

L'uranium, une ressource d'avenir

L'uranium est la matière première utilisée dans le cadre des centrales nucléaires. Les gisements de minerai uranifère connus à l'heure actuelle sont répartis sur toute la Terre, et les océans contiennent eux aussi des quantités gigantesques de cet élément. Selon les prix et la technique de réacteur utilisée, les ressources en uranium suffiront pendant très longtemps encore, même en cas de développement de l'énergie nucléaire. Par ailleurs, le prix de l'uranium exerce un impact minime sur le prix de l'électricité, ce qui rend possible une estimation à long terme des coûts de la production d'électricité d'origine nucléaire. Les ménages et l'économie bénéficient ainsi d'une grande sécurité d'approvisionnement.

Le noyau de l'atome d'uranium recèle énormément d'énergie. Les centrales nucléaires n'ont donc besoin que de quantités minimales de combustible pour produire de grandes quantités d'électricité. Une centrale nucléaire de 1000 MW telle que celle de Gösgen ne nécessite chaque année que quelque 200 tonnes d'uranium naturel pour fournir de l'électricité à un million de personnes. Une centrale au charbon de la même taille nécessiterait à cette fin la combustion de plus de deux millions de tonnes de charbon, une centrale au fioul de 1'400'000 tonnes d'huile lourde, et une centrale à gaz moderne de 980'000 tonnes de gaz naturel.

Une teneur énergétique élevée

La densité énergétique élevée de l'uranium et le volume comparativement très faible des dé-

chets radioactifs générés expliquent en premier lieu pourquoi – conjointement avec l'hydraulique et l'éolien – l'énergie nucléaire est la mieux placée en termes d'impact environnemental par rapport aux autres techniques actuelles de production d'électricité.

L'extraction d'uranium

En 2021, l'uranium naturel a été extrait dans des mines à ciel ouvert à hauteur de 17% et dans des mines souterraines à hauteur de 15%. Près de 63% ont été extraits au moyen du procédé de lixiviation in situ, ou extraction par dissolution, qui consiste à injecter une solution à travers un minerai par le biais d'un forage puis à pomper les produits ainsi dissous. Des produits secondaires tels que le cuivre et l'or sont alors également obtenus.

▲ Matière première pour la production d'électricité: la pechblende (uraninite), minerai noir naturel, avec des produits jaunes et orange d'altération des roches qui contiennent aussi de l'uranium.
Photo: NMBE



▲ Combustible d'uranium sous la forme sous laquelle il est utilisé dans les centrales nucléaires. Trois ou quatre de ces pastilles d'oxyde d'uranium (UO_2) permettent de couvrir la consommation d'électricité d'un ménage de quatre personnes pendant un an. Photo: KKG

2

Afin de réduire le plus possible les volumes transportés, on produit en général dans les régions minières un concentré du minerai d'uranium qui a été extrait, concentré appelé «yellow cake», une poudre jaune qui contient environ 70–90% d'uranium sous forme d'oxyde d'uranium U_3O_8 .

La gestion de l'environnement

Toutes les mines d'uranium sont placées aujourd'hui sous la surveillance des autorités. Les exigences en matière de protection de l'environnement requises pour une mine d'uranium sont en principe les mêmes que pour les autres mines d'où sont extraites des matières premières métalliques – fer, cuivre ou aluminium. Les mines d'uranium impliquent cependant une intervention dans l'environnement naturel, au même titre que l'extraction de cuivre ou de fer pour la construction de parcs éoliens ou d'installations solaires. C'est la façon dont une mine est exploitée qui constitue ici le facteur déterminant.

Bon nombre de mines d'uranium et d'autres mines qui exploitent l'uranium en tant que sous-produit sont aujourd'hui certifiées selon les normes environnementales. Les législations locales de nombreuses régions obligent les sociétés minières à mettre l'homme et l'environnement à l'abri des nuisances et à remettre le paysage naturel en état après la fermeture des mines. Plusieurs exploitants se sont d'ailleurs engagés spontanément à le faire.

Par ailleurs, on assiste actuellement à la mise en place d'une certification de la responsabilité sociale des compagnies minières selon des normes internationales. Les gisements de minerai constituent dans de nombreux pays un moyen de subsistance important pour la population des régions minières concernées.

La production actuelle d'uranium

En 2020, en raison des prix bas du marché, seules 74'342 tonnes d'uranium ont été extraites dans 17 pays, soit 12% de moins qu'en 2018. Le plus gros producteur a été le Kazakhstan (41%), suivi du Canada (13%) et de l'Australie (12%). Début 2021, l'extraction d'uranium a couvert près de 79% des besoins mondiaux. Le reste provenait de réserves, de l'uranium redilué issu de stocks militaires, du retraitement d'assemblages combustibles usés ou du réenrichissement d'uranium 235 provenant des résidus de l'enrichissement.

Les réserves d'uranium actuelles

Les chiffres relatifs aux réserves globales d'uranium se réfèrent toujours aux gisements connus et aux gisements supposés qui valent la peine d'être exploités à un certain niveau de prix de l'uranium. La carte ci-contre présente les ressources

- qui sont actuellement connues en détail et ont été annoncées par les pays respectifs;
- qui sont exploitables à un prix marchand inférieur à 260 dollars par kg d'uranium naturel (le prix de l'uranium sur le marché spot s'établit actuellement à environ un quart de cette somme).

L'élément uranium

L'uranium est l'élément chimique le plus lourd présent naturellement en grandes quantités sur Terre. On trouve des traces d'uranium naturel presque partout dans notre environnement, et même dans le corps humain. L'uranium naturel est faiblement radioactif; il se compose d'un mélange de trois noyaux atomiques différents du même élément, appelés isotopes: l'uranium 234 (en traces seulement), l'uranium 235 (environ 0,7%) et l'uranium 238 (environ 99,3%)

Les deux derniers isotopes cités se distinguent par le fait que le noyau atomique de l'uranium 235 contient trois neutrons de moins que le noyau atomique de l'uranium 238. Le fait que l'uranium 235 est davantage fissile que l'uranium 238 constitue la base physique de l'exploitation des centrales nucléaires actuelles.

Selon les estimations de l'Agence pour l'énergie nucléaire de l'OCDE, ces réserves d'uranium suffiront, avec les gisements connus qui n'ont pas encore été étudiés en détail, durant plus de 130 années en cas de consommation égale à celle d'aujourd'hui. Par ailleurs, une augmentation de la capacité nucléaire mondiale de près de 60% d'ici à 2040 serait tout à fait possible (d'après les projections hautes de l'Agence internationale de l'énergie nucléaire).

Les réserves d'uranium futures

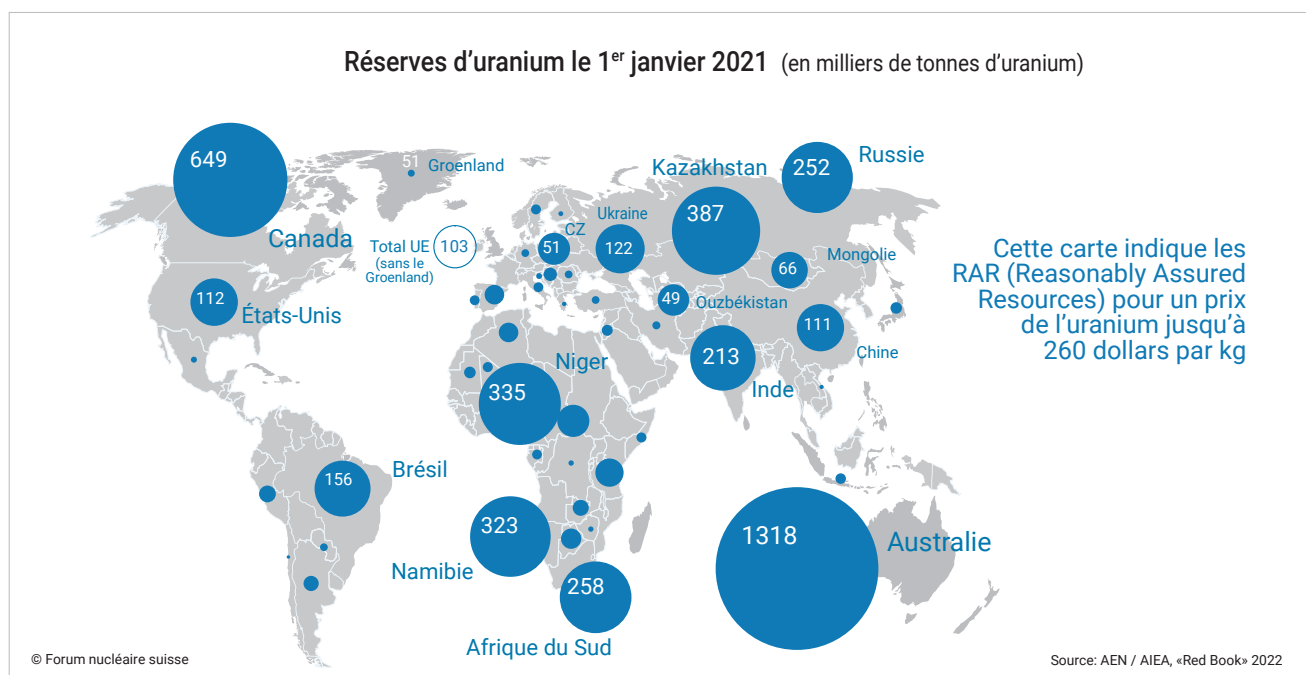
L'approvisionnement en combustible du futur pourra être assuré d'autres manières:

- **Gisements de minerai:** les sociétés minières n'explorent et ne mettent en valeur de nouveaux gisements qu'en fonction du volume qui sera probablement demandé dans les deux à trois prochaines décennies. Face au prix de l'uranium très bas actuellement, les investissements dans l'exploration de nouveaux gisements d'uranium ont diminué dans le monde ces dernières années. Les spécialistes s'attendent à ce que des gisements à haute concentration d'uranium continuent d'être découverts. Par ailleurs, l'expérience pratique découlant de l'exploitation minière moderne permet de penser que des minerais d'uranium à teneur bien plus faible qu'aujourd'hui pourront être mis en valeur sans qu'il en résulte une forte hausse de la consommation d'énergie.

- **Uranium appauvri:** à partir d'un certain prix du marché, il peut être intéressant de renvoyer l'uranium appauvri issu de l'enrichissement dans le processus d'enrichissement afin de pouvoir utiliser les résidus d'uranium fissile.
- **Phosphates et charbon:** En cas de hausse des prix, l'uranium peut aussi être extrait comme sous-produit de l'exploitation des phosphates. Les cendres contenues dans les filtres des centrales à charbon qui brûlent de la houille fortement uranifère constituent une autre ressource.

Si ces sources d'uranium potentielles et alternatives étaient utilisées, les réserves suffiraient encore pour longtemps même en cas d'augmentation de la consommation. Compte tenu de ce qui précède, l'Agence internationale de l'énergie de l'OCDE estime qu'il serait possible d'au moins tripler les capacités du parc nucléaire mondial d'ici à 2050, afin de répondre à la voracité énergétique de l'humanité et de rendre possible une baisse sensible des émissions de CO₂ liées à la production d'électricité.

Il ne faut pas oublier pour autant que l'uranium est présent en grandes quantités sur notre planète. À eux seuls, les océans renferment quelques milliards de tonnes d'uranium dilué. Des essais pratiques effectués au Japon ont montré qu'à condition de recourir à des processus d'extraction adéquats, cet uranium marin peut lui aussi représenter une option pour les générations à venir.



Les gisements d'uranium sont répartis sur toute la Terre. La carte montre les réserves dignes d'être exploitées dont on connaît aujourd'hui en détail les coûts de mise en valeur. Au cours des 30 dernières années, le volume de ces réserves est resté relativement stable, autrement dit: la quantité d'uranium identifiée est à peu près équivalente à la quantité d'uranium consommée.

Un potentiel de développement colossal

L'énergie nucléaire possède un potentiel colossal: si d'autres technologies de réacteurs telles que les surgénérateurs deviennent accessibles à l'échelle commerciale dans les décennies à venir, il sera alors possible, à échelle humaine, d'utiliser l'énergie nucléaire pour une durée quasiment illimitée. Cela sera d'autant plus vrai si l'on dispose un jour de la fusion nucléaire comme source d'énergie ou si le thorium, présent en abondance sur Terre, peut être utilisé comme combustible.

Une sécurité d'approvisionnement élevée

Les réserves d'uranium connues à l'heure actuelle sont dispersées partout dans le monde. Le grand nombre de pays fournisseurs potentiels signifie une sécurité d'approvisionnement élevée. De plus, l'uranium peut être stocké sans problème. Les centrales nucléaires suisses ont besoin de quelque 480 tonnes d'uranium naturel par an, soit 1% environ de la consommation mondiale. Les exploitants stockent en général sur place les quantités de combustible neuf dont ils auront besoin pour l'année de fonctionnement suivante.

Si, pour une raison quelconque, il n'était soudain plus possible d'importer du combustible en Suisse, nos centrales nucléaires seraient en mesure de produire encore de l'électricité pendant deux à trois ans à puissance réduite. Le niveau de sécurité d'approvisionnement ainsi assuré ne sera jamais égalé par le pétrole ou le gaz naturel.

Prix de l'uranium et prix de l'électricité

Les fluctuations du prix de l'uranium n'exercent qu'une influence minimale sur le coût de la production d'électricité dans des centrales nucléaires. Ceci s'explique d'abord par le fait que la majeure partie de l'uranium est négociée dans le cadre de contrats de livraison à long terme avec des prix stables, et qu'un cinquième seulement des assemblages combustibles de la centrale est remplacé lors de la révision annuelle.

Par ailleurs, le prix de l'uranium naturel représente aujourd'hui bien moins de 10% des coûts de production d'une centrale nucléaire suisse, soit moins d'un demi-centime par kilowattheure d'électricité.

Une prévisibilité sur le long terme

Même en cas de forte hausse du prix de l'uranium naturel, l'électricité au départ de la centrale ne subirait qu'un renchérissement minimal. La production d'électricité issue des centrales nucléaires serait toujours la plus avantageuse en Suisse.

Cela est rassurant car les consommateurs peuvent évaluer, même à long terme, le coût de l'électricité d'origine nucléaire.

