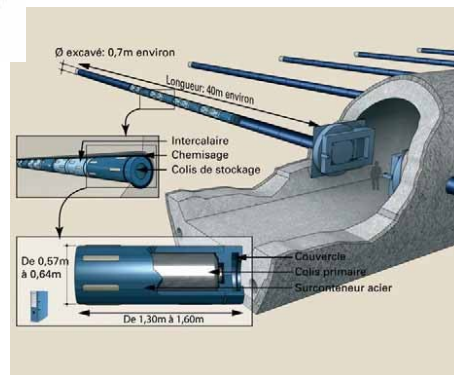
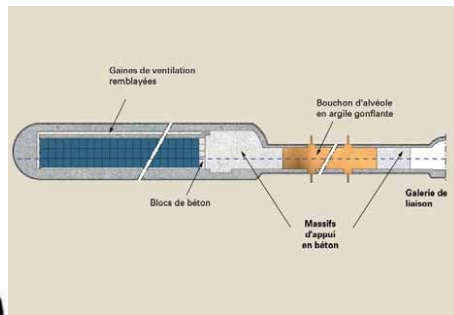
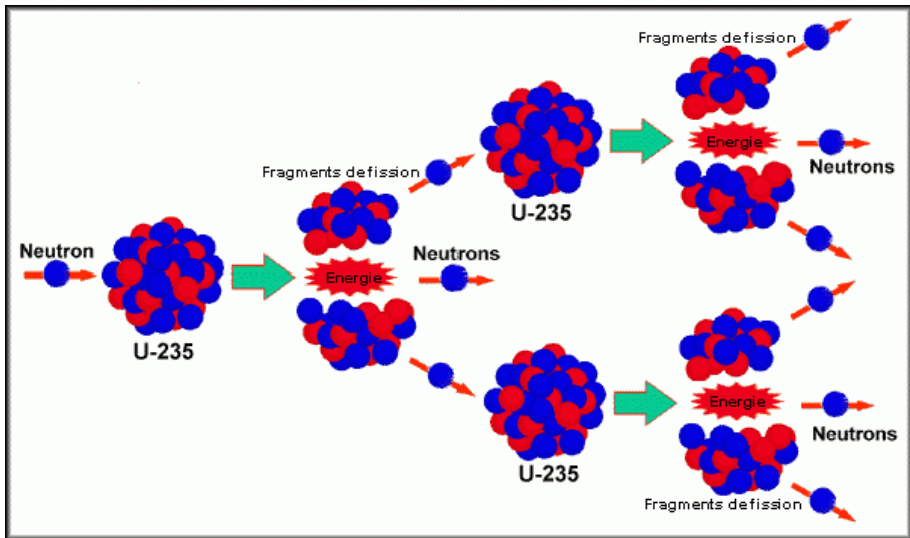


# Problème des déchets / stockage géologique

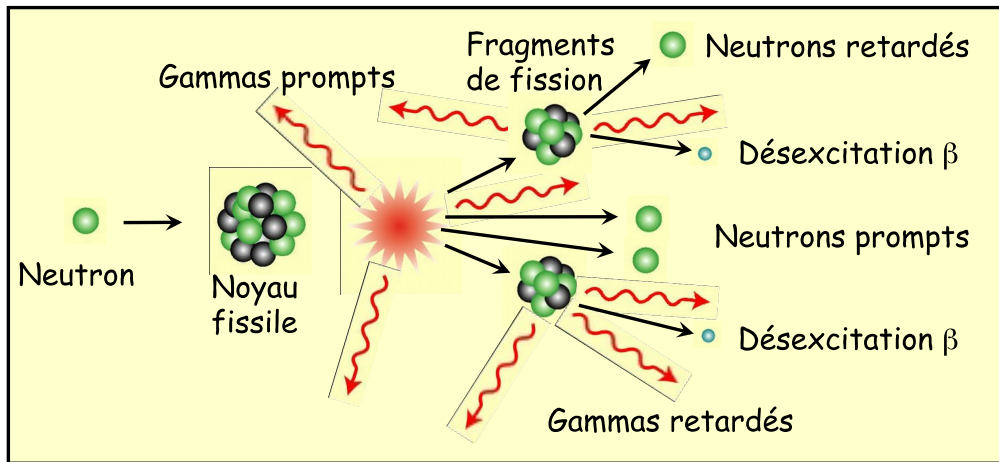
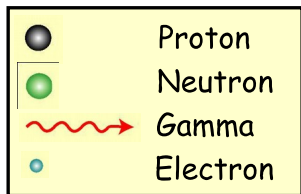


# Principe des réactions en chaîne



On dit que l'Uranium 235 est fissile : il peut alimenter directement une réaction en chaîne – utilisable pour un réacteur électrogène ... ou pour une arme nucléaire

# Une fission un peu plus réaliste...



# Réaction en chaîne : facteur de multiplication et réactivité

Facteur de multiplication  $k_{\text{eff}}$  défini comme :

$$k_{\text{eff}} = \frac{\text{Nb neutrons produits}}{\text{Nb neutrons absorbés}}$$

Si  $k_{\text{eff}} < 1$ , la réaction en chaîne ne s'entretient pas  
elle s'arrête après avoir produit  $1/(1-k)$  neutrons

Si  $k_{\text{eff}} > 1$ , la réaction diverge (principe des bombes à fission)

Si  $k_{\text{eff}} = 1$ , la réaction en chaîne s'entretient d'elle même  
Principe d'un réacteur CRITIQUE

Réactivité :

$$\square = \frac{k_{\text{eff}} - 1}{k_{\text{eff}}}$$

## Risques spécifiques d'un réacteur nucléaire :

- Stock d'énergie concentrée dans le combustible
- Accumulation de produits radioactifs (danger + chaleur)
- Dégagement significatif d'énergie même après arrêt

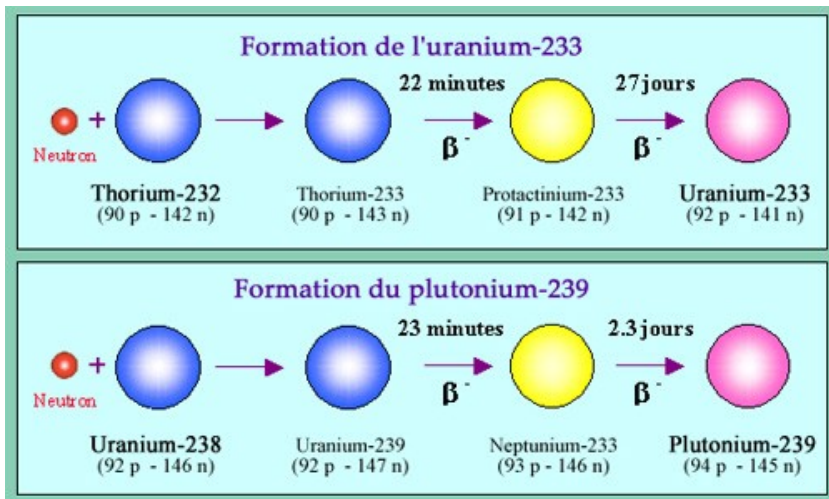
## Bases de la sûreté nucléaire = maîtriser le réacteur

- Confiner les produits radioactifs □ 3 barrières
- Maîtriser la réaction en chaîne en tout instant = piloter le réacteur
- Evacuer la puissance y compris après l'arrêt de la réaction en chaîne

Seuls trois éléments sont exploitables dans la nature pour la fission : U235, U238, Th232

U235 est directement *fissile* ... mais il est peu abondant, sa teneur dans l'uranium naturel n'est que 0,72 %, le reste (99,28 %) étant essentiellement de l'U238

U238 et Th232 sont seulement « *fertiles* »



U233

et

Pu239

eux, sont

fissiles

# Le rêve des physiciens nucléaires :

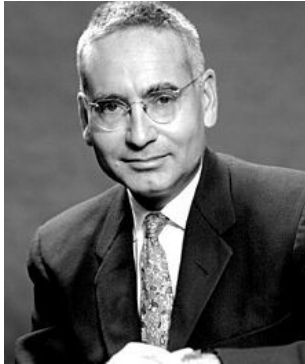
- un réacteur sûr, qui ne puisse en aucun cas connaître d'accident susceptible de disperser de la radioactivité, ceci quelles que soient les circonstances extérieures
- des ressources de combustible abondantes (des milliers d'années, ou plus !)
- une production de déchets très faible
- un réacteur non proliférant : la possibilité de le détourner pour produire des armes nucléaires doit être quasiment exclue

Ce sont les critères demandés pour les réacteurs dits de Génération IV (forum international années 2000)

Nous y ajouterons :

- des réacteurs fournissant une énergie compétitive avec les énergies « sales » comme le charbon, si possible même moins chère, de façon à pouvoir s'y substituer

La bonne nouvelle : un tel réacteur semble possible !



Un pionnier du  
nucléaire :  
Alvin Weinberg  
1915 – 2006  
Directeur ORNL  
Oak Ridge



Modérateur graphite  
du MSRE à Oak Ridge (1965)



# Forum International Génération 4

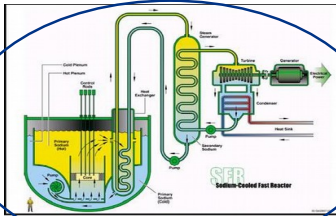
Forum international d'experts (GIF) créé en 2000 à l'initiative des USA pour définir les réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération

Critères de sélection:

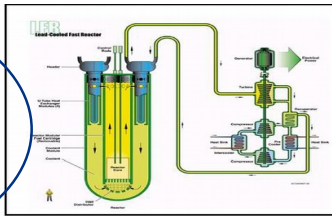
- Économiser les ressources naturelles
- Améliorer encore la sûreté
- Minimiser la production de déchets
- Réduire les risques de prolifération
- Réacteurs économiquement rentables



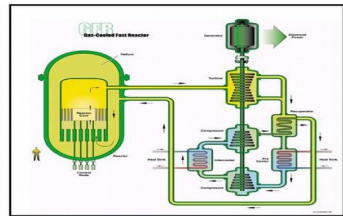
⇒ 6 concepts ont été retenus



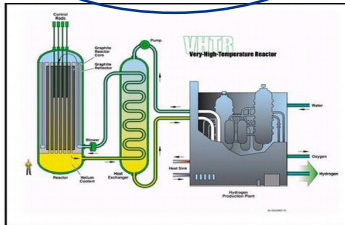
Réacteur rapide au Sodium



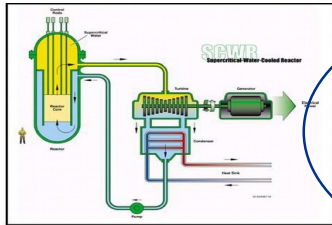
Réacteur rapide au Plomb



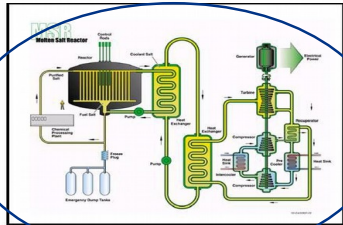
Réacteur rapide à gaz



Réacteur à gaz, Très Haute Température

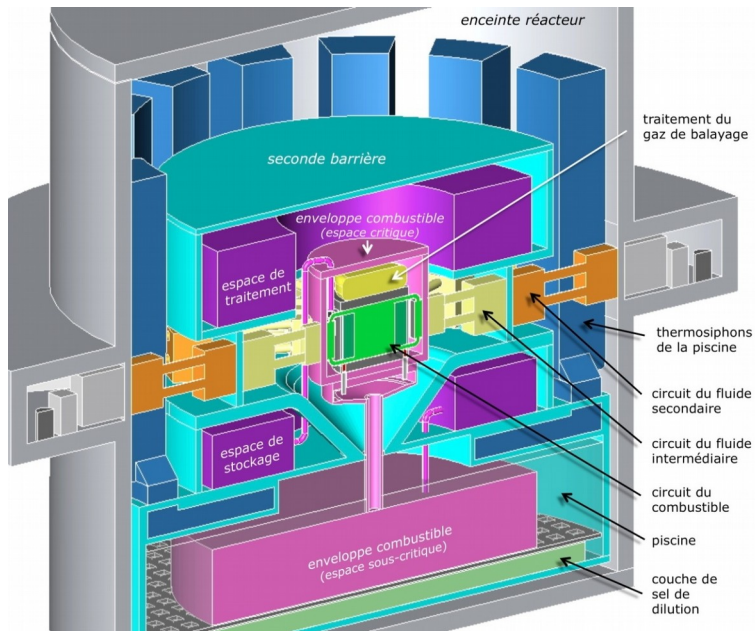


Réacteur à eau supercritique



Réacteur à sels fondus

# Réacteur à sels fondus en cycle thorium (Th232 – U233)



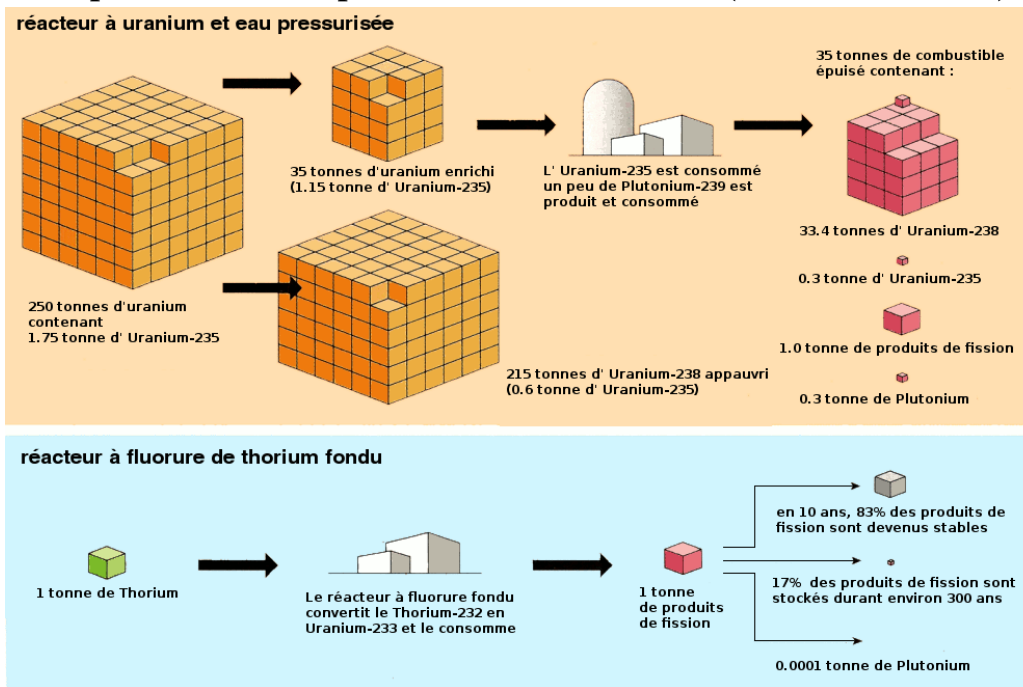
MSFR : design de réacteur à neutrons rapides proposé par le CNRS (LPSC Grenoble) au forum international Gen IV

# Principales caractéristiques :

- Les sels fondus ( $\text{LiF}$  + fluorures d'éléments fissiles/fertiles U, Pu, Th, ...) servent aussi de fluide caloporteur : le circuit primaire ne contient pas d'eau et fonctionne donc à pression atmosphérique  
→ **sécurité très accrue**
- Les produits de fission sont retraités « en ligne » par des procédés physico-chimiques (bullage hélium...) à l'intérieur même du réacteur : celui-ci est donc en permanence beaucoup plus « propre » que les réacteurs actuels.
- Le combustible liquide étant homogène, celui-ci peut être utilisé en quasi-totalité (au delà de 99%), il n'y a plus de « pertes »

- Presque tous les produits de fission sont à durée de vie courte ou assez courte (moins de 30 ans) ; le réacteur ne produit **pratiquement plus de « transuraniens »**, déchets radioactifs à longue vie (de 1000 à 10000 fois moins!)
  - **le besoin de stockage géologique est extrêmement réduit**
- Le MSFR est capable d'incinérer en grande partie les transuraniens produits par les centrales nucléaires actuelles, donc de les valoriser tout en les éliminant !
- Le combustible irradié est impropre à la fabrication d'armements (présence d'U232 aboutissant à Tl208 → rayonnements gamma)
- Les coefficients de vide et de contre-réaction thermique sont négatifs : le réacteur est intrinsèquement stable
  - **un accident de criticité de type Tchernobyl est impossible**
- En cas d'arrêt du réacteur, une vidange par gravité des sels et un refroidissement thermique passif suffisent
  - **un accident de type Fukushima est impossible**

# Comparaison de la production de déchets (REP vs MSFR)



# Retraitement chimique en ligne et bullage

