

[Bulletin en format PDF](#)

Bulletin n° 46 Juin 2007

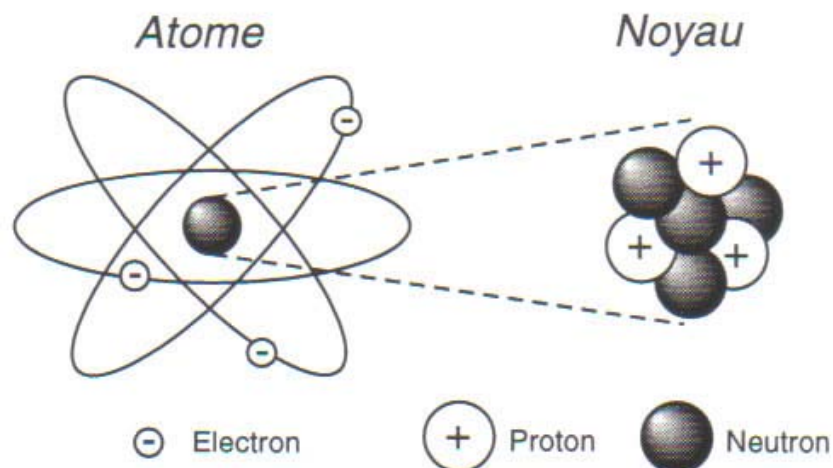
## Les ressources en uranium

Le regain d'intérêt pour l'énergie nucléaire a pour conséquence une augmentation rapide du prix de l'uranium. La question de l'approvisionnement de ce précieux élément se pose donc aujourd'hui avec acuité. Les ressources disponibles dans la nature étant limitées, il s'agit de les utiliser au mieux, en évitant tout gaspillage. Nous avons déjà esquissé ce thème dans notre [numéro 41 \(mars 2006\)](#), à propos des réacteurs de 4<sup>ème</sup> génération. Il nous semble utile d'y revenir.

### Rappel de quelques notions de physique élémentaire

Les substances qui composent l'univers sont constituées à partir d'un nombre fini d'éléments, ou corps simples. La plus petite partie, la particule de base, d'un élément est l'atome. Chaque atome est constitué par un noyau, chargé positivement, qui concentre l'essentiel de la masse, noyau autour duquel gravitent des électrons, particules légères chargées négativement, le tout à une échelle extrêmement petite : il y a par exemple 6.1023 (6 suivi de 23 zéros) atomes d'oxygène dans 18 grammes d'eau.

Le noyau, quant à lui, se compose d'un assemblage de particules lourdes (relativement !), les unes chargées positivement, les protons, les autres privées de charge électrique, les neutrons. Le nombre d'électrons gravitant autour du noyau est égal au nombre de protons que contient le noyau, de façon que l'atome soit, dans son état "normal", électriquement neutre. Le nombre total protons + neutrons détermine la masse de l'atome, exprimée en unités atomiques.



Le nombre d'électrons, resp. de protons, détermine les propriétés chimiques d'un élément. Mais le nombre de neutrons pouvant varier alors que le nombre de protons dans le noyau reste constant, on se rend compte que des corps de propriétés chimiques identiques peuvent présenter des masses atomiques différentes : ces "variantes" d'un même élément sont des isotopes. Ainsi la figure ci-contre schématise un atome de lithium de masse atomique 7 (symbole  $\text{Li}^7$ ), alors qu'il existe aussi dans la nature un isotope  $\text{Li}^6$ , dont le noyau ne comprend que 3 neutrons.

### La fission

Les forces qui lient entre elles les particules constitutives du noyau sont très grandes, d'autant plus que la masse atomique est plus élevée. Mais à partir de l'élément nickel, la tendance s'inverse, et les forces de liaison se mettent à baisser quand la masse atomique continue à croître. Il arrive un moment où les noyaux deviennent instables, et sont susceptibles de se désagréger spontanément, libérant de l'énergie sous forme de rayonnement. C'est le phénomène de *la radioactivité*.

D'autre part, certains noyaux lourds bombardés par des neutrons peuvent se briser en libérant de l'énergie. On parle alors de fission nucléaire, un corps simple de masse élevée donnant naissance à des corps plus légers. Les éléments susceptibles d'une telle réaction sont dits *fissiles*, comme par exemple l'uranium 235 ( $\text{U}^{235}$ ).

C'est ce phénomène de fission qui est exploitée dans les réacteurs nucléaires actuels. La chaleur

engendrée par la fission permet de produire de l'électricité au moyen d'une installation thermique conventionnelle : turbine et alternateur. Pour cela, il faut entretenir une réaction en chaîne : le noyau d' $U^{235}$  se scinde en deux fragments lorsqu'il absorbe un des neutrons qui le bombardent, en émettant à son tour deux ou trois neutrons. Si au moins un de ces neutrons "secondaires" est absorbé par un nouvel atome d' $U^{235}$ , la réaction s'entretient d'elle-même.

### Éléments fissiles, éléments fertiles

Les éléments fissiles disponibles sont rares. Par exemple, l'uranium tel qu'on le trouve dans la nature ne contient que 0,7 % de l'isotope fissile  $U^{235}$ , pour 99,3 % de  $U^{238}$  non fissile. Mais certains éléments lourds peuvent se transmuter en isotopes fissiles sous l'effet d'un bombardement de neutrons. Nous les appelons fertiles. Ainsi, après absorption d'un neutron et émission d'un électron (rayonnement  $\beta$ ), un atome d'uranium 238 se transforme en plutonium 239 ( $Pu^{239}$ ), qui, lui, est fissile.

Autre filière possible : le thorium 232 ( $Th^{232}$ ) fertile, nettement plus répandu dans la nature que l'uranium, qui se transforme en  $U^{233}$  fissile après absorption d'un neutron.

La probabilité qu'un noyau absorbe un neutron "vagabond" dépend de la concentration des atomes fissiles dans le coeur du réacteur, d'une part, et de la vitesse des neutrons "collisionneurs", d'autre part : elle est d'autant plus grande que la vitesse des neutrons est faible. Celle-ci diminue lors des heurts successifs avec d'autres noyaux. Mais des neutrons peuvent aussi être absorbés par capture dans d'autres noyaux et sont donc "perdus" pour la réaction en chaîne.

Dans le mélange naturel des isotopes d'uranium qu'on trouve dans la nature (99,3 %  $U^{238}$  + 0,7%  $U^{235}$ ), la concentration des atomes fissiles est trop faible pour qu'une réaction en chaîne puisse se produire. Pour y parvenir, il existe deux moyens, qui peuvent être combinés :

- augmenter la concentration en matière fissile, par un enrichissement de l'uranium,
- diminuer la vitesse des neutrons, en intercalant dans le coeur du réacteur un modérateur, des noyaux légers qui ralentissent les neutrons par collision non absorbante, par exemple de l'eau, ou du graphite.

### Les filières actuelles

Dans les réacteurs actuellement en service, on utilise de l'eau, qui sert à la fois de modérateur et de caloporteur, le fluide destiné à conduire la chaleur produite par la réaction de fission au générateur de vapeur alimentant le groupe turbine - alternateur.

L'eau ordinaire absorbe trop de neutrons pour qu'une réaction en chaîne puisse se produire avec le mélange d'uranium naturel. Il faut recourir à de l'eau lourde (l'hydrogène ordinaire de la molécule d'eau  $H^2O$  est remplacé par de l'hydrogène lourd, ou deutérium, isotope de masse 2 de l'hydrogène), un modérateur plus efficace. Cette méthode est utilisée dans les réacteurs canadiens de la filière CANDU. On n'a pas besoin d'enrichir l'uranium, mais il faut disposer d'eau lourde, ce qui nécessite d'extraire le deutérium, opération coûteuse vu la rareté de cet isotope dans la nature (0,015 %).

Dans les réacteurs à eau légère, qui constituent la majeure partie du parc actuel, il faut enrichir l'uranium pour élever la proportion de matière fissile (entre 3 et 7 %). Les atomes d' $U^{238}$  fertiles présents dans le coeur du réacteur qui absorbent des neutrons "surnuméraires" se transforment alors en  $Pu^{239}$ , lesquels peuvent à leur tour subir une fission, et contribuent ainsi pour une part importante à l'énergie produite.

Quand les barres de combustibles sont "usées", c'est à dire quand la teneur en produits de fission devient trop élevée (les noyaux résultants absorbent les neutrons), et que la concentration en matières fissiles est devenue trop faible, il faut les retirer du coeur. Le retraitement va permettre de séparer les produits de fission pour les éliminer et de récupérer

les éléments encore utilisables ( $U^{238}$ ,  $U^{235}$  et  $Pu^{239}$  non consommés), pour les réintroduire dans des barres neuves. On parle dans ce cas de combustible MOX (Mixed Oxyde Fuel).

### Les réacteurs à neutrons rapides

Dans ce type de réacteur, on enrichit suffisamment le combustible en matières fissiles pour que la réaction en chaîne puisse se produire sans qu'il soit besoin de ralentir les neutrons. Il faut alors trouver un autre fluide caloporteur que l'eau. Ce peut être un métal liquide (sodium ou alliage de plomb), ou un gaz (par exemple l'hélium).

Dans ce type de réacteur, le flux de neutrons important qui s'échappe du coeur peut être utilisé pour bombarder des éléments fertiles disposés tout autour, et les transmuter en éléments fissiles. De tels réacteurs peuvent produire plus de combustible fissile qu'ils n'en consomment, c'est pourquoi on les appelle parfois surgénérateurs.

Mais ils permettent aussi de transmuter les éléments transuraniens à longue durée de vie (principalement le plutonium, mais aussi le neptunium et l'américium) contenus dans les déchets des réacteurs à neutrons lents, d'où une bien meilleure gestion de ces produits indésirables. Ce sont en fait des incinérateurs de plutonium.

### Estimation des ressources

L'uranium est omniprésent dans la nature : en moyenne 2 ppm (part per million) dans la croûte terrestre, 2 ppb (part per billion) dans l'eau de mer. Toutefois, les gisements actuellement

exploitables de façon économique sont limités : on estime qu'ils permettront d'alimenter les centrales actuelles pour plusieurs dizaines d'années. Le retraitement systématique des combustibles usés, en utilisant le plutonium produit dans les réacteurs, permet une bien meilleure utilisation des ressources, et multiplie ainsi leur durabilité par un facteur de l'ordre de 60.

La généralisation des réacteurs rapides, telle qu'elle est prévue dans le projet "[Génération IV](#)", permettra d'aller beaucoup plus loin, grâce à l'exploitation massive de l'uranium 238 fertile. La filière du thorium autoriserait un saut encore plus important, cet élément étant bien plus abondant dans la nature que l'uranium.

Théoriquement, on peut calculer par une simple règle de trois, que si les ressources en  $U^{235}$  (rappel : 0,7 % de la masse totale disponible) peuvent durer mettons 50 ans, l'utilisation de la totalité de l'uranium actuellement exploitable permettrait de produire de l'énergie pendant 7000 ans. Il est clair qu'un tel chiffre est excessif, les pertes et imperfections inhérentes à toute réalisation humaine limitant le rendement.

Mais de quelques dizaines d'années, on peut passer à quelques centaines d'années grâce au retraitement, à quelques milliers d'années par les réacteurs rapides et à des dizaines de milliers d'années en utilisant le cycle du thorium. Utilisons intelligemment nos ressources !

---

Impressum : ADE Action Démocratique pour l'Energie, Genève, c/o Philippe Wiblé

Rue du Temple 8, 1236 Cartigny, tél. 022 756 16 65, fax 022 756 38 67

e-mail : [wible@adegeneve.com](mailto:wible@adegeneve.com)

Bulletin trimestriel envoyé aux membres et amis de notre Association CCP Action Démocratique pour l'Energie:  
12-12301-9

[Créé par pumaware](#)