



L'énergie nucléaire : état de l'art, perspectives

Bernard Bonin

CEA, Direction de l'Énergie Nucléaire



Les principes généraux

La réaction en chaîne et son contrôle

Le nucléaire actuellement

Le cycle du combustible

Sûreté, risques

Le parc existant, son fonctionnement, ses performances

Filières et générations de réacteurs

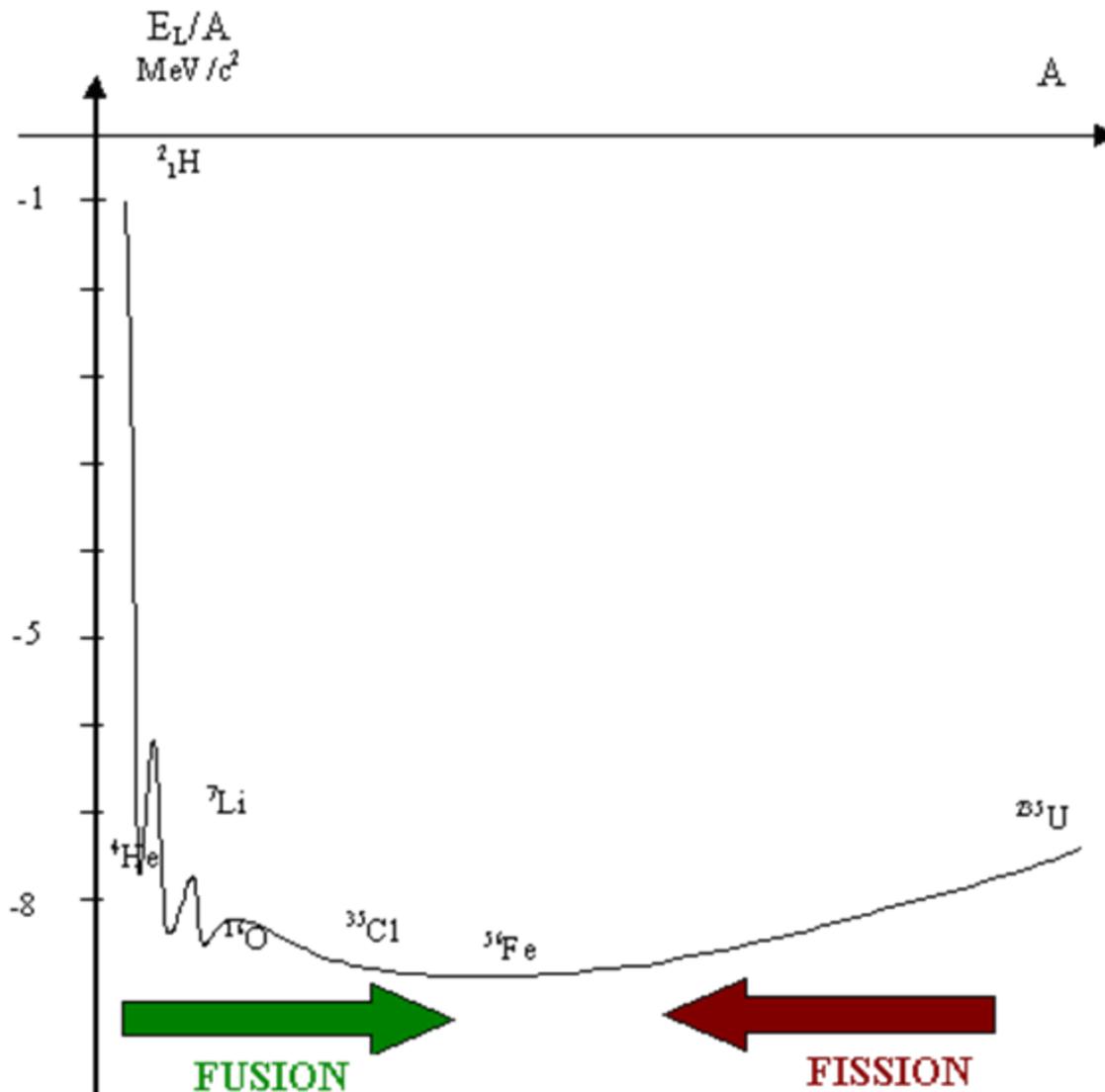
Les systèmes à neutrons lents vs rapides

Le nucléaire du futur

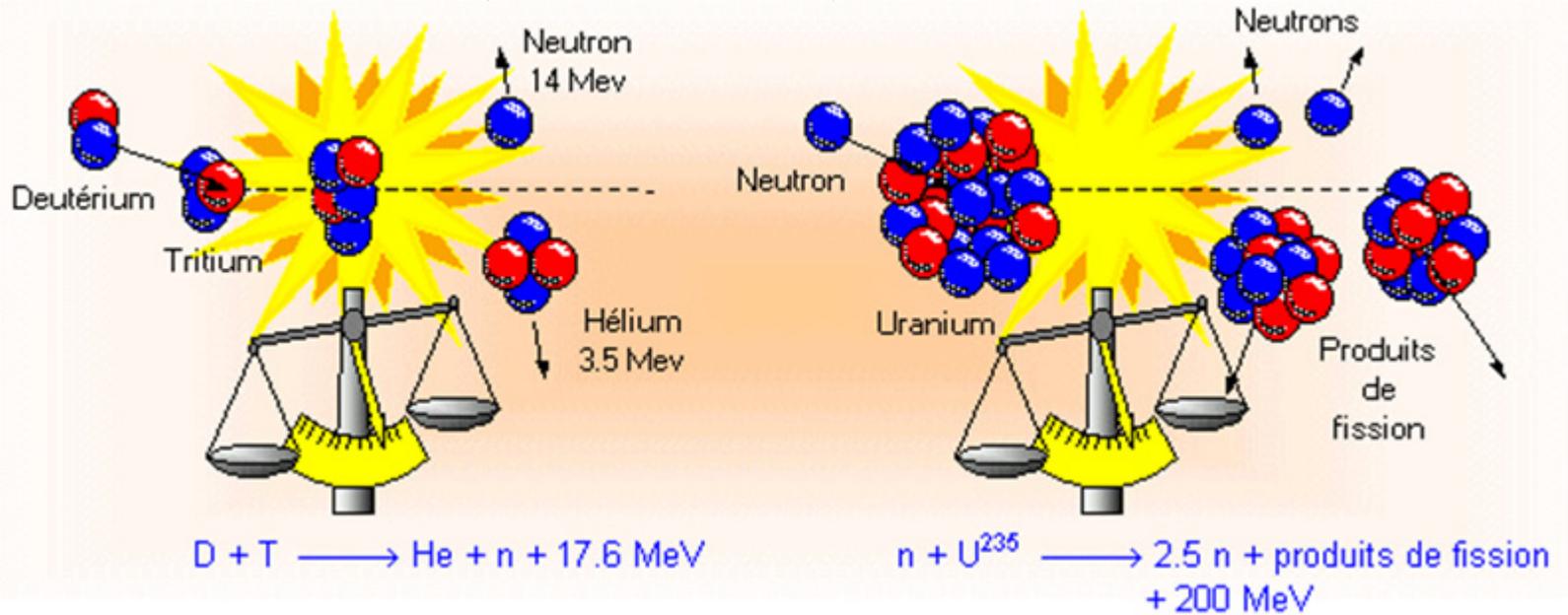
De nouveaux critères pour un nucléaire durable

Portrait des systèmes nucléaires du futur, ce qu'on peut en attendre, leurs perspectives de développement

Energie de liaison nucléaire



UN BILAN ÉNERGÉTIQUE FANTASTIQUE !



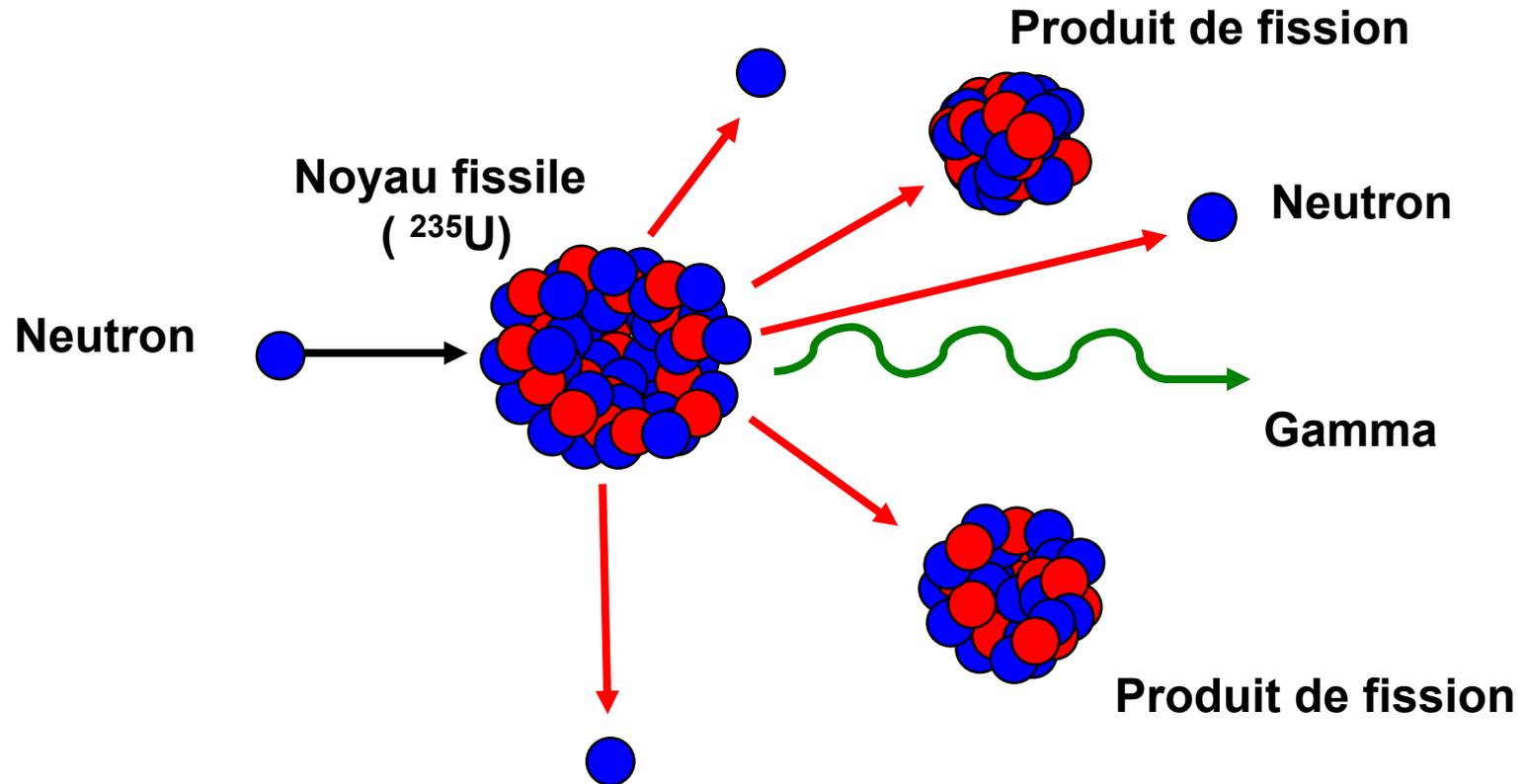
Fusion totale d'1 g de combustible: 330 GJ

Fission complète d'1 g U_{235} : 83 GJ

Combustion d'1tonne de pétrole : 42 GJ



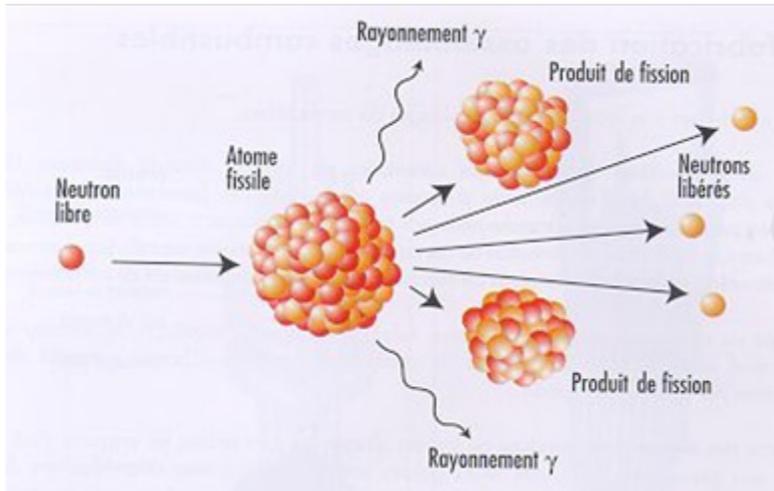
La fission nucléaire



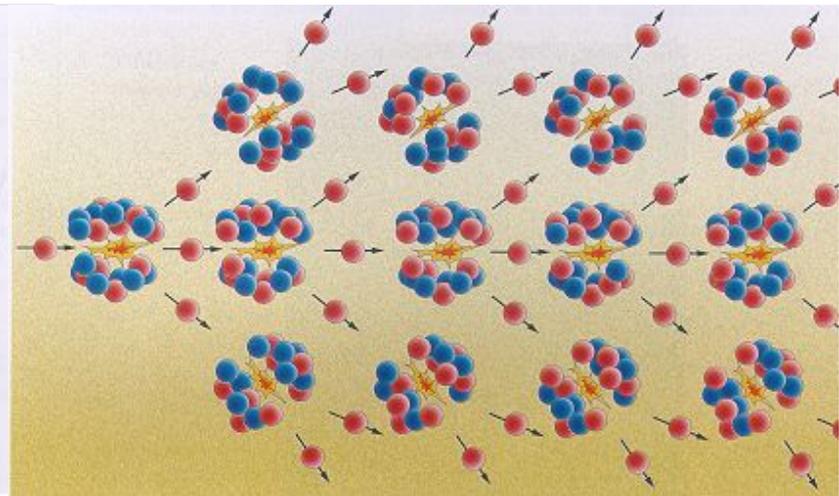
Fission nucléaire et réaction en chaîne



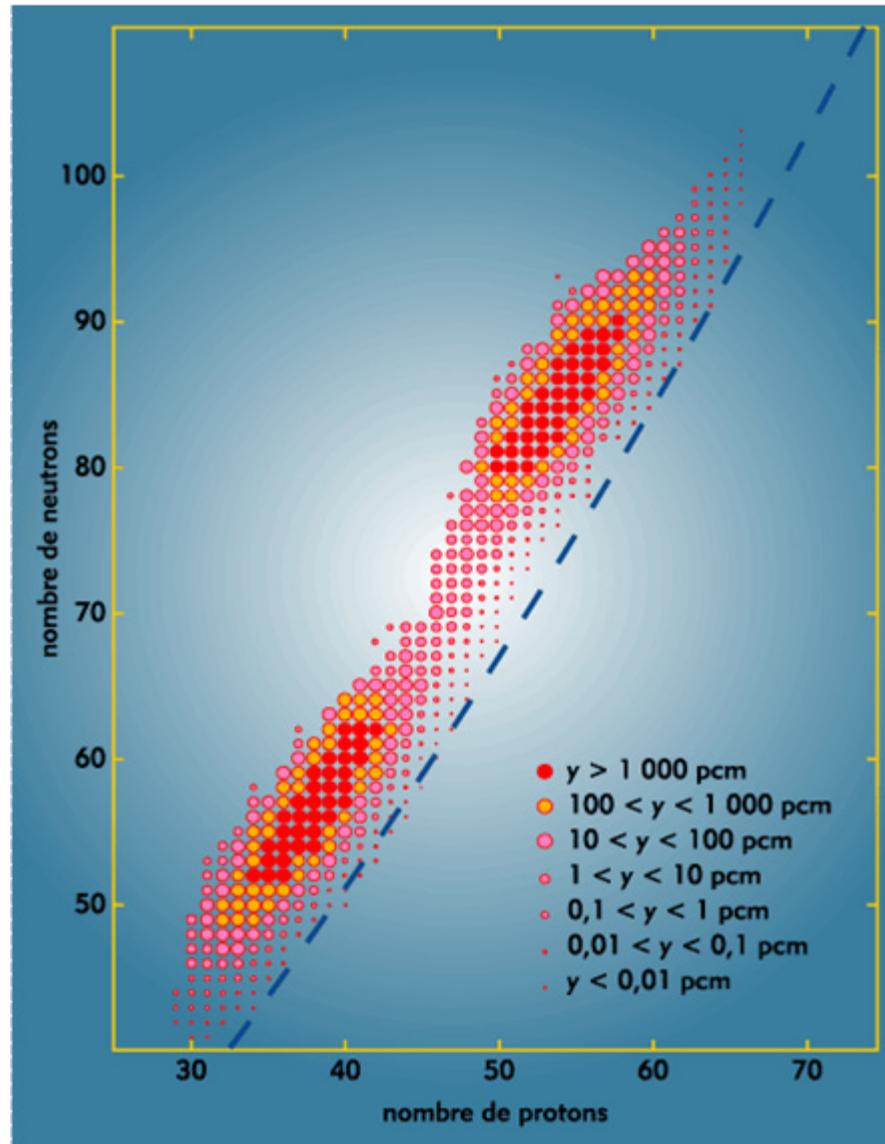
Fission nucléaire



Réaction en chaîne



Les produits de fission





Les principes de fonctionnement

La réaction en chaîne et son contrôle

Le cycle du combustible

Le nucléaire actuellement

Le parc existant, son fonctionnement, ses performances

Sûreté, risques

Filières et générations de réacteurs

Les systèmes à neutrons lents vs rapides

Le nucléaire du futur

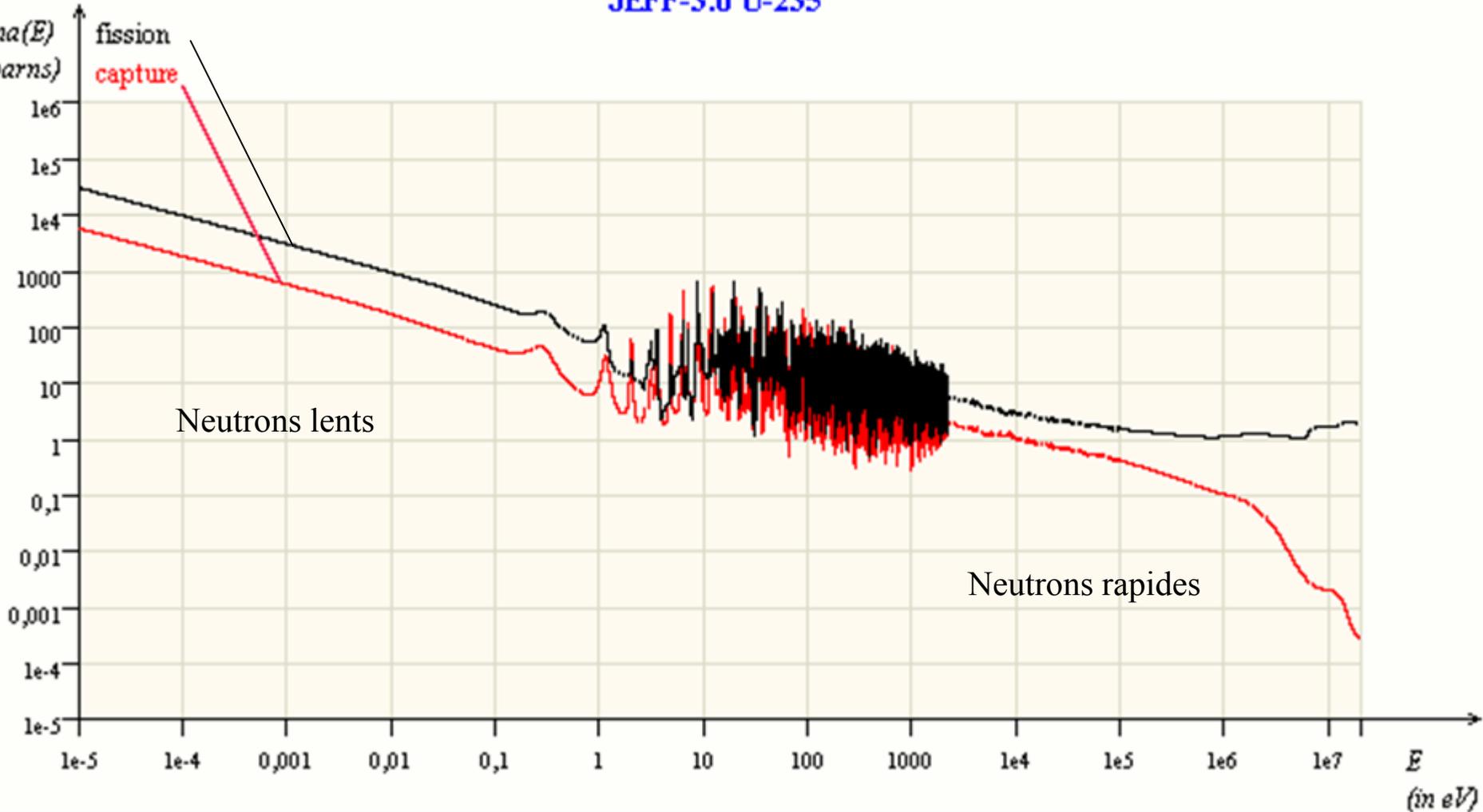
De nouveaux critères pour un nucléaire durable

Portrait des systèmes nucléaires du futur, ce qu'on peut en attendre, leurs perspectives de développement

Sections efficaces de l'uranium 235



JEFF-3.0 U-235



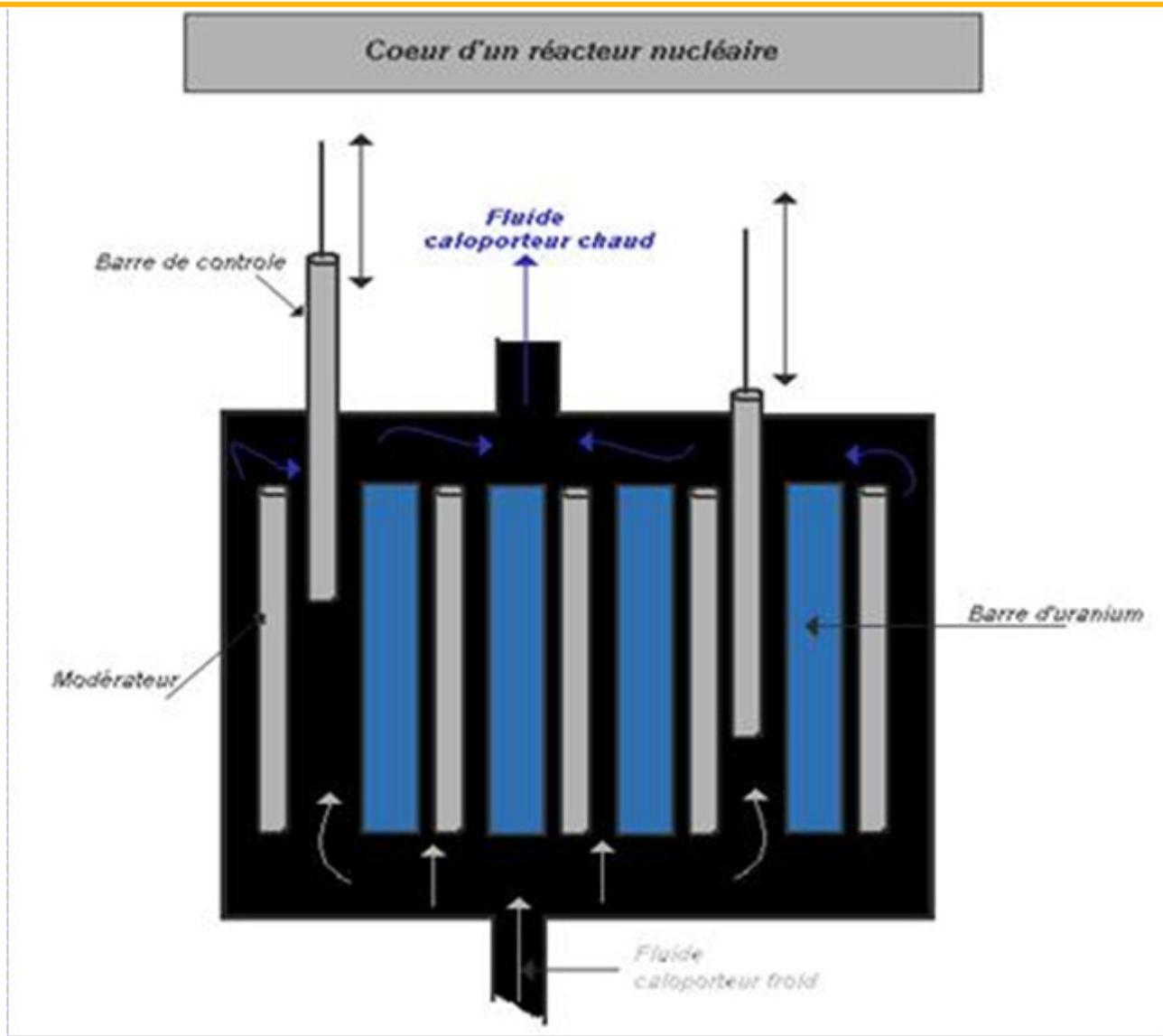
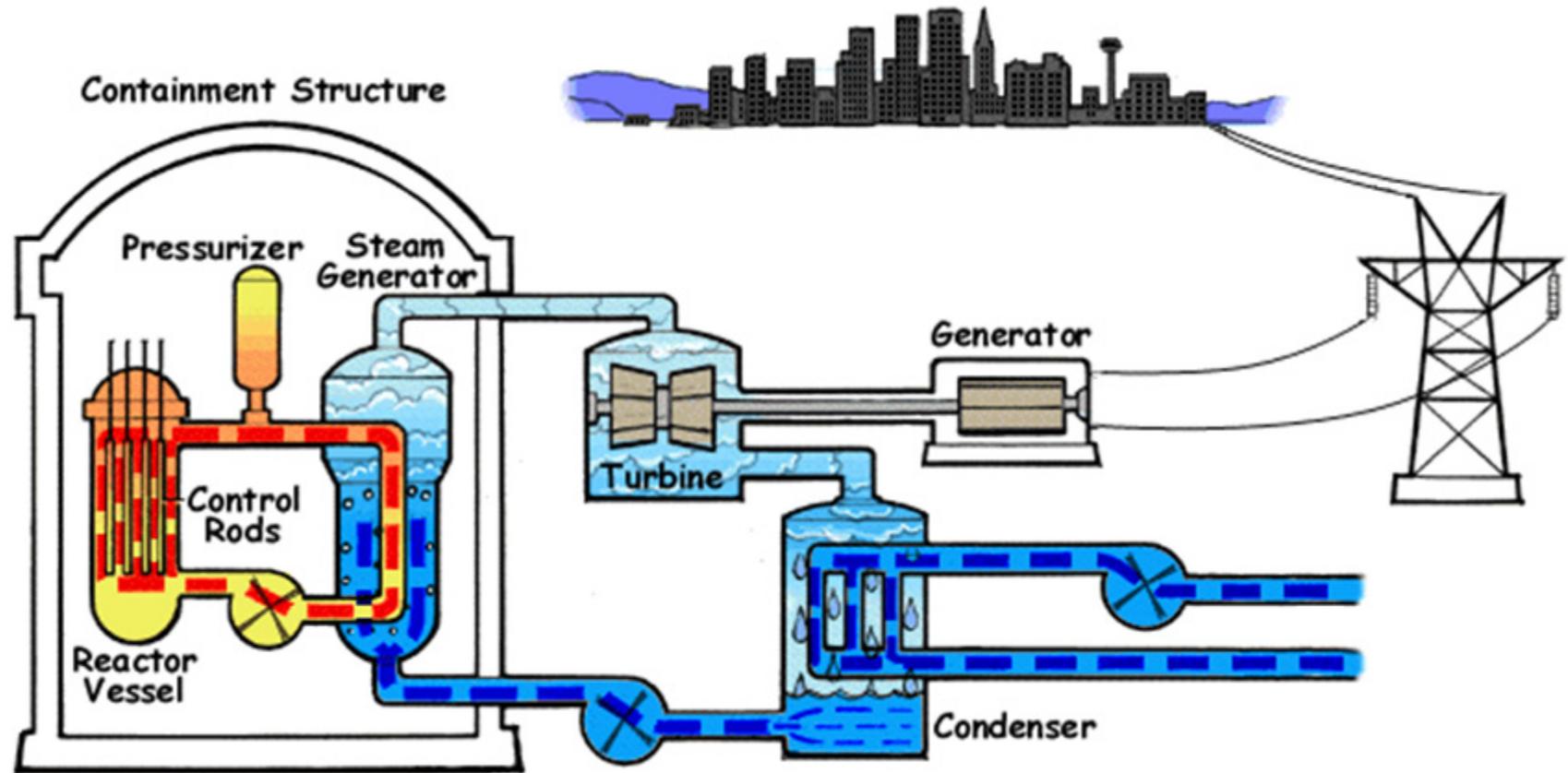
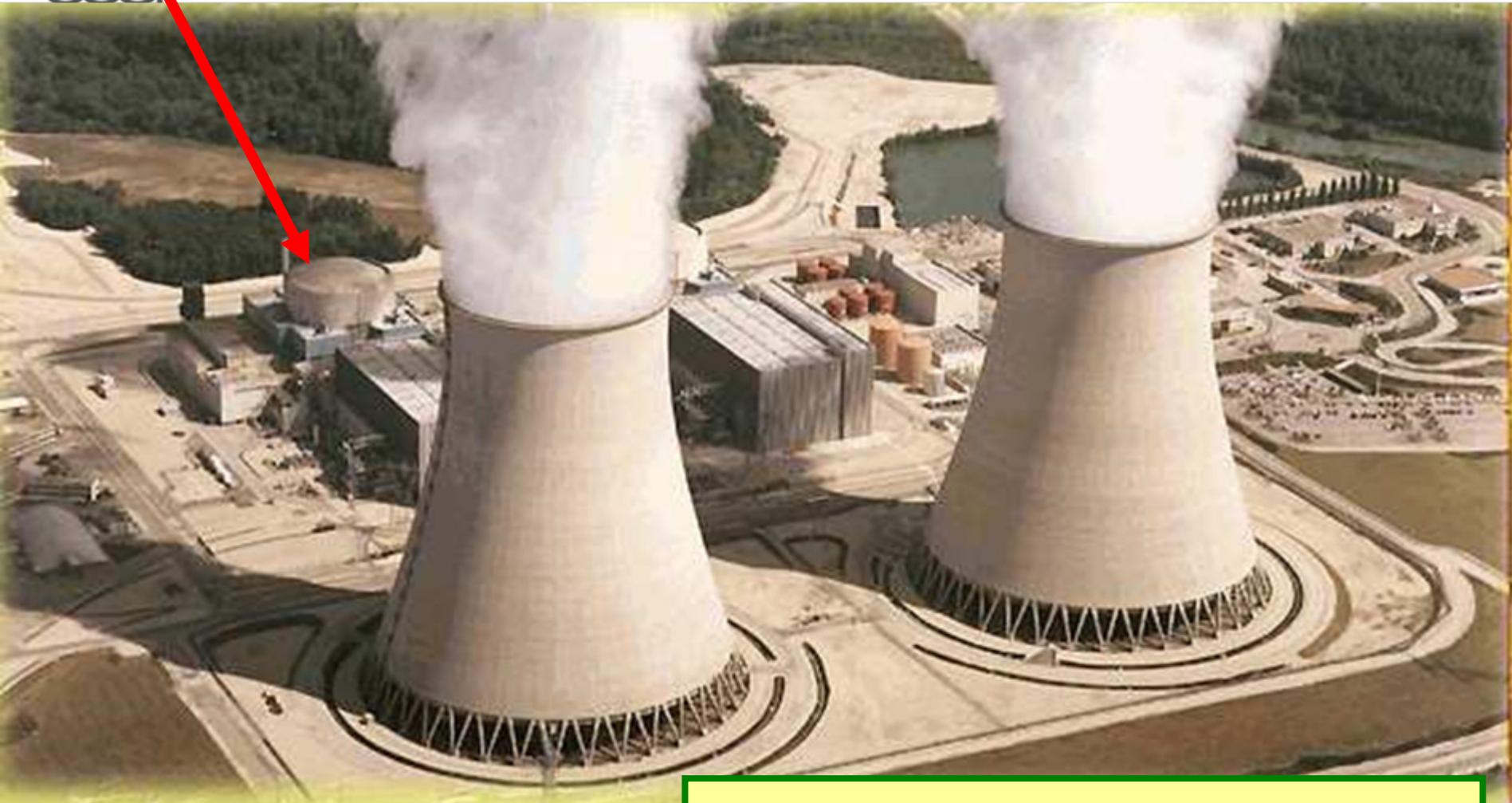


Schéma d'une centrale REP



Une centrale nucléaire

Le réacteur est à l'intérieur de cette enceinte

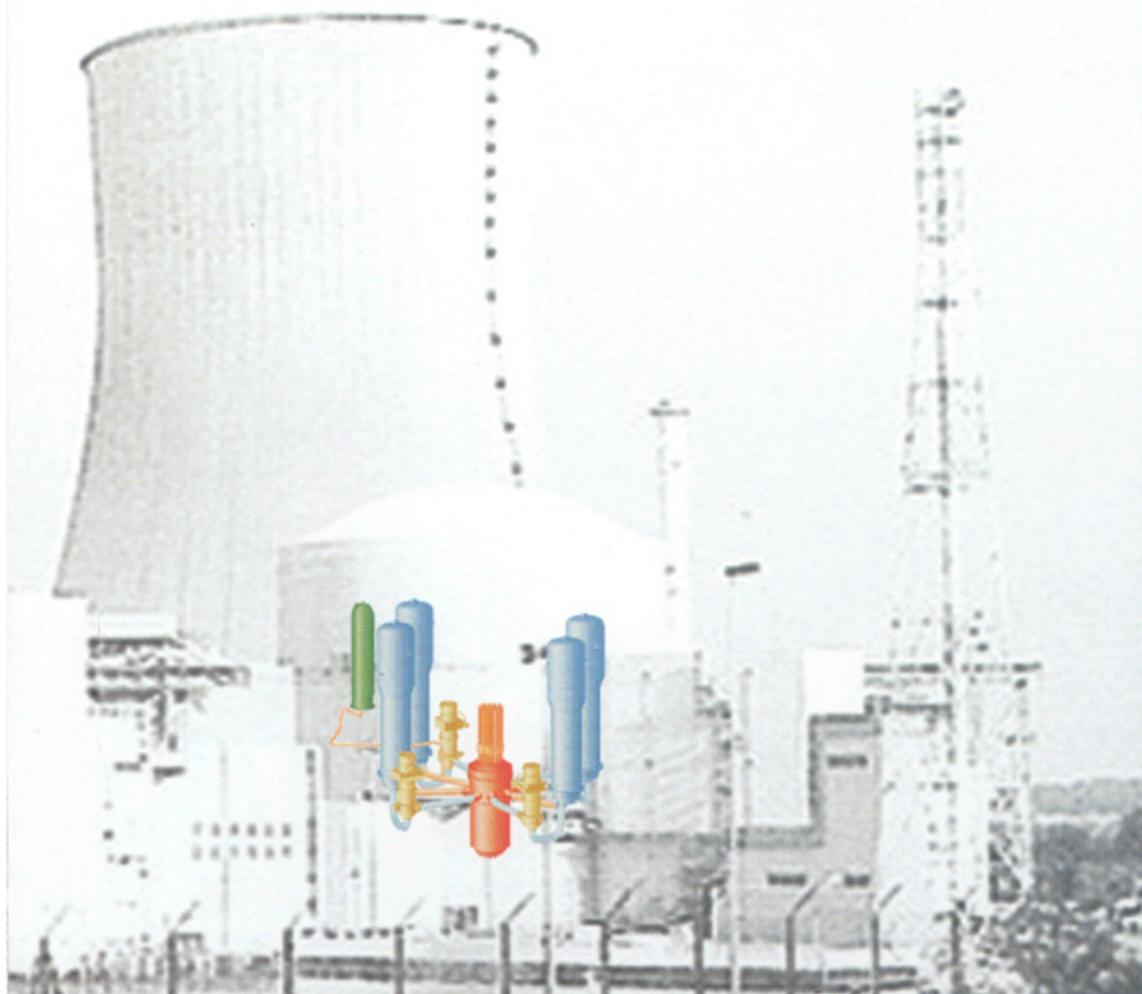


Nogent-sur-Seine, EDF, 1300 MWe

ARCHITECTURE DES RÉACTEURS À FISSION



CENTRALE NUCLÉAIRE N4 1450 MWe



L'espèce dominante : les réacteurs à eau

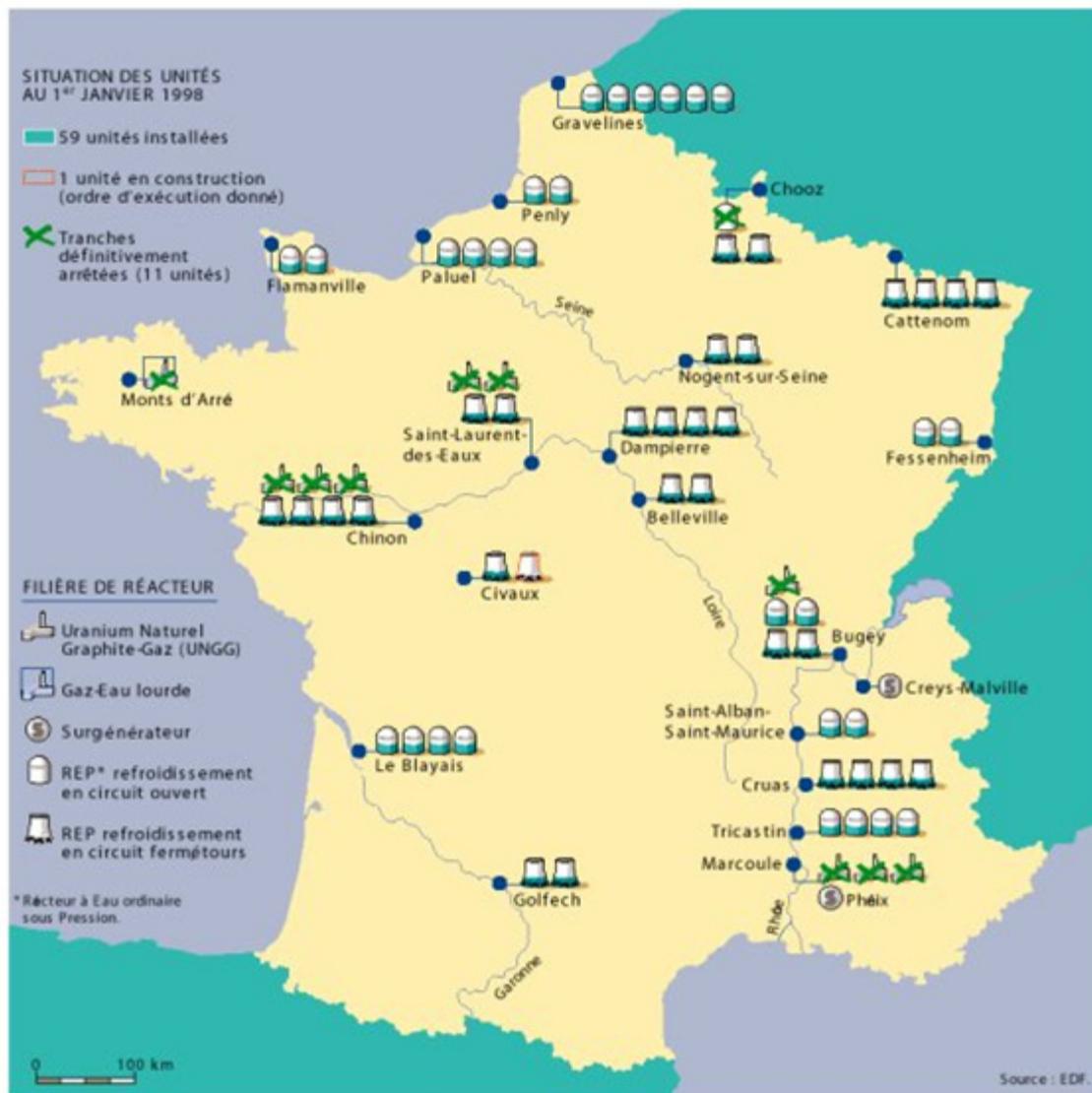
cea



- ✓ 80% du parc mondial soit environ 400 réacteurs
- ✓ 17% d'électricité d'origine nucléaire
- ✓ 10 000 années.réacteurs d'expérience

**UN CONSTAT :
LES REACTEURS A EAU EXISTANTS
SERONT PREPONDERANTS
JUSQU'EN 2020-2030**

Les réacteurs nucléaires en France





Les principes généraux

La réaction en chaîne et son contrôle

Le nucléaire actuellement

Le cycle du combustible

Sûreté, risques

Le parc existant, son fonctionnement, ses performances

Filières et générations de réacteurs

Les systèmes à neutrons lents vs rapides

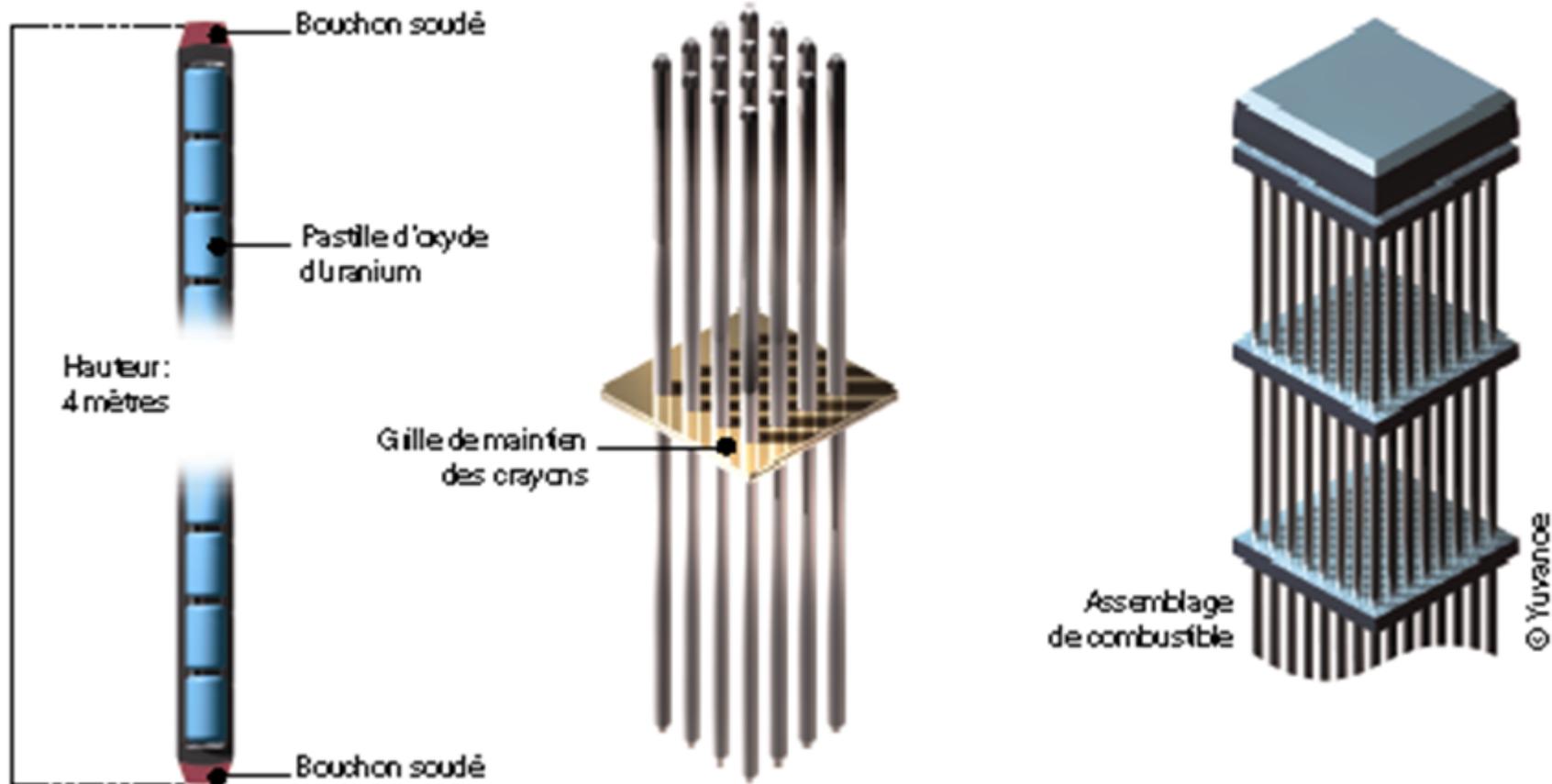
Le nucléaire du futur

De nouveaux critères pour un nucléaire durable

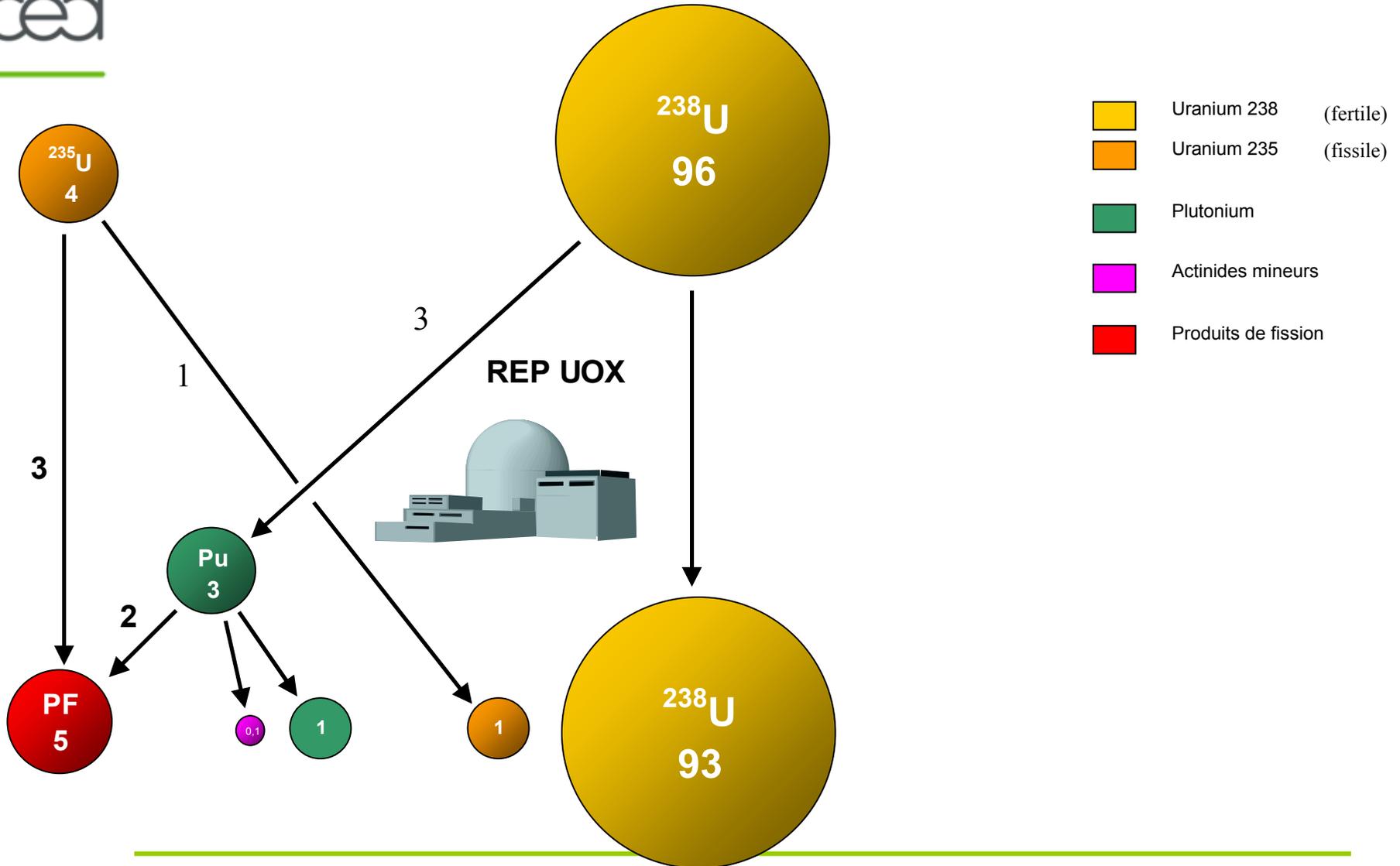
Portrait des systèmes nucléaires du futur, ce qu'on peut en attendre, leurs perspectives de développement

UN COMBUSTIBLE DANS TOUS SES ÉTATS : DES "CRAYONS", DES "AIGUILLES", ...

La préparation des assemblages de combustible

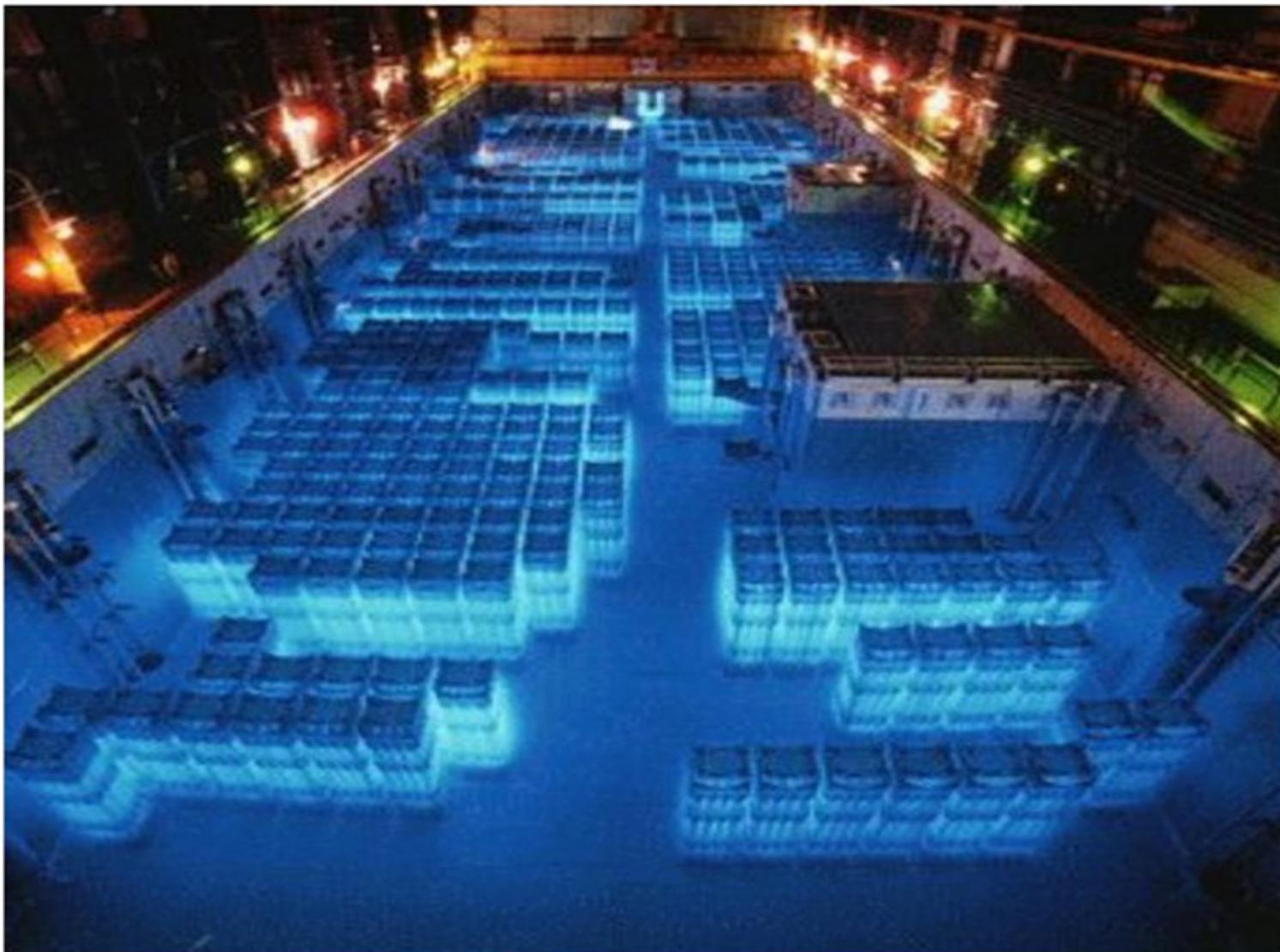


Réactions au sein des assemblages combustibles standards dans les REP (45,000 MWj/t)



L'entreposage du combustible usé

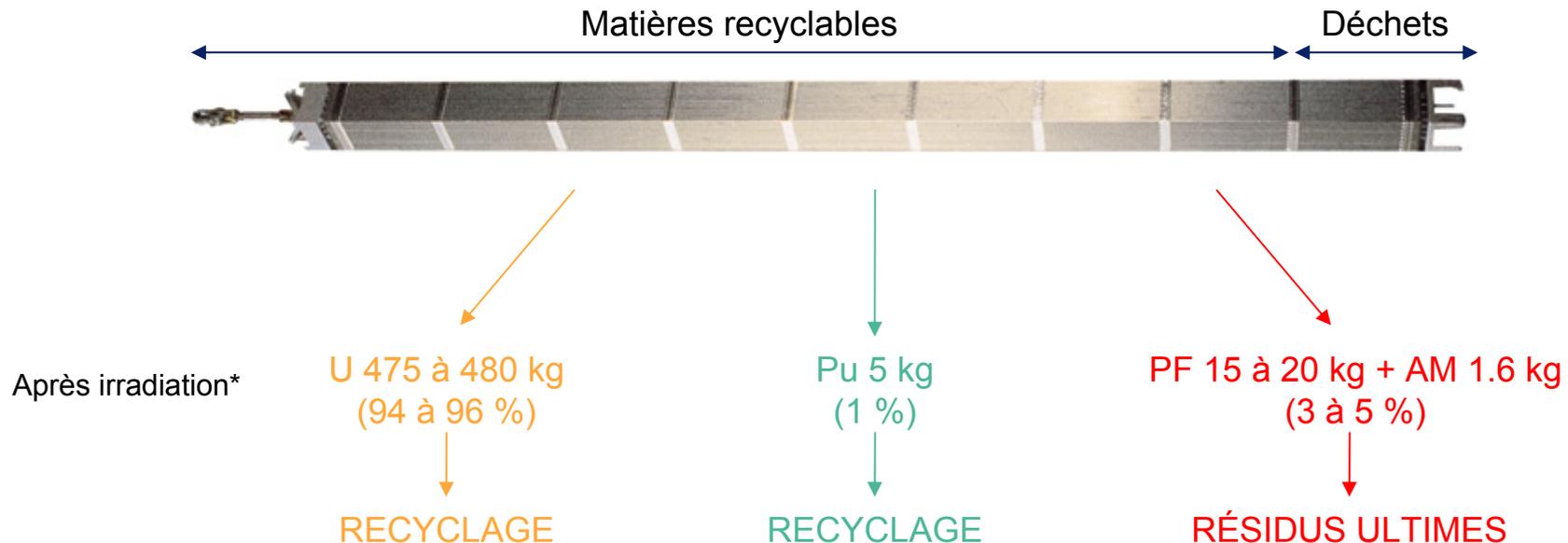
cea



La finalité du retraitement du combustible

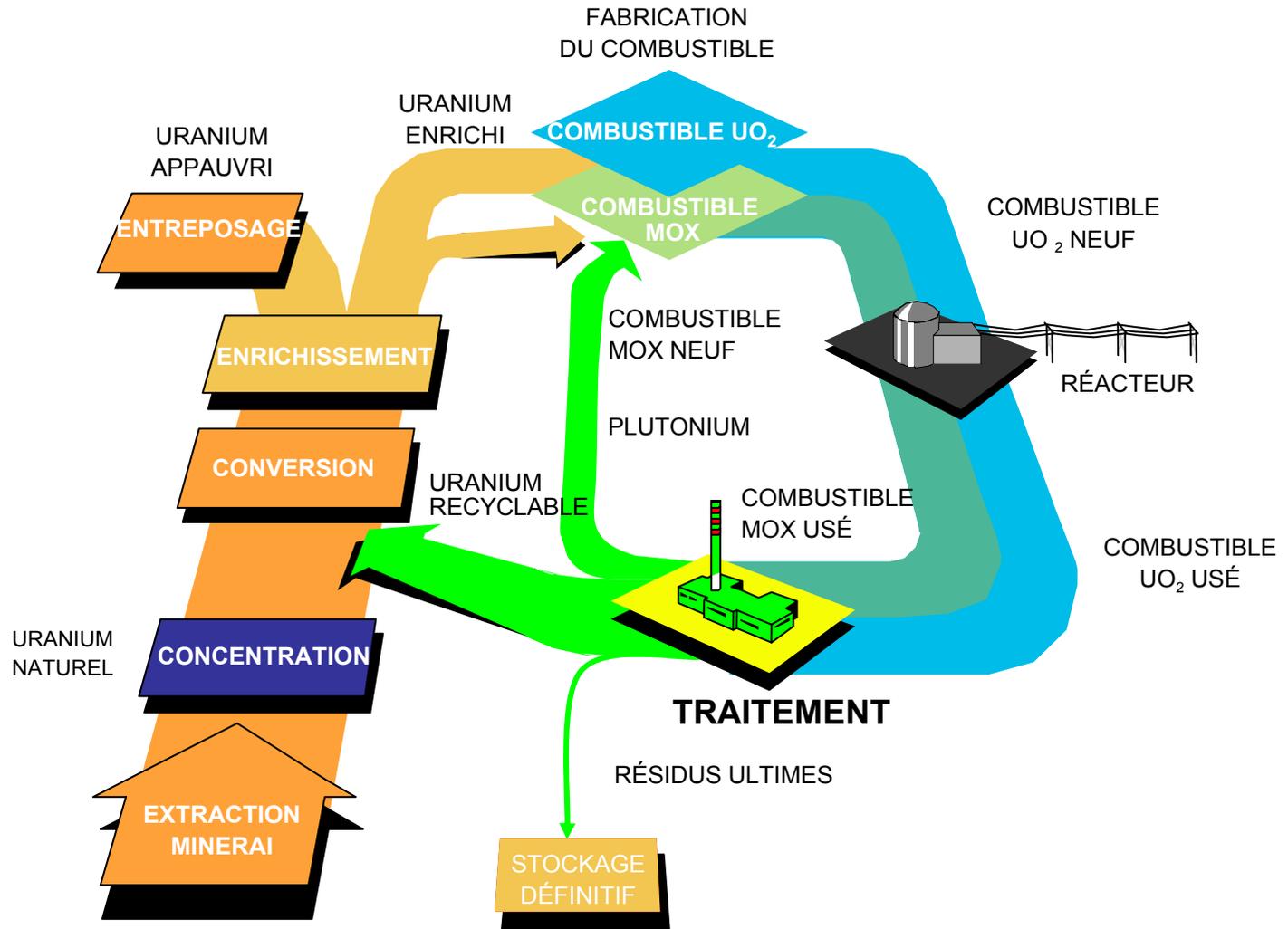


- Structure du combustible eau légère usé
 - 1 combustible eau légère = 500 kg d'uranium avant irradiation en réacteur

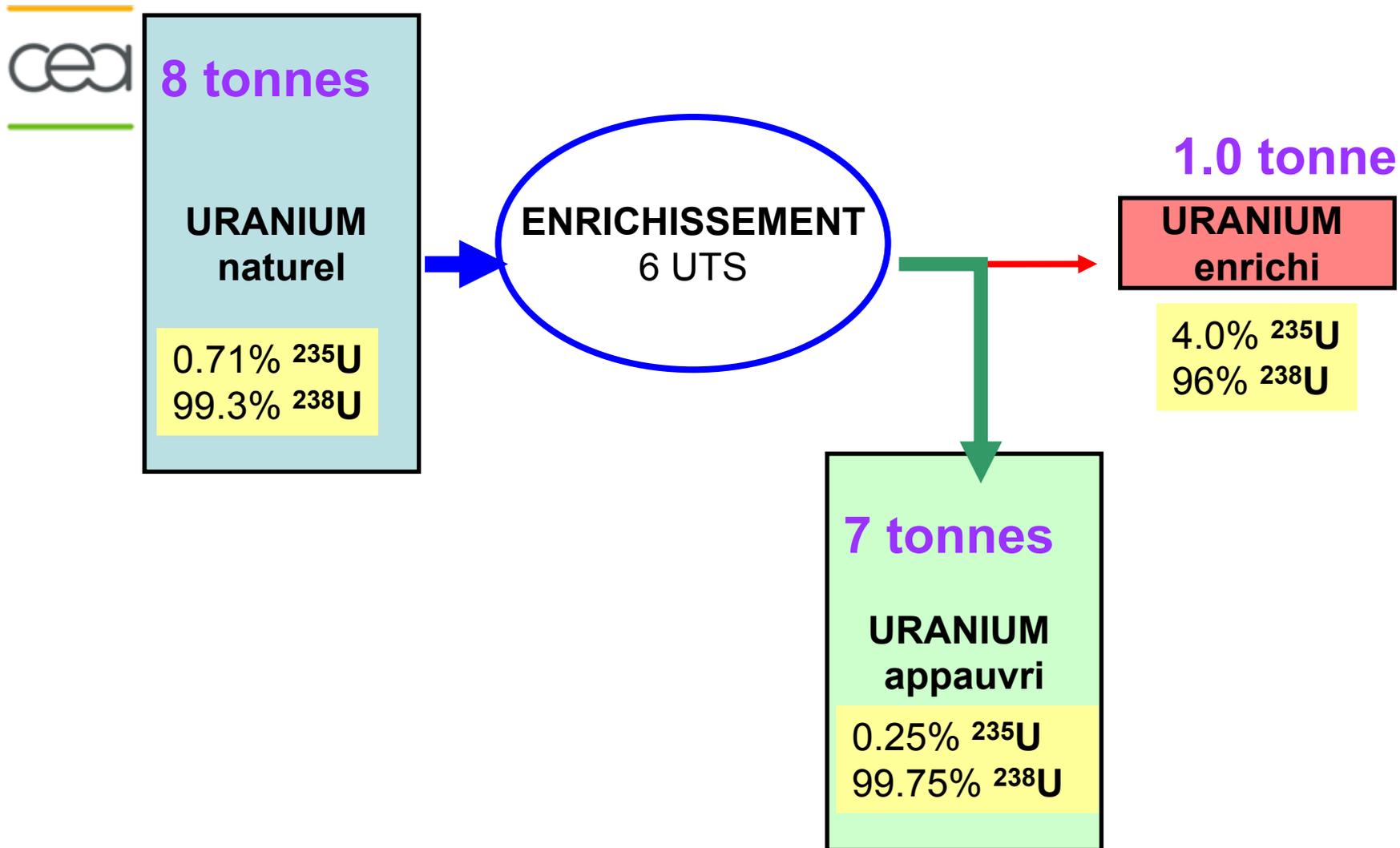


* pourcentage variable en fonction du taux de combustion

Le cycle du combustible nucléaire



L'enrichissement

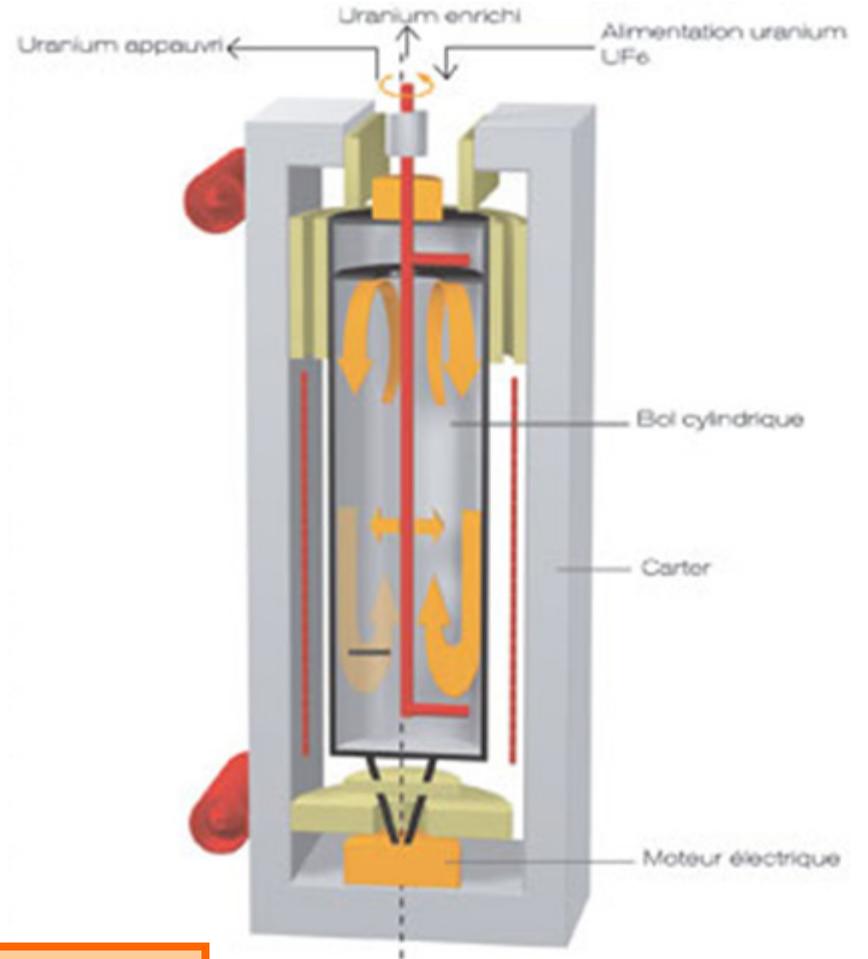


L'enrichissement par ultracentrifugation

cea



Batterie de centrifugeuses



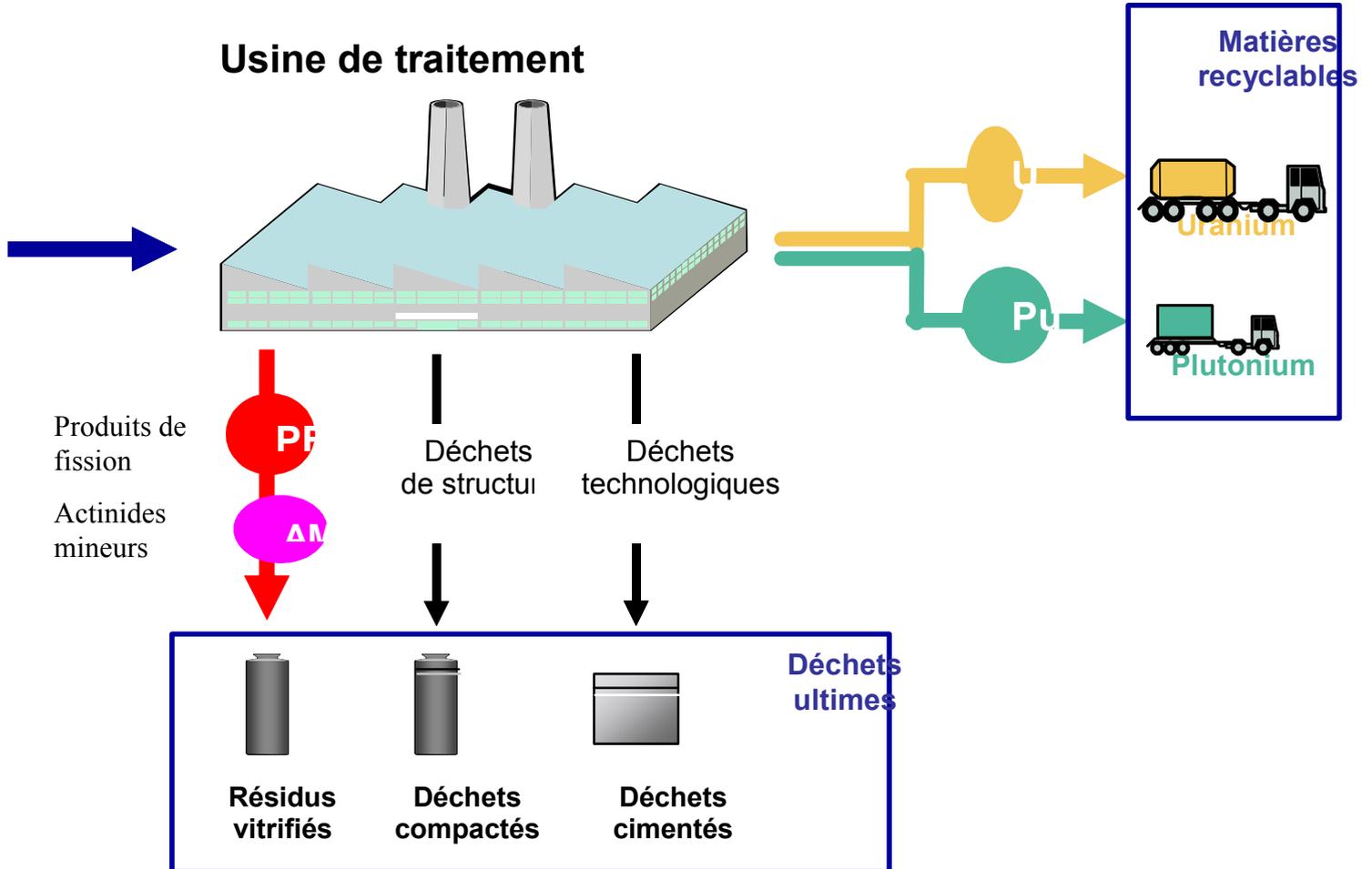
L'usine Georges Besse, à Pierrelatte



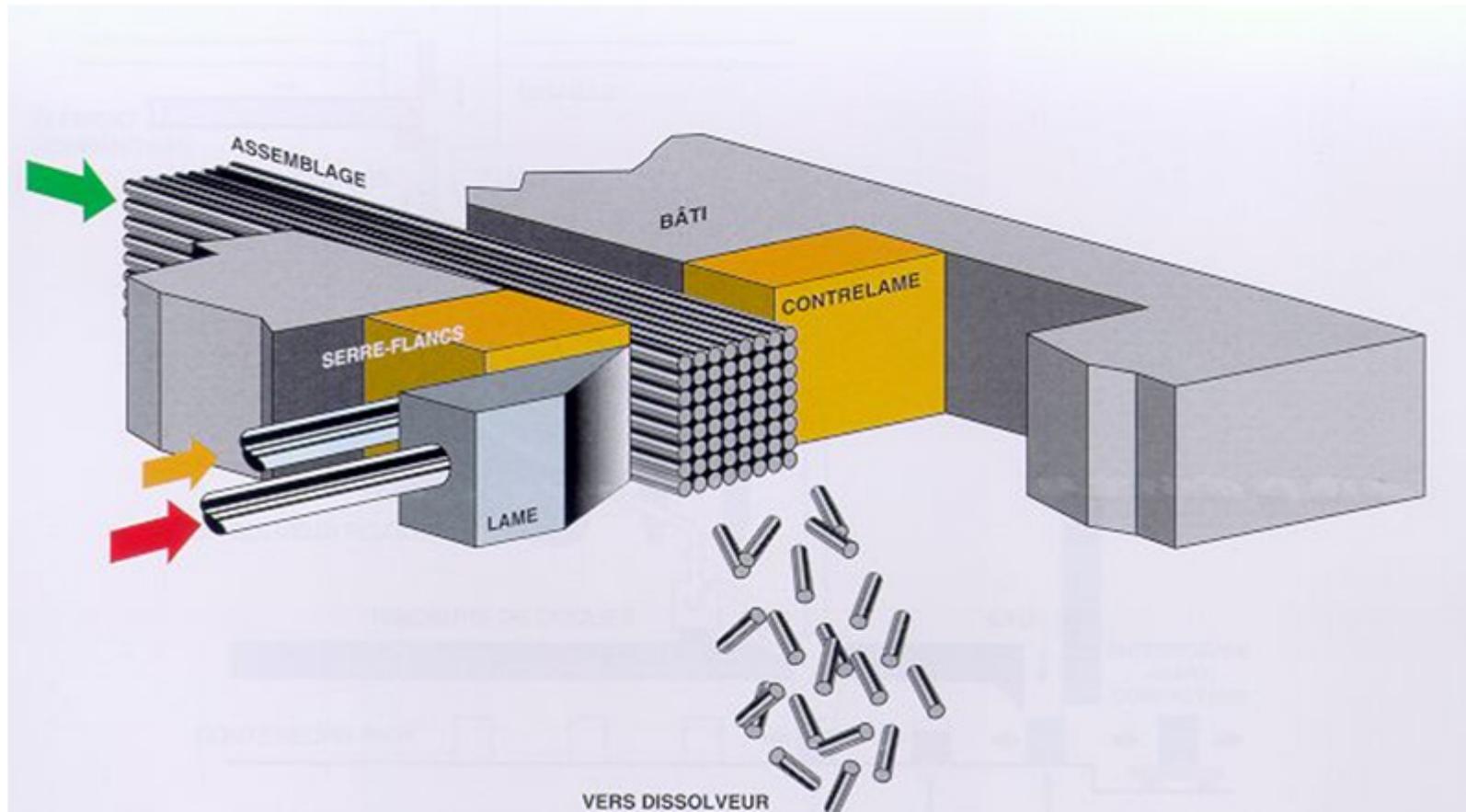
Le site de COGEMA-La HAGUE



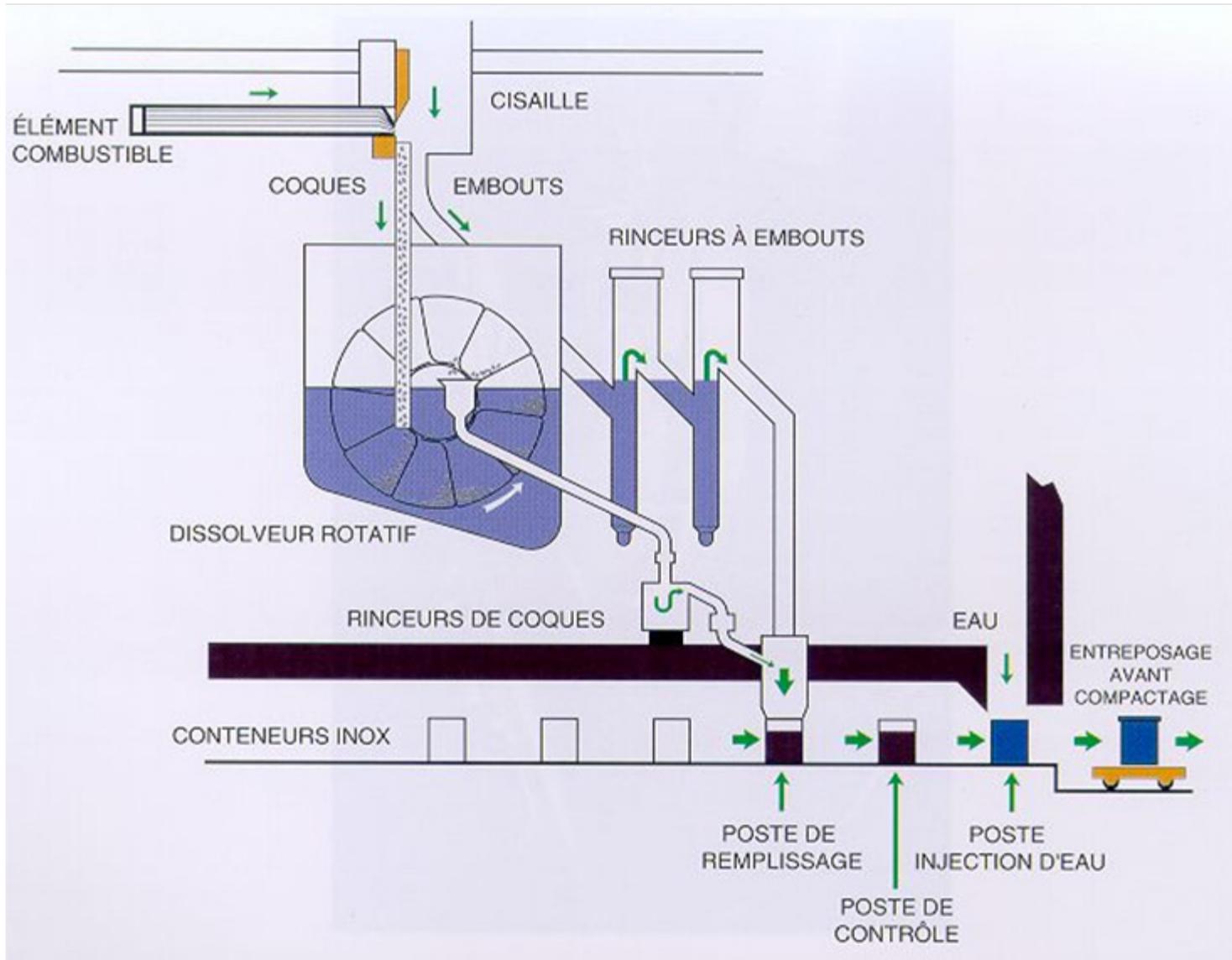
Le traitement des combustibles usés



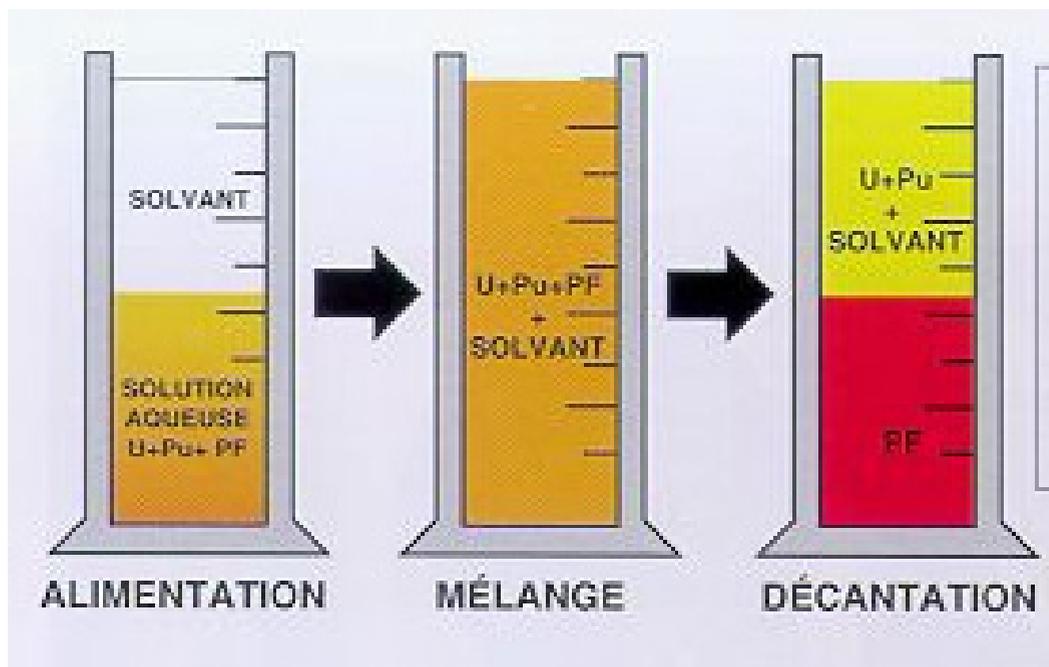
Cisailage du combustible usé



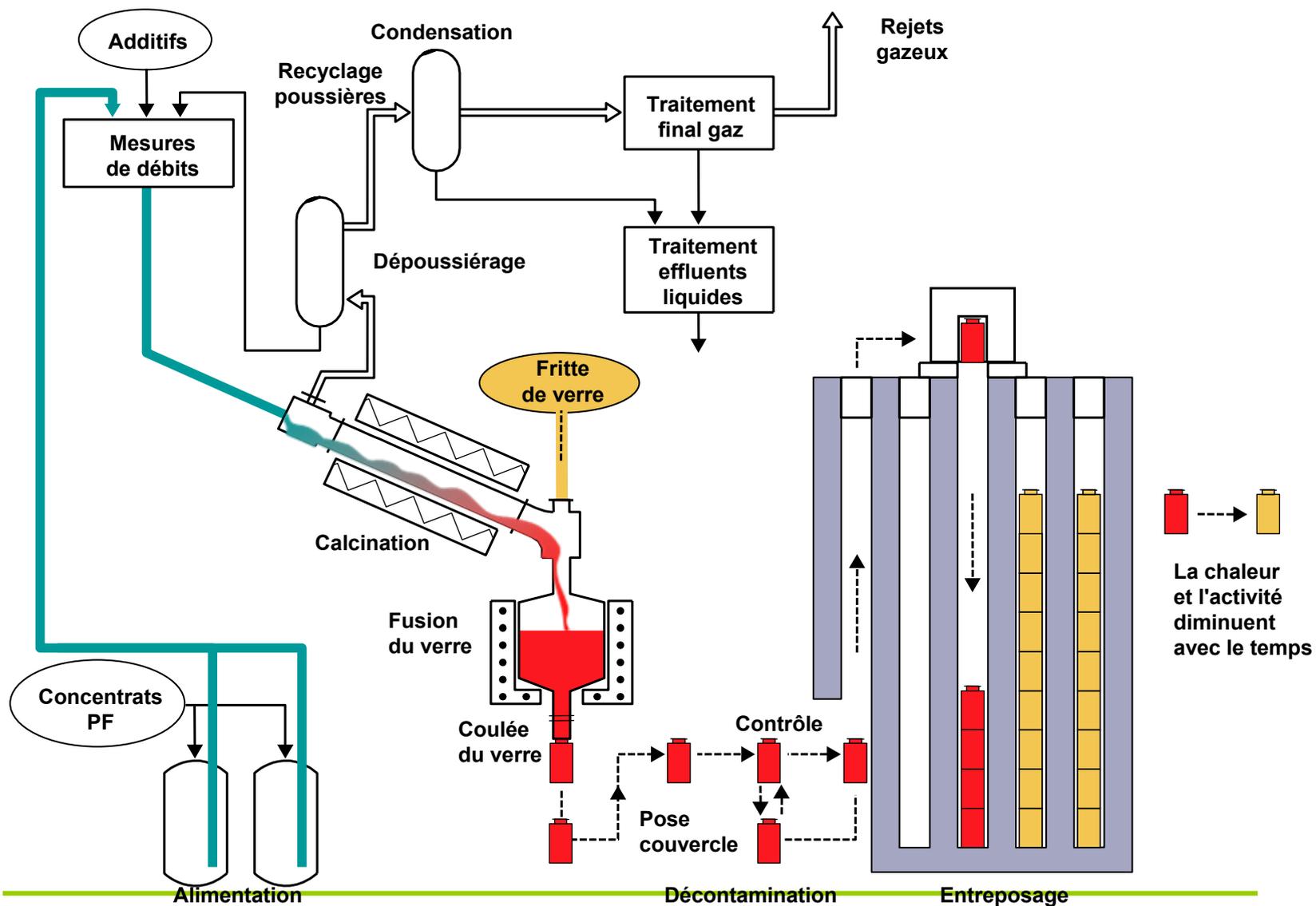
Dissolution du combustible usé



Extraction par solvants



Procédé français de vitrification



Hall d'entreposage des résidus vitrifiés

cea





Déchets : Quelques ordres de grandeur

Par habitant et par an , en France

| | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| Déchets inertes et ménagers | 2200 kg |
| Déchets industriels | 800 kg (100 kg à haute toxicité) |
| Déchets nucléaires | 1 kg (10 g. à haute activité) |



76-09 Production annuelle de déchets nucléaires en France

| | |
|-------------------------|---|
| FMA à vie courte | 12 à 15 000 m³ conditionnés |
| MA à vie longue | 530 m³ conditionnés |
| HA | 130 m³ conditionnés |

Les déchets nucléaires



Des solutions industrielles déjà mises en œuvre

| | Vie courte période principaux éléments < 30 ans | Vie longue période principaux éléments > 30 ans |
|---------------------------------------|--|--|
| Très Faible Activité (TFA) | Centre de Morvilliers <i>Mise en sécurité à l'étude pour les résidus miniers</i> | |
| Faible Activité (FA) | Stockage en surface (Centre de l'Aube) <i>A l'étude pour les déchets tritiés</i> | A l'étude : Déchets radifères Déchets graphites |
| Moyenne Activité (MA) | A l'étude : les trois voies de recherche <i>(loi du 30 décembre 1991)</i> | |
| Haute Activité (HA) | Séparation - Transmutation | Stockage géologique formations profondes |
| | | Entreposage longue durée en surface |



Les principes généraux

La réaction en chaîne et son contrôle

Le nucléaire actuellement

Le cycle du combustible

Sûreté, risques

Le parc existant, son fonctionnement, ses performances

Filières et générations de réacteurs

Les systèmes à neutrons lents vs rapides

Le nucléaire du futur

De nouveaux critères pour un nucléaire durable

Portrait des systèmes nucléaires du futur, ce qu'on peut en attendre, leurs perspectives de développement

La sûreté: un objectif primordial

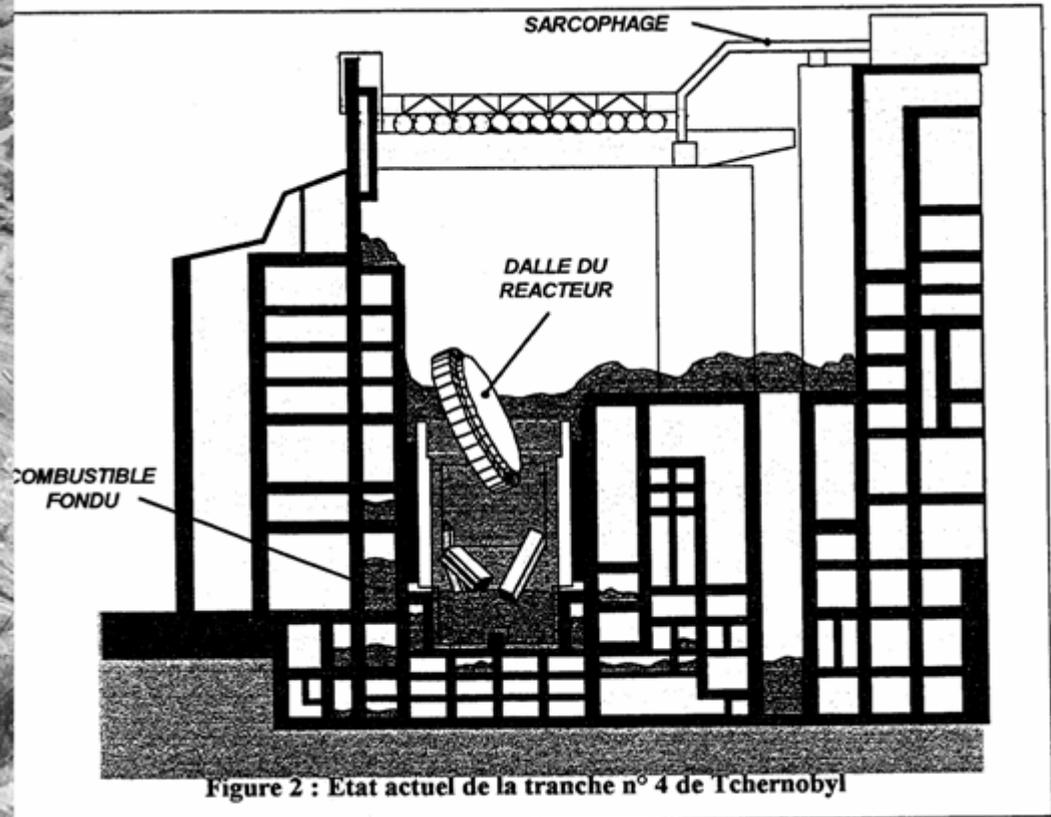
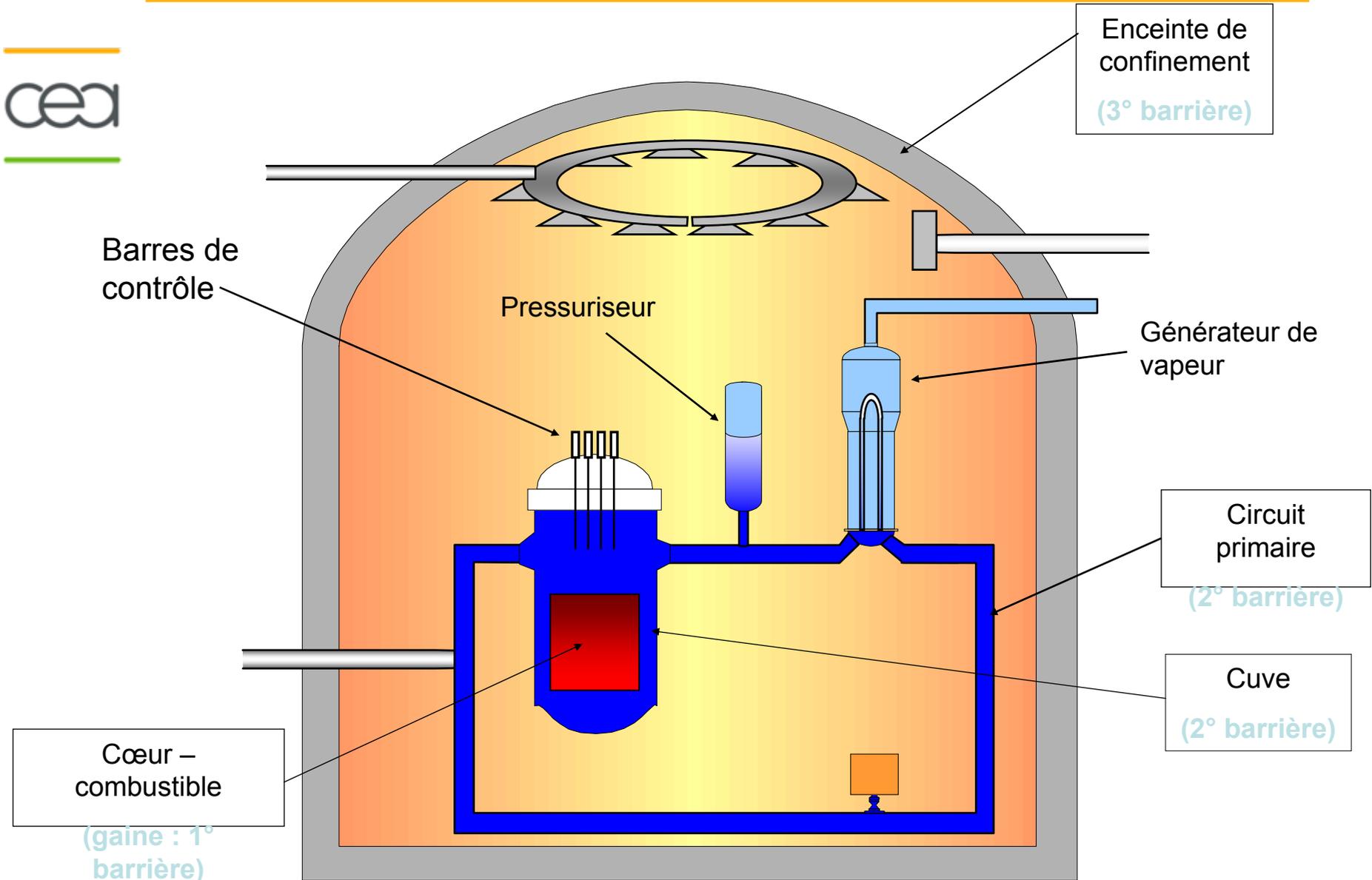


Figure 2 : Etat actuel de la tranche n° 4 de Tchernobyl

Source: B. Barré, AREVA

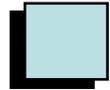
Le réacteur de Tchernobyl après l'accident

Les 3 barrières du REP





PROBABILITÉ DE FUSION DU COEUR (RÉSULTATS 1990)



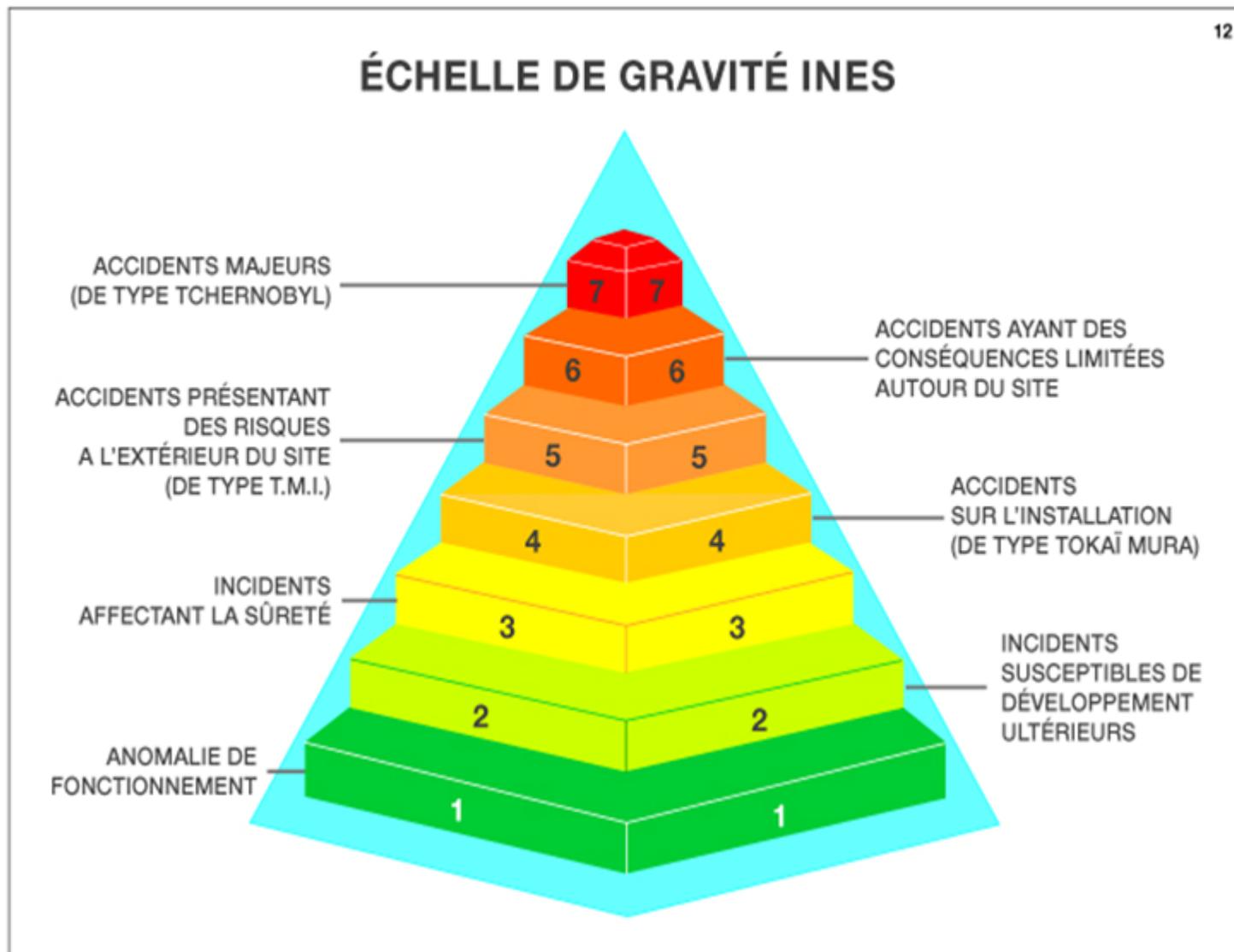
EPS 900 MWe = $5 \cdot 10^5$ PAR RÉACTEUR ET PAR AN



EPS 1300 MWe = $1 \cdot 10^{-5}$ PAR RÉACTEUR ET PAR AN

- SI L'ON CONSIDÈRE 50 RÉACTEURS * 40 ANS
= 1 "CHANCE" SUR 10
- LA FUSION DU COEUR NE PROVOQUE PAS
SYSTÉMATIQUEMENT DES REJETS IMPORTANTS
- IL FAUT CONTINUER A PROGRESSER

L'échelle internationale des événements nucléaires



➡ Aucun accident classé supérieur à 4 en France (site internet de l'ASN)



Les principes généraux

La réaction en chaîne et son contrôle

Le nucléaire actuellement

Le cycle du combustible

Sûreté, risques

Le parc existant, son fonctionnement, ses performances

Filières et générations de réacteurs

Les systèmes à neutrons lents vs rapides

Le nucléaire du futur

De nouveaux critères pour un nucléaire durable

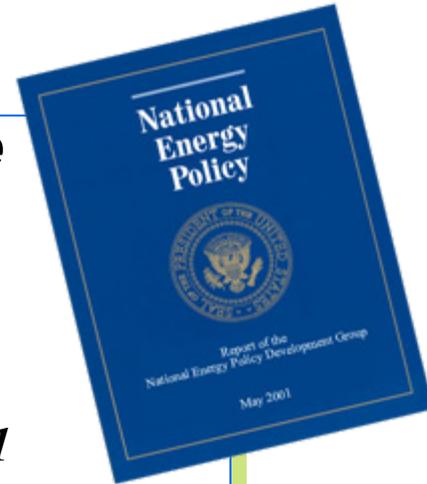
Portrait des systèmes nucléaires du futur, ce qu'on peut en attendre, leurs perspectives de développement

Nucléaire : le redémarrage



USA : *“The NEPD Group recommends that the President support the expansion of nuclear energy in the United States as a major component of our national energy policy.”*

Report of the National Energy Policy Development Group, May 2001



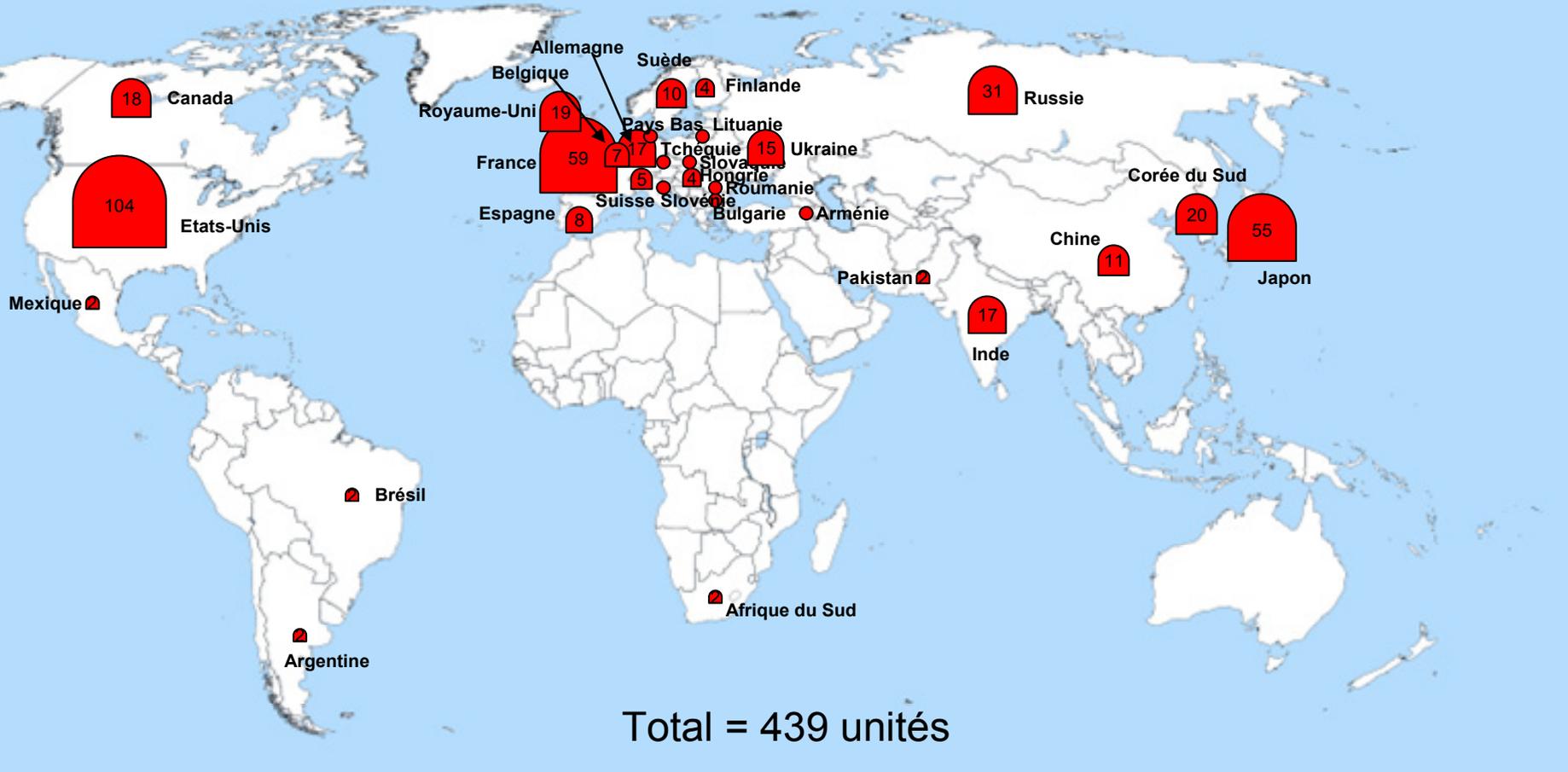
Europe « ... nécessité de maintenir le nucléaire en Europe »

European Parliament resolution, Novembre 2001

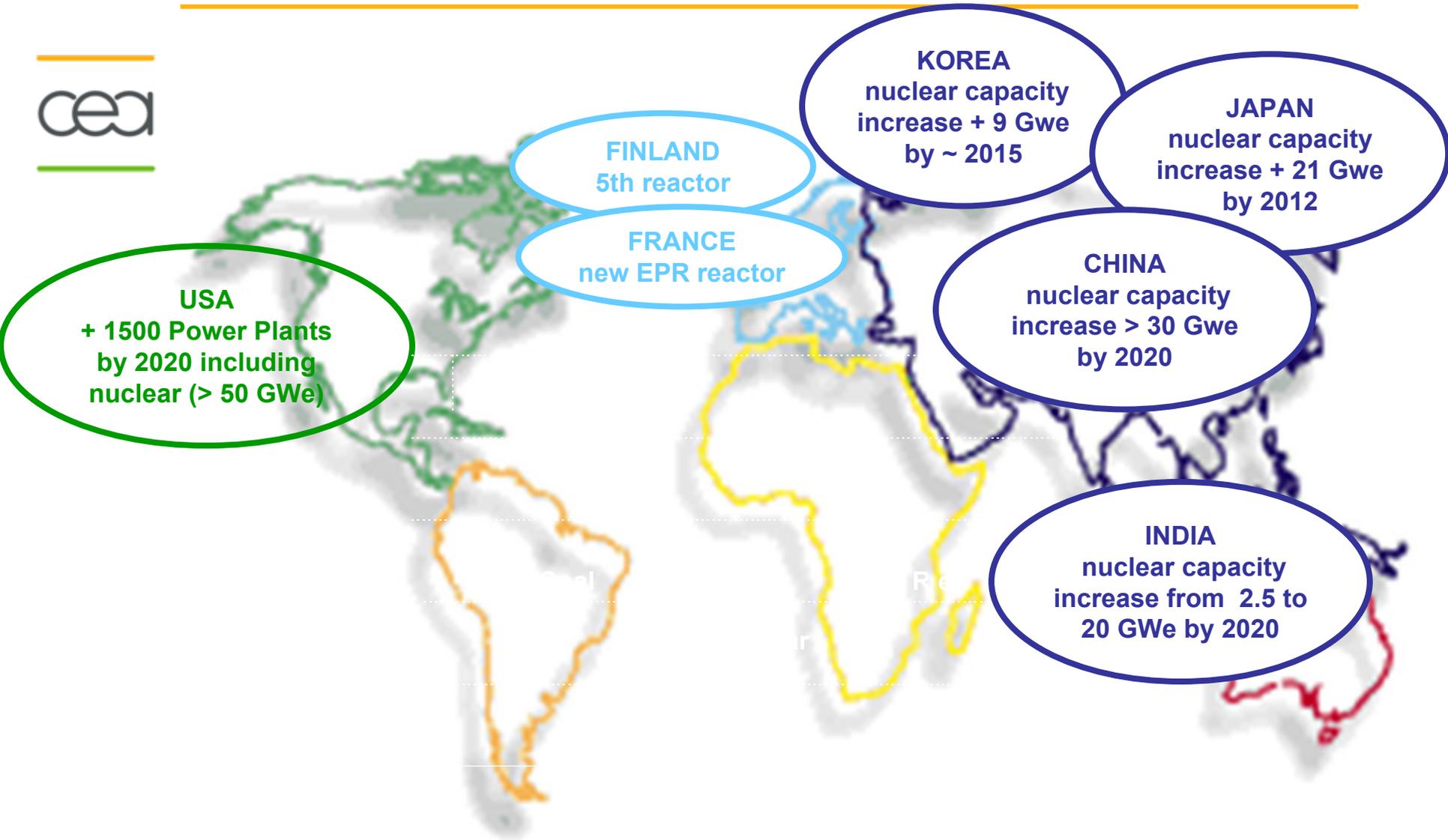
Les Centrales Nucléaires dans le Monde



Carte des réacteurs nucléaires dans le monde en 2007



Des perspectives importantes au plan mondial

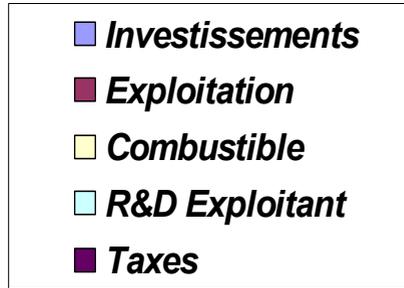
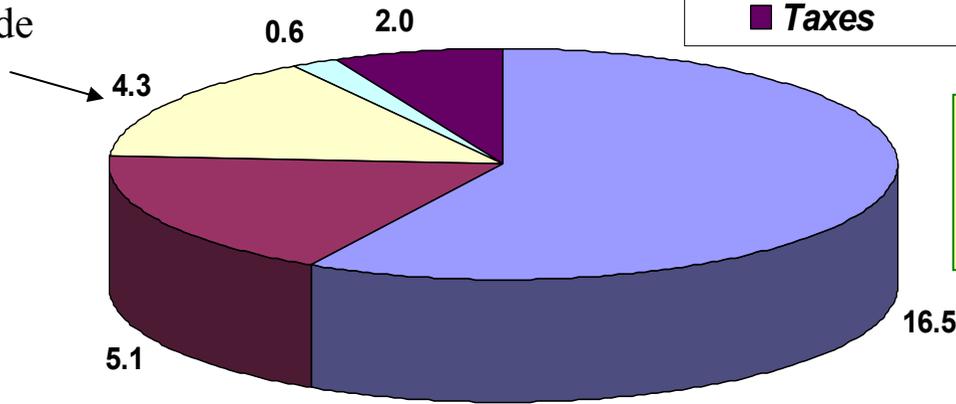


Source : TotalFinaElf

Le coût du MWh nucléaire

Coût moyenné sur le parc EDF
63 GW, 426 TWh/an

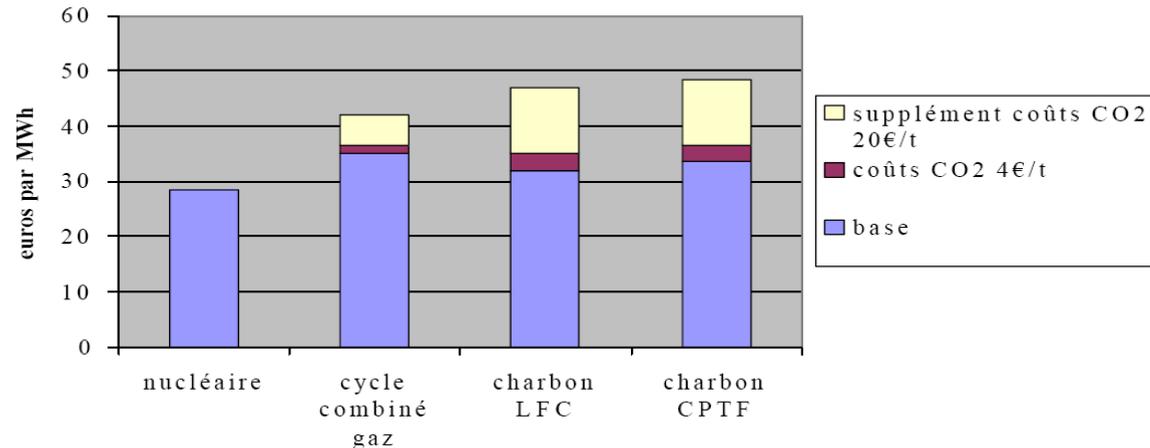
Cf exposé de
Sondes
Kahouli



Source: "Coûts de référence de la production électrique", DGEMP/DIDEME, Décembre 2003

TOTAL = 28.4 €/MWh coût TTC 2015 avec coûts CO2 actualisation 8%

Le MWh nucléaire est compétitif !!



Nucléaire : les défis

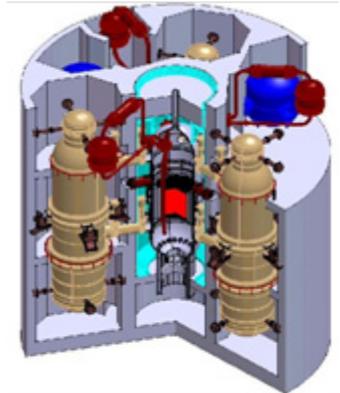


- Soutenir **l'industrie nucléaire actuelle**



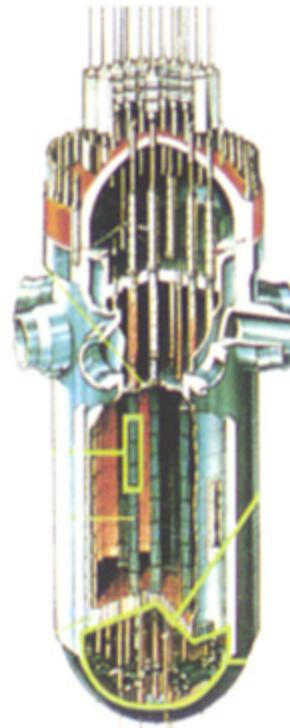
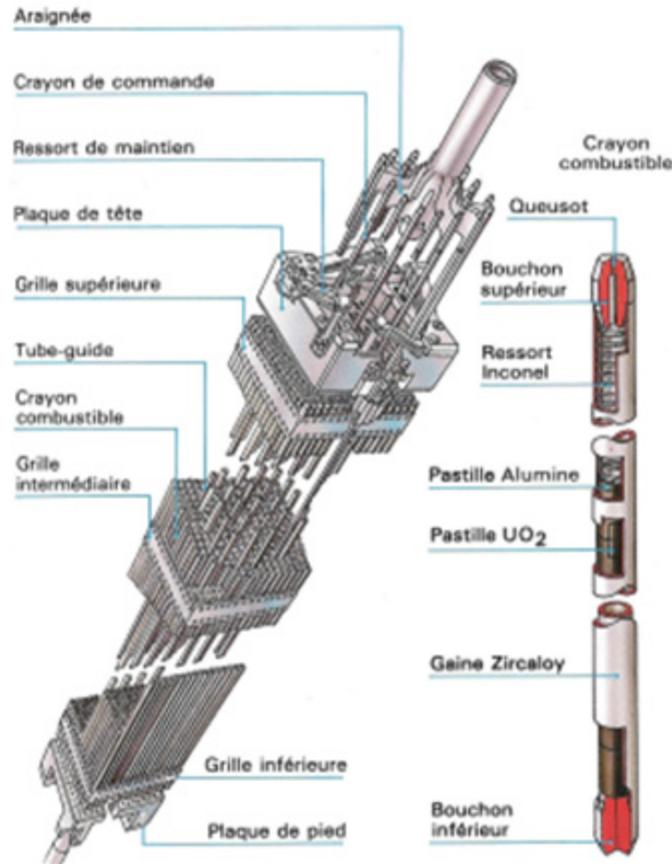
- Apporter des solutions efficaces et acceptables au problème de la **gestion des déchets** à haute activité et à vie longue,
et mieux comprendre l'impact des activités nucléaires sur l'homme et son environnement

- Concevoir et évaluer de **nouvelles générations** de systèmes nucléaires (réacteur et cycle)



- **Allongement de la durée de vie**

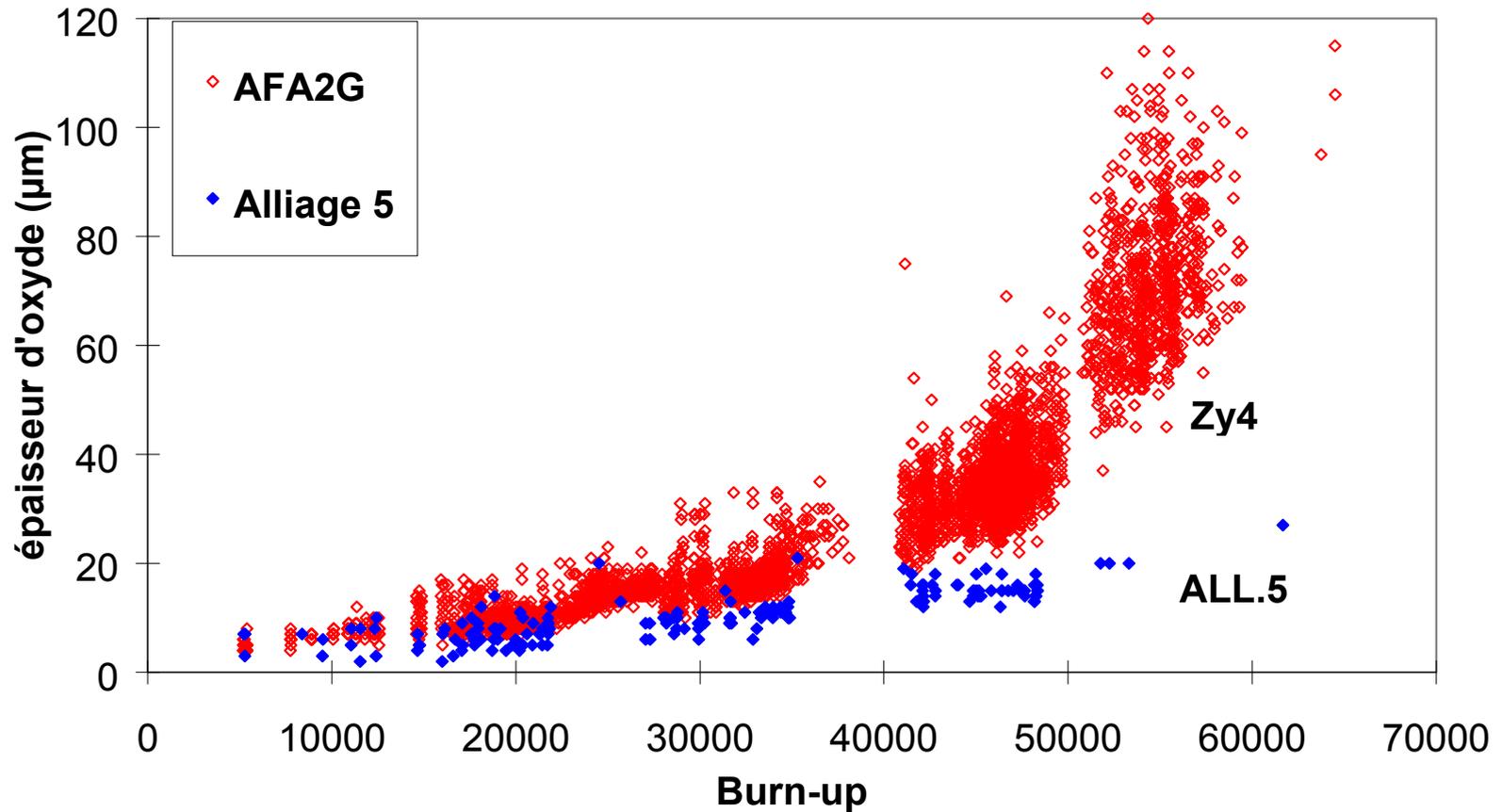
- **Amélioration des performances des combustibles**



Améliorer les performances du combustible REO



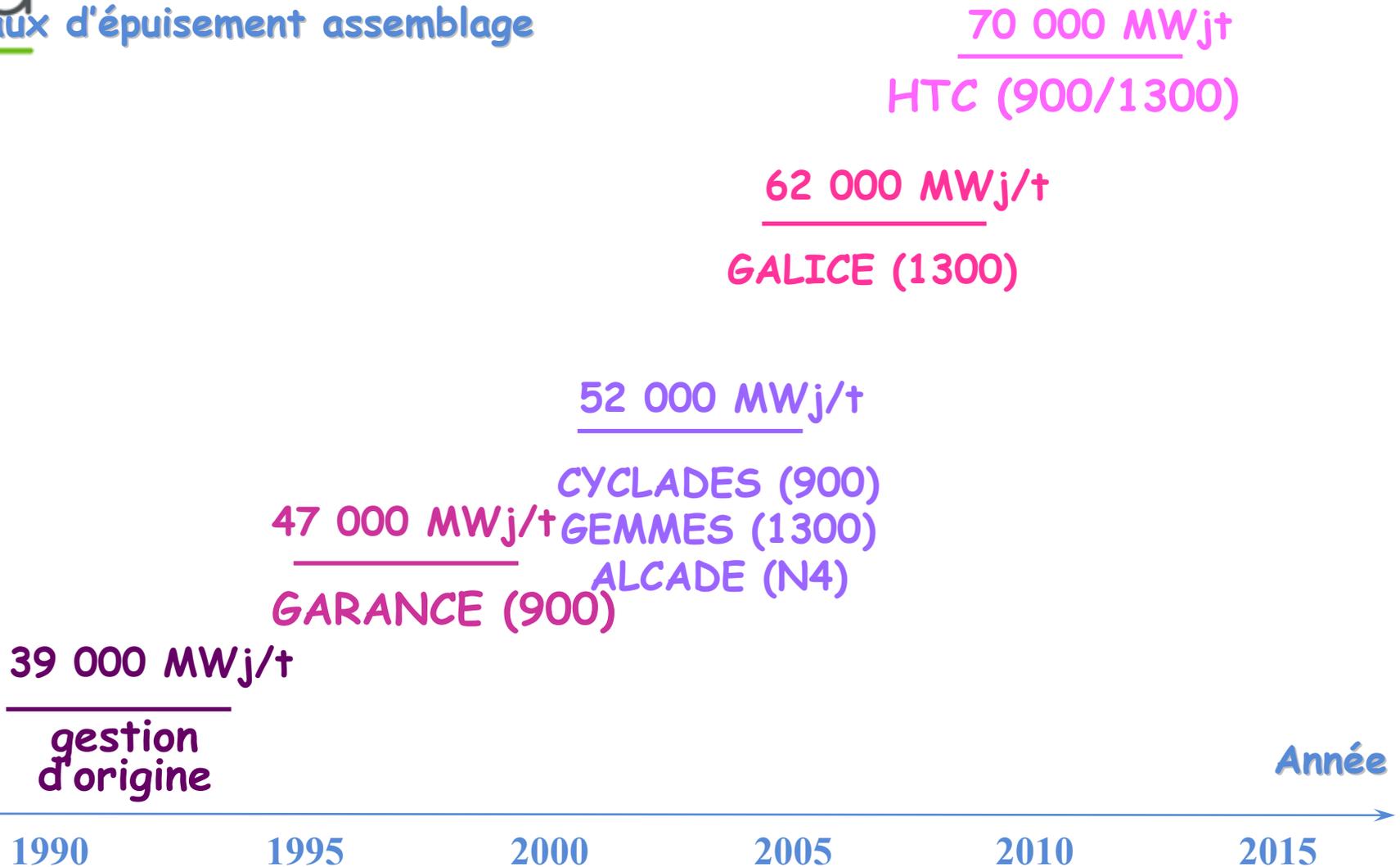
REX FRAMATOME



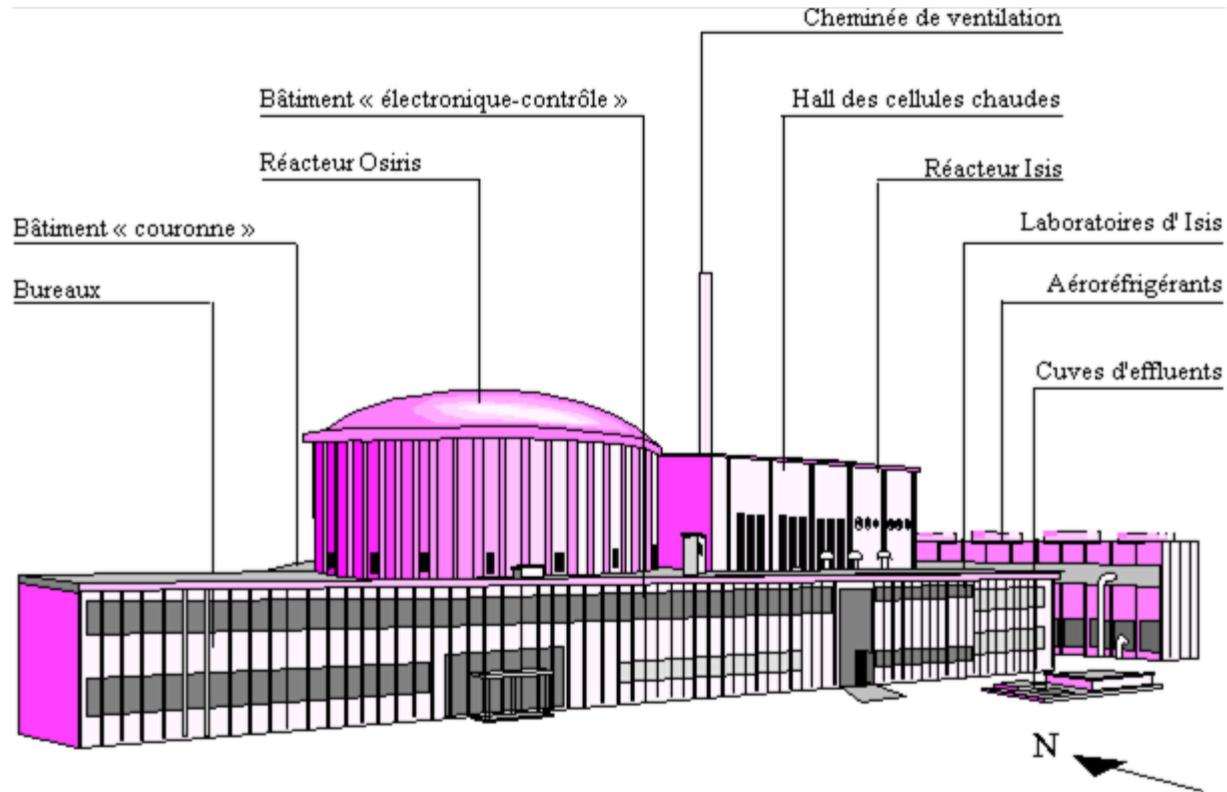
L'évolution des gestions de coeur implique des recherches sur le comportement du combustible à fort taux de combustion



Taux d'épuisement assemblage



Réacteurs expérimentaux : OSIRIS

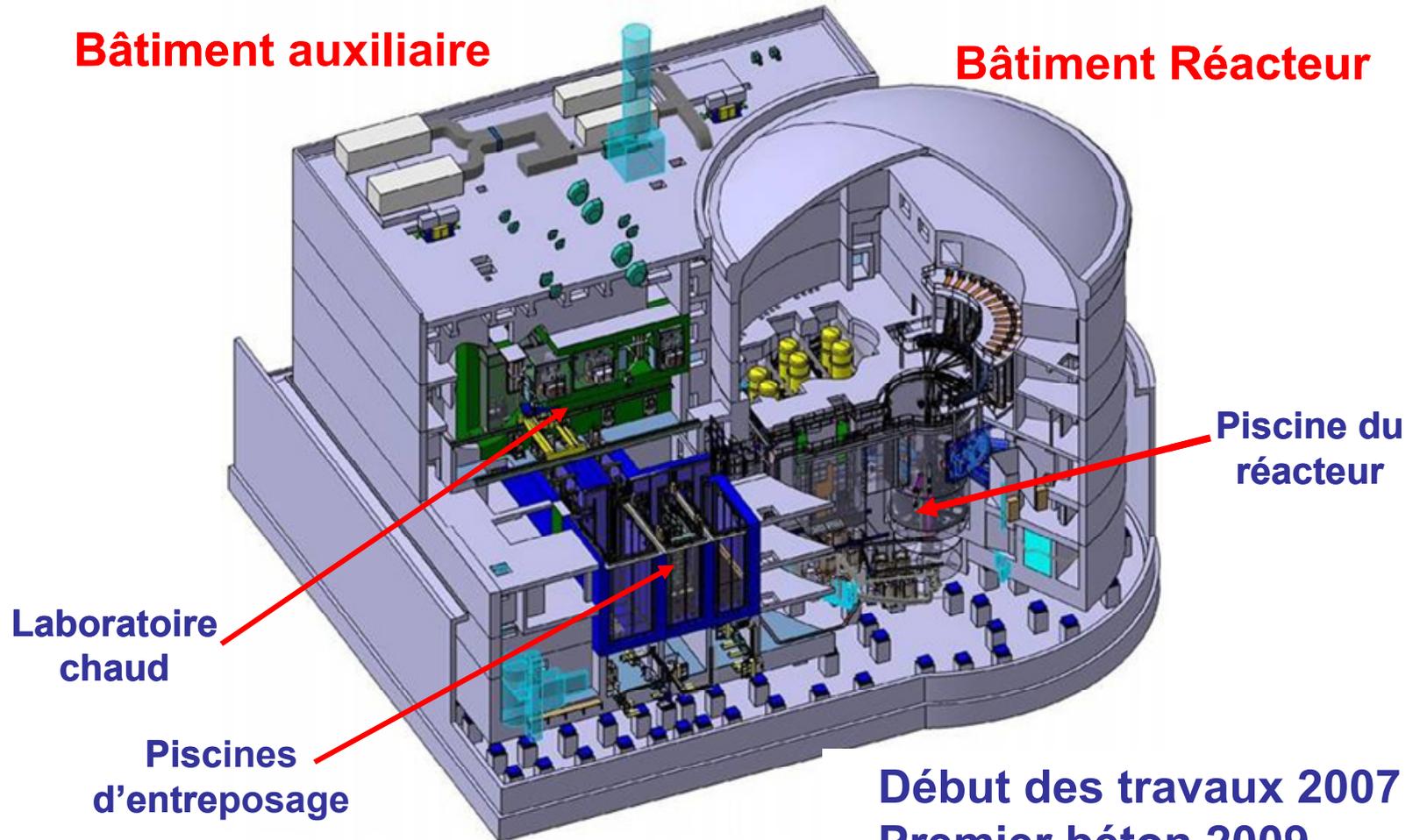


Un nouveau réacteur de recherche à Cadarache

Le Réacteur Jules Horowitz (RJH)

Bâtiment auxiliaire

Bâtiment Réacteur

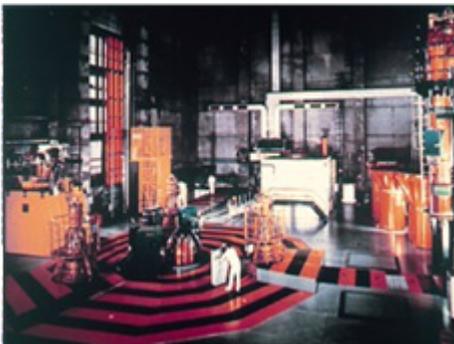
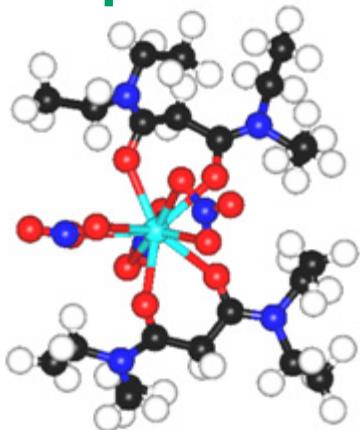


Début des travaux 2007
Premier béton 2009
Mise en service 2014

Proposer des solutions pour la gestion des déchets

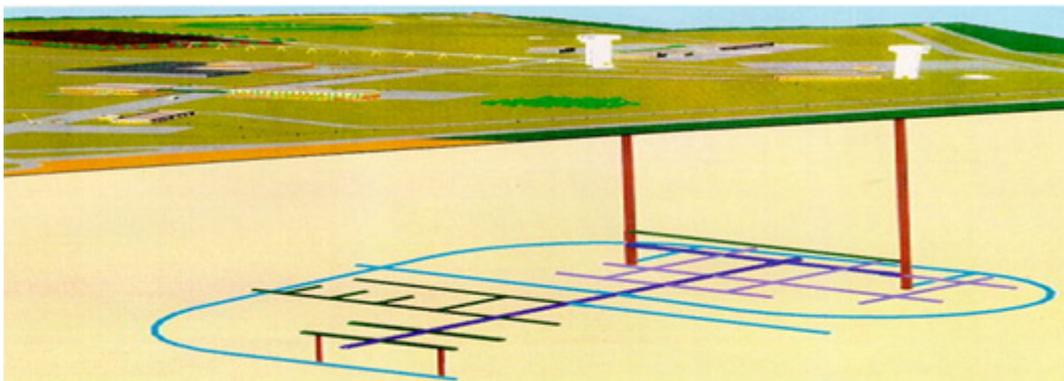


➤ Séparation poussée



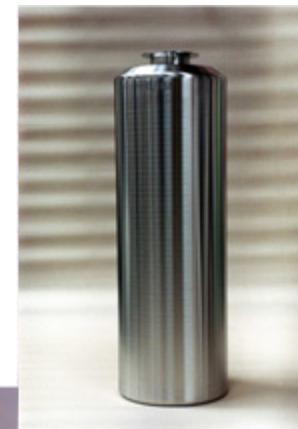
➤ Transmutation

➤ Stockage réversible



➤ Conditionnement

➤ Entreposage de longue durée

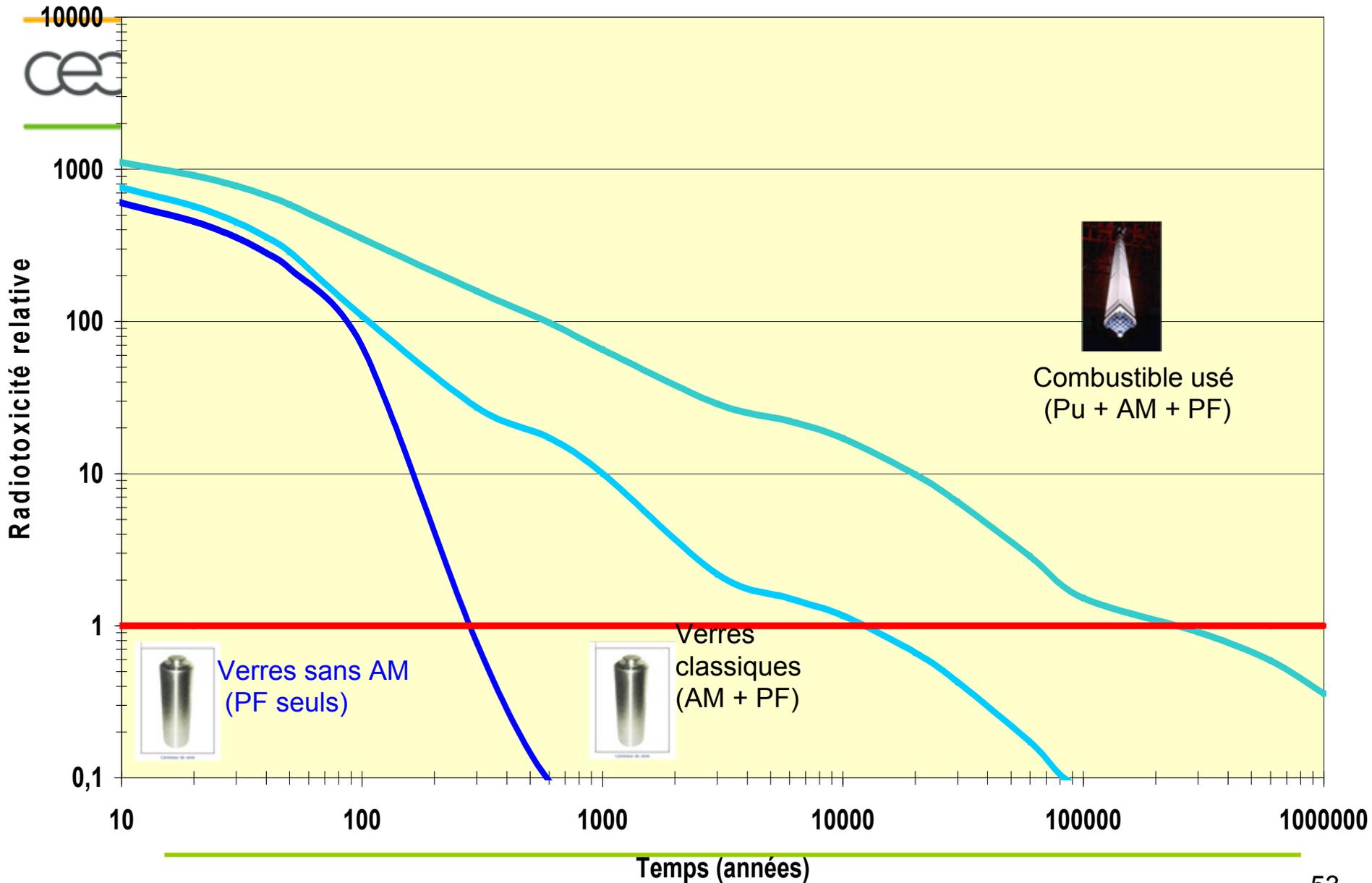


Séparation-transmutation : les enjeux

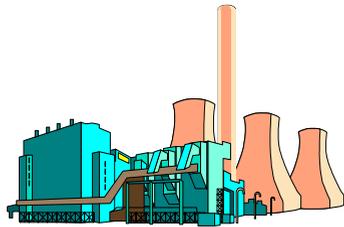


- Idée générale : séparer les radionucléides transmutables des autres, séparer les radionucléides à vie longue des autres, pour gérer ces différentes catégories de déchets de façon optimisée.
- Bonnes perspectives de transmuter les actinides dans les Réacteurs à Neutrons Rapides (cf ci-dessous). Ce qu'on gagnerait : un facteur important sur la radiotoxicité des déchets et sur la chaleur qu'ils dégagent (facteur dimensionnant d'un stockage profond).
- Avant de les transmuter, encore faut-il pouvoir les séparer et les entreposer.

Radiotoxicité potentielle des déchets en fonction du temps



Le traitement des combustibles usés

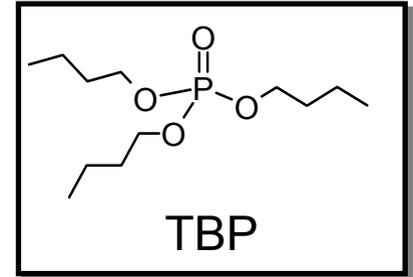


Combustible usé

Uranium et
Plutonium

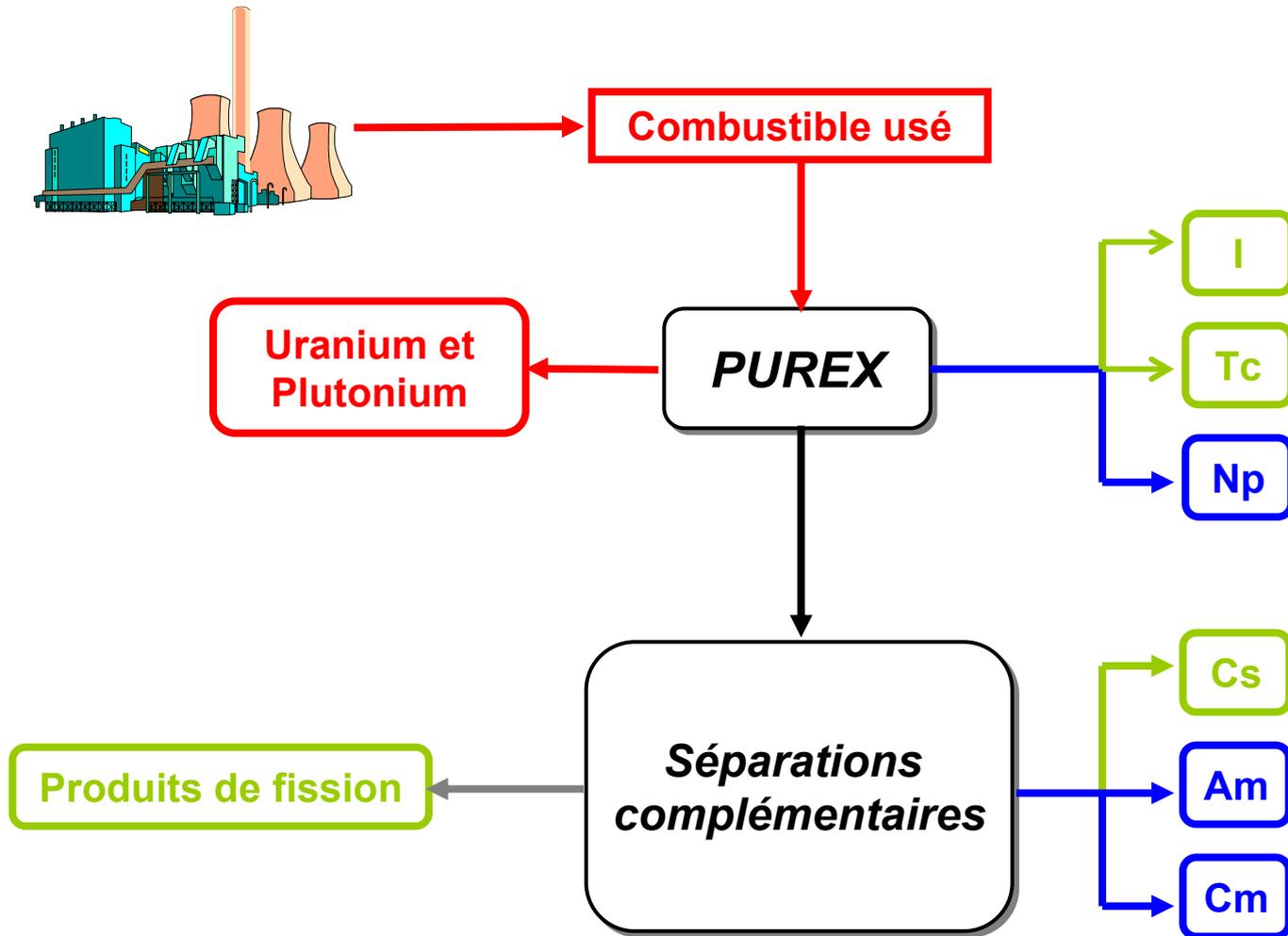
PUREX

*Produits de fission
et Actinides mineurs*



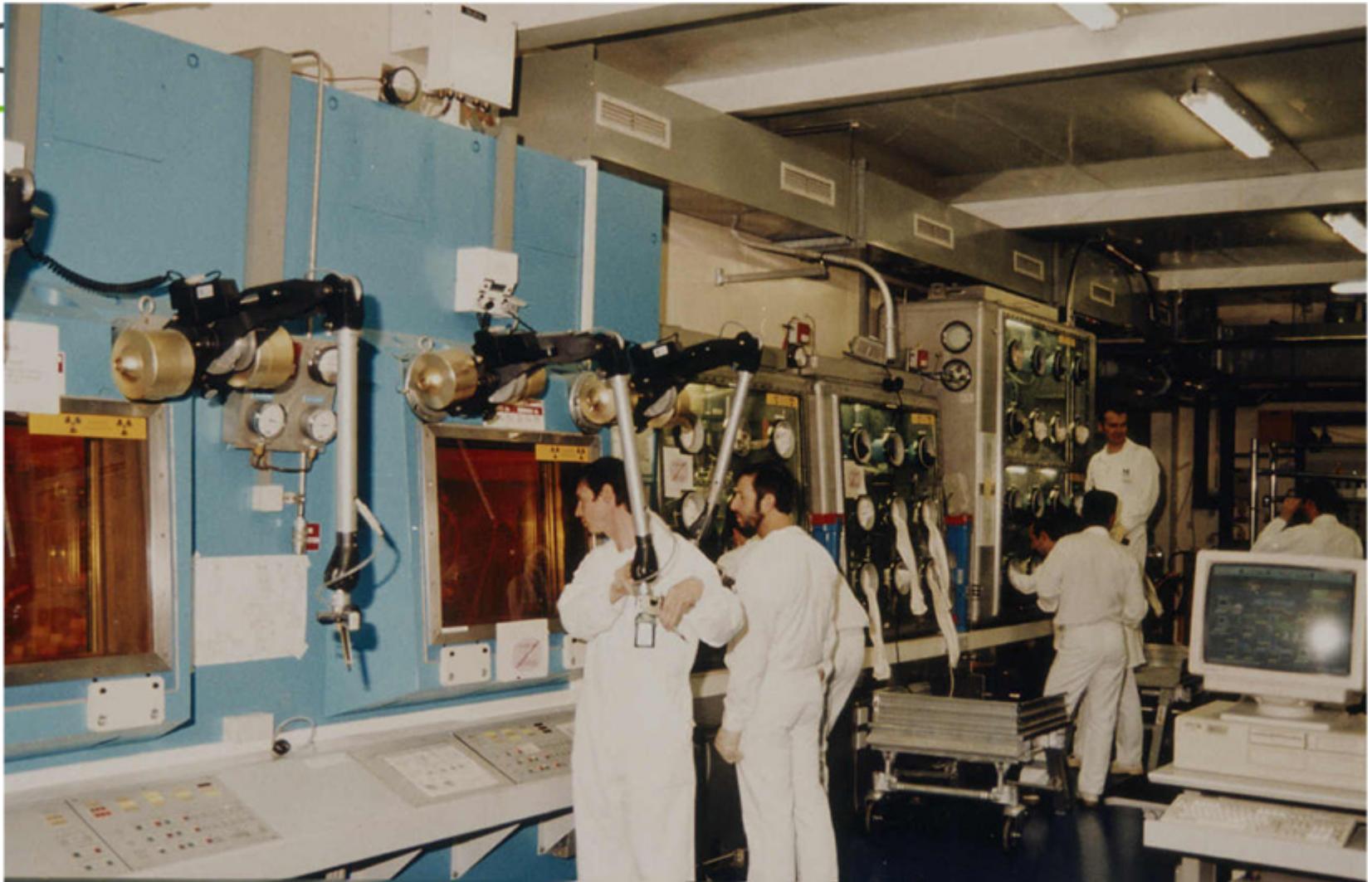
La séparation poussée

cea



Le laboratoire Atalante

cea



Gestion des actinides : les acquis



- On saura séparer les actinides (procédés hydrométallurgiques DIAMEX, SANEX, GANEX)
- On saura les entreposer
- On saura les transmuter : les actinides sont fissiles aux neutrons rapides, et seront recyclables dans les réacteurs de quatrième génération ... quand ces derniers seront déployés.

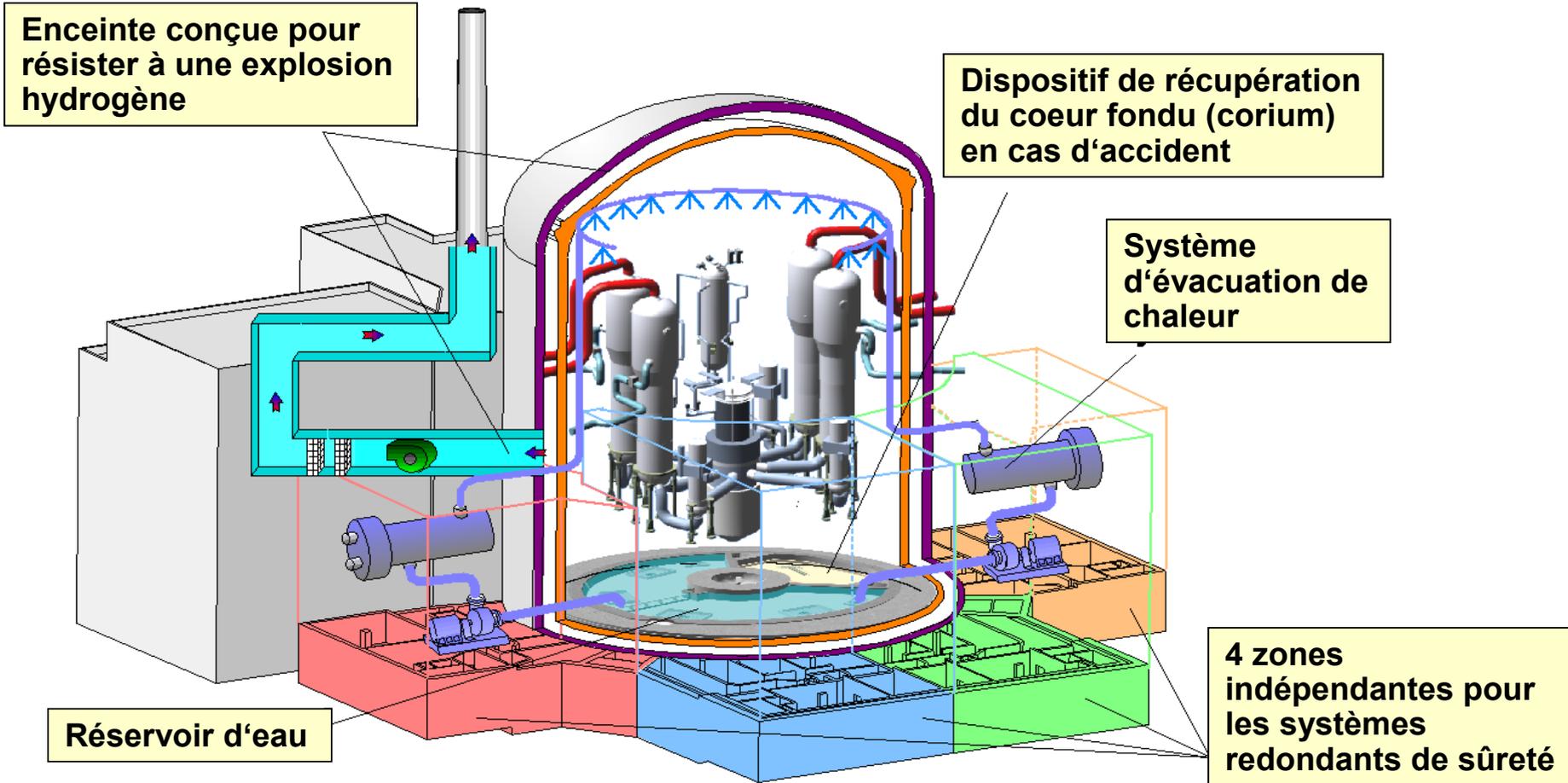


Concevoir et évaluer de **nouvelles générations** de systèmes nucléaires (réacteur et cycle)

La 3^{ème} génération : de nouvelles avancées en Sûreté



Le projet EPR : un concept évolutionnaire basé sur un large retour d'expérience des REP



Caractéristiques de l'EPR

- Améliorations importantes de la **sûreté**
- Durée de vie technique allongée à **60 ans**
- Rendement thermodynamique élevé **36.7%**
- Taux de combustion élevé (**60 GWj/t - U enrichi à 5%**)
- Possibilité d'utilisation du combustible MOX
- Marges prises sur composants

L'EPR: un réacteur de 3^{ème} génération

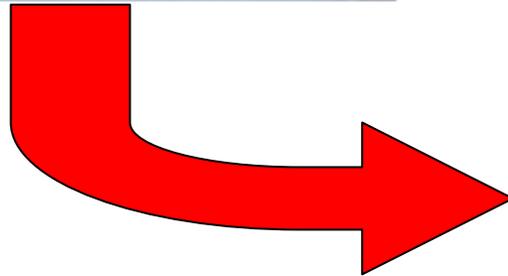


La matière première: le minerai d'uranium



Certaines mines (Cigar lake, Canada) contiennent jusqu'à 20% d'uranium dans le minerai.

Les mines françaises ne sont plus exploitées (0.1% à 0.4%).



Yellowcake



L'uranium est très répandu sur terre.

La matière première: le minerai d'uranium

Exploitation d'une mine au Niger

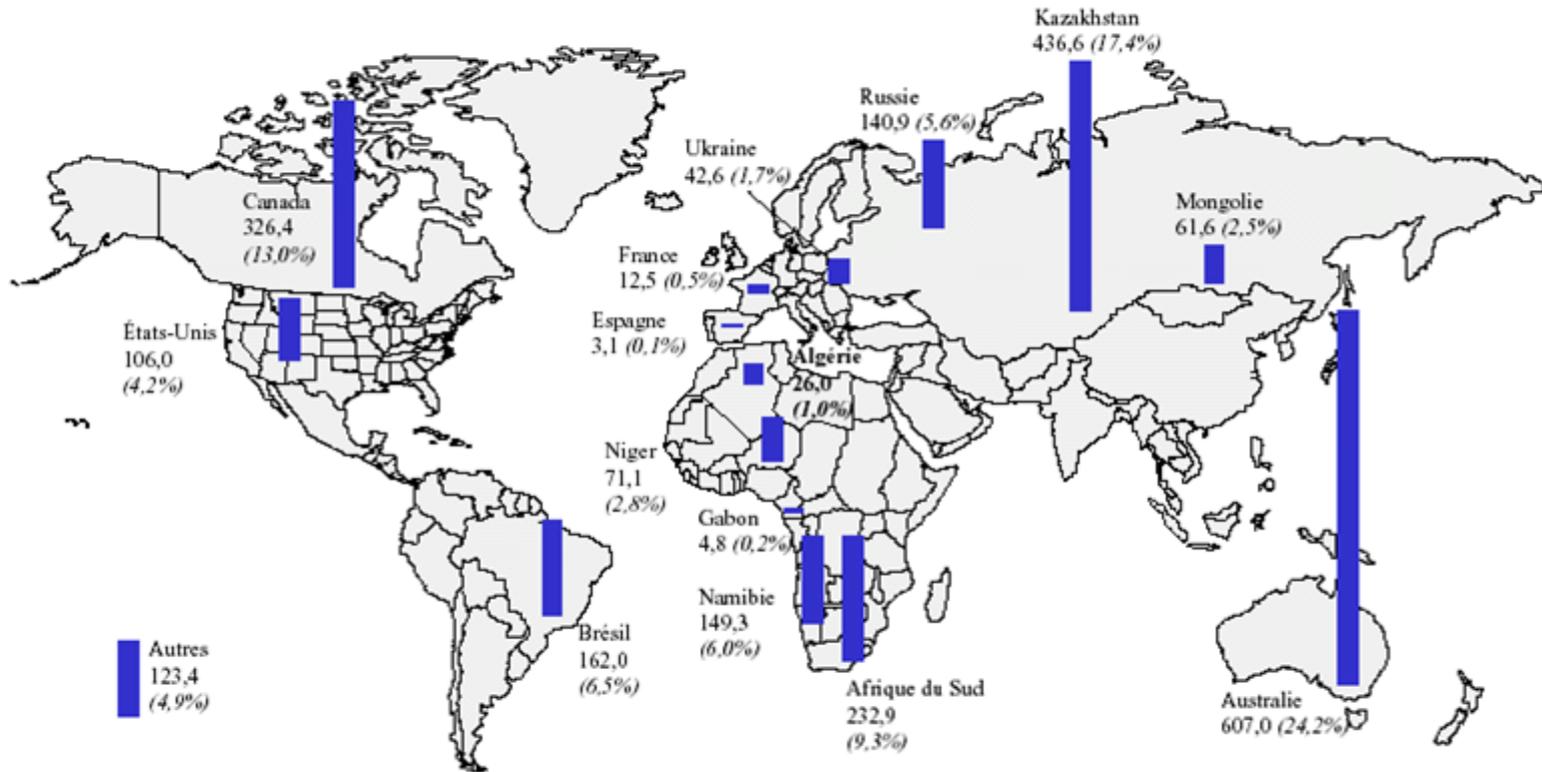


Certaines mines (Cigar lake, Canada) renferment plus de 20% d'uranium dans le minerai. Les mines françaises ne sont plus aujourd'hui exploitées (0.1% à 0.4%).

Réserves mondiales prouvées d'uranium* (1. 1. 1999)



Unité : Milliard de tep



Total monde : 2 506,2 milliers de tonnes (hors Chili et Chine)

(*) ressources raisonnablement assurées récupérables à moins de 80\$/kg U

Source : Observatoire de l'énergie d'après CEA/DSE et AIE/OCDE

Attention, ne comprend pas tout

Ressources classiques connues

| | |
|-----------------|---------|
| ≤ 130 \$/kg d'U | 3954 kt |
| ≤ 80 \$/kg d'U | 3002 kt |
| ≤ 40 \$/kg d'U | 1254 kt |

Ressources raisonnablement assurées

| | |
|-----------------|---------|
| ≤ 130 \$/kg d'U | 2964 kt |
| ≤ 80 \$/kg d'U | 2274 kt |
| ≤ 40 \$/kg d'U | 916 kt |

Ressources supplémentaires estimées

| | |
|-----------------|--------|
| ≤ 130 \$/kg d'U | 990 kt |
| ≤ 80 \$/kg d'U | 728 kt |
| ≤ 40 \$/kg d'U | 338 kt |

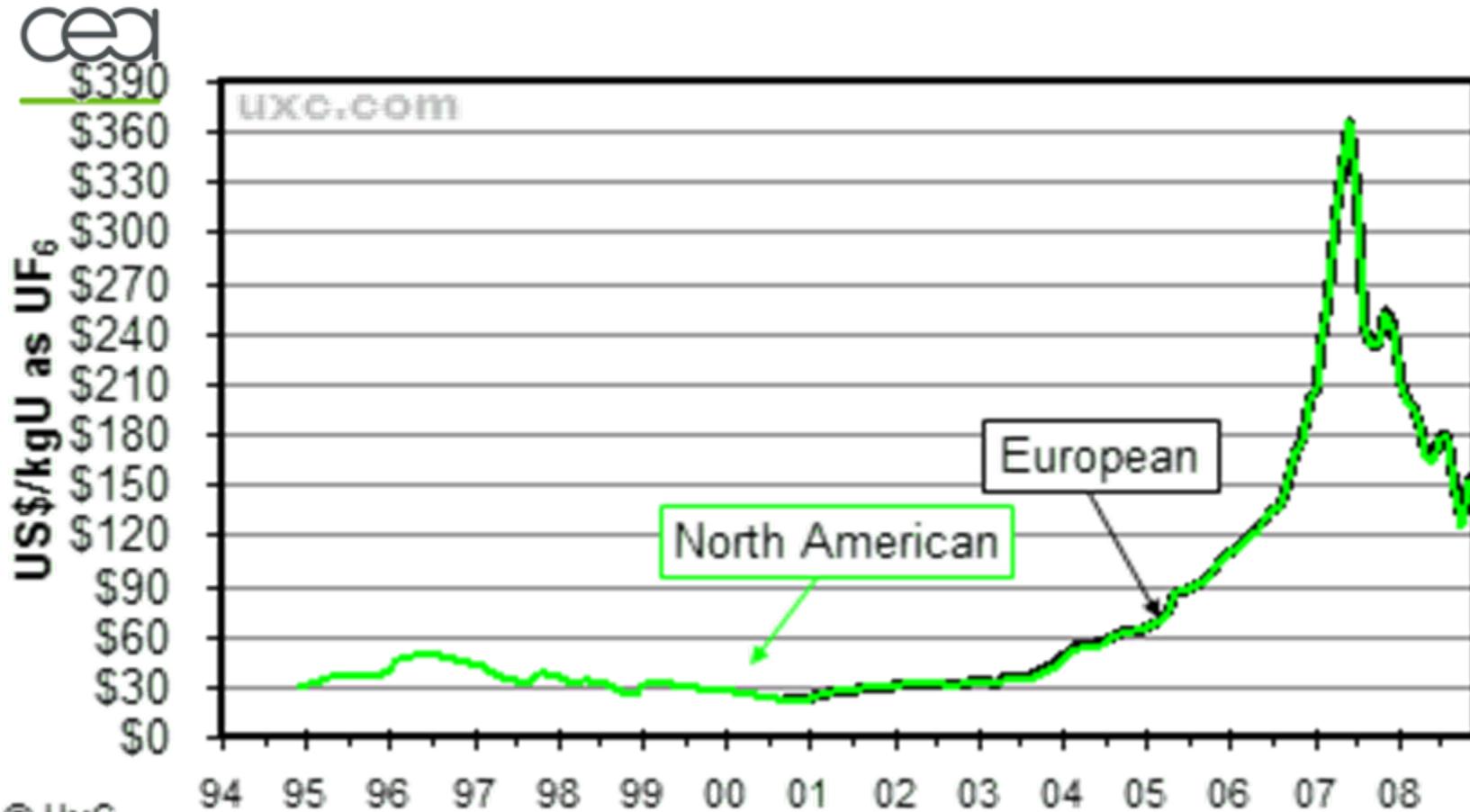
*Besoins annuels :
environ 60 kt*

*A moins de 80\$/kg, une centaine
d'années avec la technologie
actuelle*

*Plus de 10 000 ans avec des
réacteurs à neutrons rapides*

Le prix de l'uranium

Cf exposé de Sondes Kahouli



© UxC



Le prix de l'uranium a été multiplié par 10 en 4 ans !!



Les principes généraux

La réaction en chaîne et son contrôle

Le nucléaire actuellement

Le cycle du combustible

Sûreté, risques

Le parc existant, son fonctionnement, ses performances

Filières et générations de réacteurs

Les systèmes à neutrons lents vs rapides

Le nucléaire du futur

De nouveaux critères pour un nucléaire durable

Portrait des systèmes nucléaires du futur, ce qu'on peut en attendre, leurs perspectives de développement

Le bouillonnement créateur des années 50

CRCE • THRITS • LOFT • HTREI • ZPPR • FRAN • SUSIE • EBOR • EOCR • MLI • AIW • BORAX-IV • ETR • MTR • ATR • EBRII • SIW • ATRC • OMRE •

First Atomic Reactor Operated Successfully March 31, 1951

World's Largest Reactors for Neutronic Experiments

First U.S. City Lighted by Atomic Energy July 17, 1956

First Million Nuclear Power Plant for Army Col

WESTBANK coffee shop

DAKHO FALLS

NATIONAL REACTOR TESTING STATION

largest complex of nuclear reactors in the world...
50 reactors built since 1949

• BORAX-I • BORAX-II • ASFR • SPERT-I • SPERT-II • SPERT-III • SPERT-IV • BORAX-V •

TREAT • HOTCE • BORAX-III • SNAPTRAN • 10A • S5G

(Coffee Shop à Idaho Falls, 1973)

Les filières nucléaires

Critères de sélection

- ✓ **Choix du spectre de neutrons**
Thermique, Epithermique ou Rapide
- ✓ **Choix du combustible**
Uranium, taux d'enrichissement, autres
Forme : oxyde, nitrure, métallique, etc...
- ✓ **Choix du modérateur**
Pouvoir de modération (Z faible), faible absorption neutronique,
Large choix de modérateurs
(voir tableau des modérateurs)
- ✓ **Choix du caloporteur**
Bon conducteur thermique, grande capacité calorifique,
transparence aux neutrons.
Large choix de caloporteurs
(voir tableau des caloporteurs)

Des UNGG aux REP : Le Bugey

CEA

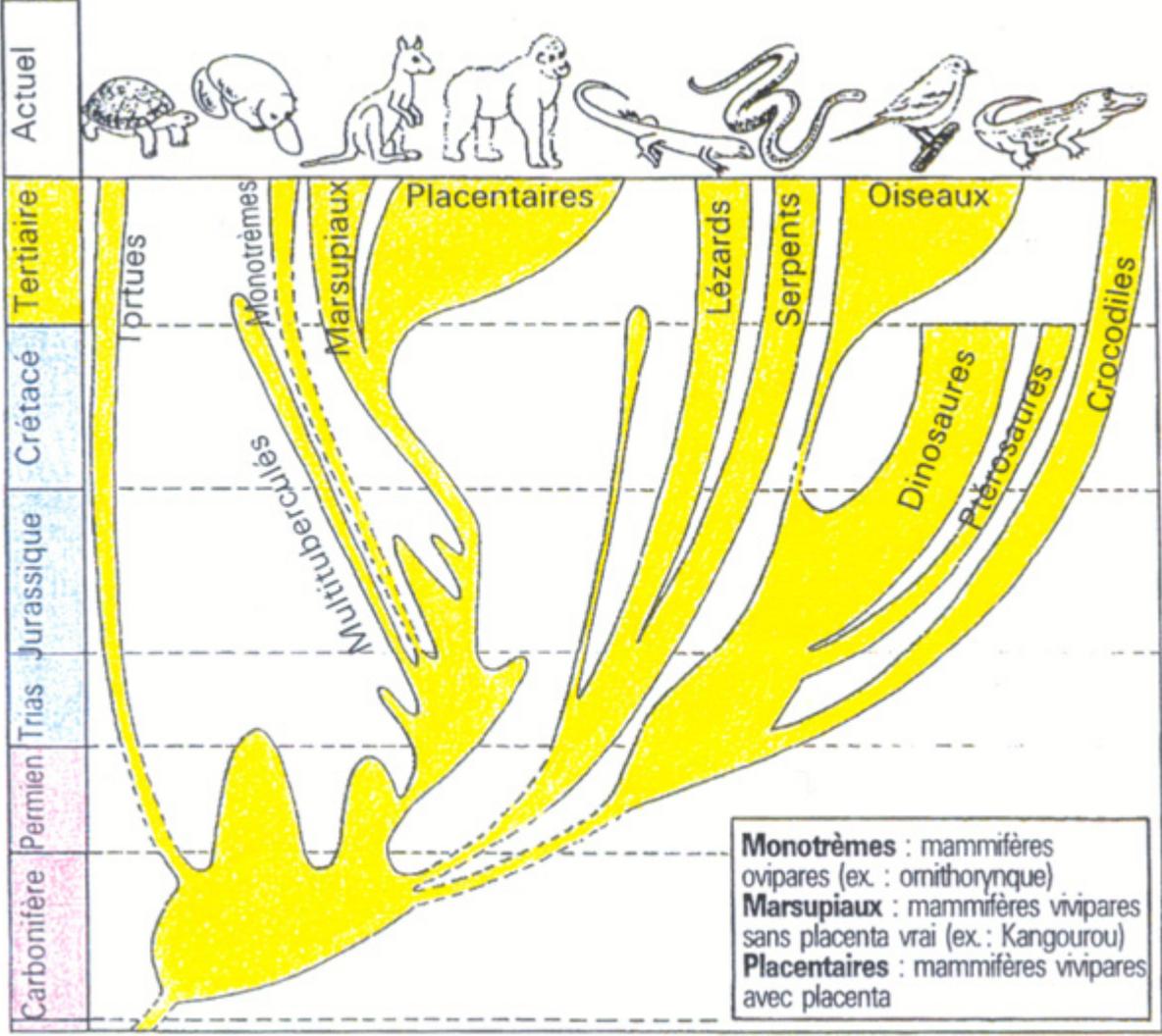


Les réacteurs à eau bouillante (REB)



Brunswick, GE, 820 MWe

Analogie Paléontologique



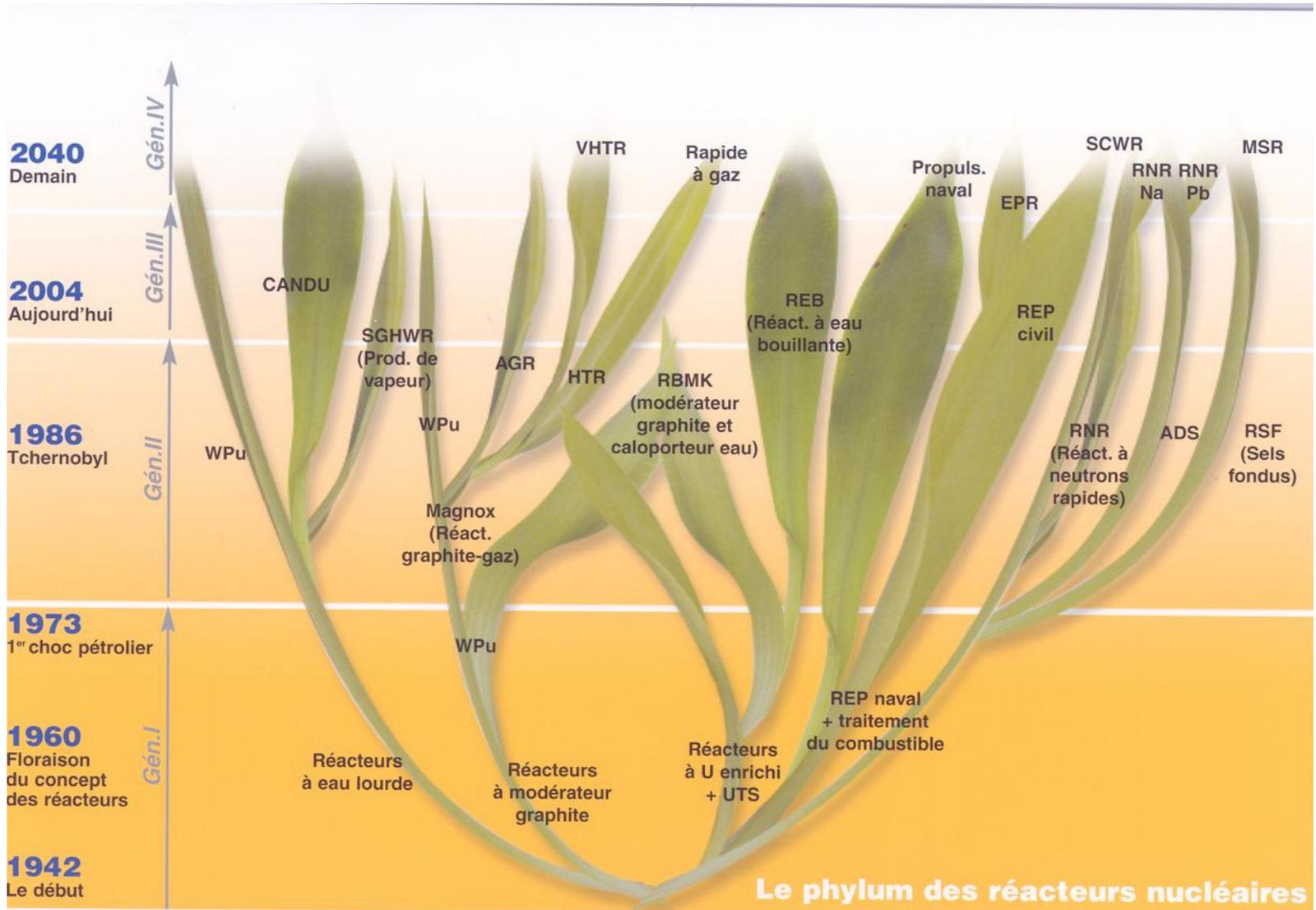


« If any species does not become modified and improved in a corresponding degree with its competitors, it will soon be exterminated »

Charles Darwin. The origin of species, 1859

« Si une espèce ne se modifie pas et ne s'améliore pas au même degré que ses concurrents, elle sera rapidement exterminée »

Le phylum des réacteurs nucléaires





Les principes généraux

La réaction en chaîne et son contrôle

Le nucléaire actuellement

Le cycle du combustible

Sûreté, risques

Le parc existant, son fonctionnement, ses performances

Filières et générations de réacteurs

Les systèmes à neutrons lents vs rapides

Le nucléaire du futur

De nouveaux critères pour un nucléaire durable

Portrait des systèmes nucléaires du futur, ce qu'on peut en attendre, leurs perspectives de développement

Neutrons rapides vs neutrons thermiques

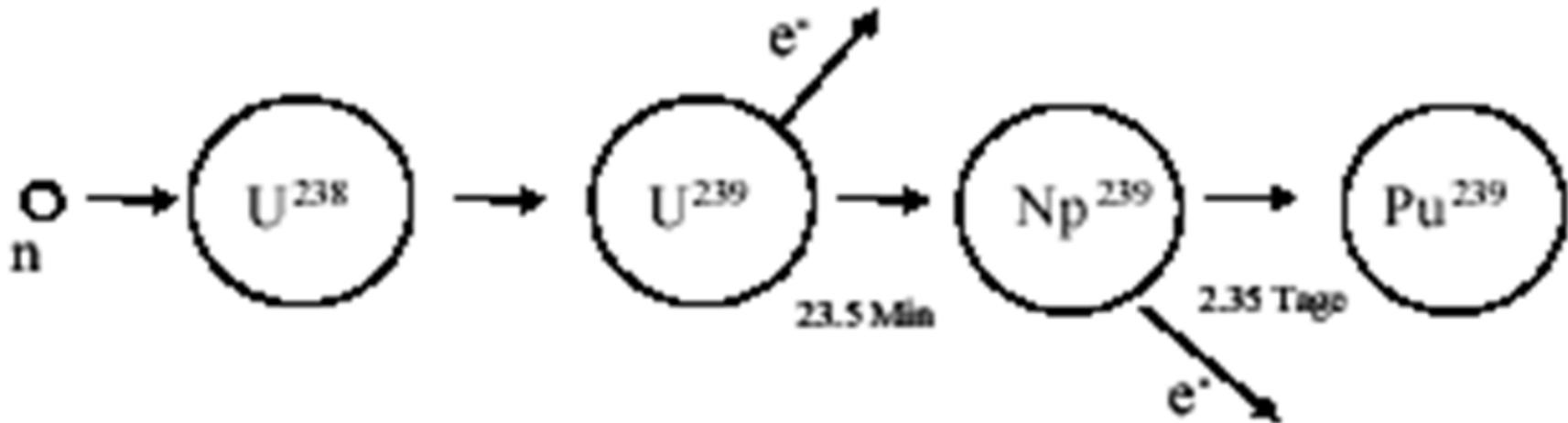
Les Réacteurs à Neutrons Rapides :



- **Pour une ressource inépuisable** (le ratio capture/fission est plus favorable pour des neutrons rapides, d'où possibilité de régénérer de la matière fissile en spectre rapide).
- **Pour réduire les déchets par transmutation des actinides** (les actinides sont fissiles aux neutrons rapides)

Principe de la régénération de matière fissile :

 Formation d'un noyau de plutonium 239 (fissile) par capture d'un neutron sur l'uranium 238 (fertile).

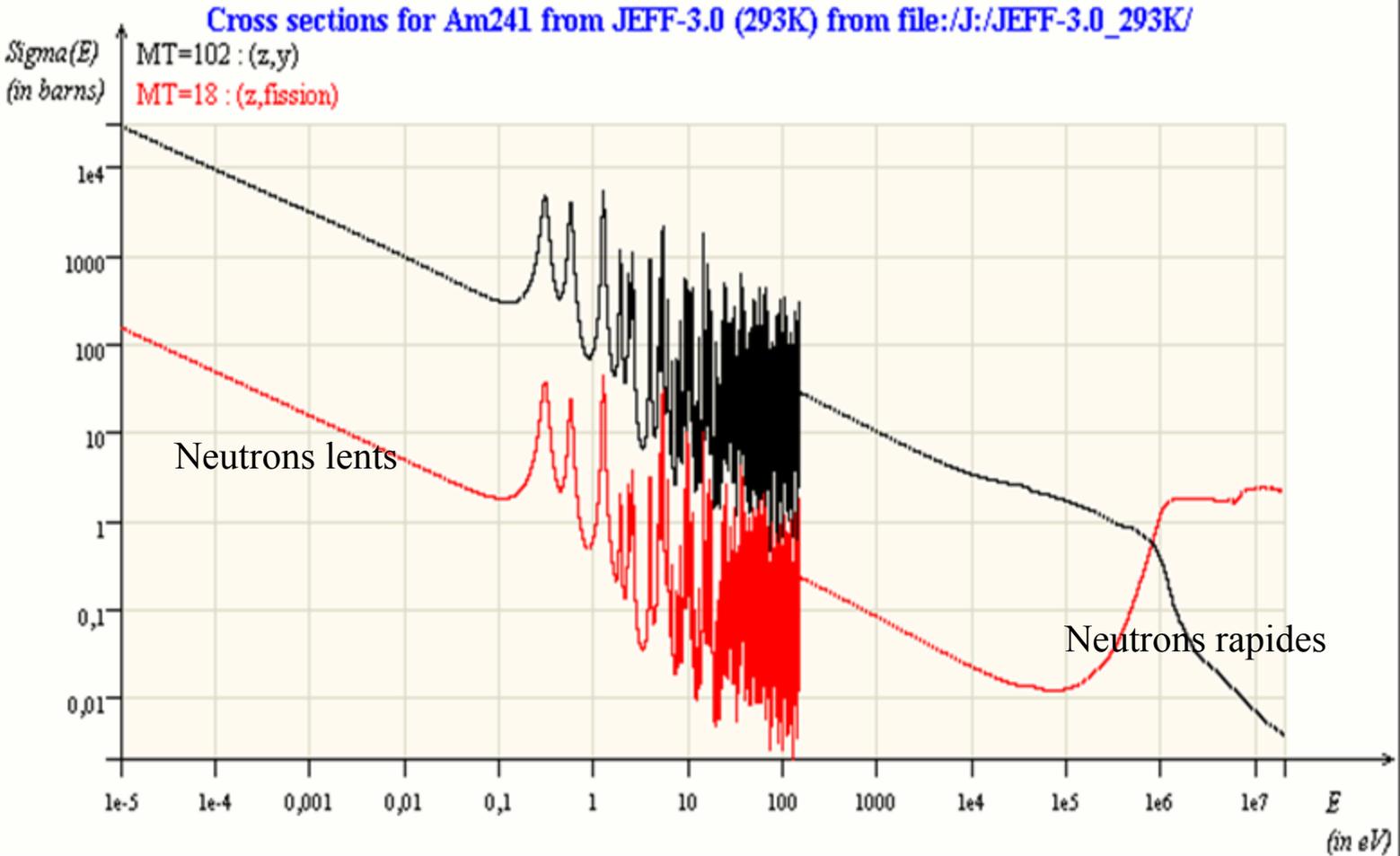


NB : A côté du cycle U238 (fertile) – Pu 239 (fissile), il existe un autre cycle du combustible envisageable : Th 232 (fertile) – U 233 (fissile). Cf exposé de Perrine Guillemin)

Influence du spectre de neutrons sur la transmutation des actinides



²⁴¹Am

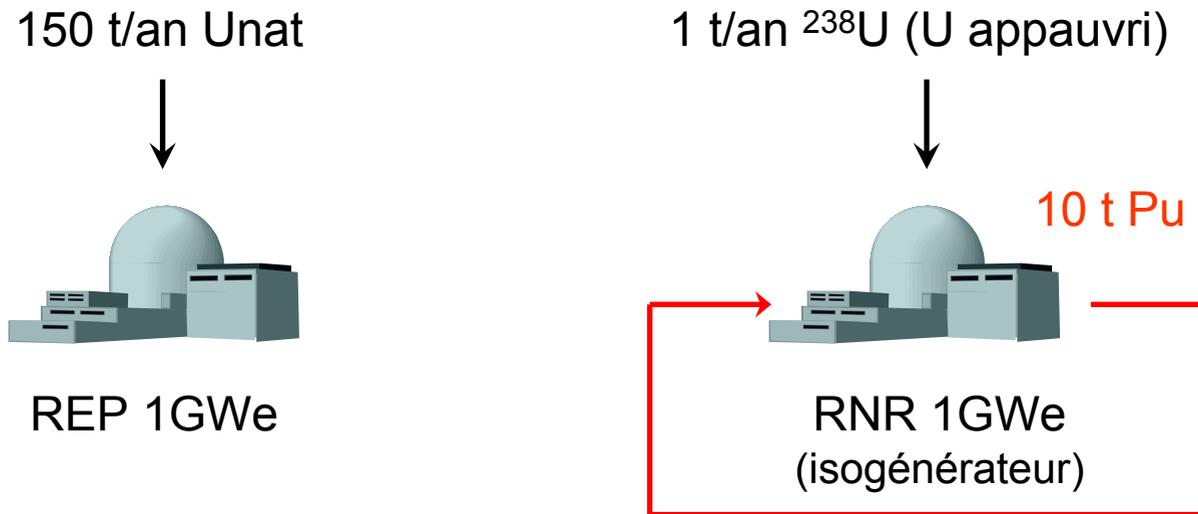


 Un REP-UOX typique (1GWé) a besoin de **150 t** d'uranium naturel par an et produit 0.25 t de plutonium par an.

Un RNR régénérateur de même puissance aurait besoin de 15 t de Pu (constamment régénérés), et **consommerait seulement ~ 1 à 2 tonnes d'Uranium naturel par an.**

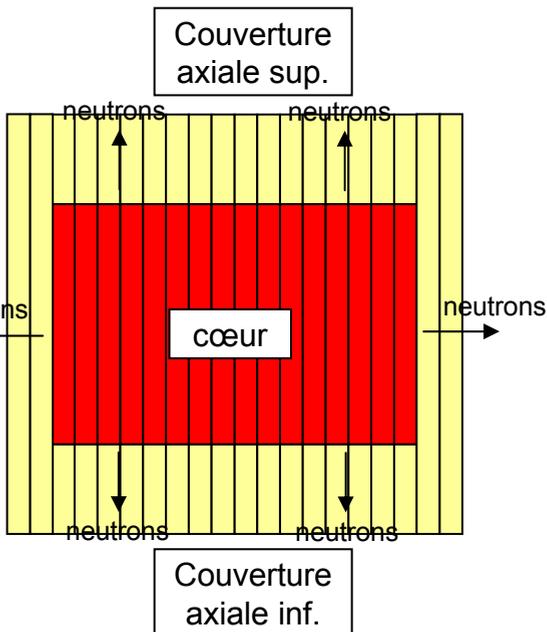
Avec des RNR, le nucléaire peut être durable!

Les réacteurs à neutrons rapides (RNR) pour l'économie des ressources



Une fois constitué le stock opératoire de Pu, les RNR se satisfont d'un appoint de ^{238}U et peuvent se passer totalement d'uranium naturel

Régénération de matière fissile dans les réacteurs à neutrons rapides



Réacteur de type Superphénix

Pu consommé :

cœur : 800 kg/an

Pu formé :

cœur : 640 kg/an

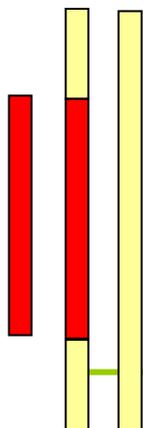
CAI+CAS : 160 kg/an

CR : 160 kg/an

$$\text{Taux de régénération} = \frac{640}{800} = 0,8$$

Réacteur **sur**régénérateur

Risque de prolifération croissant

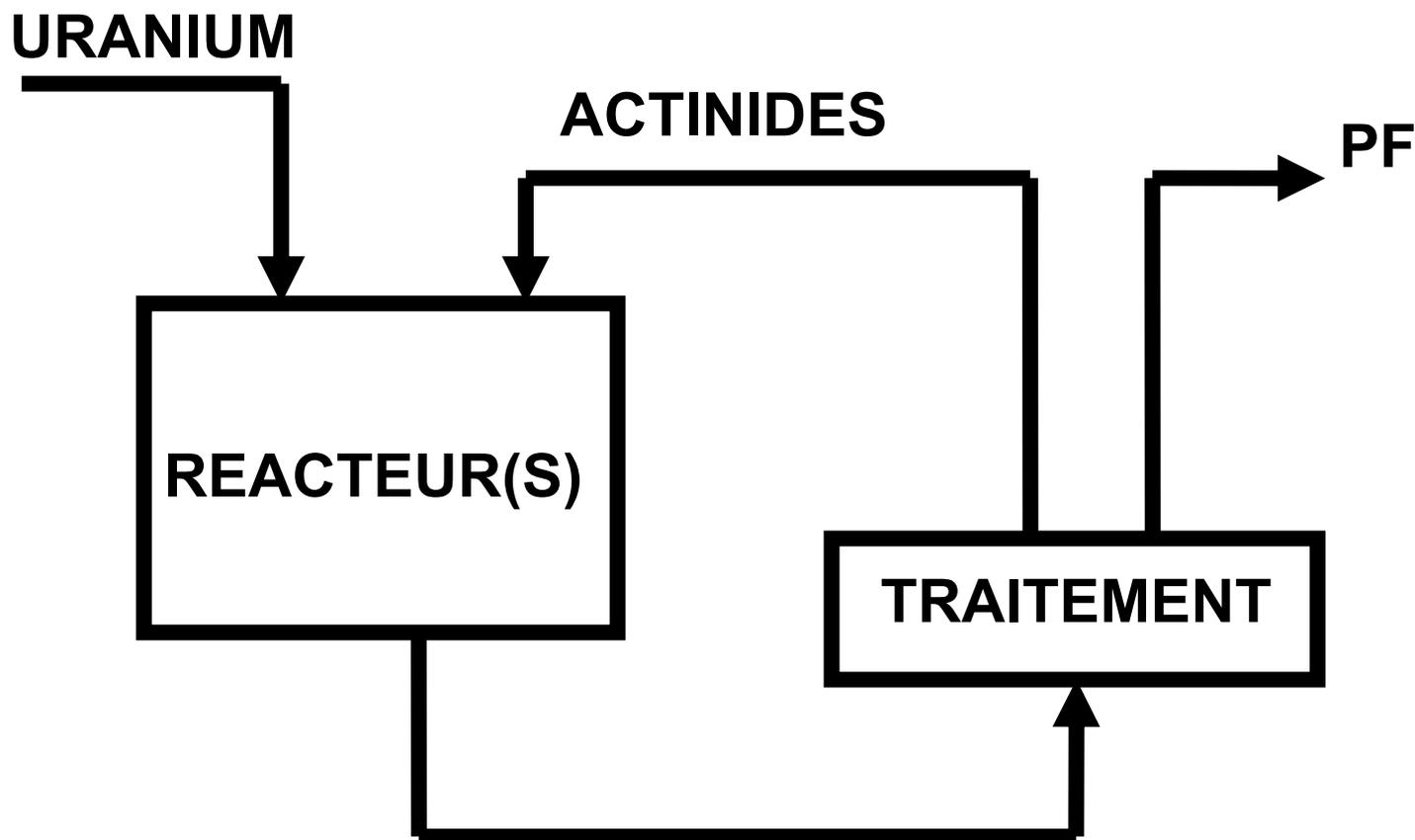


 Un REP-UOX typique (1GWé) produit 210 Kg de plutonium par an, et 16 kg d'actinides. Le recyclage du Pu sous forme de MOX permet de stabiliser l'inventaire Pu, mais les actinides ne sont pas brûlés et s'accumulent.

Un RNR régénérateur de même puissance peut consommer les actinides qu'il produit.

Avec des RNR, le nucléaire peut être plus propre!

Schéma de principe du cycle « RNR »





Les principes généraux

La réaction en chaîne et son contrôle

Le nucléaire actuellement

Le cycle du combustible

Sûreté, risques

Le parc existant, son fonctionnement, ses performances

Filières et générations de réacteurs

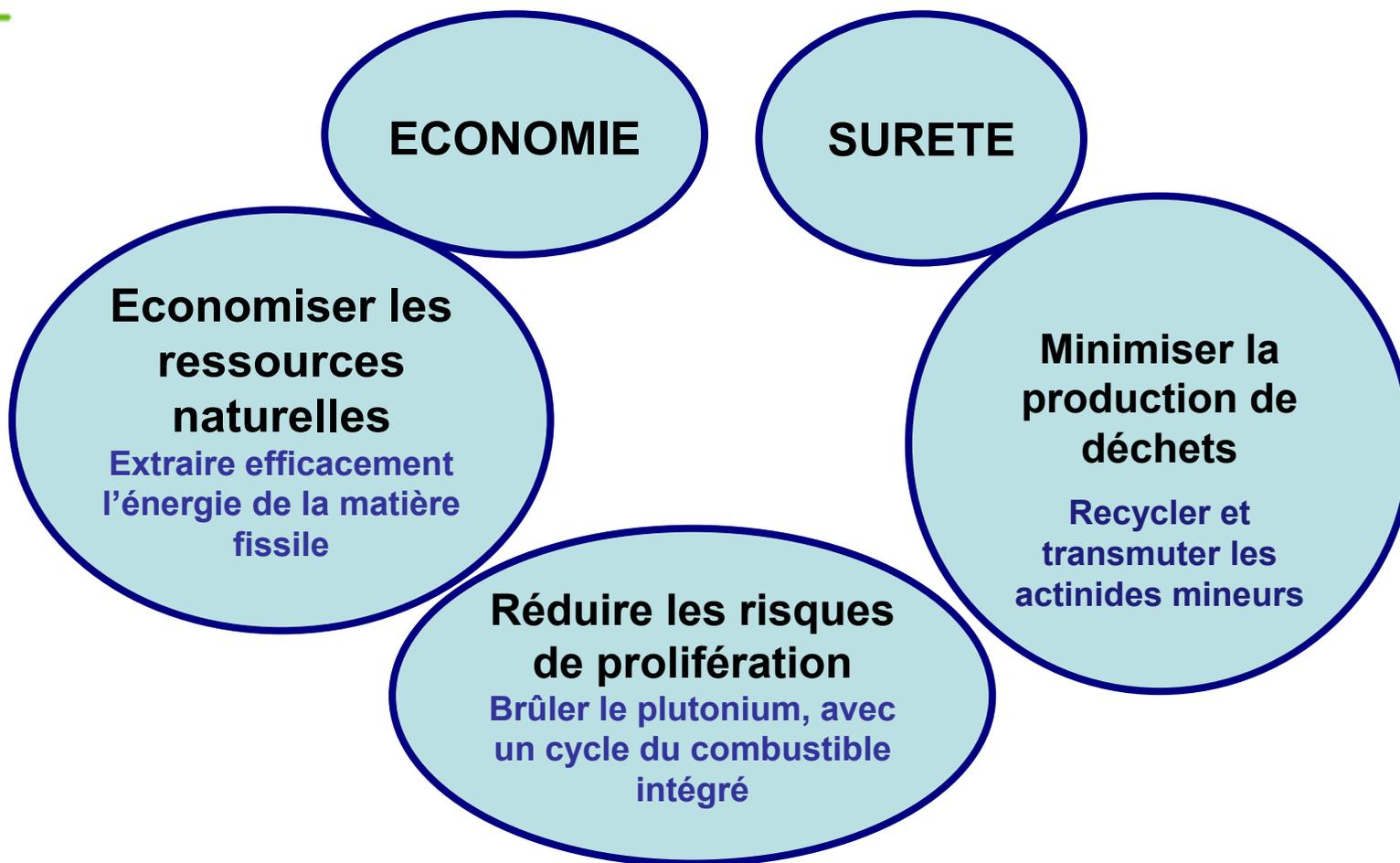
Les systèmes à neutrons lents vs rapides

Le nucléaire du futur

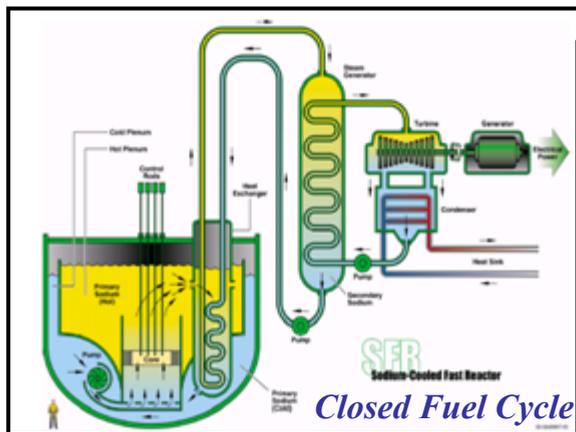
De nouveaux critères pour un nucléaire durable

Portrait des systèmes nucléaires du futur, ce qu'on peut en attendre, leurs perspectives de développement

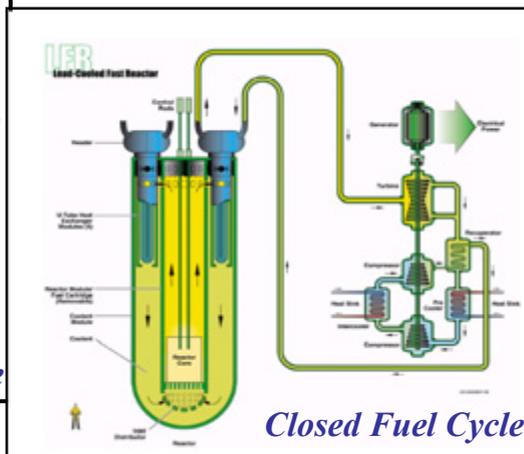
5 critères fondamentaux



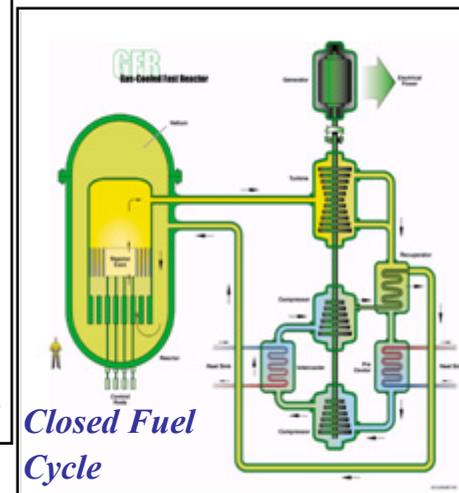
6 concepts innovants à l'étude



Sodium Fast reactor

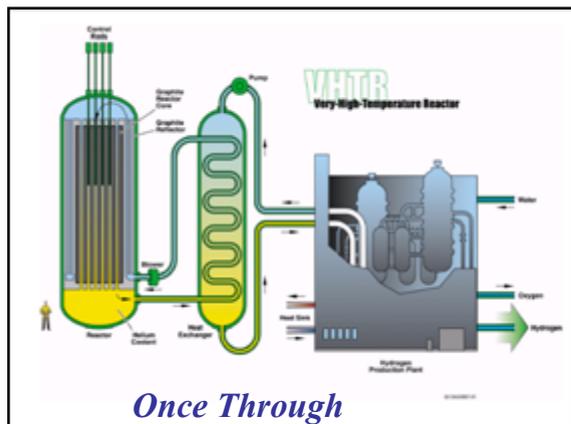


Lead Fast Reactor



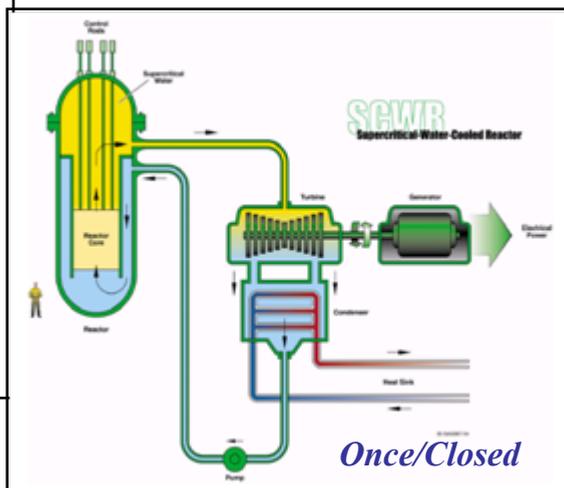
Closed Fuel Cycle

Gas Fast Reactor



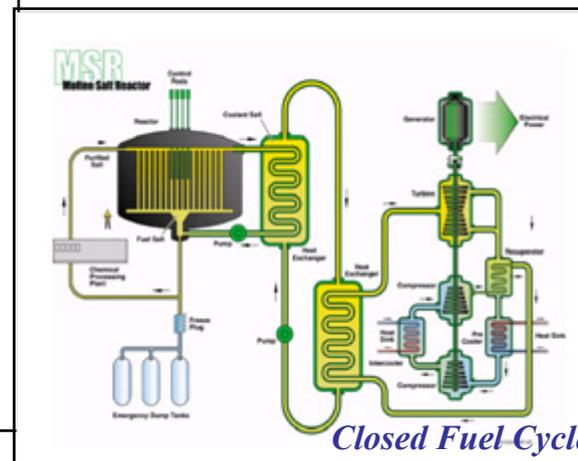
Once Through

Very High Temperature Reactor



Once/Closed

Supercritical Water Reactor



Closed Fuel Cycle

Molten Salt Reactor



Les principes généraux

La réaction en chaîne et son contrôle

Le nucléaire actuellement

Le cycle du combustible

Sûreté, risques

Le parc existant, son fonctionnement, ses performances

Filières et générations de réacteurs

Les systèmes à neutrons lents vs rapides

Le nucléaire du futur

De nouveaux critères pour un nucléaire durable

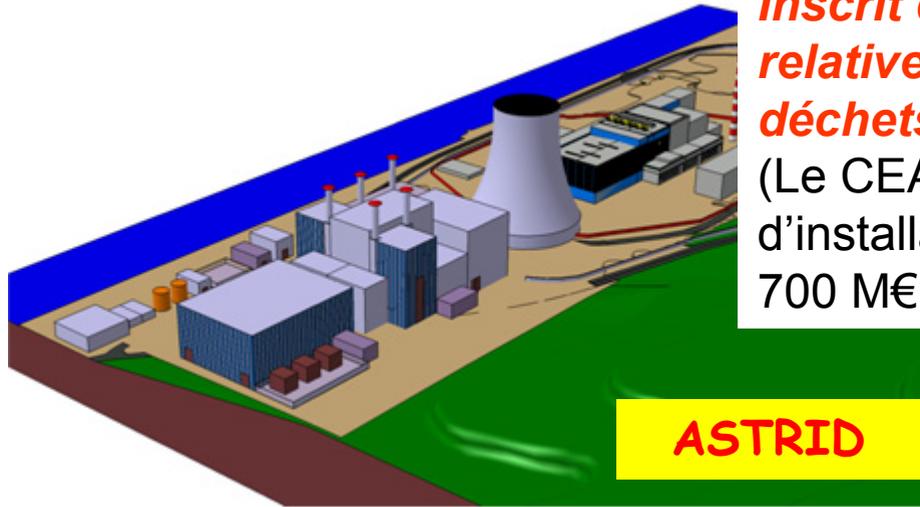
Portrait des systèmes nucléaires du futur, ce qu'on peut en attendre, leurs perspectives de développement

5 janvier 2006

Mais nous devons prendre, en attendant, de nouvelles initiatives : de nombreux pays travaillent sur la nouvelle génération de réacteurs, celle des années 2030-2040, qui produira moins de déchets et exploitera mieux les matières fissiles. J'ai décidé de lancer, dès maintenant, la conception, au sein du Commissariat à l'énergie atomique, d'un prototype de réacteur de 4ème génération, qui devra entrer en service en 2020.



Le prototype de 4^{ème} génération



Inscrit dans la Loi de programme du 28 juin 2006 relative à la gestion durable des matières et déchets radioactifs (Article 3)

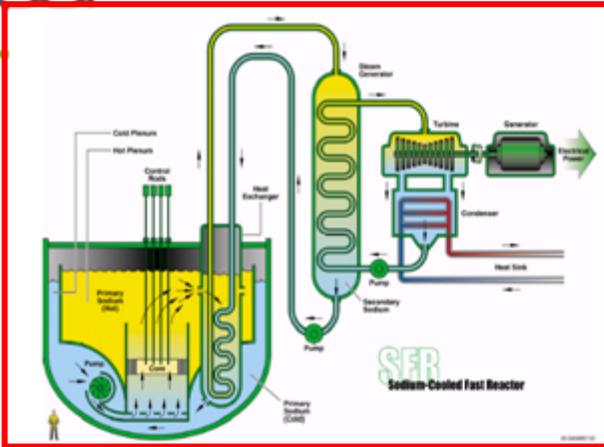
(Le CEA doit) ... mettre en exploitation un prototype d'installation avant le 31 décembre 2020;
700 M€ du grand emprunt

Advanced Sodium Test Reactor for Industrial Developments

Enjeux du prototype:

- ✓ Un réacteur capable de transmuter les actinides mineurs (*loi du 28 juin 2006*)
- ✓ Un réacteur sûr, économique, facile à exploiter et capable de fonctionner à partir de l'uranium appauvri (*4^{ème} Génération*)
- ✓ Disposer d'un produit compétitif et innovant pour le marché futur (*leadership international et crédibilité nationale*)

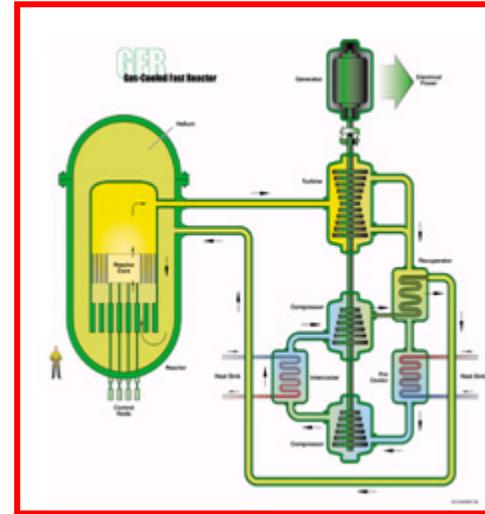
Deux filières RNR à l'étude en France



Réacteur rapide Sodium

- Plus mature
- Appelle des améliorations techniques substantielles (sûreté, opérabilité, compétitivité économique)

OPTION DE REFERENCE



Réacteur rapide à gaz

- Appelle des ruptures technologiques et des progrès plus importants (combustible, matériaux, sûreté)
- Techno plus incertaine
- Plus prometteuse

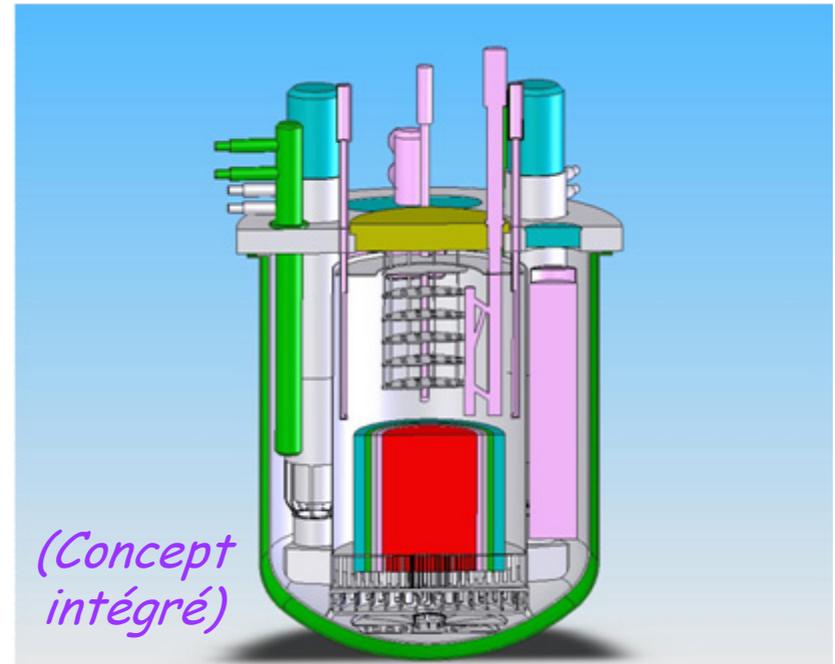
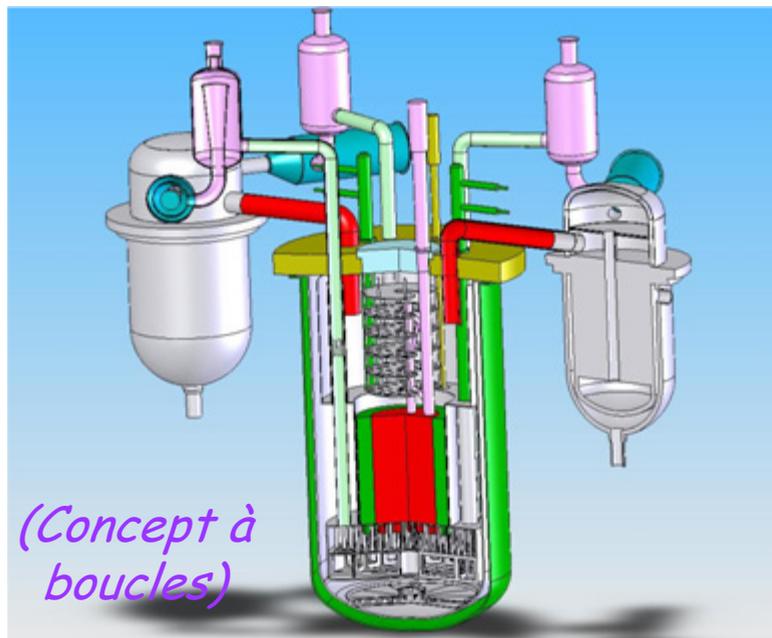
OPTION ALTERNATIVE

Un réacteur de 4^{ème} génération: le SFR

(Rapide refroidi au sodium liquide)

Etude de concepts innovants:

- **Système** architecture, conversion, cycle direct ou combiné.
- **Inspection et maintenance** instrumentation spécifique
- **Matériaux** combustible, gaines et structures
- **Sûreté** criticité (coefficient de vide)



Phenix



Le calendrier des générations nucléaires



Premières réalisations



Réacteurs actuels

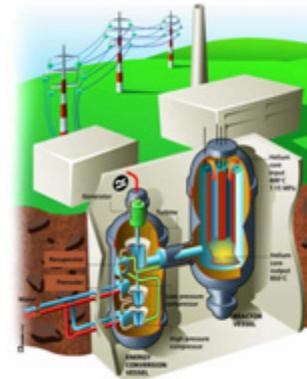


Réacteurs avancés

EPR



Systemes du futur



1950 1970 1990 2010 2030 2050 2070 2090



Generation I

UNGG
CHOOZ

Generation II

REP 900
REP 1300

N4

Generation III

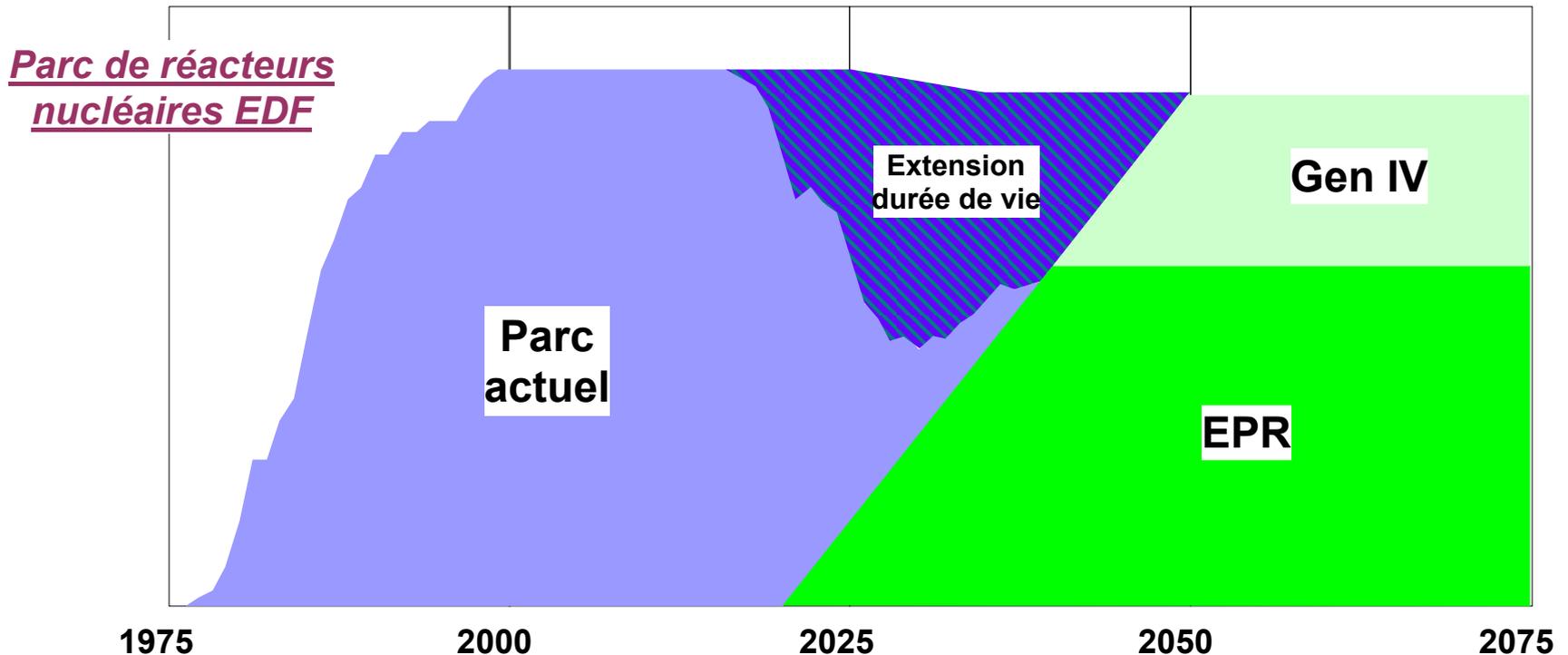
EPR

Generation IV

La stratégie du développement nucléaire français



1. Etendre la durée de vie du parc actuel (**Gen II**)
2. Remplacer les réacteurs actuels par des EPR (**Gen III**)
3. Introduire progressivement des réacteurs de 4^{ème} génération (**Gen IV**)



Avantages-inconvénients de l'énergie nucléaire



| Avantages du nucléaire | Inconvénients du nucléaire |
|--|--|
| Indépendance énergétique Ressource à long terme Découplage des prix des matières premières Protection de l'environnement globale Localisation des emplois Balance des paiements Exportations | Lourds investissements Peur des radiations (faibles doses) Sûreté-accidents graves Gestion des déchets ultimes Non-prolifération |

Conclusion



- **L'énergie nucléaire se développe (on a besoin de tout!)**
- **Un nucléaire durable, économique, propre et sûr est possible**

| | | |
|----------------|---|---------------|
| 2010 | → | 2040 |
| Gen III | → | Gen IV |

- **Les systèmes Gen IV à n rapides et cycle fermé**
 - **Permettront de minimiser les déchets**
 - **Résoudront le problème des ressources**
 - **Allègeront les problèmes de prolifération**
- **De nouvelles applications de l'énergie nucléaire sont envisageables**
- **L'énergie nucléaire est jeune (50 ans). De grands progrès sont possibles**
- **Il faut du temps et de la recherche (internationale!)**