

Introduction:

Les réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium (RNR-Na) pourraient constituer les réacteurs de la 4^{ème} génération; ces derniers ont pour objectif d'améliorer la durabilité du nucléaire par une utilisation plus efficace du combustible. A l'inverse des neutrons thermiques utilisés dans les (REP), les neutrons rapides ne sont pas ralentis et permettent la fission des noyaux lourds. Les RNR-Na se caractérisent par une faible probabilité de fission, compensée par un enrichissement important du combustible en matière fissile :
 → 15% de ²³⁹Pu au lieu de 3% de ²³⁵U dans un REP.

En termes de fonctionnement et de production, le réacteur à neutrons rapides refroidis au sodium sera-t-il le réacteur du futur?

Le principe du fonctionnement d'un RNR-Na et ses avantages

Comparaison des réactions en chaîne des REP et RNR-Na

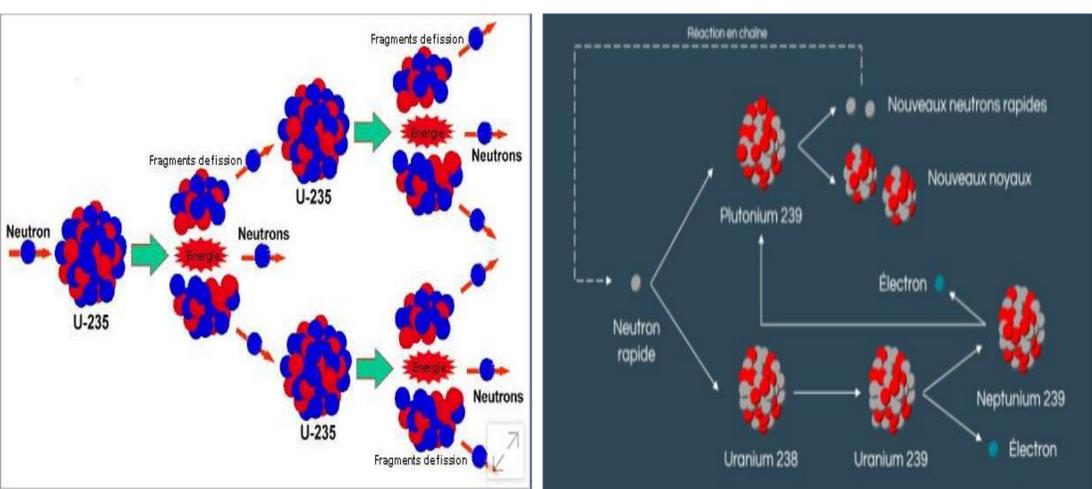


Figure 1a : schéma d'une réaction en chaîne d'un REP (source : GUIDEZ, J., BONIN, B., 2014)

Figure 1b : schéma d'une réaction en chaîne d'un RNR-Na (source : GUIDEZ, J., BONIN, B., 2014)

Le fonctionnement d'un RNR-Na ne nécessite pas de modérateur au cœur du réacteur et le fluide caloporteur des RNR-Na (le sodium) respecte plusieurs critères importants tels que :
 → Une forte inertie thermique.
 → une bonne capacité calorifique (entre 97,8 et 881,5°C). (6)
 → Disponible en grande quantité et peu coûteux.

Valeurs du nombre de neutrons produit par absorption de l'U 235 et du Pu 239		
$\eta = \nu \sigma_f / \sigma_a$	Spectre thermique	Spectre rapide
U 235	2,07	1,9
Pu 239	2,10	2,4

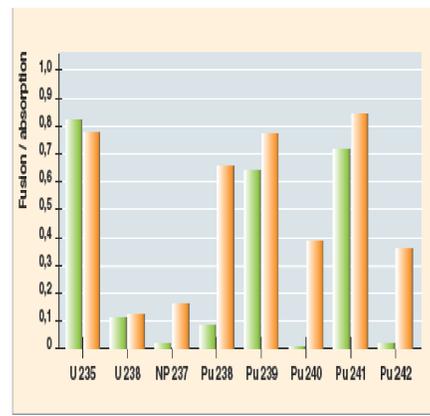


Figure 2a : Comparaison des rapports des sections efficaces de fission sur absorption en REP (vert) et RNR (orange). (source : Lavergne, J.-G.D. de, 2019)

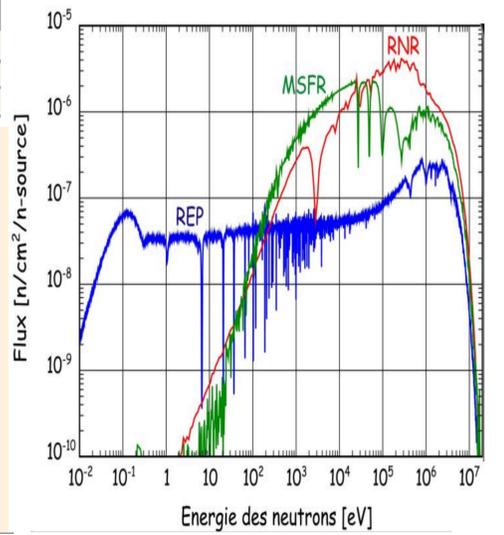
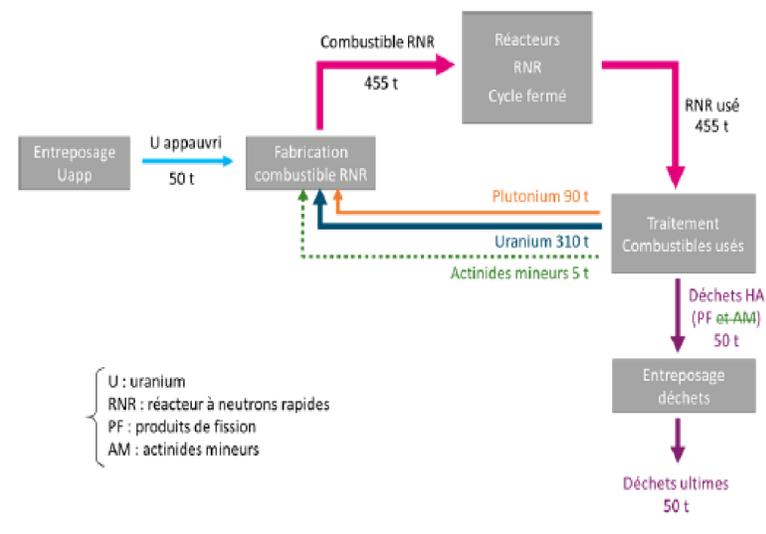


Figure 2b: Comparaison des spectres neutroniques entre un réacteur de type REP et RNR-Na (source : Pillet, D., 2020)

→ En régime thermique, les effets liés au spectre énergétique des neutrons sont majoritairement lents (quelques eV).
 → En régime rapide, où l'absence du modérateur maintient les neutrons dans une marge énergétique de l'ordre de quelques centaines KeV. (4)

Les avantages de l'utilisation des neutrons rapides et l'optimisation des déchets nucléaires d'un RNR-Na



Le RNR-Na a un cycle de combustible fermé qui permet :
 ➤ L'utilisation en quasi-totale de l'uranium et de tous les isotopes du plutonium.
 ➤ Recyclage multiple du combustible et du Pu produit par les REP.
 ➤ La transmutation des éléments radioactifs à vie longue.
 ➤ La réduction de la radio-toxicité des déchets de haute activité. (5)

Figure 3 : le cycle du combustible d'un RNR-Na en mode iso-générateur (source : Roumiguier, L., 2019)

Les inconvénients maîtrisables d'un RNR-Na vis-à-vis de la sûreté

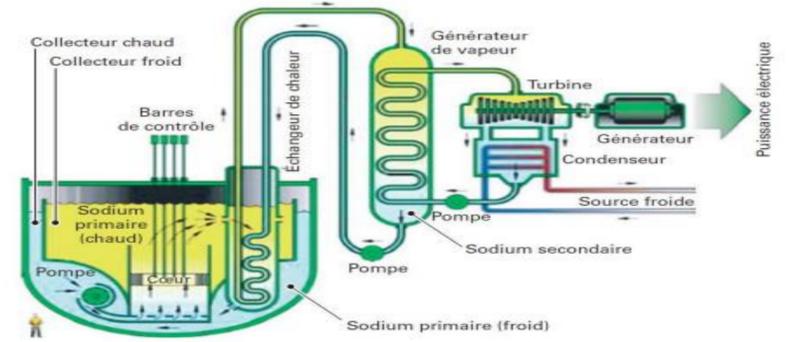


Figure 4 : schéma d'un réacteur à neutrons rapides refroidis au sodium (source : Roumiguier, L., 2019)

Le choix du sodium comme fluide caloporteur représente quelques inconvénients liés à sa réactivité chimique, ces derniers doivent être pris en considération dès la conception du réacteur :
 → Le sodium est opaque, ce qui rend les inspections en service de certaines structures plus difficile.
 → L'effet de vidange du sodium (fuites, ébullition, etc...) peut provoquer une augmentation de la puissance du cœur.
 → La réaction violente du sodium avec l'air et l'eau.
 Pour améliorer la sûreté, l'une des spécificités des RNR-Na est de bénéficier d'un système d'évacuation de la puissance résiduelle d'une grande fiabilité. (1)

Conclusion

La France s'est positionnée sur la conception des RNR-Na en raison de son expérience des réacteurs Phénix et Superphénix, et d'après les études faites on ne peut nier que ce dernier a plusieurs avantages. Cependant la forte réactivité du sodium avec l'eau et l'air impose la conception de systèmes de conversion d'énergie adaptés afin d'éviter les interactions lors du fonctionnement du réacteur ou des opérations de démantèlement et de maintenance. Ce qui met en évidence une question sur la destination du sodium après le réacteur.

Bibliographie

- (1) CEA, 2021. Les réacteurs du futur [WWW Document]. CEA/De la recherche à l'industrie. URL https://www.cea.fr/Pages/domaines-recherche/energies/energie-nucleaire/reacteurs-nucleaires-futur.aspx (accessed 10.4.21).
- (2) GUIDEZ, J., BONIN, B., 2014. Réacteurs nucléaires à caloporteur sodium, E-den, Une monographie de la Direction de l'énergie nucléaire. CEA Saclay; Groupe Moniteur.
- (3) Lavergne, J.-G.D. de, 2019. Nouveau nucléaire : quelles technologies et quelles perspectives de développement en France et dans le monde ? Annales des Mines - Responsabilité et environnement N° 95, 67-74.
- (4) Pillet, D., 2020. Réacteurs de 4^{ème} génération. Éléments d'analyse des technologies et perspectives. Annales des Mines - Responsabilité et environnement N° 97, 112-121.
- (5) Qu'est-ce qu'un réacteur nucléaire de 4^e génération ?, 2020. Sfen. URL https://www.sfen.org/rgn/empreinte-ecologique-reacteurs-4e-generation (accessed 10.4.21).
- (6) Roumiguier, L., 2019. Frittage par Spark Plasma Sintering de céramiques de carbure de bore: modélisation numérique du procédé et optimisation des nano-microstructures pour l'amélioration des performances des absorbants en réacteurs à neutrons rapides 185.