

# Etude par simulation du couplage entre le retraitement et la physique d'un cœur de Thorium Molten Salt Reactor - Non Modéré

*Xavier Doligez, Daniel Heuer, Elsa Merle-Lucotte*

*Groupe physique des réacteur, Laboratoire de physique subatomique et cosmologie*

Rencontres Jeunes Chercheurs 2008



# Quel nucléaire ?

Deux chiffres :

- Consommation électrique moyenne mondiale :  $\sim 300 \text{ W}$  (  $1 \text{ kW}$  en France)
- Accroissement de population mondiale :  $200\,000 \text{ hab/j}$

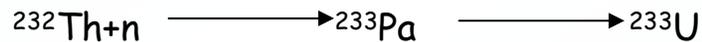
→ Nécessité d'un nucléaire PERENNE : Génération 4

Seulement trois noyaux fissiles :

$^{235}\text{U}$  (0,7% de l'uranium naturel) (REP)



Cycle U/Pu (RNR-Na)



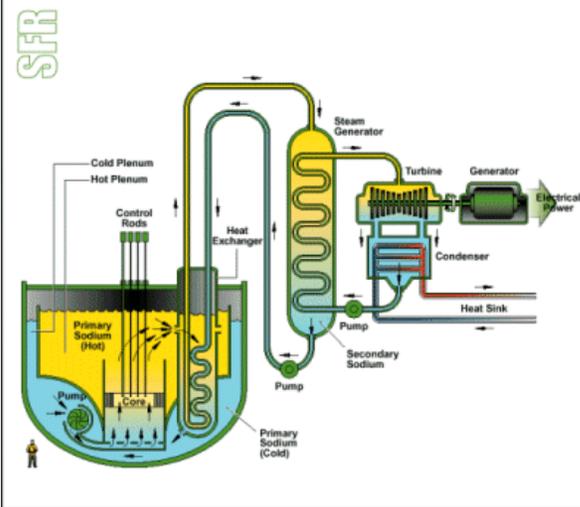
Cycle Th/U (TMSR-NM)

Réacteur de GEN4 :

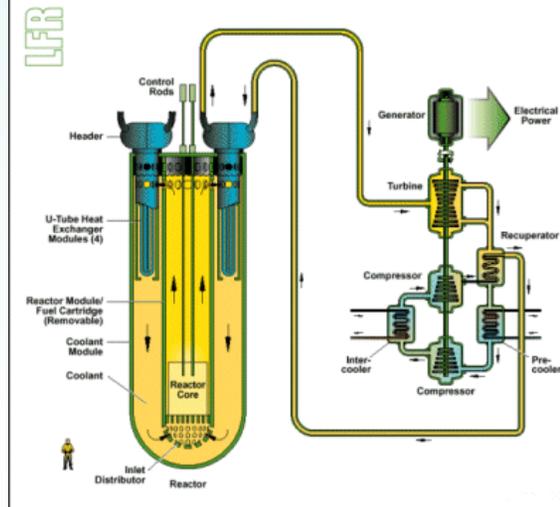
- Sûr,
- Résistant à la prolifération,
- Régénérateur,
- Bonne gestion des déchets

# Génération 4

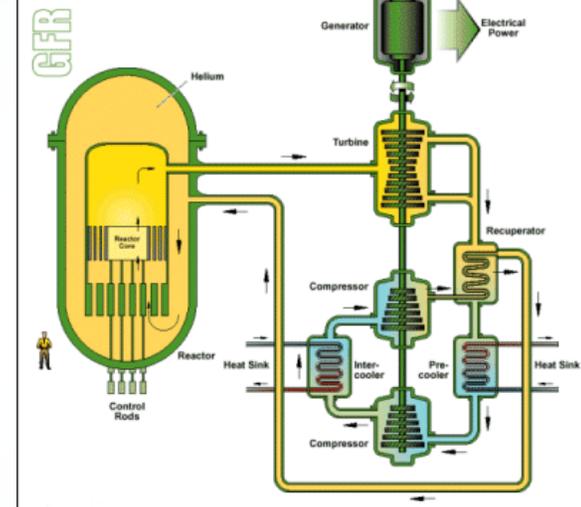
Sodium-Cooled-Fast Reactor



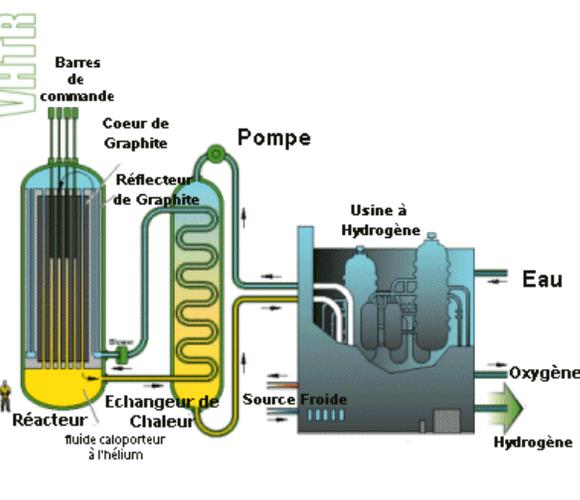
Lead-Cooled Fast Reactor



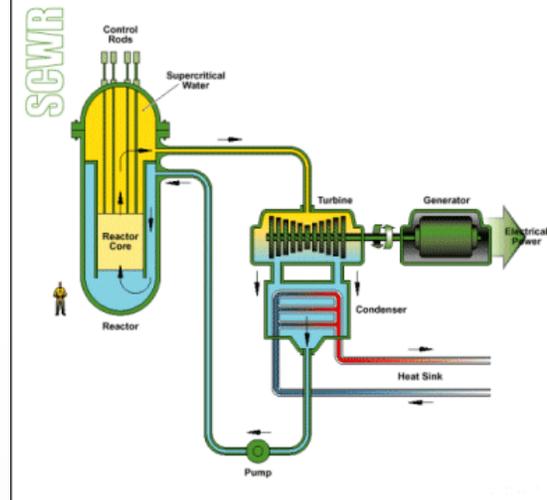
Gas-Cooled Fast Reactor



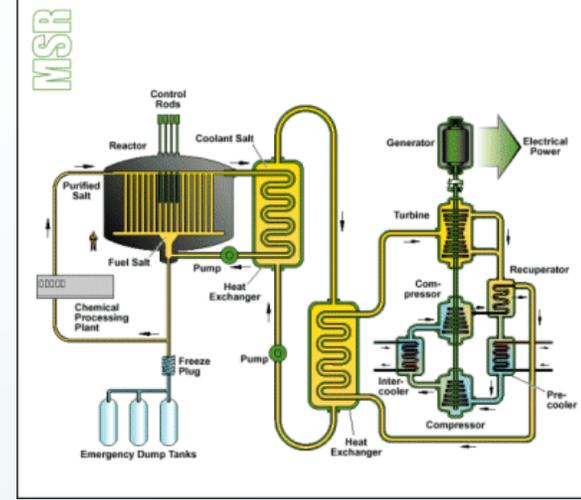
Réacteur à très haute température



Supercritical-Water-Cooled Reactor



Molten Salt Reactor



- Le concept TMSR-NM

  - Le réacteur*

  - L'unité de retraitement*

  - La simulation*

- Couplage retraitement/cœur

  - Solubilité*

  - Régénération*

  - Sûreté*

- Conclusion et perspectives

# Le TMSR-NM

Réacteur à sels fondus sans modérateur en cœur  
→ Sel : Combustible + modérateur + caloporteur

Volume combustible: 20.5 m<sup>3</sup>

Sel → LiF (77,5%) ; (NL)F<sub>4</sub> (22,5%)

NL= Noyaux lourds (Th+U+AM)

Couverture fertile: 9 m<sup>3</sup> (statique)

Sel → LiF (72%) ThF<sub>4</sub> (28%)

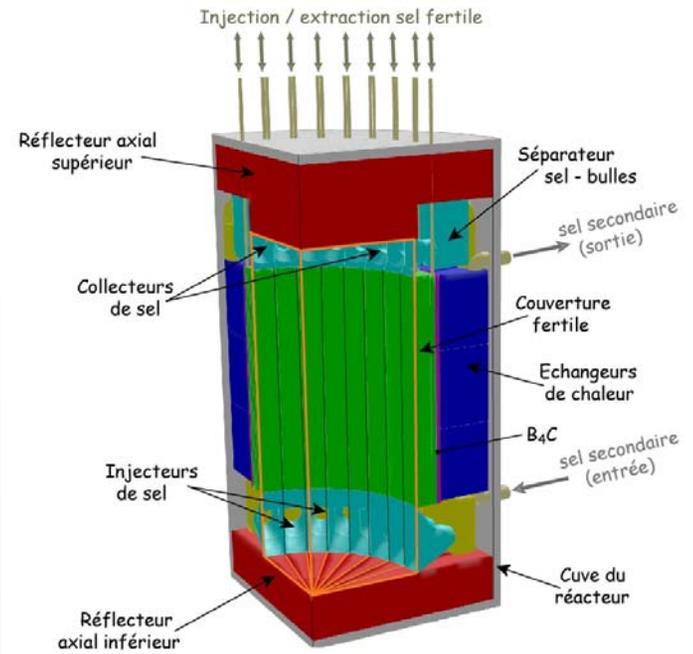
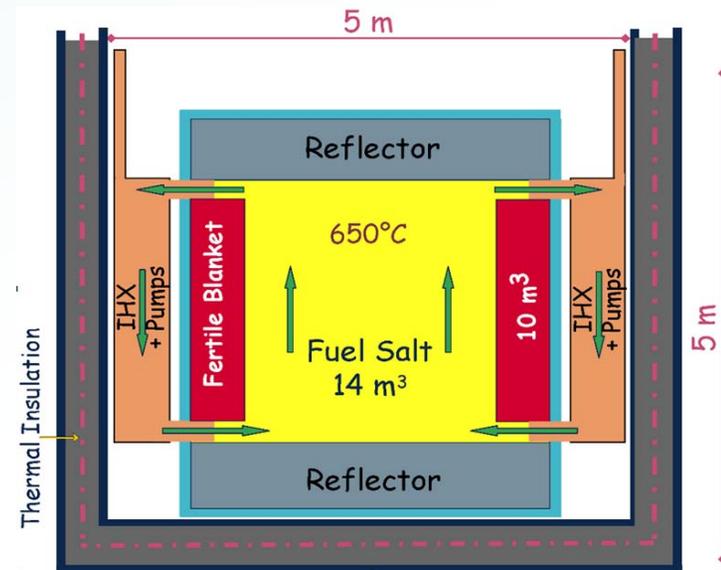
Structure:

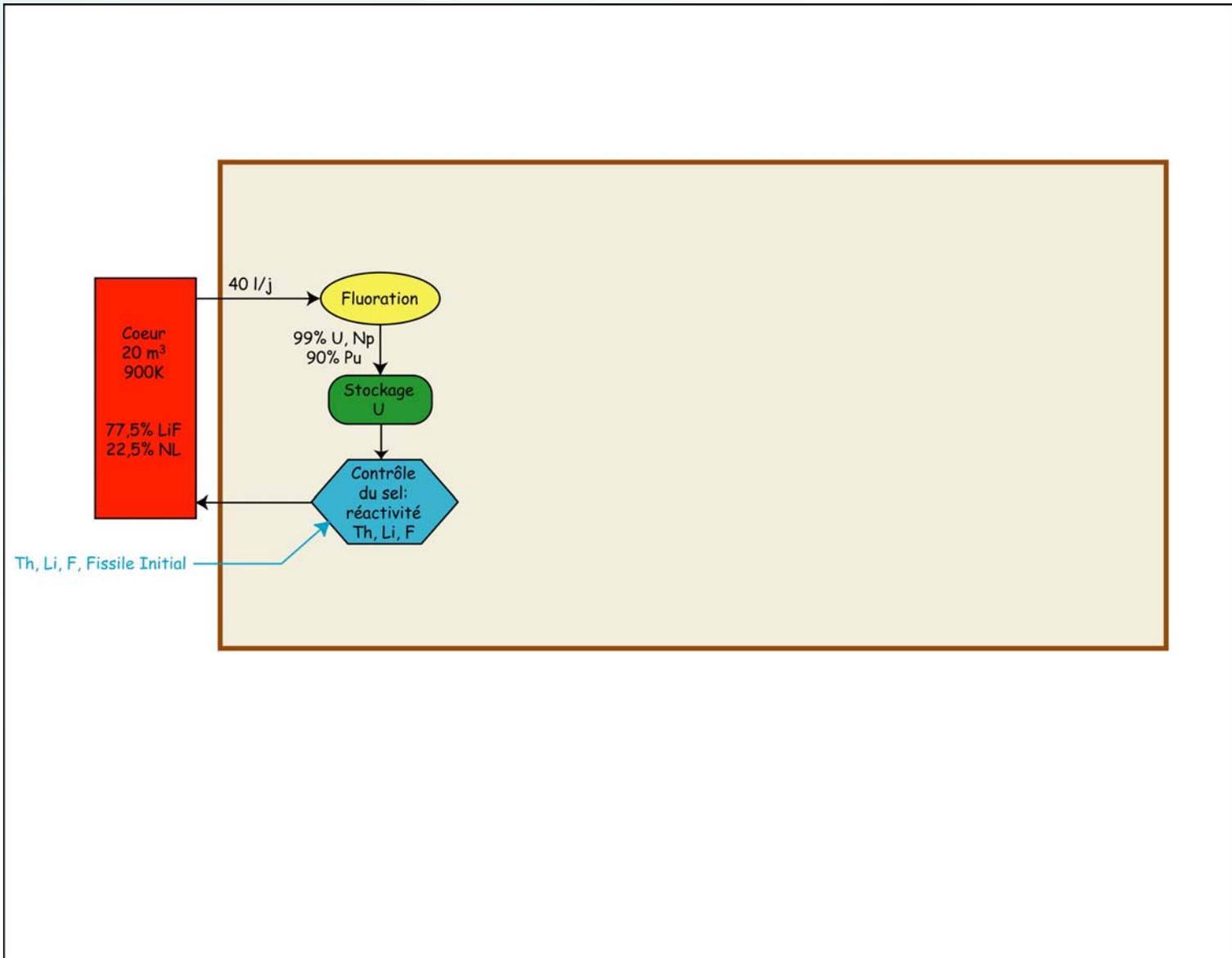
Alliage : Ni-Cr-W

Puissance: 2,5 GWth → 1 GWe

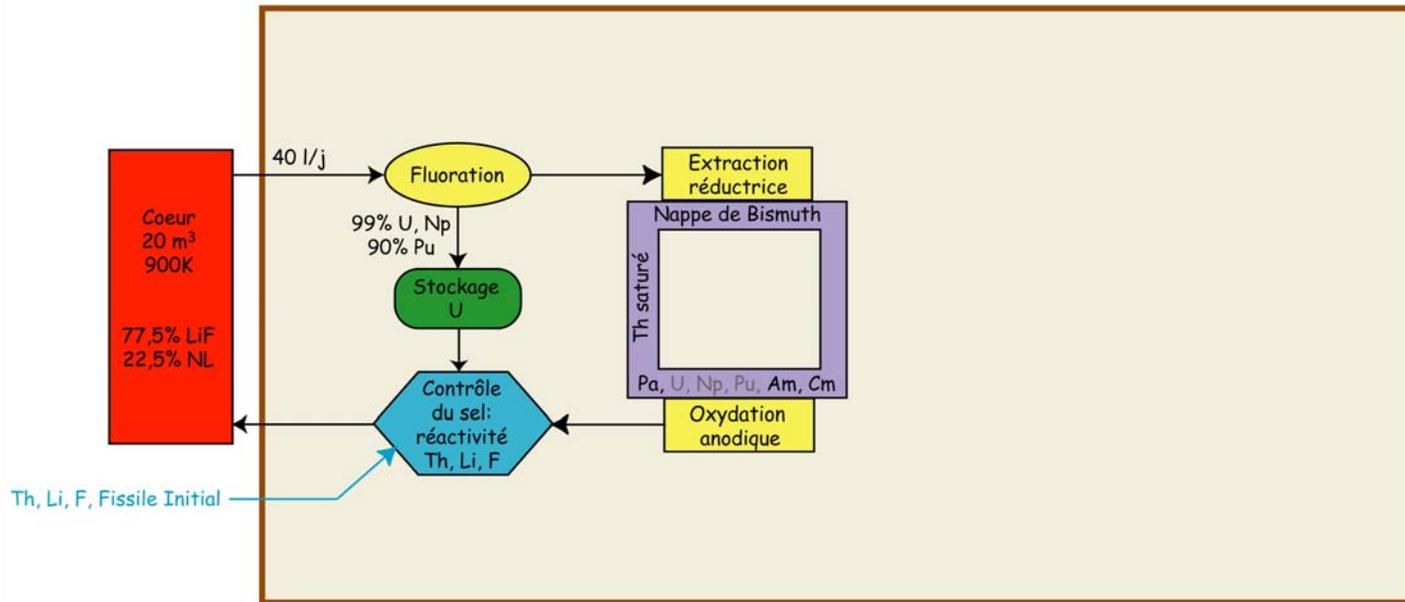
Température: 650°C → 850°C

Matière fissile initiale (<sup>233</sup>U, TRU de combustibles usés)

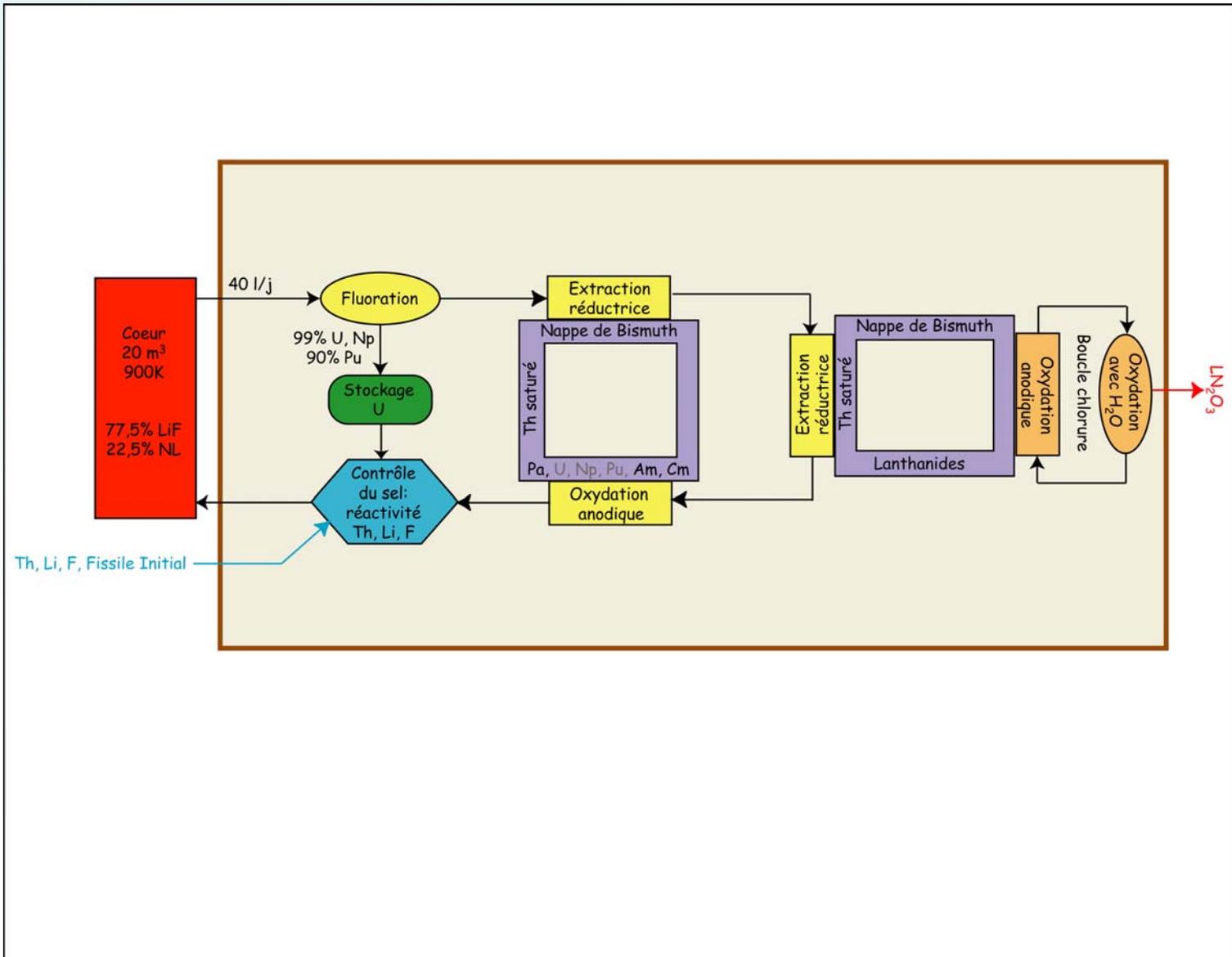




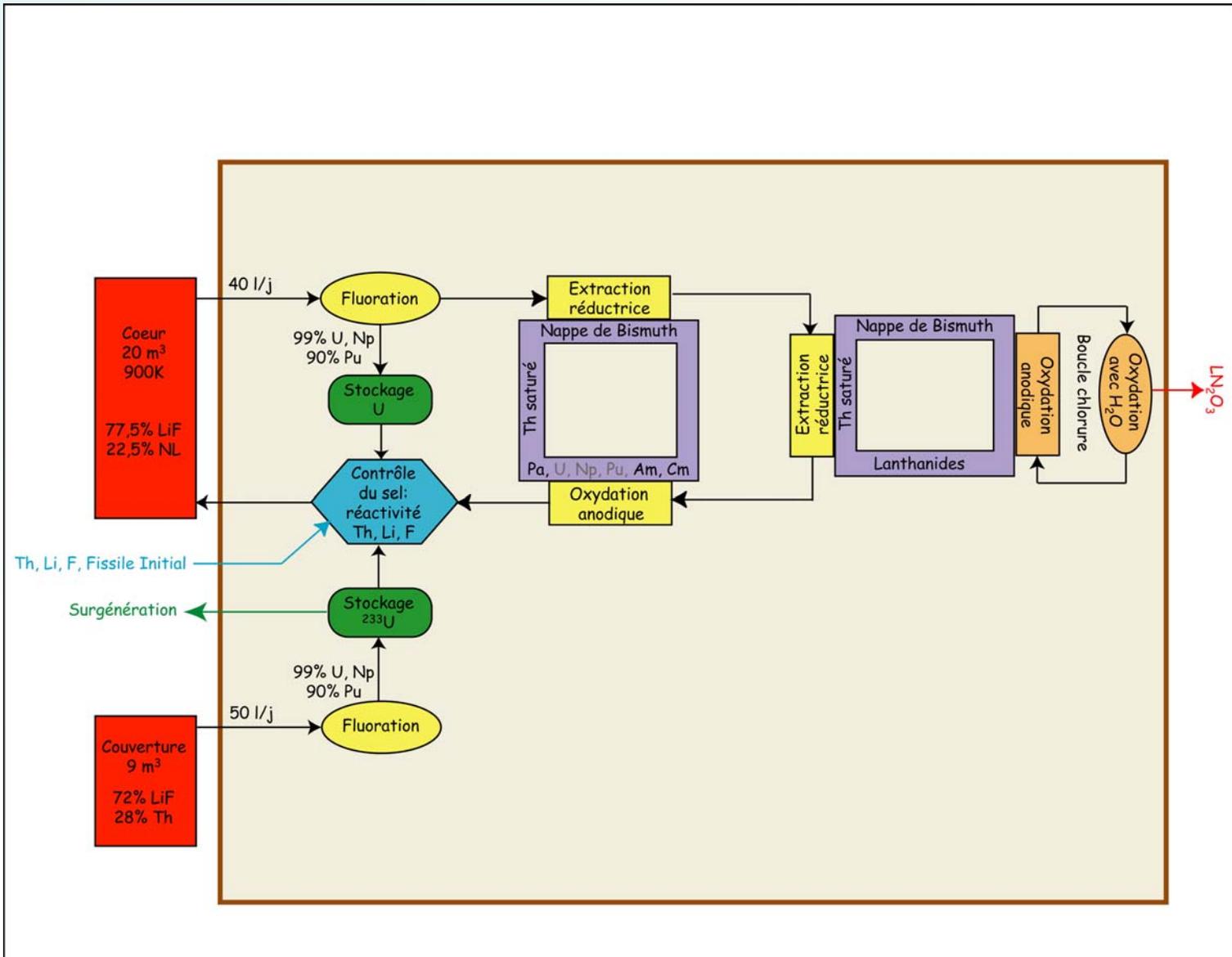
# Retraitement



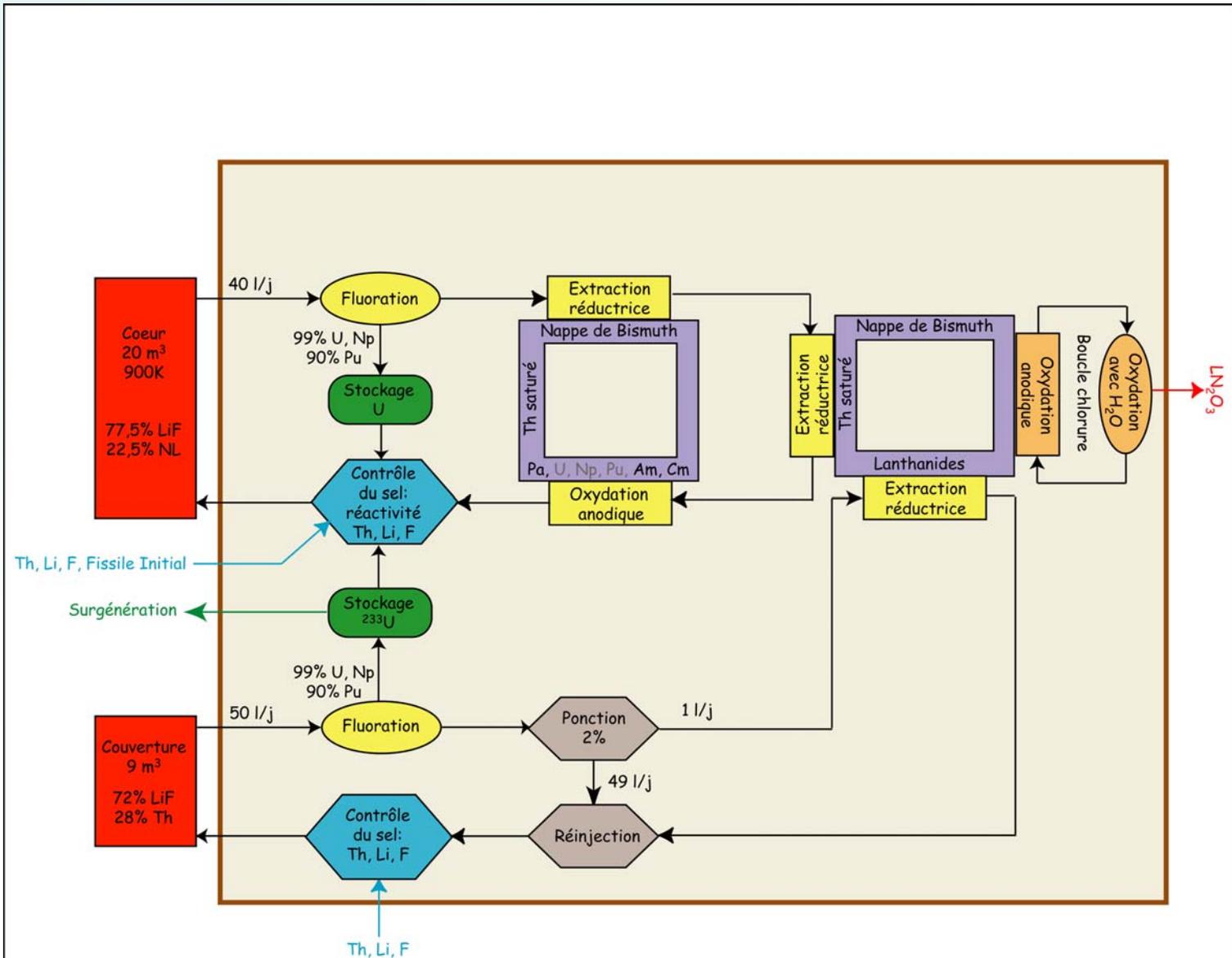
# Retraitement



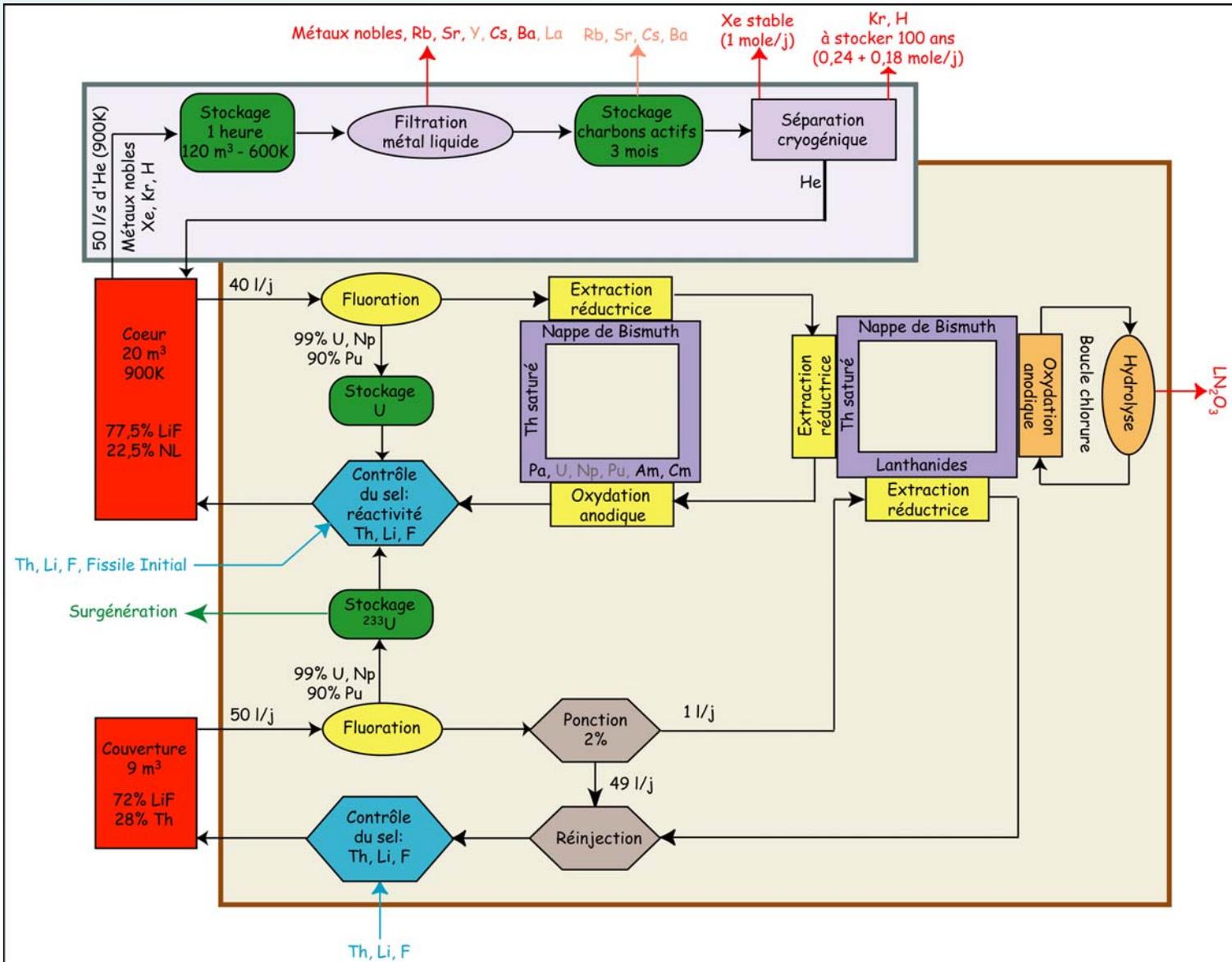
# Retraitement



# Retraitement



# Retraitement

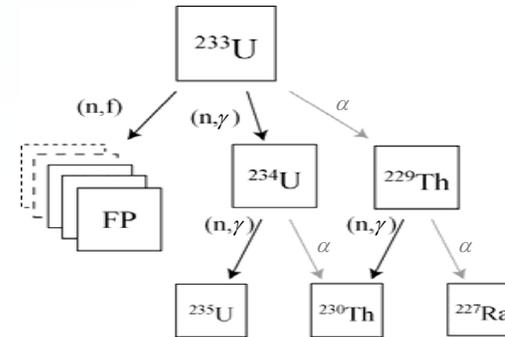


But: résolution des équations de Bateman

$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_{j \neq i} N_j \langle \sigma_{j \rightarrow i} \phi \rangle + \sum_{j \neq i} \lambda_{j \rightarrow i} N_j - N_i \langle \sigma_i \phi \rangle - \lambda_i N_i$$

→ Flux neutronique : *MCNP*

→ Intégration: *Runge & Kutta (REM)*



Prise en compte du retraitement

- Temps de bullage

→ Temps nécessaire pour diminuer d'un facteur 2 la proportion d'un isotope

- Temps de retraitement de tout le cœur

➔ Assimilé à une décroissance nucléaire  $\lambda_{chem} = \frac{\ln(2)}{T}$

$$\frac{dN_i}{dt} = \sum_{j \neq i} N_j \langle \sigma_{j \rightarrow i} \phi \rangle + \sum_{j \neq i} \lambda_{j \rightarrow i} N_j - N_i \langle \sigma_i \phi \rangle - \lambda_i N_i - \lambda_{Chem} N_i$$

- Le concept TMSR-NM

  - Le réacteur*

  - L'unité de retraitement*

  - La simulation*

- Couplage retraitement/cœur

  - Solubilité*

  - Régénération*

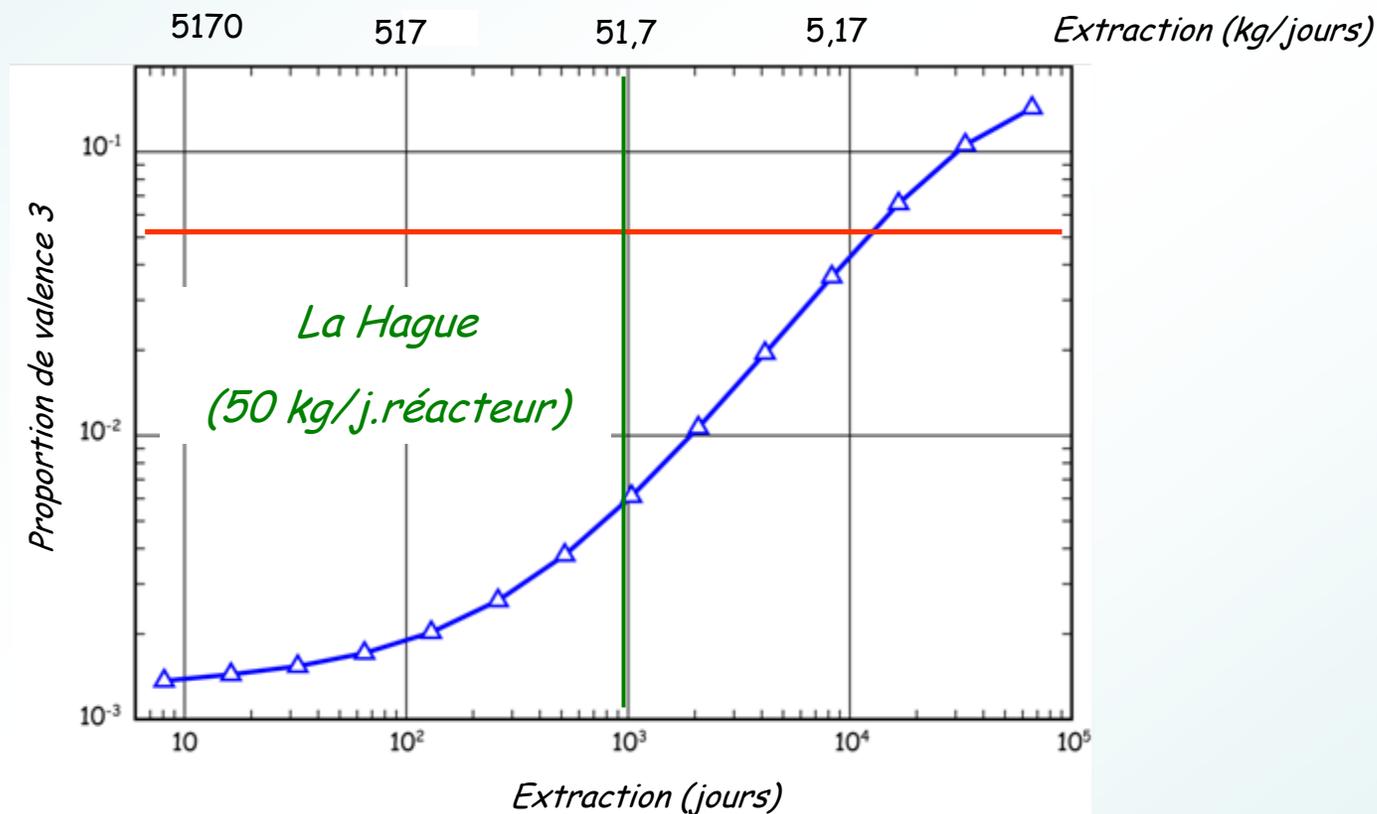
  - Sûreté*

- Conclusion et perspectives

# Influence du retraitement : chimie du sel

Solubilité plutonium < ~5% Sood et al. (1975)

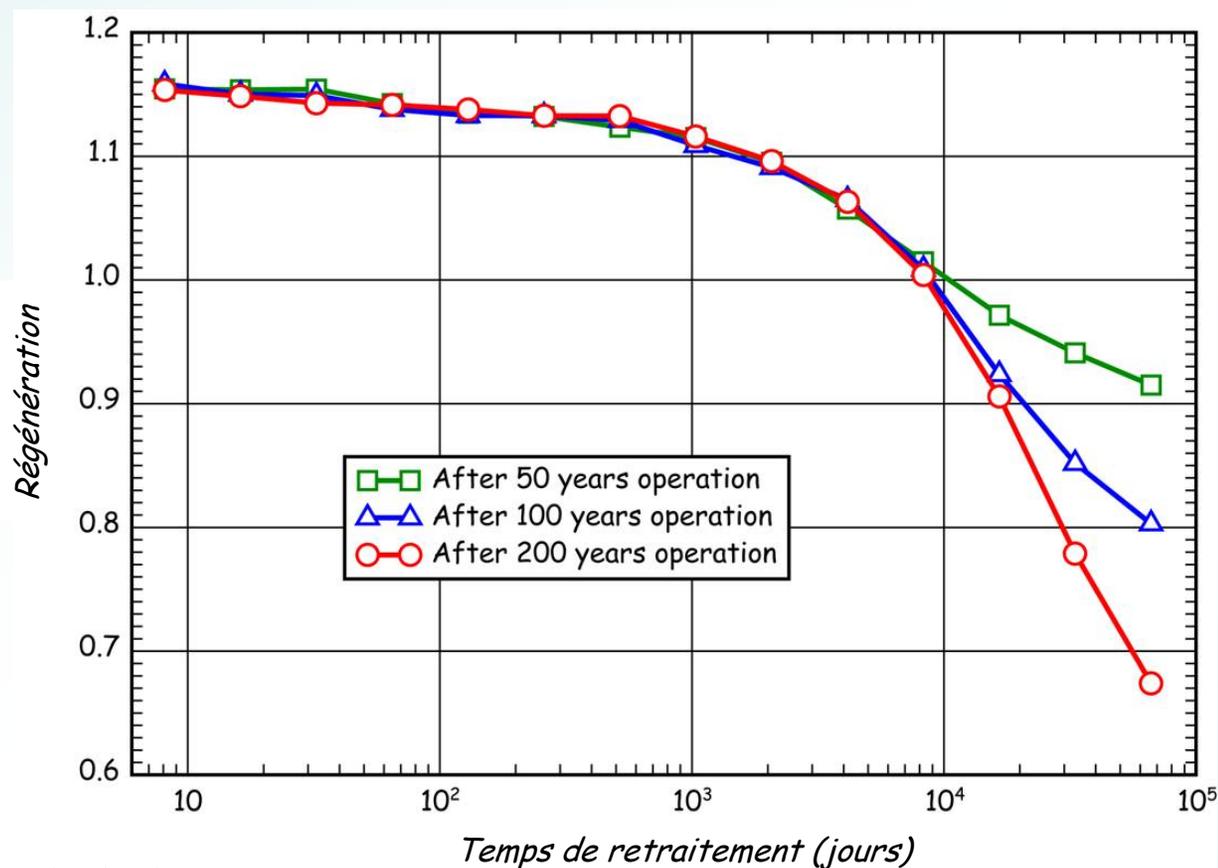
*Compétition avec d'autres éléments de Valence-3*



Un retraitement en 10 000 jours est suffisant pour rester sous la limite de solubilité

# Influence du retraitement : régénération

Coefficient de régénération : Bilan de matière fissile  $\rightarrow$  1 : régénérateur



Le réacteur reste régénérateur même avec un retraitement aussi long que 10 000 jours

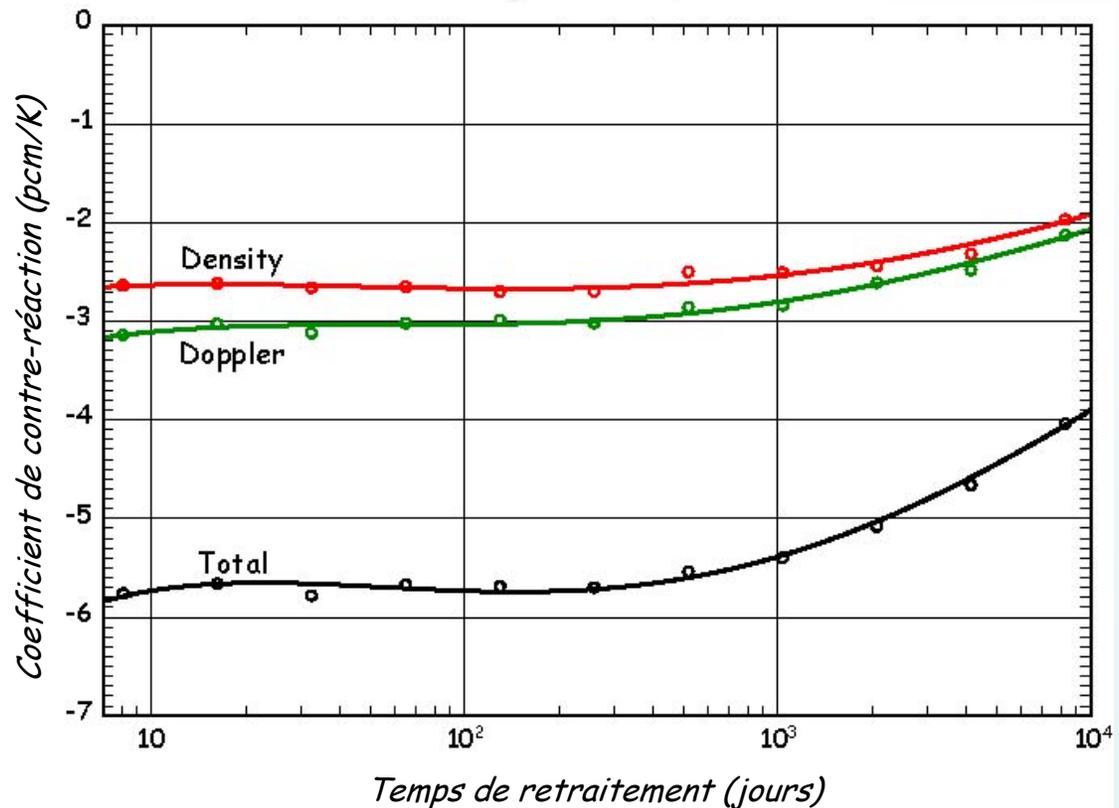
# Influence du retraitement : sûreté

$dk/dT$  = Variation du coefficient de multiplication de neutrons ( $dk$ ) avec la température du cœur ( $dT$ )

→ Intrinsèquement sûr si  $dk/dT < 0$  (si  $T \nearrow$  alors  $k \searrow$ )

$$\left(\frac{dk}{dT}\right)_{\text{total}} = \left(\frac{dk}{dT}\right)_{\text{salt-heating}} + \left(\frac{dk}{dT}\right)_{\text{salt-dilatation}} + \cancel{\left(\frac{dk}{dT}\right)_{\text{moderator-heating}}}$$

Les coefficients sont toujours négatifs



## Le concept TMSR-NM

### Réacteur régénérateur

*Flux neutronique rapide*

*Coefficients de contre-réactions négatifs*

## Unité de retraitement

### Procédé défini

*Temps de retraitement raisonnable et flexible*

*10 000 jours soit 2.05l/j influence très peu les caractéristiques neutroniques*

*Très peu de rejets d' AM*

*Influence du retraitement faible sur les caractéristiques du cœur*

Ce qu'il reste à faire :

Asservissement du retraitement à la neutronique pour :

- Connaître les besoins en retraitement
- Les flux de matière, radiations, et chaleur dans l'unité de contrôle
- ...

MERCI POUR  
VOTRE  
ATTENTION