

Centrales au thorium : une alternative crédible à nos centrales classiques

Philippe HUETZ, Dr. en biophysique moléculaire - Jim PRENEL, titulaire d'un Master en évaluation des politiques publiques

"Le réacteur à sels fondus au thorium coche toutes les cases de garanties de sûreté" : Victor Ignatiev, physicien à l'Institut Kurchatov, Moscou

Ce dispositif est "le rêve de tout concepteur, de toute autorité de sûreté, de tout exploitant de centrale nucléaire" : chimistes du CEA, chercheurs d'EDF, 1973

Alvin Weinberg, l'un des découvreurs des actuels réacteurs à eau sous pression, consacra la quasi-totalité de sa carrière à défendre cette idée de particules de combustible dissoutes dans des sels fondus

Le thorium, c'est quoi ?

Le thorium (symbole Th, isotope 232) fait partie de la même famille que l'uranium, mais à la différence de ce dernier il ne peut pas entrer seul en fission, il doit être bombardé de neutrons avant d'être injecté dans un réacteur. Il n'existe donc pas qu'une seule façon d'exploiter la fission. Le thorium est extrait du minerai de thorite, dont les réserves terrestres sont bien mieux réparties que celles d'uranium.

Les recherches sur l'utilisation du thorium à sels fondus ne sont pas nouvelles. En effet, dès la fin des années 1950 dans les laboratoires d'Oak Ridge (Tennessee, Etats-Unis), de prestigieux pionniers de la fission se sont concentrés sur son utilisation.

Début des années 2000, lors d'un forum international, des recherches ont débuté dans le but de créer une nouvelle génération de réacteurs : ceux de quatrième génération. Ces recherches avaient comme objectifs de diminuer l'utilisation en uranium des centrales existantes ainsi que la production des déchets radioactifs. Six projets ont été sélectionnés en 2002 lors de ce forum international parmi plus de 120 concepts explorés par le passé, dont le projet au thorium à sels fondus !

Comment fonctionne une centrale au thorium ? (Réf. 1)

Ce type de réacteur à sels fondus n'a pas le même fonctionnement que celui des centrales actuelles. En effet, le thorium remplace l'uranium comme matière première fissile, le combustible n'est pas solide (crayons) mais liquidifié, et le fluide de refroidissement n'est pas de l'eau sous pression mais un « sirop » de sels fondus à pression ambiante.

D'abord, le thorium va être extrait de la thorite puis dissous dans des sels fondus. C'est sous cette forme qu'il va être introduit dans un circuit entourant la cuve du réacteur (la "couverture fertile"). Il va être transformé en uranium 233 fissile par le bombardement des neutrons qu'émet le réacteur nucléaire. Cette solution va être injectée dans le coeur, la cuve du réacteur, où la quantité de combustible sera alors suffisante pour déclencher une réaction en chaîne : le combustible va entrer en fission, les atomes d'uranium se bombardant mutuellement de neutrons et se fragmentant. Cette réaction va libérer une chaleur importante (800°C). Dans un circuit secondaire, l'énergie va être

récupérée par des sels fondus et la chaleur transmise à une turbine à vapeur pour produire du courant. Le combustible est régulièrement nettoyé et recyclé : les produits de fission qui ralentissent le réacteur sont extraits (xénon, tellurium), tandis que le sel d'uranium est réintroduit dans la cuve.

Des premiers essais dès les années 1950-60 :

Les chercheurs d'Oak Ridge ont mis au point par le passé deux prototypes à sels fondus. Un prototype a été élaboré à l'occasion d'un projet militaire soutenu par l'US Air Force : le but étant de faire carburer des bombardiers stratégiques à l'énergie nucléaire. C'est en 1954 qu'une première expérience fut réalisée au sol sur 100 heures, avec des résultats prometteurs. D'ailleurs dans un rapport de 1962 (adressé au Président Kennedy), cette nouvelle technique nucléaire est présentée comme la solution d'avenir par excellence. Un deuxième prototype plus abouti est construit en 1965 : le MSRE ("Molten-Salt Reactor Experiment"). Le MSRE va être une réussite : il a tourné pendant 13 000 heures en ne rencontrant que des incidents mineurs, et l'extraction des produits issus de la fission s'avère simple.

Les chercheurs d'Oak Ridge vont ensuite travailler, suite à ces réussites, sur un réacteur de 1 000 mégawatts. Malheureusement en 1973 l'Atomic Energy Commission (AEC) va soudainement décider de couper tous les financements sur ce projet, sans raison technique, lequel sera de facto abandonné. Pourquoi ? Pour des raisons de susceptibilité liées aux budgets à l'époque, pour des raisons de concurrence avec un réacteur refroidi au sodium (la façade), mais peut-être aussi pour des raisons militaires, car le thorium se transforme dans le réacteur en uranium 233, ainsi qu'en partie en uranium 232, qui émet des rayonnements gamma très pénétrants : cela rend la fabrication d'une bombe atomique possible, mais avec une mise au point délicate et périlleuse... En effet, un réacteur à thorium ne produit pas de plutonium (voir références 1 et 2).

Quels avantages pour ces réacteurs au thorium ?

Les avantages de ce type de centrales ne sont ni plus ni moins d'éviter tous les inconvénients actuels du nucléaire. Effectivement, le réacteur à sels fondus au thorium garantit une sûreté plus importante : ce dispositif permet d'adapter sans cesse la quantité de combustible présent dans le circuit, contrairement à nos réacteurs actuels qui contiennent dès le départ une réserve de combustible importante, qui n'est pas sans risques. De plus le liquide de thorium est insensible aux radiations intenses tandis que les barres à l'uranium se fragilisent rapidement et doivent donc être régulièrement remplacées (à la vitesse d'une barre toutes les cinq minutes).

Le thorium permet une véritable économie des ressources : cet élément est quatre fois plus abondant sur Terre que l'uranium, ce qui assure son approvisionnement à très long terme, et le minerai est entièrement utilisable. De plus, il a un meilleur rendement.

Les ressources en thorium sont très abondantes : le thorium est quatre fois plus abondant sur Terre que l'uranium, et le minerai de thorium peut être utilisé entièrement. Dans un rapport de l'Autorité de Sûreté Nucléaire française (ASN), publié le 25 avril 2013 (voir réf. 3), il est dit :

"En 2012 la France a consommé 489,5 Twh d'électricité. À ce niveau de consommation, les 8500 tonnes dans la réserve française pourraient fournir les besoins en électricité de la France pendant

190 ans. On n'aura pas besoin d'aller chercher le thorium par extraction minière pendant un moment ! Mais quand ce sera nécessaire, le coût et l'impact sur l'environnement seront négligeables."

En 2020, la consommation française en électricité s'élevait à 2571 Twh, soit 5 fois plus qu'en 2012. De quoi tenir pendant 38 ans donc, sachant que l'abondance dans la croûte terrestre du thorium est équivalente au plomb.

La température de fonctionnement du réacteur au thorium lui permet un meilleur rendement (40 %, contre 33 % pour les unités actuelles). **Le rendement serait d'environ 1 TWh d'électricité pour 91 kg de thorium**, soit 234 tonnes de thorium nécessaires par an avec une consommation telle qu'en 2020. Si l'on divise 8500 par 234 on obtient environ 36 ans, ce qui correspond bien à l'évaluation précédente. Ceci bien sûr sans compter ce que la France a pu extraire de son territoire depuis 2012.

Contrairement aux réacteurs actuels, **le cœur de ces réacteurs au thorium ne pourra plus s'emballer**, la quantité de combustible pouvant être ajustée au fur et à mesure. Un meilleur gage de sûreté donc.

De plus, les risques de dégradation ou d'explosion sont écartés. En effet les radiations n'ont pas d'effet mécanique sur ce combustible liquide, contrairement aux crayons solides de combustible des réacteurs actuels, qui eux se fragilisent sous l'effet du bombardement neutronique. Pire encore dans nos réacteurs classiques, en cas de perte soudaine du liquide de refroidissement, les gaines en zirconium entourant les crayons produisent de grandes quantités d'hydrogène explosif. Souvenons-nous de cette image terrible de l'éjection de la coupole d'un des réacteurs de Fukushima liée à l'accumulation de cet hydrogène !

Si les centrales classiques connaissent parfois des problèmes de pression, a contrario le circuit à sels fondus fonctionne à pression ambiante : aucun problème de surpression ne peut survenir. Il n'y a plus de risque de brèches laissant échapper des produits radioactifs.

Autre avantage considérable : lorsqu'il y a une panne, le réacteur au thorium ne connaît pas de problème en matière de refroidissement. Le combustible, qui est liquide, est vidangé par gravité dans quatre réservoirs, réglant ainsi la question de l'évacuation de la chaleur, alors que dans les réacteurs d'aujourd'hui, les crayons d'uranium continuent d'émettre une seconde après l'arrêt de la réaction en chaîne en émettant 7 % de la puissance thermique initiale (plus précisément ce ne sont pas moins de 500 litres d'eau qui vont bouillir pendant cette seconde). La conséquence en cas de panne pour nos réacteurs à l'uranium est que si les pompes électriques de refroidissement tombent en panne, ils entrent en fusion avec un risque d'explosion. Ce scénario Tchernobyl était à un cheveu de se produire en France lors de la tempête du siècle à la centrale nucléaire du Blayais au bord de la Gironde fin décembre 1999 ! (Voir documentaire de France 2 "Affaires sensibles" du 1^{er} nov. 2021, tellement sensible qu'il n'est plus visionnable en ligne, sauf sur le site de l'INA (réf. 4).)

Concernant les déchets nucléaires dans les centrales au thorium : ils sont beaucoup moins importants. En effet, le thorium produit **jusqu'à 10 000 fois moins de déchets dits « transuraniens »**, lesquels décroissent très lentement en radioactivité et restent dangereux pour une centaine de milliers d'années (un problème majeur de nos réacteurs classiques). De plus, **les déchets à vie longue peuvent être réinjectés et donc en partie recyclés.** (Cela était le principe du réacteur Superphénix, sabordé par Lionel Jospin sous la pression des écologistes, et du programme Astrid, abandonné en catimini en août 2019 par Emmanuel Macron. Voir par ex. l'interview récente de Loïk Le Floch-Prigent sur Europe 1 le 2 mars 2023, Réf. 5 et l'article de Transitions et Energies du 20 octobre 2022, Réf. 6.)

La France se doit d'être à la pointe dans le domaine nucléaire, elle doit se doter d'une vraie stratégie plus efficace et plus sûre. Ces centrales au thorium seraient une alternative extrêmement prometteuse face au vieillissement de notre parc nucléaire actuel et à leurs risques inhérents, et bien

moins coûteuse que les EPR (coût jusqu'à la mise en service de la première centrale EPR en France : 19,1 milliards d'euros, coût estimé au départ : 3,3 milliards d'euros, 1er chargement du combustible au 2ème trimestre 2023). Elles pourraient devenir une des ambitions majeures de la France pour faire baisser considérablement la facture de l'énergie et s'assurer une indépendance énergétique totale sur le très long terme (il y a largement suffisamment de thorium sur le territoire français et dans nos réserves). Il faudrait donc urgemment relancer la recherche et le développement dans ce domaine.

Pour conclure :

- Grande abondance de thorium sur Terre comparativement à l'uranium, et suffisamment de réserves déjà extraites en France pour une quarantaine d'années !
- Type de réacteur à haut rendement, "régénérateur" : il recycle ainsi sans arrêt son combustible. En ce qui concerne les déchets radioactifs à vie longue : selon Daniel Heuer, du LPSC de Grenoble, "en raison de la place occupée par le thorium dans le tableau périodique des éléments, il est beaucoup moins susceptible de former par capture neutronique les fameux 'éléments transuraniens' dangereux pour des dizaines de milliers d'années". Quasiment pas de déchets radioactifs donc. Cerise sur le gâteau : possibilité de brûler le plutonium militaire et autres déchets des réacteurs actuels !
- Dangerosité de cette technologie extrêmement faible : le réacteur n° 2 de Three Mile Island n'aurait pas fondu, le réacteur n° 4 de Tchernobyl n'aurait pas explosé, la centrale de Fukushima ne serait pas devenue incontrôlable, l'incident majeur sur notre centrale du Blayais n'aurait pu se produire !
- Non-prolifération (production d'uranium 233 et 232).

Le thorium à sels fondus coche donc tous les avantages, mais peut-être pas pour les gigantesques lobbies à l'œuvre, face à l'errance politique de ces dernières décennies, pour les écologistes ou pour les militaires... En effet, un réacteur à thorium ne produit pas de plutonium, utilisé pour fabriquer des bombes (voir l'article de Forbes, réf. 2).

Des physiciens du CNRS à Grenoble ont, il y a une dizaine d'années déjà, tracé le dessin d'un réacteur thorium/sels fondus (1 500 MW), le plus abouti et le plus prometteur, et nettement plus fiable que celui d'Oak Ridge. Alors ? En attendant, l'Académie des sciences de Shanghai a déjà depuis plus de 10 ans investi 250 millions de dollars sur cette technologie et prévoit un réacteur nucléaire au thorium opérationnel d'ici 2030... Pendant que la France trace des plans, les autres font.

Références :

- 1- Article de Science & Vie n°1130 (26 oct. 2011, mis à jour le 3 mai 2019).
- 2- <https://www.forbes.com/sites/energysource/2012/02/16/the-thing-about-thorium-why-the-better-nuclear-fuel-may-not-get-a-chance/> (en anglais).
- 3- <https://fissionliquide.fr/2013/06/08/la-reserve-francaise-de-thorium/>.
- 4- <https://madelen.ina.fr/programme/le-scenario-dun-tchernobyl-francais>
- 5- <https://www.youtube.com/watch?v=QocLTcx0ai8>
- 6- <https://www.transitionsenergies.com/france-a-presque-abandonne-surgeneration-avenir-nucleaire/>

Et voir également :

- Le livre de Michel Chatelier, Patrick Criqui, Daniel Heuer et Sylvestre Huet, Nucléaire : quels scénarios pour le futur ? Eds la ville brûle 2012.

- Quelques vidéos sur les sels de thorium fondus (2012) :

<https://www.youtube.com/watch?v=M4MgLixMrz8>

<https://www.youtube.com/watch?v=Z0G8QxaYRds>

et récemment :

<https://www.youtube.com/watch?v=-eqCVCDIXV0>.