

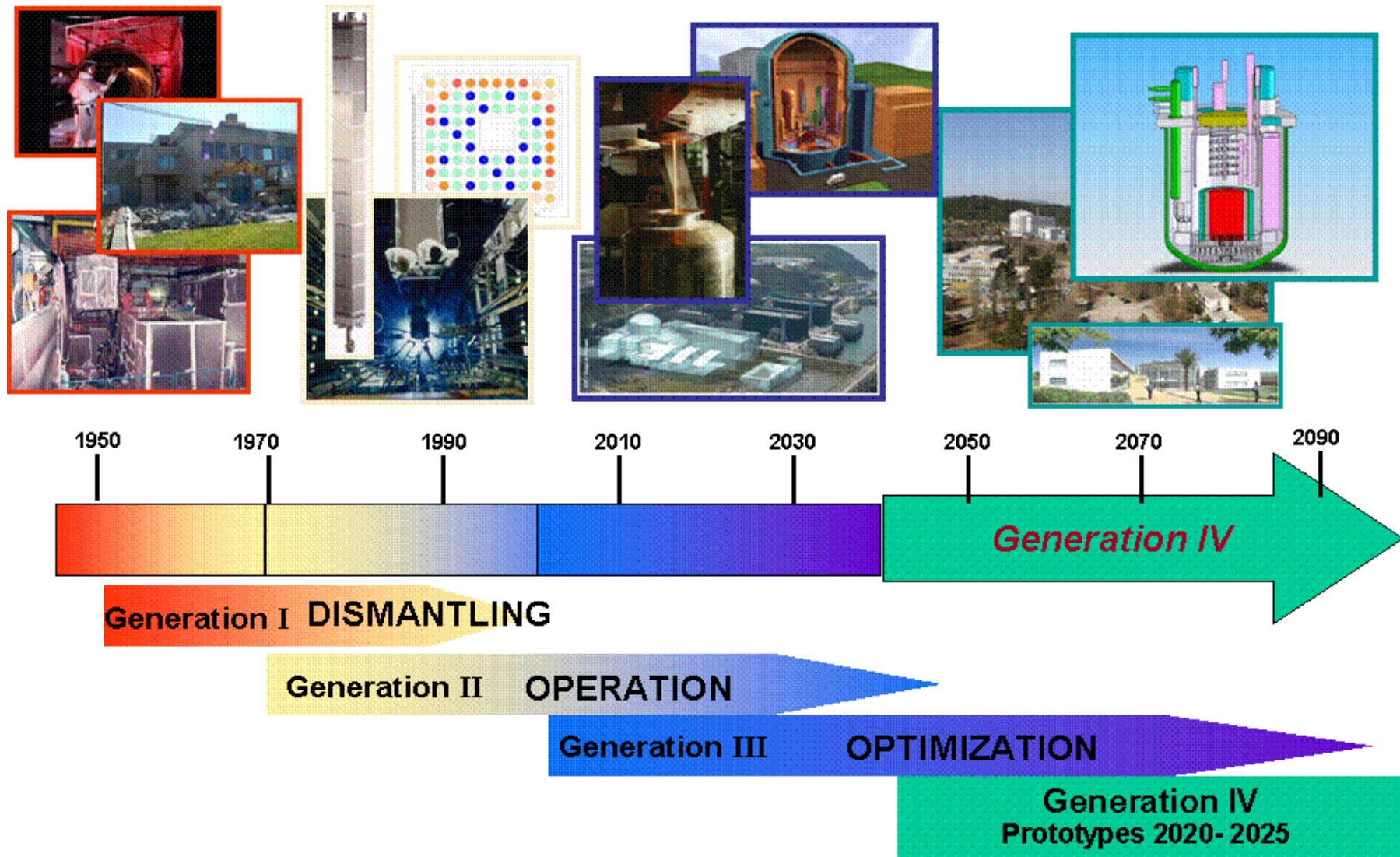
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



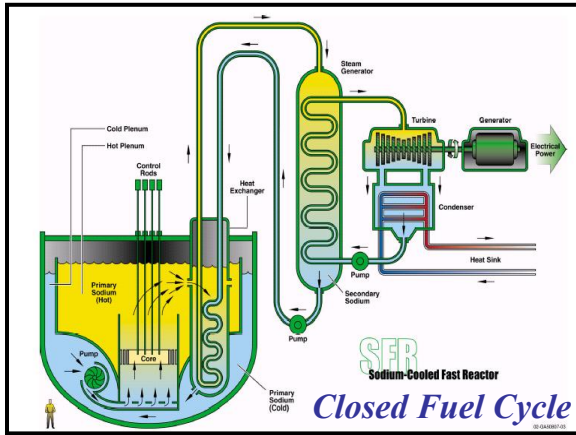
**Présentation SFEN Bourgogne
Franche Comté 11/02/2016
Deuxième partie : Possibilités
environnementales des
réacteurs de quatrième
génération**

**Joel GUIDEZ
CEA international expert**

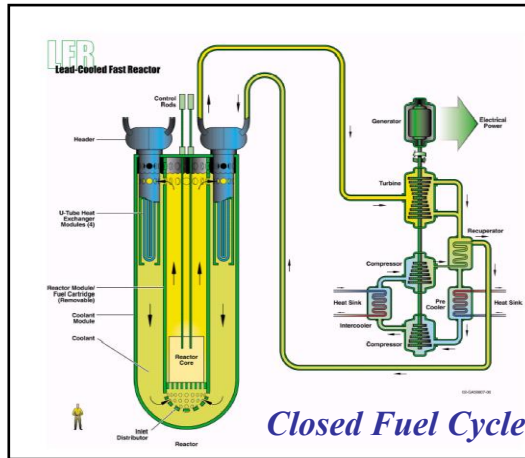
DE GEN I À GEN IV



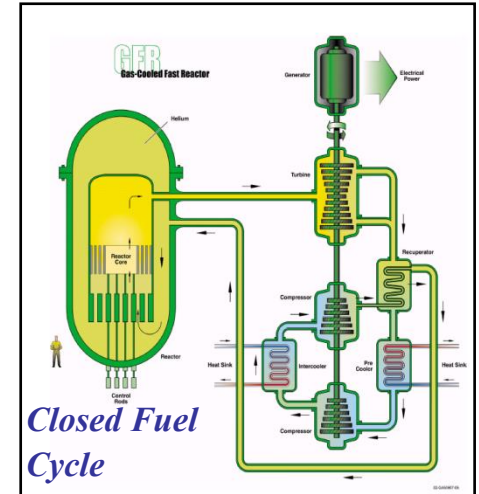
LES SIX CONCEPTS ÉTUDIÉS DANS LE CADRE DE GIF



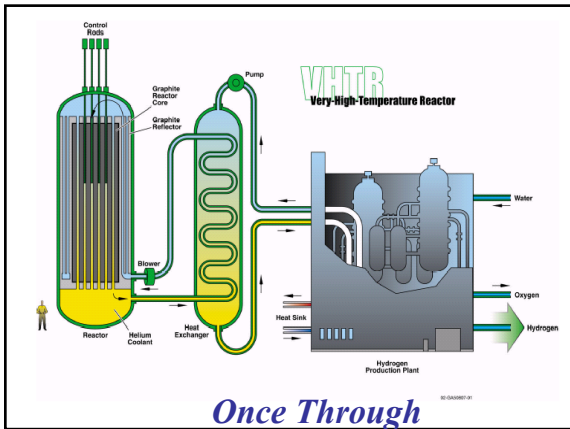
Sodium Fast reactor



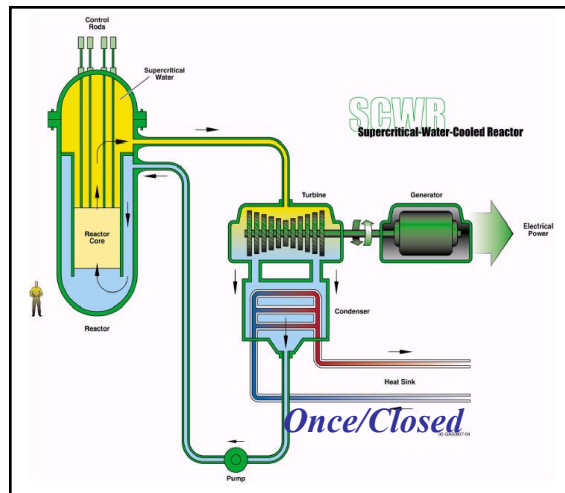
Lead Fast Reactor



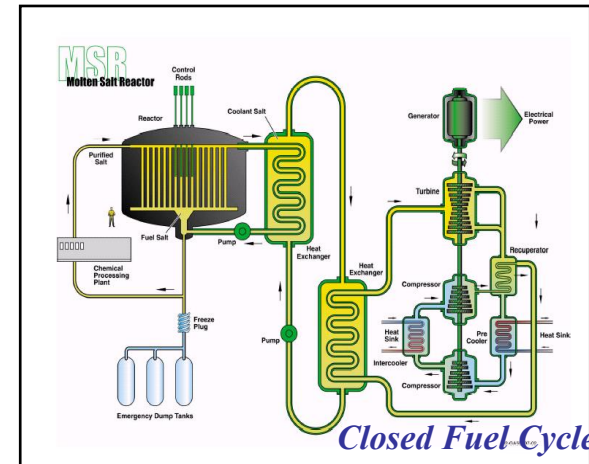
Gas Fast Reactor



Very High Temperature Reactor



Supercritical Water Reactor



Molten Salt Reactor

STATUT EN 2015 DES SIX CONCEPTS

Une analyse de maturité des six concepts a été effectuée par l'IRSN pour un groupe permanent dédié en Avril 2014. Le rapport correspondant a été publié et traduit en Anglais . Il est disponible sur le site IRSN : « **Review of Generation IV Nuclear Energy Systems** »

Il y apparait que de nombreux développements, études et recherches restent nécessaires avant de pouvoir envisager la construction éventuelle d'un prototype pour les réacteurs au plomb, au gaz, aux sels fondus, à l'eau supercritique, etc.. Souvent ce sont simplement les matériaux nécessaires qui ne sont pas disponibles. Les études se poursuivent donc sur ces réacteurs et dans différents cadres (nationaux, européens, GIF, etc..)

La conclusion de ce rapport débute par: « **On the basis of its examination, IRSN considers the SFR system to be the only one of the various nuclear systems considered by GIF to have reached a degree of maturity compatible with the construction of a Generation IV reactor prototype during the first half of the 21st century.** »

LE CAS PARTICULIER DES RÉACTEURS SODIUM

- Le premier réacteur nucléaire qui a produit de l'électricité (en 1951!) était un réacteur rapide refroidi au NaK. Il y a eu ensuite 19 réacteurs sodium construits et opérés. Les RNR sodium sont donc déjà passés par les stades première et deuxième génération.
- Les réacteurs en cours de démarrage (BN 800 et PFBR) ont été conçu , plutôt dans les années 1990. Par certains cotés ils sont donc de troisième génération car s'appuyant sur l'expérience des réacteurs précédents, mais ils n'ont pas été conçus avant Fukushima.
- Seuls les projets en cours visent à atteindre les critères de quatrième génération.

BN 800 EN RUSSIE EST EN SODIUM ET A ÉTÉ COUPLÉ AU RÉSEAU EN DÉCEMBRE 2015.

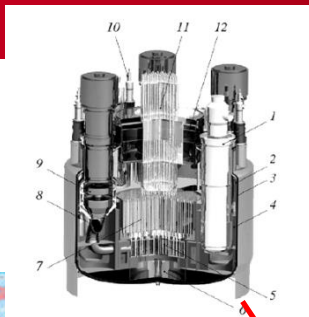


PFBR EN INDE (500 MWE) ,DEVRAIT ETRE MIS EN SODIUM DÉBUT 2026 .



BILAN DES PROJETS SFR DANS LE MONDE EN 2015

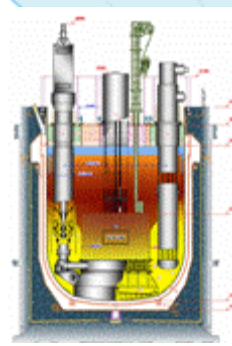
France : ASTRID
600 MWe



Russie : BN 1200 MWe

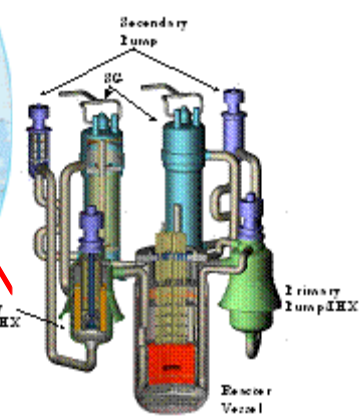
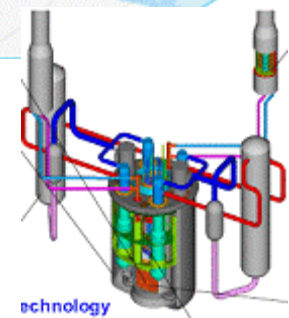


China : CDFR in operation, then CCFRs



India: after PFBR (500MWe), a series of 4 reactors

South Korea: PGSFR (250 Mwe)



Japan: JSFR prototype and collaboration with ASTRID

LES SFR EN FRANCE : DE RAPSODIE A PHÉNIX, SUPERPHÉNIX ET MAINTENANT LE PROJET ASTRID.



RAPSODIE

1967 - 1983



PHÉNIX

1973 - 2010



SUPERPHÉNIX

1985 - 1998



EFR

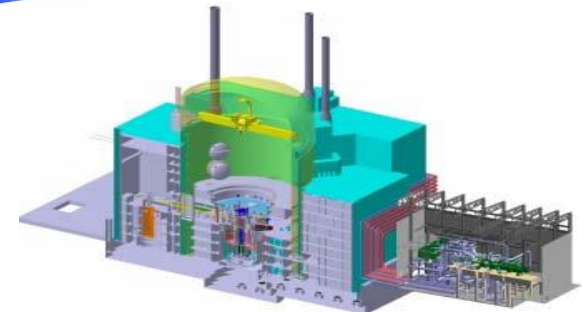
1988-1998



ASTRID



Commercial reactor



LES QUATRE AVANTAGES ENVIRONNEMENTAUX DES RÉACTEURS GEN IV

- Des ressources quasi illimitées avec des produits déjà disponibles.
- Une optimisation du cycle du combustible minimisant les déchets et leur toxicité.
- Conséquences environnementales en cas d'accident..
- Minimisation de l'impact environnemental en fonctionnement.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

DES RESSOURCES ILLIMITÉES.



www.cea.fr

RAPPELS SUR LE CYCLE COMBUSTIBLE SFR

- Le combustible d'un RNR sodium, contient au départ environ 20% de plutonium (produit fissile), et 80% d'uranium soit naturel soit appauvri (produit fertile). Après combustion et fonctionnement, le plutonium brûlé n'est pas compensé par celui créé par capture des neutrons dans l'uranium 238.
- Mais si l'on dispose des couvertures en uranium 238 autour du cœur, les neutrons vont par capture, y créer du plutonium. Le bilan global après retraitement du cœur et des couvertures, va alors montrer que l'ensemble est surgénérateur. A phénix le taux de surgénération était de 1,16.
- On peut alors réutiliser ce plutonium, pour refaire du combustible neuf avec de l'uranium appauvri
- On voit donc qu'un SFR ne brûle que de l'uranium appauvri. Le plutonium produit en excès peut être utilisé pour les charges de nouveaux réacteurs.

DES MILLIERS D' ANNEES D'ENERGIE DISPONIBLE EN FRANCE AVEC DES STOCKS DÉJÀ EXISTANTS.

Un peu plus de 200 tonnes de Pu aujourd'hui disponibles en France avec une production annuelle de 10 tonnes par le parc existant.

Environ 300 000 tonnes d'uranium appauvri sont disponibles et stockés en France avec une production annuelle de 7000 tonnes

Un parc de réacteurs rapides de 100 Gwe consommerait moins de cent tonnes d'uranium appauvri par an.

On voit que la France pourrait produire son énergie pendant des milliers d'années , sans mines d'uranium et sans unité d'enrichissement. Uniquement avec des produits déjà stockés sur parc et disponibles.

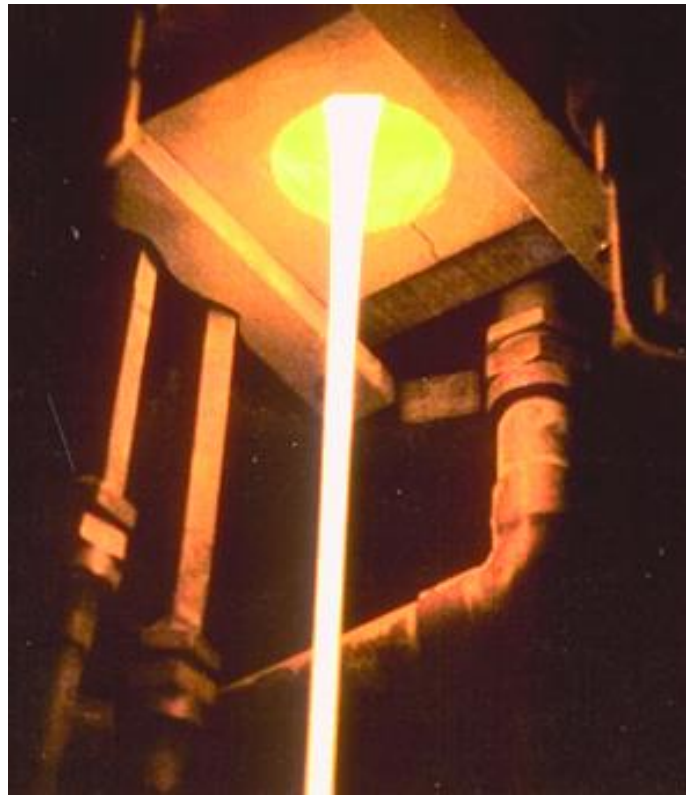
DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea



www.cea.fr

OPTIMISATION DU CYCLE DU COMBUSTIBLE.



TROIS POSSIBILITÉS D'OPTIMISATION.

- 1) Diminution des quantités finales de déchets finaux
- 2) Possibilité de gestion du stock de plutonium
- 3) Possibilité d'accélérer le retour à l'inocuité de ces déchets.

LE TRAITEMENT DU COMBUSTIBLE REP

➤ Extract the maximum energy from the fuel



Valuable materials (96%)

Uranium
(94 to 96 %)

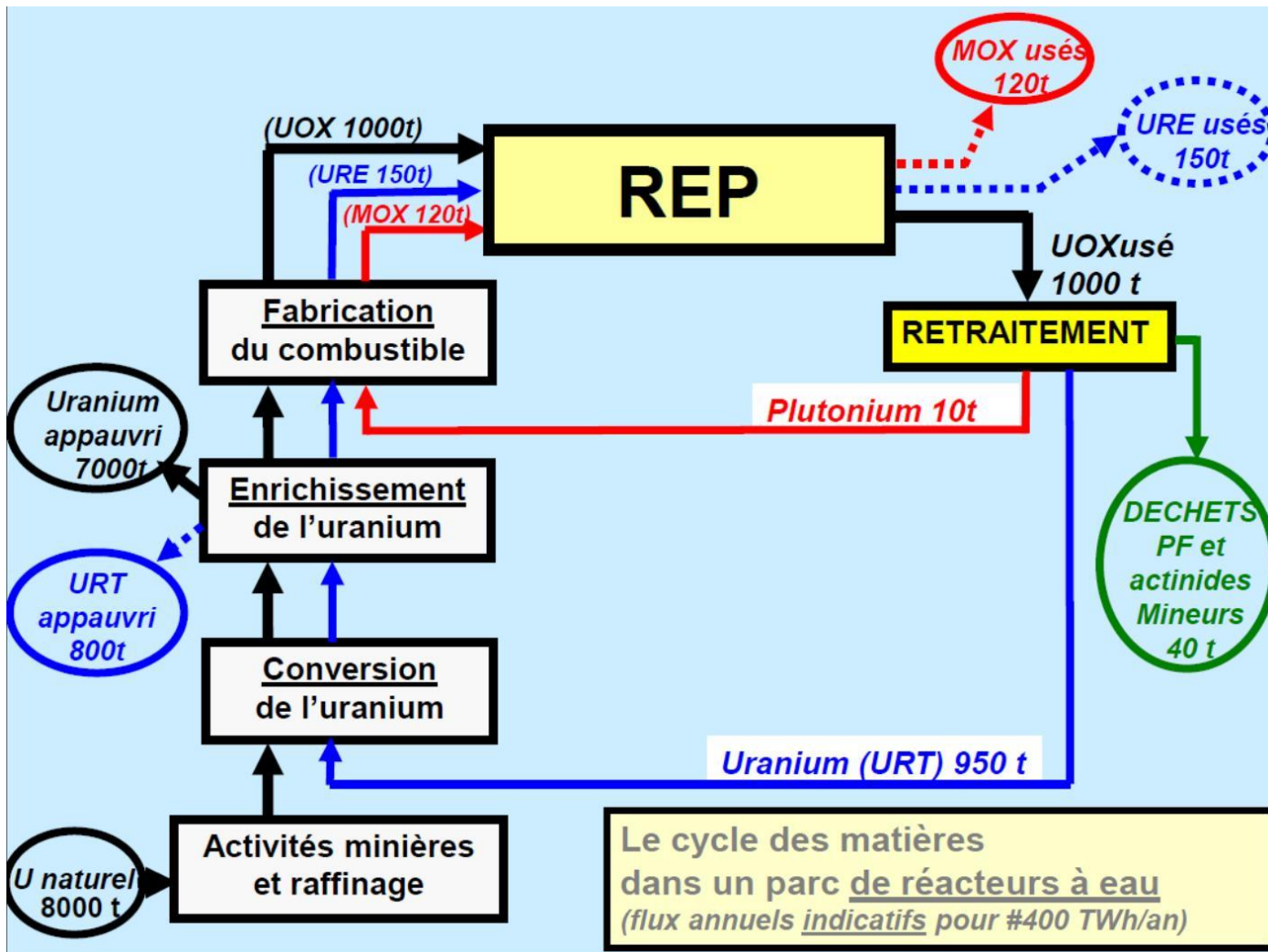
Plutonium
(1 %)

Waste (4%)

Fission Products
(3 to 5 %)
Minor Actinides
(0,1 %)

Reprocessing & Recycling

LE CYCLE DU COMBUSTIBLE EN FRANCE



LE MULTI RECYCLAGE : UNE MINIMISATION DES DÉCHETS.

L'uranium et le plutonium obtenus suite au retraitement du combustible, ne peuvent être utilisés qu'une fois en réacteur REP. Ensuite leur composition isotopique ne permet plus leur réutilisation sur un réacteur à eau.



Vitrified waste (CSD-V)

En France nous avons ainsi chaque année, 120 t de MOX usé and 150 t d'Uranium qui sont stockés. Sans RNR sodium, ces produits deviendraient des déchets.

Mais ces 270 t / annuels peuvent être brûlés et produire de l'énergie dans un RNR sodium.

Il ne reste donc plus que 40 t de déchets annuels. (soit 4% du combustible utilisé)

LE MANAGEMENT DU STOCK DE PLUTONIUM.

- Si on dispose des couronnes fertiles autour du cœur on peut être surgénérateur et produire plus de plutonium qu'on en consomme. C'était le cas de Phénix.
- Par contre on peut être sous générateur et brûler le plutonium si on le désire.
- Donc avec des réacteurs rapides on peut manager son stock de plutonium à la hausse ou à la baisse, alors que sans ces réacteurs, le plutonium issu du MOX devient un déchet.

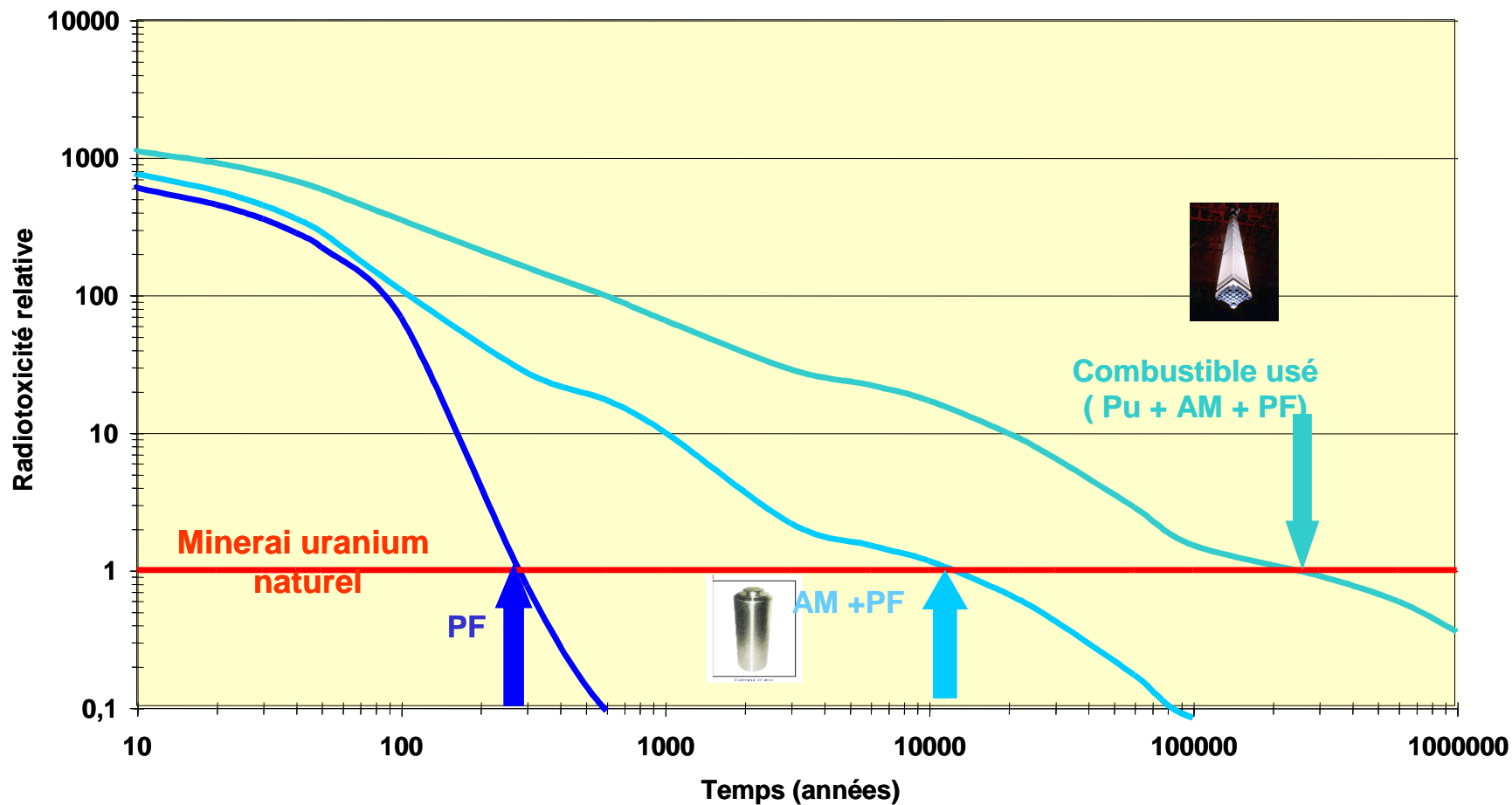
L'ACCÉLÉRATION DE LA BAISSÉ DE TOXICITÉ ET D'ACTIVITÉ DES DÉCHETS FINAUX

Le retraitement du combustible, intrinsèque à la filière des réacteurs rapides, est déjà un élément fortement accélérateur de la baisse de radio toxicité et de puissance résiduelle des déchets finaux, dans le temps.

En complément , et en cas de séparation des actinides lors du retraitement, les réacteurs rapides ont la potentialité théorique de recycler ces actinides (voir campagne d'essais réalisée sur Phénix de 2003 à 2009)

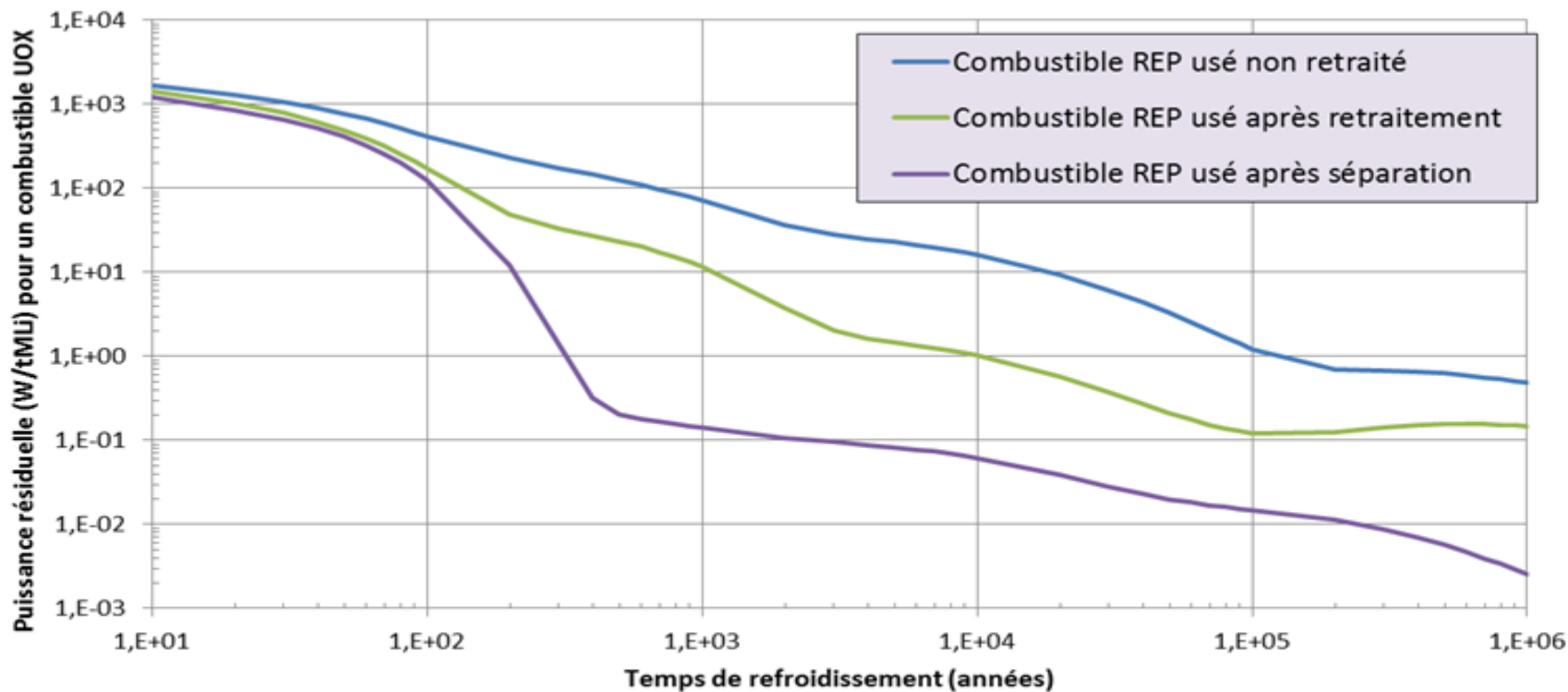
On arrive alors à des gains supplémentaires sur cette durée et à un accroissement des possibilités de stockage définitif sur un site, celles-ci étant actuellement limitées par la puissance résiduelle.

DÉCROISSANCE DE LA RADIOTOXICITÉ POUR UN COMBUSTIBLE REP.



DÉCROISSANCE DE LA PUISSANCE RÉSIDUELLE POUR UN COMBUSTIBLE REP

Evolution de la puissance thermique d'un combustible REP



Hypothèses: Combustible REP UO_2 enrichi à 3,7% en U^{235} , TCT $\approx 46GWj/t$
Pertes au retraitement et à la séparation: 0,1% en Pu, 0,1% en AM

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE



IMPACTS ENVIRONNEMENTAUX ACCIDENTELS.

www.cea.fr



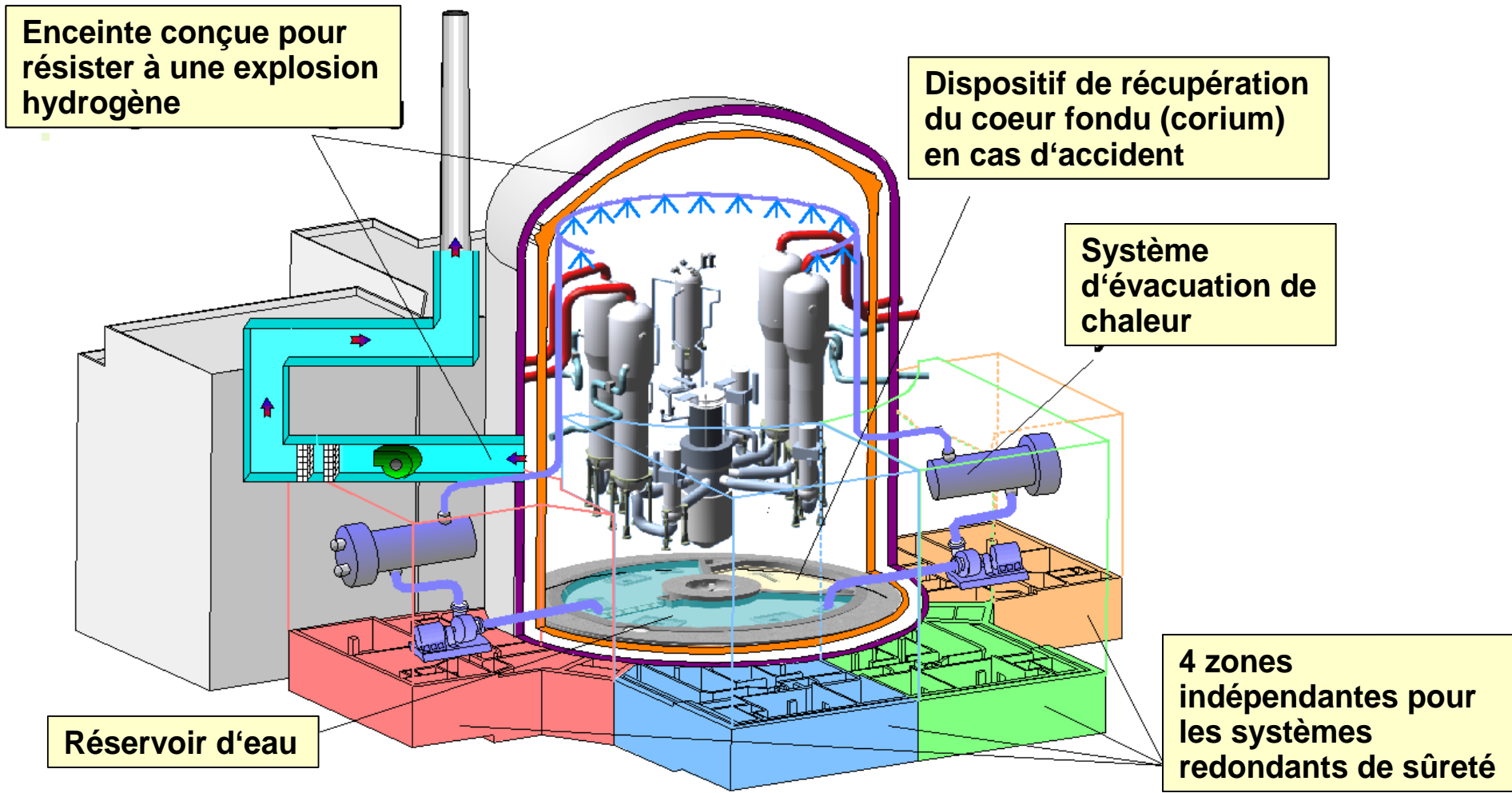
ACCIDENTS ET ENVIRONNEMENT

Les opposants au nucléaire ont à l'esprit les accidents avec rejets et évacuation de population, survenus à Tchernobyl et Fukushima.

Suite à l'accident de Fukushima, l'ensemble des 450 réacteurs de deuxième génération dans le monde ont subi des stress test . Des modifications et renforcements ont été effectués pour résister aux agressions externes extrêmes.

Pour les réacteurs de troisième et quatrième génération , les réacteurs sont conçus dès le départ pour résister à ces agressions maximales. La probabilité d'accident grave est encore diminuée. Les dispositifs de mitigation de l'accident sont cependant prévus et permettent d'éviter tout rejet impliquant des déplacements de population.

3RD GENERATION: QUELQUES AVANCÉES



Enceinte conçue pour résister à une explosion hydrogène

Dispositif de récupération du coeur fondu (corium) en cas d'accident

Système d'évacuation de chaleur

Réservoir d'eau

4 zones indépendantes pour les systèmes redondants de sûreté

SÛRETÉ DES RÉACTEURS GEN IV

En termes de sûreté les RNR sodium ont un certain nombre d'avantages: basse pression, marge à l'ébullition et grande inertie thermique qui donnent du temps à l'opérateur, bonnes possibilités en convection naturelle, refroidissement à l'air donc toujours disponible, etc..

L'Autorité de sûreté souhaite que ces réacteurs aient un niveau de sûreté à minima égal, et si possible supérieur, à celui des réacteurs de troisième génération.

DE LA RECHERCHE À L'INDUSTRIE

cea

MINIMISATION DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL EN FONCTIONNEMENT

www.cea.fr



DES REJETS MINIMUM EN FONCTIONNEMENT.

L'opération de Phénix et Superphénix, a montré qu'en fonctionnement il n'y avait pas de rejets gazeux mesurables.

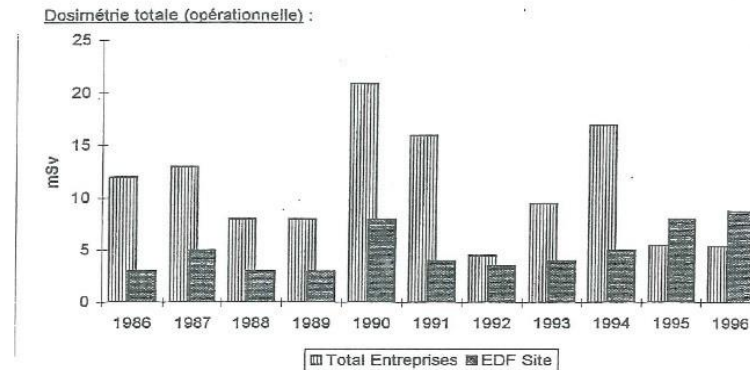
Le tritium produit en fonctionnement est co-piégré avec l'hydrogène issu des générateurs de vapeur, dans les pièges froids.

Le fonctionnement en boucle fermée , des circuits primaire et secondaires en sodium, exclut tout rejet en fonctionnement nominal.

UNE DOSIMÉTRIE GLOBALE TRÈS FAIBLE.

A Superphénix, la valeur maximale de dosimétrie annuelle durant les onze années d'opération, a été de 0,03 H.Sv en 1990

.

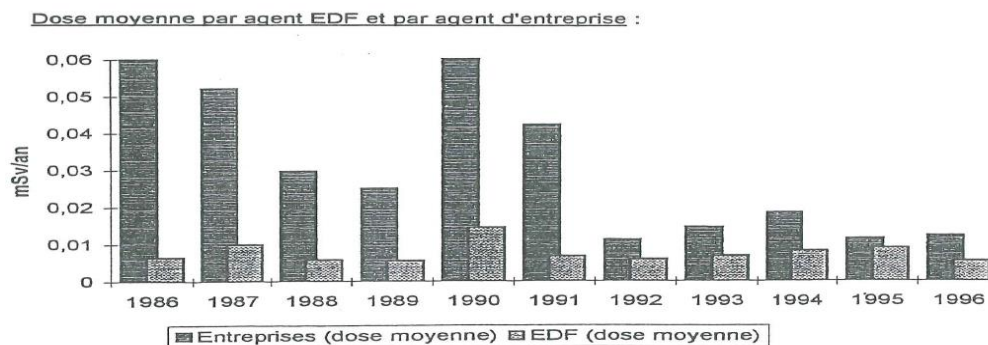


A Phénix, cette valeur a varié de 0,02 à 0,17 H.Sv/an

C'est largement une décade de moins, que sur les réacteurs de deuxième génération.

UNE DOSIMÉTRIE INDIVIDUELLE TRÈS FAIBLE

Les valeurs moyennes de dosimétrie pour le personnel étaient entre 0,01 et 0,06 mSv/an durant les onze années d'opération du réacteur Superphénix.



Un simple vol aller Paris/Tokyo induit une dose de 0,13 mSv. Le niveau moyen d'irradiation naturelle en France est de 2,5 mSv/an, soit 50 à 250 fois plus que la dose moyenne reçue par un travailleur sur Superphénix.

CONCLUSION

Les objectifs environnementaux des réacteurs GENIV sont ambitieux :

- Fonctionnement pendant des millénaires avec des stocks d'uranium appauvris déjà disponibles. Plus besoin de mines d'uranium et d'usines d'enrichissement.
- Un cycle du combustible optimisé par les possibilités de multi recyclage et permettant de réduire les déchets finaux à 4 % des combustibles usés. Potentialité supplémentaire de transmutation des actinides.
- Critères de sûreté renforcés , incluant des niveaux élevés d'agressions naturelles ou externes , et excluant tout rejet radioactif même en cas d'accident maximal.
- Pas d'impact environnemental en fonctionnement. Pas de rejets gazeux mesurables. Dosimétrie du personnel très faible.