

## Éclairage sur les neutrons lents et neutrons rapides

par Jérôme Moizard

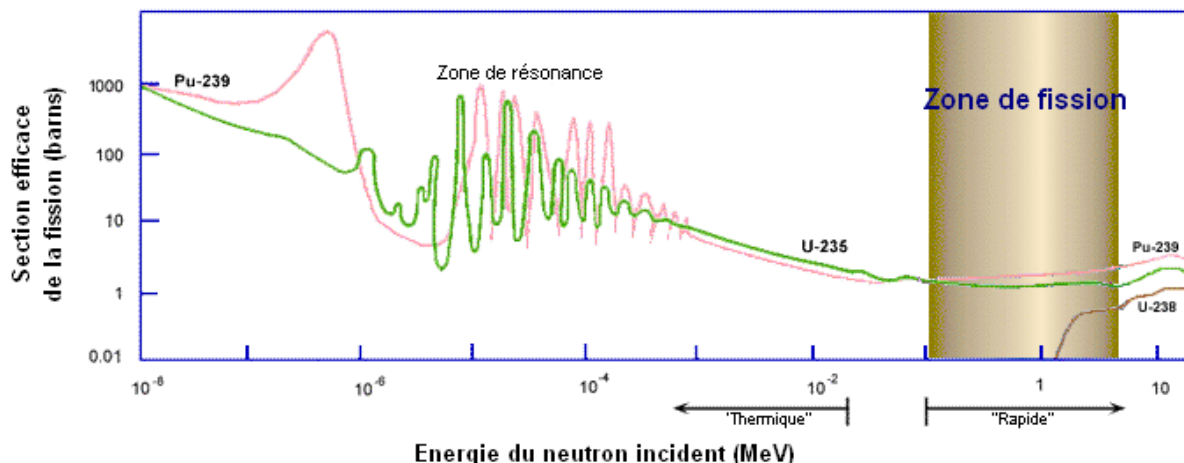
Lorsque l'on s'intéresse à la genèse et à l'historique des programmes électro-nucléaires mondiaux, on en suit l'évolution à travers plusieurs « générations » qui viennent à chaque fois améliorer le rendement, la sûreté et l'impact sur l'environnement. Mais tous fonctionnent encore à base d'uranium 235, seul atome fissile. Les systèmes nucléaires du futur (la Génération IV) viendront, pour certains, utiliser des neutrons rapides. En quoi ces neutrons rapides sont-ils si différents des neutrons lents (ou neutrons thermiques) actuellement mis à profit dans les réacteurs à  $^{235}\text{U}$  en fonctionnement ? Qu'est-ce qui leur confère cette position d'avenir ?

Pour y répondre, prenons le temps de revenir sur le rôle même des neutrons dans le cœur du réacteur, et plus particulièrement sur la réaction en chaîne à l'origine de la production de chaleur.

Le combustible utilisé dans les centrales nucléaires françaises, sous forme de pastilles d'uranium enrichi en  $^{235}\text{U}$ , est enfermé dans des gaines faites d'un alliage, le Zircaloy, aux propriétés particulières, parmi lesquelles une très bonne transparence neutronique. Cela permet à un neutron libéré par la fission d'un noyau d' $^{235}\text{U}$  dans sa pastille de traverser la gaine pour aller à la rencontre d'autres noyaux d' $^{235}\text{U}$ . Des études probabilistes présentent 3 issues possibles à une telle collision :

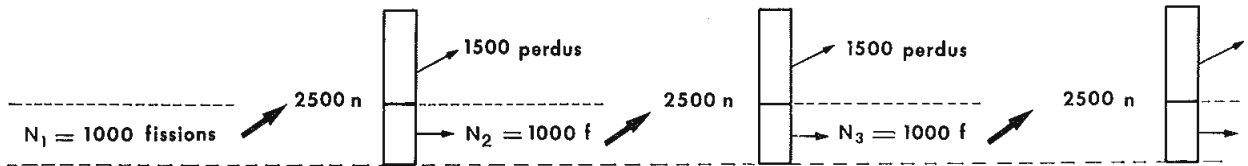
- rien ne se passe ;
- diffusion : le neutron rebondit en conservant la majeure partie de son énergie cinétique (car le noyau d' $^{235}\text{U}$  est lourd) ;
- absorption du neutron par un autre noyau d' $^{235}\text{U}$  qui pourra alors donner lieu à une nouvelle fission.

Afin d'entretenir et de maîtriser la réaction en chaîne, c'est bien la probabilité de fission qui intéresse les neutroniciens. Celle-ci dépend des lois de comportement quantiques des neutrons et de leur énergie incidente. On parle de section efficace (grandeur exprimée en barns) pour caractériser la probabilité d'occurrence de ces trois types d'interaction. Intervient alors la notion de « rapidité » des neutrons. En effet, comme l'indique la figure 1 ci-contre, la section efficace de fission d'un noyau d' $^{235}\text{U}$  sera d'autant plus grande que l'énergie cinétique du neutron sera faible : un neutron dit lent (ou thermique) a ainsi plus de chances, statistiquement, d'occasionner une fission comparativement à un neutron dit rapide qui a une énergie cinétique plus importante.





Sachant qu'une fission lente d' $^{235}\text{U}$  libère en moyenne 2,5 neutrons, maîtriser la réaction en chaîne dans le cœur consiste alors à contrôler le nombre de neutrons qui vont provoquer d'autres fissions :



Etant donnée la forte énergie cinétique que possèdent les neutrons lors de leur émission, la présence d'un modérateur est nécessaire dans un cœur de la filière REP, afin de les « thermaliser » pour qu'ils puissent provoquer une fission. La filière RNR s'affranchit quant à elle de ce modérateur en utilisant un spectre rapide pour induire les fissions. Mais en contrepartie, on est en droit de s'interroger sur la quantité de combustible à installer dans un cœur de RNR. En effet, la section efficace des neutrons rapides étant 100 fois moindre que celle des neutrons lents pour provoquer une fission, il faudrait 100 fois plus de matière fissile dans un cœur de RNR ?

La réalité est toute autre. L'un des avantages de la filière RNR est sa capacité à fonctionner en mode « sur-générateur », c'est-à-dire que de la matière fissile est créée dans le cœur sous l'effet du bombardement neutronique, ne nécessitant plus alors de si grandes quantités de combustible à introduire. En effet, grâce à un phénomène de résonance, la section efficace des neutrons rapides pour la réaction de transformation de matière fertile en matière fissile est plus de mille fois supérieure à celle des neutrons lents. Cette capacité de surgénération pourrait ainsi permettre de multiplier les ressources d'énergie liées à l'extraction et l'utilisation d'uranium par un facteur allant jusqu'à 100.

L'inconvénient réside dans le fait que pour être capable de démarrer un tel réacteur à neutrons rapides, l'on doit disposer préalablement de grandes quantités de matières fissiles dans le cœur. C'est le  $^{239}\text{Pu}$  qui est privilégié car suite à une fission en spectre rapide, il émet en moyenne 2,33 neutrons, contre 1,88 pour l' $^{235}\text{U}$ .

Si la France s'est constituée depuis les années 1960 un stock conséquent de plutonium 239, ce n'est pas le cas de la plupart des puissances électronucléaires mondiales qui revendiquent d'autres ressources (l'Inde et son thorium par exemple). Nul doute que le Forum Génération IV aura fort à faire en la matière dans les années à venir.