidité par leucémie et lymphome dans cinq districts les plus contaminés des provinces de Jitomir et de Kiev	196
Tableau 6.15. Morbidité par leucémie chez les enfants de la province de Toula, 1979-1985 et 1986-1997.....	196
Tableau 6.16. Incidence prévisible du cancer radiogénique du sang (leucémie) et nombre des victimes en Europe de 1986 à 2056 pour la « génération Tchernobyl ».....	197
Figure 6.21. Taux de fréquence du cancer du sein dans la province de Gomel avec différents niveaux de contamination par le Cs-137	198
Figure 6.22. Cas de tumeur du système nerveux central chez les enfants de moins de 3 ans. Données de l'Institut ukrainien de neurochirurgie pour la période de 1980 à 2005.....	199
Tableau 6.17. Augmentation de la morbidité due à divers cancers chez les enfants de la province de Toula, après la catastrophe	200
Tableau 6.18. Morbidité par cancer et mortalité prévisible (hors leucémie) causées par le Cs-137 de Tchernobyl pour les générations futures	201
Tableau 6.19. Morbidité et mortalité supplémentaires par cancer prévues au Belarus, en Ukraine et en Russie européenne	201
Tableau 6.20. Incidence prévisible des cancers (cancers solides autres que les cancers de la thyroïde et de la peau non mélanomes) dus à Tchernobyl et nombre des victimes en Europe de 1986 à 2056.....	201
Figure 7.1. Espérance moyenne de vie pour les nouveau-nés mâles de 1950 à 2005 au Belarus, en Ukraine et en Russie.....	208
Figure 7.2. Excédent de mortinatalité en 2007 en Suède, Pologne, Hongrie et Grèce combinées (EAST), Allemagne et Belarus.....	209
Figure 7.3. Enfants mort-nés avec une contamination plus forte ou plus faible dans les districts de la province de Kalouga et en Russie pendant les périodes 1981-1986, 1986-1990, 1991-1995 et 1996-2000	210
Figure 7.4. Écart des taux d'enfants mort-nés en Croatie de 1985 à 1990 par rapport à la tendance à long-terme en unités d'écart-type.....	210
Figure 7.5. Pourcentage de garçons nés en République Tchèque chaque mois de novembre de 1950 à 2005	210
Figure 7.6. Mortalité périnatale dans l'ancienne République Fédérale d'Allemagne – ex-RFA- (hors Bavière et Berlin-Ouest), l'ancienne République Démocratique d'Allemagne – ex-RDA- (Berlin-ouest inclus) et en Bavière, de 1980 à 1993.....	210
Figure 7.7. Tendances des taux de mortinatalité, de mortalité néonatale et périnatale en Angleterre et au Pays de Galles.....	211
Figure 7.8. Rapport de cotes du sex-ratio et de la mortinatalité par genre dans plusieurs pays européens	211
Figure 7.9. Risques relatifs pour les points de changement des rapports de cotes d'enfants mort-nés en 1986 (Islande, Lettonie, Pologne et Suède), en 1987 (Allemagne, Danemark et Hongrie) et en 1989 (Norvège), déterminés avec un modèle de tendance spatio-temporelle	212
Tableau 7.1. Augmentation du taux d'avortements spontanés après Tchernobyl.....	212
Tableau 7.2. Augmentation des taux d'enfants mort-nés, des taux de mortalité des nourrissons et du faible poids de naissance associée à une exposition <i>in utero</i> aux radiations de Tchernobyl.....	213
Figure 7.10. Écart de la mortalité périnatale par rapport à la tendance à long terme dans la province de Gomel de 1985 à 1998.....	214
Figure 7.11. Mortalité périnatale, taux de mortinatalité et de mortalité néonatale précoce dans les provinces de Jitomir et de Kiev	214
Figure 7.12. Écart de la mortalité périnatale par rapport à la tendance à long terme attendue dans les provinces de Jitomir et Kiev et dans la ville de Kiev, 1985-2004	214

Liste des figures et tableaux

Tableau 7.3. Principales causes de mortalité des nourrissons en Ukraine de 1990 à 1995	215
Tableau 7.4. Mortalité néonatale en Ukraine durant les années 1986-2007 dans les territoires les plus radiocontaminés	215
Tableau 7.5. Mortalité des nourrissons dans les districts fortement contaminés de la province de Briansk, Russie, de 1995 à 1998.....	215
Figure 7.13. Évolution des taux de mortalité des nourrissons en Finlande, 1980-2006, et courbe de tendance non affectée	216
Figure 7.14. Écart de la mortalité des nourrissons par rapport à la tendance à long terme en Allemagne de 1980 à 1994.....	216
Figure 7.15. Écart de la mortalité des nourrissons par rapport à la tendance à long terme en Pologne de 1985 à 1990	216
Figure 7.16. Évolution des taux de mortalité des nourrissons en Suède de 1980 à 2006, et courbe de tendance non affectée	217
Figure 7.17. Évolution des taux de mortalité des nourrissons en Suisse de 1980 à 2005 et courbe de tendance non affectée	217
Figure 7.18. Évolution de la mortalité due à des maladies non cancéreuses de 1988 à 2003 chez les liquidateurs ukrainiens employés en 1986-1987	218
Figure 7.19. Mortalité totale chez les liquidateurs et dans les territoires contaminés de 1986 à 2006.....	219
Figure 7.20. Évolution des indices standardisés de mortalité (ISM) par maladies non cancéreuses de 1990 à 1999 chez les liquidateurs.....	219
Tableau 7.6. Age moyen des liquidateurs décédés	220
Tableau 7.7. Causes des décès des liquidateurs russes en 2000, selon différentes sources ...	220
Figure 7.21. Évolution des taux de mortalité dans plusieurs régions du Belarus	221
Tableau 7.8. Causes de décès dans les territoires contaminés d'Ukraine, 1996	222
Tableau 7.9. Mortalité globale dans les trois districts les plus contaminés de la province de Briansk et en Russie de 1995 à 1998.....	222
Tableau 7.10. Estimations du nombre de décès dus aux cancers résultant des radionucléides Cs-134, Cs-137 et Sr-90 libérés par le réacteur de Tchernobyl.	222
Tableau 7.11. Taux de mortalité observés et standardisés dans les six régions les plus contaminées de Russie, 2002	223
Figure 7.22. Écarts entre les taux standardisés de mortalité (1983-2003) dans l'ensemble des six provinces les plus contaminées et la région témoin	223
Figure 7.23. Taux standardisés de mortalité, 1983-2003, dans la province la plus contaminée de Toulou, la province moins contaminée de Lipetsk et l'ensemble de la Russie	223
Tableau 7.12. Nombre de décès supplémentaires au Belarus, en Ukraine et en Russie européenne de 1990 à 2004 imputables à la catastrophe de Tchernobyl	224
Figure Cl.II. Nombre absolu d'anomalies congénitales du développement chez les nouveau-nés du district du Louguiny, province de Jitomir, Ukraine, de 1983 à 1986....	231
Tableau 8.1. Concentration de quelques radionucléides du 28 avril au 1er mai 1986, au Belarus (ville de Minsk) et en Ukraine, province de Kiev	236
Tableau 8.2. Dynamique de la concentration de quelques radionucléides dans l'atmosphère de la ville de Tchernobyl de 1986 à 1991	237
Figure 8.1. Dynamique des radionucléides Pu-239, Pu-240 et Cs-137 dans l'air de surface à Khoïniki, Belarus, 1990-2004.....	237
Tableau 8.3. Radioactivité dans l'air de 21 radionucléides à Nurmijärvi, Finlande, le 28 avril 1986	238
Tableau 8.4. Exemples de concentration en I-131, Cs-137, Cs-134 dans l'air au niveau du sol, aux États-Unis après la catastrophe de Tchernobyl en mai 1986	239

Liste des figures et tableaux

Tableau 8.5. Exemples de concentration en divers radionucléides dans l'air au niveau du sol dans l'Hémisphère Nord après la catastrophe de 1986.	239
Tableau 8.6. Coefficients d'accumulation de radionucléides de Tchernobyl dans quelques organismes vivants du Dniepr et du réservoir de Kiev de 1986 à 1989.....	240
Tableau 8.7. Concentrations de radionucléides dans les eaux de pluie et de surface dans plusieurs pays en 1986-1987.....	241
Tableau 8.8. Composition et activité des retombées radioactives de Tchernobyl en Thessalonique, Grèce, les 5 et 6 mai 1986.....	242
Figure 8.2. Moyenne annuelle de concentration du Cs-137 dans les eaux de surface de l'est et de l'ouest du Gotland de 1984 à 2004	242
Figure 8.3. Concentration de Cs-137 dans les eaux de surface de la mer Tyrrhénienne de 1960 à 1995.....	242
Tableau 8.9. Nombre d'années nécessaires pour obtenir une réduction de 50% du taux de chaque radionucléide dans la partie supérieure du sol (0-5 cm), à 50 et à 200 km de la CNT	243
Tableau 8.10. Dépôts au sol de quelques radionucléides de Tchernobyl en Allemagne en 1986.....	244
Tableau 8.11. Exemples de contamination des sols par le Cs-137 en Norvège après la catastrophe de Tchernobyl, 1986	244
Tableau 8.12. Spectre et activité de radionucléides de Tchernobyl dans des échantillons de sol de la région de Cracovie, le 1 ^{er} mai 1986.....	245
Tableau 8.13. Contaminations des sols par les radionucléides – I-131 et Cs-134/Cs-137 – de Tchernobyl dans quelques régions du Royaume-Uni, 1986.....	245
Tableau 8.14. Exemples de dépôts au sol de radionucléides de Tchernobyl aux États-Unis	245
Tableau 8.15. Degré de contamination radioactive du sol du territoire de l'ambassade britannique dans quelques pays d'Europe.....	246
Figure 9.1. Radio-autographies de plantes à radionucléides de Tchernobyl	250
Tableau 9.1. Radioactivité après Tchernobyl des feuillages de quatre espèces dans la ville de Kiev fin juillet 1986	251
Tableau 9.2. Concentration de trois radionucléides dans les aiguilles de pins dans le centre de la Finlande, mai-décembre 1986.....	251
Tableau 9.3. Exemples de contamination mondiale des plantes en 1986.....	252
Tableau 9.4. Niveaux d'accumulation de radionucléides par quelques plantes aquatiques	252
Figure 9.2. Concentration de C-14 dans les cernes de croissance de pins de la zone des 10 km de Tchernobyl	252
Figure 9.3. Radioactivité totale dans des cernes de croissance de pins près de la ville de Petrozavodsk, en Carélie, pendant la période de 1975 à 1994.....	253
Figure 9.4. Corrélation entre le taux de Cs-137 dans des myrtilles fraîches et le niveau de contamination du sol pour 4 biosphères différentes de la Polésie centrale en Ukraine.....	253
Tableau 9.5. Ratio de transfert (TR) du Cs-137 du sol aux fruits frais des principales baies sauvages d'Ukraine.....	254
Figure 9.5. Variations du ratio de transfert (TR) du Cs-137 pour 3 plantes médicinales sur plusieurs années (1991-1995).....	255
Figure 9.6. Variation du ratio de transfert (TR) pour le Cs-137 de trois espèces de baies de la forêt biélorusse dans la même région de 1992 à 2000	255
Tableau 9.6. Variations inter- et intra-spécifiques du TR du sol aux baies comestibles fraîches des zones de forêts affectées par les retombées de Tchernobyl au Belarus, en Ukraine et en Russie.....	255

Liste des figures et tableaux

Tableau 9.7. TR moyen dans les myrtilles fraîches dans trois types de pinèdes différents en 1995	255
Figure 9.7. Évolution du ratio de transfert (TR) du Cs-137 pour les branches et le bois de pin de 1993 à 2004	256
Tableau 9.8. Intensité d'accumulation du Cs-137 dans plusieurs espèces de plantes en Ukraine	256
Tableau 9.9. Ratio de transfert (TR) du Sr-90 dans trois baies sauvages selon le degré de contamination du sol	257
Tableau 9.10. Exemples de contamination mondiale des champignons et lichens en 1986... ..	258
Tableau 9.11. Ratio de transfert (TR) du Cs-137 dans des champignons des écosystèmes de Polésie ukrainienne.....	258
Figure 9.8. Teneur en Cs-137 de différents champignons de pinèdes de la région de Jitomir à niveau de Cs-137 atteignant dans le sol 555 kBq/m ² en 1986	259
Tableau 9.12. Quelques changements morphologiques de plantes induits par les radiations dans les régions lourdement contaminées après la catastrophe	259
Figure 9.9. Anomalies des bourgeons de pin sylvestre et d'épicéa dans la zone des 30 km en 1986-1987.....	260
Tableau 9.13. Impact de l'irradiation de Tchernobyl sur la morphométrie du pin et de l'épicéa.....	260
Tableau 9.14. Fréquence de quelques changements morphologiques dans trois générations d'une espèce de blé tendre dans les territoires contaminés par Tchernobyl	261
Tableau 9.15. Fréquence de grains de pollens anormaux de l'orge après 55 jours d'irradiation autour de la CNT, et dans des conditions expérimentales de champ-gamma	261
Tableau 9.16. Influence d'extraits de sol de Tchernobyl sur la croissance et la division cellulaire d'une stramoine commune	261
Tableau 9.17. Fréquence des mutations de la chlorophylle de l'orge commune et du seigle dans la zone des 30 km avec contamination des sols par les Cs-134, Cs-137, Ce-144 et Ru-106	262
Tableau 9.18. Fréquence d'aberrations chromosomiques, de 1986 à 1989, dans le méristème de quelques plantes cultivées dans les territoires contaminés par Tchernobyl	262
Tableau 9.19. Atteinte du méristème de la racine apicale (germe de croissance) d'oignons avec différents niveaux de contamination des sols par Tchernobyl.....	263
Tableau 9.20. Changement de concentration d'anthocyanine dans les plantes irradiées.....	263
Tableau 10.1. Concentration maximale de quelques radionucléides après la catastrophe.....	268
Figure 10.1. Concentration de l'activité du Sr-90 au fil du temps dans deux populations bélarusses de campagnol roussâtre en 1991 et 1996 (5 et 10 ans après la catastrophe)	269
Tableau 10.2. Incorporation du Cs-137 dans les membranes amniotiques, les placentas et le colostrum de vaches de régions lourdement et moins contaminées de la province de Jitomir en Ukraine, 1997-1999.....	269
Figure 10.2. Variabilité individuelle du niveau d'incorporation de radionucléides chez des populations de campagnols roussâtres au Belarus	270
Tableau 10.3. Accumulation du Cs-137 dans les muscles de plusieurs espèces de mammifères chassés dans des zones contaminées par 8 à 28 Ci/km ² de la province de Briansk, 1992-2006	270
Figure 10.3. Concentration moyenne du Cs-137 dans l'organisme d'élans sur des territoires radiocontaminés de la région de Briansk pendant les années 1992-1993, 1996-1998 et 2006-2008	271

Liste des figures et tableaux

Tableau 10.4. Concentration de quelques radionucléides chez plusieurs espèces d'oiseaux après la catastrophe	271
Tableau 10.5. Accumulation de Cs-137 pour trois espèces de gibier à plumes de zones contaminées par 8 à 28 Ci/km ² dans la province de Briansk de 1992 à 2006	272
Tableau 10.6. Concentration de quelques radionucléides dans les poissons après la catastrophe.....	272
Tableau 10.7. Quelques radionucléides liés à Tchernobyl dans le zooplancton.....	272
Figure 10.4. Dynamique de concentration du Cs-137 de Tchernobyl chez la truite commune et l'omble chevalier dans les lacs de Norvège du Nord de 1986 à 1998.....	273
Tableau 10.8. Caractéristiques histologiques des testicules de sangliers liées à la contamination par le Sr-90 et le Cs-137	274
Tableau 10.9. Poids, morbidité totale et mortalité de veaux des districts lourdement (5-15 Ci/km ²) et moins (< 1 Ci/km ²) contaminés de la province de Jitomir en Ukraine, 1997-1999	274
Tableau 10.10. Quelques caractéristiques des membranes placentaires chez les vaches des zones les plus et les moins contaminées de la province de Jitomir, Ukraine, en 1997-1999	274
Tableau 10.11. Durée de vie moyenne de rats de laboratoiresoumis à une irradiation forte dans la ville de Tchernobyl et moindre à Kiev	275
Figure 10.5. Coefficients de corrélation entre les caractéristiques de reproduction de la carpe commune et la concentration de radionucléides dans les œufs et le sperme (laitance).....	276
Tableau 10.12. Anomalies dans des cultures cellulaires de fibroblastes de souris de laboratoire après 5 jours d'exposition dans la zone des 10 km.....	278
Tableau 10.13. Nombre de micronoyaux dans les érythroblastes polychromatophiles de la moelle osseuse chez des souris de laboratoireaprès 12 semaines dans la zone des 30 km de Tchernobyl	278
Tableau 10.14. Fréquence de cellules aberrantes chez le campagnol roussâtre soumis à des niveaux variables de contamination radioactive en 1993 dans la province de Briansk, en Russie	278
Figure 10.6. Une hirondelle normale à gauche et une albinos partielle à droite.....	279
Tableau 10.15. Fréquence des micronoyaux dans les érythrocytes de grenouilles vertes dans trois populations de la province de Briansk en 1993	279
Tableau 10.16. Fréquence des mutations létales dominantes (MLD) et des mutations létales récessives (MLR) liées au sexe chez la drosophile sauvage de la région du district de Vetka dans la province de Gomel, comparée à la population de la réserve de Berezinsky, moins contaminée, au Belarus	280
Tableau 10.17. Exemples de changements génétiques dans la faune par suite de la catastrophe de Tchernobyl	280
Tableau 10.18. Quelques caractéristiques hématologiques de vaches gestantes des régions lourdement et moins contaminées, province de Jitomir, Ukraine, de 1997 à 1999.....	281
Tableau 10.19. Fréquence de néoplasie pulmonaire chez les souris de laboratoire après 20 semaines d'exposition dans la zone des 30 km.....	281
Tableau 10.20. Cause de décès des rats de laboratoire des vivariums de la ville de Tchernobyl (forte radioactivité ambiante) et de Kiev (moindre radioactivité ambiante) d'octobre 1986 à décembre 1989	282
Tableau 10.21. Âge moyen d'apparition et probabilité de survenue de tumeurs malignes chez le rat de laboratoire dans les vivariums de Tchernobyl et Kiev après la catastrophe (1987-1989).....	282
Tableau 10.22. Événements chez les rats de laboratoire de 1986 à 1989 dans les vivariums des villes de Tchernobyl et Kiev	283

Liste des figures et tableaux

Tableau 10.23. Apparition et types de néoplasies du sein chez les rats de laboratoire de 1989 à 1992 dans les vivariums des villes de Tchernobyl et Kiev.....	283
Tableau 10.24. Degré de fluctuation de l'asymétrie (cas d'asymétrie par caractère) chez trois populations de musaraignes communes à différents degrés de contamination radioactive, province de Briansk en 1992	283
Tableau 10.25. Statut immunitaire de la grenouille verte dans deux populations présentant des niveaux de contamination différents dans la province de Briansk en 1994.....	284
Tableau 10.26. Degré de stabilité du développement (cas d'asymétrie par caractère) dans des populations de grenouille verte à différents degrés de contamination radioactive, dans la province de Briansk, en 1992 et 1993	284
Tableau 10.27. Degré d'asymétrie et nombre d'écarts phénotypiques dans des populations de carassins communs et de poissons rouges à différents niveaux de contamination radioactive de l'eau dans la province de Briansk en 1992	284
Tableau 10.28. Intensité de l'invasion des campagnols roussâtres par les nématodes et cestodes dans la province de Briansk, Russie, de 1992 à 1995.....	285
Tableau 11.1. Caractéristiques d'oocytes de coccidie des campagnols roussâtres de deux sites différemment contaminés de la province de Briansk	293
Tableau 12.1. Pourcentage des aliments dont la contamination par le Cs-137 dépasse les niveaux admissibles en 1992.....	300
Tableau 12.2. Pourcentage d'aliments dépassant les niveaux admissibles de Cs-137 dans les provinces de Brest, Gomel et Moguilev au Belarus de 1993 à 2007	301
Tableau 12.3. Pourcentage de tests sur le lait dépassant les niveaux admissibles de Cs-137 dans les provinces de Brest, Gomel et Moguilev au Belarus de 1993 à 2007.....	301
Figure 12.1. Concentration nationale moyenne de Cs-137 dans la viande et le lait en Finlande.....	302
Tableau 12.4. Contamination des poissons par le Cs-137 en Finlande en 1986.....	302
Figure 12.2. Concentrations de Cs-137 dans les harengs du golfe de Bothnie, les limandes et les carrelets vers l'île de Bornholm et dans le sud de la mer Baltique de 1984 à 2004.....	302
Figure 12.3. Concentration de Cs-137 dans le blé en Croatie de 1965 à 2003.....	303
Tableau 12.5. Concentration de radionucléides de Tchernobyl dans le lait produit localement aux États-Unis en 1986.....	304
Tableau 12.6. Contamination radioactive de la nourriture par les retombées de Tchernobyl dans plusieurs pays en 1986–1987.....	305
Figure 12.4. Niveau de Cs-137 incorporé chez des enfants de localités du district de Narovlia, dans la région de Gomel, en 2010	307
Figure 12.5. Niveau de Cs-137 incorporé chez des enfants de localités du district de Tchetchersk, dans la région de Gomel, en 2010.....	308
Figure 12.6. Niveau de Cs-137 incorporé chez des enfants de localités du district de Leltchitsy, dans la région de Gomel, en 2008.....	308
Figure 12.7. Niveau de Cs-137 incorporé chez des enfants de localités du district de Yelsk, dans la région de Gomel, en 2007.....	309
Tableau 12.7. Charge corporelle de Cs-137 chez les enfants des districts de Narovlia, Braguine et Tchetchersk mesurée par des radiamètres individuels de 1999 à 2003	309
Figure 12.8. Pourcentage d'aliments excédant les niveaux admissibles de Cs-137 pour les années 2000 à 2005, village de Valavsk, Province de Gomel au Belarus	311
Figure 12.9. Activité spécifique moyenne du Cs-137 chez les enfants du village de Valavsk, Province de Gomel au Belarus de 2000 à 2005	311
Tableau 12.8. Concentration de Cs-137 dans des organes autopsiés (sur 52 enfants d'un âge maximal de 10 ans) dans la province de Gomel en 1997	312

Liste des figures et tableaux

Figure 12.10. Charge corporelle de Cs-137 des habitants de Munich en Allemagne et à Grenoble en France	313
Tableau 13.1. Baisse de la concentration du Cs-137 après l'utilisation du Vitapect pendant 21 jours (sur un total de 615 enfants) en 2001 au sanatorium biélorusse de Silver Springs	318
Figure 13.1. Baisse des niveaux de l'activité spécifique dans le corps d'enfants après des prises de Vitapect (5 g deux fois par jour) pendant 21 jours	318
Tableau 13.2. Résultats de la normalisation des électrocardiogrammes dans les deux groupes d'enfants contaminés par le Cs-137 et traités avec du Vitapect	319
Figure 13.2. Modifications de l'activité moyenne spécifique du Cs-137 dans le corps d'enfants du village de Verbovichi du district de Narovlia dans la province de Gomel [Nesterenko et al., 2004]	319
Tableau 13.3. Résultats du traitement de 46 enfants en France pendant 30 jours en 2004.....	319
Tableau 13.4. Quelques résultats du traitement par Vitapect d'enfants biélorusses	320
Figure 13.3. Fréquence du nombre de cas de réduction relative de la charge corporelle de Cs-137 observée chez des enfants biélorusses en relation avec un traitement au Vitapect	320
Figure 13.4. Fonctions de rétention théorique chez des adultes sur la base du modèle de Leggett et al. (2003)	320
Tableau 14.1. Efficacité des mesures agrochimiques prises pour réduire les concentrations de Cs-137 et de Sr-90 dans la production agricole	325
Tableau 14.2. Efficacité des mesures prises pour réduire la concentration de Cs-137 et Sr-90 dans les troupeaux	326
Tableau 14.3. Efficacité des mesures prises pour réduire le Cs-137 et le Sr-90 dans les produits alimentaires	326
Tableau 14.4. Remèdes chimiques et pharmacologiques antiradiations.....	326
Figure 15.1. Radioactivité totale supplémentaire dans l'écosystème planétaire après la catastrophe de Tchernobyl	334

Index des sujets

A - B - C - D - E - F - G - H - I - J - K - L - M
N - O - P - Q - R - S - T - U - V - W - X - Y - Z

Les numéros de pages suivis par *f* ou *t* indiquent que les données se trouvent respectivement sur des figures ou dans des tableaux.

Les entrées de l'index peuvent comporter jusqu'à 3 niveaux de sous-entrées, repérables aux couleurs et aux retraits de paragraphe successifs.

Exemple :

cancer, 177-207
 de l'estomac, 177, 198-200
 au Belarus, 198, 200
 en Russie, 200
 de l'intestin, 198-199

renvoie à : « cancer de l'estomac au Belarus »/« cancer de l'estomac en Russie »/« cancer de l'intestin »

NB : vous pouvez également utiliser le sommaire détaillé et la liste des figures et tableaux

A

aberrations

 ADN satellite, 86, 93
 chromosomiques, 86-93, 95-98
 comme indicateurs de l'état de santé, 96-97
 de la faune, 277-280, 285, 295-296, 337-338
 de la flore, 261-263, 295-296, 337-338
 de novo, 94, 96
 du génome, 86-89, 92-93
 instables, 53, 86-87, 89-91, 90*f*
 polymorphismes génétiques des protéines, 93
 stables, 50, 53, 57, 86-88, 91, 97
Abies concolor (sapin du Colorado), 257
Abramis brama (brème commune), 272*t*, 277
abricots, 304, 328
« absence de preuve », 57
absinthe (plante), 251
absorbants, (Voir aussi entérosorbants), 322, 325
acariens, 284
accommodation visuelle, 74, 134-135
accumulation
 bioaccumulation, 38, 234, 240, 295, 328, 338
 coefficient d',
 dans la faune, 240*t*, 267
 dans la flore, 240*t*, 250-253, 256, 258

ACD. Voir anomalies congénitales du développement

Achillea millefolium (achillée millefeuille), 256-257, 262

acide folique, 318

ACTH. Voir hormone adrénocorticotrophine

activité du complément, 78, 108

activité fibrinolytique, 81

adaptation à la radiation (radio-adaptation), 225, 295, 342

additifs alimentaires, 316-318, 321-322, 324, 326, 328-329

adénome de la prostate, 120

adénopathies, 93, 110

adénoïdes, hypertrophie des glandes, 110

ADN satellite, modification de l', 86, 93

ADN, activité de réparation de l', 89, 93, 263

aérosols

 contamination atmosphérique par les, 236-240

 et maladies respiratoires, 113

 étapes de la formation des nuages, 25*f*, 26*f*, 27*f*

 répartition géographique des, 24-46, 25*f*, 26*f*, 27*f*

Afghanistan, contamination de l', 35

Afrique, contamination de l', 25*t*, 36, 44-45, 334-335, 337

- Afrique du Nord, contamination de l', 36, 334-335
- Ag-110. *Voir* argent-110
- agaric, champignon, 300t, 328
- âge biologique, accéléré, 74-75
- Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA)
- dénis/mensonges de l', 7, 70, 96
 - erreurs des exigences relatives aux données de l', 50
 - estimation de la dose collective par l', 43
 - Forum (Le) de Tchernobyl, 12, 13, 19, 23, 43, 125, 224, 334, 337
 - lien chromosomique refusé par l', 96
 - premières prédictions de l', 335
- agriculture
- contamination des aliments dans l'. *Voir* contamination des aliments
 - contamination du sol / perte pour l', 32, 324-326
 - mesures de protection de l', 325-326, 325t, 326t, 331-333, 339
- Agrobacterium*, 292
- tumefaciens*, 261
- aide internationale, 321-322, 333, 340
- AIEA. *Voir* Agence internationale de l'énergie atomique
- aigles, 295
- air au niveau du sol (atmosphère), contamination de l', 236-239, 246, 295, 337-338
- au Belarus, 236-239
 - aux États-Unis, 239, 239t
 - concentrations de radionucléides dans l', 236-239
 - dynamique des radionucléides dans l', 236-239
 - en Finlande, 238
 - en Russie, 236-239
 - en Ukraine, 236-239
- airelle, 254-254t-255t-256t-257, 328
- Alaska, contamination de l', 36
- Albanie, contamination de l', 28t
- albinos, oiseau, 278, 279f
- albumine, couche d'albumine de la membrane érythrocytaire, 78
- Alces alces* (élan), 268t, 269-270, 270t, 271f, 303-304, 327, 338
- alcool, dépendance à l', 128
- aldostérone, 100t
- Aleksievich, Svetlana, 55
- alginates, 317, 322, 326t
- algues
- marines, 252t, 305t, 316-317, 321-322
 - vertes, 329
- Allemagne
- contamination générale de l', 28t, 34, 338
 - contamination des sols, 244-244t
 - contamination des aliments en, 273, 303-304, 305t
 - contamination du corps humain en, 313-313f
 - leucémie en, 196-197t
 - malformations congénitales en, 152, 152t
 - mesures de protection en, 329
 - morbidity par cancer, générale, en, 201t
 - mortalité
 - des nourrissons en, 213t, 216f, 217
 - par cancer en, 201t
 - périnatale en, 210, 210f, 214-215
 - prénatale en, 209f, 212f, 212t, 213t
 - sex-ratio des naissances en, 122-123
 - syndrome de Down en, 92, 93f
- allergies, 62t, 93, 105, 106t, 112, 138
- alimentaires, 112
- Allium cepa* (oignon), 262, 263t
- alopécie, 74, 142, 149
- Alternaria alternata*, 292
- Am. *Voir* américium
- américium (Am). *Voir aussi* américium-241
- bioaccumulation de l', 295
 - contamination par l'
 - aquatique (de l'eau), 241
 - avec de multiples radionucléides, 55
 - de la faune, 240t
 - de la flore, 240t
 - de la nourriture, 257, 304
 - du sol, 329, 338
 - effets génétiques de l', 98
- américium-241 (Am-241)
- contamination par l', 42, 45, 334f
 - à travers la chaîne alimentaire, 234
 - de l'air, 238
 - de la faune, 268t, 269, 270f
 - de la nourriture, 259
 - du sol, 243t
 - effets sur la mortalité de l', 225
 - et cancer, 201
- Amérique du Nord, contamination de l', 24t, 25t, 35, 44, 45t, 239, 246, 295, 304, 333, 335, 337
- amphibiens
- incorporation des radionucléides chez les, 267, 285, 338
 - modifications biologiques des, 295, 338
 - modifications génétiques des, 285, 295, 338
- Amphipoda* (amphipodes), 280
- amygdales, hypertrophie des, 81, 110
- amygdalite chronique, 81, 110, 113
- Anas platyrhynchos* (canard colvert), 271-272-271t-272t
- Anas crecca* (sarcelle d'hiver), 271-271t
- Anas querquedula* (sarcelle d'été), 271-271t
- anémie, 78
- aplastique, 78, 120
 - chez les bébés allaités au sein, 110

- chez les enfants, 80
- déficience en fer (Fe), 78
- hyperchrome, 281
- hypochrome, 281
- pendant la grossesse, 118, 120
- polymorphismes génétiques des protéines et, 93
- postnatale, 118
- anencéphalie, 147t, 148t, 153
- Angleterre
 - cancer de la thyroïde, en, 188
 - charge corporelle, 312-313
 - contamination de l', 26f, 27f, 28t, 29
 - mortalité
 - mort-nés, en, 211f, 213t
 - néonatale, en, 211f, 213t
 - périnatale, en, 211, 211f, 215
- animaux, 267-285, 295-296
 - anomalies de la reproduction chez les, 273-277
 - concentrations maximales de radionucléides chez les, 268, 268t
 - détérioration de la santé des, 267, 295
 - élevage sain des, 326, 326t
 - espèces indicatrices, 269-270
 - incorporation de radionucléides chez les, 267-273, 337-338
 - modifications biologiques chez les, 280-285
 - modifications génétiques chez les, 277-280, 295
- Annan, Kofi, 20
- anomalies
 - congénitales, 93, 96t, 145-149, 336
 - congénitales du développement (ACD)
 - d'origine génétique, 94-96, 94t, 146, 152t, 231t
 - plurielles, 94
 - dentaires, 95, 139-139t
 - des cheveux, 103, 141, 149
 - des nerfs crâniens, 132
 - des plantes, 259-263
 - des yeux, 74, 133-134, 136, 147, 336
 - du pancréas, 139-140-139t
 - du rythme cardiaque, 82, 85
 - du sang
 - chez l'homme, 75-81, 78t
 - de la faune, 280-283
 - du sperme, 97, 120-123
 - du système nerveux, 131, 147, 148t, 150-151
 - génitales, 118-120
- anormalités. Voir aberrations; anomalies ; types spécifiques
- Antarctique, contamination de l', 36
- anthocyanine, dans les plantes, 263, 263t
- anticorps, 108-111
- antigène APO-1/FAS, 109
- antimoine-124 (Sb-124), 40f
- antimoine-125 (Sb-125), contamination par l', de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238t
 - inégaie/irrégulière (en taches), 40f
- antimoine-126 (Sb-126), 39
- antimoine-127 (Sb-127), 238t, 245t
- antioxydants
 - activité des, 75, 79, 97, 97t, 112, 277
 - dans les mesures de protection, 326t, 328-329
 - décorporation par les, 317
- anxiété, 128
- APO-1/FAS, antigène, 109
- Apodemus flavicollis* (mulots à collier roux), 268t, 269, 277, 280t, 281
- apologistes de l'énergie nucléaire, 7-8, 9-11, 340-341
- approche « cas témoin », 55
- approche probabiliste, 55
- Arabidopsis thaliana* (arabette des dames), 261, 263, 263t
- arbre (s). Voir aussi les types spécifiques
 - comme « cloison vive », 327
 - contamination des, 253, 284, 326-327
 - mesures de protection des, 327, 339
 - croissance radiale des, 263
- Arctique(s), contamination de l', des régions, 35, 239
- argali / mouflon (*Ovis ammon*), 268t
- argent-110 (Ag-110)
 - contamination par l', 34, 241
 - de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 41f, 238t
 - de la faune, 268t
 - émissions principales d', 37
- Aristichthys nobilis* (carpe à grosse tête), 276
- Arménie
 - contamination de l', 44t, 334
 - maladies urogénitales/de la reproduction en, 122
- Armillaria mellea* (armillaire couleur de miel), 258, 258t
- armoïse boréale, 262
- Artemisia absinthium* (absinthe), 251
- Artemisia campestris* (armoïse boréale), 262
- artériosclérose, 74-75
- arthrose, 107
- ARV. Voir infection(s) respiratoires virales
- aiguës
- arythmie, 62t, 82
- Asie, contamination de l', 25t, 35, 35f, 44, 45t, 333-334, 337-338
- asphyxie du nouveau-né, 114, 116
- Asteraceae, 257
- asthme, 114-116, 293
 - bronchique, 114-116

astigmatisme, 135
 asymétrie. *Voir* fluctuation d'asymétrie
 athérosclérose, 74-75, 83-85, 129
 atrophie

cérébrale, 132-133
 de la muqueuse gastrique, 138
 des membres, 130
 endo-bronchique, 115-116
 vasculaire, 115

Autriche

aberrations chromosomiques en, 91
 cancer de la thyroïde en, 187, 192t
 contamination de l', 28t, 239t, 243, 304, 333, 338
 leucémies en, 197t
 malformations congénitales en, 151, 152t
 mesures de protection en, 324
 morbidité par cancer, générale, en, 201t
 mortalité par cancer en, 201t

avelines, 304

avoine, 257

avortements

médicaux, 118, 340
 spontanés. *Voir* fausses couches

B

Ba-140. *Voir* baryum-140

bactéries, 291-293, 338

saprophytes, 292

baies, 253-257, 300-301, 304, 306-307, 311, 326-328, 339

jus de, 312

Baltique, mer, 242-243, 272t, 301, 302f

BAO. *Voir* bio-antioxydants

baryum-140 (Ba-140)

contamination par le, 35-36
 aquatique (de l'eau), 241, 242t
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 236t, 238, 238t, 239
 du sol (terre), 245, 245t
 inégale/irrégulière (en taches), 39
 émissions principales de, 37t
 « particules chaudes » de, 39

baryum, sulfates de, 317

Be-7. *Voir* béryllium-7

bébés, petits pour l'âge gestationnel, 61

« bec de lièvre », 151, 152t

bécasse des bois, 271t, 272t

becquerels (ou bequerels) par m² (Bq/m²), 14

Belarus

baies du Belarus, 252
 contamination, 25f, 25t, 28t, 29-32, 30f, 32f, 42, 43, 43t, 334
 aquatique (de l'eau), 240-241
 au plomb, 43, 60-61, 61t

de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 236-238, 236t, 237f

de la faune, 267-285

de la flore, 250-264

de la nourriture, 299-301, 300t, 301t, 304-312, 305t, 311f

des terres agricoles, 29-32, 324-325

du corps humain, 304-312, 307f-309f, 309t-310t, 312t

du sol (terre), 243

par l'I-131, 29, 30f

par l'I-132, 29, 30f

par le Cs-137, 25t, 28t, 29, 31f

par le Pu, 29, 33f

par le Sr-90, 29, 31f

par le Te-132, 29, 30f

par les métaux lourds, 43, 61, 61t

population touchée par la, 43, 44t

déplacements de population au, 54

dommages économiques au, 340

effets sur la santé

aberrations chromosomiques, 86-87, 87t

autres cancers que ceux de la thyroïde et du sang, 197-199, 198f

cancer de la thyroïde, 104-105, 181-182, 181f, 182t, 192t

cancer du sein, 197-199, 198f

cancer lymphoïde, 193, 193f, 193t, 194t

chez les adultes, 62-63, 63f

chez les enfants, 60-62, 61t, 62t, 154t

infections et infestations parasitaires, 144

leucémie, 78, 192-194, 193t, 194t, 197-198

maladies cardiovasculaires, 82-83

maladies de la peau, 142, 154t

maladies de la thyroïde, 98-100, 104-105, 105t

maladies des os et des muscles, 123

maladies du sang et des organes hématopoïétiques, 77-79, 78t

maladies du système endocrinien, 98-100

malformations congénitales, 126, 146-148, 146t-148t, 154t

morbidité générale, 60-63, 146-148, 154t

morbidité liée au cancer, générale, 178-179, 178t, 179f, 179t, 197-199, 201t

organes des sens, 134, 135, 134t, 135f

système digestif et organes viscéraux, 137-138

système immunitaire, 108-110, 109t, 110t

système nerveux, 126

système respiratoire, 114

trisomie-21 (syndrome de Down), 92, 92f, 92t

urogénitale/sexuelle, 117-118

vieillesse accélérée, 74

espérance de vie au, 208, 208f

- Institut bélarusse de médecine des rayonnements et d'endocrinologie, 317
 Institut forestier de l'Académie nationale des Sciences du Belarus, 327
 mesures de protection au, 324-329
 mortalité
 des liquidateurs, 218
 des nourrissons, 60, 143-144, 147, 208f
 nombre total de décès supplémentaires, 224, 224t, 337
 nombre total de victimes, 224-225
 par cancer, 200-201, 201t
 périnatale, 213-214, 214f
 prénatale, 118, 209, 209f, 213
 totale (générale), 221, 221f, 223-225, 232
 Rapport national (2006) du, 13
- Belgique
 contamination de la, 28t
 morbidité par cancer, en, 192t, 197t, 201t
 mortalité par cancer en, 192t, 197t, 201t
- BELRAD, Institut, 57, 297, 299-300, 304, 307-311, 318-322, 339
- Béring, mer de, 272t
- Béryllium-7 (Be-7), 35, 238
- bêta-carotène, 318
- bêta-contamination, 239t, 245t, 273
- bétail. *Voir aussi* viande de bœuf, lait
 anomalies de la reproduction du, 273, 273t
 détérioration de la santé du, 267
 incorporation de radionucléides par le, 268t, 269, 269t
 mesures de protection du, 325-326
 modifications hématologiques du, 281, 281t
- Betonica officinalis* (bétoine), 254
- betterave, 257, 299t, 328
- Betula pendula* (bouleau verruqueux), 254
- BfS-Workshop sur les conséquences de Tchernobyl sur la santé, 56
- bilirubine, 79
- bioaccumulation, 38, 234, 240, 295, 328, 338
 coefficient de
 dans la faune, 240t, 267
 dans la flore, 240t, 250-253, 256, 258
- bio-antioxydants (BAO), 79
- bioconcentration, 246
- biodosimétrie, 52-53
- Biologie des populations*, 54
- blé
 comme complément alimentaire, 317
 composés phénoliques dans le, 263
 contamination du, 257, 302, 303f
 modifications génétiques du, 261, 262
 modifications morphologiques du, 260, 261, 261t
- blé de printemps, 257
- blé tendre, 260-263, 261t, 262t
- BPCO. *Voir* broncho-pneumopathie chronique obstructive
- bœuf, viande de, 210, 300t, 325, 328
- bolet(s), 258, 328
 bai, 258, 258t, 259f
 blafard, 258
 bleuissant (indigotier), 258t
 comestible, 258, 258t, 259f
 jaune (ou nonnette des pins), 258t
 roux, 258t
 rude, 258t, 300f
 velouté, 258t
- Boletus edulis* (bolet comestible), 258, 258t, 259f
- Boletus luridus* (bolet blafard), 258
- Boletus versipellis* (bolet roux), 258t
- Bombina bombina* (crapaud sonneur), 271
- Boraginaceae, 257
- Bos taurus*. *Voir* bétail
- bouche, cancer de la (cavité buccale), 200, 200t
- « bouche du loup », 152
- bouleau verruqueux (*Betula pendula*), 254
- bourdaine (*Frangula alnus*), 255, 255f, 256t, 257
- Bradford Hill, critères de, 70
- brème, 240t, 272t, 277, 302t
 argentée, 240t
- brochet (poisson), 272t, 277, 302t
- bronches, 113-115, 117
- bronchite, 112, 115
 aiguë, 110
 asthmatiforme, 112
 chronique, 114-115, 115f, 116
- broncho-pneumopathie chronique obstructive, (BPCO), 115, 115f, 117
- Bufo bufo* (crapaud commun), 272
- Bulgarie
 contamination de la, 27f, 28t, 34, 239t, 243
 contamination des aliments en, 305t, 329
 dose individuelle réelle en, 329
 malformations congénitales en, 151, 152t
 morbidité par cancer en, 180, 192t, 197t, 201t
 mortalité par cancer en, 192t, 197t, 201t
 toxémie maternelle en, 122

C

Ca. *Voir* calcium

CA. *Voir* coefficient d'accumulation

calcitonine, 101, 103

calcitriol, 101

calcium

comme antagoniste de radionucléides, 328

complément, avec décorporation, 317-318

- contamination par le, 312
- hormones du métabolisme et, 101
- calculs biliaires, 138
- Calendula officinalis* (souci officinal), 257
- calvitie, précoce, 74, 142, 149
- campagnols roussâtres
 - anomalies de la reproduction chez les, 273, 275
 - Eimeria cerna* (oocytes de coccidie) chez les, 292, 293t
 - incorporation de radionucléides chez les, 268t, 269, 269f, 270f, 337
 - infections par cestodes et nématodes des, 285t
 - modifications biologiques chez les, 280
 - modifications génétiques chez les, 277-278, 278t, 280t
- Canada, contamination, 35
 - aquatique (de l'eau), 241, 241t
 - de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238, 239t
- canard(s), 271-272, 271t, 272t, 302, 327
 - colvert, 271-272, 271t, 272t
 - garrot, 271, 302
- cancer, 177-207
 - de l'estomac, 177, 198-200
 - au Belarus, 198, 200
 - en Russie, 200
 - temps avant apparition clinique du, 177
 - de l'intestin, 198-199
 - de la cavité buccale (bouche), 200, 200t
 - de la peau, 177, 198, 200, 200t
 - au Belarus, 198
 - en Russie, 200, 200t
 - temps avant apparition clinique du, 177
 - de la prostate, 199, 221
 - de la thyroïde, 19-20, 50, 96, 104-105, 108, 110, 177, 180-192, 201-202, 336
 - de la vessie, 198-200, 200t
 - dépistage et prévention du, 340
 - des glandes surrénales, 200, 200t
 - du côlon, 198-200
 - du poumon, 113, 177, 197-200, 231
 - au Belarus, 198-199
 - en Russie, 200
 - temps avant apparition clinique, 177
 - du pharynx, 200, 200t
 - du rectum, 177, 199-200
 - du rein, 197-198, 200, 200t
 - du sang (leucémie), 177, 192-199, 336, 340
 - du sein, 177, 197-200, 198f
 - au Belarus, 197-199, 198f
 - en Russie, 200
 - en Ukraine, 199
 - temps avant apparition clinique du, 177
 - du système nerveux, 197-200, 199f
 - « épidémie de cancer », 232
 - latences de, 177, 233
 - lymphoïde
 - au Belarus, 193, 193f, 193t, 194t
 - en Russie, 122, 195-196
 - en Ukraine, 195, 195f, 195t, 196t
 - morbidity globale due au, 178-179, 197-201, 201t
 - au Belarus, 178-179, 178t, 179f, 179t, 197-199, 201t
 - en Russie, 179-180, 180t, 200, 201t
 - en Ukraine, 179, 199-200, 201t
 - mortalité due au, 200-202, 201t, 221-222, 222t
 - premières données / prévisions, sur le, 50, 177-178
 - « rajeunissement du cancer », 336
 - temps avant apparition clinique du, 177
 - urogénital, 199
 - virus et, 293
- canneberge (*Oxycoccus palustris*), 252, 254t-255t, 300t, 328
- canon de Mills, 70
- Cantharellus cibarius* (chanterelle), 258t
- Capreolus capreolus* (chevreuil), 268t, 269, 270t, 327, 338
- Carassius auratus* (poisson rouge), 284, 284t
- Carassius carassius* (carassin commun), 272t, 280t, 284, 284t, 328
- caries dentaires, 62t, 95, 105, 106t, 137-139, 149
- carpe (poisson), 276, 276f, 279, 300t, 328
 - argentée, 276
 - argentée à grosse tête, 276
- carrelet, 302f
- Carum* (cumin), 304
- carvi, graines de, 299
- Caryophyllaceae, 257
- cataractes, 19, 74, 93, 133-137, 134t, 340
 - au Belarus, 134, 134t, 135f
 - congénitales, 134, 136, 151
 - dégénératives, 135-136
 - en Ukraine, 135
 - origine radiogénique des, 137
- catastrophe, définition de la, 14
- « catastrophe géobotanique », 263
- Caucase, contamination du, 35, 335
- cavité nasale, 113
- CCE. Voir comptage corps entier
- Ce-141/143/144. Voir cérium-141/143/144
- cellules du sang. Voir lymphocytes
- cellules polyploïdes. 91t, 95, 277
- cellules souches, 108
- cellules tueuses naturelles (NK), 80, 112
- Centre international de recherche sur le cancer, (CIRC), 178

Centre ukrainien de recherche et de développement de la médecine des rayonnements, 317

centres locaux de contrôle des rayonnements (CLCR), 300

céphalée. Voir maux de tête.

cerf de Virginie, 268t

cérium-141 (Ce-141)

contamination, 35-36, 245

aquatique (de l'eau), 240t

de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238, 238t

de la flore, 251t, 252t

émissions principales de, 37t

modifications du spectre du, 42

cérium-143 (Ce-143), 238t

cérium-144 (Ce-144), contamination, 35-36, 245

aquatique (de l'eau), 240, 240t

de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238

de la flore, 251t, 252t, 257, 258t, 261t, 262t

émissions principales de, 37t, 113

inégaie/irrégulière (en taches), 38f

modifications du spectre du, 42

« particules chaudes », 39, 113

cerveau

circulation dans le, 84-85

maladies du, 126-133

radiosensibilité du, 125

tracés EEG du, 127, 129, 131-133

tumeur du, 150, 150f, 197, 199-200, 199f

césium, décorporation du, 316-322, 339

césium-134 (Cs-134)

contamination

aquatique (de l'eau), 240t-241-242

de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 236t, 238-238t-239t

de l'Amérique du Nord, 36t

de l'Europe, 28-29

de l'Hémisphère Sud, 36

de la faune, 268t, 270f, 271t, 272t, 277

de la flore, 251t, 252t, 257, 262t

de la nourriture, 302-304, 304t, 305t

du corps humain, 312-313

du sol (terre), 244-246, 244t-245t

émissions principales de, 37t

et cancer de la thyroïde, 191

mortalité par cancer et, 222t

césium-135 (Cs-135), 258t

césium-136 (Cs-136)

contamination de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238t

du sol (terre), 245t

émissions principales de, 37t

modifications du spectre du, 42

césium-137 (Cs-137)

bioaccumulation de, 295

contamination

à travers la chaîne alimentaire, 234, 329

aquatique (de l'eau), 240-243, 241t, 242f, 242t

de l'Afrique, 25t, 36

de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 236-239, 236t, 237f, 237t, 238t, 239t

de l'Amérique du Nord, 36, 36t

de l'Asie, 25t, 35, 35f

de l'Europe, 25-29, 27f, 28t, 34-35

de l'Hémisphère Sud, 36

de l'Ukraine, 25t, 28t, 32, 33f

de la faune, 268-275, 268t, 269t, 270f, 270t, 271f, 271t, 272t, 273f, 274t, 277, 280, 282

de la flore, 250-262, 251t, 252t, 253f,

254t, 255f, 256f, 256t, 258t, 259f, 261t, 262t

de la nourriture, 300-304, 300t, 301t,

302f, 302t, 303f, 304t, 305t, 311f, 322

de la Russie Européenne, 25t, 28t, 32-33

des États-Unis, 25t, 36

distribution géographique de la, 25t

du Belarus, 25t, 29-31, 29t, 30f, 31f

du corps humain, 304-313, 307f-309f, 309t-310t, 311f, 312t, 313f

du sol (terre), 243-246, 243t, 244t, 245t, 246t, 338

émissions principales, 37t

inégaie/irrégulière (en taches), 38, 38f, 39, 40f-41f

microbienne, 292

modifications du spectre du, 42

par radionucléides multiples, 53

« particules chaudes », 39

décorporation, 316-322, 339

effets sur la santé

cancer de la thyroïde, 191-192

cardiovasculaire, 74, 82

développement sexuel, 118

endocrinien, 99-100, 101t, 102t

exposition *in utero*, 61

génétique, 87-89, 89t, 93, 98

maladie de la thyroïde, 104

maladies du sang et des organes hématopoïétiques, 77-81

modifications du placenta, 119, 123

morbidité par cancer, 178t, 179, 201t

morbidité primaire, 62

système digestif, 138, 141

système immunitaire, 108-110, 112

viellissement accéléré, 74

yeux/visuel, 134-136, 135f

mortalité

par cancer, 201t, 222t

- générale, 221-222, 222t, 225
- des nourrissons, 215, 216f
- périnatale, 215
- mesures de protection contre le
 - dans l'agriculture, 325, 325t, 326t
 - dans la sylviculture, la chasse et les pêcheries, 326-328
 - dans la vie quotidienne, 328-329
- mesures directes du, 321
- radionucléides incorporés de longue vie, 232, 336
- cestodes, 285, 285t
- chaîne alimentaire, circulation des radionucléides vers la, 53, 234, 329
- champignons
 - contamination des, 250-251, 256t, 257-259, 258t, 259f, 263, 263t, 299-302, 300t, 305t, 311
 - décorporation, 316
 - mesures de protection pour les, 326-328, 339
 - ratio de transfert / coefficient du, 257-258, 258t
- champignons microscopiques, 291-293
 - noirs, 292
- chanterelle, 258t
- chasse, 326-327, 329, 331
- chaux, engrais, 324-325, 325t
- chêne, 254, 256t, 258, 261, 262, 269
 - écorce, 257
- chevaux, 275
- chevesne, 328
- cheveux, anomalies des, 103, 141, 149
- chevreuil, 268t, 269, 270t, 327, 338
- Chine, contamination de la, 35, 35f, 334-335, 340
- Chlore-36 (Cl-36), 38, 44, 201, 225
- chocolat (suisse), 304
- cholécystite chronique, 74, 138, 139
- chromosomes
 - XXX, 93
 - XXY, 93
- CIR. Voir compteur individuel de radiation
- CIRC. Voir Centre international de recherche sur le cancer
- cirrhose, 138
- Cl-36. Voir chlore-36
- Cladonia silvatica* (lichen), 258t
- Cladonia stellaris* (lichen), 258t
- Cladosporium cladosporioides*, 292
- CLCR. Voir centres locaux pour le contrôle des radiations
- Clethrionomys glareolus*. Voir campagnols roussâtres
- Cm-242. Voir curium-242
- cobalt, pour la radioprotection, 317, 329
- cobalt-60 (Co-60), contamination, 35, 238
- coefficient d'accumulation (CA), 240, 250
 - dans la faune, 258, 267
 - dans la flore, 250-252
- cœur
 - contamination du, 221, 312t
 - « de Tchernobyl », 19, 232, 337
 - ECG (électrocardiogramme), normalisation, décorporation et, 319, 319t
 - malformations du, 85, 151
- coléoptères, 285
- « collier de Tchernobyl », 19
- côlon, cancer du, 198-200
- « Comchernobyl », 299
- Comité fédéral allemand sur les rayonnements ionisants, 56
- Comité scientifique des Nations unies sur l'effet des rayonnements ionisants (UNSCEAR) et Forum de Tchernobyl, 19
 - estimations des émissions principales par le, 36
 - exigences relatives aux données / erreurs, 54, 56, 178, 191, 200, 334
 - faits présentés sous la forme adoptée par le, 13
- complexes immuns circulants (CIC), 108-110, 109t, 112-113
- comptage corps entier (CCE), 312, 316, 318, 321, 340
- compteur individuel de radioactivité / spectromètres (CIR), 305, 309t-310t, 313
- conditions préleucémiques, 78
- conférences scientifiques et pratiques, 55-56
- conjonctivite, 133, 136
- Connecticut, l'iode et le cancer de la thyroïde, au, 190, 190f
- conséquences sur l'environnement, 234, 295-296, 337-339
 - air au niveau du sol (atmosphérique), 236-239, 246, 295, 337-339
 - aquatique (de l'eau), 234, 239-243, 246, 295, 337-339
 - faune, 267-290, 295-296, 338-339
 - flore, 250-266, 295, 338
 - mesures de protection contre les, 324-330, 339-341
 - micro-organismes, 291-293, 296, 338
 - sol, 234, 243-246, 295, 329, 337-339
- consultations génétiques obligatoires, 340
- contamination
 - éléments généraux
 - caractéristiques écologiques de la, 38-41
 - caractéristiques géographiques de la, 24-36
 - de nature dynamique et à long terme, 45
 - densité de, (approche par la), 24
 - données hydrométéorologiques sur la, 24
 - échelle planétaire de la, 333-334, 334f

- émissions principales de radionucléides, estimations de la, 36-38, 37t
- faible, basse, élevée, forte, lourde, 14
- inégal/irrégulière (en taches), 38-39, 38f, 40f-41f, 53, 334
- modifications dans le spectre des radionucléides, 42
- niveaux de la, expression de la, 13-14
- population affectée par la, 19, 43-45, 44t-45t
- secondaire, 337
- utilisation du terme de, 13-14, 19
- vue d'ensemble de la, 23-48
- géographique (principaux pays et régions). *Voir aussi les pays et les régions*
 - dans le monde entier, 333-334, 334f
 - de l'Afrique, 25t, 36, 44-45, 334-335, 337
 - de l'Afrique du Nord, 36, 334-335
 - de l'Amérique du Nord, 23t, 24f, 35-36, 36t, 44, 45t, 239, 245-246, 295, 304, 333, 335, 337
 - de l'Arctique, 35, 239
 - de l'Arménie, 334
 - de l'Asie, 25t, 35, 35f, 44, 45t, 333-334, 337-338
 - de l'Europe, 20, 25-35, 25f, 25t, 26f, 27f, 28t, 30f-33f, 34t, 333-334
 - de l'Hémisphère Nord, 23, 23f, 24f, 45
 - de l'Hémisphère Sud, 36
 - de l'Ukraine, 25f, 25t, 28t, 32, 33f, 43, 43t, 334
 - de la Russie, 25f, 25t, 28t, 32-34, 34t, 35, 43t, 334
 - de la Russie d'Asie, 35
 - de la Russie d'Europe, 25f, 25t, 28t, 32-34, 34t, 43t, 334
 - du Belarus, 25f, 25t, 28t, 29-32, 30f, 32f, 42, 43, 43t, 334
 - du Golfe Persique, 35
- par type. *Voir aussi les types spécifiques (ci-après)*
 - aquatique (de l'eau), 236, 239-243, 241t, 242f, 272t, 295, 337-338
 - au plomb, 43, 60-61, 61t
 - de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 236-239, 246, 295, 337-338
 - de l'alimentation, 299-315, 339-340
 - de la faune, 267-271
 - de la flore, 250-259
 - des champignons, 250-251, 256t, 257-259, 258t, 259f, 263, 263t, 299-302, 300t, 305t, 311
 - des lichens, 257-259, 258t
 - des micro-organismes, 291-293, 293t
 - des mollusques, 240, 240t
 - du corps humain, 304-314, 339-340
 - du foie, 312t
 - du sol (terre), 234, 243-249, 295, 329, 337-338
- contamination atmosphérique (de l'air au niveau du sol), 236-239, 246, 295, 337-338
 - au Belarus, 236-238, 236t, 237f
 - aux États-Unis, 239, 239t
 - concentration et dynamique des radionucléides, 236-237, 236t, 237f, 237t
 - en Finlande, 238, 238t
 - en Russie, 236-238
 - en Ukraine, 236-238, 236t, 237t
- contamination aquatique (de l'eau), 236, 239-243, 241t, 242f, 272t, 295, 337-338
 - au Belarus, 240-241
 - au Canada, 241, 241t
 - en Finlande, 241, 241t
 - en France, 241, 241t
 - en Grèce, 241, 242t
 - en Mer Tyrrhénienne, 242f, 243
 - en Russie, 240-241
 - en Suède, 242, 242f
 - en Ukraine, 240-241, 241t
- contamination des aliments, 299-315, 339-340
 - au Belarus, 299-301, 300t, 301t, 304-312, 305t, 311f
 - aux États-Unis, 303-304, 304t
 - en Croatie, 302, 303f, 305t
 - en Finlande, 301, 302f, 302t
 - en Italie, 303, 305t
 - et contamination du corps humain, 304-312
 - information du public sur la, 322
 - mesures de protection contre la contamination agricole des aliments, 325-326, 325t, 328-329, 339
 - niveaux admissibles de la, 325-326
 - niveaux de difficulté dans la détermination de la, 53
 - réduction de la, 316-317, 325-329, 339
 - suivi de la, 299-304, 313-314, 339
 - sylviculture, chasse et pêche et, 326-329, 331
 - terres agricoles et, 32, 324-326
 - variations saisonnières de la, 311
 - vie quotidienne et, 328-329
- contamination des sols, 234, 243-249, 295, 329, 337-338
 - agricoles, 32, 324-326
 - au Belarus, 243
 - au Royaume-Uni, 245, 245t
 - aux États-Unis, 245, 245t
 - en Allemagne, 244, 244t
 - en Norvège, 244, 244t
 - en Pologne, 244, 245t-246t
 - en Russie, 243
 - en Ukraine, 243
 - micro-organismes, 291-293
 - migration verticale de la, 53, 243, 243t, 246

ratio de transfert / coefficient de, 251, 253-258
 pour les champignons, 257-258, 258t
 pour les plantes, 253-259, 254t-257t, 255f-256f
 contamination gamma de la faune, 268t, 271, 271t, 272t
Convallaria majalis (muguet), 253-255, 255f, 256t
 corps humain
 contamination du, 304-314, 339-340
 au Belarus, 304-312, 307f-309f, 309t-310t, 312t
 en Allemagne et en France, 313, 313f
 en Ukraine, 312
 en Russie, 312
 dans les autres pays, 312-313
 décorporation, 316-322
 cortisol, 98-99, 100t, 103, 118
 cortisone, 101
Corylus avellana (coudrier), 257
Corylus (noisetier), 304
 coudrier, 257
 crapaud
 commun, 272
 sonneur à ventre rouge, 271
Crepis tectorum (crépide des toits), 262
 crise cardiaque, 10, 74, 83, 132
 cristallin (œil),
 opacification, opacité. Voir cataracte
 système immunitaire, 110
 critères de Bradford Hill, 70
 Croatie
 contamination de la, 28t, 244
 contamination des aliments en, 302, 303f, 305t
 malformations congénitales en, 151, 152t
 morbidité par cancer, générale, en, 201t
 mortalité
 par cancer, en, 201t
 prénatale, en, 210, 210f
 crosses de fougères, 304
 crustacés, 280
 Cuba, sex-ratio, 7
Cryptosporidium, infection, 144, 145, 291
 Cs-134. Voir césium-134
 Cs-135. Voir césium-135
 Cs-136. Voir césium-136
 Cs-137. Voir césium-137
 cuivre, pour la radioprotection, 317, 322, 329
 curies par kilomètre carré (Ci/km²), 14
 curium-242 (Cm-242), 37t
 cyanures, 326t
 de cuivre, 322
 de fer, 322, 324, 326t, 340
Cychorium (endive), 304
 cycle menstruel, 99-100, 104, 119-120

Cyprinus carpio (carpe commune), 276, 276f, 279
 cystite, 293
 cytokines, 111

D

D25⁺ (cellules), 110
 Danemark
 contamination, 28t
 du sol (terre) au, 244
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique) au, 238
 contamination du corps humain au, 312
 malformations congénitales au, 151, 152t
 morbidité générale par cancer, au, 201t
 mortalité
 générale par cancer au, 201t
 prénatale au, 211-212, 212f, 213t
 sex-ratio des naissances au, 122
 Danube (fleuve), 280
 Daugava / Dvina occidentale (fleuve), 240
 DCE. Voir encéphalopathie dyscirculatoire
 décès. Voir mortalité
 décontaminants, 322, 327
 décorporants, 317, 322
 décorporation, 316-322, 339
 entérosorbants pectine pour la, 317-320, 333, 339-340
 fonctions de rétention de tout le corps et, 320, 320f
 normalisation des ECG avec, 319, 319t
 préoccupation au sujet de l'élimination des microéléments par, 319
 déficit d'attention, 126, 129-130
 déficit immunitaire, 110-111. Voir aussi maladies du système immunitaire
 dégénérescence
 chorioretinienne, 135-136
 maculaire liée à l'âge (DMLA), 135
 vitreuse, 133, 134, 136
 Dematiaceae, 292
 « démence de Tchernobyl », 130, 232
 densité de contamination, (approche par la), 24
 densité osseuse, 123-124
 dents
 anomalies des, 139, 139t
 caries, désintégration des, 62t, 95, 105, 106t, 137-139, 149
 dysfonctionnement thyroïdien et, 105
 échelles temporelles de contamination par rayonnement dans l'email des, 42
 érosion pathologique de l'email des, 141
 perte des, 125
 poussée prématurée des, 138

résistance réduite aux acides de l'émail des, 137
 dépistage du cancer, 340
 dépression, 106, 125, 128-129, 232, 336
 dermatite, 120, 293
 due à l'irradiation chronique, 120
 dermorphine, 113
 développement intellectuel, 98, 103, 127, 127f, 128t, 133, 233
 développement sexuel, 99-100, 104, 117-120
 diabète sucré, 101
 congénital, 99
 de type I, 99, 99t
 de type II, 74, 100
 diagnostic prénatal, 340
 difficultés respiratoires, 113-117
 DIL. Voir niveau d'intervention officiel
 disquage, 325
 DMLA. Voir dégénérescence maculaire liée à l'âge
 Dniepr (fleuve), 240, 240t, 280
 dommages économiques, 7, 340
 Don (fleuve), 240
 données
 falsification / secret des, 50-52, 192, 334, 340-341
 impact réel des radionucléides, difficulté à déterminer l', 52-54
 incomplètes / inadéquates, 54
 méthodes de collecte / analyse des, 54-57, 335
 objectives, difficulté à obtenir des, 50-54
 problèmes méthodologiques avec les, 50-59, 334-335
 protocoles scientifiques et, 54-56, 335
 rejeter les, caractère fallacieux des, 56
 données hydrométéorologiques, 24
 doryphore, 279
 dose(s)
 collective, 37, 43, 43t, 45, 45t, 85, 233
 difficultés de reconstruction de la, 53, 334
 faible(s), effet des faibles doses,
 généralités, 8, 9, 54, 295, 335, 337, 338
 sur l'être humain, 88, 107, 108, 125, 133, 141, 209, 313
 sur la faune, 267, 285, 295
 sur la flore, 263, 295
 individuelle, 45t, 53, 233, 322, 327, 329, 331
 « officielle », 52-53
 problèmes méthodologiques dans l'évaluation de la, 52-54, 334
 dosimétrie, 52-53, 340
 « de groupe », 52
 par RPE (résonance paramagnétique électronique), 52-53, 340

douleurs
 articulaires, 66, 123, 132, 232, 336
 osseuses, 123-125, 132
 Down, syndrome de, (trisomie-21), 92-93, 92f, 92t, 93f, 147t, 151-153, 152t
Drosophila melanogaster (drosophile), 279, 280t
 dyscrasie vasomotrice. Voir dystonie vasculaire végétative
 dysfonctionnement
 du système nerveux. Voir dystonie vasculaire végétative
 érectile, 120
 hormonal, 118
 sexuel, 120
 thyroïdien, 77, 98, 105, 180
 dyspnée, 104, 115
 dystonie
 neurocirculatoire, 84, 131
 vasculaire végétative, 51, 83, 106t, 128t, 131, 142, 232, 336

E

EAC-POK (méthode de détermination de la concentration des lymphocytes B dans le sang), 109
 ECG. Voir électrocardiogramme
 échelle planétaire de la catastrophe, 333-334, 334f
 Écosse
 contamination du corps humain en, 313
 contamination, 29, 34, 324
 aquatique (de l'eau), 241
 du sol (terre), 245, 245t
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238
 leucémie en, 196
 malformations congénitales en, 152t
 syndrome de Down en, 92, 152t
 Edward, syndrome d', (trisomie-18), 93
 EEG. Voir électroencéphalogramme
 effets cognitifs, 127-131, 127f, 128t, 133
 Égypte, contamination de l', 36
Eimeria cerna (oocytes de coccidies), 292, 293t
 élan, 268t, 269-270, 270t, 271f, 303-304, 327, 338
 électrocardiogramme (ECG), décorporation et, 319, 319t
 électroencéphalogramme (EEG), 127, 129, 131-133
 Émirats (les), contamination des, 334-335
 émissions des principaux radionucléides, estimations des, 36-38, 37t
 emphysème, 115
 encéphalocèle, 153

- encéphalopathie
 chez les liquidateurs, 126, 128-131
 dyscirculatoire (DCE), 85, 132
 périnatale, 126, 129
 sénile, 74
- endives, 304
- endométriose, 118
- enfants
 aberrations chromosomiques chez les
 au Belarus, 86-87
 en Russie, 89-89t
 en Ukraine, 87-88
 aide internationale pour les, 321-322
 cancer de la thyroïde chez les
 au Belarus, 181-182, 181f, 182t
 en Russie, 185-186, 186f, 186t
 en Ukraine, 182-184, 181f, 184f, 184t
 contamination des aliments et charge corporelle, chez les, 304-314
 contamination au plomb des, 43, 61, 61t
 de parents irradiés, 10, 94-96, 94f, 95t-96t
 aberrations chromosomiques chez les, 87-88, 95
 anomalies congénitales / malformations
 chez les, 94, 94f, 146-151
 état immunitaire des, 108-112
 maladie endocrinienne chez les, 99-102
 morbidité générale des, 94-96
 décorporation, chez les, 316-322
 en bonne santé, pourcentage d', 20
 infections et infestations parasitaires chez les
 au Belarus, 143-144
 en Russie, 144-145, 145t
 en Ukraine, 144, 145t
- leucémie chez les
 au Belarus, 192-193
 en Russie, 195-196
 en Ukraine, 194-195
- maladies cardiovasculaires des
 au Belarus, 82-83
 en Russie, 84-85
 en Ukraine, 83
- maladies chroniques chez les, 63-64, 64f
- maladies de la peau chez les
 au Belarus, 142
 en Russie, 142-143, 143t
- maladies de la thyroïde chez les, 10, 104-107
 au Belarus, 104-105
 en Russie, 106-107
 en Ukraine, 105-106
- maladies des organes des sens chez les, 134-136
- maladies des organes urogénitaux / sexuels
 chez les
 au Belarus, 117-118
 en Russie, 120-121
 en Ukraine, 118-120
- maladies des os et des muscles des
 au Belarus, 123
 en Russie, 124, 124t
 en Ukraine, 123
 effets graves, 125
- maladies du sang et des organes hématopoïétiques des
 au Belarus, 77-79
 en Russie, 80
 en Ukraine, 79-80
- maladies du système digestif / des organes internes des
 au Belarus, 134
 en Russie, 139-140
 en Ukraine, 138
- maladie du système endocrinien des
 au Belarus, 98-100
 en Russie, 101-102, 101t-102t, 102f
 en Ukraine, 100-101
- maladies du système immunitaire chez les
 au Belarus, 108-110
 en Russie, 112
 en Ukraine, 110-111
- maladies du système nerveux chez les
 au Belarus, 126
 en Russie, 129-130
 en Ukraine, 126-128
- maladies du système respiratoire chez les
 au Belarus, 114
 en Russie, 116
 en Ukraine, 114
- malformations congénitales chez les
 au Belarus, 146-148
 en Russie, 7, 151
 en Ukraine, 7, 148-150
- « médicalement en bonne santé », 10, 60, 63-65, 64f, 99, 108
- morbidité générale des
 au Belarus, 60-62
 en Russie, 67
 en Ukraine, 63-66
- morbidité par cancer, générale, des, 179, 180t
- mortalité des, 213, 218
- ressources Internet sur les, 13
- vieillesse accélérée des, 74
- « Enfants de Tchernobyl » 13, 19, 297. Voir aussi enfants
- « Enfants de Tchernobyl Belarus », 318, 319
- « enfants méduses », 123
- « Enfants hautement irradiés du Belarus », projet, 319
- engrais, 324-325, 325t, 339
- chaux, 324-325, 325t

comme antagonistes des radionucléides, 325, 325t, 339
 phosphorés, 325, 325t, 328
 potassiques, 325, 325t, 328
Enterobacter, 292
 entérocolites, 293
 entérosorbants, 317-320, 333, 339-340
 éosinophiles, 80, 108, 281t, 282
 épervière, 261
 épicéa (*Picea abies*), 260, 260f, 260t
 « épidémie de cancer », 232
 épilepsie, 126-127, 127t
 épithélium bronchique, 117
 Epstein-Barr, virus d', 293
Equus caballus (cheval), 275
 Ericaceae, 252, 257
 erreur, de rejeter l'impact des radionucléides, 56
 érythémie, 193t-194t
 érythrocytes, 75, 78, 80-81, 97t, 279, 279t, 281t, 282-283
Escherichia coli, 292
Escherichia, 138, 292
Esox lucius, 272t, 277
 Espagne
 contamination de l', 28t
 morbidité par cancer en, 192t, 197t, 201t
 mortalité par cancer en, 192t, 197t, 201t
 espèces indicatrices, 269
 espèces infusoires, 292
 espérance de vie, 208, 208f, 220-221, 231, 275, 337-338
 estomac
 atrophie de la muqueuse gastrique, 43, 107, 138, 140
 cancer de l', 177, 198-200
 au Belarus, 198, 200
 en Russie, 200
 temps avant apparition clinique du, 177
 ulcère(s) de l', 104, 138-139
 Estonie
 contamination de l', 28t, 244
 morbidité par cancer, générale, en, 201t
 mortalité par cancer en, 201t
 suicide en, 133
 États-Unis
 contamination, 23f, 36, 36t
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique) aux, 239, 239t
 du sol (terre) aux, 245, 245t
 contamination des aliments aux, 190, 190f, 303-304, 304t, 305t
 cancer de la thyroïde aux, 190, 190f
 études vétérinaires, 267
 Europe. Voir aussi pays spécifiques
 contamination de l', 20, 25-35, 25f, 25t, 26f, 27f, 28t, 30f-33f, 34t, 333-334

par « particules chaudes », 28, 39
 population affectée par la, 44-45, 45t
 « évaluation de groupe », 52
 évolution, radio-adaptation et, 225, 295
 excrétion (fécale) des radionucléides, 317-318, 329-339
 exposition *in utero* et
 aberrations chromosomiques, 87, 89-90, 96
 immunodéficience, 110, 112
 infertilité féminine, 100
 leucémie, 194, 196
 maladie (s) de la thyroïde, 104-105, 107
 maladie (s) du système digestif, 138
 maladie (s) du système nerveux central, 127, 127t, 130, 133
 maladie (s) endocrine, 107
 maladie (s) infectieuses, 144
 maladie (s) respiratoires, 114
 malformations congénitales, 149, 152t, 153
 morbidité générale, 95
 naissance prématurée, 211
 polymorphismes génétiques de protéines, 93
 sex-ratio des naissances, 122

F

Fabaceae (famille des pois), 257
 facteur de nécrose tumorale (TNF), 108
 facteurs psychologiques (stress)
 conséquences sur la santé et, 70, 123, 137, 337
 faible contamination, 14. Voir aussi dose(s) (faible).
 faible dose. Voir dose(s)
 faible poids de naissance, 61, 63, 67, 69-70, 69f, 95, 213t
 falsification des données, 50-52, 192, 334, 340-341
 famille des pois, 257
 FAO. (Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture), 318
 fatigue, 62t, 66, 104, 127-128, 137, 232, 336-337
 faune, 267-285, 295, 338-339
 anomalies de la reproduction de la, 267, 273-277
 changements biologiques dans la, 280-285
 changements génétiques dans la, 277-280, 285, 295-296, 337-338
 coefficient d'accumulation pour la, 267
 concentrations maximales de radionucléides
 chez les mammifères, 268, 268t
 chez les oiseaux, 271
 espèces indicatrices, 269
 incorporation de radionucléides, 267-273, 285, 338
 ratio de transfert / coefficient pour, 267

- fausses couches, 94, 208-213, 212t
 au Belarus, 61, 118
 en Russie, 67, 121, 121f, 209
 en Ukraine, 119, 209
 dans les autres pays d'Europe, 211, 212f, 212t
- FDA. Voir Food and Drug Administration, « Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux »
- fer
 anémie par déficience en, 78
 pour décorporation, 322, 324, 326t, 340
- Fe-59 / fer-59, 35, 238
- fermes, Voir agriculture
- feuille de tremble, 250f
- « fiabilité des différences de Student », 55
- fibres, diététique, 329
- fibrinogène, 81
- fibrinolytique, activité, 81
- fibromes de l'utérus, 119-120
- Ficedula hypoleuca* (gobe-mouche noir), 276
- figes, 304
- Finlande
 contamination des aliments en, 301, 302f, 302t
 contamination du corps humain en, 312
 contamination
 générale, 28t, 34, 39, 42, 333
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique) en, 238, 238t-239t
 aquatique (de l'eau) en, 241, 241t
 malformations congénitales en, 151, 152t
 morbidité par cancer, générale, en, 201t
 mortalité
 des nourrissons en, 213t, 215, 216f
 par cancer en, 201t
 prénatale en, 211, 212t
 naissances prématurées en, 69
 sex-ratio des naissances en, 122
 taux de natalité en, 211
- fissures labiales et palatines, 93, 150, 152, 152t
- flore, 250-266, 295, 338
 anomalies de la, 259-263
 « catastrophe géobotanique » de la, 263
 contamination des champignons, 250-251, 256t, 257-259, 258t, 259f, 263, 263t, 299-302, 300t, 305t, 311
 contamination des lichens, 257-259, 258t
 contamination des végétaux, 251, 257
 incorporation de radionucléides dans la, 250-259, 338
 modifications biologiques de la, 263
 modifications génétiques de la, 261-263, 295-296
 modifications morphologiques de la, 259-261, 259t
 tumeurs dans la, 261
- flore microbienne, 291-295
- Floride, contamination de la, 36
- fleuves et rivières, contamination des, 240-241
- fluctuation d'asymétrie, 283-284, 283t-284t, 338
- fœtus avortés, analyses de, 119, 146, 148t
- foie
 contamination du, 312t
 maladie du, 138-140
- fonction testiculaire, 102, 117, 120, 122
- fonctions de rétention corps entier, 320, 320f
- Fonds Mitterrand, 319
- Fonds pour les Enfants de Tchernobyl, 319
- Food and Drug Administration (FDA).
 « Agence américaine des produits alimentaires et médicamenteux », 303-304
- forêt (s)
 comme « cloison vive », 327
 contamination de la (des), 250, 253-254, 263, 278, 324
 incendies de, 36, 66, 237, 239
 mesures de protection de la (des), 326-327, 329, 339
 « forêt rousse », 250, 263, 278
- forêt à riche strate arbustive, 253
- forêts de conifères, 263
- Forum de Tchernobyl, 12-13, 19, 43, 50, 54, 55, 224, 337
- foulque, 271
- fractures pathologiques, 124
- Fragaria*, *fragaria vesca*. Voir fraises, fraises sauvages
- fraises, fraises sauvages, 254-257, 254t, 255f, 255t, 257t, 300, 328
- framboise (*Rubus idaeus*), 254t, 255f, 255t, 257, 257t, 261, 328
- France
 cancer de la thyroïde en, 187, 188f, 192t
 contamination, de la, 28t, 34, 39, 187, 188f, 334
 aquatique (de l'eau), 241, 241t
 du sol (terre), 244
 contamination des aliments en, 302
 contamination du corps humain en, 313, 313f
 mesures de protection en, 329
 morbidité par cancer, générale, en, 201t
 mortalité par cancer en, 201t
 secret en, 51
- Frangula alnus* (bourdaine), 255, 255f, 256t, 257
- fromage, 300, 303-304, 316
- Fukushima, 7, 342
- Fulica atra* (foulque macroule), 271

G

- galactorrhée (ou hyperprolactinémie) 55, 118, 120
- galles, formation sur les feuilles de chêne, 261
- ganglions lymphatiques, 81, 108, 183, 232, 281, 282t, 336
- gardon (poisson), 240t, 277
- gastrite
atrophique, 43, 107, 138, 140
chronique, 62t, 137, 140
- gastroduodénite, 62t, 95t, 140
- gaz radioactifs, répartition géographique des, 24-45
- gencives, maladie des, 101, 105, 125, 139, 141
- « génération Tchernobyl », 191, 197t, 201-202
- genièvre, 304
- Géorgie (République de)
contamination de la, 35, 334
malformations congénitales en, 151
- germes de plantes, stimulation immunitaire par les, 317
- gingivite catarrhale chronique, 95, 141
- glande
parathyroïde, 98, 104
pituitaire (hypophyse), 98-102, 118
surrénale(s), 98-101, 200, 312t
cancer des, 200, 200t
thyroïde. Voir thyroïde
- glaucome, 136
- gliome rétinien, 198
- globules
blancs. Voir leucocytes; lymphocytes
rouges. Voir érythrocytes
- glucose, altération de la tolérance au, 100
- glutathion, 75, 81
- glycophorine, mutations de la, 90
- gobe-mouche noir, 276
- goitre, 99, 104-107
diffus, 105-106
endémique, 104
mono-nodulaire, 99, 104-107
multi-nodulaire, 99, 104-107
- Golfe Persique, contamination du, 35
- gorge, troubles de la, 113-114
- graines (céréales), récolte des
composés phénoliques dans les, 263
contamination des, 253, 257
modifications génétiques des, 261t, 262-263
modifications morphologiques des, 260-261, 261t
- Grande-Bretagne. Voir Royaume-Uni
- Grèce
cancer de la thyroïde en, 188, 189f, 192t
contamination de la, 28t, 34, 39, 40f-41f, 241, 242t, 334
contamination des aliments en, 305t
contamination aquatique, 241, 242t
leucémie en, 196, 197t
morbidité par cancer, générale, en, 201t
mortalité
par cancer en, 201t
prénatale en, 209f, 212t, 213t
taux de natalité en, 211
- Greenpeace International, 12
- grenouille (s). Voir aussi *Rana*
incorporation de radionucléides, 271, 272, 338
modifications biologiques chez les, 283-284, 284t
modifications génétiques chez les, 279, 279t, 338
- groseille, 321, 328
- grossesse
complications pendant la, 10, 118-120, 293
dysfonctionnement de la thyroïde pendant la, 98
exposition *in utero* pendant la. Voir exposition *in utero*
infections pendant la, 144
malformations congénitales pendant la. Voir malformations congénitales
niveaux de vitamine A pendant la, 153
niveaux d'hormones pendant la, 98
résultats de la. Voir mortalité des nourrissons ; périnatale ; avortements spontanés ; mort-nés
- Grossularia* (groseille à maquereau), 328
- Gruby, maladie de, 145, 145t, 291
- Gyroporus cyanescens* (bolet bleusant/indigotier), 258t

H

- handicap primaire. Voir invalidité primaire
- haricot mungo (*Phaseolus aureus*), 263t
- Hawaï, contamination de, 36
- Hémisphère Nord, contamination de l', 23, 23f, 24f, 45
- Hémisphère Sud, contamination de l', 36
- hémoglobine, 80-81
- hépatite
active, 139
aiguë, 138
associée au cancer, 293
chronique, 138-139, 144-145
hépatite B, 138, 144, 291
hépatite C, 138, 144, 291
hépatite D, 291
hépatite G, 291
infectieuse, 143-144, 336
- herbes, 252t, 254-256, 255f, 256t, 325
aromatiques, 252t, 254-256, 256t
- hernie, 147t-148t, 153

herpès
 gestationnel, 144
 infections par le virus de l', 143-145, 291, 293
Heteroptera (punaise), 284
 « hibakushas », 117, 133, 232
Hieracium murorum (épervière des murs), 261
Hieracium umbellatum (épervière en ombelle), 261
 hirondelles
 anomalies de la reproduction chez les, 275
 modifications biologiques chez les, 283
 modifications génétiques chez les, 278-279, 279f, 280t
 Hiroshima
 cancer à, 177, 178, 190, 192, 202
 comparaison du rayonnement avec, 19, 23
 effets cognitifs à, 133
 « hibakushas », 117, 133, 232
 impact génétique d', 97-98
 recherche et secret sur, 20
Hirundo rustica. Voir hirondelles
 Hodgkin, maladie de, 193, 193t-194t, 196t
 Hongrie
 contamination de la, 28t, 39, 246t
 faible poids de naissance en, 69
 malformations congénitales en, 152t, 153
 morbidité par cancer, générale, en, 201t
 mortalité
 par cancer en, 201t
 prénatale en, 209f, 211, 212f, 212t-213t
 sex-ratio en, 122, 211-212f
 taux de natalité en, 211
Hordeum vulgare (orge), 257, 260, 261t, 262t
 hormone
 adrénocorticotrophine (ACTH), 100t
 du métabolisme du calcium, 101
 folliculo-stimulante (FSH), 102, 120
 gonadotrope, 99, 103-104
 lutéinisante (HL), 102
 parathyroïdienne / parathormone (PTH), 101
 thyroïdienne (TGH), 100, 103
 hormone(s)
 déséquilibre / troubles, 98-108
 données sur les, revue des, 98-103
 troubles de la reproduction, 117-118
 hydrocéphalie, 150, 153
Hyla (rainette verte), 271
Hyloconium Splendens (mousse), 252t
Hypericum perforatum (millepertuis perforé), 254-255, 255f, 256t, 257
 hyperprolactinémie (ou galactorrhée), 55, 118, 120
 hyperréflexie, 132
 hypertension, 81, 83-85, 105
 hyperthyroïdie, 83, 100, 103-104, 106-107, 283

Hypochoeris radicata (porcelle enracinée), 262
 hypochondrie, 129
 hypogonadisme, 104
Hypogymnia physodes (parmélie grise), 284
Hypophthalmichthys molitrix (carpe argentée), 276
 hypophyse (glande pituitaire), 98-102, 118
 hypothyroïdie, 96, 98, 100-105, 180

I

I-129. Voir iode-129
 I-131. Voir iode-131
 I-132. Voir iode-132
 I-133. Voir iode-133
 I-135. Voir iode-135
 Idaho, contamination de l', 19, 36t
 immunoglobuline (s), 96, 108-111
 dans le lait maternel, 110
 IgA, IgE, IgG, IgM, 108-111, 109t
 impuissance, 104, 118
 incendies de forêt, 36, 66, 237, 239
 incorporation de radionucléides
 dans la faune, 267-273, 285, 338
 dans la flore, 250-259, 338
 dans le corps humain, 304-313
 dans les organes humains, variations de l', 312, 312t
 indice de diversité de Shannon, 292
 indice standardisé de mortalité (ISM), 219-219f, 223
 industrie nucléaire
 défenseurs de l', 7-8, 9-11, 340-341
 méfiance au sujet de l', 8, 9
 infantile. Voir enfants, nourrissons, nouveau-nés
 infection (s), 143-145, 336
 à cytomégalovirus, 144, 291
 aberrations chromosomiques et, 97
 au Belarus, 143-144
 congénitale (s), 144-145
 contamination microbienne et, 291-293
 en Russie, 144-145, 145t
 en Ukraine, 144
 maladies du système immunitaire et, 108-110
 polymorphismes génétiques des protéines et, 93
 respiratoires virales aiguës (ARV), 110-112
 urogénitales chroniques, 143
 infertilité. Voir stérilité
 infestations parasitaires, 143-145, 336
 au Belarus, 143-144
 en Russie, 144-145, 145t
 en Ukraine, 144
 influenza, 293

- insectes
 - modifications biologiques chez les, 284
 - modifications génétiques chez les, 279, 279t, 295
 - insertions chromosomiques, 86, 91
 - Institut bélarusse de médecine des rayonnements et d'endocrinologie, 317
 - Institut BELRAD, 57, 297, 299-300, 304, 307-311, 318-322, 339
 - Institut forestier de l'Académie nationale des Sciences du Belarus, 327
 - insuline, 100-101, 100t
 - interféron, 108, 109
 - Internet, ressources, 13
 - intervalles de confiance, 55
 - intestin, cancer de l', 198-199
 - Introduction à la phénétique des populations*, 54
 - invalidité primaire
 - au Belarus, 62-63, 63f
 - en Russie, 67-69, 69t
 - en Ukraine, 63-67, 64f, 65t, 66f, 66t, 67f
 - inversions chromosomiques, 86, 95, 262
 - iode, fourniture d', 317, 340
 - « iode », période, 98
 - iode-129 (I-129), 191
 - iode-131 (I-131)
 - contamination géographique par l', 28-29, 30t, 34-37, 36t-37t, 188, 334
 - contamination spécifique par l',
 - alimentaire, 273, 302-303, 304t-305t
 - aquatique (de l'eau), 240-241, 240t, 242t
 - de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 237-238, 238t-239t
 - de la flore, 252t
 - du corps humain, 313
 - du sol (terre), 243, 245, 245t
 - et « particules chaudes », 39
 - modifications du spectre de la, 42
 - effets sur la santé de l',
 - cancer de la thyroïde, 182, 184, 187, 190f, 191
 - maladie de la thyroïde, 103
 - iode-132 (I-132), contamination par l'
 - géographique, 28-29, 40f
 - spécifique,
 - aquatique (de l'eau), 241-242t
 - de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238
 - du sol (terre), 244-245, 245t
 - iode-133 (I-133)
 - contamination de l'air au niveau du sol (atmosphérique) par l', 238t
 - difficulté à reconstruire la dose d', 53
 - émissions principales d', 37t
 - modifications du spectre de dose d', 42
 - iode-135 (I-135)
 - difficulté à reconstruire la dose d', 53
 - émissions principales d', 37t
 - iodure de potassium, 340
 - ions, résines échangeuses d', 317
 - Irak, contamination de l', 35
 - Iran, contamination de l', 35, 336
 - Irlande
 - contamination de l', 28t, 244
 - contamination du sol, 245t
 - morbidité par cancer, en, 192t, 197t, 201t
 - mortalité par cancer en, 192t, 197t, 201t
 - irradiation. *Voir aussi* radionucléides et les différents radionucléides
 - difficulté dans la détermination de l', 53-54, 57
 - effet stochastique, 60
 - externe/interne/grave, 10
 - Islande
 - contamination de l', 334
 - mortalité prénatale en, 211, 212f, 212t-213t
 - Israël
 - cancer de la thyroïde en, 188
 - maladies des organes de la reproduction en, 122
 - maladies des organes des sens en, 136
 - Italie
 - cancer de la thyroïde en, 189, 192t
 - contamination de l', 28t, 34, 334
 - contamination aquatique en, 242f, 243
 - contamination de la faune en, 275, 278
 - contamination des aliments en, 303, 305t
 - contamination du corps humain en, 313
 - contamination du sol en, 244
 - morbidité par cancer, générale, en, 201t
 - mortalité
 - par cancer en, 201t
 - prénatale en, 212t
 - taux de natalité en, 211
- ## J
- jambes, 83, 94
 - « jambes de Tchernobyl », 232
 - Japon, contamination par Tchernobyl,
 - du pays, 35
 - de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238, 239t
 - des aliments, 305t
 - des plantes, 252t, 258t
 - du corps humain, 312
 - du sol (terre), 244
 - jus de baies, 304
 - jus de pomme, 304

K

K. Voir potassium
 Kaposi, sarcome de, 293
 Kennedy, John F., 341
Klebsiella, 292
 Klinefelter, syndrome de, 93
 Kofi Annan, 20
 krypton-85 (Kr-85), 37t

L

« l'effet de la catastrophe de Tchernobyl », 187
 La-140. Voir lanthane-140
 labour / labourage par disque (disquage), 325
 lacs, 239-241, 273, 277, 324
 lactaire
 laiteux noir (*Lactarius sp.*), 258t, 301
 meurtrier (*Lactarius necator*), 258
 lactation
 chez les femmes âgées, 55, 118
 immunoglobulines dans la, 110
 lait
 allergie au, 109
 contamination du, 10, 53, 305t, 307
 au Belarus, 300, 300t-301t
 au Mexique, 303
 au Royaume-Uni, 302
 aux États-Unis, 190, 190f, 304, 304t
 en Finlande, 301, 302f
 en Italie, 303, 305t
 en Pologne, 303
 en Ukraine, 301
 mesures de protection contre la, 316, 322, 325-329, 326t, 339
 réduction de la, 327
 décorporation, 321-322
 immunoglobulines de la mère dans le, 110
 production de, chez les femmes âgées, 55, 118
 laitron des champs (*Sonchus arvensis*), 258
 laitue des murs (*Mycelis muralis*), 262
 LAL. Voir leucémie aiguë lymphoblastique
 lanthane-140 (La-140)
 contamination
 générale, 35-36, 37t
 aquatique (de l'eau), par le, 241-242t
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique), par le, 238
 de la flore, par le, 251t
 du sol (terre), par le, 245
 inégaie / irrégulière (en taches), 39
 « particules chaudes », 39
 Lamiaceae, 257
 larynx
 maladies chroniques du, 95

tumeurs du, 200
 laurier, feuilles de, 304
Leccinum scabrum (bolet rude), 258t, 300t
 légumes
 contamination des, 257, 299-301
 décorporation, 316
 mesures de protection pour les, 328-329, 339
 lentilles rouges (*Lens sp.*, plante), 304
Leontodon autumnalis (liondent d'automne), 262
Lepus europeus (lièvre d'Europe), 268t, 270t
Lepus timidus (lièvre timide), 268t
 « lésion aiguë des voies respiratoires supérieures par inhalation », syndrome de, 114, 232, 336
 « lessiver » les radionucléides, 317
 Lettonie
 contamination de la, 28t, 44, 244
 morbidity par cancer, générale, en, 201t
 mortalité
 par cancer en, 201t
 prénatale en, 211, 212f
 leucémie, 192-197, 336
 au Belarus, 78, 192-194, 193t, 194t, 197-198
 en Russie, 195-196, 196t, 200
 en Ukraine, 194-195, 195f-195t, 199
 autres pays, 196-197, 197t
 prévisions pour la, 201-202, 201t
 temps avant apparition clinique de la, 177
 leucémie (types). Voir aussi lymphomes
 aiguë lymphoblastique (LAL), 193t-194t, 194-196
 aiguë myéloïde (LAM), 194, 195-195t
 aiguë non lymphoblastique, 193t-194t
 érythrocytaire, 193-193t
 lymphoïde à gros granules, 195
 leucocytes, 78-81, 110-111, 280-282, 281t, 284t. Voir aussi lymphocytes
 leucose. Voir leucémie
 leucotriènes, réaction des récepteurs des, 81
 leu-encéphaline, 113
 lichens, contamination des, 257-259, 258t
 lièvre
 d'Europe, 268t, 270t
 variable, 268t
 chasse, du, 327
 « lièvre, bec de », 151, 152t
 lignine, 339
 limande (*Platichthys flesus*), 302f
 liondent d'automne, 262
 lipides, oxydation des, 79, 81, 132, 317
 liquidateurs
 aberrations chromosomiques chez les, 87-91, 96
 au Belarus, 87, 87t
 en Russie, 89-90, 90f-90t, 91-91t

- en Ukraine, 87-88
- aventurisme technologique et héroïsme des, 19
- cancer de la thyroïde des, 184-185
- dissimulation et falsification des données sur les, 50-52
- dosimétrie de groupe des, 52
- enfants de,
 - aberrations chromosomiques chez les, 87-88, 95-96
 - anomalies congénitales / malformations chez les, 94-94f, 149-149f, 151
 - état immunitaire des, 94, 96, 110, 112
 - maladie endocrinienne des, 101, 102f
 - morbidité générale des, 94-95, 96t
- espérance de vie des, 220
- état catastrophique de la santé des, 336
- infections et infestations parasitaires chez les
 - au Belarus, 144
 - en Russie, 145
- leucémie chez les
 - au Belarus, 193
 - en Russie, 196
 - en Ukraine, 195-195t
- maladie (s) cardiovasculaires des,
 - au Belarus, 83
 - en Russie, 84-85, 84t
 - en Ukraine, 83
- maladie (s) de la peau des, 142-143-143t, 154t
- maladie (s) de la thyroïde des
 - au Belarus, 105-105t
 - en Ukraine, 106-106f
- maladie (s) des organes des sens des
 - au Belarus, 134-135
 - en Russie, 136
 - en Ukraine, 135-136
- maladie (s) des os et des muscles des,
 - au Belarus, 123
 - en Ukraine, 124
 - en Russie, 124-125-125t
- maladie (s) du sang et des organes hématopoïétiques des,
 - au Belarus, 77-79
 - en Russie, 80-82, 82t
- maladie (s) du système digestif / des organes viscéraux des
 - au Belarus, 137-138
 - en Russie, 140-141, 140t-141f
 - en Ukraine, 138-139-139t
- maladie (s) du système endocrinien des
 - au Belarus, 100-100t
 - en Russie, 101-103, 102t-103t
 - en Ukraine, 101
- maladie (s) du système immunitaire des
 - au Belarus, 110-110t
 - en Russie, 112-113
 - en Ukraine, 111
- maladie (s) du système nerveux des
 - au Belarus, 126
 - en Russie, 130-133, 131t
 - en Ukraine, 128-129
- maladie (s) du système respiratoire des
 - en Russie, 116-117, 117t
 - en Ukraine, 115-116, 115f
- maladie (s) urogénitale / de la reproduction des
 - en Russie, 121-122, 121f-122t
 - en Ukraine, 119-120
- morbidité générale des
 - au Belarus, 62-63
 - en Lituanie, 69
 - en Russie, 67-68, 68t, 153, 154t
 - en Ukraine, 65-67, 66f-67f, 66t
- morbidité par cancer, générale, des
 - au Belarus, 198
 - en Ukraine, 179, 200
- mortalité des, 218-223
 - au Belarus, 218
 - en Russie, 219-221, 219f, 220t
 - en Ukraine, 218-219-219f
- nombre de, 19, 51
- Registre des, 52
- ressources Internet sur les, 13
- vieillesse accélérée des, 74-75
- « liquidateurs de Tchernobyl », 19, 55. Voir aussi liquidateurs
- Lituanie
 - contamination de la, 28t, 44t, 238, 240
 - morbidité par cancer, générale, en, 201t
 - mortalité par cancer en, 201t
 - santé des liquidateurs en, 69
 - suicide en, 133
- Louguiny, district de, Ukraine, 231
- loup, 275
- loutre, excréments de, 268t
- lupin, 253
 - blanc (*Lupinus alba*), 262t
 - jaune (*Lupinus luteus*), 257
- Lupus lupus* (loup), 275
- lutéotrophine, 101
- Luxembourg
 - contamination du, 28t
 - morbidité par cancer, générale, en, 201t
 - mortalité par cancer en, 201t
- lymphatique (s)
 - ganglions, 81, 108, 183, 232, 281, 282t, 336
 - maladies, 77-82, 108, 192-193, 196
- lymphocytes
 - analyse pour les aberrations chromosomiques des, 86-91
 - troubles des, 78, 80-81, 108-113

lymphocytes (types)

B, 95, 108-111
 CD22, 108
 CD3+, 80, 108
 CD4+, 80, 108, 113
 CD8+, 112, 113
 HLA-DR, 108
 T, 78, 80, 90, 95, 109-112

lymphœdème sous-cutané (lymphotoxémie), 142

lymphoïde, cancer

au Belarus, 193, 193f, 193t, 194t
 en Russie, 122, 195-196
 en Ukraine, 195, 195f, 195t, 196t

lymphome

au Belarus, 192-193, 193t-194t
 en Russie, 195, 196t, 197
 en Ukraine, 195f, 195t

lymphome non-hodgkinien

au Belarus, 193, 193t-194t
 en Russie, 195

lymphopoïèse, 81t, 82

lymphosarcome, 195, 282

M

maculaire, dégénérescence, 135

maïs, 253, 263t

maladie. Voir aussi maladie(s) par type spécifique

bénigne / non-cancéreuse, 10, 77-176, 335-336

maligne. Voir cancer

oncologique, xviii, 177-207. Voir aussi cancer

maladie bénigne / non-cancéreuse, 10, 77-176, 335-336. Voir aussi détail dans maladie(s) par type spécifique

cardiovasculaire, 82-85
 de la peau, 141-143
 de la thyroïde, 103-108
 des organes des sens, 133-137
 des os et des muscles, 123-125
 du sang et du système lymphatique, 77-85
 du système digestif et des organes viscéraux, 137-141
 du système immunitaire, 108-113
 du système nerveux, 125-133
 du système respiratoire, 113-117
 endocrinienne, 98-108
 génito-urinaire et de la reproduction, 117-123
 infections et infestations parasitaires, 143-145
 malformations congénitales, 145-153
 modifications génétiques, 85-98

maladie(s) par type spécifique

biliaire, 138-140

cardiovasculaire, xviii, 82-85

aberrations chromosomiques et, 97
 au Belarus, 82-83
 en Russie, 84-85-84t
 en Ukraine, 83

cérébro-vasculaire, 82-85

de Gruby, 145, 145t, 291

de Hodgkin, 193, 193t-194t, 196t

de la peau, 141-143, 154t-155t

au Belarus, 142, 154t
 en Russie, 142-143, 142t-143t, 154t
 en Ukraine, 142, 154t-155t
 purulentes, 112

de la thyroïde, 103-108

au Belarus, 104-105, 105t
 en Russie, 106-107, 107t
 en Ukraine, 105-106, 106f-106t

de la vésicule biliaire, 138, 140

des organes hématopoïétiques, 77-82

des organes viscéraux, 137-141

au Belarus, 137-138
 en Russie, 139-141, 139t-140t
 en Ukraine, 138-139, 139t

des os, 123-125, 335

au Belarus, 123
 en Russie, 124-125, 124t-125t
 en Ukraine, 123-124, 123t

du foie, 138-140

du larynx, chroniques, 95

du nasopharynx, 10, 113-117

du sang

bénigne / non-cancéreuse, 77-82
 au Belarus, 77-79, 78t
 en Russie, 80-82, 82t
 en Ukraine, 79-80

chez les enfants de parents irradiés, 94-95, 95t

maligne / cancer, 192-197, 336. Voir aussi leucémie

du système circulatoire, 77-85, 335

du système digestif, 137-141

au Belarus, 137-138
 en Russie, 139-141, 139t-140t, 141f
 en Ukraine, 138-139, 139t

du système endocrinien, 98-108, 335

au Belarus, 98-100
 en Russie, 101-103, 101t-103t, 102f
 en Ukraine, 100-101

chez les enfants de parents irradiés, 99-102

données sur la maladie, 98-103

du système immunitaire, 108-113, 335

au Belarus, 108-110, 109t, 110t
 en Russie, 112-113
 en Ukraine, 110-111

- chez les enfants de parents irradiés, 108-112
- du système nerveux / neurologiques, 126-133, 336
 - au Belarus, 126
 - en Russie, 129-133, 130t-131t
 - en Ukraine, 126-129, 127f-127t-128t
- du système respiratoire, 113-117, 232, 335
 - au Belarus, 114
 - en Russie, 116-117, 116t-117t
 - en Ukraine, 114-116, 115f
 - chez les enfants de parents irradiés, 95
- gastro-entériques et aberrations chromosomiques, 97
- gastro-intestinales. Voir maladies du système digestif
- hépatique, 138-140
- lymphatique, 77-85, 108, 192-193, 196
- musculaires, 123-125, 335-336
 - au Belarus, 123
 - en Russie, 124-125, 124t-125t
 - en Ukraine, 123-124
- parodontale, 101, 105, 125, 139, 141
- « persistante du rayonnement », 232, 337
- séniles, 74-76
- malformations congénitales (MC), 145-153, 336, 340
 - au Belarus, 126, 146-148, 146t-148t, 154t
 - en Russie, 7, 150-151-151t
 - en Ukraine, 7, 63-64, 148-150, 149f, 215-215t, 218, 231-231f
 - consultations génétiques / diagnostic prénatal sur les, 340
 - d'origine génétique, 93-94, 96-97
 - de l'appareil urogénital, 150
 - de l'œil, 134
 - de l'oreille, 134
 - des membres, 130, 146-147, 148t, 149, 151, 152t, 153
 - des nouveau-nés, 7, 94, 137, 141, 146, 147t-148-148t-149, 151t-152t, 153
 - du système nerveux, 126, 151, 152t
 - grandes, 146
 - maxillo-faciales, 92, 150
- mammifères
 - anomalies de la reproduction chez les, 273-277
 - concentrations maximales de radionucléides chez les, 268-268t
 - espèces indicatrices, 269
 - incorporation de radionucléides chez les, 267-273, 338
 - modifications biologiques chez les, 280-285
 - modifications génétiques chez les, 277-280, 295
 - Variabilité des mammifères* (Yablokov), 54
- manganèse-54 (Mn-54), 35, 238
- « marmite », de la microévolution, 338
- massette à feuilles étroites, 252t
- maux de tête, 62t, 66, 103, 127, 127t, 130, 132
- MC. Voir malformations congénitales
- Médecins du Monde pour la prévention de la guerre nucléaire, 42
- Medetopect, 318
- mélanome, 200
- membres
 - « de Tchernobyl », 337
 - malformations des, 130, 146-147, 148t, 149, 151, 152t, 153
- ménopause, 120, 199
- Mer Baltique, 242-243, 272t, 301, 302f
- Mer de Béring, 272t
- Mer du Nord, 241, 272t
- Mer Égée, 280
- Mer Noire, 36, 152t, 272t
- Mer Tyrrhénienne, 242f, 243
- mers, contamination des, 239-243
- mésange charbonnière (*Parus major*), 271t, 276
- mesures de protection, 316-331
 - agricoles, 325-326, 325t, 326t, 331-333, 339
 - décorporation des radionucléides, 316-322, 339
 - pour la sylviculture, la chasse et la pêche, 326-327, 329, 331
 - dans la vie quotidienne, 328-330
- mesures directes, 321
- métabolisme anoxique à type de fermentation, 153
- métastases
 - dans les ganglions lymphatiques, 180, 182
 - pulmonaires, 183
- méthionine-encéphaline, 113
- Mexique, contamination des aliments au, 303
- micro-organismes, 291-293, 296, 338
- microbes, fréquence des, 292
- microévolution, 296, 338
- micronoyaux, 78, 87, 87t, 96, 263t, 278-279
- microphthalmie, 134, 150
- Microsporum* (microsporie), 145
- miel, 273
- migraines. Voir maux de têtes.
- migration verticale, dans le sol, 53, 243, 243t, 246
- Mn-54. Voir manganèse-54
- Mo-95 et 99. Voir molybdène-95 et 99
- modifications génétiques
 - chez l'homme, 85-98, 336
 - de la faune, 277-280, 285, 295-296, 337-338
 - de la flore, 261-263, 295-296, 337-338
- moineau (*Passer domestica*), 278
- Moldavie
 - contamination de la, 28t

- maladies cardiovasculaires des liquidateurs en, 85
- malformations congénitales en, 153
- morbidity par cancer, générale, en, 201t
- mortalité par cancer en, 201t
- mollusques, contamination des, 245, 246t
- molybdène-95 (Mo-95), 36, 245
- molybdène-99 (Mo-99), 37t, 238t, 245t
- morbidity, problèmes de données
 - falsification et recel des, 50-52, 192, 334
 - problèmes méthodologiques, 50-59
- morbidity globale, 60-73, 154t, 197-201, 231-233, 335-338
 - au Belarus, 60-63, 146-148, 154t
 - chez les adultes, 62-63, 63f
 - chez les enfants, 60-62, 61t-62t, 154t
 - en Russie, 67-69, 151, 151t, 153-154-154t
 - chez les adultes, 67-69, 68t-69t, 153-154, 154t
 - chez les enfants, 67-67t, 151-151t
 - en Ukraine, 63-67, 152
 - chez les adultes, 65-67, 65f-65t-66f-66t, 67f, 155t
 - chez les enfants, 63-64, 63t, 64f, 65t, 155t
 - chez les enfants de parents irradiés, 94-96
 - facteurs sociaux, économiques et psychologiques de la, 70
 - liée au cancer (global), 178-179, 197-201, 201t
 - au Belarus, 178-179, 178t, 179f, 179t, 197-199, 201t
 - en Russie, 179-180, 180t, 200, 201t
 - en Ukraine, 179, 199-200, 201t
 - liée au cancer de la thyroïde, 181-192
 - au Belarus, 181-182, 181f
 - en Russie, 185-187
 - en Ukraine, 182-185, 183f, 184f-185f
- morbidity gynécologique, 117-123
- mort-nés, enfants, 208-213, 213t. *Voir aussi*
 - mortalité périnatale
 - au Belarus, 209-209f
 - au Royaume-Uni, 211, 213t
 - en Allemagne, 209-209f, 210-211, 212f-212t-213t
 - en Croatie, 210, 210f
 - en Finlande, 211, 212t-213t
 - en Grèce, 211, 213t
 - en Hongrie, 212f, 213t
 - en Italie, 211, 212t
 - en Norvège, 211, 212f-212t-213t
 - en Pologne, 211, 212f-212t-213t
 - en République Tchèque, 210, 210f
 - en Russie, 209-210, 210f
 - en Suède, 212f-212t-213t
 - en Ukraine, 123, 209, 214f
 - « enfants méduses », 123
 - mortalité, 208-233. *Voir aussi les types spécifiques*
 - des liquidateurs, 218-223
 - nombre total de décès supplémentaires, 223-225, 224t, 337
 - nombre total de victimes, 50, 224-225, 337
 - par cancer, 200-202, 201t, 221-222, 222t
 - taux standardisé par âge, 223-224, 224f
 - mortalité infantile, 218
 - au Belarus, 219
 - en Russie, 219
 - en Ukraine, 219
 - mortalité des nourrissons, 60, 143-144, 147, 200, 208, 208f, 213, 215-217
 - au Belarus, 60, 143-144, 147, 208f
 - en Allemagne, 213t, 216f, 217
 - en Finlande, 213t, 215, 216f
 - en Pologne, 216f-217
 - en Russie, 144, 151, 200, 208f, 215-215t
 - en Suède, 217-217f
 - en Suisse, 217, 217f
 - en Ukraine, 208f, 215-215t
 - mortalité globale, 222-230
 - calculs de la, 223-226, 223f
 - au Belarus, 221, 221f, 223-225, 232
 - en Russie, 222-225, 222t-223f-223t-224t, 232
 - en Ukraine, 221-222, 222t, 224-224t, 232
 - mortalité périnatale et néonatale, 211, 213-215
 - au Belarus, 213, 214f
 - au Royaume-Uni, 211-211f, 215
 - en Allemagne, 210, 210f, 214-215
 - en Pologne, 215
 - en Ukraine, 214, 214f
 - mortalité prénatale, 208-213
 - au Belarus, 118, 209, 209f, 213
 - au Danemark, 211-212, 212f, 213t
 - au Royaume-Uni, 211-211f
 - en Allemagne, 209f, 212f, 212t, 213t
 - en Croatie, 210, 210f
 - en Finlande, 211, 212t
 - en Grèce, 211, 212t-213t
 - en Hongrie, 211, 212f, 212t-213t
 - en Islande, 211, 212f, 212t-213t
 - en Italie, 212t
 - en Norvège, 211, 212f-212t-213t
 - en Pologne, 211, 212f-212t-213t
 - en République Tchèque, 210, 210f
 - en Russie, 67, 121, 121f, 209, 210-210f, 213
 - en Suède, 211, 212f-212t-213t
 - en Suisse, 212t
 - en Ukraine, 120, 209, 213, 214-214f
 - sex-ratio, 211-211f-212f
 - mouches (*drosophiles*), 279, 280t
 - mousse, 252t
 - partie aérienne, 252t

mouton, contamination de la viande, 267, 302, 305t, 325, 328
 MPO. Voir myéloperoxydase
 MTA. Voir myélotoxique, activité du sang
Mucor hiemalis, 292
 Muctdinaceae, 292
 mulot à collier roux, 268t, 269, 277, 280t, 281
 mungo, haricot (*Phaseolus aureus*), 263t
 mûres de ronces. Voir ronces
Mus musculus (souris de laboratoire), 273-282
 musaraigne
 commune, 268t, 283, 283t
 pygmée, 268t
 muscle squelettique, contamination du, 312t
 mutations
 chromosomiques, 86-93, 95-98
 au Belarus, 86-87, 87t
 chez les enfants de parents irradiés, 87-88, 95
 comme indicateurs de l'état de santé, 96-97
 de la faune, 277-280, 285, 295-296, 337-338
 de la flore, 261-263, 295-296, 337-338
 en Russie, 89-91, 89t-90f-90t-91t
 en Ukraine, 87-88-88t
 incidence des, 86-87-86t
 instables, 53, 86-87, 89-91, 90f
 stables, 50, 53, 57, 86-88, 91, 97
 comme indicateurs de l'état de santé, 96-97
 de la faune, 277-280, 285, 295-296, 337-338
 de la flore, 261-263, 295-296, 337-338
 de novo, 94, 96
 du génome, 86-89, 92-93
 fréquence des, changements, 86-92
 ponctuelles, de petite taille, 86, 96
Mycelis muralis (laitue des murs), 262
 mycélium, 317
 myélome multiple, 193t-194t, 195, 196t
 myéloperoxydase (MPO), 113
 myélotoxique, activité du sang (MTA), 78
 myomes, 89, 89t, 97, 105
 myopie, 135
 myrtilles, 253-257, 269, 328
 myxœdème, 103

N

Nagasaki. Voir Hiroshima
 naissance(s)
 malformations congénitales à la, 7, 145-153
 faible poids de, 61, 63, 67, 69-70, 69f, 95, 213t
 par césarienne, perte de sang lors des, 83
 prématurées, 60, 61, 69, 116, 119-120, 211
 sex-ratio des, 7, 122-123, 210
 Nb-95. Voir niobium-95

Nd-147. Voir néodyme-147
 Niémen (fleuve), 240
 nématodes, 285, 285t
 néodyme-147 (Nd-147), 238t
 neptunium-239 (Np-239)
 contamination par le, 37t, 238t, 273
 modifications du spectre de dose du, 42
 nerprun (*Rhamnus*), 257
 neutrophiles, 108-113
 névroses, 129
 New-Jersey, contamination du, 36, 36t
 New-York, contamination de, 36, 36t
 Nil (fleuve), contamination du, 34
 niobium-95 (Nb-95), 35, 42, 238, 240, 240t, 251t-252t, 258t, 271t-272t
 niveau d'intervention officiel (DIL), 304
 « niveau de rayonnement et effet », 54
 NK. Voir cellules tueuses naturelles
 noisetier, 304
 noisettes, 304, 327
 Norvège
 aberrations chromosomiques en, 92
 cataractes en, 137
 contamination de la, 29t, 329, 334, 338
 de la flore, 252t, 258t
 de la faune, 7, 268t, 272t, 273f
 du sol (terre) en, 244, 244t
 des aliments, 303
 maladies du système nerveux, 133
 malformations congénitales en, 153
 mesures de protection en, 324
 morbidity par cancer, générale, en, 201t
 mortalité
 par cancer, 201t
 prénatale, 211, 212f, 212t-213t
 sex-ratio des naissances en, 122
 nourrissons, mortalité des. Voir mortalité des nourrissons.
 nouveau-nés
 asphyxie des, 114, 116
 difficultés respiratoires des, 114, 116, 119
 maladies cardiovasculaires des, 82-84
 maladies des os et des muscles des, 123
 malformations congénitales des, 7, 94, 137, 141, 146, 147t-148-148t-149, 151t-152t, 153
 mortalité des. Voir mortalité des nourrissons et mortalité périnatale et néonatale
 prématurés, 60, 61, 69, 116, 119-120, 211
 Np-257. Voir neptunium-257
 nuage radioactif, 23-46

O

obésité, 101
 occupants sans titre (« samosels »), aberrations chromosomiques chez les, 87, 88t

Océan Pacifique, 35-36, 269, 272t
 œil / yeux,
 accommodation, 74, 134-135
 cataractes et opacité du cristallin, 19, 74, 93, 133-137, 134t, 340
 malformations congénitales, 134
 au Belarus, 134-135-134t-135f
 en Russie, 136
 en Ukraine, 135-136
 système immunitaire, 110
 vieillesse accélérée, 74-75
 œstradiol, 101
 œstriol, 99
 œstrogène, 120
 œufs, mesures de protection pour les, 328
 Office fédéral allemand de radioprotection, 328
 oignons
 aberrations chromosomiques dans les, 262, 263t
 contamination, 300t
 oiseaux
 anomalies de la reproduction chez les, 275-276
 immigration dans la zone de Tchernobyl des, 285, 295
 incorporation de radionucléides chez les, 240, 270-272, 271t-272t, 302, 338
 modifications biologiques chez les, 283
 modifications génétiques chez les, 278-279, 279f, 280t
 oligochètes, 277, 280t
 oligohydramnios, 119
 omble chevalier, 273f
 OMS. Voir Organisation mondiale de la santé
 orchite auto-immune, 122
 Oregon, contamination de l', 36, 275
 organes des sens
 maladies des, 133-137
 au Belarus, 134-135, 134t-135f
 en Russie, 131t, 136
 en Ukraine, 135-136
 malformations des, 134, 147, 151
 organes hématopoïétiques
 maladies des, 77-82, 154t
 tumeurs/cancers des, 192-193, 193f, 196-197
 Organisation mondiale de la santé (OMS)
 dénis/mensonges de l', 7, 70, 96
 estimation de la dose collective par l', 43
 exigences méthodologiques de l', 54, 335
 Forum de Tchernobyl et, 12-13, 19, 43, 50, 54, 55, 224, 337
 premières prévisions de l', 337
 tests d'entérosorbants pectine, 318
 orge, 257, 260, 261t, 262t
 oribates, acariens, 284

Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture. Voir FAO
Origanum vulgare (origan, origan commun), 254, 256t, 257, 304
 ostéochondrose, 107, 124
 ostéopénie, 125, 335
 ostéoporose, 74, 104, 123-125, 335
 otite, 112
 oubli, mise en garde contre l', 11, 341
 ovaires, 98, 103, 117-119, 209
 kystes des, 118-119
 hypofonction des, 209
Ovis ammon (argali / mouflon), 268t
Oxycoccus palustris (canneberge), 252, 254t-255t, 300t, 328

P

Paecilomyces lilacinus, 292
 pain, contamination du, 303
 pancréas, 98, 312t
 anomalies de l'échographie du, 139-140, 139t
 maladies du, 138
 pancréatite, 74, 138, 141
 « particules chaudes », 39-40
 contamination par les, 24, 28, 38-40, 250
 et maladies respiratoires, 113, 232, 336
 difficultés à calculer l'influence des, 53, 234, 334
Parus major (mésange charbonnière), 271t, 276
Passer domesticus (moineau domestique), 278
 Patau, syndrome de, 93
 pathologie(s). Voir maladies
 Pays-Bas
 contamination des, 28t, 271
 morbidity par cancer, générale, aux, 201t
 mortalité par cancer aux, 201t
 Pays de Galles
 contamination du, 29
 faible poids de naissance au, 69, 69f
 mortalité périnatale au, 211, 211f, 213t
 peau
 anomalies de la, 104, 149
 cancer de la, 177, 198, 200, 200t
 au Belarus, 198
 en Russie, 200, 200t
 temps avant apparition clinique du, 177
 maladies de la, 141-143, 154t-155t
 au Belarus, 142, 154t
 en Russie, 142-143, 142t-143t, 154t
 en Ukraine, 142, 154t-155t
 purulentes, 112
 pêcheries, 326-329
 pectine
 de pomme, 322, 339

entérosorbants, 317-320, 333, 339-340
 pélobate brun, 271
Pelobates fuscus (pélobate brun), 271
Perca fluviatilis (perche commune), 272t, 273
 perche (poisson), 272t, 273, 302t, 305t, 328
Perdix perdix (perdrix grise), 271t
 Peroxydation des lipides, 81, 132, 141, 317
 Peyer, plaques de, 108
 pharynx, cancer du, 200, 200t
Phaseolus aureus (haricot mungo), 263t
 phobie du rayonnement. Voir radiophobie
Phoenicurus ochruros (rouge-queue noir), 278
Phragmites communis (roseau commun), 252t
Picea abies (épicéa), 260, 260f, 260t
Pinus silvestris (pin sylvestre), 251-255, 251t, 252f, 253t, 256f-256t, 260-260f-260t, 262
 pin (s)
 aiguilles comme complément alimentaire, 317, 329
 contamination des, 251-255, 251t, 252f, 253t, 256f-256t
 modifications génétiques des, 262
 modifications morphologiques des, 260-260f-260t
 piscicultures, 328
 placenta
 concentrations de radionucléides dans le, 123, 123t
 modifications / anomalies du, 119-120
 plancton, 240, 272t, 273
Plantago lanceolata (plantain lancéolé), 260, 262
Plantago major (plantain commun), 250f
 plantains, 250f, 260, 262
 plante (s)
 coefficient d'accumulation dans les, 251, 254
 composés phénoliques, 263
 concentrations d'anthocyanine dans les, 263, 263t
 contamination des, 243-246, 250-259, 250f-251t, 327, 329, 338
 aquatiques, 240f, 241, 240t, 252t
 niveau de contamination des sols et, 253-253f
 niveaux mondiaux de, 252t, 258t
 détérioration de la santé des, 295, 338
 modifications biologiques des, 263-264
 modifications génétiques des, 261-263-262t-263t, 295-296
 modifications morphologiques, 259-261, 259t-261t, 260f
 ratio de transfert / coefficient du, 253-259, 254t-257t, 255f-256f
 plantes aquatiques, 240-241, 240t, 251, 252t
 plaques de Peyer, 108
 plaquettes (thrombocytes), 78-81, 108

Platichthys flesus (limande), 302f
 plathelminthe, 280
 plie (*Pleuronectes platessa*), 302f
 plomb, contamination par le, 43, 60-61, 61t
 plutonium (Pu). Voir aussi les différents isotopes du Pu
 contamination par le, 20, 27, 29, 33f, 37, 42, 338
 « particules chaudes », 39
 aquatique (de l'eau), 240t, 241
 avec plusieurs radionucléides, 53
 de la faune, 292
 de la flore, 257
 de la nourriture, 304
 du corps humain, 312
 du sol (terre), 338
 modifications du spectre de la, 42
 décorporation, 317
 effets sur la santé
 développement sexuel, 119
 endocriniens, 100
 génétiques, 86, 98
 mesures de protection contre le, 328
 plutonium-238 (Pu-238)
 contamination par le
 au Belarus, 29
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238
 de la faune, 268t, 270f
 de la flore, 257, 259
 émissions principales d', 37t
 plutonium-239 (Pu-239)
 contamination par le
 aquatique (de l'eau), 242
 au Belarus, 29
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 237-240, 237f, 239t
 de la faune, 268t, 270f
 de la flore, 257, 259
 du sol (terre), 243t
 en Égypte, 36
 demi-vie du, 37
 émissions principales de, 36-37, 37t, 334f
 plutonium-240 (Pu-240)
 contamination par le
 aquatique (de l'eau), 242
 au Belarus, 29
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 237-238, 237f, 239t
 de la faune, 268t, 270f
 de la flore, 257, 259
 du sol (terre), 243t
 en Égypte, 36
 émissions principales de, 37t, 334f
 plutonium-240 (Pu-240)
 Am-241 issu de la désintégration du, 42
 effets sur la mortalité du, 225

- émissions principales de, 37t, 334f
- et cancer, 201
- Pneumocystis* (pneumocystose), 291
- pneumonie, 112, 116, 145
- poissons
 - anomalies de la reproduction des, 276-277-276f
 - contamination des, 240-241, 240t, 272-272t-273f, 301-303, 302f-302t, 338
 - détérioration de la santé des, 295
 - mesures de protection pour les, 327-328, 339
 - modifications biologiques chez les, 284-284t
 - modifications génétiques chez les, 280-280t
- poissons benthiques (de profondeur), 328
- poissons-chats, 272t, 328
- poissons phytophages, 328
- poissons rouges, sauvages, 284-284t
- Pôle Sud, contamination du, 36
- pollen
 - anomalies du, 260-263, 338
 - sensibilité au, 110, 112
- Pologne
 - contamination de la, 28t, 34, 39
 - aquatique (de l'eau), 242
 - de la faune, 258t, 272t
 - du sol (terre), 244, 245t-246t
 - des aliments en, 303
 - leucémie en, 197t
 - morbidity par cancer, générale, en, 180, 201t
 - mortalité en
 - des nourrissons, 216f-217
 - par cancer, 201t
 - périnatale en, 215
 - prénatale, 211, 212f-212t-213t
 - sex-ratio des naissances en, 122
 - thyroïde en, 107, 189, 192t
- polydactylie, 93, 94, 147-149
- Polygonum hydropiper* (renouée poivre d'eau), 254
- polymorbidité, 336
- polymorphismes génétiques, des protéines, 93
- polyneuropathie, 130
- polyploïdes, cellules. Voir cellules polyploïdes
- pommes
 - jus de, 304
 - pectine de, 322, 339
- pommes de terre
 - contamination, 10, 300t, 305t
 - et mesures de protection, 326t, 328
- Populus tremula* (tremble), 250f
- porc (viande), 300t, 305t, 328
- porcelle enracinée, 262
- porcs sauvages. Voir sangliers
- potamot nageant (*Potamogeton natans*), 252t
- potassium
 - comme antagoniste des radionucléides, 328, 339
 - complément, avec décorporation, 318
 - iodure de, 340
- poumon (s)
 - cancer du, 10, 113, 197-200, 231
 - au Belarus, 198-199
 - en Russie, 200
 - temps avant apparition clinique, 177
 - maladie des, 113-117
 - métastases pulmonaires, 183
- poussière, 19, 39, 113-114, 237-238. Voir aussi « particules chaudes »
- « poussière de Tchernobyl », 19, 39, 113-114. Voir aussi « particules chaudes »
- prairies de fauche, 339
- pré-éclampsie, 120
- presbytie, 74
- Pripiat (rivière), 240-241, 277, 292
- Pripiat (ville), 44t, 87, 90, 90t, 127-128, 127f, 128t
- progestérone, 99-101, 100t, 118
- projet « Sasakava », 105-106
- prolactine, 55, 100-102, 100t, 118, 120
- pro-oxydatives, conditions, 153
- prostate
 - adénome de la, 120
 - cancer de la, 199, 221
- protéine
 - cationique éosinophile, 108
 - R, 108
 - X éosinophile, 108
- protéines, polymorphismes génétiques des, 93
- protozoaires, 285, 291
- Pu. Voir plutonium
- puberté, apparition de la, 98, 100, 104, 119
- Puccinia graminis* (rouille noire), 263
- pyélonéphrite, 111, 119, 122, 293
 - chronique, 111, 119

Q

- QI (Quotient intellectuel), 127, 127f, 128t, 133
- Quercus* (chêne), 256t, 261, 262, 269
- Quercus robur* (chêne rouvre), 256

R

- Racomitrium* (mousse), 36
- radicaux libres, 43, 79, 97t, 317
- radio-adaptation, 225, 295
- radiobiologie moderne, concepts de la, 9
- radiomorphose, 259

- radionucléides. Voir aussi les types spécifiques et radioprotection
 circulation des, vers la chaîne alimentaire, 53, 234, 329
 contamination de l'air au niveau du sol (atmosphérique) par les, 236-239
 concentration et dynamique des radionucléides, 236-237, 236t, 237f, 237t
 décorporation des, 316-322, 339
 estimations des émissions principales de, 36-38, 37t
 impact des
 méthodes de détermination de, 56-57, 334-335
 problèmes méthodologiques dans la détermination de, 50-59, 334-335
 rejeter l'impact, caractère fallacieux de l'impact, 56
 incorporation des
 dans la faune, 267-273, 285, 338
 dans la flore, 251-259, 338
 dans le corps humain, 304-313
 incorporés de longue vie, 232, 336
 mesures directes des, 321
 modifications dans le spectre de la dose, 42-42f
 « particules chaudes », 24, 28, 38-40, 53, 113, 232, 234, 250, 334, 336
 répartition géographique des, 24-36
 « radiophobie », 10, 120, 320, 337
 radioprotection, 297-331, 342
 agricole, 325, 326t
 allocation de fonds pour la, 299
 décorporation des radionucléides, 316-322, 339
 pour la sylviculture, la chasse et la pêche, 326
 dans la vie quotidienne, 328
 « radio-toxines atmosphériques », 239, 250
 radis, 257, 328
 rage, 292
 rainette, 271
 raisins de Corinthe, 339
 « rajeunissement du cancer », 336
Rana. Voir grenouille
Rana arvalis (grenouille des champs), 272, 279, 283-284
Rana esculenta (grenouille verte), 279-279t, 284-284t
Rana temporaria (grenouille rousse), 279, 283
Rangifer tarandus. Voir renne.
 Rapport national d'Ukraine (2006). Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Future Outlook, 13
 Rapport national de Russie (2006). Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Results and Perspective on Efforts to Overcome Its Consequences in Russia, 13
 Rapport national du Belarus (2006). Twenty Years after the Chernobyl Catastrophe: Consequences in Belarus and Overcoming the Obstacles, 13
 « rasoir d'Occam », 70
 rat (s) (de laboratoire)
 anomalies de la reproduction chez le, 275, 280
 durée de vie du, 275t
 modifications biologiques chez le, 280, 282-282t
 tumeurs, 282-283-282t-283t
 rate (organe), 108, 123t, 312t
 ratio de transfert / coefficient (TR)
 du sol, 251, 253-258
 pour les champignons, 257-258, 258t
 pour les plantes, 253-259, 254t-257t, 255f-256f
 pour la faune, 267
 ratio entre les sexes. Voir sex-ratio
Rattus norvegicus (rat de laboratoire), 273-274, 275t, 280-283-282t-283t
 rayonnement à faible transfert linéique d'énergie, (TLE), 88
 Rb. Voir rubidium
 rectum, cancer du, 177, 199-200
 réflexes pathologiques, 132
 réfraction, anomalies de, 133-134, 336
 régime alimentaire de protection, 328-329
 Registre des liquidateurs, 52
 rein
 calculs rénaux, 119
 cancer du, 197-198, 200, 200t
 infections, 144
 troubles rénaux, 117
 renard, 327
 rénine, 100, 100t
 renne (*Rangifer tarandus*), 7, 268t
 « répartition des maladies dans le territoire », 14
 renouée poivre d'eau (*Polygonum hydropiper*), 254
 reproduction, troubles de la, 117-123, 273-276, 339
 au Belarus, 117-118
 en Russie, 120-122, 121f-121t
 en Ukraine, 118-120, 119t
 autres pays, 122-123
 de la faune, 273, 275-276-276f, 339
 République Tchèque
 cancer de la thyroïde en, 187, 192t
 contamination de la, 28t, 246t
 contamination des aliments en, 305t
 malformations congénitales en, 151
 leucémie, 197t

morbidité par cancer, générale, en, 201t
 mortalité par cancer en, 201t
 mortalité prénatale, 210-210f
 sex-ratio des naissances en, 122-123, 210-210f
 résonance paramagnétique électronique (RPE), 52-53, 340
 réticulosarcome, 195, 196t
 rétrovirus, 291
 Réunion, contamination de l'Île de la, 36
Rhamnus (nerprun), 257
 rhinite, 113-114
Ribes (groseillers, cassis), 328
 rivières, contamination des, 240-241
 Romberg, résultats des tests de, 132
 ronces, 254t-255t, 257, 261
 roseau commun (*Phragmites communis*), 252t
 rouge-queue noir (*Phoenicurus ochruros*), 278
 rouille noire (*Puccinia graminis*), 263
 Roumanie
 cancer de la thyroïde en, 189-189f, 192t
 contamination de la, 28t, 246t, 334
 leucémie en, 196, 197t
 morbidité par cancer, générale, en, 201t
 mortalité par cancer en, 201t
 Royaume-Uni
 cancer de la thyroïde au, 188, 192t
 contamination, 28t, 29, 268, 334
 aquatique (de l'eau) au, 241
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique) au, 238
 du sol (terre) au, 245, 245t
 contamination des aliments au, 302, 305-305t
 contamination du corps humain au, 313
 faible poids de naissance au, 69
 leucémie au, 196, 197t
 morbidité par cancer, générale, au, 201t
 mortalité
 par cancer au, 201t
 périnatale au, 211-211f, 215
 prénatale au, 211-211f
 secret au, 51
 syndrome de Down au, 92
 R-protéines, 108
 Ru-103. Voir ruthénium-103
 Ru-106. Voir ruthénium-106
 rubidium (Rb), 317, 328
Rubus caesius (ronce bleue / mûre de), 254t-255t, 257, 261
Rubus idaeus (framboise), 254t, 255f, 255t, 257, 257t, 261, 328
Rubus nessensis (ronce de Nees / mûre de), 254t-255t

Russie

contamination, 25f, 25t, 28t, 32-34, 34t, 35, 43t, 334
 aquatique (de l'eau) en, 240-241
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique) en, 236-238
 de la faune en, 267-290
 de la flore en, 250-266
 des terres agricoles en, 324-325
 du sol (terre) en, 243
 population affectée par la, 43-45, 43t-44t
 dommages économiques en, 340
 effets sur la santé
 aberrations chromosomiques, 89-91, 90f, 89t-91t
 autres cancers que ceux de la thyroïde et du sang, 200-200t-201t
 cancer de la thyroïde, 105-106, 185-187, 186f-186t-187f, 192t
 chez les adultes, 67-69, 68t-69t, 153, 154t
 chez les enfants, 67-67t
 infections et infestations parasitaires, 144-145-145t
 leucémie, 195-196, 196t, 200
 maladie(s) cardiovasculaires, 84-85-84t
 maladie(s) de la peau, 142-143, 142t-143t, 154t
 maladie(s) de la thyroïde, 106-107, 107t
 maladie(s) des organes des sens, 130t-131t, 136
 maladie(s) du sang et des organes hématopoïétiques, 80-82, 82t
 maladie(s) du système digestif / des viscères, 139-141, 139t-140t, 141f
 maladie(s) du système endocrinien, 101-103, 101t-103t, 102f
 maladie(s) du système immunitaire, 112-113
 maladie(s) du système nerveux, 129-133, 130t-131t
 maladie(s) du système respiratoire, 116-117, 116t-117t
 maladie(s) du système urogénital / de la reproduction, 120-122, 121f-121t-122t
 malformations congénitales, 7, 150-151-151t
 morbidité générale, 67-69, 151, 151t, 153-154-154t
 morbidité liée au cancer, générale, 179-180, 180t, 200, 201t
 espérance de vie en, 208, 208f
 mesures de protection en, 324-329
 mortalité
 des liquidateurs en, 219-221, 219f, 220t
 des nourrissons en, 144, 151, 200, 208f, 215-215t

- globale (générale) en, 222-225, 222t-223f-223t-224t, 232
 nombre total de décès supplémentaires, 222t, 224-224t
 nombre total de victimes, 224-226, 337
 par cancer en, 200, 201t
 prénatale en, 67, 121, 121f, 209-210-210f, 213
 Rapport national (2006) de, 13
 « santé de la population », 67
 sex-ratio en, 7
 Russie d'Asie, contamination de la, 35
 Russie d'Europe. *Voir aussi* Russie
 contamination de la, 25f, 25t, 28t, 32-34, 34t, 43t, 334
Russula (russule), 258-258t, 259f
 ruthénium-103 (Ru-103)
 contamination par le, 34-36-36t
 aquatique (de l'eau), 240t, 241, 242t, 272t
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 236t, 238-238t-239-239t
 de la flore, 251t-252t
 de la nourriture, 273
 du sol (terre), 244-245-245t
 émissions principales de, 37t
 et cancer de la thyroïde, 191
 modifications du spectre du, 42
 « particules chaudes », 39
 ruthénium-106 (Ru-106)
 contamination par le, 34-36
 aquatique (de l'eau), 240t, 241, 272t
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 237t, 238, 238t
 de la flore, 251t-252t, 257, 258t, 262t, 304
 du sol (terre), 245-245t
 émissions principales de, 37t
 inégale/irrégulière(en taches), 39
 modifications du spectre du, 42
 « particules chaudes », 39, 113
 et cancer de la thyroïde, 191
Rutilus rutilus (gardon), 240t, 277
- ## S
- Salmo trutta* (truite commune), 272t, 273f
Salvelinus alpinus (omble chevalier), 273f
Salvia (sauge), 304
Salvia officinalis (sauge officinale), 257
 « samosels » (occupants sans titre), aberrations chromosomiques chez les, 87, 88t
 sandre (poisson), 240t
 sangliers
 anomalies de la reproduction chez les, 273, 274t
 chasse des, 327
 incorporation de radionucléides chez les, 7, 39, 268t, 269, 270t, 273, 302, 338
 modifications hématologiques chez les, 282
 santé
 conséquences sur la, 335-337. *Voir aussi notamment* Pays et maladie, morbidité
 données sur la
 erreurs des, rejeter les, 56-57
 falsification des, 50-52, 192, 334, 340-341
 impact réel des radionucléides, difficulté à déterminer l', 52-54
 incomplètes / inadéquates, 54
 méthodes de collecte / analyse des, 54-57, 335
 objectives, difficulté à obtenir des, 50-54
 premières prévisions officielles, 50
 problèmes méthodologiques avec les, 50-59, 334-335
 protocoles scientifiques et, 54-56, 335
 secret / falsification des, 50-52, 192, 334, 340-341
 facteurs psychologiques dans la, 70, 123, 137, 337
 « Health Effects of Chernobyl: 20 Years after the Reactor Catastrophe », 12
 « The Health Effects of the Human Victims of the Chernobyl Catastrophe: Collection of Scientific Articles », 12
 obstacles à l'analyse, 334-335
 santé mentale, 125-133
 sapin du Colorado, 257
 sapropèle (tourbe), 325
 sarcelles, 271-271t
 « Sasakava », projet, 105-106
 sauge, 304
 officinale, 257
 Sb-124. *Voir* antimoine-124
 Sb-125. *Voir* antimoine-125
 Sb-126. *Voir* antimoine-126
 Sb-127. *Voir* antimoine-127
 « sborniks » (collections de documents), 56
 scabieuse des prés, 262
 schizophrénie, 129, 137
 sclérose en plaques, activité myélotoxique du sang dans la, 78
 scoliose, 149
Scopolax rusticola (bécasse des bois), 271t, 272t
 Se-141. *Voir* sélénium-141
 Se-144. *Voir* sélénium-144
 secret, 19, 33, 50-52, 192, 303, 334, 340-341
 seigle, 262t, 263
 d'hiver, 263
 sein, cancer du, 177, 197-200, 198f
 au Belarus, 197-199, 198f
 en Russie, 200

en Ukraine, 199
 temps avant apparition clinique du, 177
 sélection naturelle, 56, 293, 295
 sélénium, pour la radioprotection, 329
 sélénium-141 (Se-141), 236t
 sélénium-144 (Se-144), 237t
 septicémie, 336
 puerpérale, 143
 serpolet, 254, 256t
 sex-ratio
 des mort-nés, 211-211f-212f
 des naissances, 7, 122-123, 210
 SFC. Voir syndrome de fatigue chronique
 Shannon, indice de diversité de, 292
 « SIDA de Tchernobyl », 19, 108, 232, 335.
 Voir aussi maladies du système immunitaire
 signification statistique, 54-56, 333, 335
Silurus glanis (silure glane), 273
 Slovaquie
 contamination de la, 28t
 morbidity par cancer en, 192t, 197t, 201t
 mortalité par cancer en, 192t, 197t, 201t
 Slovénie
 contamination de la, 28t, 334
 morbidity par cancer en, 197t, 201t
 mortalité par cancer en, 197t, 201t
 SMX. Voir syndrome métabolique X
 Sniardwy, lac, 242
 solanacées, espèces de, 292
Solidago virgaurea (verge d'or), 262
 sommités fraîches, 257
Sonchus arvensis (laiteron des champs), 258
 sorbe, fruit du sorbier, 328
Sorbus aucuparia (sorbier des oiseaux), 254t-255, 257
Sorex araneus (musaraigne commune), 268t, 283, 283t
Sorex minutus (musaraigne pygmée), 268t
 souris
 anomalies de la reproduction des, 275
 contamination des, 273-274
 modifications biologiques chez les, 281-282, 281t
 modifications génétiques chez les, 277-278, 278t, 280t
 souris de laboratoire (*Mus musculus*), 273-282
 Soj (rivière), 240
 spectre des radionucléides, modifications du, 42-42f
 sperme, anomalies du, 86, 94, 97, 118, 120, 122-123, 208
 spina bifida, 147t-148t, 153
Spirulina (algues vertes), 329
 Sr-89. Voir strontium-89
 Sr-90. Voir strontium-90
 SSPT. Voir syndrome de stress post-traumatique

Staphylococcus aureus (staphylocoque doré), 280
 stéatose hépatique, 74, 139
Stemphylium (hyphomycète, famille des Dematiaceae), 292
 stérilité
 chez les liquidateurs russes, 120-121
 féminine, 100-118
 masculine, 118-121
 stimulation du système immunitaire, 317
 stress, 99, 123, 125, 127t, 128, 132, 137, 153, 232, 336-337
 strontium
 décorporation du, 317, 322
 strontium-89 (Sr-89)
 contamination
 aquatique (de l'eau), 241t
 de la flore, 252t
 émissions principales de, 37t
 strontium-90 (Sr-90)
 bioaccumulation de, 295
 contamination
 au Royaume-Uni, 29
 au Belarus, 29, 31f
 en Géorgie, 35
 alimentaire, 234, 302-304, 329
 avec plusieurs radionucléides, 53, 334f
 de l'air (atmosphérique), 237t, 238, 338
 de l'eau (aquatique), 240-240t, 241, 338
 de la faune, 268t, 269, 269f, 270, 270f, 271-271t-272t, 274t, 280, 282, 292
 de la flore, 252t, 253-254, 257-257t, 259
 du corps humain, 312
 du sol (terre), 243, 243t, 244, 324, 338
 émissions principales de, 37t, 45
 inégaie/irrégulière(en taches), 39
 modifications du spectre de dose, 42-42f
 effet sur la mortalité
 globale (générale), 225
 par cancer, 222t
 périnatale, 213-214, 214f
 effet sur la santé
 cancer, 201
 dentaire, 42, 141
 développement sexuel, 100, 119
 génétique, 98
 maladie du sang, 80-81
 nouveau-nés, 69f
 système immunitaire, 109
 mesures de protection contre le
 dans l'agriculture, 325-325t-326t
 dans la sylviculture, la chasse et la pêche, 326-327
 dans la vie quotidienne, 334-335
 radionucléides incorporés de longue vie, 232, 336
 Student, « fiabilité des différences de », 55

Stylaria lacustris (oligochète, petit ver d'eau douce), 277, 280t
Succisa pratensis (scabieuse des prés), 262
 suicide, 133, 220t
 Suède
 contamination de la, 28t, 34-35, 42, 297, 334
 aquatique (de l'eau), 242, 242f
 de la faune, 268t, 284, 338
 du sol (terre), 245
 contamination des aliments en, 303, 305t
 effets cognitifs en, 133
 faible poids de naissance en, 70
 mesures de protection en, 329
 morbidity par cancer en, 180, 197t, 201t
 mortalité
 des nourrissons en, 217-217f
 par cancer en, 197t, 201t
 prénatale en, 211, 212f-212t-213t
 sex-ratio des naissances en, 122
 syndrome de Down, 92, 152t
 taux de natalité en, 211
Suillus luteus (bolet jaune - ou nonnette des pins), 258t, 259f
 Suisse
 cancer de la thyroïde en, 189-190, 192t
 chocolat, 304
 contamination de la, 28t, 258, 284, 324, 334
 mesures de protection en, 329
 morbidity par cancer, 192t, 197t, 201t
 mortalité
 des nourrissons en, 217, 217f
 par cancer en, 192t, 197t, 201t
 prénatale en, 212t
 taux de natalité en, 211-212t
 sulfates de baryum, 317
 Supplication, la (Aleksievich), 55
 suppressions chromosomiques, 86
 surveillance
 agricole, 325-326
 alimentaire, 299-304, 313-314, 322, 340
 du comptage corps entier, 312, 316, 318, 321, 340
 du corps humain, 304-314, 340
 insuffisance de, 314
 mesures directes pour la, 321
 système indépendant de, nécessité de, 313-314
Sus scrofa. Voir sanglier
 Svjetsko, lac, 241
 sylviculture, 326-329
 « symptômes, phénomènes et conditions imprécises », 61
 syndrome(s)
 climatérique, 120
 cliniques, 62t, 96
 d'Edward (trisomie-18), 93

de « lésion aiguë des voies respiratoires supérieures par inhalation », 114, 232, 336
 de désadaptation écologique, 61
 de Down (trisomie-21), 92-93, 92f, 92t, 93f, 147t, 151-153, 152t
 de fatigue chronique (SFC), 128, 137, 232, 336
 de « dystonie vasculaire végétative », 51, 83, 106t, 128t, 131, 142, 232, 336
 de Klinefelter, 93
 de maladie persistante du rayonnement, 232, 337
 de malformation convulsive congénitale (épilepsie), 126-127, 127t
 de Patau, 93
 de radionucléides incorporés de longue vie, 232, 336
 de stress post-traumatique (SSPT), 128
 de Turner, 93
 de vieillissement précoce, 337
 du châtaignier naissant, 136, 232
 du réseau de diffraction, 136, 232
 dyspeptique, 138
 métabolique X (SMX), 128
 myélodysplasique, 78, 193-193t
 progéroïde, 75
 schizophréniforme, 137
 système nerveux central
 maladies du, 10, 126-133, 336
 malformations du, 126, 151, 152t
 tumeurs/néoplasmes du, 150, 150f, 197, 199-199f-200

T

T3. Voir triiodothyronine
 T4. Voir thyroxine
 T-récepteur cellulaire, mutations du (TCR), 90
 tabac, virus de la mosaïque du, 292
 « taches chaudes », 20, 38-39-38f
 Tahiti, contamination de, 36
 tanches (poissons), 328
 taux de natalité, baisse du, 209, 211, 212t, 221
 taux standardisé de mortalité par âge
 au Belarus, 223
 en Russie, 223-224, 223f
 en Ukraine, 224
 Tc-99. Voir technétium-99
 Tchernobyl
 BfS-Workshop sur les conséquences de Tchernobyl sur la santé, 56
 Chernobyl Digest, 13
 « cœur de Tchernobyl », 19, 232, 337
 « collier de Tchernobyl », 19
 « Comchernobyl », 299

- « Chernobyl Accident's Consequences: An Estimation and the Forecast of Additional General Mortality and Malignant Diseases », 12
- « La catastrophe de Tchernobyl : conséquences sur la santé humaine », 12
- « contamination liée à Tchernobyl », 13, 19.
Voir aussi contamination
- « démence de Tchernobyl », 130, 232
- « Enfants de Tchernobyl », 13, 19, 297. Voir aussi enfants
- « Enfants de Tchernobyl Belarus », 318, 319
- « génération Tchernobyl », 191, 197t, 201-202
- « jambes de Tchernobyl », 232
- « The Other Report on Chernobyl » (TORCH), 12
- « l'effet de la catastrophe de Tchernobyl », 187
- La Supplication* (Aleksievich), 55
- « Le Forum de Tchernobyl », 12-13, 19, 43, 50, 54, 55, 224, 337
- « liquidateurs de Tchernobyl », 19, 55. Voir aussi liquidateurs
- « membres de Tchernobyl », 337
- « poussière de Tchernobyl », 19, 39, 113-114. Voir aussi « particules chaudes ».
- « SIDA de Tchernobyl », 19, 108, 232, 335.
Voir aussi maladies du système immunitaire
- Chernobyl: 20 Years On. Health Effects of the Chernobyl Accident*, 12
- Chernobyl. 20 Years After. Myth and Truth* 12
- « territoires de Tchernobyl », 13
- « Twenty Years after the Chernobyl Accident: Future Outlook », 13
- « Twenty Years of Chernobyl Catastrophe: Ecological and Sociological Lessons », 13
- TDA. Voir déficit immunitaire
- Te-122. Voir tellure-122
- Te-129. Voir tellure-129
- Te-131m. Voir tellure-131m
- Te-132. Voir tellure-132
- technétium-99 (Tc-99), 38, 44, 201, 225
- techniques de cuisson, 324, 329
- teigne (*tinea capitis*), 145, 145t, 291
- tellure-122 (Te-122), 34
- tellure-129 (Te-129)
contamination
du sol (terre), 245t
de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238t
modifications du spectre du, 42
- tellure-131m (Te-131m)
contamination de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 238t
- tellure-132 (Te-132)
contamination
au Belarus, 29, 30f
en Écosse, 34, 238
en Suède, 34-35
de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 236t, 238-238t
de l'eau (aquatique), 240, 241t-242t
de la flore, 252t
du sol (terre), 244, 245-245t
difficulté à reconstruire la dose de, 53
émissions principales de, 37-37t, 44
et cancer de la thyroïde, 191
modifications du spectre du, 42
« particules chaudes », 39
- tension artérielle, 81, 83, 85, 105
- Terre François-Joseph, contamination de la, 36
- « territoires contaminés », 13
- « territoire propre », 14
- testicules, 98, 102, 117, 120, 122
- testostérone, 98-103, 118
- TGH. Voir hormone thyroïdienne
- « The Other Report on Chernobyl » (TORCH), 12
- thé, 252t, 303-304
- Thea sinensis* (thé de Chine), 252t
- thrombocytes, 78-81, 108
- thymus (organe), 108, 123t, 312t
- Thymus* (thym), 257, 304
- Thymus serpyllum* (serpolet), 254, 256t
- thyroïdostimuline (TSH), 100
- thyroïde
auto-anticorps de la, 110
cancer de la, 19-20, 50, 96, 104-105, 108, 110, 177, 180-192, 201-202, 336
au Belarus, 104-105, 181-182, 181f, 182t, 192t
au Royaume-Uni, 188, 192t
aux États-Unis, 190, 190f
en Autriche, 187, 192t
en France, 187, 188f, 192t
en Grèce, 188, 189f, 192t
en Israël, 188
en Italie, 189, 192t
en Pologne, 189, 192t
en République Tchèque, 187, 192t
en Roumanie, 189, 189f, 192t
en Russie, 105-106, 185-187, 186f-186t-187f, 192t
en Suisse, 189-190, 192t
en Ukraine, 105, 182-185, 183f-184t-185f, 192t
dans d'autres pays d'Europe, 192t
aberrations chromosomiques et, 96
congénital, 182
« l'effet de la catastrophe de Tchernobyl » sur le, 187

nombre de personnes atteintes de, 180-190
 papillaire, 180, 189, 190f
 prévisions de, 190, 191t-192t, 201t, 202
 temps avant apparition clinique du, 177
 contamination de la glande, 312t
 hyperplasie de la, 105-106, 105t-107t
 insuffisance de la, 103-107, 180
 maladie de la / dysfonctionnement, 10, 19, 95-96, 98, 103-107, 180, 184, 340
 au Belarus, 104-105, 105t
 en Pologne, 107
 en Russie, 106-107, 107t
 en Ukraine, 105-106, 106f-106t
 aberrations chromosomiques et, 96
 chez les enfants de parents irradiés, 95
 effets mentaux, 130
 prévention, 340
 nodules de la, 180, 182
 thyroïdite, 98-107, 105t, 117, 180
 auto-immune, 98-100, 103-105, 117, 180
 chronique, 105-106-106f
 thyrotoxicose, 100
 thyroxine (T4), 99-100, 103-104, 118
 TNF. Voir facteur de nécrose tumorale
 TORCH. Voir « The Other Report on Chernobyl »
 toux sèche, 114-115, 232, 336
 toxémie maternelle, 122
 trachée, 113, 115
 Transcaucasie, contamination de la, 35, 335
 translocations chromosomiques, 86, 91-91t
 travailleurs du nettoyage. Voir liquidateurs
 trèfle, 253
 tremble (*Populus tremula*), feuille de, 250f
Trichocephalus trichiurus (trichocéphale), 143
 trichocephalose, 143
Trifolium (trèfle), 253
 trigonocéphalie, 93
 triiodothyronine (T3), 98-99, 103-104
 trisomie-13, 93
 trisomie-18, 93
 trisomie-21, 92-93, 92f, 92t, 93f, 147t, 151-153, 152t
Triticum aestivum (blé tendre), 261-262-262t
 « trou noir », 296, 338
 truites, 273f
 TSH. Voir thyroestimuline
 tuberculose, 144, 220t, 291
 tubules séminifères, 122
 tumeur (s). Voir aussi cancer
 cérébrales, 150-150f, 197, 199-200-199f
 de l'hypophyse, 104
 de la faune, 281, 283-283t, 285
 de la flore, 260-261-261t
 du larynx, 200
 utérines. Voir myomes

Turner, syndrome de, 93
 Turquie
 contamination de la, 28t, 35, 231, 324, 334-335
 contamination des aliments en, 252t, 303
 malformations congénitales en, 152t-153t
Typha angustifolia (Massette à feuilles étroites), 252t

U

U. Voir uranium
 Ukraine
 contamination, 25f, 25t, 28t, 32, 33f, 43, 43t, 334
 aquatique (de l'eau) en, 240-241, 241t
 au Cs-137 en, 25t, 28t, 32, 33f
 au plomb en, 43
 au Pu en, 33f
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique) en, 236-238, 236t, 237t
 de la faune en, 267-290
 de la flore en, 250-266
 des terres agricoles en, 324-325
 du sol (terre) en, 243
 par « particules chaudes » en, 39
 population affectée par la, en, 43-44-43t-44t
 des aliments en, 301
 du corps humain en, 312
 dommages économiques en, 340
 effets sur la santé
 aberrations chromosomiques, 87-88-88t
 autres cancers que ceux de la thyroïde et du sang, 199-200-199f
 cancer de la thyroïde, 105, 182-185, 183f-184t-185f, 192t
 cancer du sein, 199
 infections et infestations parasitaires, 144
 leucémie, 194-195, 195f-195t, 199
 lymphome, 195f, 195t
 maladie(s) cardiovasculaires, 83
 maladie(s) de la peau, 142, 154t-155t
 maladie(s) de la thyroïde, 105-106, 106f-106t
 maladie(s) des organes des sens, 135-136
 maladie(s) des os et des muscles, 123-124, 123t
 maladie(s) du sang et des organes hématopoïétiques, 79-80
 maladie(s) du système digestif et organes viscéraux, 138-139, 139t
 maladie(s) du système endocrinien, 100-101
 maladie(s) du système immunitaire, 110-111

système nerveux, 126-129, 127f-127t-128t
maladie(s) du système respiratoire, 114-116, 115f
maladie(s) du système urogénital / de la reproduction, 118-120-119t
malformations congénitales, 7, 63-64, 148-150, 149f, 215-215t, 218, 231-231f
morbidité générale, 63-67, 152
 chez les adultes, 65-67, 65f-65t-66f-66t, 67f, 155t
 chez les enfants, 63-64, 63t, 64f, 65t, 155t
morbidité par cancer, générale, 179, 199-200, 201t
vieillesse accélérée, 74
espérance de vie en, 208, 208f
mesures de protection en, 324-331
mortalité
 des liquidateurs en, 218-219, 219f
 des nourrissons en, 208f, 215-215t
 globale (générale) en, 221-222, 222t, 224-224t, 232
 néonatale et périnatale en, 214, 214f
 nombre total de décès supplémentaires en, 224-224t
 nombre total de victimes en, 224-226, 337
 par cancer en, 192t, 197t, 201-201t
 prénatale en, 120, 209, 213, 214-214f
Rapport national (2006) d', 13
ulcère(s)
 de l'estomac, 104, 138-139
 gastroduodénal, 62t, 95t, 104, 138, 140
 hémorragique, 139
Union soviétique. Voir aussi Russie, Ukraine, Belarus
 difficulté à obtenir des données objectives de l', 50-54
 secret / falsification en, 50-52, 192, 334
UNSCEAR. Voir Comité scientifique des Nations unies sur l'effet des rayonnements ionisants
uranium (U), « particules chaudes » d', 39
urogénital(es)
 cancer, 199, 220
 infections chroniques, 143
 maladies de l'appareil, 117-123, 335
 au Belarus, 117-118
 en Russie, 120-122, 121f-121t-122t
 en Ukraine, 118-120-119t
 malformations de l'appareil, 150, 274
URSS. Voir Union soviétique et aussi Russie, Ukraine, Belarus
urticaire, 113
utérin(es)
 anomalies, 103
 fibrome, 119-120

tumeurs (myome), 89-89t, 97, 105
uvéite, 133

V

Vaccinium myrtillus (myrtilles), 253-253f-254-254t-255f-255t-256t-257-257t, 269, 328
Vaccinium uliginosum (myrtille des marais), 254-254t-255t, 257
Vaccinium vitis-idaea (airelle), 254-254t-255t-256t-257, 328
vache. Voir bétail
vaginite, 293
Variabilité des mammifères (Yablokov), 54
vaisseaux sanguins
 maladies des, 82-85, 130, 136, 140-141, 232, 335
 vieillesse accélérée des, 74-75
variation saisonnière, 311
vent, direction du, 24
verge d'or, 262
vers de terre, 277
Verticillium, 292
vesce, 253
vessie, 117, 120
 cancer de la, 198-200, 200t
viande
 contamination de la, 210, 269, 300-307, 311, 339
 mesures de protection pour la, 326-326t, 328, 339
viande(s)
 de bœuf, 210, 300t, 325, 328
 de gibier
 contamination, 269, 300-307, 311, 326
 mesures de protection, 326, 328
 de mouton, 305t, 325, 328
 de porc, 300t, 305t, 328
 de volaille, 328
Viburnum opulus (viorne obier), 254t-255t, 257
Vicia (vesce), 253
victimes, nombre total de, 50, 224-226, 337
vie/flore microbienne, 291-296, 338
vie quotidienne, mesures de protection dans la, 328-330
vieillesse accélérée / prématurée, 74-76, 336-337
Viola matutina/tricolor (violette / pensées), 256, 263
virus, 89, 93, 143-145, 291-293, 295-296, 336, 338
virus, types spécifiques
 d'Epstein-Barr, 293
 de l'herpès, 143-145, 291, 293
 de la mosaïque du colza, 292
 de la mosaïque du tabac, 292

du papillome, 293
 sarcome de Kaposi, 293
 vitamine (s)
 avec décoloration, 322
 radioprotection par les, 326t, 328, 329
 vitamine A, 79, 153, 276, 317, 326, 329
 vitamine B, 318
 vitamine C, 317-318, 326, 329
 vitamine E, 79, 153, 276, 318, 326, 329
 Vitapect, 318-320, 318f-320f, 318t-320t, 326t, 329
 volaille, 267, 328
 Volga (fleuve), 240

W

Washington, contamination de l'État de, 36t
 Wyoming, contamination du, 36t

X

xénon-133 (Xe-133), 37t
Xerocomus badius (Bolet bai), 258-258t-259f
Xerocomus subtomentosus (Bolet velouté), 258t
 XXX, chromosomes, 93
 XYY, chromosomes, 93

Y

Yablopect, 318
 yeux. Voir œil
 Yougoslavie (Ex-)
 aberrations chromosomiques en, 91
 contamination, 28t, 35
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique) en, 238
 des aliments en, 305t
 du sol (terre) en, 246t
 morbidité/mortalité par cancer de la thyroïde, 192t

Z

Zea (maïs), 253
Zea mays (pousses de maïs), 263t
 zéolites, 325-325t-326t
 zinc
 pour la radioprotection, 317-318-319, 329
 zinc-65 (Zn-65), 35, 238, 251t
 zirconium-95 (Zr-95)
 contamination
 aquatique (de l'eau), 240-240t
 de l'air au niveau du sol (atmosphérique), 236t, 238-238t
 de la faune, 271t-272t

de la flore, 251t-252t
 du sol, 245
 émissions principales de, 35-37, 37t
 modifications du spectre du, 42
 « particules chaudes », 39
 Zn-65. Voir zinc-65
 zone d'exclusion, 66, 129, 184, 326-327
 zoobenthos, 240
 zooplancton, 272t, 273
Zostera, 318
 Zostérin-Ultra, 318
 Zr-95. Voir zirconium-95

Professeur Alexey Vladimirovitch YABLOKOV, docteur ès sciences biologiques, conseiller de l'Académie des Sciences de Russie, vice-président du Comité d'écologie du Soviet Suprême de l'URSS (1989–1991), conseiller de l'écologie et de la santé publique du Président de la Russie (1991–1993), membre de la Commission Européenne du risque radiologique (2002), vice-président du Conseil scientifique de l'Académie des Sciences de Russie pour les problèmes de l'écologie et des situations d'urgence, président du Programme de la sûreté nucléaire et radiologique de l'Union socio-écologique internationale, président de la fraction « Zelenaya Rossia » (Russie Verte) du parti démocratique unifié russe « Yabloko ». Auteur de nombreux ouvrages et de mémoires sur l'écologie, la théorie de l'évolution, la protection de l'environnement, la sûreté nucléaire et radiologique et la politique écologique.

Professeur Vassili Borissovitch NESTERENKO (02/12/1934 – 25/08/2008), docteur ès sciences techniques, membre correspondant de l'Académie nationale des Sciences du Belarus, directeur de l'Institut indépendant de radioprotection « Belrad » (non gouvernemental), qu'il a fondé en 1990 sur proposition de A. Adamovitch, A. Sakharov et A. Karpov. Il fut le directeur général de l'Institut de l'énergie nucléaire de l'Académie des Sciences du Belarus et le constructeur général de la centrale nucléaire mobile « Pamir » (1971–1987). Il a été le premier à déterminer le débit de dose sur le toit du quatrième réacteur explosé de la centrale de Tchernobyl (par spectrométrie à partir d'un hélicoptère). Auteur de plus de 350 publications sur l'énergie nucléaire et sur la radioprotection. Ambassadeur de la paix des Nations Unies et lauréat du Prix de la Paix.

Alexey Vassilievitch NESTERENKO, docteur ès sciences écologiques, directeur (depuis 2008) de l'Institut de radioprotection « Belrad », a coordonné une série de projets internationaux sur le développement durable au Belarus et en Lituanie. Auteur de plus de 50 publications sur l'écologie et la radioprotection.

Natalia Ephymovna PREOBRAJENSKAYA, docteur en biologie, fait partie des fondateurs de l'Association écologiste ukrainienne « Zelenij Svit », créée en 1987 ; présidente du Conseil d'administration du Fonds de solidarité pour les secours aux enfants d'Ukraine, affectés par la catastrophe de Tchernobyl ; expert de la Commission nationale (Corps I et II) pour la protection de la population d'Ukraine contre les rayonnements, auprès du Soviet Suprême d'Ukraine ; membre du Conseil social du Ministère ukrainien de la santé ; consacre beaucoup de temps à l'organisation des soins et des mesures sanitaires au bénéfice des enfants des territoires ukrainiens contaminés par la radioactivité. Auteure de nombreuses publications sur les conséquences sanitaires de la catastrophe.