

Introduction:

L'industrie nucléaire a mondialement développé de nouveaux réacteurs nucléaires avec des caractéristiques prometteuses ces dernières années, qui améliorent plusieurs aspects comme la fiabilité, la sûreté ou encore le coût économique. Les Petits Réacteurs Modulaires (Small Modular Reactor) sont un type de réacteur à fission développés récemment, plus petit en taille et en puissance que dans les réacteurs conventionnels. Les SMR permettent d'améliorer grandement les aspects sécuritaires fondamentaux cités précédemment (Locatelli et al., 2014; OCDE, 2016).

La conception d'un petit réacteur modulaire avancé avec un cœur à longue durée de vie a été récemment présenté en Arabie Saoudite et baptisé ALMANAR. Ce poster tachera de présenter brièvement ce réacteur et ce qu'il apporte par rapport aux autres projets SMR en terme d'économie et de sûreté.

Etat des connaissances

- Plusieurs prototypes de SMR à neutrons rapides depuis 2008 (SSTAR en 2008; KAIST en 2015, SPARK en 2018, SMLFR en 2019, ...)
- Utilisation de neutrons rapides, pas besoin de modérateur (Hartant et al, 2020)
- Peu d'utilisations du Plomb comme réfrigérant et réflecteur neutronique

Résultats et interprétations

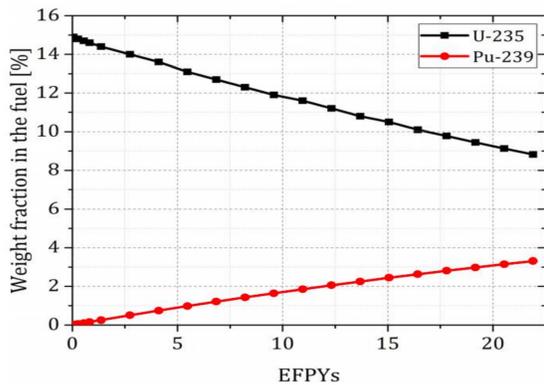


Figure 3: Evolution de la consommation du combustible et de la production du plutonium 239 en fonction du temps (EFPY = Effective Full Power Years) (Hartant et al, 2020)

(A production énergétique constante)

> Diminution progressive de l'²³⁵U, mais augmentation du ²³⁹Pu qui entretient la réaction de fission

> 22 ans de durée effective du combustible

> La température maximale du combustible mesurée est de 610°C et chute rapidement.

> Cette température est bien inférieure au point d'ébullition du plomb, rendant l'augmentation de la pression dans le réacteur virtuellement impossible.

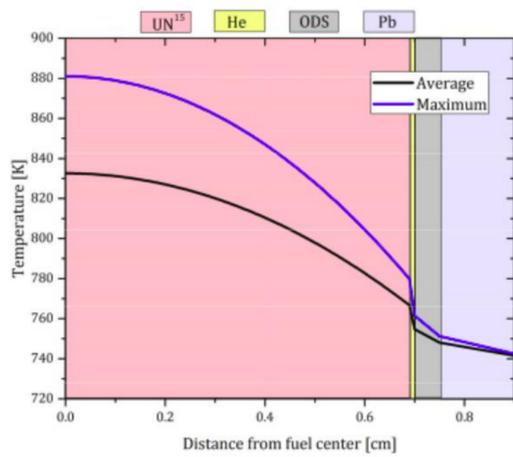


Figure 4: Evolution de la température en fonction de l'éloignement du combustible (Hartant et al, 2020)

Le réacteur ALMANAR

> ALMANAR (Advanced Lead-cooled Modular Nuclear Reactor)

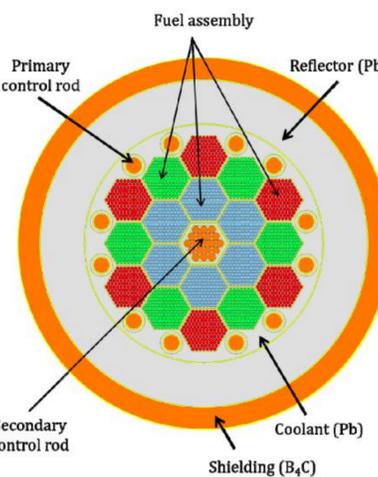


Figure 1: Représentation schématique (vue de haut) du cœur du réacteur ALMANAR (Hartant et al, 2020)

> Réacteur prototype de 45 MégaWatt thermiques

> Combustible U¹⁵N

> Gaine ODS (Oxyds Dispersion Strengthened, ici Bi-Pb-Li)

> Utilisation des neutrons rapides (1-20MeV) pour entretenir la réaction de fission (interaction avec l'uranium 238 fertile).

> Le plomb à la place de l'eau:

- Pour le refroidissement
- Pour la réflexion neutronique (Cinotti, 2010)

> Pourquoi le plomb?

- Faible interaction neutronique (section efficace = 0,001 barn, section de l'eau par comparaison = 0,2 barn)
- Point d'ébullition élevé (1745°C)
- Conductivité thermique élevée (35W/mK, 0,6 pour l'eau)
- Refroidissement par convection
- Solidifie en cas de fuite

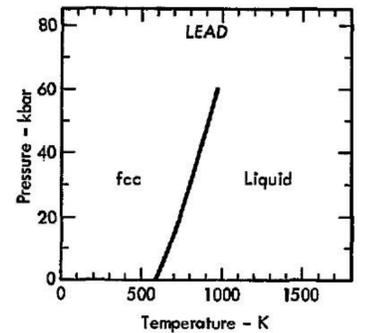
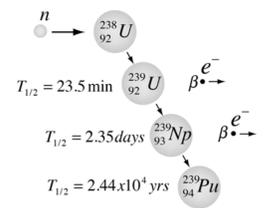


Figure 2: Diagramme de phase du Plomb (Young, 1975)

> Production de ²³⁹Pu via les neutrons rapides (entretien de la réaction de fission) (Cinotti et al, 2010)



Conclusion:

- Le changement du combustible ne serait nécessaire qu'après 22 ans d'exploitation d'après les modélisations (possibilité de produire les radioisotopes fissiles dans le réacteur).
- Le plomb seul possède un coût peu élevé, ne brûle pas à l'air ou explose avec l'eau comme le sodium.
- Ce réacteur a été testé pendant plusieurs mois pour alimenter une université. Le réacteur a montré des résultats convaincants.
- Des calculs supplémentaires sur la réactivité neutronique sont en cours pour optimiser davantage ce type de réacteur à plus grande échelle et puissance.

Bibliographie

Cinotti, L. et al. (2010) Lead-cooled Fast Reactor (LFR) Design: Safety, Neutronics, Thermal Hydraulics, Structural Mechanics, Fuel, Core and Plant Design. Lawrence Livermore National Laboratory, LLNL-BOOK-424323.

Locatelli, G. et al. (2014) 'Small modular reactors: a comprehensive overview of their economics and strategic aspects', progress in Nuclear Energy, Vol. 73, pp.75-85.

OECD (2016) Small Modular Reactors: Nuclear Energy Market Potential for Near Term deployment, NEA No. 7213.

Hartant, D., Alhamad, S., Mahmoud, K., Kurdi, N. & Zubair, M. Neutronics design study of an advanced lead-cooled modular nuclear reactor (ALMANAR). IJNEST (2020).

Subbotin, V., Arnol'dov, M., Kozlov, F. & Shimkevich, A. Liquid-Metal Coolants for Nuclear Power. Atomic Energy 92, 29-40 (2002).

Liquid metal coolants for fast reactors cooled by sodium, lead, and lead-bismuth eutectic. (International Atomic Energy Agency, 2012).

Young, David A. Phase diagrams of the elements. United States: N. p., 1975. Web. doi:10.2172/4010212.