

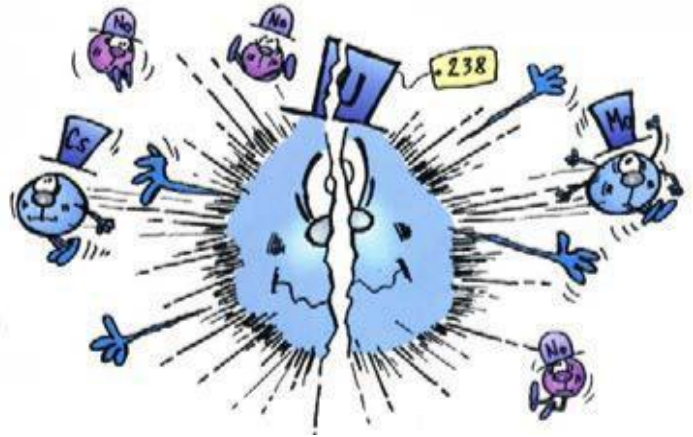
Activité - Fission & Fusion

A/ La fission nucléaire

La fission spontanée des atomes

Les familles Uranium et Thorium souffrent aussi d'une autre maladie génétique, heureusement beaucoup plus rare que la décroissance radioactive: la fission spontanée des atomes. Cette maladie se manifeste par la rupture brutale du noyau de l'atome atteint, accompagnée d'une fièvre colossale. Les deux fragments produits sont projetés avec une extrême violence, loin l'un de l'autre, constituant comme stade final deux atomes plus petits.

Heureusement pour ceux qui sont sujets à cette affection, la période de rémission est très longue, largement supérieure à des millions de milliards d'années. Cela signifie pour eux, que la probabilité de disparaître par décroissance radioactive, la maladie la plus courante, est au moins un million de fois plus grande que celle d'être atteints par la fission spontanée.



L'Uranium 238 peut aussi être victime de la fission spontanée, une maladie heureusement beaucoup plus rare que la décroissance radioactive.

La fission induite des atomes (ou FIDA)



Le virus est un neutron.

On ne parlerait même pas de cette fission, si les Terriens ne s'étaient aperçus que cette maladie provoquait une grosse fièvre, dégageait une quantité colossale d'énergie et, surtout, qu'ils pouvaient à leur gré accélérer son évolution d'une manière vertigineuse. C'est ainsi que les Terriens ont réussi à inoculer cette terrible maladie à quelques familles d'atomes, principalement aux divers membres de la famille Uranium.

Le virus est un neutron. L'isotope ^{235}U peut absorber un tel neutron si celui-ci ne se déplace pas trop vite (on parle de neutron lent ou de neutron thermique).

Mécanisme de la maladie

Alourdi d'un neutron, la victime devient très instable...



Après qu'on lui ait inoculé un neutron, le pauvre ^{235}U s'alourdit d'un gramme, se transformant en ^{236}U , un gros lourdaud de la famille Uranium qui n'arrive plus à maintenir toutes ensemble les particules de son noyau.

Comme une goutte d'eau qui devient trop grosse et se divise en deux gouttelettes plus petites, le pauvre ^{236}U éclate et se fragmente en deux atomes plus petits, expulsant en même temps deux ou trois neutrons rapides.



...puis se partage en deux atomes plus petits, libérant du même coup quelques neutrons. Cet accès brutal dégage beaucoup d'énergie.

Un amaigrissement incompréhensible

Si l'on pèse les deux atomes nouveaux plus les deux ou trois neutrons produits, on a la surprise de constater qu'on n'arrive pas tout à fait aux 236 grons que pesait notre patient ^{236}U , juste avant sa crise. Il y a donc eu disparition d'un petit peu de matière au cours de cette fission. Et nous savons, grâce à Einstein, que cette matière s'est transformée en énergie selon la relation fameuse : $E = m \times c^2$

Ce qui signifie en clair : l'Energie [E] est égale à la masse disparue [m] multipliée par le carré de la vitesse de la lumière [c^2].

Cette maladie produit environ 200 millions de fois plus d'énergie par atome éclaté que celle que peut produire une molécule dans la réaction chimique la plus violente! Voilà donc un procédé bien séduisant pour se procurer de grandes quantités d'énergie !



La maladie s'accompagne d'une légère disparition de masse.

Mais que deviennent les neutrons ?

En inoculant un neutron dans le noyau du pauvre ^{235}U , on a provoqué sa fission, libéré de l'énergie et il reste en surplus 2 ou 3 neutrons errants¹. Que vont-ils devenir? Ils sont expulsés dans la matière à grande vitesse. Comme ils sont neutres, ils ne sont pas influencés pas les orbites électroniques des atomes qu'ils pourraient rencontrer et, pour provoquer une nouvelle fission, ils doivent impérativement frapper de plein fouet un noyau d' ^{235}U . Mais la cible est très petite et la probabilité de rencontrer un noyau d'Uranium pour le briser en deux demeure extrêmement faible. Par ailleurs, les neutrons sont eux-mêmes atteints de décroissance radioactive foudroyante qui les transforme très rapidement en un proton plus un électron².

¹appelés neutrons prompts par les physiciens

²il faut encore mentionner l'émission d'un neutrino, cette particule quasi indétectable qui emporte une partie de l'énergie dégagee.

On peut tout de même influencer la chance !

Les Terriens sont astucieux et savent modifier cette probabilité de fission de ^{235}U par un neutron en combinant deux actions :

1. En augmentant la concentration des atomes d' ^{235}U .

Dans l'uranium naturel extrait des mines, il n'y a que 0.7% d' ^{235}U contre 99.3 % d' ^{238}U . On procède alors à l'enrichissement en ^{235}U dans de coûteuses usines, ce qui augmente le nombre de cibles par unité de volume. Pour les usages courants, on l'enrichit généralement aux alentours de 3%. On peut augmenter cet enrichissement autant qu'on le désire. Mais on ne le fait effectivement qu'à la demande des militaires, qui en ont besoin pour des usages bien particuliers.

2. En ralentissant les neutrons

Les neutrons produits dans une réaction de fission sont trop rapides pour espérer pouvoir accrocher au passage un autre ^{235}U . Aussi va-t-on, à l'aide d'un modérateur, les ralentir pour les rendre plus "virulents". On place sur leur passage des atomes légers, Messieurs Hydrogène, Béryllium ou Carbone, par exemple. Les chocs successifs avec ces atomes légers vont augmenter la vitesse de ces derniers et ralentir les neutrons.

En combinant ces deux conditions, on augmente l'efficacité des neutrons errants. Il devient alors possible de réaliser et d'entretenir une réaction en chaîne et, si on sait la contrôler, on peut du même coup construire une centrale nucléaire !

Comment fonctionne une centrale nucléaire

Les centrales nucléaires peuvent différer les unes des autres par les caractéristiques du combustible, par la nature du milieu ralentisseur de neutrons, et par le système d'échangeur de chaleur entre le réacteur et la turbine. Mais le principe du fonctionnement est toujours à peu près le même.

Le combustible est constitué de barres d'uranium enrichi à environ 3 % d' ^{235}U . Ces barres sont plongées dans de l'eau qui ralentit (grâce à M. Hydrogène) les neutrons émis par la fission d'atomes d' ^{235}U , leur permettant à leur tour de provoquer la fission d'autres atomes. Ces réactions de fission dégagent une chaleur énorme qui permet de produire la vapeur nécessaire au fonctionnement d'une turbine, qui entraîne à son tour un générateur électrique.

Dans ce schéma, l'eau joue le rôle double de modérateur de neutrons et de liquide caloporteur qui permet le transfert de l'énergie vers la turbine.

Pour arrêter la réaction, on laisse tomber dans le réacteur des barres de bore ou de cadmium qui ont la propriété d'absorber les neutrons et, par conséquent, d'interrompre la réaction.

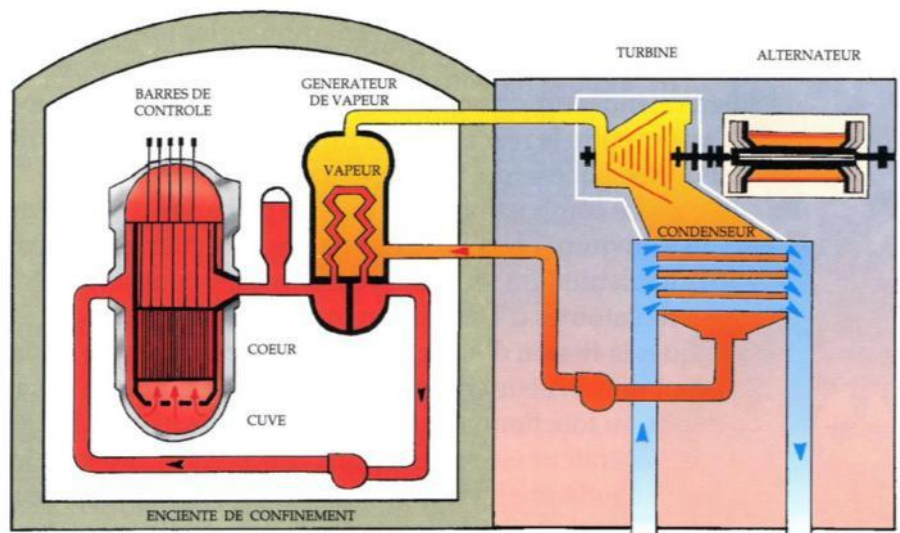


Schéma simplifié d'une centrale nucléaire.

Mais où sont donc les déchets nucléaires ?

Si nous reprenons le cours de la maladie du pauvre ^{235}U , nous avons vu qu'après avoir absorbé un neutron et s'être transformé en ^{236}U , il se scindait en deux autres atomes plus légers. Quels sont donc ces atomes ? Les expériences montrent que chaque atome de ^{236}U peut se scinder de manière différente en donnant des paires de fragments de fission dont les poids atomiques sont compris généralement entre 72 et 166. Ces résidus sont composés d'une bonne trentaine d'éléments bien connus des services de l'Etat-civil du monde des atomes, mais qui ont tous la désagréable propriété de comporter une trop forte proportion de neutrons par rapport au nombre habituel que comporte leur famille. Ce sont donc des isotopes lourds de familles d'atomes bien connus. Ils n'existent généralement pas dans la nature et sont des isotopes issus de la fission induite des atomes (FIDA). Ils sont tous instables et atteints de décroissance radioactive¹.



Les déchets nucléaires sont non seulement radioactifs, mais ils dégagent aussi de la chaleur.

Ce sont eux qui constituent les déchets nucléaires indésirables! Les neutrons excédentaires vont, plus ou moins rapidement, se transformer en protons en expulsant des particules β (des électrons) et en dégageant un fort rayonnement γ et de la chaleur.

Certains produits de fission atteindront leur état stable en quelques minutes, quelques heures ou quelques jours. Ils sont hautement radioactifs mais l'évolution de leur maladie est très rapide. D'autres mettront des années ou des millénaires pour voir enfin leur activité diminuer de manière sensible. Ils sont peu radioactifs, mais ils le demeureront encore longtemps !

Par ailleurs cette décroissance radioactive dont, je vous le rappelle, on ne peut pas modifier la vitesse d'évolution, dégage beaucoup de chaleur qu'il faut évacuer de la centrale pendant longtemps encore après l'arrêt de la réaction de fission. C'est la raison pour laquelle on stocke le combustible usagé plusieurs mois, voire même plusieurs années dans une piscine avant de le retraiter.

¹Certains produits de fission sont aussi producteurs de neutrons différés (ou retardés), tel $^{87}\text{Kr} \rightarrow ^{86}\text{Kr} + n^0$. Ces neutrons, bien que peu nombreux, jouent un rôle très important dans le contrôle de la réaction en chaîne.

Et si la réaction s'emballait ?

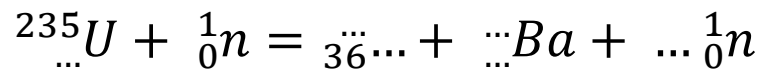
Les neutrons se déplacent à grande vitesse et, par le fait qu'ils n'ont aucune charge électrique, ils passent à travers les nuages électroniques des atomes sans les perturber. Il faut vraiment qu'ils heurtent le noyau d'un atome d'Uranium pour s'y incorporer. Or les noyaux étant des millions de fois plus petits que les atomes eux-mêmes, les neutrons peuvent traverser une certaine masse d'Uranium sans rencontrer un noyau et fuir hors de la matière. Pour augmenter la probabilité de collision, il faut augmenter la concentration de l'uranium naturel en ^{235}U ou ralentir les neutrons, ou encore combiner ces deux actions.

Ainsi donc, si on réussit à rassembler une masse suffisamment importante de ^{235}U débarrassé de son cousin ^{238}U (enrichissement à 100 %), on peut provoquer une réaction en chaîne. Cela signifie que,

dès qu'il y a fission spontanée d'un seul atome, les neutrons produits vont à leur tour provoquer la fission d'autres atomes voisins, qui libèrent à leur tour de nouveaux neutrons qui vont provoquer d'autres fissions. Le nombre des événements de fission se multiplie alors avec une vitesse prodigieuse, dégageant une énergie colossale dans un laps de temps très court : c'est une explosion nucléaire ! Heureusement pour nous, ces conditions ne sont jamais remplies dans les centrales nucléaires et toute explosion nucléaire y est impossible !

Source : Texte : Jacques Deferne, Illustrations : Alain Gassener.
Le monde étrange des atomes. La Nacelle, 1994

- 1- Calculer, en utilisant les lois de conservation, le nombre de neutrons que produit la fission de l'uranium 235 par l'absorption d'un neutron (les produits de fission sont le krypton 92 et du baryum 141) et compléter le bilan de la transformation nucléaire de la fission de l'uranium 235 :



- 2- D'où vient l'énergie libérée par les transformations nucléaires ?
3- Quelles sont les deux techniques utilisées pour provoquer des fissions dans les centrales nucléaires ?
4- Quels sont les risques liés aux centrales nucléaires ?

B/ la fusion nucléaire

Regarder les vidéos du CEA (Commissariat à l'Energie Atomique):

"La fusion au cœur des étoiles" :

<https://www.cea.fr/comprendre/Pages/matiere-univers/essentiel-sur-les-etoiles.aspx>

"Les creusets stellaires" :

<https://www.youtube.com/watch?v=WHSIzHtT9yQ&t=3s>

- 1- Comment appelle-t-on le type de transformation qui a lieu au cœur des étoiles ?
2- Complète le tableau suivant :

	Etoile dont la masse est similaire à celle du soleil	Etoile dont la masse est supérieure à celle du soleil
Matière formée durant la vie stable de l'étoile		
Matière formée lors de la fin de vie de l'étoile		
Matière formée lors de l'explosion de l'étoile	XXX	

D'après ce que tu as compris :

- 3- La matière ailleurs dans l'Univers est-elle différente de celle que l'on trouve dans notre système solaire et sur Terre ? Justifie ta réponse.
- 4- Explique d'où vient la matière qui constitue notre corps.

D'après tes connaissances :

- 5- Complète le tableau suivant :

Schéma d'un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$	Schéma d'un noyau de carbone ${}^{12}_6\text{C}$

- 6- En t'aidant des questions 2 et 5, essaye d'expliquer la transformation qui a cours lors de la fin de vie d'une petite étoile comme le Soleil.