

Approvisionnement en uranium et métaux stratégiques pour le nucléaire : dépendance ou faux problème ?

Par Philippe KNOCHE
Directeur général d'Orano

L'indépendance énergétique d'un pays est un facteur-clé de sa souveraineté. Dans le nucléaire, la France a développé une filière industrielle nationale complète qui lui permet de maîtriser la conception et la construction de ses propres installations de production d'électricité, d'enrichissement d'uranium et de fabrication du combustible, en passant par le traitement et le recyclage, ainsi que la gestion des déchets. Concernant l'approvisionnement en uranium, qui est une ressource abondante, la France maîtrise son approvisionnement notamment grâce à Orano qui dispose de plusieurs mines sur trois continents. Grâce à sa maîtrise de l'ensemble de la filière, notamment en ce qui concerne l'enrichissement de l'uranium et le recyclage des combustibles nucléaires usés, notre pays dispose sur son territoire de matières constituant une réserve stratégique. Les matières nucléaires peuvent également être utilisées dans d'autres domaines importants pour la souveraineté de notre pays, comme l'espace ou le médical.

L'indépendance énergétique de notre pays est un facteur-clé de souveraineté. Les Français y restent très attachés. Le développement de la filière nucléaire française pour la production d'électricité y contribue largement depuis les années 1960.

Le nucléaire, un élément-clé de souveraineté

Près de cinquante ans après le grand choc pétrolier des années 1970, les Français confirment l'importance du nucléaire en termes de souveraineté. Dans un sondage réalisé cette année par Orano avec l'Institut BVA, l'argument prioritaire en faveur du nucléaire reste pour les Français l'indépendance énergétique du pays (46 %) devant la création d'emplois (39 %) et même l'absence de rejet de CO₂ (34 %). L'électricité est, à juste titre, considérée par nos concitoyens comme un produit stratégique indispensable au développement de leur pays et à leur vie quotidienne et qui ne doit pas être soumis à des aléas géopolitiques pouvant impacter notre sécurité d'approvisionnement. Le nucléaire y répond, grâce notamment à un approvisionnement sécurisé en uranium, tout comme il répond à un autre enjeu également crucial : la lutte contre le dérèglement climatique. Dans ce domaine également, la France fait figure de très bon élève avec une électricité décarbonée à plus de 95 %.

L'uranium, une ressource abondante et répartie sur les cinq continents

Le monde dispose d'importantes réserves d'uranium, on ne va donc pas en manquer. Les ressources connues en uranium représentent l'équivalent de cent ans de consommation mondiale, et même deux cent cinquante ans si l'on inclut les ressources estimées (source : AEN/OCDE). Et surtout, les gisements en uranium ne sont pas concentrés dans une seule région du monde. Les gisements les plus importants se trouvent en effet répartis sur les cinq continents : Afrique (Niger et Afrique du Sud), Asie (Kazakhstan, Ouzbékistan, Chine et Mongolie), Europe (Ukraine et Russie), Océanie (Australie) et Amérique (Canada, Brésil et États-Unis). Près de 44 % des ressources en uranium se situent dans les pays de l'OCDE (contre seulement 15 % pour le pétrole et 10 % pour le gaz), 22 % dans les BRICS (Brésil, Russie, Inde, Chine et Afrique du Sud) et 34 % dans le reste du monde. Cette dispersion géographique est un atout permettant de limiter les risques géopolitiques liés à cette ressource.

L'utilisation du nucléaire et donc de l'uranium a également un autre avantage très important en termes de souveraineté : le fait que le prix final de l'électricité provenant du nucléaire soit très peu dépendant du prix de la matière première, en l'occurrence l'uranium. Celui-ci représente

moins de 5 % du coût cash de la production de l'électricité française (contre plus de 60 % pour le gaz), ce qui rend la production électronucléaire moins soumise aux fluctuations des prix des matières premières et donc plus prédictible.

La France maîtrise son approvisionnement...

Avec Orano, qui fait partie du Top 3 mondial pour la production d'uranium, la France maîtrise son approvisionnement. Orano dispose de cinq sites miniers sur trois continents (un site au Kazakhstan, deux au Niger et deux au Canada), au sein desquels il est opérateur et/ou actionnaire. Le groupe a produit près de 8 000 tonnes d'uranium en 2018 et assure près de 40 % de la fourniture d'EDF. La production d'Orano se répartit ainsi : près de 45 % au Kazakhstan, 30 % au Canada et 25 % au Niger. Orano dispose également d'un « pipe » de projets miniers pouvant prendre la succession des mines actuelles, lorsque les gisements seront épuisés. C'est le cas du site d'Imouraren au Niger, de Zuuvch Ovoo en Mongolie, de Trekkoje en Namibie, mais également de Midwest et McClean au Canada.

Enfin, pour garantir de la visibilité à ses clients notamment en termes de sécurité d'approvisionnement, Orano poursuit sa politique d'exploration en quête de nouveaux gisements. Ces recherches se déroulent à la fois au Canada, en Mongolie, au Kazakhstan ainsi qu'au Niger. Récemment, Orano a signé un accord avec un nouveau pays afin de procéder à des travaux d'exploration, il s'agit de l'Ouzbékistan. Actuellement, le groupe dispose de 142 000 tonnes d'uranium en réserve, soit de l'ordre de vingt années de production.

... et toutes les techniques minières

Comme pour le reste des activités nucléaires, la France, via Orano, maîtrise toute la chaîne de production minière de l'uranium, que ce soit au niveau de l'extraction ou du traitement du minerai. Orano opère ou est actionnaire de mines à ciel ouvert (au Niger) pour exploiter des gisements peu profonds, mais également souterrains (au Niger à nouveau, et au Canada), si les gisements sont situés

In Situ Recovery (ISR)

Le principe de récupération *in situ* consiste à injecter par des puits une solution de lixiviation dans le gisement. La solution (acide dilué et eau) dissout l'uranium en passant à travers le gisement, puis est pompée et remontée jusqu'à la surface. La solution chargée en uranium est ensuite acheminée par un pipeline jusqu'à l'usine où l'uranium est extrait et fixé sur des résines échangeuses d'ions.

Les solutions sont ensuite enrichies en acide et réinjectées dans les puits.

Il s'agit d'un circuit fermé. Cette technique se pratique uniquement lorsque le minerai est situé entre des couches de sol étanches, comme au Kazakhstan ou en Mongolie.

en profondeur. Le groupe maîtrise également la technologie de récupération *in situ* (ISR) pour les gisements à faible teneur ou des technologies permettant de récupérer l'uranium dans des gisements à très haute teneur comme au Canada (jusqu'à 200 kg d'uranium par tonne de roche).

C'est également le cas pour le traitement du minerai. Les usines opérées par le groupe (Niger, Canada) peuvent, après concassage :

- soit traiter des minerais à basse teneur (lixiviation statique : le minerai une fois préparé est stocké en tas sur une aire étanche et est arrosé avec une solution chimique adaptée comme à SOMAÏR au Niger),
- soit des minerais à haute teneur (lixiviation dynamique). Elle s'effectue en milieu liquide dans des cuves de l'usine, comme à Cominak et McClean Lake.

L'uranium est ensuite extrait des solutions par un procédé de précipitation. Il est purifié, séché et calciné pour obtenir le produit fini, un concentré d'uranium naturel

Des réserves stratégiques disponibles

En ayant développé sur le territoire national les capacités nécessaires à l'enrichissement de l'uranium et au recyclage des combustibles usés, la filière nucléaire française a ainsi mis à disposition de la nation des réserves stratégiques en uranium.

Les opérations d'enrichissement de l'uranium réalisées dans l'usine Georges Besse II d'Orano (Drôme) conduisent à la production d'uranium appauvri en uranium-235. C'est une matière recyclable qui a un potentiel énergétique important : 300 g d'uranium appauvri ont la même capacité énergétique qu'une tonne de pétrole. Selon l'inventaire national des matières et déchets radioactifs réalisé par l'ANDRA en 2018, cette réserve stratégique correspondait à 310 000 tonnes d'uranium appauvri à la fin 2016. Ils sont la propriété d'Orano et sont entreposés sous une forme solide et stable sur les sites de Tricastin (Drôme) et de Bessines (Haute-Vienne). Outre son recyclage actuel dans le combustible Mox (mélangé avec du plutonium), l'uranium appauvri peut être ré-enrichi pour obtenir du combustible UNE (uranium naturel enrichi). Ce ré-enrichissement a déjà été effectué par le passé. Les 310 000 tonnes d'uranium appauvri peuvent permettre de produire de l'ordre de 60 000 tonnes d'uranium naturel, soit l'équivalent de sept à huit ans de consommation d'uranium du parc français actuel. L'uranium appauvri pourrait également être valorisé dans les réacteurs de quatrième génération.

En aval du cycle, le recyclage des combustibles usés permet également de disposer de réserves stratégiques. Le recyclage du plutonium issu des combustibles usés d'EDF permet d'ores et déjà de produire 10 % de l'électricité nucléaire française. L'uranium issu de ces mêmes combustibles est également une matière recyclable et donc une réserve stratégique. De 1994 à 2013, EDF, qui a la propriété de l'uranium issu de ses combustibles usés, a recyclé 4 000 tonnes dans quatre réacteurs de la centrale de Cruas. Cela a permis une économie équivalente d'uranium naturel. EDF, qui dispose de plus de 20 000 tonnes



Photo © Ian HANNING/REA

Salle de remplissage des conteneurs d'hexafluorure d'uranium de l'usine de conversion d'uranium Comurhex II Orano sur le site du Tricastin, septembre 2018.

« L'uranium appauvri est entreposé sous une forme solide et stable sur les sites de Tricastin (Drôme) et de Bessines (Haute-Vienne). »

de cet uranium, a annoncé une stratégie visant à charger à nouveau les quatre réacteurs de Cruas en URE à partir de 2023, puis ultérieurement des réacteurs 1 300 MW (à partir de 2027). Cela permettra de passer de 10 % d'électricité nucléaire produite à partir de matières recyclées à plus de 25 %, ce qui renforcera considérablement les économies de matières premières, mais également l'indépendance de notre pays pour sa production d'électricité. Orano travaille également sur le recyclage des combustibles Mox usés, ce qu'elle a déjà été réalisé par le passé pour des électriciens européens. L'objectif est désormais de passer à un stade industriel avec le multi-recyclage du plutonium pour EDF. Des études sont lancées afin de sélectionner le type de combustible répondant aux critères de sûreté et de performance. Des essais d'irradiation de ces combustibles pourraient alors avoir lieu au milieu de la prochaine décennie, avant un déploiement industriel. Grâce à ce multi-recyclage du plutonium, le taux de l'électricité nucléaire française produite à partir de matières nucléaires recyclées sera supérieur à 30 %.

L'utilisation des matières nucléaires en dehors de la production d'électricité

Si les matières nucléaires sont largement utilisées pour la production d'électricité et contribuent à ce titre à la souveraineté énergétique du pays, elles peuvent également être utilisées dans d'autres domaines qui n'en sont pas

moins stratégiques. C'est une nouvelle fois le cas pour l'uranium appauvri, dont la France dispose d'une importante réserve. Orano a engagé différents programmes de R&D visant à valoriser les propriétés physico-chimiques particulières de l'uranium dans de nouvelles applications. À court terme, des développements dans les domaines de la radioprotection, du stockage de la chaleur et des batteries semblent accessibles.

Autre application possible, l'espace. Le nucléaire a un avantage important : avec très peu de matière, il peut fournir une énergie conséquente sur des durées très longues. Dans ce domaine, Orano a également lancé des études sur une utilisation plus large des matières nucléaires en tant que source d'énergie.

Enfin, et c'est plus connu, le nucléaire est un contributeur important dans le domaine médical, à travers l'utilisation de substances radioactives à des fins diagnostiques ou thérapeutiques. À titre d'exemple, l'uranium-235 est utilisé pour la production de technétium-99m et du radium-223, deux radio-isotopes importants en médecine nucléaire. Le technétium-99m, produit industriellement par irradiation, puis décroissance de cibles d'uranium-235 faiblement enrichi, est utilisé comme marqueur radioactif en scintigraphie ou tomographie par émission. Ces techniques d'imagerie permettent d'examiner plus rapidement le patient, et donc sans lui faire subir de fortes doses cumulées de radiations. Elles représentent une part importante

Les matériaux stratégiques

En 2017, l'Union européenne a inventorié vingt-sept matières premières d'une grande importance économique, mais présentant un risque élevé de pénurie d'approvisionnement : assurer un accès fiable et sans entrave à ces matières premières constitue dès lors un enjeu majeur pour l'industrie européenne. Orano a analysé cette liste avec pour objectif d'identifier les matériaux essentiels à la transition énergétique pour lesquels le groupe pourrait développer une activité de recyclage.

Cette étude préliminaire a permis d'identifier les huit matières premières les plus porteuses pour Orano : Cobalt (Co), Manganèse (Mg), Niobium (Nb), Gallium (Ga), Indium (In), Palladium (Pd), Tantale (Ta) et Tungstène (W). Orano a mobilisé ses experts afin d'approfondir l'analyse des *business models* correspondants en lien avec l'économie circulaire et le recyclage, soutenus si besoin par un effort législatif approprié, et de prendre contact avec des partenaires internes et/ou externes potentiels.

des actes d'imagerie médicale réalisés en France : ainsi, environ 870 000 actes de scintigraphie ont été réalisés en 2015 et 350 000 actes de tomographie en 2016, des chiffres à mettre en regard avec le nombre d'IRM faites en 2016 correspondant à 5 millions d'actes. Le besoin en uranium-235 faiblement enrichi pour la fabrication de ces cibles, bien qu'en croissance, reste modéré et ne devrait atteindre qu'environ 200 kg en 2030. Plus succinctement, le radium-223, historiquement appelé actinium X, est obtenu directement par décroissance successive de l'uranium-235. Il est utilisé en tant que médicament pour combattre les métastases osseuses du cancer de la prostate (vente annuelle d'environ 250 000 injections). Orano dispose d'une filiale – Orano Med – spécialisée dans le domaine de la médecine nucléaire et qui allie biotechnologies et nucléaire pour développer de nouvelles thérapies

dans la lutte contre le cancer. Orano Med a développé un procédé unique permettant la production de plomb-212 de haute pureté, un isotope rare issu de la chaîne de décroissance du thorium-232. Le plomb-212 est utilisé en alphathérapie ciblée, une approche novatrice et prometteuse en médecine nucléaire permettant de cibler et détruire les cellules cancéreuses, en limitant l'impact sur les cellules saines environnantes. Les recherches menées par Orano Med avec ses partenaires se poursuivent afin de permettre le développement de thérapies efficaces pour traiter des cancers, pour lesquels l'arsenal thérapeutique disponible est à ce stade réduit. Outre les ressources importantes en nitrate de thorium dont dispose Orano (5 500 tonnes), la décroissance radiologique régénérant, après extraction du plomb-212, l'isotope d'intérêt, permettra de satisfaire la consommation annuelle envisagée.