Les réacteurs au thorium : Alternative durable ?

Marie BURDIN

Master 1 Risques Environnementaux et Sûreté Nucléaire

Introduction : En France, les réacteurs destinés à la production d'électricité sont de type « Réacteur à Eau Pressurisée » qui mettent en œuvre de l'uranium enrichi comme combustible. Ces réacteurs assurent la production de **71% de l'électricité française**. Cependant, avec la crise actuelle de l'énergie et les réserves d'uranium qui diminuent rapidement. En effet, d'ici **100 ans,** les ressources en uranium devraient être **totalement épuisées** ("L'épuisement des ressources | EDF FR," 2022). L'utilisation d'une alternative constitue donc un dilemme majeur. Le **thorium**, qui est plus abondant, est un **choix probable**. En Chine, des réacteurs à sels fondus au thorium (LFTR TMSR-LF1) ont déjà vu le jour.

Mais les réacteurs au thorium sont-ils une alternative durable d'un point de vue environnementale par rapport aux réacteurs actuels ?

Historiquement… la filière thorium

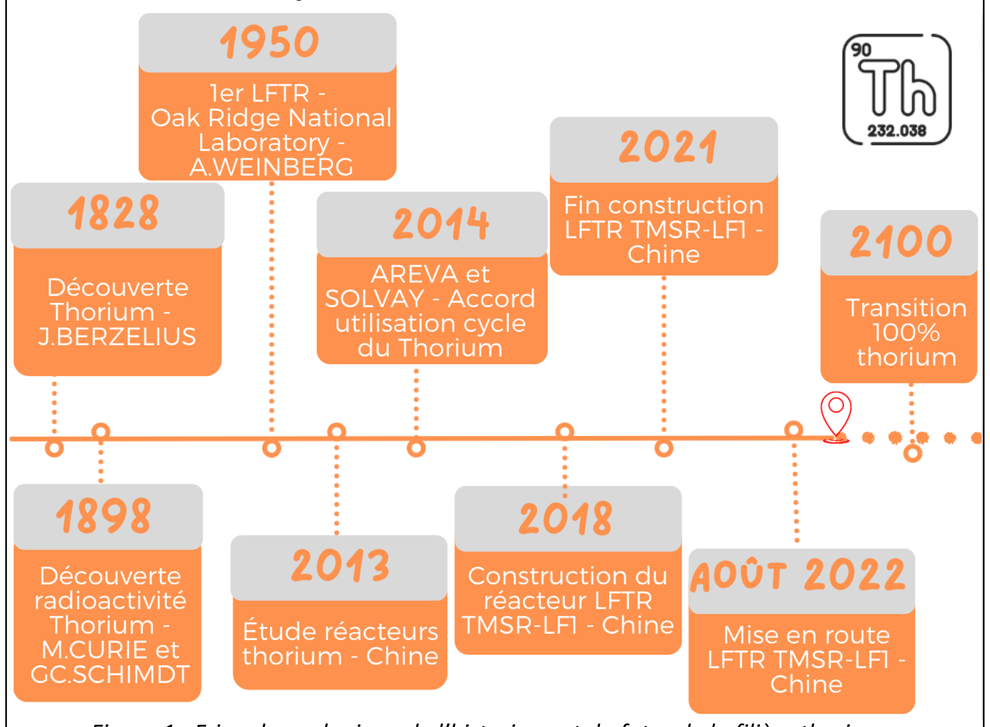

Figure 1 : Frise chronologique de l'historique et du futur de la filière thorium (Mestral, 2011)

LE THORIUM	
Famille	Actinides
Gisements	Extrait sous forme de monazite et/ou de thorite Principaux gisements → Brésil, Inde, Turquie En France → Principaux gisements en Bretagne
Réserves	Réserve mondiale de 7 000 000 de tonnes Réserve nationale française de 8 500 tonnes
Abondance	3 à 4 fois supérieure à celle de l'U
Période	Isotope fertile mais non fissile $1{,}4.10^{10}$ ans
Energie de liaison	7615,03 KeV
Radioactivité	4070 Bq

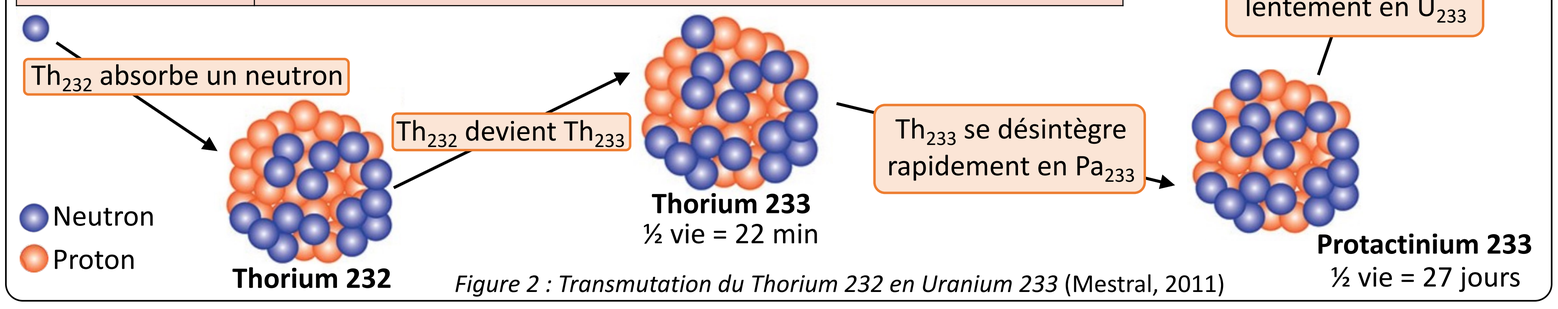

Figure 2 : Transmutation du Thorium 232 en Uranium 233 (Mestral, 2011)

Liquide Fluorure Thorium Reactor - LFTR

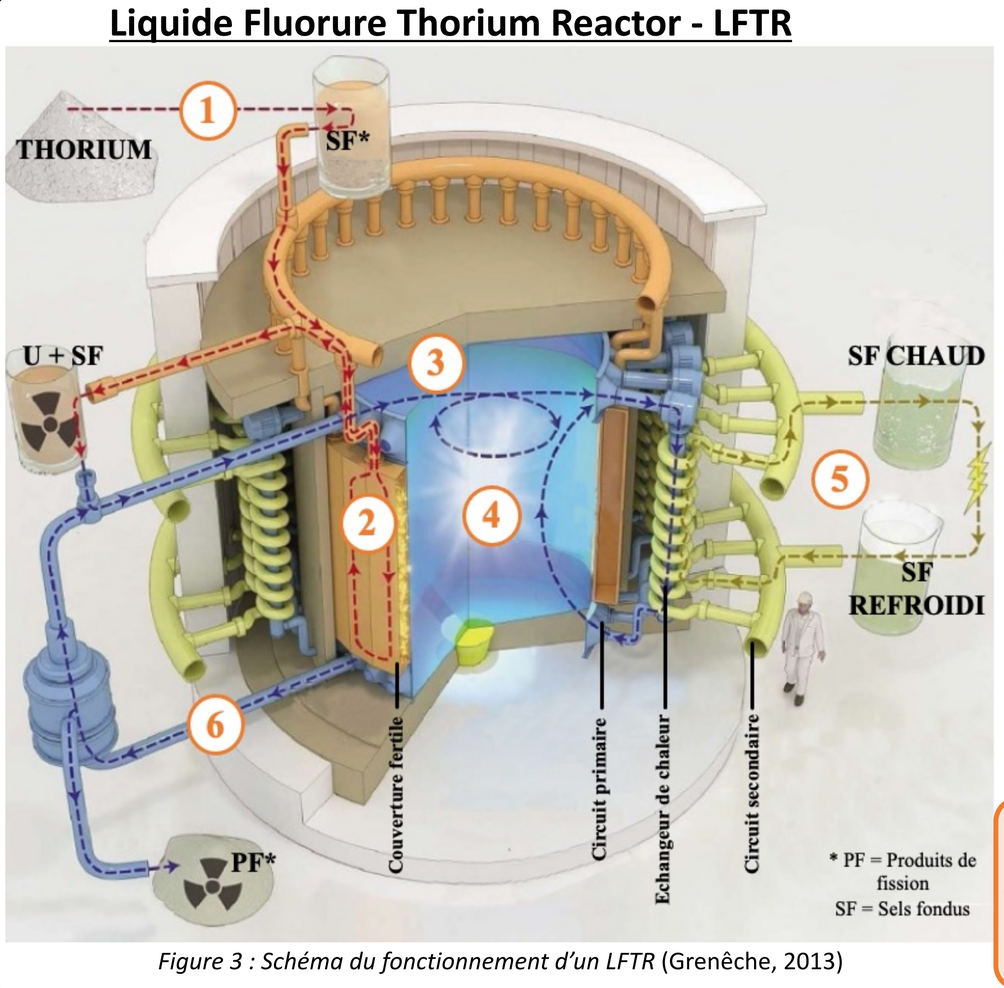

Figure 3 : Schéma du fonctionnement d'un LFTR (Grenêche, 2013)

1. Minerai de thorium dissous dans les sels fondus et introduit dans la couverture du réacteur
2. Bombardement du thorium par les neutrons du réacteur qui se transforme en U_{233} fissile
3. Combustible injecté dans le réacteur
4. Le combustible entre en fission, les atomes U_{233} sont bombardés de neutrons et se fragmentent en produisant de la chaleur
5. A travers l'échangeur de chaleur, le circuit secondaire récupère l'énergie et s'échauffe, il transmet sa chaleur à la turbine à vapeur pour permettre la production d'électricité
6. Le combustible est nettoyé et recyclé, les PF sont extraits et les sels d'uranium sont réintroduits dans la cuve

- Circuit rouge : Transformation du Th_{232} en U_{233}
- Circuit bleu : Recyclage
- Circuit jaune : Production courant électrique

Thorium Molten Salt Reactor – Liquide Fuel 1 (TMSR-LF1)

Le TMSR-LF1 est un **prototype** de **2 MWT** construit à Wu Wei (Gansu, Chine).

- Construction achevée en 2021
- **Mise en route en août 2022**
- **2030** : Prévision construction **nouveau prototype** de **373 MWT**

Réacteur de **quatrième génération** de la famille des « **Molten Salt Reactor** », le réacteur au thorium utilise comme sel combustible un mélange de LiF-BeF2-ZrF4-UF4 et comme caloporteur un sel LiF-BeF2. Il est alimenté par un **mélange de thorium et d'U_{235}** enrichi à 19,75%, et il a une température de fonctionnement maximale de **650°C** et une durée de vie de **10 ans**.

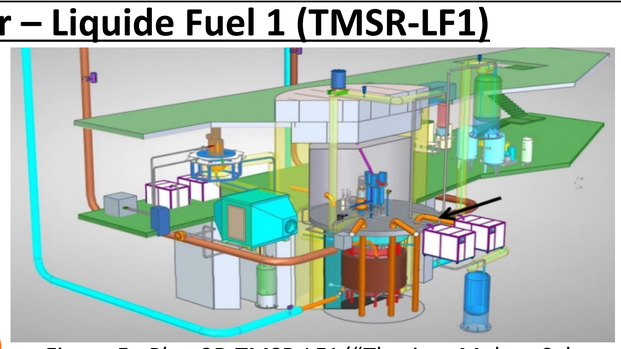

Figure 5 : Plan 3D TMSR-LF1 ("Thorium Molten Salt Reactor Energy System (TMSR) Program update.pdf," n.d.)

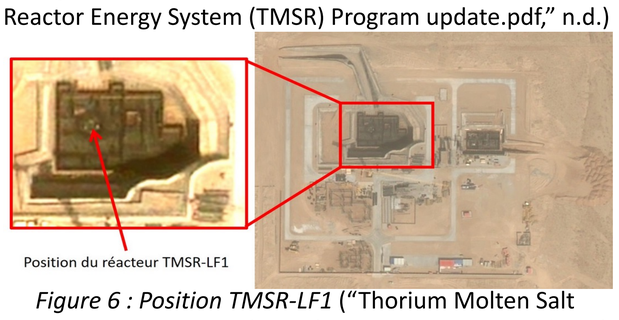

Figure 6 : Position TMSR-LF1 ("Thorium Molten Salt Reactor Energy System (TMSR) Program update.pdf," n.d.)

Depuis sa mise en route, il a généré **4 000 fois moins** de déchets liés à l'extraction du thorium et **10 000 fois moins** de déchets nucléaires, leur radiotoxicité représentera **1/10 000** de celle des déchets uranium.

De plus, le **rendement énergétique serait supérieur** à celui des réacteurs actuels.

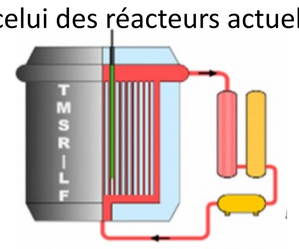

Figure 7 : Plan simplifié ("Thorium Molten Salt Reactor Energy System (TMSR) Program update.pdf," n.d.)

Comparaison de la production de déchets entre les réacteurs au thorium et à eau légères (REP)

Pour la production de la **même quantité d'énergie** :

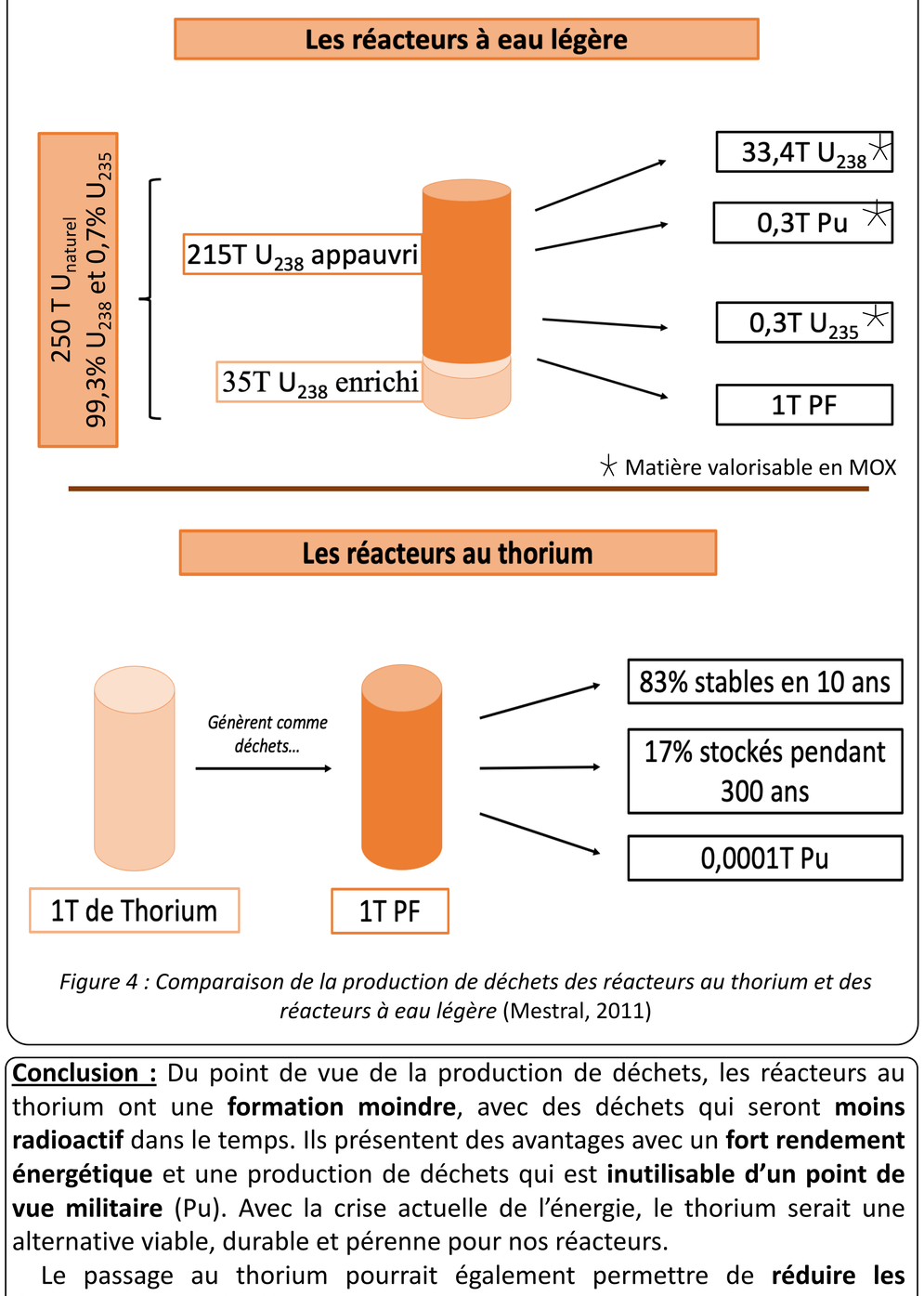

Figure 4 : Comparaison de la production de déchets des réacteurs au thorium et des réacteurs à eau légère (Mestral, 2011)

Conclusion : Du point de vue de la production de déchets, les réacteurs au thorium ont une **formation moindre**, avec des déchets qui seront **moins radioactif** dans le temps. Ils présentent des avantages avec un **fort rendement énergétique** et une production de déchets qui est **inutilisable d'un point de vue militaire** (Pu). Avec la crise actuelle de l'énergie, le thorium serait une alternative viable, durable et pérenne pour nos réacteurs.

Le passage au thorium pourrait également permettre de **réduire les émissions de gaz à effet de serre** d'ici 2050, et le passage au 100% thorium d'ici 2100 permettrait de diminuer considérablement ces émissions.

Cependant, il y a encore **quelques recherches a faire** sur le sujet afin que ce projet soit totalement au point, et notamment la **mise en place d'une filière exclusive au thorium** différente de celle de l'uranium.

Cooper, N., Minakata, D., Begovic, M., Crittenden, J., 2011. Should We Consider Using Liquid Fluoride Thorium Reactors for Power Generation? Environ. Sci. Technol. 45, 6237–6238. https://doi.org/10.1021/es2021318

Grenêche, D., 2013. Cycle du combustible au thorium. Génie Nucl. https://doi.org/10.51257/a-v1-bn3563

Juhasz, A., Rarick, R., Rangarajan, R., 2009. High Efficiency Nuclear Power Plants Using Liquid Fluoride Thorium Reactor Technology, in: 7th International Energy Conversion Engineering Conference. Presented at the 7th International Energy Conversion Engineering Conference, American Institute of Aeronautics and Astronautics, Denver, Colorado. https://doi.org/10.2514/6.2009-4565

L'épuisement des ressources | EDF FR [WWW Document], 2022. URL https://www.edf.fr/groupe-edf/espaces-dedies/l-energie-de-a-a-z/tout-sur-l-energie/le-developpement-durable/l-epuisement-des-ressources (accessed 12.5.22).

LFTR Overview – Energy From Thorium, n.d. URL https://energyfromthorium.com/lftr-overview/ (accessed 10.11.22).

Loiseaux, J.-M., David, S., Heuer, D., Nuttin, A., 2002. La filière thorium, une option intéressante pour le nucléaire du futur. Comptes Rendus Phys. 3, 1023–1034. https://doi.org/10.1016/S1631-0705(02)01373-7

Mestral, J.-C. de, 2011. L'atome vert: le thorium, un nucléaire pour le développement durable. Favre, Lausanne (Suisse).

National Nuclear Safety Administration [WWW Document], n.d. URL http://nnsa.mee.gov.cn/english/ (accessed 11.13.22).

Prosinfo19.pdf, n.d.

Thorium Molten Salt Reactor Energy System (TMSR) Program update.pdf, n.d.

Thorium_Th232_v1.pdf, n.d.