

6 Les neutrons et leurs interactions

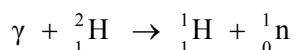
Les neutrons sont nécessaires au fonctionnement des réacteurs nucléaires. Les collisions de ces particules provoquent les fissions qui engendrent la chaleur dans les réacteurs CANDU et produisent de nouveaux neutrons. Les neutrons participent à d'autres réactions qu'il est important de connaître.

6.1 Production de neutrons

Dans un réacteur CANDU, la plupart des neutrons proviennent directement des fissions. Pendant la production, environ 1/2 % des neutrons proviennent de la désintégration des produits de fission; ce sont les neutrons instantanés et les neutrons retardés, que nous discuterons plus loin. Dans un réacteur CANDU, la seule autre source importante de neutrons est l'émission de photoneutrons (ou neutrons photonucléaires).

6.1.1 Le photoneutron

Un rayon gamma énergétique peut interagir avec un noyau de deutérium et provoquer l'éjection d'un neutron. Le noyau de deutérium se fissionne en un noyau d'hydrogène ordinaire et un neutron libre.



Pour réaliser cette réaction, un rayon gamma doit avoir une énergie d'au moins 2,22 MeV. Dans cet exemple, un rayon gamma de 2,22 MeV est absorbé et la masse totale augmente de 0,00239 u. La réaction du photoneutron est un exemple de conversion d'énergie en masse, tout comme la production d'une paire électron-positron discutée au chapitre 3. On peut exprimer le seuil d'énergie par la différence de masse entre le noyau de deutérium et les produits de réaction (l'atome d'hydrogène et le neutron) ce qui donne un facteur utile permettant de convertir la masse en énergie : 1 u = 931,5 MeV.

6.2 Interactions neutroniques

Dans cette partie, nous présentons les cinq réactions possibles entre un neutron et un noyau. Les deux premières sont des réactions de diffusion dont l'un des produits est un neutron. Les autres réactions sont des réactions d'absorption, le neutron se soude au noyau et une particule est émise.

6.3 Diffusion élastique — (n, n)

La diffusion élastique rappelle la collision entre des boules de billard. Un neutron frappe un noyau, lui transfère de l'énergie et rebondit dans une direction différente. (Parfois le noyau absorbe le neutron puis le réémet avec la même énergie cinétique.) La fraction de l'énergie de départ qui sera absorbée par le noyau dépend de l'angle d'incidence — en plein « front » ou avec un angle — tout comme une boule frappée par la boule de choc sur un billard. Le noyau cible absorbe l'énergie perdue par le neutron et se déplace ensuite à plus grande vitesse.

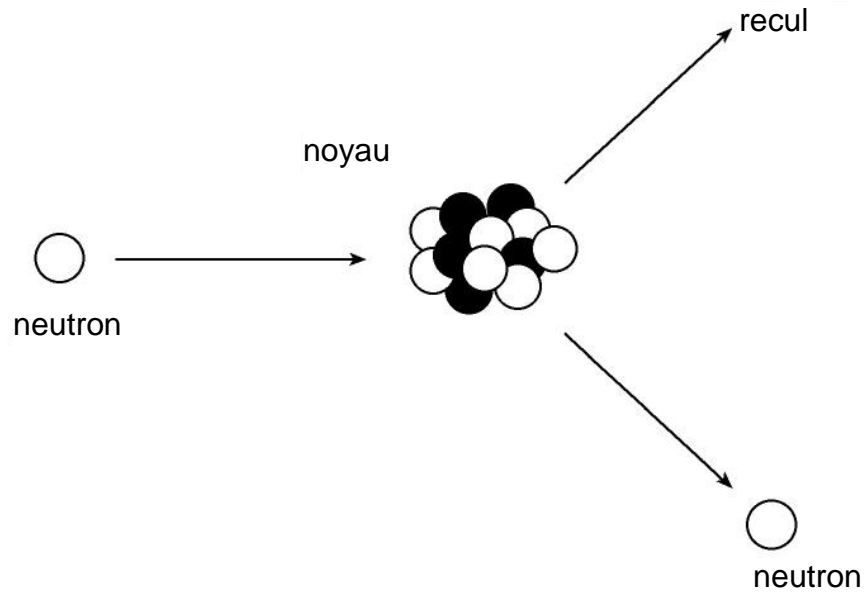


Figure 6.1 — Diffusion élastique

Les noyaux légers sont les « ralentisseurs de neutrons » les plus efficaces. Lorsqu'un neutron heurte un noyau lourd, il rebondit en ayant perdu que peu de vitesse et communique très peu d'énergie — un peu comme si l'on percutait un boulet de canon avec une boule de billard. D'autre part, les neutrons ne seront pas plus diffusés par le nuage d'électrons légers autour du noyau, mais continueront en ligne droite, un peu comme une balle lancée dans le brouillard.

6.4 Diffusion inélastique — (n, n γ)

Lors d'une collision avec un noyau, un neutron peut être absorbé momentanément. Ce noyau composé sera dans un état excité. Il se désexcitera en émettant un nouveau neutron, moins énergétique, et un photon gamma qui emportera la différence d'énergie. Cette interaction est la *diffusion inélastique*. Habituellement, elle ne se produit que lors

de l'interaction entre un neutron très rapide et un noyau lourd, et elle ne joue pas un rôle crucial dans la marche des réacteurs.

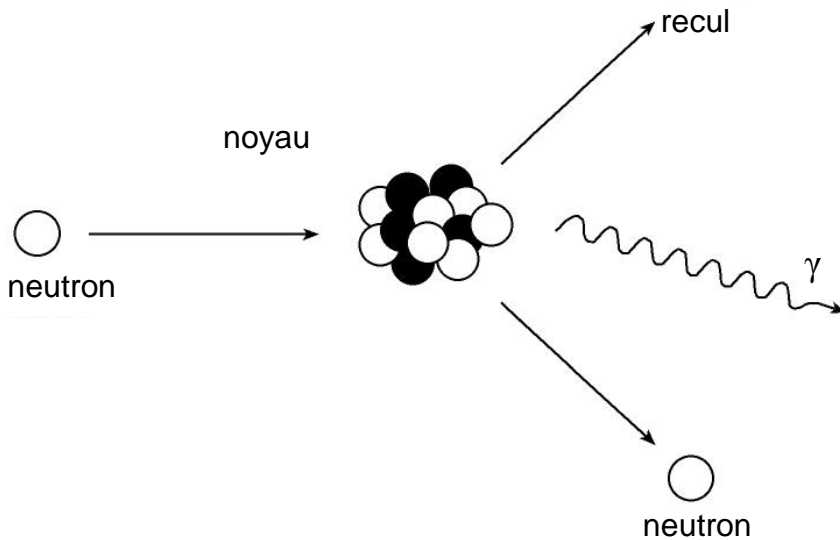


Figure 6.2 — Diffusion inélastique

6.5 Transmutation — (n, p), (n, α)

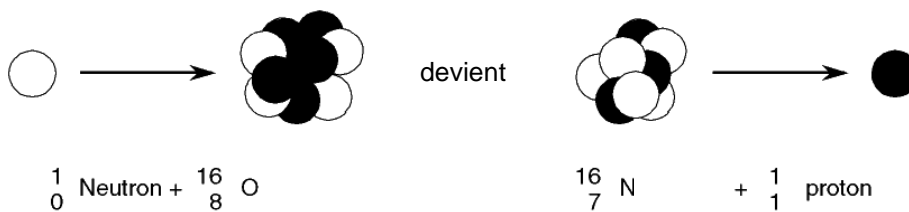
Un noyau peut absorber un neutron pour former un noyau composé qui se désexcitera en émettant une particule chargée : un proton ou une particule alpha. Un noyau différent est produit par cette réaction nommée transmutation.

La transmutation est la transformation d'un élément en un autre, par réaction nucléaire.

Exemples :

6.5.1 Réaction neutron-proton (n, p)

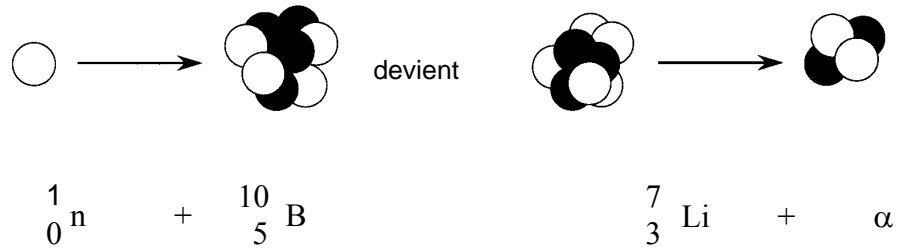
L'oxygène 16 capture un neutron et émet un proton pour former de l'azote 16.



Le produit, l'azote 16, est radioactif et sa période est de 7,1 secondes. C'est un exemple de réaction d'activation. L'azote 16 émet des particules bêta et, surtout, des rayons gamma très pénétrants.

6.5.2 Réaction neutron-alpha (n, α)

La capture d'un neutron par le bore 10 provoque la réaction suivante :

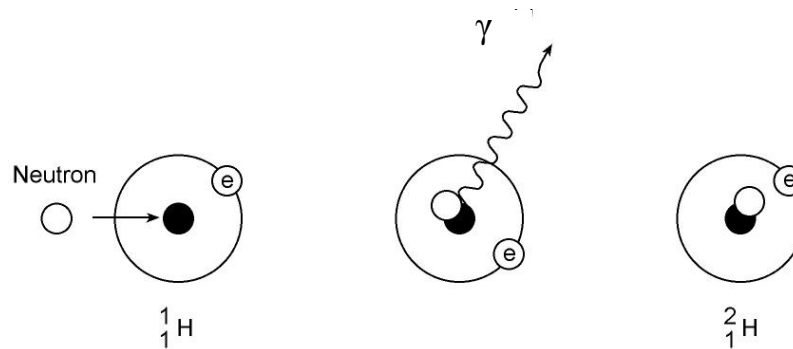


6.6 Capture radiative — (n, γ)

C'est la réaction nucléaire la plus courante. Le noyau composé ainsi formé n'émet qu'un photon gamma. En d'autres termes, le noyau produit est un isotope du noyau cible. Son nombre de masse augmente de 1.

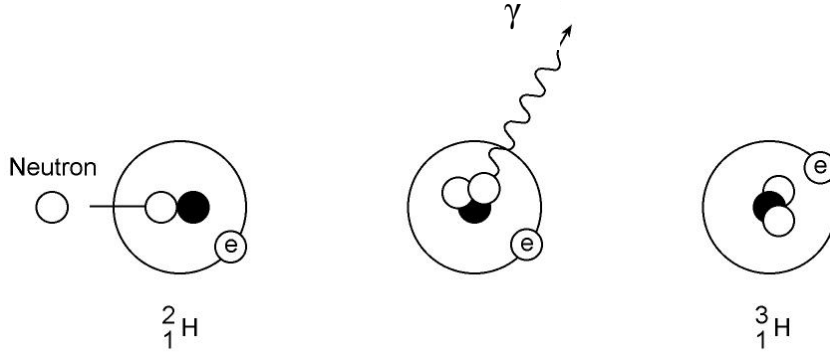
Exemples

La capture radiative la plus simple est l'absorption d'un neutron par un noyau d'hydrogène pour former du deutérium (ou hydrogène lourd).



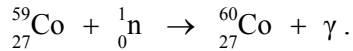
Le deutérium formé est un noyau stable. Toutefois, plusieurs noyaux produits par la capture radiative sont radioactifs et émettent des bêtas et des gammas.

La capture radiative d'un neutron par le deutérium produit le tritium.



Le tritium est instable et constitue un danger de rayonnement important dans les centrales CANDU.

La capture d'un neutron par capture radiative par l'isotope stable du cobalt 59 produit le cobalt 60 très radioactif.



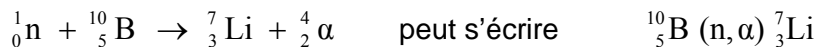
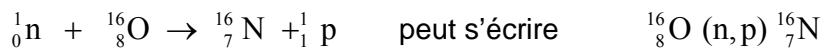
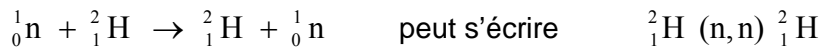
La vie du cobalt 60 est assez longue (5¼ ans), il se désintègre en émettant un rayon gamma très pénétrant, ce qui en fait un danger grave dans les substances corrodées ayant subi une activation radioactive. L'acier normal contient une petite proportion de cobalt, toutefois pour réduire les dangers de radioactivité, sa concentration est limitée dans les matériaux de qualité nucléaire.

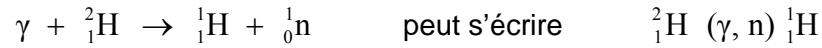
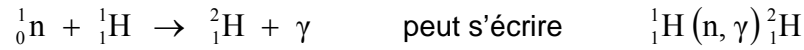
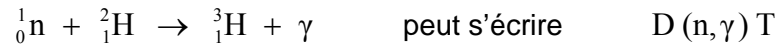
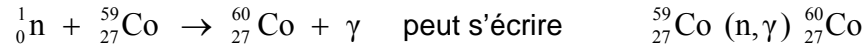
On utilise communément le cobalt 60 en radiothérapie.

6.7 Fission

On traitera de cette réaction capitale au prochain chapitre.

Les cinq réactions neutroniques présentées dans ce chapitre se divisent en deux types : la diffusion (les deux premières) et l'absorption (les trois autres). Les exemples qui suivent illustrent une notation abrégée de ces réactions :



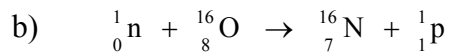
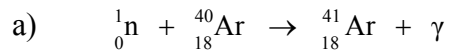


6.8 Notions principales

- Les sources importantes de neutron dans un réacteur sont : la fission, les neutrons retardés et l'émission de photoneutrons.
- Les photoneutrons sont émis d'un noyau lorsqu'un rayon gamma très énergétique est absorbé par un neutron ce qui provoque l'éjection d'un neutron.
- Dans un réacteur CANDU, la réaction photoneutronique la plus importante est l'émission d'un neutron par un noyau de deutérium à la suite de l'absorption d'un rayon gamma dont l'énergie est supérieure à 2,2 MeV.
- Il existe deux types de diffusion pour les neutrons : élastique et inélastique.
- Les neutrons peuvent également causer des réactions de transmutation. L'absorption d'un neutron par un noyau suivie de l'émission d'une autre particule est une transmutation.
- Les réactions (n, p) et (n, α) sont les processus de transmutation les plus communs.

6.9 Exercices

1. Écrivez l'équation de l'émission d'un photoneutron par un noyau de deutérium.
2. Décrivez les diffusions élastique et inélastique des neutrons.
3. Nommez les réactions suivantes :



4. Énumérez les exemples de réactions neutroniques de ce chapitre qui sont aussi des activations.
5. Complétez les équations suivantes et nommez la réaction. (Les numéros atomiques du carbone, de l'azote et de l'oxygène sont respectivement 6, 7 et 8.)
 - a) ${}^{13}\text{C} (\text{n}, \gamma) ?$
 - b) ${}^{17}\text{O} (\text{n}, \text{p}) ?$
 - c) ${}^{17}\text{O} (\text{n}, \alpha) ?$
 - d) ${}^{14}\text{N} (\text{n}, \text{p}) ?$

6. Complétez le tableau suivant :

Nom de la réaction	Type de réaction (n,x)	Noyau cible	Noyau produit
?	(n, γ)	${}^2_1\text{H}$?
transmutation	(n, p)	?	${}^{16}_7\text{N}$
capture radiative	?	${}^{18}_8\text{O}$?
?	(n, ?)	${}^{12}_6\text{C}$	${}^{13}_6\text{C}$

