

Énergie ET Sécurité

Uranium enrichi / Gorbatchev et le peuple américain

No. 31, 2005

-
- [Uranium enrichi : quelques points de repère pour un véritable débat sur la prolifération nucléaire et l'énergie nucléaire](#)
– par Arjun Makhijani, Lois Chalmers et Brice Smith
 - [L'Enrichissement de l'Uranium dans le Monde](#)
 - ESSAI
[Gorbatchev et le peuple américain : Les victoires ignorées de la lutte pour l'élimination des armes nucléaires](#)
– par Arjun Makhijani
 - [L'énigme atomique](#)

Crédits pour ce numéro:

- Traduction: Annike Thierry, avec la collaboration de: Jean-Luc Thierry et Annie Makhijani.
- Rédactrice en chef: Lisa Ledwidge.
- La version anglaise de ce numéro, *Science for Democratic Action* v. 13, no. 1, a été publiée en mars 2005.

Uranium enrichi : quelques points de repère pour un véritable débat sur la prolifération nucléaire et l'énergie nucléaire

Par Arjun Makhijani, Lois Chalmers et Brice Smith

Note de la rédaction : *Les activités nucléaires de l'Iran, qui ont tout récemment fait la une des journaux, viennent rappeler l'importance de la question de l'enrichissement de l'uranium. Ce numéro d'Énergie et Sécurité vise à animer un véritable débat en proposant des informations et des analyses sur la situation et le processus de l'enrichissement de l'uranium.*

Le présent article analyse la façon dont s'effectue l'enrichissement de l'uranium, les types de technologies d'enrichissement, et certains éléments historiques importants. [Le tableau](#) ci-dessous offre un résumé de la situation des installations d'enrichissement de l'uranium dans le monde. Testez vos connaissances sur l'enrichissement de l'uranium avec [l'Énigme atomique](#).

Le contenu de cet article, du tableau et de l'énigme est issu de Uranium Enrichment : Just Plain Facts to Fuel an Informed Debate on Nuclear Proliferation and Nuclear Power (Uranium enrichi : quelques points de repère pour un véritable débat sur la prolifération nucléaire et l'énergie nucléaire), un rapport publié en octobre 2004 par l'IEER pour le compte du Nuclear Policy Research Institute. Les références sont précisées dans le rapport lui-même, qui peut être consulté sur le site web de l'IEER (www.ieer.org/reports/uranium/enrichment.pdf).

Les connaissances et les capacités nécessaires à l'enrichissement de l'uranium sont largement diffusées, que ce soit pour la production électronucléaire ou la fabrication d'armes nucléaires. À bien des égards, quand on en arrive aux techniques d'enrichissement, il est déjà trop tard. Il s'agit d'un problème particulièrement préoccupant au vu des propositions qui visent à un recours plus important à l'énergie nucléaire au cours des décennies à venir, dans le monde entier.

À titre d'exemple, pour alimenter un millier de centrales nucléaires de 1000 mégawatts (un scénario fréquemment repris dans de nombreux scénarios de croissance du nucléaire), il faudrait disposer d'une capacité d'enrichissement de l'uranium environ neuf à dix fois supérieure à celle actuellement en exploitation aux Etats-Unis. Si seulement un pour cent de cette capacité était utilisé à la fabrication d'uranium hautement enrichi (UHE), la quantité d'UHE produite chaque année permettrait d'obtenir entre 175 et 310 armes nucléaires. Un essor de l'énergie nucléaire s'accompagnerait d'une augmentation du commerce des matériaux spécialisés nécessaires à la construction et à l'exploitation des installations de centrifugation et d'autres usines d'enrichissement, et il deviendrait de plus en plus difficile de distinguer entre les ventes illicites et les détournements des technologies réputées « pacifiques ».

Il est important de se préoccuper des pays qui développent actuellement des initiatives pouvant contribuer à un programme nucléaire militaire (comme l'Iran). Mais il est tout aussi essentiel de garder à l'esprit que les technologies d'enrichissement de l'uranium sont maintenant très répandues, et que les risques ne feraient que s'accroître si cette technologie devenait libre de se développer partout dans le monde pour accompagner un recours accru à l'énergie nucléaire. En

d'autres termes, nous serions bien avisés de ne pas négliger les pays qui disposent actuellement de programmes nucléaires civils et militaires avancés, leur important potentiel proliférateur, et leur bilan très peu glorieux en ce domaine.¹ Les cinq pays dotés d'armes nucléaires qui sont parties au Traité de non-prolifération (TNP) – les États-Unis, la Russie, le Royaume-Uni, la France et la Chine – disposent d'usines d'enrichissement qui ont été utilisées pour produire de l'UHE militaire. Ces cinq pays possèdent aussi d'importantes installations d'enrichissement d'uranium, qui ont été utilisées pour la production d'uranium faiblement enrichi (UFE) destiné à alimenter les réacteurs commerciaux.

En dehors de ces cinq États, seuls trois pays possèdent des installations d'enrichissement d'uranium qui ont été utilisées pour produire des quantités importantes de combustible nucléaire civil. De nombreux autres pays, toutefois, ont réalisé des travaux sur les technologies d'enrichissement, et l'on pense que certains ont pu utiliser leurs capacités d'enrichissement à des fins militaires. Le tableau ci-dessous offre une synthèse des informations actuellement disponibles sur la situation des installations d'enrichissement de l'uranium dans le monde.

Le Pakistan, l'un des pays connus pour avoir produit des armes nucléaires hors du TNP (traité dont il n'est pas signataire), possède des installations qui ont fourni de l'UHE pour des applications militaires. On sait également que l'Afrique du Sud a fabriqué des armes nucléaires avec l'uranium enrichi issu de ses propres installations. En revanche, l'Inde et Israël ont fabriqué des armes nucléaires à partir du plutonium 239 (qui se forme dans les réacteurs nucléaires lorsque l'uranium 238 non fissile capture un neutron à basse énergie). On soupçonne souvent la Corée du Nord, qui s'est retirée du TNP en janvier 2003 sans respecter la notification de trois mois requise par le traité, d'avoir produit un petit nombre d'armes nucléaires avec du plutonium. On continue de s'interroger sur l'éventualité d'un programme parallèle d'enrichissement de l'uranium dans ce pays.

l'uranium

Un seul élément existant à l'état naturel a été utilisé comme matière première pour les bombes atomiques : l'uranium, de symbole chimique U.² Cet élément présente une propriété importante pour les armes atomiques et l'énergie nucléaire : sa capacité de fission, c'est-à-dire de division en deux fragments plus légers quand il est bombardé par des neutrons. Ce processus donne lieu à un dégagement d'énergie.

l'uranium naturel (c.à.d. celui qui est extrait d'une mine) se présente sous forme d'un mélange de trois isotopes différents, c'est-à-dire d'atomes de poids atomiques différents, qui possèdent des propriétés chimiques quasiment identiques mais différent par leurs propriétés nucléaires. Ces isotopes sont l'uranium 234, l'uranium 235 et l'uranium 238. l'uranium 234, présent à l'état de traces dans l'uranium naturel, est un composant très radioactif. l'uranium 235 est la seule matière fissile qui se trouve en quantités importantes dans la nature. l'uranium 238 est l'isotope le plus abondant (99,284 pour cent du poids d'un échantillon d'uranium naturel est constitué d'U-238), mais il n'est pas fissile. l'U-238 peut néanmoins être fissionné par des neutrons à haute énergie, ce qui entraîne un très grand dégagement d'énergie. Il est donc souvent utilisé pour renforcer la puissance explosive des bombes thermonucléaires (à hydrogène).

Le tableau ci-après présente certaines caractéristiques des trois isotopes qui se trouvent dans l'uranium naturel. Dans la mesure où l'U-234 ne représente qu'une proportion minuscule de la masse de l'uranium naturel, et où il ne sert à aucune application importante, cet article portera presque exclusivement sur les deux autres isotopes de l'uranium, U-235 et U-238.

Tableau 1 : Les isotopes de l'uranium

| Isotope | Pourcentage de l'uranium naturel (en masse) | Pourcentage de l'uranium naturel (en radioactivité) | Demi-vie |
|---------------------|---|---|-------------------------|
| Uranium 238 (U-238) | 99,284 | 47,9 | 4,46 milliards d'années |
| Uranium 235 (U-235) | 0,711 | 2,3 | 704 millions d'années |
| Uranium 234 (U-234) | 0,0055 | 49,8 | 245 000 ans |

Du fait de la présence de petites quantités d'U-235, l'uranium naturel peut entretenir une réaction en chaîne dans certaines conditions, et peut donc être utilisé comme combustible dans certains types de réacteurs (réacteurs modérés au graphite et à eau lourde³, ces derniers étant vendus par le Canada). Pour le type de réacteur le plus répandu dans le monde aujourd'hui (le réacteur à eau légère), qui utilise de l'eau ordinaire comme caloporteur et comme modérateur, la proportion d'U-235 dans le combustible doit dépasser les 0,7 pour cent d'uranium naturel pour entretenir une réaction en chaîne.

l'ensemble des procédés industriels utilisés pour accroître le pourcentage d'U-235 dans une quantité donnée d'uranium est placé dans la catégorie générale d' « enrichissement de l'uranium », le terme « enrichissement » renvoyant à l'augmentation du pourcentage de l'isotope fissile U-235. Les réacteurs à eau légère utilisent généralement de l'uranium enrichi entre 3 et 5 pour cent, c'est-à-dire que la proportion d'U-235 dans le combustible varie de 3 à 5 pour cent, la quasi-totalité du reste étant de l'U-238. Un matériau présentant ce niveau d'U-235 est appelé « uranium faiblement enrichi » (UFE).

Il est impossible de fabriquer des bombes atomiques à partir d'uranium naturel ou faiblement enrichi. La proportion d'U-235 est tout simplement trop faible pour permettre à une réaction en chaîne « surcritique » de se développer pendant une durée suffisamment brève pour créer une explosion. l'uranium doit contenir un minimum d'environ 20 pour cent d'U-235 pour pouvoir servir à la fabrication d'une bombe atomique. Toutefois, une bombe fabriquée avec de l'uranium à ce taux d'enrichissement minimum serait trop massive pour être transportée, dans la mesure où elle nécessiterait de grandes quantités d'uranium et des quantités encore plus grandes d'explosifs conventionnels pour obtenir une compression jusqu'au niveau d'une masse supercritique.

Dans la pratique, on a utilisé de l'uranium contenant au moins 90 pour cent d'U-235 pour fabriquer des armes nucléaires. A ce niveau d'enrichissement l'uranium est appelé uranium

hautement enrichi (UHE). La bombe qui a détruit Hiroshima le 6 août 1945 contenait environ 60 kilogrammes d'UHE. L'uranium hautement enrichi est également utilisé dans des réacteurs de recherche et des réacteurs navals du type de ceux qui assurent la propulsion des porte-avions et des sous-marins. On considère que le combustible UHE destiné aux réacteurs de recherche est particulièrement vulnérable aux détournements à des fins militaires, dans la mesure où il est généralement moins bien surveillé et souvent situé dans des villes ou des campus universitaires. À la différence du combustible irradié en réacteur, donc très radioactif, l'UHE non irradié ne constitue pas un obstacle au détournement.

Le même procédé et les mêmes installations peuvent être utilisées pour enrichir l'uranium à destination des réacteurs civils à eaux légères (c.à.d pour fabriquer de l'UFE) et pour préparer l'UHE servant aux bombes nucléaires. Par conséquent, toutes les technologies d'enrichissement de l'uranium sont autant de sources potentielles de prolifération des armes atomiques. En outre, certaines méthodes d'enrichissement de l'uranium sont plus difficiles à détecter que d'autres, ce qui vient renforcer la crainte d'éventuels programmes clandestins.

L'enrichissement de l'uranium

Puisque tous les isotopes de l'uranium ont quasiment les mêmes propriétés chimiques, il faut se servir de la différence de poids atomique entre les isotopes (représentés par les nombres 234, 235 et 238 qui leur sont accolés) pour augmenter la proportion d'uranium 235 dans un échantillon donné. L'U-238 est légèrement plus lourd que l'U-235 (d'environ 1%). Quand l'uranium est sous forme gazeuse, les molécules contenant l'U-235 plus léger ont en moyenne une vitesse supérieure (à une température donnée) à celle des molécules plus lourdes qui contiennent de l'U-238.

Au cours du processus d'enrichissement habituel, un flux d'uranium naturel, auparavant converti en un gaz contenant à la fois de l'U-235 et de l'U-238, est partagé en deux flux en tirant parti de la légère différence de masse entre les deux isotopes. L'un des deux flux est plus riche en U-235 (le flux d'uranium « enrichi »), alors que l'autre est plus pauvre en U-235 (le flux d'uranium « appauvri », le terme appauvri renvoyant à un pourcentage plus faible d'U-235 par rapport à l'uranium naturel). Des informations plus précises sur les procédés d'enrichissement sont analysées plus loin, dans la partie intitulée « Technologies d'enrichissement ».⁴

La capacité d'une usine d'enrichissement de l'uranium à augmenter le pourcentage d'U-235 est formulée en Unités de travail de séparation (UTS). Les installations de production industrielle ont en général des capacités qui vont de quelques centaines de milliers à plusieurs millions d'UTS (MUTS) par an. L'Unité de travail de séparation est une unité complexe qui dépend à la fois du pourcentage d'U-235 souhaité dans le flux d'uranium enrichi et de la quantité d'U-235 présente dans le flux entrant qui se retrouve dans le flux d'uranium appauvri. On peut voir l'UTS comme l'effort nécessaire pour parvenir à un niveau d'enrichissement donné. Plus on cherche à réduire la quantité de l'U-235 du flux entrant qui aboutit dans l'uranium appauvri, plus il faut d'UTS pour parvenir au niveau d'enrichissement visé.⁵

Le nombre d'UTS fournies par une usine d'enrichissement est en rapport direct avec la quantité d'énergie consommée par cette installation. Les deux plus importantes technologies

d'enrichissement utilisées aujourd'hui (qui sont décrites plus précisément ci-dessous) ont des besoins énergétiques très différents. Les usines de diffusion gazeuse modernes exigent généralement entre 2 400 et 2 500 kilowatts-heure (kWh) d'électricité par UTS, alors que les usines à centrifugation gazeuse n'ont besoin que de 50 à 60 kWh par UTS.

Environ 100 000 à 120 000 UTS de services d'enrichissement sont nécessaires chaque année à l'alimentation en uranium enrichi d'un réacteur à eau légère typique d'une capacité de 1000 mégawatts électriques. Si cet enrichissement était fourni par une usine de diffusion gazeuse (par exemple du type de celle actuellement exploitée aux Etats-Unis à Paducah, dans le Kentucky), le processus d'enrichissement consommerait approximativement entre 3 et 4 pour cent de l'électricité produite par le réacteur.⁶ En revanche, si le combustible à l'uranium était enrichi dans des usines à centrifugation gazeuse (comme c'est le cas actuellement dans de nombreuses régions du monde), le processus d'enrichissement consommerait moins de 0,1 pour cent de l'électricité générée par la centrale au cours de l'année.

Outre les UTS, un autre paramètre important à prendre en compte est la masse d'uranium naturel nécessaire pour obtenir la masse d'uranium enrichi désirée. Comme pour le nombre d'UTS, la quantité de matière première nécessaire dépendra aussi du niveau d'enrichissement souhaité et de la quantité d'U-235 qui se retrouvera au final dans l'uranium appauvri. La quantité d'uranium naturel nécessaire diminuera parallèlement à la diminution des teneurs en U-235 tolérées dans l'uranium appauvri à l'arrivée.

Par exemple, pour l'enrichissement d'UFE utilisé dans un réacteur à eau légère, il est habituel d'avoir un flux enrichi qui contient en fin de compte 3,6 pour cent d'U-235 (à comparer à 0,71 pour cent dans l'uranium naturel) et un flux appauvri contenant de 0,2 à 0,3 pour cent d'U-235. Pour produire un kilogramme de cet UFE, il faudra approximativement 8 kilogrammes d'uranium naturel et 4,5 UTS si on tolère une teneur de 0,3 pour cent d'U-235 dans le flux d'uranium appauvri. En revanche, si le flux d'uranium appauvri ne contient que 0,2 pour cent d'U-235, il suffit de 6,7 kilogrammes d'uranium naturel, mais il faut environ 5,7 UTS.

Pour produire un kilogramme d'uranium *hautement* enrichi (c.à.d. contenant 90 pour cent d'U-235), il faudrait plus de 193 UTS, et près de 219 kilogrammes d'uranium naturel si l'uranium appauvri contient 0,3 pour cent d'U-235. Il faudrait près de 228 UTS et plus de 176 kilogrammes d'uranium naturel si le flux d'uranium appauvri contenait 0,2 pour cent d'U-235.

Le tableau 2 résume les consommations (uranium naturel et services d'enrichissement) qui seraient nécessaires pour produire un kilogramme d'UFE et un kilogramme d'UHE dans des scénarios avec 0,2 ou 0,3 pour cent d'U-235 dans le flux d'uranium appauvri.

Dans la mesure où la quantité d'uranium naturel et le nombre d'UTS nécessaires évoluent en sens contraire pendant l'enrichissement, pour un niveau d'enrichissement donné, si l'uranium naturel est bon marché et les services d'enrichissement sont relativement plus coûteux, les exploitants choisissent généralement une « perte » plus importante d'U-235 dans le flux d'uranium appauvri (c.à.d. qu'ils choisiront d'utiliser plus d'uranium naturel et moins d'UTS). En revanche, si l'uranium naturel est relativement plus coûteux et l'enrichissement l'est moins, ils feront le choix inverse.

Tableau 2 : Consommations nécessaires à la production d'un kilogramme d'uranium enrichi et d'un kilogramme d'uranium hautement enrichi

| | Uranium faiblement enrichi (UFE) | | Uranium hautement enrichi (UHE) | |
|--|----------------------------------|---------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| | Uranium naturel | Services d'enrichissement | Uranium naturel | Services d'enrichissement |
| Cas où le flux d'uranium appauvri contient 0,3 pour cent d'U-235 | 8,2 kg | 4,5 UTS | 219 kg | 193 UTS |
| Cas où le flux d'uranium appauvri contient 0,2 pour cent d'U-235 | 6,7 kg | 5,7 UTS | 176 kg | 228 UTS |

UFE = uranium contenant 3,6 pour cent d'U-235, du type de celui utilisé dans un réacteur à eau légère.

UHE = uranium contenant 90 pour cent d'U-235, du type de celui utilisé dans une arme nucléaire.

UTS = Unités de travail de séparation

kg = kilogrammes

Pour enrichir suffisamment d'uranium pour fabriquer une bombe comme celle larguée par les Etats-Unis sur Hiroshima (environ 60 kg d'UHE), il faudrait entre 10,6 et 13,1 tonnes d'uranium naturel et 11 600 à 13 700 UTS d'enrichissement. Des modèles d'armes nucléaires plus sophistiqués permettraient toutefois d'utiliser largement moins de la moitié de cette quantité ; des bombes à l'uranium modernes n'exigent généralement que 20 à 25 kilogrammes d'UHE.

Si, au lieu de commencer avec de l'uranium naturel, de l'uranium faiblement enrichi (3,6 pour cent d'U-235) est utilisé comme matériau de base pour la fabrication de l'UHE, il ne faut alors qu'entre 70 et 78 UTS et 26 à 27 kilogrammes de matière première pour produire un kilogramme d'uranium hautement enrichi. C'est-à-dire qu'il suffit de 1,6 tonne d'UFE (moins d'un dixième de la quantité nécessaire à l'alimentation annuelle en combustible d'un seul réacteur de 1000 mégawatts) pour obtenir l'UHE nécessaire à l'assemblage d'une bombe du type de celle d'Hiroshima. Ainsi, comme l'indique ce graphique, environ les deux tiers de la totalité des services d'enrichissement nécessaires à la production de l'UHE de qualité militaire servent à l'enrichissement de l'uranium naturel (0,7 pour cent d'U-235) en UFE (3,6 pour cent d'U-235), et seul un tiers sert à enrichir l'UFE en UHE (90 pour cent d'U-235)

Ainsi, si elles sont maintenues sous une forme qui se prête à l'enrichissement (c.à.d sous forme d'hexafluorure d'uranium), des réserves d'uranium faiblement enrichi peuvent donc servir de matière première pour fabriquer plus facilement et plus rapidement de l'uranium hautement enrichi utilisable dans des armes nucléaires. C'est l'un des principaux risques de prolifération lié à la diffusion des technologies d'enrichissement dans le cadre de l'expansion de l'énergie nucléaire.

Services d'enrichissement nécessaires à la production d'uranium hautement enrichi à partir d'uranium naturel

| 67 pour cent des services d'enrichissement | 100 pour cent des services d'enrichissement |
|--|--|
| Uranium naturel ==> UFE | UFE ==> UHE |
| ^ | ^ |
| Deux tiers de la totalité des services d'enrichissement nécessaires à la production de l'uranium hautement enrichi (UHE) de qualité militaire servent à l'enrichissement de l'uranium naturel (0,7 pour cent d'U-235) en uranium faiblement enrichi (UFE, 3,6 pour cent d'U-235) | Environ un tiers sert à enrichir l'UFE en UHE (90 pour cent d'U-235) |

Technologies d'enrichissement

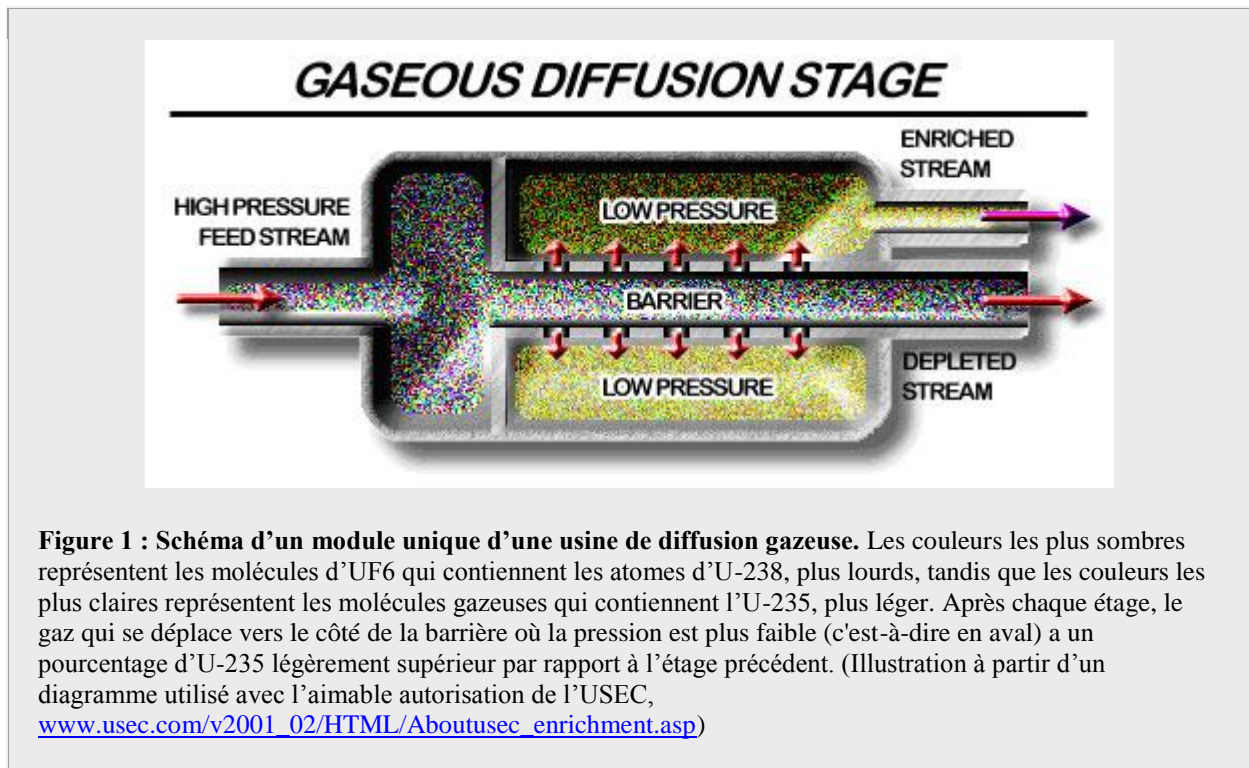
Quatre technologies ont été utilisées à grande échelle pour l'enrichissement de l'uranium. Trois d'entre elles – la diffusion gazeuse, la centrifugation gazeuse, et la séparation aérodynamique/séparation par tuyère – sont basées sur la conversion de l'uranium en hexafluorure d'uranium (UF₆) gazeux. La quatrième technique, la séparation électromagnétique, est basée sur l'utilisation d'uranium gazeux ionisé, obtenu à partir de tétrachlorure d'uranium solide (UCl₄).

Diffusion gazeuse

Le procédé par diffusion gazeuse a été utilisé pour enrichir la quasi-totalité de l'uranium faiblement ou hautement enrichi qui a été produit aux Etats-Unis. Il a d'abord été mis au point dans les années 1940, dans le cadre du Projet Manhattan, et a été utilisé, en partie, pour enrichir l'uranium utilisé dans la bombe larguée sur Hiroshima. Les cinq puissances nucléaires reconnues dans le cadre du régime du Traité de Non-Prolifération (TNP) ont exploité des usines de diffusion gazeuse à un moment ou un autre, mais seuls les Etats-Unis et la France poursuivent l'exploitation de telles installations. Le procédé par diffusion nécessite de faire passer de l'uranium sous forme gazeuse à travers un très grand nombre de parois poreuses (barrières de diffusion) et exige beaucoup d'énergie.

Pour mettre l'uranium sous une forme gazeuse utilisable dans le processus de diffusion, l'uranium naturel est converti en hexafluorure d'uranium (UF₆). Les molécules d'hexafluorure d'uranium contenant des atomes d'U-235, étant légèrement plus légers, diffusent à travers chaque barrière à un taux légèrement supérieur à celui des molécules qui contiennent des atomes d'U-238. Une simple analogie, pour visualiser ce procédé, consiste à imaginer que l'on souffle du sable à travers une série de tamis. Les grains de sable plus petits passent de façon préférentielle à travers chaque tamis, et ainsi, après chaque « étage », ils représentent un pourcentage du total légèrement supérieur à ce qu'il était avant le passage à travers ce module.

Une représentation schématique d'un tel étage d'usine de diffusion gazeuse est indiquée à la Figure 1.



La différence de masse, et donc de vitesse, entre les molécules d'UF6 contenant de l'U-235 ou de l'U-238 est très faible, et des milliers d'étages de ce type sont donc nécessaires à l'enrichissement civil ou militaire de quantités importantes d'uranium. Dans une usine de diffusion gazeuse, les étages sont disposés en « cascades », qui permettent à chaque étage de tirer avantage de l'enrichissement obtenu par les précédents, et également d'utiliser plus efficacement le flux d'uranium appauvri. Pour donner une idée de l'échelle, on rappellera que lorsque l'usine de diffusion gazeuse d'Oak Ridge, au Tennessee, a été construite, au début des années 1940, elle était le plus grand bâtiment industriel du monde. Deux des diffuseurs utilisés dans le processus d'enrichissement sont représentés sur la figure 2

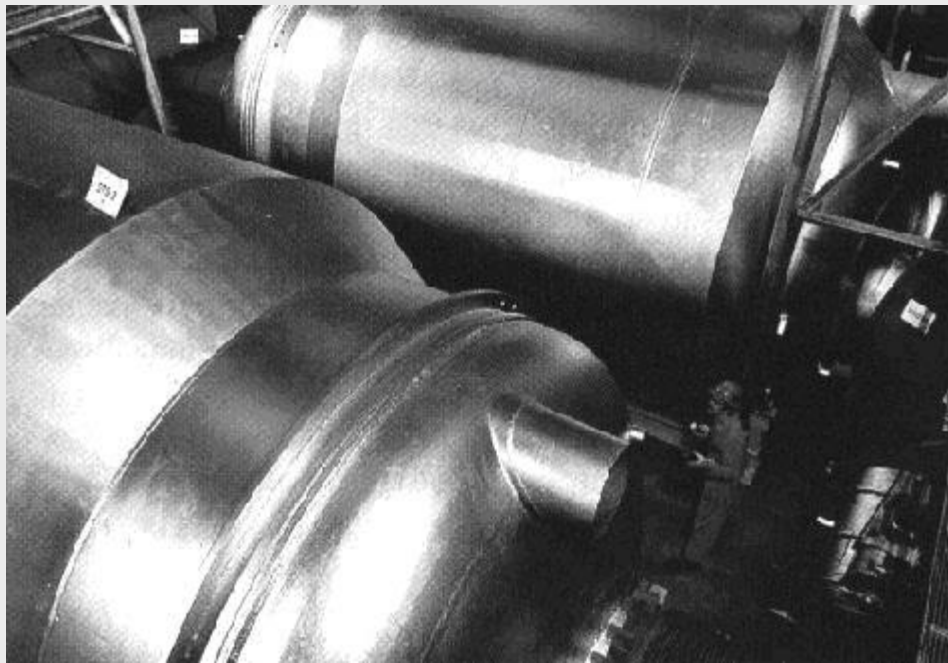


Figure 2 : Une photo en gros plan de l'extérieur de deux des étages de diffusion utilisés dans l'usine d'enrichissement d'uranium d'Oak Ridge. (Photo de Frank Hoffmann/Département de l'Énergie. Extrait de Darrell D. Ebbing et Steven D. Gammon, « General Chemistry » 6^e éd. (Boston : Houghton Mifflin, 1999), p. 215.)

l'étape la plus délicate dans la construction d'une usine de diffusion gazeuse est la fabrication des barrières perméables nécessaires aux étages de diffusion. Les barrières doivent être faites d'un matériau très durable et capable de conserver un diamètre de pores constant pendant plusieurs années de d'exploitation. Cet aspect est particulièrement délicat, étant donné la nature extrêmement corrosive de l'hexafluorure d'uranium gazeux. Les barrières ne font généralement que 5 millimètres d'épaisseur et leurs ouvertures ne représentent qu'environ 30 à 300 fois le diamètre d'un seul atome d'uranium.

Outre qu'ils exigent de grandes quantités d'électricité pour leur fonctionnement, les compresseurs des installations de diffusion gazeuse dégagent également une chaleur importante qui doit être dissipée. Dans les usines américaines, la dissipation de cette chaleur est assurée par l'utilisation de chlorofluorocarbones (CFC) destructeurs de la couche d'ozone, comme le CFC-114 (un fluide réfrigérant souvent appelé simplement fréon ou fréon-114). La fabrication, l'importation et l'utilisation des CFC a été considérablement restreinte par le Protocole de Montréal sur les substances qui appauvrissent la couche d'ozone, de 1987, que les États-Unis ont mis en œuvre à travers les amendements de 1990 de la Loi sur l'air (Clean Air Act).

Grâce à ces engagements, la fabrication du fréon aux États-Unis a pris fin en 1995 et les émissions atmosphériques issues des grands utilisateurs aux États-Unis ont chuté de près de 60 pour cent entre 1991 et 2002. Néanmoins, les émissions de l'usine de diffusion gazeuse de Paducah sont restées pratiquement constantes sur cette période, ne diminuant que de 7 pour cent

entre 1989 et 2002. En 2002, l'usine d'enrichissement de Paducah a rejeté dans l'air plus de 197,3 tonnes de fréon, par des fuites des tuyauteries et d'autres équipements. Cette seule installation parmi les grands utilisateurs des Etats-Unis a été à elle seule responsable en 2002 de plus de 55 pour cent de l'ensemble des rejets atmosphériques de ce CFC.

Du fait de l'absence de nouvelle fabrication de fréon depuis 1995, l'USEC (US Enrichment Corporation)⁷ cherche actuellement à utiliser un réfrigérant non-CFC. Les produits de remplacement éventuels se caractérisent toujours par une capacité de piégeage de la chaleur, et même s'ils présentent un danger moindre pour la couche d'ozone, ils restent néanmoins un problème potentiel du point de vue du réchauffement et du changement climatique.

La signature thermique élevée des usines de diffusion gazeuse rend possible la détection des installations dont la production dépasse nettement 100 000 UTS par an. Néanmoins, cette information risque de n'avoir de sens que pour l'identification de l'exploitation d'usines connues, et non pour découvrir des installations clandestines, dans la mesure où de nombreux procédés industriels dégagent une grande quantité de chaleur. Ainsi, même si les usines de diffusion gazeuse figurent peut-être parmi les types d'installations d'enrichissement de l'uranium les plus difficiles à cacher étant donné leur taille, leurs besoins en électricité et leur signature thermique, il serait pourtant difficile d'identifier à distance une installation sans accès à un échantillonnage de l'environnement de la zone alentour (par ex. échantillons de sol) qui pourrait révéler de manière concluante la présence d'uranium enrichi.

Centrifugation gazeuse

Au niveau mondial, la centrifugation gazeuse est la technologie la plus couramment utilisée aujourd'hui pour enrichir l'uranium. Cette technologie a été envisagée par les États-Unis au moment du Projet Manhattan, mais ce sont la diffusion gazeuse et à la séparation électromagnétique pour la production à grande échelle qui ont été choisies. La centrifugation a été plus tard développée en Russie par une équipe conduite par des chercheurs autrichiens et allemands faits prisonniers pendant la seconde guerre mondiale. Le dirigeant du groupe d'expérimentation en Russie, une fois libéré, a d'abord importé la technologie de centrifugation aux États-Unis, puis en Europe, où il a cherché à développer son utilisation pour l'enrichissement du combustible nucléaire civil.

La centrifugation est une technologie courante, utilisée fréquemment dans des applications très diverses, comme la séparation du plasma sanguin et des globules rouges plus lourds. Le cycle d'essorage d'une machine à laver fonctionne sur le principe de la centrifugation. Dans le processus d'enrichissement de l'uranium, des cylindres en rotation rapide sont alimentés avec de l'hexafluorure d'uranium gazeux. Pour parvenir à un enrichissement aussi important que possible à chaque étage, les centrifugeuses modernes peuvent tourner à des vitesses approchant la vitesse du son. C'est cette caractéristique qui rend difficile la maîtrise du procédé par centrifugation, dans la mesure où la vitesse de révolution élevée exige une centrifugeuse robuste, presque parfaitement équilibrée, et capable de fonctionner de cette manière pendant de nombreuses années sans interruption pour la maintenance.

À l'intérieur de la centrifugeuse en rotation, les molécules les plus lourdes qui contiennent des

atomes d'U-238 se déplacent préférentiellement vers l'extérieur du cylindre, alors que les molécules les plus légères qui contiennent l'U-235 restent plus proches de l'axe central. Le gaz contenu à l'intérieur de ce cylindre est ensuite amené à circuler de bas en haut, entraînant l'uranium appauvri près de la paroi extérieure vers le haut, alors que le gaz enrichi en U-235 près du centre est entraîné vers le bas. Ces deux flux (un enrichi et un appauvri) peuvent ensuite être extraits de la centrifugeuse et servir à alimenter les étages voisins pour former une cascade, exactement de la manière décrite pour les diffuseurs dans les usines de diffusion gazeuse. Une illustration schématique d'une telle centrifugeuse est représentée sur la Figure 3.

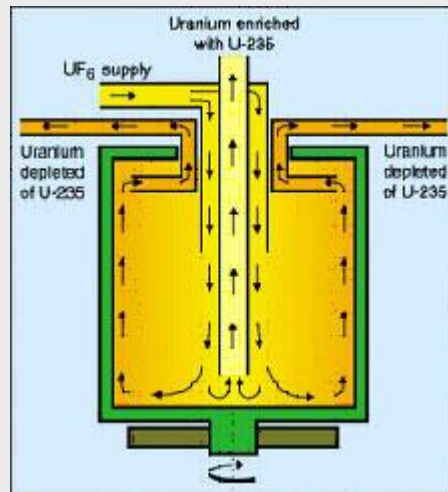


Figure 3 : Coupe transversale schématique d'une seule centrifugeuse à gaz. Le cylindre en rotation oblige les atomes d'U-238 plus lourds à se diriger vers l'extérieur de la centrifugeuse en laissant les atomes d'U-235 plus légers vers le centre. Un courant de bas en haut permet de séparer le flux enrichi du flux appauvri et de les envoyer par des tuyauteries aux modules suivants. (Illustration à partir d'un diagramme utilisé avec l'aimable autorisation de la Société nucléaire européenne, www.euronuclear.org/info/encyclopedia/g/gascentrifuge.htm)

Tout comme le procédé par diffusion gazeuse, l'enrichissement de l'uranium par centrifugeuse à gaz exige des milliers, voire des dizaines de milliers de modules, pour enrichir des quantités importantes d'uranium à des taux civils ou militaires. En outre, tout comme les usines de diffusion gazeuse, les usines de centrifugation exigent l'utilisation de matériaux spéciaux pour empêcher la corrosion par l'hexafluorure d'uranium, qui peut réagir avec l'humidité pour former un gaz d'acide fluorhydrique fortement corrosif. L'un des grands avantages de la centrifugation par rapport au procédé par diffusion gazeuse est qu'elle demande entre 40 et 50 fois moins d'énergie pour parvenir au même taux d'enrichissement. L'utilisation de centrifugeuses réduit également la quantité de chaleur générée lors de la compression de l'UF₆ gazeux, ce qui réduit donc la quantité de réfrigérant nécessaire, comme par exemple le fréon.

Même si la capacité de séparation est supérieure dans chaque étage, comparée au procédé par diffusion gazeuse, la quantité d'uranium qui peut transiter à travers chaque module de centrifugation en un temps donné est généralement bien plus faible. Des centrifugeuses modernes normales peuvent fournir approximativement 2 à 4 UTS par an. Pour enrichir

suffisamment d'UHE en une année pour fabriquer une arme nucléaire du type de celle qui a été larguée sur Hiroshima, il faudrait donc entre 3 000 et 7 000 centrifugeuses. Une telle installation consommerait entre 580 000 et 816 000 kWh d'électricité, qui pourraient être fournis par une centrale d'une puissance inférieure à 100 kW. (l'utilisation de modèles d'armes nucléaires modernes réduirait ces nombres à 1000 et 3 000 centrifugeuses seulement, et 193 000 et 340 000 kWh.)

Des modèles de centrifugeuses perfectionnées devraient atteindre un enrichissement 10 fois supérieur à celui des machines actuelles, ce qui permettrait de réduire encore le nombre nécessaire à la production d'UHE. On a rapporté la vente d'une technologie de centrifugation, basée sur les anciens modèles européens, par le réseau animé par A.Q. Khan, l'ancien dirigeant du programme nucléaire militaire pakistanais, à des pays comme la Libye, l'Iran et la Corée du Nord. Cette situation souligne les problèmes de prolifération posés par la réduction de la taille et de la consommation électrique du procédé d'enrichissement par centrifugeuse.

La séparation isotopique électromagnétique (EMIS)

La technique de la séparation électromagnétique constitue un troisième type de procédé d'enrichissement de l'uranium qui a été autrefois utilisé à grande échelle. Lancée pendant le Projet Manhattan à Oak Ridge (Tennessee), l'usine de séparation électromagnétique a été utilisée aussi bien pour enrichir l'uranium naturel que pour poursuivre l'enrichissement d'uranium auparavant traité par une usine à diffusion gazeuse aussi implantée sur le site d'Oak Ridge. L'utilisation de ce type d'installation, décrite à la Figure 4, a été interrompue peu de temps après la guerre, parce que son fonctionnement s'est révélé très coûteux et inefficace.

Parce que de construction relativement simple, l'Irak a mis en œuvre cette technique dans les années 1980 dans le cadre de son effort de production d'UHE, mais elle n'a réussi à produire que de faibles quantités d'uranium moyennement enrichi (à peine plus de 20 pour cent).

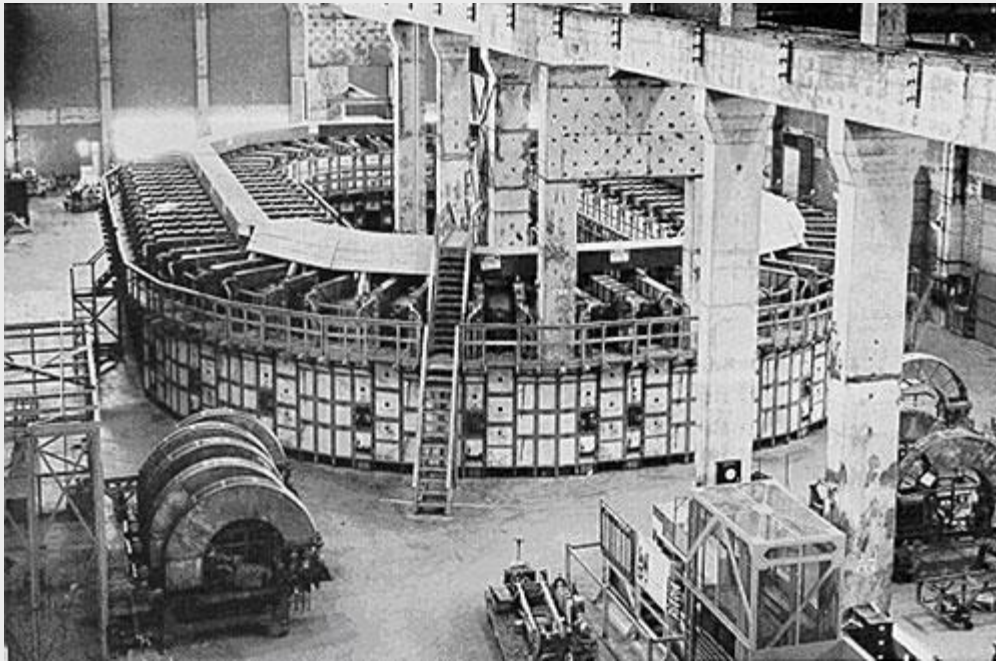


Figure 4 : l'usine de séparation électromagnétique Y-12, construite à Oak Ridge (Tennessee) pendant le Projet Manhattan. Des dispositifs de ce type, aussi appelés calutrons, ont été utilisés, en partie, pour enrichir l'uranium pour la bombe qui a été larguée par les Etats-Unis sur Hiroshima. (Photo de Ed Westcott, U.S. Army Corps of Engineers. Avec l'aimable autorisation de la Manhattan Project Heritage Preservation Association.)

Le procédé de séparation électromagnétique est basé sur le fait qu'une particule chargée qui se déplace dans un champ magnétique suit une trajectoire curviligne, dont le rayon dépend de la masse de la particule. Les particules les plus lourdes décrivent alors un cercle plus grand que les particules plus légères, en supposant qu'elles aient la même charge et se déplacent à la même vitesse.

Dans le processus d'enrichissement, du tétrachlorure d'uranium est ionisé sous forme d'un plasma d'uranium (c.à.d. que l' UCl_4 solide est chauffé pour former un gaz, et est ensuite bombardé par des électrons pour produire des atomes libres d'uranium qui ont perdu un électron et sont donc chargés positivement). Les ions uranium sont ensuite accélérés et envoyés à travers un puissant champ magnétique. Après avoir franchi un demi-cercle (la section courbe du calutron, le grand dispositif en forme de O au milieu de la photo de la Figure 4), le faisceau des atomes d'uranium ionisés est divisé entre une zone plus proche de la paroi extérieure, qui est appauvrie, et une zone plus proche de la paroi intérieure, qui est enrichie en U-235.

Du fait des grandes quantités d'énergie nécessaires au maintien de puissants champs magnétiques, du faible taux de récupération de l'uranium d'alimentation, et des difficultés d'exploitation de l'installation, il est très improbable que la séparation électromagnétique soit choisie pour des usines d'enrichissement à grande échelle. Particulièrement étant donnée l'existence des modèles de centrifugation gazeuse les plus avancés exploités à l'heure actuelle.

Séparation aérodynamique/par tuyère

Le procédé d'enrichissement de l'uranium qui a été utilisé le plus récemment à grande échelle est la séparation aérodynamique. Cette technologie a d'abord été mise au point en Allemagne, et employée par le gouvernement pro-apartheid sud-africain, dans une installation qui était censée fournir de l'uranium faiblement enrichi aux centrales nucléaires civiles en Afrique du Sud, ainsi qu'une certaine quantité d'uranium hautement enrichi pour un réacteur de recherche. En réalité, l'usine d'enrichissement a aussi fourni une quantité estimée à 400 kilogrammes d'uranium enrichi à plus de 80 % à des fins militaires. Au début des années 1990, le président sud-africain F.W. de Klerk a ordonné la fin de toutes les activités nucléaires militaires et la destruction de toutes les bombes existantes. Ce processus a été achevé en l'espace d'environ un an et demi, juste après que l'Afrique du Sud soit devenue partie au TNP, et juste avant de se soumettre aux inspections et aux garanties de l'Agence internationale de l'énergie atomique.

La séparation isotopique aérodynamique (qui comprend les procédés par tuyère et par hélicon) permet l'enrichissement d'une manière similaire à celle qui est employée avec les centrifugeuses à gaz, dans la mesure où l'on fait circuler le gaz selon une trajectoire courbe, qui entraîne les molécules les plus lourdes contenant de l' $U-238$ vers la paroi extérieure, tandis que les molécules plus légères restent plus près de la piste intérieure. Dans les usines de séparation par tuyère, l'hexafluorure d'uranium gazeux est mis sous pression, soit avec de l'hélium soit avec de l'hydrogène gazeux, de façon à augmenter la vitesse du flux gazeux. Le mélange est ensuite envoyé par un grand nombre de petits tuyaux circulaires, qui séparent le courant enrichi à l'intérieur du courant appauvri à l'extérieur.

Le procédé de séparation aérodynamique/par tuyère est l'une des techniques d'enrichissement les plus coûteuses jamais entreprises, étant donné les difficultés techniques de la fabrication des tuyères de séparation, et les importants besoins en énergie pour comprimer l' UF_6 et le mélange du gaz porteur. Comme pour les usines à diffusion gazeuse, une grande quantité de chaleur est générée pendant l'exploitation d'une usine de séparation aérodynamique, qui exige de grandes quantités de réfrigérant comme le Fréon.

Autres technologies

Il existe un certain nombre d'autres technologies d'enrichissement de l'uranium – comme la séparation isotopique laser sur vapeur atomique (AVLIS ou SILVA), la séparation isotopique laser moléculaire (MLIS), la réaction chimique par activation laser sélective isotopique (CRISLA), et l'enrichissement chimique à échange d'ions – qui ont également été développées mais qui restent pour l'essentiel encore à un stade expérimental ou de démonstration et n'ont pas encore été utilisées pour enrichir des quantités d'uranium civil ou militaire.

Les procédés AVLIS, CRISLA et MLIS s'appuient sur la légère différence des propriétés atomiques de l' $U-235$ et de l' $U-238$, pour permettre à de puissants lasers d'exciter ou d'ioniser de façon préférentielle un isotope plutôt que l'autre. Le procédé AVLIS se sert d'uranium métallique comme matière première et de champs électriques pour séparer les ions $U-235$ chargés positivement des atomes $U-238$ neutres. Les procédés MLIS et CRISLA utilisent de l'hexafluorure d'uranium mélangé avec d'autres gaz de procédé comme matière première, et se

servent de deux lasers distincts pour exciter puis modifier chimiquement les molécules d'hexafluorure d'uranium contenant l'U-235, qui peuvent ensuite être séparées des molécules contenant l'U-238 qui ne sont pas modifiées par les lasers. Le procédé AVLIS a été pratiqué par l'USEC à des fins civiles, mais a été abandonné à la fin des années 1990 pour cause de non-rentabilité. d'autres pays ont aussi renoncé à tous les programmes de production AVLIS et MLIS. Toutefois, des travaux se poursuivent sur d'éventuelles installations de recherche utilisant ces techniques laser pour la séparation isotopique de l'uranium ainsi que d'autres radionucléides comme le plutonium.

Il n'existe qu'un type de procédé d'enrichissement qui tire parti des différences minimales entre les propriétés chimiques des deux isotopes pour séparer l'U-235 de l'U-238. Les procédés dits d'enrichissement chimique à échange d'ions ont été développés par les gouvernements français et japonais. Par l'utilisation de solvants appropriés, l'uranium peut être séparé en une section enrichie (contenue dans un flux de solvant) et un flux appauvri (contenu dans un solvant différent, qui ne se mélange pas avec le premier, de la même manière que l'huile et l'eau ne se mélangent pas). Cette technique d'enrichissement a également été explorée par l'Irak. Actuellement, tous les programmes connus ayant recours à cette technique ont été arrêtés depuis au moins le début des années 1990.

La démonstration de toutes ces technologies a été réalisée à échelle réduite, et certaines, comme AVLIS, ont connu un processus de développement bien plus important pour un passage au niveau d'installations de production. Toutefois, l'éventualité de l'utilisation de ces alternatives technologiques pour l'enrichissement de l'uranium dans le cadre d'un programme clandestin demeure une source d'inquiétude, particulièrement si la rentabilité de l'usine n'est pas un problème et qu'elle vise seulement à l'enrichissement des quantités relativement modestes d'UHE nécessaires à la fabrication d'une ou deux bombes par an. Néanmoins, pour l'instant, la centrifugation gazeuse apparaît comme la principale technologie privilégiée à la fois pour le futur enrichissement de l'uranium civil pour l'énergie nucléaire et pour l'éventuelle prolifération d'armes nucléaires.

Voir aussi :

- [L'Enrichissement de l'Uranium dans le Monde](#)

LES NOTES BAS DE PAGE

¹ Voir par exemple "L'arme nucléaire « utilisable » contre-attaque" dans Energie et Sécurité n° 26, en ligne sur <http://ieer.org/article/energy-security/usable-nuke-natos-nuclear-conflict-bad-old-days-26-27/>; "Le plan énergétique Cheney : techniquement et écologiquement non soutenable" dans Energie et Sécurité n° 18, en ligne sur <http://ieer.org/article/energy-security/us-energy-policy-rokkasho-nuclear-fuel-complex-issue-18/>; "La fin de l'économie du plutonium. Arrêter de retraiter et commencer à immobiliser" dans Energie et Sécurité n° 16, en ligne sur <http://ieer.org/article/energy-security/plutonium-end-game-issue-16/>; et, Energie et Sécurité n° 13, en ligne sur <http://ieer.org/article/energy-security/energy-for-peace-issue-13/>.

² Le thorium 232, qui existe également à l'état naturel, peut être utilisé pour fabriquer des bombes en le convertissant d'abord en U-233 (un isotope de l'uranium pratiquement inexistant dans la nature) dans un réacteur nucléaire. Néanmoins, il est nécessaire d'utiliser un combustible à l'uranium, ou un combustible dérivé (comme le plutonium) dans le réacteur pour cette conversion, afin de produire de grandes quantités d'U-233 à partir du thorium 232.

³ « L'eau lourde » est de l'eau qui contient du deutérium à la place de l'hydrogène ordinaire présent dans l'eau normale (aussi appelée eau légère). Le deutérium compte un proton et un neutron dans son noyau, alors que l'hydrogène normal n'a qu'un proton.

⁴ Le processus d'enrichissement se situe en aval des mines d'uranium, du traitement du minerai et de la conversion. Traditionnellement, l'uranium a été extrait de mines à ciel ouvert ou souterraines. D'autres techniques comme l'extraction par lixiviation in situ, dans laquelle des solutions sont injectées dans des gisements souterrains pour dissoudre l'uranium, sont maintenant largement utilisées. Les opérations d'extraction et de traitement ont eu un impact disproportionné sur les populations autochtones dans le monde entier. Le traitement (raffinage) permet l'extraction de l'oxyde d'uranium (U₃O₈) du minerai pour former du concentré (« yellowcake »), une poudre jaune ou marron qui contient environ 90 pour cent d'oxyde d'uranium. Aux États-Unis, le volume total des résidus de traitement du minerai représente plus de 95 pour cent du volume de l'ensemble des déchets radioactifs à toutes les étapes du cycle de production des armes atomiques ou de l'électricité nucléaire. Bien que le risque par gramme de résidus de traitement soit relativement faible par rapport à ce qu'il est pour la plupart des autres déchets radioactifs, les volumes importants et l'absence de réglementation jusqu'en 1980 ont abouti à une contamination de grande ampleur de l'environnement. Le processus de conversion permet la transformation du concentré en hexafluorure d'uranium (UF₆).

⁵ Les UTS sont mesurées en kilogrammes, bien qu'elles mesurent en réalité l'effort nécessaire pour augmenter le pourcentage d'U-235 dans un flux d'uranium jusqu'à des taux spécifiés.

⁶ Ce calcul suppose que la centrale nucléaire fonctionne à pleine puissance pendant environ 80 à 90 pour cent de l'année.

⁷ L'USEC exploite deux usines de diffusion gazeuse aux États-Unis, une à Piketon dans l'Ohio (qui ne fait plus d'enrichissement commercial de l'uranium) et une à Paducah, dans le Kentucky. L'USEC a été créée sous forme de société publique dans le cadre de la Loi sur l'énergie de 1992 et privatisée par la législation en 1996. L'USEC veut construire des installations de centrifugation gazeuse à Piketon ; la Commission de la réglementation nucléaire américaine (NRC) a accordé cette année une autorisation à l'USEC pour construire et exploiter à Piketon une installation appelée « Lead Cascade », pour tester le procédé de centrifugation gazeuse pour le marché américain. Une autre société, Louisiana Energy Services (LES), veut construire une usine de centrifugation gazeuse commerciale aux États-Unis, mais son projet s'est heurté à la résistance des populations partout où elle propose sa construction.

La <> science <> pour <> les <> masses <> critique

"La science pour les masses critiques" apparaîtra régulièrement dans *Énergie et Sécurité*. Elle fournira aux lecteurs des éléments de référence technique pour les questions de politique discutées dans chaque numéro, ainsi que l'occasion de mesurer leurs connaissances sur ces points techniques.

L'Enrichissement de l'Uranium dans le Monde

Le tableau ci-dessous offre un résumé des informations actuellement disponibles sur la situation des installations d'enrichissement de l'uranium dans le monde. Il fait apparaître le type de procédé utilisé par l'usine, sa capacité d'enrichissement et sa situation opérationnelle, ainsi que d'autres informations. Le tableau est organisé par groupe et en fonction du pays, en incluant les Etats officiellement détenteurs d'armes nucléaires (Chine, États-Unis, France, Royaume Uni et Russie), les Etats détenteurs d'armes nucléaires qui ne sont pas signataires du Traité de non-prolifération (Inde, Israël et Pakistan), les Etats « préoccupants » pour les États-Unis (Iran, Irak et Corée du Nord), et des pays qui ne sont pas soupçonnés d'avoir des ambitions nucléaires militaires pour le moment (Argentine, Australie, Brésil, Allemagne, Japon, Pays-Bas, Afrique du Sud et Corée du Sud). Il est possible que d'autres pays aient procédé à des expérimentations d'enrichissement de l'uranium en laboratoire.

Il faut garder deux éléments à l'esprit en examinant ce tableau. Premièrement, il ne comprend que les installations qui sont connues à travers des accords de garantie internationaux, ou des informations publiées ou divulguées par des pays ou par quelqu'un dans les pays concernés. Il est important de prendre en compte cet aspect, étant donné la possibilité d'existence d'installations clandestines (particulièrement d'usines à centrifugation gazeuse). Les récentes révélations autour du réseau d'A. Q. Khan offrent un exemple frappant de prolifération illicite de la technologie de l'enrichissement, menée au moins en partie par des personnalités privées.

Deuxièmement, même pour les installations connues, il existe souvent des informations contradictoires concernant la situation opérationnelle actuelle et la capacité. Autant que possible, les contradictions dans les informations sont relevées, mais cela n'a pas été possible pour les capacités de chaque usine. En général, les différences signalées dans les capacités des installations n'étaient pas significativement différentes entre les sources, et les informations reprises sont donc représentatives de la capacité de production estimée des installations présentées.

Le tableau est basé sur le Tableau 2 du rapport d'octobre 2004 de l'IEER, *Enrichissement de l'uranium : des points de repère pour alimenter un véritable débat sur la prolifération nucléaire et l'énergie nucléaire*. Les principales sources utilisées pour ce tableau sont notamment des informations réunies par l'Agence internationale de l'énergie atomique, ainsi que par un certain nombre d'organisations non gouvernementales reconnues pour l'importance de leur travail dans ce domaine. Les références sont précisées dans le rapport lui-même, qui peut être consulté sur le site web de l'IEER (www.ieer.org/resource/reports/uranium-enrichment/).

États officiellement détenteurs d'armes nucléaires : Chine, États-Unis, France, Royaume-Uni, Russie

| Nombre d'installations | Procédé / Taille des installations ¹ | Situation opérationnelle actuelle / Capacité nominale (en milliers d'UTS par an) |
|---------------------------|---|--|
| Chine² | | |
| 3 | Diffusion gazeuse / commerciale | Une usine en cours de déclassement. Une usine achevée dans les années 1970 / >200 000 UTS/a. |
| 3 | Centrifugation / commerciale | Une usine en cours de construction / >500 000 UTS/a La prochaine phase de construction créera une nouvelle installation. Deux usines démarrées en 1996 et 1998, produisant de l'UFE soumis aux garanties de l'AIEA / 500 000 UTS/an. |
| 1 | Diffusion gazeuse / laboratoire | Non communiqué. |
| 1 | CRISLA | Non communiqué. |
| 1 | Eventuelle installation d'enrichissement pour de l'uranium de qualité militaire | Non communiqué. |
| France | | |
| 2 | Diffusion gazeuse / commerciale | Une usine démarrée en 1979 / 10 800 000 UTS/an. Une usine en cours de déclassement / 0 UTS/an selon l'AIEA. |
| 1 | Centrifugation / commerciale | Prévue / 7 500 000 UTS/an. Mise à l'arrêt en 1988 / 0 UTS/an selon l'AIEA. |
| 1 | Echange chimique / Usine pilote | Un laboratoire mis à l'arrêt en 2003 / 0 UTS/an selon l'AIEA. |
| 2 | Laser (SILVA) / Laboratoire | Un autre peut-être mis à l'arrêt, peut-être à l'étude / 0 UTS/an selon l'AIEA. |
| Russie³ | | |
| 4 | Centrifugation / Commerciale | Une usine démarrée en 1949 / 7 000 000 UTS/an. Une usine démarrée en 1950 / 4 000 000 UTS/an. Une usine démarrée en 1954 / 1 000 000 UTS/an. Une usine démarrée en 1964 / 3 000 000 UTS/an. |
| Royaume-Uni | | |
| 1 | Centrifugation / commerciale | Démarrage en 1972 / 2 300 000 UTS/an. |
| 1 | Diffusion gazeuse / commerciale | Déclassée. |
| États-Unis | | |

| | | |
|---|---------------------------------|--|
| 3 | Diffusion gazeuse / commerciale | Une usine démarrée en 1954 puis modernisée dans les années 1970 / 11 300 000 UTS/an. Une usine démarrée en 1956 puis modernisée dans les années 1970, fermée en 2001, et maintenant en attente / 7 400 000 UTS/an. Une démarrée en 1945, fermée en 1985. |
| 3 | Centrifugation /commerciale | Une usine prévue / 3 500 000 UTS/an d'ici 2010. Une usine est proposée, envisagée pour 2010 ou 2011 / 3 000 000 UTS/an. Une usine dont la construction a été reportée (demande d'autorisation retirée).1 |
| 1 | AVLIS / Laboratoire | Démarrée en 1991, fermée en 1999. |
| 1 | Centrifugation / Usine pilote | Devrait démarrer en 2005 / 0 UTS/an selon l'AIEA. |

Etats dotés d'armes nucléaires, non signataires du TNP : Inde, Israël, Pakistan

| Nombre d'installations | Procédé / Taille des installations ¹ | Situation opérationnelle actuelle / Capacité nominale (en milliers d'UTS par an) |
|------------------------|---|--|
| Inde | | |
| 2 | Centrifugation / Usine pilote | Une usine démarrée en 1990 / estimée à <3 000 UTS/an. Une usine achevée en 1985 / capacité non communiquée. |
| 1 | Laser / Laboratoire | Démarrage au début des années 1980 / capacité non communiquée. |
| 1 | Laser / Usine pilote | Démarrage en 1993/ capacité non communiquée. |
| Israël | | |
| 1 | Laser et centrifugeuse à gaz / Laboratoire & usine pilote | Non communiqué. |
| Pakistan | | |
| 1 | Centrifugation /commerciale | Démarrage en 1984 / 5 000 UTS/an (l'AIEA indique qu'elle devrait être portée à environ 15 000 UTS/an). |
| 2 | Centrifugation / Laboratoire | Non communiqué. Une usine en fonctionnement. Situation opérationnelle inconnue pour l'autre. |
| 1 | Non communiqué | En cours de construction à la fin des années 1990 ? |

États « préoccupants » pour le gouvernement des États-Unis : Iran, Irak et Corée du Nord

| Nombre d'installations | Procédé / Taille des installations ¹ | Situation opérationnelle actuelle / Capacité nominale (en milliers d'UTS par an) |
|----------------------------------|---|---|
| Iran | | |
| 1 | Centrifugation / commerciale | Démarrage prévu début 2005 / capacité estimée à 250 000 UTS/an. |
| 1 | Centrifugation / Usine pilote | Démarrage en août 2003 / capacité non communiquée, comprendra 1000 centrifugeuses. |
| 1 | ? | Non communiqué. Site d'enrichissement potentiel. |
| 2 | Centrifugeuse ? | Non communiqué. Une installation soupçonnée d'être un site d'enrichissement potentiel. Une autre installation serait un programme de recherche sur la centrifugation de l'uranium. |
| 1 | Lasers ou Centrifugation ? | Non communiqué. Une usine soupçonnée d'être un site d'enrichissement potentiel. |
| Irak⁵ | | |
| 1 | EMIS / Prototype | « Opérationnel jusqu'aux dégâts occasionnés par une attaque aérienne de la Coalition (1991) » / 0 UTS/an. |
| 2 | Centrifugation / Prototype | Activités d'une usine transférées ailleurs en 1987 ; les opérations de l'autre usine arrêtées au début de la Guerre du Golfe de 1991 / 0 UTS/an. |
| 1 | Méthode de séparation isotopique par échange chimique / Laboratoire | « Opérationnel jusqu'aux dégâts occasionnés par une attaque aérienne de la Coalition (1991) » / 0 UTS/an. |
| 2 | EMIS / Commerciale | Une usine « partiellement opérationnelle jusqu'aux dégâts occasionnés par une attaque aérienne de la Coalition (1991) ; des installations et des équipements liés au procédé EMIS ont été ultérieurement détruits par l'AIEA. » Une autre usine « en construction jusqu'aux dégâts occasionnés par une attaque aérienne de la Coalition (1991) ; des installations et des équipements ont été ultérieurement détruits par l'AIEA. » 0 UTS/an. |
| Corée du Nord⁶ | | |
| 1 | Installation de traitement de minerai d'uranium et installation d'enrichissement de l'uranium suspectée | Non communiqué. |
| 2 | Installations nucléaires souterraines suspectées | Non communiqué. |
| 1 | Institut de Recherche laser | Non communiqué. |

| | | |
|---|--|-----------------|
| 1 | Installation d'enrichissement de l'uranium suspectée | Non communiqué. |
|---|--|-----------------|

Autres Etats, programmes de recherche ou commerciaux : Argentine, Australie, Brésil, Allemagne, Japon, Pays-Bas, Afrique du Sud, Corée du Sud

| Nombre d'installations | Procédé / Taille des installations ¹ | Situation opérationnelle actuelle / Capacité nominale (en milliers d'UTS par an) |
|------------------------|---|--|
| Argentine | | |
| 1 | Diffusion gazeuse / Usine pilote | Démarrage avant 1983, en sommeil en 1990 / 20 000 UTS/an. |
| 1 | Diffusion gazeuse / commerciale | En construction (la programmation ou la construction a peut-être démarré en 1997) / 100 000 UTS/an. |
| Australie | | |
| 1 | Laser (SILEX) / Laboratoire | Démarrage en 1992 (la 2 ^e phase devait s'achever fin 2004 ou début 2005 ; la 3 ^e phase comprend la construction et l'exploitation d'une Usine pilote, probablement aux Etats-Unis. / 0 UTS selon l'AIEA. |
| Brésil | | |
| 1 | Centrifugation / Laboratoire | Démarrage en 1992 / 5 000 UTS/an. |
| 2 | Centrifugation / Usine pilote | Une usine démarrée en 1998 / 4 000 UTS/an. Démarrage d'une usine en 1982/ capacité non communiquée. |
| 1 | Centrifugation / commerciale | « Ultracentrifugeuse » en construction, démarrage prévu en 2004 / 120 000 UTS/an (devrait être portée ultérieurement à 200 000 UTS/an). |
| 1 | Laser (AVLIS) / Laboratoire | Démarrage en 1981 / 0 UTS selon l'AIEA. |
| 2 | Séparation par tuyère / Usine pilote | Démarrage d'une usine en 1979, fermeture en 1989, en cours de déclassement / 0 UTS/an selon AIEA. Une usine annulée. |
| 1 | Centrifugeuse | Proposée / capacité non communiquée. |
| Allemagne | | |
| 1 | Centrifugation / commerciale | Démarrage en 1985 / 1,800 000 UTS/an. |
| 1 | Centrifugation / | Démarrage en 1964 / 0 UTS/an |

| | | |
|-----------------------|--------------------------------------|--|
| | Laboratoire | |
| 1 | Séparation par tuyère / Usine pilote | Déclassée. |
| Japon | | |
| 1 | Centrifugation / commerciale | Démarrage en 1992 / 1 050 000 UTS/an. |
| 2 | Centrifugation / Usine pilote | Démarrage d'une usine en 1989, d'une autre en 1979, les deux ont été fermées en 2004 et sont en cours de déclasserement. |
| 1 | Echange chimique / Usine pilote | Démarrée en 1986, fermée en 1991. |
| 1 | Laser (MLIS) / Laboratoire | Démarrage en 1991, fermeture en 2003 / 0 UTS/an selon l'AIEA. |
| 1 | Laser (AVLIS) / Laboratoire | Démarrage en 1987, fermeture en 2005 (programmée), déclasserement / 0 UTS/an selon l'AIEA. |
| Pays-Bas | | |
| 1 | Centrifugation / commerciale | Démarrage en 1973 / 2 200 000 UTS/an. |
| Afrique du Sud | | |
| 1 | Laser (MLIS) / Usine pilote | Démarrée en 1995, fermée en 1998. |
| 1 | Séparation par tuyère / Usine pilote | Démarrée en 1978, fermée en 1990, déclasserement. |
| 1 | Hélicon / Commercial | Démarrage en 1986, fermeture en 1996, en cours de déclasserement. |
| Corée du Sud | | |
| 1 | Laser (AVLIS) / Laboratoire | Expérimentations effectuées au début de l'an 2000 ⁷ / capacité non communiquée. |

Voir aussi :

- ["Uranium enrichi : quelques points de repère pour un véritable débat sur la prolifération nucléaire et l'énergie nucléaire" par Arjun Makhijani, Lois Chalmers et Brice Smith](#)
-

NOTES DU TABLEAU

1. Une échelle commerciale renvoie à la taille de l'installation. Une installation commerciale et une installation militaire diffèrent essentiellement par la façon dont elles sont gérées, et non par la façon dont elles sont construites. De nombreuses installations utilisées dans des pays détenteurs d'armes nucléaires et indiquées comme commerciales ont produit de l'UHE pour des armes nucléaires par le passé.
2. Les sources secondaires qui ont permis de réunir les données sur la Chine présentent un grand nombre d'informations contradictoires, qui permettent difficilement de déterminer combien d'usines ont été construites ou sont prévues.
3. Le Center for Nonproliferation Studies du Monterey Institute indique que « l'Union soviétique a mis un terme en 1989 à la production d'uranium hautement enrichi à des fins militaires. »
4. Toutes les usines d'enrichissement russes ont commencé sous formes d'installations de diffusion gazeuse, mais ont été modernisées avec des centrifugeuses à gaz au début des années 1960. Les trois premières usines citées sont impliquées dans la dilution de l'UHE en UFE dans le cadre de l'accord américano-russe sur l'UHE.
5. La Guerre du Golfe de 1991, et les inspections ultérieures des Nations unies ont mis fin au programme nucléaire irakien. En avril 2003, quand l'invasion de l'Irak menée par les Etats-Unis et le Royaume-Uni a renversé le gouvernement, toutes les installations irakiennes ont été arrêtées. Les éléments indiqués proviennent des rapports de la Fondation Carnegie pour la paix internationale.
6. Nous indiquons des sites possibles Il s'agit d'informations très incertaines.
7. Selon un communiqué Reuters du 2 septembre 2004, le gouvernement sud-coréen a déclaré que « toutes les installations et l'uranium ont été détruites immédiatement après les expérimentations. »

ACRONYMES

AVLIS : Atomic Vapor Laser Isotope Separation, connu sous le nom de SILVA en France
CRISLA : Chemical Reaction by Isotope Selective Laser Activation (Réaction chimique par activation laser sélective des isotopes)
EMIS : Electromagnetic Isotope Separation Method (méthode de séparation isotopique électromagnétique)
UHE : Uranium hautement enrichi
AIEA : Agence internationale de l'énergie atomique
UFE : Uranium faiblement enrichi
MLIS: Molecular Laser Isotope Separation (Séparation isotopique moléculaire par laser)
MUTS/a: million d'UTS par an
SILEX: Separation of Isotopes by Laser Excitation (Séparation d'isotopes par excitation au laser)
SILVA: Séparation Isotopique par Laser de la Vapeur Atomique d'uranium

ESSAI

Gorbatchev et le peuple américain : Les victoires ignorées de la lutte pour l'élimination des armes nucléaires

Par Arjun Makhijani¹

L'ancien président soviétique Mikhaïl Gorbatchev est à juste titre célèbre pour avoir inauguré la *demokratizatsiya* et la *glasnost* en Union soviétique au milieu des années 1980. Son soutien indéfectible à la non-violence a donné aux peuples d'Europe de l'Est et d'Union soviétique la chance de bénéficier d'un discours ouvert sur le gouvernement, la confiance, la démocratie et la liberté. Le président Gorbatchev, en partenariat avec les présidents Ronald Reagan et George H.W. Bush, a partout fait naître l'espoir que le monde avait la chance de pouvoir se débarrasser des armes nucléaires.

Mais cet article vise à explorer les aspects moins connus de Mikhaïl Gorbatchev. Ses actions ont également créé les conditions nécessaires à une démocratie et une *glasnost* sur les questions relatives aux armes nucléaires particulières *aux Etats-Unis* avec, pour conséquence, la fermeture de la plupart des grandes installations nucléaires militaires américaines à la fin des années 1980 et au début des années 1990. Gorbatchev a non seulement réveillé les espoirs de la population de son pays mais son travail a aussi dissipé la peur de la population des Etats-Unis, laquelle a pu porter un regard neuf sur son *establishment* nucléaire militaire.

L'influence de Gorbatchev

Tout a commencé avec le voyage effectué par Gorbatchev en Grande-Bretagne en décembre 1984, avant qu'il ne devienne Secrétaire général du Parti communiste de l'Union soviétique. Il a immédiatement été reconnu comme un futur dirigeant potentiel de l'Union soviétique. Avec sa femme, Raïssa, M. Gorbatchev a séduit le Premier ministre Margaret Thatcher, connue comme la « Dame de fer » de la scène politique britannique. Elle déclara à l'époque qu'il était un homme avec qui elle « pourrait faire affaire. »

Une fois devenu Secrétaire général, M. Gorbatchev a abordé la question de la réduction des risques nucléaires et de l'élimination de la menace d'une guerre nucléaire. Il a abandonné le langage de l'affrontement au profit de celui de la coopération. Si Margaret Thatcher pouvait faire affaire avec lui, le président Reagan le pourrait aussi.

Le voyage de Gorbatchev au Royaume-Uni a alors permis au peuple américain de « faire affaire » avec son propre gouvernement, d'une façon que personne n'avait prévue. Au lieu de garder les yeux rivés sur l'Union soviétique dans un sentiment de peur, de plus en plus de gens ont commencé à s'intéresser de plus près à la contamination nucléaire près de chez eux. Certains, plus courageux, l'avaient déjà fait avant, tout comme d'autres en Union soviétique. Mais l'establishment nucléaire militaire américain avait généralement réussi à les réduire au silence, à faire rejeter les poursuites juridiques par les tribunaux, et à justifier ses propres activités par une

rhétorique de sécurité nationale et de propagande sur la menace soviétique.

À la suite de la visite de Gorbatchev en Grande-Bretagne et pendant le reste des années 1980, de plus en plus de gens aux Etats-Unis ont commencé à se poser des questions sur la pollution de l'eau et de l'air, les déchets radioactifs et les risques pour la sûreté nucléaire posés par le vieillissement des installations nucléaires militaires. Auparavant, les inquiétudes du public avaient rapidement été dissipées. Mais, cette fois, les médias locaux et nationaux, les représentants de la loi, les législateurs, les commissions parlementaires et même le Bureau fédéral d'enquêtes (FBI) ont commencé à accorder plus bien plus d'attention qu'auparavant aux questions environnementales relatives à la production des armes nucléaires.

Il était certainement impensable pendant la Guerre froide que le FBI puisse perquisitionner une usine nucléaire militaire, à la recherche d'éléments de preuve sur des crimes contre l'environnement. La chose aurait été dénoncée comme un complot communiste au sein du gouvernement américain. Par exemple, en 1954, quand le « Lucky Dragon », un navire de pêche japonais, a été gravement contaminé par les retombées de l'essai d'une bombe thermonucléaire américaine à Bikini, le président d'alors de la Commission de l'Energie Atomique (AEC) avait menti, en déclarant qu'il s'agissait d'un bateau espion des Rouges à l'intérieur de la zone d'essais interdite.

Mais cette fois, du fait du refus par Gorbatchev de l'utilisation de la violence pour anéantir les espoirs des peuples d'Europe de l'Est, du Traité sur la limitation des Forces nucléaires de portée intermédiaire (FNI) visant à réduire à zéro ces forces dans les deux camps, et de la relation chaleureuse entretenue par les présidents Gorbatchev et Reagan, le résultat a été radicalement différent. En 1987, lors de la signature du traité FNI, au moment où le Premier ministre soviétique Nicolaï Ryjkov déclarait : « je pense vraiment que l'hiver de la méfiance est terminé », c'est bien plus que la peur de l'Union soviétique qui s'était dissipée. Les gens découvraient chaque jour le tort que leur propre gouvernement - sous couvert de secret, à l'aide de données scientifiques erronées, et dans le climat de peur paralysante de la Guerre froide – leur avait fait, à eux et à leurs enfants.

Une histoire de l'Ohio

Prenons une usine nucléaire militaire dans le sud-ouest de l'Ohio, à 25 km environ à l'ouest de Cincinnati. Elle a produit un demi million de tonnes d'uranium métallique, essentiellement à destination des réacteurs au plutonium américains de Hanford et de Caroline du Sud. En décembre 1984, Lisa Crawford, qui vivait près de l'usine, a entendu dire que certains puits de la région étaient contaminés par de l'uranium. Jusque-là, elle, ainsi que la plupart des gens, ne se doutaient pas qu'ils vivaient près d'une usine nucléaire militaire. Cette installation était appelée Feed Materials Production Center, et comportait un château d'eau, peint d'un motif en damier rouge et blanc, qui ressemblait au logo de Purina, la fameuse marque de nourriture pour animaux domestiques. Avec les vaches qui paissaient aux alentours, beaucoup de gens pensaient qu'il s'agissait d'une usine de nourriture pour animaux domestiques. D'autres pensaient qu'elle produisait de la peinture, parce qu'elle était gérée par une filiale de National Lead Industries, un fabricant de peinture bien connu à l'époque. Très peu de personnes savaient qu'il s'agissait d'une

usine nucléaire militaire. Elle était communément connue sous le nom d'usine de Fernald.

En janvier 1985, une tempête de protestations s'est élevée dans cette tranquille contrée de l'Ohio, connue pour ses opinions conservatrices et anticomunistes. Les gens voulaient savoir quels puits étaient contaminés. Tom Luken, le représentant de la région au Congrès américain à l'époque, organisa alors une réunion sur place. Des centaines de personnes se déplacèrent. Lisa découvrit que son puits faisait partie de ceux qui étaient pollués. Elle avait un jeune fils. Elle préparait à manger et remplissait sa piscine avec l'eau issue du puits. L'annonce de cette nouvelle la perturba profondément.

Comme d'habitude, l'establishment nucléaire militaire américain déclara que l'eau ne posait aucun danger, et qu'il n'y avait donc aucune raison de s'inquiéter. Mais, à la différence de ce qui s'était passé dans les années 1950, 60 ou 70, quand la plupart des gens croyaient à de tels propos, Lisa et ses voisins n'ont pas été convaincus. Elle avait peur que son enfant puisse avoir le cancer. (Heureusement, il est en bonne santé.) Elle prit trois mesures. D'abord, son mari et elle-même décidèrent de ne plus avoir d'enfants, une décision difficile et tragique à prendre. Ensuite, elle se acheta de l'eau en bouteille. Finalement, fin janvier 1985, elle déposa une plainte, au nom de sa famille et de 14 000 personnes vivant dans la région, contre la société qui gérait l'usine de Fernald pour le compte du gouvernement. Ils ont fait valoir que la société, National Lead of Ohio, avait fait preuve de négligence, mis leur santé en danger et causé des dégâts à leurs biens. Le gouvernement américain s'est défendu devant le tribunal et a payé la totalité des frais.

Il y avait déjà eu antérieurement des actions juridiques sur des problèmes liés au nucléaire militaire. En fait, le général Groves à la tête du Manhattan Project pendant la Deuxième Guerre mondiale les redoutait dès avril 1945. Par exemple, dans les années 1950, des bergers avaient porté plainte contre le gouvernement, affirmant que des milliers de moutons étaient morts à la suite des retombées radioactives. Mais quand des représentants de la Commission de l'énergie atomique (AEC) mentirent à la cour, en affirmant qu'il ne s'agissait pas de retombées la plainte fut rejetée. Quand, en 1980, le juge découvrit ce mensonge il écrivit que le gouvernement avait fait usage de « tromperie » et de « déloyauté » dans sa présentation des éléments de l'affaire. Il revint sur sa décision pour se prononcer cette fois en faveur des bergers. Mais le gouvernement américain fit appel et l'emporta.

L'action intentée par Lisa a réussi là où les autres avaient échoué. Entre 1985 et 1989, l'usine de Fernald a fait beaucoup parler d'elle dans la presse, à la fois au niveau local et national. Lisa est devenue une personnalité connue en Ohio et ailleurs dans le pays. Dans le cadre du procès, l'*Institute for Energy and Environmental Research* a été sélectionné pour effectuer une expertise des rejets radioactifs issus de l'usine. En 1989, Bernd Franke et moi-même avons publié la première évaluation indépendante des rejets de radioactivité d'une installation nucléaire militaire. Nous sommes arrivés à la conclusion que l'establishment nucléaire militaire avait réalisé un travail scientifique de piètre qualité, avait introduit des données frauduleuses dans les documents officiels, avait fait preuve de négligence dans l'exploitation de l'usine, et avait violé ses propres règles en matière de radioprotection. Nous avons également conclu que les estimations officielles sur les rejets d'uranium de l'usine étaient bien plus élevées que celles fournies au public par le gouvernement et ses fournisseurs. Nous avons estimé que les rejets d'uranium avaient probablement dépassé 300 000 kilogrammes depuis les années 1950, à

comparer aux estimations gouvernementales de 135 000 kilogrammes en 1987, réévaluées à 179 000 kilogrammes en 1989.

En avril 2004, j'ai demandé à Lisa si le fait que Gorbatchev soit devenu Secrétaire général, puis président de l'Union soviétique, avait joué un rôle dans sa réflexion. Elle m'a répondu qu'il ne s'agissait pas d'une influence directe. Cela avait influencé, a-t-elle ajouté, sa vision des critiques du gouvernement américain vis-à-vis du gouvernement soviétique. Elle a en particulier mentionné l'accident de Tchernobyl. Elle a alors pensé que « les Etats-Unis [étaient] horrifiés que les Soviétiques ne nous aient rien dit pendant trois jours, alors qu'eux [le gouvernement américain] ne nous ont rien dit [à propos de Fernald] pendant trente ans. » Le gouvernement américain ne pouvait plus se permettre de montrer du doigt les problèmes lointains de l'Union soviétique. Cela ne détournait pas l'attention de Lisa du problème sur lequel elle se concentrait : trouver ce qu'il en était de la pollution dans son voisinage.

Le gouvernement a réglé le litige en juin 1989, en versant 78 millions de dollars. Cette somme est maintenant principalement utilisée pour assurer le suivi médical de la population. Mais il y a eu un autre résultat positif. En juillet 1989, la production à l'usine de Fernald a été arrêtée définitivement. La Guerre froide qui tirait à sa fin ainsi que le procès et les scandales associés à la pollution radioactive de l'air et de l'eau se sont conjugués pour aboutir à une importante avancée vers le désarmement. L'installation de Fernald a été démantelée et les bâtiments de l'usine ont été démolis.

Des risques d'explosion de cuves

Juin 1989 a aussi été un mois historique à d'autres égards. Ce mois-là, le gouvernement soviétique a admis qu'une cuve de déchets de haute activité avait explosé en 1957 à Tchelyabinsk-65, en adressant un rapport sur l'accident à l'Agence internationale de l'énergie atomique. Je pense qu'il s'agissait là d'une réponse à une question sur l'accident que le Dr Bernard Lown, à l'époque co-président de l'Association internationale des médecins pour la prévention de la guerre nucléaire (IPPNW), avait soulevé au cours d'une réunion en avril 1989 avec le Ministre des affaires étrangères de l'époque, Edouard Chevardnadze. Cette révélation a également eu des implications importantes pour les gens travaillant aux Etats-Unis. L'Agence centrale de renseignement américaine (CIA) était au courant de l'accident depuis 1959. Mais, contrairement à beaucoup d'autres événements, la CIA n'avait pas cherché à en faire un argument de propagande. Elle a au contraire gardé l'affaire secrète, jusqu'à ce que ses documents soient révélés à la suite d'une demande déposée par l'organisation non gouvernementale Public Citizen en 1977, dans le cadre de la Loi sur la liberté d'information (Freedom of Information Act). (Un chercheur soviétique dissident, Jaurès Medvedev, avait fait paraître à l'Ouest des informations à propos de cet accident en 1976.)

Je suppose que la Commission de l'énergie atomique ne voulait pas admettre que l'accumulation d'hydrogène dans les cuves posait aussi un risque d'explosion aux Etats-Unis, étant donné que, selon la position américaine officielle, il n'y avait aucun problème de sûreté, même après que les documents de la CIA aient été rendus publics. Mais quand l'Union soviétique a officiellement admis en 1989 qu'une explosion s'était produite, une des conséquences de cet aveu a conduit les ONG et le Congrès à étudier plus à fond les problèmes aux Etats-Unis. Le Département de

l'Energie a mis en place un groupe de travail sur les cuves de déchets de haute activité du site de Hanford, et des mesures ont été prises pour réduire les risques d'explosion. L'inquiétude relative à ces risques a aidé à assurer la fermeture définitive de la dernière usine de séparation de plutonium en exploitation à Hanford, au début des années 1990.

Perquisition du FBI à Rocky Flats

L'événement le plus spectaculaire à cet égard a peut-être été la perquisition du FBI, en juin 1989, à l'usine de Rocky Flats, près de Denver, une vaste installation de production de cœurs en plutonium pour les armes nucléaires. Ce genre de perquisition aurait été impensable pendant la Guerre froide. Mais en 1989, les problèmes de sûreté du complexe nucléaire militaire étaient quotidiennement sur le devant de la scène. Une commission d'enquête du Congrès avait eu lieu sur les expériences d'irradiation sur les êtres humains effectuées par le gouvernement américain. D'autres auditions du Congrès ont porté sur la santé et la sécurité. Avant le milieu des années 1980, de telles auditions étaient essentiellement des activités de routine destinées à donner plus d'argent à l'establishment nucléaire militaire. Les scandales se sont multipliés.

C'est dans ce contexte que des représentants fédéraux du Ministère de la justice basés dans le Colorado ont appris que des incinérations illégales de déchets contenant du plutonium avaient peut-être lieu à Rocky Flats. Le siège du FBI à Washington s'est alors intéressé à l'information et a ordonné la perquisition du site. Le Ministère de la justice a réuni un jury d'accusation pour chercher à savoir si la compagnie qui exploitait l'usine avait commis des crimes contre l'environnement. La production de l'usine de Rocky Flats a été arrêtée. Le secrétaire adjoint à l'Energie, W. Henson Moore, s'est déplacé à Denver et a admis que l'usine avait été exploitée comme si l'establishment nucléaire était au-dessus des lois.

A la fin des années 1950, la production *journalière* de l'usine de Rocky Flats s'élevait à environ 10 cœurs d'ogive nucléaire en plutonium. Quand la production a été arrêtée en 1989, le gouvernement américain avait fermement l'intention de la relancer une fois réglés les problèmes de sûreté et d'environnement. Mais Rocky Flats n'a jamais rouvert ses portes. Elle ne produira jamais plus d'armes nucléaires. L'usine a été démantelée, bien que du plutonium restera sur place pendant des générations, sous la forme d'une contamination résiduelle.

En 1989, le public avait acquis la ferme conviction que, dans la mesure où les Etats-Unis parvenaient à des accords visant à la réduction des armes nucléaires, il n'y avait aucune raison de faire peser un risque sur la santé des populations pour faire fonctionner de dangereuses usines nucléaires militaires. Les événements historiques qui se déroulaient en Europe de l'Est, si bien célébrés dans les livres d'histoire, ont alors trouvé un écho dans le Colorado et ailleurs. La portée de ces événements locaux, passée inaperçue à l'époque, commence maintenant à émerger.

Des victoires ignorées

Il serait fastidieux de dresser la liste de tous les événements locaux et de toutes les préoccupations relatives à la santé et à l'environnement qui se sont conjugués pour mettre en œuvre l'immense tâche de l'élimination des armes nucléaires. Tous les réacteurs américains destinés à la production du plutonium et du tritium ont été fermés durant la même période. La

vaste usine de séparation du plutonium de Hanford, dans l'Etat de Washington, a été fermée là où le plutonium de la bombe de Nagasaki avait été fabriqué. De nombreuses autres installations moins importantes ont été fermées.

Quand les Etats-Unis se sont désengagés de tant de grandes installations nucléaires militaires à la fin des années 1980 et au début des années 1990, ils avaient fermement l'intention de reprendre la production. Les usines ont parfois été fermées du jour au lendemain, les matières nucléaires étant encore dans les chaînes de production.

Les effets du moratoire soviétique sur les essais nucléaires engagé par le président Gorbatchev se sont fait sentir aux Etats-Unis. L'establishment nucléaire militaire s'est prononcé contre l'intégration du moratoire dans la loi américaine, mais sans succès. (Il a néanmoins obtenu le soi-disant programme de maintenance des stocks d'armes nucléaires et pas mal d'argent à titre de compensation.) Le moratoire a été promulgué sous forme de loi, et a joué un rôle dans l'obtention du Traité d'interdiction complète des essais nucléaires (TICEN).

Bien sûr, de graves revers sont intervenus depuis le milieu des années 1990, sur de nombreux fronts dont celui des armes nucléaires. Le Sénat américain a rejeté la ratification du TICEN. L'establishment nucléaire militaire américain a créé une nouvelle doctrine sur les armes nucléaires, qui désigne effectivement les Etats visés, dont la Russie. Il veut construire des armes nucléaires utilisables appelées « pénétrateurs nucléaires » (robust nuclear earth penetrators) et des mini-bombes. Les sommes d'argent destinées à la conception des armes nucléaires ainsi qu'à la maintenance d'un énorme arsenal américain ont atteint des niveaux supérieurs à ceux de la moyenne de la Guerre froide.

Mais au milieu de cette morosité ambiante, certains résultats des années 1980 et 1990 perdurent. Ainsi, l'establishment nucléaire militaire américain n'a pas la capacité de produire en masse des bombes nucléaires, parce que Rocky Flats était la seule installation aux Etats-Unis qui fabriquait à grande échelle des cœurs d'ogives nucléaires au plutonium. Ses bâtiments de production ont été démolis. Le Département de l'Energie a proposé de construire une nouvelle usine pour la fabrication à grande échelle des ogives en plutonium, mais il faudra une décennie ou plus pour la construire. Les partisans de la paix et de l'environnement disposent donc d'une certaine marge de temps pour organiser une lutte pour empêcher sa construction.

A la différence de ce qui se passait pendant la Guerre froide, il est maintenant beaucoup plus difficile pour l'establishment nucléaire militaire d'obtenir le financement pour ce genre d'installation. De nombreux membres du Congrès reconnaissent qu'il s'agit d'une dangereuse provocation en termes de prolifération. Les préoccupations locales sont également cruciales. Si certains veulent obtenir l'argent et les emplois qui seraient créés par la nouvelle usine, les opposants sont beaucoup plus nombreux que ce qui aurait été imaginable pendant la Guerre froide, même si nous vivons une période qui lui ressemble à de nombreux égards. Mais, cette fois, le gouvernement ne peut prétendre qu'une telle installation ne posera aucun risque. Il est tenu de publier des prévisions de risques. Celles-ci indiquent que, sur la durée de vie de l'usine avec une capacité de 450 ogives de plutonium par an, cette production entraînera la mort de neuf travailleurs. L'establishment nucléaire militaire a demandé à la population de ne pas s'inquiéter parce qu'il ne s'agit que d'une estimation statistique. Mais le public est sceptique. Peu nombreux

sont ceux prêts à adopter l'idée qu'un peu de plutonium est inoffensif.

Les acquis liés aux essais nucléaires devraient également perdurer. L'establishment nucléaire militaire voudrait redémarrer les essais. Mais ce serait très difficile. A la fin des années 1980 et dans les années 1990, un énorme scandale a éclaté relatif à l'empoisonnement en iode 131 d'une bonne partie de l'approvisionnement en lait des Etats-Unis. Au début, dans les années 1980, il s'agissait des émissions d'iode 131 provenant des usines de séparation du plutonium à Hanford. Mais à partir de là, l'affaire a pris de l'ampleur. En 1997, l'Institut national du cancer (NCI) a publié une étude montrant que les rejets d'iode 131 issus des essais atmosphériques d'armes nucléaires dans le Nevada s'étaient élevés à 130 millions de curies, soit plus de 15 fois les rejets occasionnés par l'accident de Tchernobyl. Les zones où les retombées ont été importantes s'étendaient sur tout le pays, depuis l'Idaho et le Montana jusqu'à l'Etat de New York et au Vermont en passant par le Kansas et l'Iowa. En menant la Guerre froide, l'establishment nucléaire militaire a empoisonné une grande partie du lait américain et n'a rien fait pour le protéger. Dans le même temps, des documents déclassifiés ont révélé que le gouvernement avait fourni des données secrètes à Kodak et à d'autres sociétés de fabrication de films photographiques, pour qu'elles puissent prendre des dispositions afin que les films ne soient pas voilés par les retombées radioactives.

Aujourd'hui, alors que l'establishment nucléaire militaire américain se prépare à reprendre les essais, l'Académie nationale des sciences (NAS) cherche à savoir si des personnes devraient être indemnisées du fait de la contamination du lait, et si c'est le cas, combien de personnes seraient concernées. Un sénateur conservateur, Bob Bennett, un républicain de l'Utah, joue actuellement un rôle important pour résister à cet empressement à reprendre les essais. Selon son site web, il a fait une proposition de loi qui « empêchera la reprise des essais nucléaires en l'absence de l'approbation du Congrès, d'une étude d'environnement et de sûreté approfondie, et d'un processus ouvert d'implication du public. » Si la loi est votée, il sera difficile, voire impossible pour les Etats-Unis de reprendre les essais à moins qu'un autre pays ne commence avant.

Des résultats durables

En octobre 1989, le président Gorbatchev déclarait au monde : « l'Union soviétique n'a aucun droit moral ou politique de s'immiscer dans les affaires de ses voisins en Europe de l'Est. Ils ont le droit de décider de leur propre destin. » Cette déclaration a ouvert aux populations des Etats-Unis un espace de débat pour décider du destin des usines nucléaires militaires américaines. La tradition de participation active des citoyens aux Etats-Unis a été redynamisée par la détermination de Gorbatchev à ne pas répéter les terribles violences du passé. La conjugaison de ces deux éléments a abouti à une réduction de la menace nucléaire militaire qui n'a jamais été saluée comme une victoire, mais dont nous continuons de bénéficier aujourd'hui.

Le monde traverse indéniablement une période difficile ; la guerre et la violence sont omniprésentes. Mais les résultats obtenus par des mères et des pères soucieux de l'avenir de leurs enfants et de l'eau ou du lait, qui ont débouché sur l'arrêt de la production de toutes ces installations nucléaires militaires et à un moratoire sur les essais, continuent d'exercer leurs effets. Ils nous accordent un répit pour consolider les acquis obtenus à cette époque, et continuer à lutter pour l'élimination complète de tous les arsenaux nucléaires et de toutes les installations

nucléaires militaires.

LES NOTES BAS DE PAGE

¹ Certaines des recherches réalisées pour cet article ont été effectuées dans le cadre du financement d'un ouvrage d'Arjun Makhijani par la John D. and Catherine T. MacArthur Foundation. Le titre provisoire de l'ouvrage est *Science of Death, Science of Life: An Enquiry into the Contrasts between Weapons Science and Health and Environmental Science in the U.S. Nuclear Weapons Complex*.

² Consulter Wes McKinley et Caron Balkany, Esq., *The Ambushed Grand Jury: How the Justice Department Covered Up Government Nuclear Crimes and How We Caught Them Red Handed*. New York: Apex Press, 2004.

³ Leo Strauss, cité dans Barton C. Hacker, *Elements of Controversy: The Atomic Energy Commission and Radiation Safety in Nuclear Weapons Testing 1947-74*. Berkeley, Californie : University of California Press, 1994. p. 150-151.

⁴ Barton C. Hacker, *The Dragon's Tail: Radiation Safety in the Manhattan Project 1942-1946*. Berkeley, California, University of California Press, 1987, p. 85.

⁵ International Physicians for the Prevention of Nuclear War et Institute for Energy and Environmental Research, [*Radioactive Heaven and Earth: The health and environmental effects of nuclear weapons testing in, on, and above the earth*](#). New York: Apex Press, 1991, Chapitre 4.

⁶ Pour plus d'informations sur les rejets de l'installation de Fernald, voir *Science for Democratic Action* vol. 5 no. 3 (octobre 1996). Pour plus d'informations sur les erreurs constatées dans les relevés dosimétriques des travailleurs, voir *Science for Democratic Action* vol. 6 no. 2 (novembre 1997).

⁷ Arjun Makhijani, manuscrit de *Science of Death, Science of Life*, interview de Lisa Crawford.

⁸ International Physicians for the Prevention of Nuclear War et Institute for Energy and Environmental Research, [*Plutonium: Deadly Gold of the Nuclear Age*](#). Cambridge, MA: IPPNW Press, 1992.

⁹ Voir « L'arme nucléaire "utilisable" contre-attaque » dans *Energie et Sécurité*, n° 26 (2003).

¹⁰ Voir « Retour aux mauvais souvenirs » dans *Energie et Sécurité* n° 26 (2003).

¹¹ Communiqué de presse du sénateur américain Bob Bennett, "Bennett Bill Halts Nuclear Testing Without Congressional Approval, Public Input," le 7 septembre 2004, sur Internet : <http://bennett.senate.gov/press/record.cfm?id=225115>.

L'énigme atomique

Les réponses aux questions qui suivent peuvent être trouvées dans l'article principal « L'enrichissement de l'uranium ».

(1)

a. Combien d'électricité (en kilowatts-heure par Unité de travail de séparation – kWh/UTS) les usines de diffusion gazeuse utilisent-elles ?

b. Combien d'électricité (en kWh/UTS) les usines modernes à centrifugation gazeuse utilisent-elles ?

(2)

a. Combien faudrait-il de services d'enrichissement, en UTS par an, pour alimenter en uranium enrichi un réacteur classique à eau légère, de 1000 mégawatts-électriques ?

b. Si cet enrichissement était fourni par une usine de diffusion gazeuse, quel pourcentage de la production électrique annuelle de ce réacteur serait consommé par le processus d'enrichissement ?

c. Si cet enrichissement était fourni par des centrifugeuses à gaz, quel pourcentage de la production électrique annuelle de ce réacteur serait consommé par le processus d'enrichissement ?

(3)

a. Quelle quantité d'UHE (en kilogrammes) a-t-on utilisé dans la bombe larguée sur Hiroshima ?

b. Quelle quantité d'UHE utilise-t-on dans une bombe plus perfectionnée,

c. Combien de tonnes d'uranium naturel et combien d'UTS de services d'enrichissement faudrait-il pour faire une bombe du type de celle d'Hiroshima ?

d. Combien de tonnes d'UFE faudrait-il pour arriver à la quantité d'UHE nécessaire à la fabrication d'une bombe du type de celle d'Hiroshima ? Comparez ce chiffre à la quantité d'UFE nécessaire pour alimenter annuellement un réacteur nucléaire de 1000 mégawatts.

(4)

a. Quelle proportion de la totalité des services d'enrichissement nécessaires à la production d'uranium hautement enrichi (UHE) de qualité militaire sert à l'enrichissement de l'uranium naturel (0,7 pour cent d'U-235) en uranium faiblement enrichi (UFE, 3,6 pour cent d'U-235) ?

b. Quelle proportion faut-il pour enrichir l'UFE en UHE (90 pour cent d'U-235) ?

(5) Habituellement, quelle quantité d'uranium 235 (en pourcentage) se trouve dans :

a. l'uranium faiblement enrichi (UFE) ?

b. l'uranium hautement enrichi (UHE) ?

c. l'uranium naturel ?

(6) Vrai ou faux : La quantité d'uranium naturel et le nombre d'UTS nécessaires au cours de l'enrichissement de l'uranium sont directement proportionnels pour un taux d'enrichissement donné.

(7) Vrai ou faux : Les UTS et le poids de l'uranium sont d'ordinaire mesurés en kilogrammes, même s'ils mesurent des choses différentes.

Réponses :

(1)

a. 2 400 à 2 500 kWh/UTS

b. 50 à 60 kWh

(2)

a. approximativement 100 000 à 120 000 UTS par an

b. environ 3 à 4

c. moins de 0,1 pour cent

(3)

a. approx. 60 kg

b. 20-25 kg

c. entre 10,6 et 13,1 tonnes d'uranium naturel et entre 11 600 et 13 700 UTS de services d'enrichissement

d. 1,6 tonne ; moins du dixième de la quantité

(4)

a. deux tiers

b. un tiers

(5)

a. 3 à 5 pour cent d'U-235

b. 90 pour cent d'U-235

c. 0,7 pour cent d'U-235

(6)

Faux. La quantité d'uranium naturel et le nombre d'UTS nécessaires au cours de l'enrichissement de l'uranium évoluent en sens inverse pour un taux d'enrichissement donné.

(7)

Vrai