

Radioactivité et réactions en chaîne

Comment l'électricité est produite - Centrales thermiques nucléaires

Ce texte est conçu comme un document compagnon du livre « L'électricité, au cœur de notre futur bas-carbone ». Il n'est pas conçu comme un document indépendant. Il complète le chapitre mentionné ci-dessus.

Il existe trois types principaux de radioactivité naturelle, c'est-à-dire issus de la décomposition spontanée d'un atome :

- La radioactivité α , qui se traduit par l'émission d'un noyau d'hélium, c'est-à-dire d'un ensemble composé de deux protons et deux neutrons ; le noyau initial (Z, A) devient un noyau ($Z - 2, A - 4$).
- La radioactivité β , qui se traduit par l'émission d'un électron ; la masse A du noyau ne change presque pas, mais un de ses neutrons est transformé en proton, donc le numéro atomique passe de Z à $Z + 1$.
- La radioactivité γ , qui se traduit par l'émission d'un rayonnement électromagnétique. A et Z restent inchangés.

Chaque type de radioactivité présente des caractéristiques particulières en termes d'énergie et de capacité de pénétration dans la matière et dans les tissus des êtres vivants.

La fission peut produire un ou des corps instables qui, à leur tour, peuvent en donner d'autres. Ainsi, l'U235 ($Z = 92$ et $A = 235$) a plusieurs « descendants » instables avant de se transformer en plomb stable ($Z = 82, A = 208$). Une transformation conduisant d'un élément à un autre (par exemple par radioactivité α ou β) est appelée une transmutation.

Comme illustré par la Figure, la fission de l'U235, produit généralement deux nouveaux noyaux et deux ou trois neutrons, ayant une vitesse de l'ordre de 20 000 km/s. Pour l'U238 et le thorium 232, on obtient respectivement du plutonium 239 et de l'uranium 233. Le plutonium 239 est fissile. Sa fission produit en moyenne trois neutrons par neutron absorbé et peut donc contribuer à une réaction en chaîne.

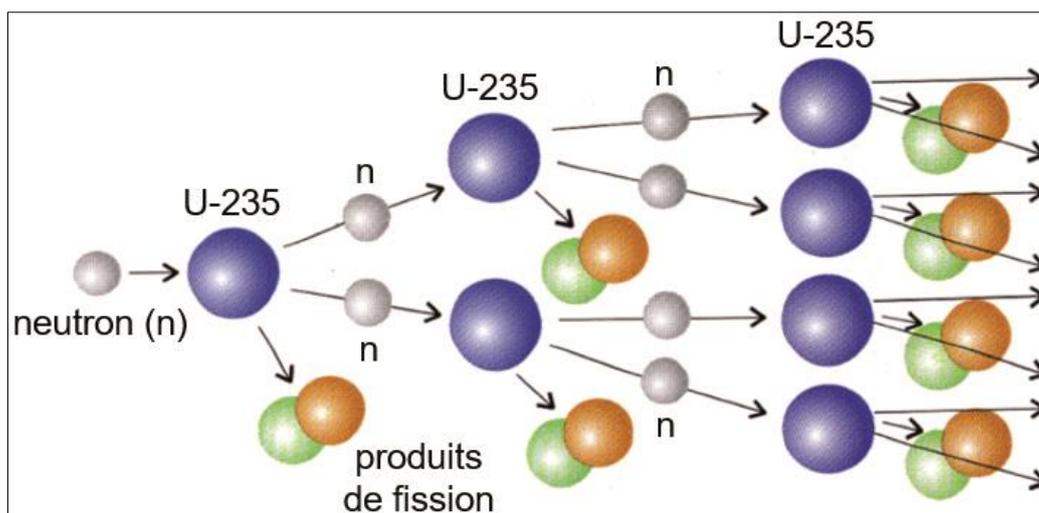


Fig. Principe d'une réaction en chaîne / © (d'après Atkins et Jones, Principes de chimie)

Développement d'une réaction en chaîne

Le facteur multiplicatif d'une réaction en chaîne, noté k , est le nombre moyen de neutrons produit par fission.

Dans une réaction en chaîne, en fonction du facteur multiplicateur k , trois situations sont possibles :

- $k < 1$: la réaction s'arrête d'elle-même.
- $k = 1$: la réaction s'auto-entretient et est stable ; la puissance émise est constante ; c'est la situation opérationnelle des réacteurs.
- $k > 1$: le nombre de fissions croît exponentiellement ; c'est la situation que l'on cherche pour une bombe.

Ceci étant, pour qu'il y ait une réaction en chaîne, il ne suffit pas que le facteur multiplicatif moyen d'une fission soit supérieur à un. Il faut aussi qu'il y ait une densité suffisante de noyaux fissiles et fertiles pour que les neutrons émis puissent percuter des noyaux. Ceci n'est pas le cas avec l'uranium naturel car il contient un pourcentage trop faible d'U235. Il faut en outre des neutrons dans une gamme de vitesse adaptée (s'ils vont trop vite, ils ne peuvent pas être capturés, s'ils vont trop lentement, la fission n'a pas nécessairement lieu ou bien a lieu plus tard). Enfin, certains neutrons sortent directement de l'espace de la réaction de fission et sont captés par les structures qui l'entourent. La vitesse de la réaction en chaîne dépend non seulement de k mais aussi de la durée moyenne de vie d'un neutron jusqu'à capture.

En pratique, k n'est pas nécessairement constant et dépend de nombreux facteurs. Ainsi, dans un réacteur à eau pressurisée, lorsque la température monte alors que k est proche de 1, la dilatation de l'eau provoque naturellement une baisse de k , ce qui stabilise le réacteur sans intervention de l'opérateur : le réacteur est dit auto-stable.

Des éléments supplémentaires sur la radioactivité et les réactions en chaîne se trouvent par exemple sur [radioactivity.eu.com].