Uranium: indispensable aujourd'hui, incontrôlable demain ?

written by Aurore Richel



Ni le plus abondant de la croûte terrestre, ni le plus rare non plus. Et pourtant, l'uranium occupe une place à part dans notre imaginaire collectif. Derrière cet atome se cache un pouvoir de fascination singulier. Capable de libérer une quantité d'énergie considérable lorsqu'il est impliqué dans des réactions nucléaires contrôlées, l'uranium constitue aujourd'hui le principal combustible des réacteurs nucléaires. Mais cette puissance, intimement liée à sa radioactivité, alimente également une méfiance persistante au sein du grand public.

Dans un contexte où la recherche d'une énergie à la fois abondante et décarbonée devient une priorité, l'uranium apparaît comme un candidat idéal, mais de plus en plus contesté sur les plans politique et sociétal. Comment expliquer cette ambivalence ? Au-delà de ses propriétés physiques se pose aussi la question de l'origine de l'uranium, de sa répartition géographique et de son enrichissement. D'où provient l'uranium exploité aujourd'hui, et quels sont les pays qui en concentrent les principales réserves ? Y a-t-il d'autres applications, notamment militaires, qui convoitent l'uranium ? Autant d'interrogations essentielles que nous développons dans ce dossier pour comprendre les enjeux scientifiques, énergétiques et géopolitiques liés à cet élément pas comme les autres.

Note : ce dossier n'a pas pour vocation de fournir une vision exhaustive sur l'usage de l'uranium dans les centrales nucléaires,

ni de donner une appréciation sur les infrastructures existantes et sur le positionnement de l'énergie nucléaire dans le mix énergétique mondial (ou belge). Ce dossier, publié sur ce blog qui traite de chimie, est donc écrit sous le prisme de l'atome, de ses propriétés, de ses usages et des craintes véhiculées par le mot « uranium » au sein du grand public.

Prologue

1789. Jáchymov est une petite ville de Bohême, dans la vallée de Sankt Joachim, nichée entre les monts Métallifères. À la fin du 18ème siècle, elle est surtout connue pour ses mines d'argent qui font sa richesse et sa réputation. C'est une ville prospère, structurée par l'extraction minière. Dans les galeries, un chimiste allemand, Martin Heinrich Klaproth, s'intéresse à une matière inhabituelle. Les mineurs la considèrent comme un déchet une fois l'argent extrait. Il s'agit de pechblende, une roche noire dense, à l'aspect boursouflé, longtemps négligée.

Ayant ramené les échantillons dans son laboratoire de Berlin, Klaproth est intrigué et se met à les chauffer sous une flamme intense. Après quelques minutes, il observe l'apparition d'un corps de couleur grise. Après l'avoir examiné, Klaproth se rend compte qu'il est formé d'un élément inconnu jusqu'alors. Convaincu qu'il vient là de faire une découverte majeure, Klaproth décide de baptiser ce nouvel élément à son nom. Pourtant, au dernier moment, il se ravise. Il lui donne le nom d'*uranium* en référence à la planète Uranus qui vient d'être découverte huit ans auparavant.

Cristal de Bohême et eaux thermales radioactives

La pechblende est en réalité un minerai d'uranium. Ce qu'avait isolé Martin Heinrich Klaproth était alors plus précisément un oxyde d'uranium (U_3O_8). Il faudra attendre plus d'un demi-siècle pour que le chimiste français Eugène Péligot isole réellement l'uranium sous sa forme métallique (U).

Du temps de Klaproth ou même de Péligot, l'uranium (sous sa forme oxydée ou métallique) est considéré comme ne présentant aucun danger. On se fascine même pour sa particularité à émettre une douce lumière verdâtre dans le noir. Cette propriété singulière

apparait alors comme une aubaine. On utilise l'uranium pour colorer les verres, les émaux, et les céramiques qui font alors la réputation de la Bohême.[1]

Tandis que l'exploitation des mines d'argent commence à décliner au 19ème siècle, Jáchymov se cherche un nouvel élan. La ville devient alors une station thermale, attirant les malades et les touristes. Il se dit que les eaux de Jáchymov ont des pouvoirs magiques. Elles sont capables de soulager certaines douleurs, de donner de l'énergie, sans qu'on en connaisse véritablement la raison. Il faudra attendre la fin du 19ème siècle pour comprendre ce qui rend Jáchymov aussi « spéciale ».

En 1896, Henri Becquerel découvre la **radioactivité**, cette spécificité physique qu'ont certains atomes de se désintégrer spontanément en émettant de l'énergie.[2] Deux ans plus tard, Marie Curie identifie dans les échantillons de pechblende de Jáchymov, des atomes radioactifs. Elle met en évidence la radioactivité du polonium et du radium, mais aussi de l'uranium.[3] Les curistes qui se pressent en nombre à Jáchymov viennent en réalité se baigner dans une eau radioactive.

Cette nouvelle réputation attire une clientèle toujours plus nombreuse. On vient de toute l'Europe pour profiter de ces bains modernes, à la pointe des découvertes scientifiques. La radioactivité est alors perçue comme une force bénéfique, presque vitale, sans le moindre danger. Elle incarne le progrès, la guérison, l'énergie. Dans cette atmosphère optimiste, Jáchymov connait une seconde prospérité, bien différente de celle des siècles miniers, mais tout aussi intense.

A mesure que le 20ème siècle avance, l'uranium devient une ressource stratégique et son importance dépasse les frontières de la Bohême. La raison tient alors à une particularité encore mal comprise à l'époque. Quand on bombarde un atome aussi lourd que l'uranium avec un neutron, l'uranium se scinde en deux morceaux plus légers et libère une énergie colossale. C'est ce qu'on appelle la **fission nucléaire.** Cette fission nucléaire s'inscrit dans une course scientifique, initiée notamment par les travaux d'Enrico Fermi, sur

la radioactivité et les réactions nucléaires.[4] On envisage ces recherches surtout pour comprendre la matière et pour tenter de produire de nouvelles sources d'énergie, car on sait déjà que les réactions nucléaires peuvent libérer des quantités d'énergie bien supérieures à celles produites par les réactions chimiques. Très vite, la fission attire aussi l'attention pour une autre raison. Si la réaction de fission est auto-entretenue, elle peut déclencher des réactions en chaînes, et donc une énergie potentiellement gigantesque. C'est ce qui finalement va ouvrir la voie à l'**énergie nucléaire**, mais aussi aux **armes atomiques**.

L'uranium se positionne ainsi au cœur d'enjeux énergétiques et militaires, et Jáchymov devient un des épicentres de sa production. Dans les mines, c'est maintenant la pechblende qui est remontée, et non plus l'argent, sans la moindre protection. Après la Seconde Guerre mondiale, sous le régime communiste, les mines de Jáchymov sont transformées en camps de travail forcé. Des milliers de prisonniers politiques y sont envoyés, contraints d'extraire l'uranium dans des conditions extrêmes, au mépris de leur santé et de leur vie. Dans ces galeries profondes, la roche noire cesse définitivement d'être anodine. Elle devient le symbole d'une exploitation humaine et d'un danger invisible.[5] Aujourd'hui, Jáchymov porte encore les traces de ces strates d'histoire. Ville minière, station thermale, berceau de découvertes scientifiques et lieu de mémoire, elle incarne à elle seule les paradoxes de l'uranium : une ressource passée de déchet à trésor convoité, du progrès à la tragédie.

L'uranium : un atome plein d'énergie

L'uranium (de symbole U dans la classification périodique) est un élément qui fait partie de la famille de actinides. C'est un atome assez lourd, de couleur gris argenté à l'état métallique. A l'état naturel, l'uranium peut exister sous la forme de trois isotopes[6], à savoir ^{234}U, ^{235}U et ^{238}U. L'isotope 238 est de loin le plus abondant et représente 99,28% de la composition isotopique naturelle de l'uranium.

Les isotopes naturels de l'uranium sont **radioactifs**, c'est-à-dire qu'ils ont la particularité de se désintégrer en émettant des

particules alpha. Cette désintégration spontanée se produit avec une vitesse propre à chaque isotope, caractérisée par sa demi-vie, qui correspond au temps nécessaire pour que la moitié des noyaux initiaux se soit désintégrée. Dans le cas de l'uranium, ces demi-vies sont très longues, pouvant atteindre plusieurs millions voire milliards d'années, ce qui signifie que leur radioactivité est faible mais persistante dans le temps. Les rayonnements alpha ont un faible pouvoir de pénétration et peuvent être atténués ou totalement arrêtés par un écran aussi mince qu'une feuille de papier ou même par la couche superficielle de la peau. En revanche, les **produits de désintégration** (appelés aussi descendants radioactifs) de l'uranium émettant, quant à eux, des **rayonnements bêta et gamma**. Ces derniers sont nettement plus pénétrants. Les rayonnements bêta nécessitent un écran plus dense (comme de l'aluminium), tandis que les rayonnements gamma exigent des matériaux de blindage épais comme le plomb ou le béton.

A côté de leur radioactivité naturelle, c'est-à-dire de leur capacité à émettre naturellement des rayonnements, certains isotopes de l'uranium présentent des comportements différents vis-à-vis de la **fission nucléaire**. Cette fission nucléaire est le phénomène au cœur de la production d'énergie dans les réacteurs nucléaires. L'uranium-235 (^{235}U) est un isotope fissile. Cela signifie qu'il peut facilement se fragmenter quand il absorbe un neutron lent. Le noyau devient alors instable et se scinde en deux noyaux plus légers, en libérant une grande quantité d'énergie ainsi que plusieurs neutrons supplémentaires (**Figure 1, gauche**). Ces neutrons peuvent à leur tour provoquer d'autres fissions, ce qui engendre une **réaction en chaîne contrôlée** dans les centrales nucléaires.[7]

A l'inverse, l'uranium-238 (^{238}U), bien que largement plus abondant dans la nature, n'est pas fissile dans les conditions conventionnelles. Il est qualifié de stérile. Il ne participe donc pas directement à la réaction de fission dans la plupart des réacteurs nucléaires classiques. Toutefois, il peut subir une fission sous l'impact de neutrons rapides. ^{238}U joue ainsi un rôle critique dans la production indirecte d'énergie. Il est capable de

capturer un neutron pour se transformer en ^{239}U, un autre isotope « non naturel » et très instable de l'uranium, qui peut se désintégrer rapidement en neptunium-239 (^{239}Np) puis en plutonium-239 (^{239}Pu). Ce dernier est fissile et peut à son tour produire de l'énergie par fission (**Figure 1, droite**). Ce mécanisme est à la base de la production de combustible nucléaire dans les réacteurs et dans les surgénérateurs.[8]

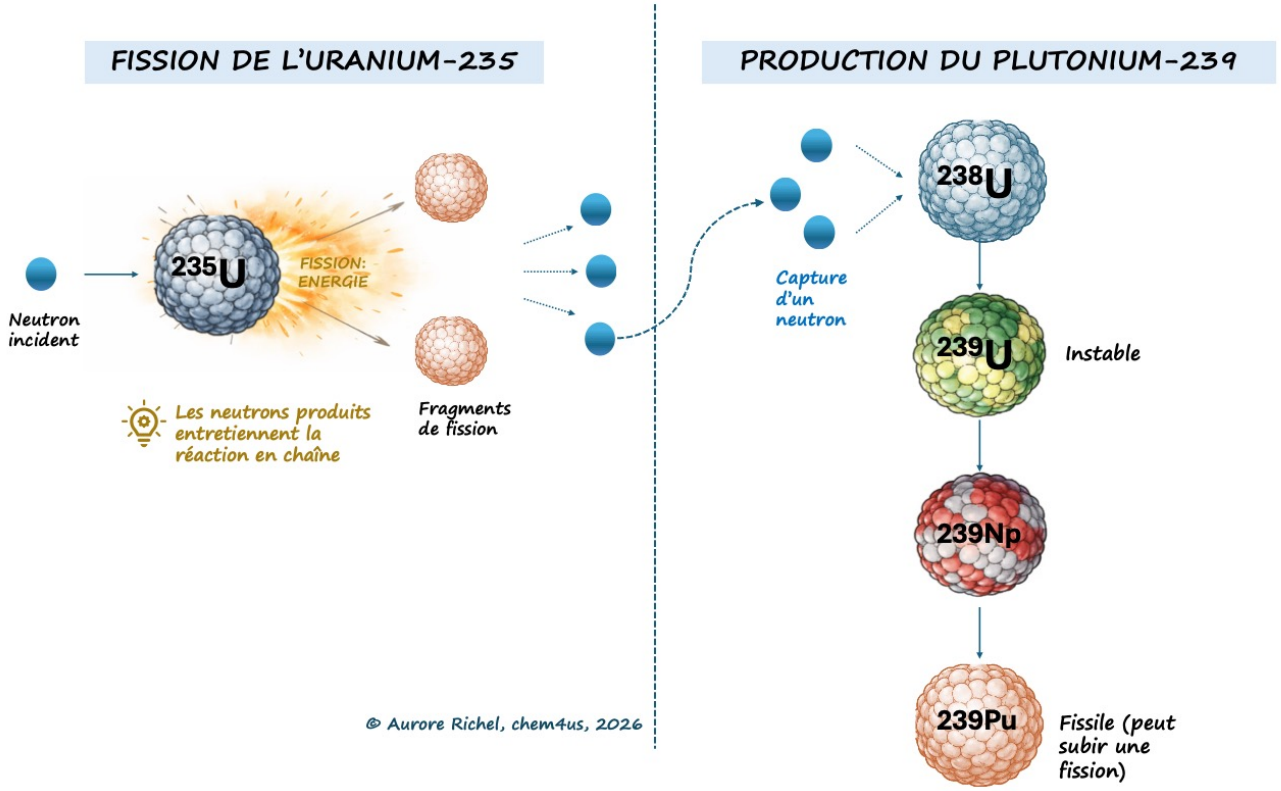

Figure 1. Illustration simplifié de la fission sur ^{235}U (**gauche**) et des réactions de production de ^{239}Pu à partir de ^{238}U (**droite**).

Un peu, beaucoup, partout

L'uranium est un élément naturellement présent sur notre planète. Relativement abondant dans la croûte terrestre, il est plus répandu que des métaux comme l'argent ou l'or. On en trouve ainsi dans les roches, les sols, dans l'eau douce, dans l'eau de mer et même en traces dans nos aliments, dans l'eau que nous buvons et dans le corps humain. Cette présence est parfois attribuée, à tort, à des fuites provenant des centrales nucléaires. En réalité, elle s'explique principalement par la répartition naturelle de l'uranium sur l'ensemble de la planète, même si certaines activités humaines

peuvent localement en modifier les concentrations.

En moyenne, une tonne de sol contient naturellement quelques grammes d'uranium (environ 2 à 3 ppm), même si cette quantité peut varier selon les régions. Cela signifie que si vous déplacez une tonne de terre dans votre jardin, vous déplacez également 2 à 3 grammes d'uranium. L'eau de mer, quant à elle, est moins chargée en uranium. Elle en contient environ 3,3 milligrammes par tonne.[9]

Sur notre planète, des points de concentrations importantes en uranium sont recensés. Ces concentrations sont suffisamment élevées que pour permettre une récupération économiquement viables de l'uranium. En 2024, environ 50.000 tonnes d'uranium ont été extraites de diverses gisements. Les sites d'extraction du Kazakhstan assurent 39% de l'offre mondiale en uranium, suivis par les sites canadiens (24%) et namibiens (12%) (**Figure 2**). L'Australie, l'Ouzbékistan et la Russie figurent également au rang des producteurs notables.[10]

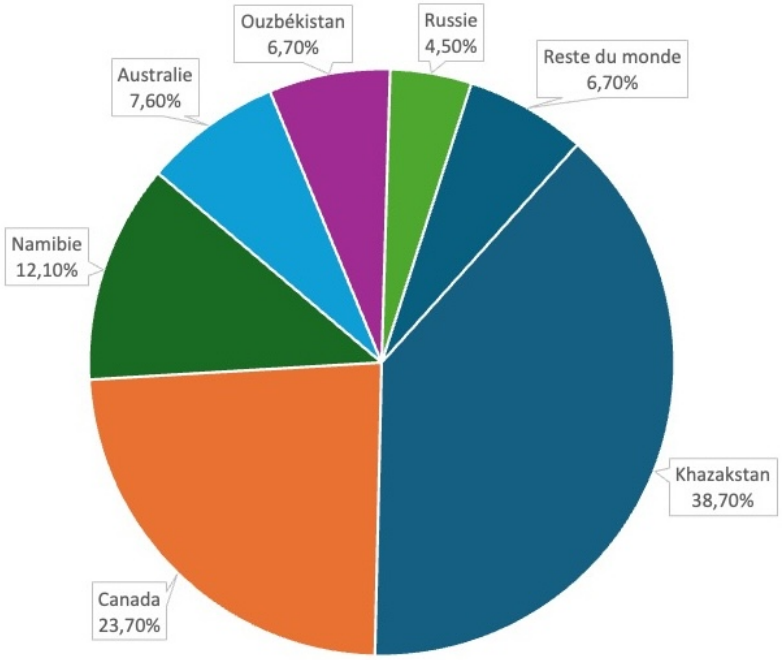

Figure 2. Répartition mondiale de l'offre en uranium (année de référence 2024).

Dans ces sites de concentrations importantes, l'uranium est extrait soit par exploitation minière classique (mines à ciel ouvert ou souterraines), soit par une méthode appelée lixiviation in situ (In Situ Leaching, ISL). Avant 1990, 55% de l'offre mondiale en uranium

provenait des mines souterraines. Aujourd'hui, l'extraction par ISL représente 52% de la production (contre 44% par extraction minière conventionnelle). 4% de l'offre mondiale en uranium repose également sur des sous-produits. En clair, cela signifie que l'uranium est récupéré en même temps que l'extraction d'un autre minerai principal, lorsque le gisement contient plusieurs ressources exploitables. C'est le cas de certaines mines de cuivre, d'or ou d'argent, ou même de certains gisements de phosphates qui peuvent également contenir de l'uranium.[11]

Plus d'un siècle de réserves

Dans les mines classiques (souterraines ou à ciel ouvert), le minerai est extrait de la roche, puis broyé et traité chimiquement dans une usine afin d'en extraire l'uranium. Dans le cas de l'ISL, il n'y a aucune excavation. On injecte une solution dans la roche, ce qui dissout l'uranium dans le gisement. La solution enrichie en uranium est alors pompée vers la surface (**Figure 3**).

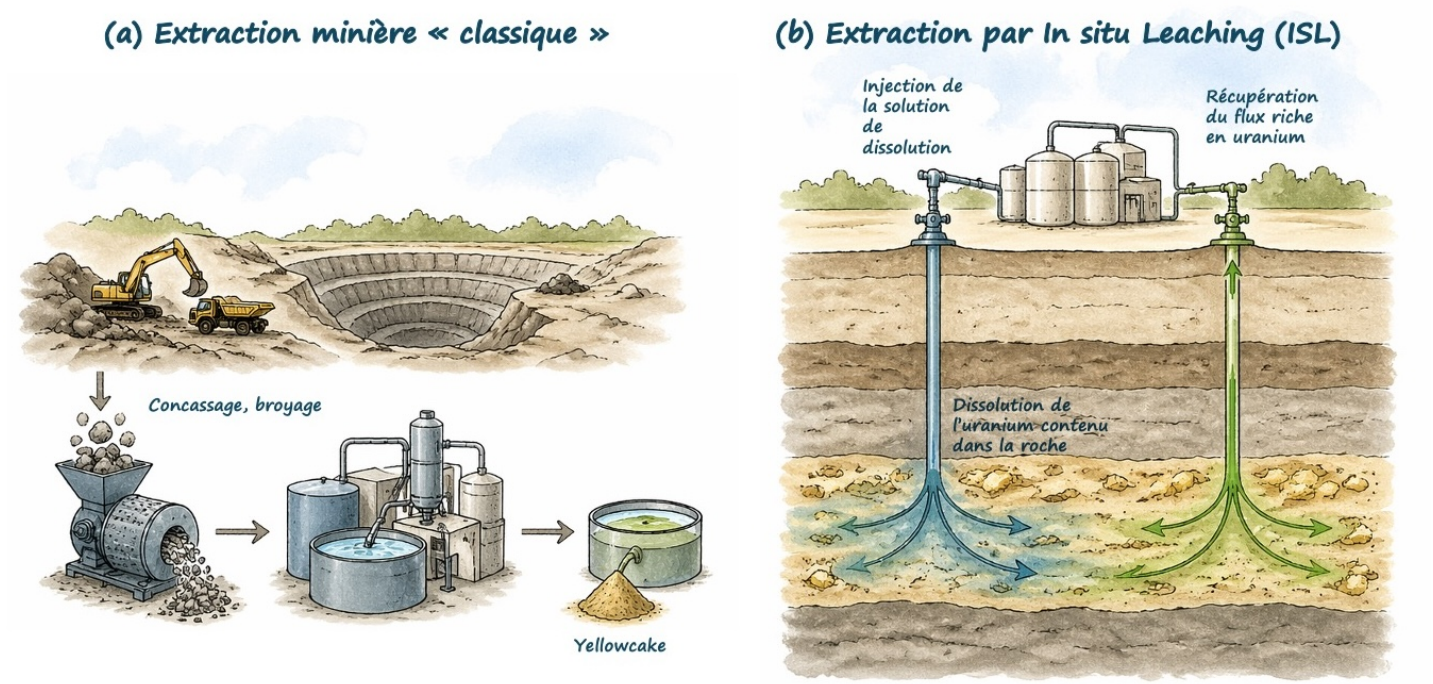

Figure 3. Visualisation schématisée de l'extraction d'uranium dans des points de concentrations importantes. (**a, gauche**) extraction conventionnelle dans une mine à ciel ouverte ; (**b, droite**) extraction par dissolution. (image générée avec l'aide de l'IA)

Dans les deux cas, on ne récupère pas de l'uranium « pur », ni des isotopes directement séparés. On récupère plutôt une forme concentrée d'uranium, appelée **yellowcake** (en raison de sa couleur

jaune) qui est principalement de l'oxyde d'uranium (U_3O_8). Il est essentiel de comprendre que **l'extraction ne modifie pas la composition isotopique de l'uranium**. L'uranium naturel contient toujours environ **99,3 % de ^{238}U** et **0,7 % de ^{235}U**, quel que soit le mode d'extraction (mine ou ISL). Les procédés miniers ne séparent pas les isotopes : ils concentrent seulement l'uranium total présent dans la ressource. Une fois le **U_3O_8** produit, il est transporté vers des installations de conversion où il peut être transformé en UF_6, un intermédiaire industriel stratégique, puis enrichi pour augmenter la proportion de ^{235}U (par exemple à 3–5 %,), ce qui est attendu pour le fonctionnement des réacteurs nucléaires.

Selon l'Agence nucléaire pour l'énergie (NEA), les estimations mentionnent qu'il y aurait encore environ **7,9 millions de tonnes d'uranium** économiquement récupérables dans les gisements. Ces ressources sont celles qu'on sait pouvoir exploiter avec les technologies actuelles avec un coût acceptable. A l'échelle de la consommation mondiale actuelle, cela représente encore environ **100 à 130 ans d'offre** ! [12]

Toujours selon les estimations, l'eau de mer contiendrait une quantité très importante d'uranium, sous forme de complexes uranyles carbonatés, pour un total d'environ **4,5 milliards de tonnes**. Cependant, en raison de sa très faible concentration (de l'ordre du microgramme par litre), son extraction n'est pas encore considérée comme économiquement viable à grande échelle. Toutefois, des recherches de plus en plus nombreuses sont en cours afin de développer des méthodes de récupération efficaces.[13]

Enrichir, l'étape cruciale

Après sa récupération des entrailles de la Terre, l'oxyde d'uranium (U_3O_8) est transformé en UF_6 (hexafluorure d'uranium) qui est volatil, mais idéal pour une opération cruciale ultérieure appelée **enrichissement**.

C'est à partir de l'UF_6 gazeux que commence la phase d'enrichissement. Dans l'uranium naturel, la proportion d'uranium-235 est trop faible pour la plupart des applications énergétiques. L'enrichissement vise donc à augmenter cette

proportion. Comme les isotopes ^{235}U et ^{238}U ont des masses légèrement différentes, ils peuvent être séparés de manière progressive.

La méthode industrielle dominante pour réaliser cette séparation est l'**ultracentrifugation**. Le gaz UF_6 est introduit dans des centrifugeuses tournant à très grande vitesse. Sous l'effet de la force centrifuge, les molécules contenant l'isotope le plus lourd ($^{238}UF_6$) ont tendance à se concentrer légèrement vers la périphérie, tandis que celles contenant l'isotope plus léger ($^{235}UF_6$) restent davantage vers le centre (**Figure 4**). Cette séparation est très faible à chaque étape, mais elle devient significative lorsqu'elle est répétée dans de **longues chaînes de centrifugeuses**, appelées cascades. Historiquement, d'autres procédés comme la diffusion gazeuse ont été utilisés, mais ils sont aujourd'hui largement abandonnés en raison de leur faible efficacité énergétique.



Figure 4. Visualisation de la technique d'enrichissement via ultracentrifugation (**a, gauche**) ; Photographie d'une cascade d'ultracentrifugeuses (**b, droite**) image issue du Département de l'Energie (US) et tombée dans le domaine public.

En fonction du taux d'enrichissement obtenu, l'uranium est destiné à différents usages. L'**uranium faiblement enrichi**, contenant quelques pourcents (3-5%) d'uranium-235, est utilisé comme combustible dans la majorité des réacteurs nucléaires civils. Des niveaux d'enrichissement plus élevés sont nécessaires pour certaines applications spécifiques, notamment dans des réacteurs de

recherche ou pour la production de radio-isotopes médicaux. Les niveaux très élevés d'enrichissement (80-99%) sont quant à eux recherchés pour certaines applications militaires. Ces niveaux élevés sont strictement encadrés au niveau international en vertu du traité de non-prolifération des armes nucléaires.[14]

Qui est le plus gros producteur d'uranium enrichi ?

Aujourd'hui, la production d'uranium enrichi (par ultracentrifugation) est entre les mains d'une poignée d'acteurs majeurs. La société russe Rosatom, fondée par Vladimir Poutine, est le leader du marché et fournit entre 40 et 43% de l'uranium enrichi mondial. D'après plusieurs enquêtes occidentales, des observateurs considèrent que Rosatom pourrait jouer un rôle dans la stratégie d'influence internationale de la Russie, en particulier à travers ses activités d'exportation de combustibles nucléaires et de services nucléaires.

Le groupe européen Urenco est le second plus grand producteur d'uranium enrichi.[15] Il possède différents sites d'enrichissement en Europe (notamment en Angleterre, aux Pays-Bas et en Allemagne) et opère également aux États-Unis (Nouveau-Mexique). Le troisième acteur est le groupe français Orano, via son installation de Tricastin.[16] Notons également que la Chine devient un producteur notable, via le groupe CNNC (China National Nuclear Corporation), géant étatique du nucléaire, actif non seulement dans l'enrichissement, mais aussi dans l'extraction de l'uranium (via des sites en Namibie et au Niger). CNNC est également actif dans l'exploration des potentialités d'extraction de l'uranium dans l'eau de mer. Une plateforme de test a ainsi été inaugurée en mer de Chine méridionale en 2023.[17]

A ce jour, contrairement au pétrole ou au gaz, les sanctions européennes n'ont pas complètement interdit les importations liées à l'uranium enrichi en Russie. Certains pays de l'UE continuent donc de recourir à des services d'enrichissement ou à du combustible fourni par Rosatom, faute d'alternatives immédiates. Cette dépendance partielle explique pourquoi des projets de coopération industrielle avec des acteurs russes peuvent encore susciter des controverses en Europe, malgré le contexte de sanctions.[18]

Comment est utilisé l’uranium enrichi dans les centrales ?

Une fois enrichi, l’uranium est transformé en poudre de dioxyde d’uranium (UO_2), puis compressé et chauffé pour former des pastilles céramiques très denses et stables. Ces pastilles sont ensuite insérées dans de longs tubes métalliques, généralement en alliage de zirconium, appelés **crayons de combustible**. Le zirconium est utilisé car il absorbe très peu de neutrons, ce qui est essentiel pour maintenir la réaction en chaîne.

Les crayons sont regroupés en faisceaux appelés **assemblages combustibles**, qui sont placés dans le cœur du réacteur. C’est dans ce cœur que se produit la réaction de fission qui libère de l’énergie sous la forme de chaleur. Cette chaleur produite est transférée à un fluide caloporteur, souvent de l’eau sous pression. Dans les réacteurs à eau pressurisée (REP), ce circuit primaire est maintenu à très haute pression pour éviter que l’eau n’entre en ébullition. Cette chaleur est ensuite transmise à un second circuit via un générateur de vapeur.

Dans ce circuit secondaire, l’eau se transforme en vapeur. Cette vapeur est dirigée vers une turbine, qu’elle fait tourner à grande vitesse. La turbine est reliée à un alternateur, qui convertit l’énergie mécanique en énergie électrique. Après avoir traversé la turbine, la vapeur est refroidie dans un condenseur, redevient liquide, puis est renvoyée dans le circuit pour recommencer le cycle (**Figure 5**).

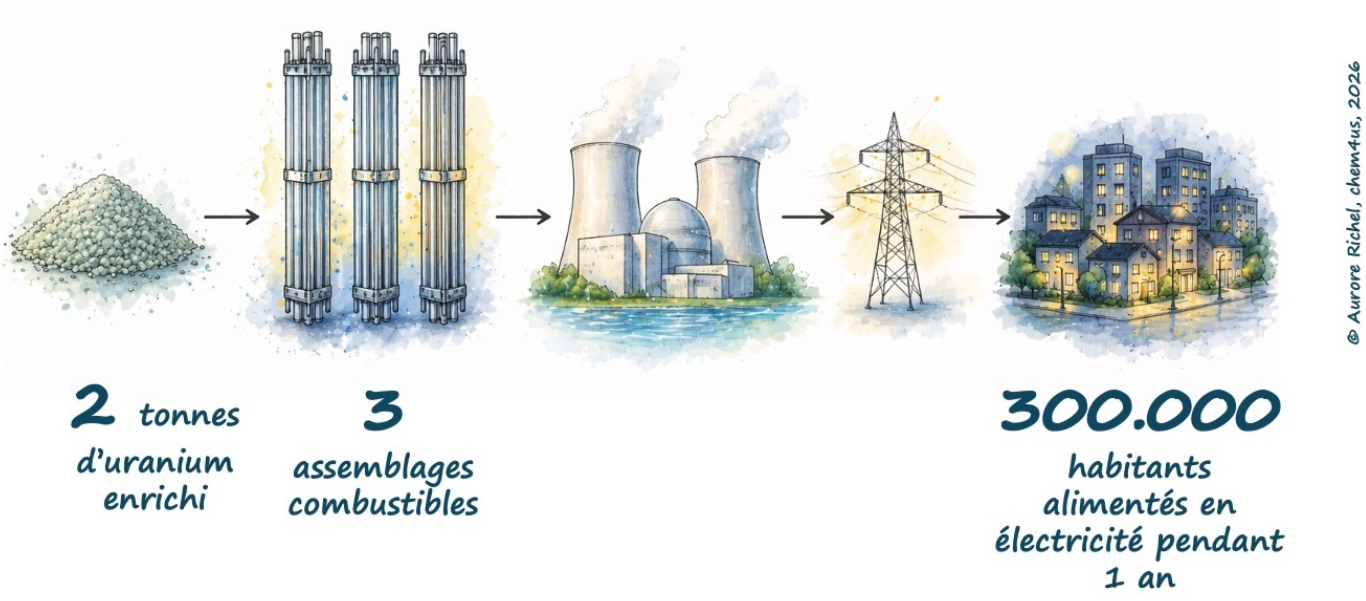

Figure 5. Chiffres-clés pour comprendre le fonctionnement d'une centrale nucléaire et ses performances

Le combustible nucléaire reste dans le réacteur pendant plusieurs années. Au fil du temps, les réactions de fission diminuent. Les assemblages sont alors retirés et remplacés. Après utilisation, le combustible reste radioactif et continue de produire de la chaleur. Il est donc stocké dans des piscines de refroidissement, puis parfois retraité pour récupérer une partie des matières fissiles encore utilisables.

Les usages militaires : l'autre visage méconnu de l'uranium

Outre son usage civil, l'uranium figure en bonne place dans les technologies militaires nucléaires. Son rôle historique le plus marquant apparaît lors du **bombardement atomique** d'Hiroshima, où l'uranium-235 a été utilisé pour produire une réaction de fission en chaîne extrêmement rapide, libérant une énergie considérable en un temps très court.[19] Dans ce type d'application, l'uranium est mis en œuvre sous forme métallique compacte, afin d'atteindre une masse critique et une géométrie permettant la propagation efficace des neutrons.

Au-delà des armes nucléaires elles-mêmes, l'uranium est aussi utilisé dans la **propulsion nucléaire militaire**.[20] Les réacteurs embarqués à bord de sous-marins et de porte-avions reposent sur la fission contrôlée du noyau d'uranium pour produire de la chaleur, ensuite convertie en énergie mécanique. Dans ces systèmes, l'uranium est généralement présent sous forme d'oxyde (UO_2), élaboré pour résister à des températures élevées et à un flux neutronique intense. La composition isotopique varie selon les besoins opérationnels. Certains réacteurs utilisent des teneurs relativement modestes en isotope fissile, tandis que d'autres, notamment dans le domaine naval, recourent à des teneurs beaucoup plus élevées afin d'augmenter la durée de vie du combustible et de limiter les opérations de rechargement.[21]

L'uranium appauvri constitue un autre usage militaire important, sans lien direct avec les réactions nucléaires. Composé majoritairement d'U-238 et contenant typiquement entre 0,2 et 0,3 % d'U-235, il se distingue par sa très forte densité et ses

propriétés mécaniques. Ces caractéristiques en font un matériau privilégié pour la fabrication de pénétrateurs cinétiques utilisés dans les **munitions anti-blindage**. Lors de l'impact, la combinaison de sa densité et de son comportement pyrophorique favorise la perforation et l'inflammation, ce qui accroît son efficacité contre les cibles fortement protégées. On le retrouve également dans certains blindages composites, où il contribue à améliorer la résistance aux projectiles.[22]

L'uranium : un atome dangereux ?

L'uranium fait partie de ces rares atomes capables de générer des émotions auprès du grand public. Ceci est lié à un manque d'information, de compréhension des phénomènes complexes (fission, radioactivité), et à un effet d'amalgame.

A l'état naturel, l'uranium (soit en grande majorité de l'uranium-238) est faiblement radioactif et se désintègre lentement. Dans ces conditions, son irradiation externe est limitée. Son **principal danger direct** est plutôt **chimique**. Comme d'autres métaux lourds, il peut affecter les reins s'il est inhalé ou ingéré en quantité importantes. Même s'il se désintègre lentement, l'uranium se transforme progressivement en une série d'autres éléments radioactifs qui posent davantage de problèmes sanitaires. Le cas le plus important est celui du radon, un gaz radioactif qui peut s'accumuler dans les bâtiments mal ventilés. Une fois inhalé, ses descendants solides, notamment des isotopes du polonium, se déposent dans les poumons et délivrent localement une irradiation intense, ce qui augmente le risque de cancer pulmonaire en cas d'exposition prolongée. D'autres éléments de cette chaîne, comme le radium, peuvent se fixer dans les os et irradier les tissus sur le long terme. Dans la plupart des situations naturelles, ce sont donc l**es produits de désintégration qui représentent le principal risque**.

Dans le contexte des centrales nucléaires, la situation est différente. L'uranium y est utilisé sous une forme spécifique et contrôlée pour entretenir une réaction de fission. Ce processus ne produit pas seulement des descendants de l'uranium, mais aussi une grande variété de produits de fission, souvent beaucoup plus radioactifs à court terme. Parmi eux, certains éléments peuvent

être facilement dispersés dans l'environnement en cas d'incident, notamment sous forme gazeuse ou volatile. Les risques potentiels ne sont donc pas liés principalement à l'uranium lui-même, mais à ses produits de fission et à leur capacité à être inhalés ou ingérés. En fonctionnement normal, ces substances sont **confinées et strictement contrôlées, ce qui limite fortement l'exposition**. Les situations à risque concernent surtout les rejets accidentels ou les défauts de confinement. Là encore, la nature du danger dépend avant tout des radio-nucléides impliqués, de leur durée de vie et des voies d'exposition.

Ainsi, qu'il s'agisse de situations naturelles ou industrielles, le point essentiel est que **le risque ne dépend pas simplement de la présence d'uranium**, mais de l'ensemble des substances radioactives présentes et de la manière dont l'organisme peut y être exposé.

Un atome qui cristallise la peur

La peur collective associée à l'uranium est aujourd'hui bien documentée. Elle s'appuie sur plusieurs repères historiques et géopolitiques qui structurent l'imaginaire social, notamment le bombardement d'Hiroshima, la catastrophe de Tchernobyl et, dans un registre différent, Téhéran comme symbole contemporain des enjeux de prolifération. Leur rapprochement ne relève pas d'un lien causal direct mais d'une **construction sociale du risque**. Dans la plupart des cas, ce n'est d'ailleurs pas l'uranium en tant que substance qui est visé, mais le nucléaire dans son ensemble. Ce phénomène a été largement analysé en sociologie, notamment par Ulrich Beck, qui montre que les sociétés modernes tendent à organiser leurs peurs autour de risques globalisés et difficilement perceptibles.[23]

Le bombardement d'Hiroshima constitue une rupture majeure. Il introduit dans l'histoire humaine la possibilité d'une destruction massive et quasi instantanée fondée sur une réaction nucléaire. Au-delà de l'explosion, ses conséquences sanitaires et psychologiques se sont inscrites dans la durée. Les effets des radiations sur les populations directement exposées sont bien établis, tandis que les impacts héréditaires sur les générations suivantes apparaissent beaucoup plus limités et restent difficiles à mettre en évidence. Malgré cela, cet événement a durablement associé l'atome à l'**idée d'anéantissement**.[24]

La catastrophe de Tchernobyl marque un second moment structurant. Elle a profondément influencé les perceptions en raison d'une compréhension limitée des phénomènes en jeu et d'une communication initiale insuffisante. Surtout, elle a installé l'idée qu'un **système technologique complexe pouvait échapper au contrôle humain**. Ce n'est pas seulement la radioactivité qui suscite l'inquiétude, mais la perte de maîtrise. Cette perception a été renforcée par l'accident nucléaire de Fukushima, où un événement naturel extrême a conduit à un accident industriel majeur, renforçant l'idée d'une **vulnérabilité persistante**.

Téhéran représente un troisième repère, non pas comme événement, mais comme symbole. Il renvoie aux enjeux contemporains de prolifération des armes nucléaires et à la possibilité pour des États de développer des capacités sensibles comme l'enrichissement de l'uranium. Dans ce contexte, la frontière entre usages civils et militaires peut apparaître incertaine, ce qui alimente une forme d'ambiguïté stratégique durable.

Ces différentes situations illustrent un même mécanisme. La perception du risque repose moins sur les caractéristiques techniques que sur des facteurs comme le **contrôle**, l'intention et le **caractère irréversible des conséquences**. Les travaux en psychologie du risque montrent que les technologies invisibles, complexes et potentiellement catastrophiques tendent à être perçues comme particulièrement dangereuses. Les médias et les représentations culturelles jouent un rôle important dans la stabilisation de ces perceptions. L'énergie nucléaire devient ainsi un risque symbolique global, dont la portée dépasse largement ses réalités physiques.

L'uranium est un atome, pas un argument politique

L'uranium, en lui-même, n'est ni une idée politique ni un symbole. C'est avant tout un élément chimique. Ses propriétés, ses transformations et ses effets relèvent du domaine de la science, qui s'attache à les décrire avec précision. Autrement dit, avant d'être chargé d'images fortes dans l'imaginaire collectif, souvent associées au danger ou à la puissance, l'uranium est un objet d'étude que les chercheurs observent, mesurent et cherchent à comprendre.

C’est justement ce travail scientifique qui permet de dépasser les perceptions parfois simplifiées. En étudiant l’uranium, les scientifiques mettent en lumière à la fois ses atouts et ses risques. Ils analysent ses comportements physiques et radiologiques, son cycle de vie, ainsi que ses effets potentiels sur la santé et l’environnement. Ces connaissances reposent sur des données expérimentales rigoureuses, mais aussi sur une évaluation transparente des incertitudes. Cette démarche est essentielle car elle permet d’éclairer de manière nuancée un sujet souvent perçu de façon binaire.

Dans ce contexte, la communauté scientifique joue un rôle clé. Elle ne dicte pas les décisions, mais elle fournit un socle de compréhension indispensable. De nombreux travaux en gouvernance des sciences et des technologies montrent d’ailleurs que cette expertise est fondamentale pour évaluer les bénéfices et les risques associés au nucléaire. Elle s’inscrit toutefois dans un écosystème plus large, aux côtés des autorités de régulation, des institutions politiques et des organisations internationales.

Car dès que l’on parle des usages de l’uranium, qu’il s’agisse d’énergie nucléaire civile ou d’applications militaires, on entre dans le champ des choix de société. Ces décisions engagent des dimensions stratégiques, éthiques et sociétales. Elles doivent aussi s’appuyer sur les connaissances scientifiques. La science permet de poser le cadre rationnel. Elle identifie les contraintes, les possibles et les conséquences. En définitive, la science ne gomme ni les promesses ni les dangers liés à l’uranium ; elle les rend compréhensibles. Et c’est précisément cette compréhension qui permet de dépasser les peurs ou les fantasmes, pour aborder ces questions avec lucidité et responsabilité.

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.

Références et commentaires

[1] https://www.annales.org/archives/x/uraniferes.html

[2] https://www.britannica.com/science/radioactivity

[3] https://musee.curie.fr/decouvrir/documentation/histoire-de-la-radioactivite

[4] https://www.iaea.org/sites/default/files/04004700911su_fr.pdf

[5] https://francais.radio.cz/plongee-dans-les-profondeurs-mysterieuses-des-mines-duranium-8725508

[6] Un isotope est une variante d'un élément chimique qui se distingue par un nombre de neutron(s) différent, tandis que le nombre de protons et d'électrons reste le même. Le carbone, par exemple, existe sous la forme de 3 isotopes, ^{12}C, ^{13}C et ^{14}C.

[7] https://pubs.aip.org/aapt/ajp/article-abstract/88/3/200/149004/Uranium-fission-and-plutonium-production-in-the?redirectedFrom=fulltext

[8] https://www.larousse.fr/encyclopedie/divers/r%C3%A9acteur_surg%C3%A9n%C3%A9rateur/94895

[9] https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0149197017300914#:~:text=One%20of%20the%20biggest%20influences,a%20ceiling%20price%20on%20uranium.

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

[11] https://www.iaea.org/sites/default/files/publications/magazines/bulletin/bull59-2/5920809_fr.pdf

[12] https://www.oecd-nea.org/jcms/pl_28569/uranium-resources-production-and-demand-red-book

[13] https://www.acs.org/pressroom/presspacs/2023/december/extracting-ur

anium-from-seawater-as-another-source-of-nuclear-fuel.html

[14] https://www.un.org/fr/conf/npt/2015/pdf/text%20of%20the%20treaty_fr.pdf

[15] https://www.urenco.com/about/nuclear-fuel-supply-chain/enrichment-process

[16] https://www.orano.group/fr/l-expertise-nucleaire/tour-des-implantations/transformation-uranium/tricastin/expertise

[17] https://www.sfen.org/rgn/le-chinois-cnnc-teste-une-plate-forme-pour-extraire-luranium-de-leau-de-mer/

[18] https://fr.euronews.com/2026/03/26/malgre-les-sanctions-une-societe-allemande-veut-produire-du-combustible-avec-rosatom

[19] https://hpmmuseum.jp/modules/exhibition/index.php?action=ItemView&item_id=64&lang=eng

[20] https://www.science-et-vie.com/technos-et-futur/defense/quest-ce-que-lenrichissement-de-luranium-et-comment-sert-il-a-fabriquer-des-bombes-nucleaires-202524.html

[21] https://www.voix-du-nucleaire.org/transports/la-propulsion-navale-nucleaire/

[22] https://disarmament.unoda.org/fr/our-work/conventional-arms/other-conventional-arms-issues/depleted-uranium

[23] https://www.radiofrance.fr/franceculture/podcasts/les-idees-claires/ulrich-beck-et-l-avion-du-nucleaire-4898393

[24] https://www.grip.org/hiroshima-300-grammes-pour-provoquer-laneantissement/