

# DOCUMENT : Fission et fusion

## ☢ La fission

C'est la partition d'un noyau massif consécutive au choc d'un neutron.

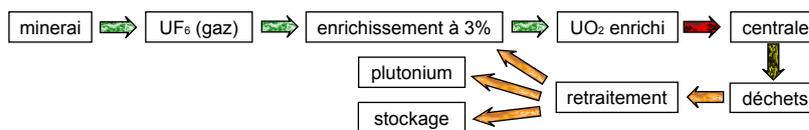
### 1. Noyau fissile

Il subit la fission, même avec des neutrons de faibles énergies (neutrons thermiques).

Exemples : uranium 235 (naturel) ; plutonium 239 (artificiel)

### 2. Obtention de noyaux fissiles

#### 2.1. Traitement du minerai



#### 2.2. Noyau fertile

Il permet par une suite de réactions nucléaires d'obtenir un noyau fissile.

Exemple :  $^{238}\text{U}(\text{fertile}) + n \rightarrow ^{239}\text{U}(\beta^-, t_{1/2} = 23 \text{ min}) \rightarrow ^{239}\text{Np}(\beta^-, t_{1/2} = 2,3 \text{ d}) \rightarrow ^{239}\text{Pu}(\text{fissile})$ .

### 3. Réactions de fission

Exemples de réactions :



Ces réactions libèrent en moyenne 2,5 neutrons rapides par réaction (réaction en chaîne).

Le facteur de multiplication  $K$  est le nombre de fissions de seconde génération.

$K = 1$  régime stationnaire ou critique (réacteurs nucléaires).

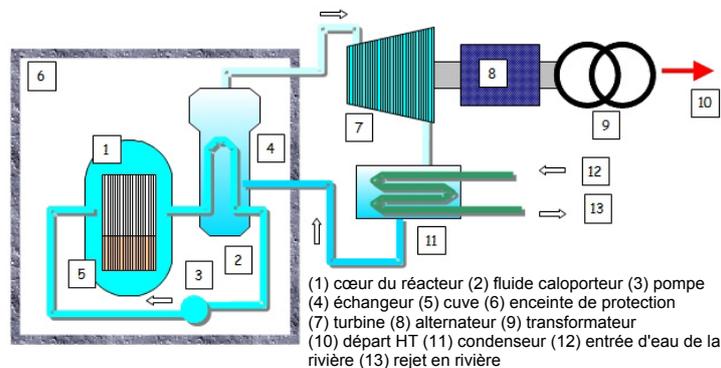
$K > 1$  régime divergent ou surcritique (bombe A).

$K < 1$  régime souscritique (la réaction en chaîne s'éteint).

L'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235 est de l'ordre de 200 MeV, elle se répartit en énergie cinétique des fragments de fission (83%), énergie cinétique des neutrons de fission (2,5%) et énergie cinétique des particules émises. Elle se récupère sous forme de chaleur.

### 4. Applications

4.1. Centrales nucléaires : la première filière choisie pour l'équipement de la France fut, en 1952, la filière « uranium naturel (combustible), graphite (modérateur), gaz (gaz carbonique, caloporteur) » (St Laurent des Eaux). En 1969, une nouvelle filière est mise en place : les réacteurs à eau sous pression.



(1) cœur du réacteur (2) fluide caloporteur (3) pompe  
(4) échangeur (5) cuve (6) enceinte de protection  
(7) turbine (8) alternateur (9) transformateur  
(10) départ HT (11) condenseur (12) entrée d'eau de la rivière (13) rejet en rivière

4.2. La bombe A : sa charge est constituée de plutonium 239 ou d'uranium 235 pur. Un explosif chimique provoque la réunion extrêmement rapide des fragments constituant la charge. La matière fissile est siège d'une suite divergente de réactions de fission. La masse critique est la masse minimale de matière fissile nécessaire pour que se produise une réaction en chaîne de fission.

1 kg de matière fissile fournit une énergie comparable à 17 kt de TNT ; (température au centre d'environ 1 million de °C, contaminations radioactives, 15% de l'énergie sous forme de radiations, le reste sous forme thermique et d'ondes de choc, ...).

## La fusion

*C'est une réaction où des noyaux légers s'assemblent pour former un noyau lourd en éjectant des particules.*

### 1. Énergie

Ce sont des réactions très exoénergétiques qui se produisent que si les deux noyaux possèdent une énergie cinétique importante (obtenue par agitation thermique à très haute température  $> 10^8$  K) ; c'est pour cela que l'on parle de fusion thermonucléaire. (La matière est alors sous forme de plasma).

### 2. La fusion incontrôlée

#### 2.1. L'énergie stellaire

Réaction à l'origine de l'énergie d'une étoile  $4^1\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + 2e^+ + \text{photons} + \text{neutrinos}$ .

Ces réactions sont à l'origine des éléments naturels de notre planète.

À partir d'un nuage d'hydrogène (réactions dans les étoiles)

$^1\text{H} + ^1\text{H} \rightarrow ^2\text{H} + e^+$        $^2\text{H} + ^1\text{H} \rightarrow ^3\text{He}$        $^3\text{He} + ^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + 2^1\text{H}$   
puis par rayonnement  $^4\text{He} + ^4\text{He} \rightarrow ^8\text{Be}$      $^8\text{Be} + ^4\text{He} \rightarrow ^{12}\text{C}$      $^{12}\text{C} + ^4\text{He} \rightarrow ^{16}\text{O} \dots$

#### 2.2. La bombe H

La fusion ne peut avoir lieu qu'à la condition de vaincre la barrière d'énergie due à la répulsion entre noyaux. Il est nécessaire pour cela de fournir une énergie permettant d'atteindre une température de  $10 \times 10^8$  K. Une bombe nucléaire (bombe A) sert de détonateur (*allumette à fission*). 1 kg de matière fusible peut fournir une énergie comparable à 50 kt de TNT.

### 3. La fusion contrôlée. (*futur*)

Réaction intéressante DT :  $^2\text{H} + ^3\text{H} \rightarrow ^4\text{He} + n$  avec  $\mathcal{E} = 17,6 \text{ MeV}$ .

Par nucléon, la fusion libère plus d'énergie que la fission.

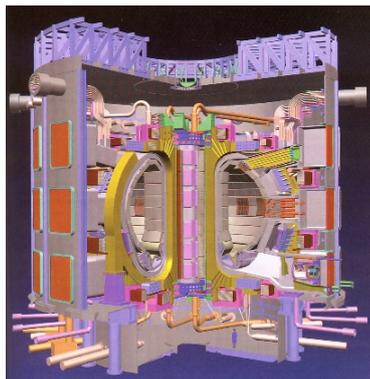
L'eau contient 40 mg de deutérium par litre, le tritium est obtenu par bombardement des noyaux de lithium avec des neutrons.

L'énergie de 1 g de mélange DT est égale à la combustion de 10 000 L de pétrole.

*Problème* : maintenir suffisamment de matière sous forme de plasma pour pouvoir effectuer la réaction.

*Condition* : pour obtenir une réaction de fusion entretenue, il faut satisfaire au critère de Lawson. Pour une température moyenne du plasma d'environ 100 millions de degrés :  $n\tau > 10^{20} \text{ m}^{-3} \cdot \text{s}$  avec  $n$  : le nombre de noyaux par unité de volume et  $\tau$  : le temps de confinement.

Le confinement du plasma est, soit inertiel (par convergence de faisceaux laser sur un mélange DT), soit magnétique (dans un tore magnétique où les particules sont piégées, dispositif Tokamak). Le chauffage s'effectue par compression, par injection d'atomes de haute énergie, d'ondes HF ou par effet Joule.



projet ITER