L’enrichissement de l’uranium : tout comprendre en moins de 3 minutes

written by Aurore Richel



For the English version: click here

On en parle beaucoup dans la presse : certains pays « enrichissent de l’uranium » au-delà des limites autorisées. Qu’est-ce que cela signifie techniquement ? Je vous explique tout de manière très condensée et simplifiée.

Note : *cet article n’a pas pour objectif de donner des explications sur les enjeux géopolitiques, incluant le volet militaire, en lien avec l’uranium et le secteur de l’énergie nucléaire en général. Il apporte seulement une explication au terme technique « enrichissement de l’uranium » souvent présenté par la presse, notamment en écho aux articles parus sur le site de la RTBF[1] ou dans le journal La Libre[2] le 16 avril 2021, suite à une annonce de l’AFP.*

Qu’est-ce que l’uranium ?

L’uranium est un **élément naturel non renouvelable**, radioactif, dont l’abondance naturelle est supérieure à celle d’autres éléments comme l’or ou même l’argent. On retrouve de l’uranium (présenté par les chimistes par son symbole **U**) dans la croûte terrestre, surtout dans les terrains granitiques et sédimenteux, mais aussi dans les profondeurs de certains océans. L’eau de mer et l’eau de source contiennent ainsi **naturellement** des traces d’uranium.[3]

L'uranium ne se retrouve pas « pur » à l'état naturel. Il est, en effet, souvent combiné à d'autres éléments pour former principalement deux minerais dits **uranifères**, à savoir l'uranite (UO_2) et la pechblende (U_3O_8). L'exploitation de ces minerais se fait dans des mines au travers d'une vingtaine de pays dans le monde. La plus grande part de l'uranium d'origine minière disponible sur le marché provient du Kazakhstan, du Canada et de l'Australie. En 2019, le Kazakhstan produisait la plus grande part de l'offre mondiale en **uranium d'origine minière** (42%) suivi par le Canada (13 %) et l'Australie (12 %).[4] En 2019, cela représentait une production mondiale de 54.752 tonnes d'uranium, apte à satisfaire environ 84% de la demande mondiale. C'est la compagnie Kazatomprom, détenue à 100% par le gouvernement kazakh qui est le leader mondial dans l'extraction et la commercialisation de l'uranium (plus d'un cinquième de la production mondiale).[5]

La teneur en uranium dans le minerai étant assez faible, et pour minimiser les coûts de transport, le minerai est généralement traité à proximité du site d'extraction par des agents chimiques (acides ou bases concentrés) pour fournir un « concentré » d'uranium (>75%) (sous forme de U_3O_8). Ce concentré, appelé yellowcake, est alors est transporté, négocié sur les marchés mondiaux et les échanges boursiers sous le code de **U3O8**, avant d'être purifié, converti en hexafluorure d'uranium (UF_6) avant d'être enrichi pour servir de combustible nucléaire.[6]

Pourquoi faut-il « enrichir l'uranium » ?

Pour un échantillon parfaitement pur d'uranium, la plupart des atomes (environ 99,3%) ont une masse équivalente à 238 fois la masse d'un atome d'hydrogène, mais d'autres atomes ont une masse de 235 fois supérieure à la masse d'un atome d'hydrogène (environ 0,72%) et une infime portion des atomes d'uranium de cet échantillon sont 234 fois plus lourds qu'un atome d'hydrogène (0,0055%). On dit alors que l'uranium se présente sous la forme de **3 isotopes**, dont deux sont plus abondants que le troisième à savoir l'**uranium 235** et l'**uranium 238** que l'on symbolise respectivement ^{235}U et ^{238}U.

L'^{235}U est le seul **isotope fissile naturel**, d'où son intérêt dans l'industrie nucléaire notamment. Le terme **isotope fissile** désigne, de manière simplifiée, un noyau qui est capable quand il est bombardé de neutrons de se désintégrer en noyaux plus légers (avec une réaction en chaine) et d'**émettre de l'énergie**. Cette **fission nucléaire** est le phénomène employé dans les centrales nucléaires pour produire de l'énergie (sous forme d'électricité) ou dans certaines formes d'armements (bombes atomiques, entre autres).

Comme nous l'avons souligné précédemment, l'^{235}U est le seul isotope fissile. Enrichir de l'uranium revient donc à **augmenter la proportion en ^{235}U au sein d'un échantillon d'uranium**.

Il existe diverses méthodes d'enrichissement présentes à un stade industriel. Elles se basent souvent sur la légère différence de masse qui existe entre les deux isotopes, ^{235}U et ^{238}U (^{235}U est en effet un tout petit peu plus léger que ^{238}U), et donc sur leur différence de mobilité dans des conditions données. Actuellement, la **centrifugation** est la technique la plus répandue (**Figure 1**). Pratiquement, on injecte dans une centrifugeuse tournant à grande vitesse l'hexafluorure d'uranium (UF_6). En raison de leur différence de masse, les molécules de $^{238}UF_6$ se retrouvent projetées contre les parois tandis que les molécules de $^{235}UF_6$, plus légères, migrent vers le cœur du rotor. La centrifugeuse étant chauffée, un mouvement de convection « pousse » les molécules enrichies en uranium 235 (plus légères) vers le haut, tandis que les molécules contenant de l'uranium 238 restent dans le bas du dispositif.

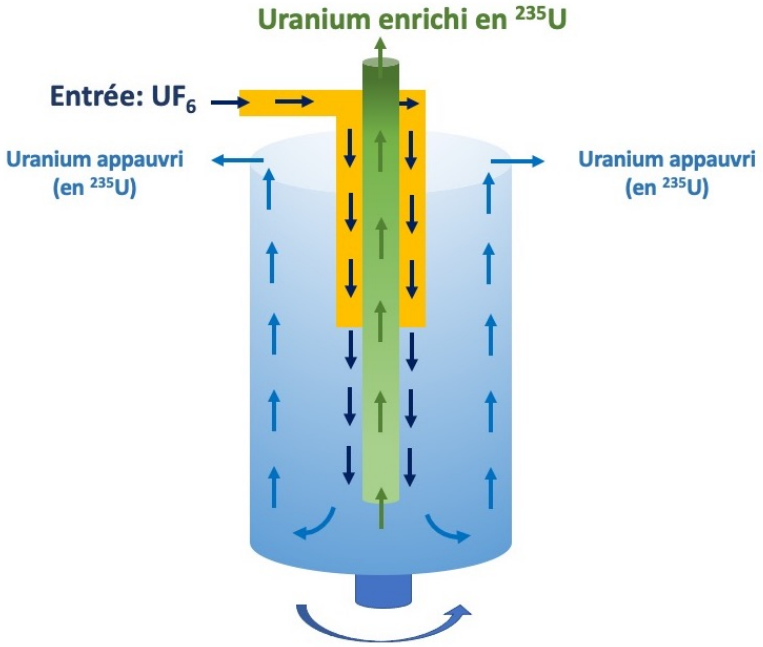


Figure 1. Schéma simplifié d'un enrichissement par centrifugation

Si certaines alternatives existent, souvent plus onéreuses, telles que la diffusion gazeuse ou la dilution par exemple, la centrifugation reste l'option la plus efficace et accessible. Qui plus est, répétée un certain nombre de fois en série, la centrifugation permet d'obtenir **des taux d'^{235}U modulables, de plus en plus élevés**.

En fonction de l'opération d'enrichissement réalisée, de la manière dont elle est réalisée (par exemple du nombre de cycles de centrifugation appliqué), il est possible d'obtenir différents « types » d'uranium qui se prêtent à des usages distincts (**Figure 2**).

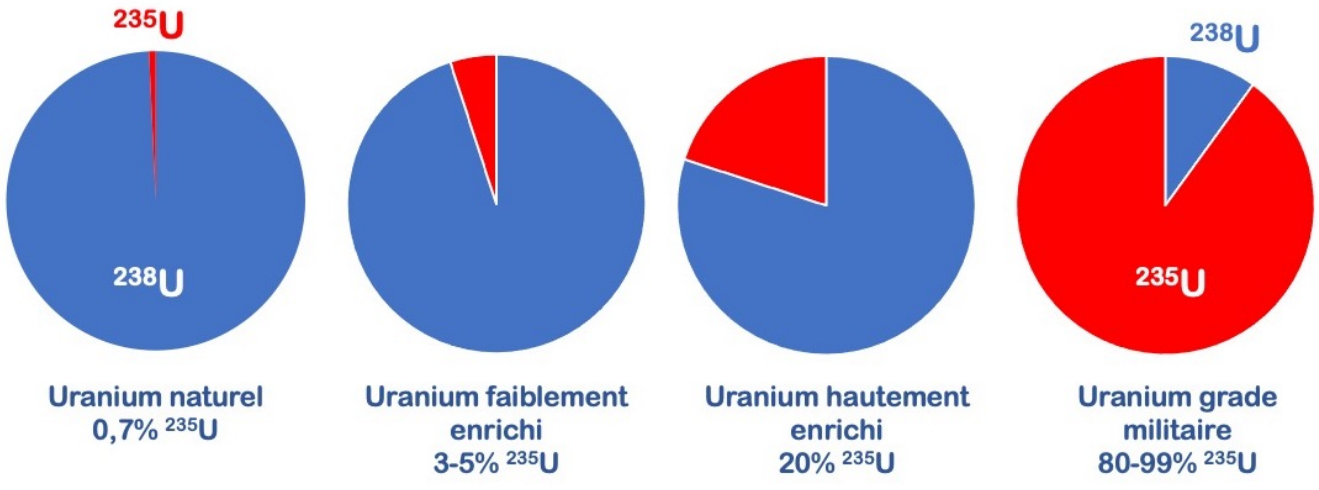


Figure 2. Différents « grade » d'uranium (de l'état natif aux grades enrichis)

L'**uranium faiblement enrichi** est destiné à des applications comme combustibles dans des réacteurs nucléaires. L'**uranium hautement enrichi** est, quant à lui, le plus souvent destiné à des applications dans certains réacteurs de recherche ou bien pour produire certains radio-isotopes pour des usages médicaux.

L'uranium enrichi au-delà des 80% en ^{235}U est, par contre, réservé à des **usages militaires**, notamment pour la conception d'armements, de missiles, ou de bombes nucléaires.

Le contrôle des pratiques d'enrichissement de l'uranium est donc crucial, hautement surveillé et légiféré. En avril 2021, l'Iran a ainsi annoncé le lancement d'une production d'uranium enrichi à 60%, générant ainsi une entorse grave aux engagements pris auprès de la communauté internationale. Au rythme actuel des productions iraniennes, il faudrait ainsi un peu moins d'un an au pays pour produire une masse critique de près de 25kg d'uranium enrichi à 90% nécessaire à la fabrication d'un armement nucléaire.[7]

Vous souhaitez plus d'informations sur ce sujet ?

N'hésitez pas à me contacter via l'adresse email suivante: a.richel@uliege.be ou via le formulaire disponible en cliquant ici.

Notes et références

[1]
https://www.rtbf.be/info/monde/detail_nucleaire-l-iran-a-commence-a-produire-de-l-uranium-enrichi-a-60?id=10742492

[2]
https://www.lalibre.be/international/moyen-orient/nucleaire-la-production-d-uranium-enrichi-a-60-est-en-cours-en-iran-607958b5d8ad5847ae2fa915

[3]
https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/reserves-d-uranium-naturel-dans-le-monde

[4] https://www.world-nuclear.org/information-library/nuclear-fuel-cycle/mining-of-uranium/world-uranium-mining-production.aspx

[5] https://www.kazatomprom.kz/en

[6] https://www.connaissancedesenergies.org/fiche-pedagogique/enrichissement-de-l-uranium

[7] https://www.rtbf.be/info/monde/detail_nucleaire-l-iran-a-commence-a-produire-de-l-uranium-enrichi-a-60?id=10742492