

On va manquer d'uranium...



Le « yellow cake ». © AREVA/P. Lesage.

Ce titre peut étonner et même être jugé politiquement incorrect à l'heure où plusieurs pays européens, dont la France, s'apprêtent à sortir du nucléaire ou à le diminuer !

L'uranium, élément 92, est bien connu des chimistes et du grand public, car il contient un isotope fissile ^{235}U qui, sous impact neutronique, libère l'énergie utilisée par les réacteurs nucléaires et aussi, hélas, par les bombes atomiques. Dans l'uranium naturel, l'isotope ^{235}U n'est présent qu'à 0,72 % (^{238}U faisant le complément à 100 %), mais cela suffit pour en faire un champion énergétique, car si 1 kg de gasoil représente 11 kWh, il ne faut qu'un peu plus de 1 mg d'uranium pour en faire autant ! D'où l'importance de l'élément pour notre société énergivore.

L'extraction de l'uranium naturel et son enrichissement en isotope ^{235}U font appel à une chimie complexe [1]. Le minerai est traité par dissolution acide ou alcaline, *in situ* par lixiviation, séparé par solvants des solutions aqueuses. L'uranium est précipité sous forme d'oxyde ; c'est le « yellow cake » riche en U_3O_8 . Interviennent ensuite les opérations d'enrichissement isotopique passant d'abord par la fluoration de l'oxyde et sa transformation en UF_4 , puis UF_6 . Pour passer de 0,72 à 4 % en ^{235}U , on joue sur la faible différence de masse 235 vs 238. Deux procédés peuvent être utilisés : la diffusion gazeuse de UF_6 porté à environ 85° C à travers des barrières microscopiques pratiquée en France sur le site du Tricastin dans l'usine Eurodif (Georges Besse 1) depuis 1979 jusqu'à l'heure actuelle, et la centrifugation pratiquée à Georges Besse 2 qui la remplace. L'hexafluorure enrichi est ensuite oxydé et transformé en UO_2 qui va constituer la matière fissile du réacteur nucléaire.

Deux ans après la catastrophe de Fukushima, alors qu'en 2011 le gouvernement japonais démocrate s'était engagé à une sortie de l'atome, les élections de décembre 2012 mettent au pouvoir les conservateurs qui souhaitent relancer des centrales nucléaires plus sûres. Ce retournement de situation est largement dicté par la situation économique, l'arrêt des réacteurs au Japon ayant entraîné une balance commerciale plombée par une envolée de la consommation de gaz, dont le prix à l'import s'était lui aussi envolé. Les experts

français d'AREVA et canadiens de CAMECO n'excluent pas le redémarrage de cinq à six réacteurs en 2013 dans ce pays. Ce n'est pas sans influence sur le cours de l'uranium – en réalité de la livre (lb = 454 g d' U_3O_8) – qui avait plongé en 2011 de 78 à moins de 50 dollars, et qui traverse maintenant une tendance à la hausse. Le trou d'air en 2011 avait aussi été causé par la décision de l'Allemagne et d'autres pays européens, sous le coup de l'émotion, de sortir du nucléaire en 2020. Deux ans plus tard, d'après l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique), la tendance s'inverse : alors que l'on compte 440 réacteurs en activité de par le monde, il devrait s'en ajouter 75 en 2020 et entre 100 et 350 de plus en 2030. Déjà en février, les États-Unis ont autorisé la construction de deux nouveaux réacteurs, vingt-cinq sont en construction en Chine, d'autres en Russie et – surprise – l'Arabie Saoudite, premier producteur de pétrole, souhaite s'équiper de seize réacteurs. Quelles peuvent être les motivations de ces pays ? C'est bien sûr avant tout l'indépendance énergétique nationale, mais aussi la raréfaction et la volatilité du prix des ressources pétrolières et le pari déjà perdu de limiter à 20 milliards de tonnes les émissions de CO_2 et des gaz à effet de serre en 2035 qui poussent les États à un mix énergétique décarboné où le nucléaire occupe une place importante.

Se pose alors une question : la production mondiale d'uranium saura-t-elle y faire face ? La production actuelle, de l'ordre de 42 000 t, est déjà insuffisante devant la consommation de l'ordre de 68 000 t. Le complément est issu notamment des stocks militaires, mais la fin du traité sur les armes stratégiques devrait assécher cette source dès 2014. Si on chiffre en moyenne le besoin d'un réacteur en activité à 200 t/an, les réacteurs en construction et les projets à l'horizon 2020/2025 demanderaient 22 000 t supplémentaires, soit un total de 90 000 t dont la production actuelle ne couvre qu'à peine 50 %.

Les principaux pays producteurs sont le Canada, l'Australie et le Kazakhstan. Des ressources importantes sont identifiées en Russie, en Afrique du Sud et en Afrique subsaharienne, mais leur exploitation nécessite de gros investissements, surtout une remontée des cours de l'uranium pour assurer la rentabilité. Par ailleurs, la présence de régimes stables dans les pays producteurs est un facteur géopolitique dont les récents conflits africains nous soulignent l'importance. Demande accrue, production insuffisante, capitaux à trouver pour investissements lourds... d'après les économistes, tous les ingrédients sont réunis pour une flambée des prix.

Quelles conséquences sur le prix de l'énergie ? Pour l'instant, le prix de l'uranium paraissait marginal (5 à 10 %) face aux coûts de l'amortissement et du fonctionnement du réacteur : à 50 €/lb U_3O_8 , il représenterait à peine 20 % du coût du MWh à

38 € ; à 100 €/lb, il serait de 40 % du prix du MWh à 46 € ; s'il atteignait 200 €/lb, le prix du MWh atteindrait alors 62 €, ce qui reste encore intéressant vu le non-dégagement de CO_2 , mais s'approche du prix du MWh thermique ou de l'éolien.

Aurait-on les moyens de diminuer ou de supprimer les tensions du marché ?

- **Mieux enrichir l'uranium** : le procédé par centrifugation peut ne laisser que 0,15 % de ^{235}U dans l'uranium appauvri au lieu de 0,25 % pour la diffusion gazeuse dans des conditions techniques et économiques acceptables.

- **Améliorer le rendement des réacteurs** : on est actuellement près de 50 GW par tonne d'uranium, l'EPR permet de monter à 70 GW/t. Les besoins pour un réacteur de puissance moyenne de 1 000 GW s'abaisseraient alors de 200 t/an à 142 t/an.

- **Recycler le combustible** : le procédé français PUREX de séparation des produits de fission conduit au combustible MOX qui contient du plutonium et recycle une partie de la matière première dont l'économie est estimée à 12 %, d'où une réduction supplémentaire pour le réacteur de 1 000 GW qui conduirait à 125 t/an.

Il est alors tentant de faire, comme pour les ressources carbonées, le calcul du temps d'épuisement des ressources en uranium. Ces ressources sont difficiles à évaluer car les teneurs des gisements sont en général assez faibles (sans aller jusqu'à l'extraction de l'eau de mer !) : elles sont estimées à 5,4 millions de tonnes (6,3 Mt si U_3O_8). Si on passe en 2030 de 440 à 700 réacteurs classiques, il faudrait 108 000 t/an, d'où une disponibilité de 60 ans. Si on construit des réacteurs modernes avec recyclage partiel du combustible, il faudrait alors 87 000 t/an et la période s'allonge à 73 ans.

Dans tous les cas, il faut trouver de nouveaux gisements et faire rapidement des investissements miniers lourds. L'autre voie royale est celle des réacteurs de 4^e génération, ceux à neutrons rapides. La France et l'Allemagne avec le CEA étaient en avance grâce à Superphénix, arrêté par décision politique en 1998. Le surgénérateur utilise non seulement l'isotope fissile ^{235}U de l'uranium, mais aussi son isotope majoritaire ^{238}U 130 fois plus abondant ; ceci multiplie la ressource disponible par environ un facteur 100, et donne donc un délai de près de mille ans avant épuisement.

En attendant, chers boursicoteurs, vendez vos lingots d'or et stockez de l'uranium dans vos coffres, mais attention, ne dépassez pas la masse critique !

Jean-Claude Bernier,
le 5 avril 2013

[1] Rigny P., Le cycle du combustible nucléaire : de la mine d'uranium jusqu'au recyclage et aux déchets, *L'Act. Chim.*, 2010, 345, p. 1.
www.lactualitechimique.org/larevue_article.php?cle=2407