



Le point de vue de HEXANA

HEXANA est une entreprise française essaimée du CEA, qui conçoit une plateforme énergétique destinée à coproduire de la chaleur à haute température pour l'industrie et de l'électricité flexible pour répondre aux enjeux d'intégration des énergies renouvelables. Cette plateforme est constituée d'une paire de réacteurs à neutrons rapides refroidis au sodium, couplée à un dispositif de stockage thermique par sels fondus.

Contact : HEXANA

135 Rue Émilien Gautier
13290 Aix-en-Provence
T +33 4 58 28 01 47
Site Internet :
<https://www.hexana.fr/>

EN BREF.

Les réacteurs nucléaires à neutrons rapides sont indispensables pour fermer le cycle du combustible nucléaire, c'est-à-dire produire de l'énergie (électricité et chaleur) bas carbone exclusivement à partir de matières produites en réacteur et issues du retraitement du combustible usé, en se passant d'importations d'uranium. Ces réacteurs permettent également d'envisager de nouvelles applications au service de la décarbonation profonde de notre économie : chaleur pour l'industrie, production de carburants de synthèse, etc.

Le MOX – dont newcleo prévoit la production dans une nouvelle usine dans l'Aube – est un combustible pour lequel la France dispose d'une compétence historique. Il permet d'ores et déjà de valoriser dans les réacteurs actuels une partie des matières issues du retraitement du combustible usé, afin de réduire la consommation d'uranium naturel importé ainsi que les volumes de déchets ultimes. Le MOX constitue le combustible idéal pour les réacteurs à neutrons rapides, en ce qu'il permet d'en améliorer les performances tout en autorisant une valorisation des matières déjà présentes dans le cycle fortement accrue par rapport aux réacteurs actuels. Enfin, exploiter un parc de réacteurs à neutrons rapides nécessitera de diversifier l'approvisionnement en MOX afin de le sécuriser, ce que se propose de faire newcleo au travers de son projet d'usine dans l'Aube.



Enjeu des réacteurs à neutrons rapides pour la France

Les réacteurs actuellement exploités en France n'utilisent qu'environ 1% de l'uranium extrait de la mine : l'isotope 235 fissile (présent à 0,7% dans l'uranium naturel) et certains isotopes du plutonium (impairs principalement) produits en réacteur à partir de capture neutronique par l'uranium 238 fertile (mais non fissile).

Cette limite des réacteurs à neutrons thermiques contraint à maintenir une dépendance aux importations d'uranium, tout en empêchant de valoriser pleinement les matières présentes sur le territoire, qu'il s'agisse des assemblages combustibles MOX usés (dont la qualité isotopique du plutonium rend le réemploi complexe en réacteurs à neutrons thermiques) comme de l'uranium appauvri.

Or, la sécurité d'approvisionnement en uranium peut se trouver fragilisée dans les prochaines décennies par la concentration de l'extraction dans certains pays géographiquement proches ou relevant de la sphère d'influence de grandes puissances disposant d'un parc de réacteurs important (donc de besoins significatifs en uranium). Ces risques proviennent moins de la rareté géologique de l'uranium (qui est un minerai relativement abondant dans la croûte terrestre) que de paramètres géopolitiques dans un monde de plus en plus incertain.

La réduction de la dépendance française et européenne à l'uranium importé est donc impérative pour sécuriser l'approvisionnement. *A minima*, la France et l'Europe doivent être en mesure de réduire cette dépendance par une politique de fermeture du cycle du combustible – consistant à fortement accroître la valorisation du plutonium produit en réacteur et issu du retraitement des combustibles nucléaires usés – en cas de poursuite de l'aggravation de la fracturation géopolitique.

Le développement d'une filière de réacteurs à neutrons rapides (RNR) est donc indispensable pour valoriser pleinement les matières dont la France dispose sur son territoire, ce qui présentera le double avantage de :

- réduire sa dépendance à l'uranium importé tout en réduisant encore les impacts environnementaux et l'empreinte carbone déjà très faibles de l'énergie nucléaire (les RNR ne nécessitant ni extraction minière, ni enrichissement de l'uranium) ;
- éviter de devoir *in fine* requalifier en déchets ultimes (et gérer comme tels) des matières énergétiquement valorisables.

À un niveau de puissance installée comparable au niveau actuel, un parc de RNR permettrait ainsi à la France de se passer d'importations d'uranium pendant plusieurs milliers d'années, en s'appuyant uniquement sur les inventaires de combustible usé et d'uranium appauvri présents sur le territoire.

Enjeu de la production de MOX

Le MOX est un combustible mélangeant oxydes d'uranium appauvri et de plutonium, dans lequel l'énergie est apportée par le plutonium. L'uranium appauvri ne sert que de support, même si une partie de l'uranium 238 (extrêmement majoritaire dans l'uranium appauvri) qu'il contient est convertie en plutonium 239 fissile lors du passage en réacteur.

Le combustible MOX est produit industriellement depuis les années 70, en Belgique (où la production a cessé en 2005) et en France dans l'usine Orano de Melox. Aujourd'hui, 10% de l'électricité française est produite à partir de MOX, employé dans 22 réacteurs de 900 MW dans lesquels il représente environ un tiers du cœur (le reste étant du combustible à l'uranium enrichi). EDF envisage en outre une extension du moxage aux paliers P4 et P'4 de 1300 MW.

Cependant, en réacteur à eau pressurisée, le plutonium ne peut pas être recyclé à l'infini. Sa qualité isotopique (proportion d'isotopes impairs par rapport aux isotopes pairs) se dégrade fortement, rendant le plutonium de moins en moins fissile et de plus en plus absorbant. En ayant une probabilité de fission supérieure à celle de capture stérile pour l'ensemble des isotopes du plutonium, les réacteurs à neutrons rapides surmontent cette difficulté en permettant le multirecyclage sans limite du plutonium, et sa régénération par fertilisation d'uranium 238, par exemple dans des couvertures fertiles. Les couvertures fertiles sont des assemblages ne contenant que de l'uranium appauvri, disposés en périphérie du cœur pour capturer les neutrons quittant le cœur afin de convertir l'uranium 238 en plutonium 239 fissile.

Les RNR présentent donc le double avantage de permettre le multirecyclage sans limite du plutonium et de produire plus de neutrons que les réacteurs à neutrons thermiques, qui permet de régénérer le plutonium par fertilisation d'uranium 238. Cependant, ils ont également un inconvénient, qui réside dans la plus faible probabilité d'absorption (préalable à la fission) d'un neutron par les isotopes fissiles. Ce caractère doit être compensé par un accroissement de la densité de matière fissile en réacteur, donc de la concentration en plutonium dans le MOX.

Développer des RNR nécessite donc de construire de nouvelles usines de production de MOX, ayant la capacité de produire du MOX avec une teneur en plutonium plus élevée (jusqu'à 30%) afin de répondre aux besoins de ce type de réacteur. La future usine de MOX prévue par Orano à la Hague aura cette capacité.

Cependant, un autre aspect doit être pris en compte. Les réacteurs à eau pressurisée moxés peuvent être aisément « démoisés » en cas de besoin, c'est-à-dire rechargés avec des assemblages combustibles à l'uranium enrichi plutôt qu'au plutonium. Cette propriété permet de sécuriser l'approvisionnement en combustible dans l'éventualité d'une rupture d'approvisionnement en MOX (indisponibilité des capacités de production de MOX ou de retraitement du combustible usé permettant d'isoler le plutonium entrant dans la composition du MOX).

Cependant, il est bien plus complexe de « démoiser » des RNR, du fait de la concentration bien plus élevée en matière fissile requise par ce concept. Cela suppose d'avoir accès à de l'uranium enrichi à des taux qui peuvent être difficilement accessibles dans le secteur civil (au-delà de 20%) ou pour lesquels il existe très peu de fournisseurs dans le monde (entre 10 et 20%). La limite réaliste à 20% d'enrichissement peut contraindre, selon les concepts, la concentration en matière fissile à un niveau inférieur à ce qui est permis par le MOX. Ainsi, outre la question de l'approvisionnement en uranium enrichi < 20%, le démoissage de RNR peut entraîner une réduction des performances (durée de cycle, puissance).

Exploiter un parc de RNR, quels qu'ils soient, nécessite donc de diversifier l'approvisionnement en MOX afin de ne pas dépendre d'une unique usine dont l'indisponibilité pourrait compromettre la continuité du fonctionnement des réacteurs. Cette diversification doit être construite en Europe avec des acteurs européens et il s'agit d'un élément central de toute politique de fermeture du cycle du combustible nucléaire et plus largement de déploiement de réacteurs à neutrons rapides.

Le projet d'usine de MOX porté par newcleo dans l'Aube s'inscrit dans ce cadre. Il permettrait d'accroître et de diversifier géographiquement la production de MOX RNR, sécurisant ainsi l'approvisionnement ce qui lèvera une contrainte majeure au déploiement de RNR, qu'il s'agisse du projet porté par newcleo comme des projets portés par d'autres acteurs émergents (dont HEXANA) ou de futurs RNR filière de forte

puissance destinés à fermer le cycle du combustible.

Rôle des acteurs émergents privés

La France et l'Europe amorcent une période d'investissements massifs dans l'énergie nucléaire, pour débiter le remplacement du parc historique (programme EPR), décarboner de nouveaux usages (chaleur industrielle et urbaine, électricité flexible...) et fermer le cycle du combustible. Ces investissements nécessiteront une collaboration entre public et privé afin de ne pas faire porter l'ensemble de la charge sur le secteur public, ce qui n'apparaît pas réaliste en l'état des finances publiques.

Cette approche s'apparente à celle qui prévaut dans le secteur de la défense, secteur stratégique et souverain s'il en est, dans lequel privé et public collaborent autour de grands programmes nationaux au service de la nation.

Les acteurs émergents peuvent également apporter une innovation technologique et/ou d'usage afin d'étendre les services rendus par l'énergie nucléaire à de nouvelles applications, au service de la défossilisation de notre économie.

CONCLUSION

La France et l'Europe doivent être en mesure de réduire leur dépendance à l'uranium naturel importé. Cela passe par la mise en œuvre d'une stratégie de fermeture progressive du cycle du combustible nucléaire passant par l'accroissement de la valorisation de matières issues du retraitement dans les réacteurs actuels (valorisation dont le potentiel reste limité) et le développement d'un parc de réacteurs à neutrons rapides ayant la capacité de valoriser presque sans limite le plutonium produit en réacteur tout en le régénérant par fertilisation d'uranium 238. Si des débats légitimes existent quant à la technologie de réacteur à neutrons rapides à développer, leur modèle économique et niveau de puissance, la nécessité de concevoir et construire de tels réacteurs en France apparaît aujourd'hui clairement.

Fermer le cycle du combustible constitue cependant un objectif systémique pour la filière nucléaire, qui doit être abordé comme tel. La construction d'usines du cycle du combustible adaptées et diversifiées afin de sécuriser les approvisionnements constitue une brique centrale d'une telle stratégie. Le projet d'usine de MOX de newcleo peut contribuer à répondre à cet enjeu.

—