

Qu'est-ce qu'un atome ?

L'élément de base de toute matière

L'atome est le constituant de base de la matière. L'eau, l'air, les êtres vivants sont composés d'atomes qui s'associent pour former des molécules. Cette théorie atomique a été postulée dès l'Antiquité, notamment par le philosophe grec Démocrite (460-370 av. J.-C.). Mais c'est seulement au ^{xx}e siècle qu'elle est définitivement établie.

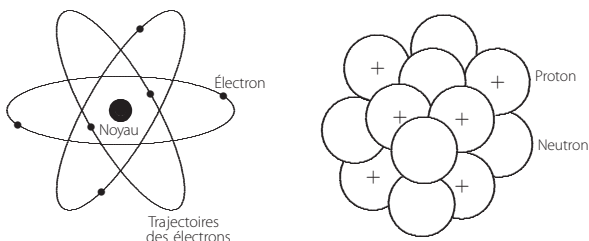
Un noyau et un nuage d'électrons

Les atomes ont tous la même structure. Ils sont formés d'un noyau autour duquel gravite un nuage d'électrons. Le noyau est formé de deux sortes de particules appelées nucléons : les protons et les neutrons. Les protons ont une charge électrique positive et les neutrons n'ont pas de charge électrique. Les électrons sont, quant à eux, chargés d'électricité négative. Comme on compte autant d'électrons dans le nuage que de protons dans le noyau, l'atome est électriquement neutre.

Une framboise dans un terrain de foot

Les atomes sont tout petits. Il faut en aligner dix millions pour faire un millimètre. Si l'on agrandissait un atome à la taille d'un terrain de football, on trouverait au centre une « framboise » – le noyau –, concentrant pratiquement toute la masse de l'atome, et autour un léger nuage d'électrons.

Une représentation imagée de l'atome et du noyau



Les isotopes, des atomes cousins

>>> Chaque atome est défini avant tout par le nombre de protons et d'électrons qui le composent. Il existe ainsi 92 types d'atomes différents dans la nature, qui constituent autant d'éléments chimiques (hydrogène, carbone, uranium...). Cependant, les atomes d'un même élément chimique peuvent différer par leur nombre de neutrons. On parle alors d'isotopes.

Par exemple, l'uranium a deux principaux isotopes : l'uranium 235 (92 protons, 143 neutrons), qui représente 0,7 % de l'uranium naturel, et l'uranium 238 (92 protons et 146 neutrons), qui en représente 99,3 %.

Les propriétés nucléaires – liées au noyau – des isotopes d'un même élément chimique sont souvent très différentes. Ainsi, l'uranium 235 peut facilement subir la fission nucléaire, à la différence de son « cousin » l'uranium 238. C'est pourquoi il peut servir de « combustible » pour un réacteur nucléaire.

Essayez d'imaginer

>>> 1 cm³ de noyaux atomiques pèserait cent millions de tonnes, autant que dix mille tours Eiffel!

Comment une centrale produit-elle de l'électricité ?

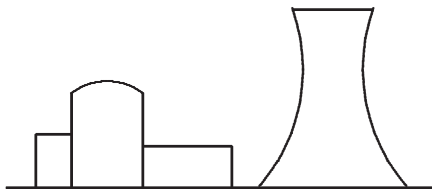
En faisant bouillir de l'eau

La chaleur dégagée par les réactions en chaîne de fissions vaporise de l'eau. La pression de la vapeur fait alors tourner très rapidement les turbines (1 500 tours/minute). Celles-ci entraînent l'alternateur produisant le courant électrique envoyé ensuite sur le réseau. Hormis la source de chaleur (l'uranium), une centrale nucléaire fonctionne de la même façon qu'une centrale thermique classique utilisant du charbon, du pétrole ou du gaz.

À l'aide de plusieurs réacteurs

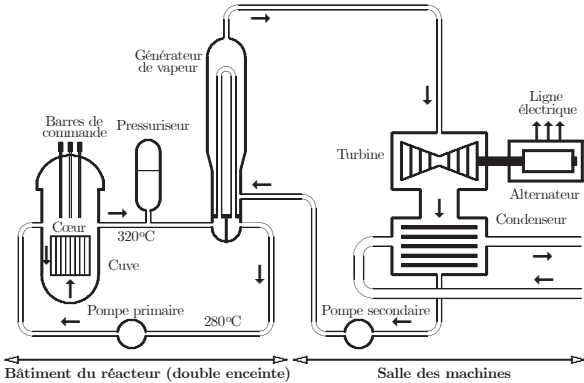
Il y a en général plusieurs réacteurs dans une centrale nucléaire (site). C'est pourquoi, on compte 58 réacteurs mais 19 centrales en France. On parle de tranche nucléaire pour désigner l'ensemble formé par un réacteur, les turbines et un alternateur. Chaque tranche a sa salle de commande où les opérateurs disposent de toutes les informations nécessaires pour la piloter à la puissance requise. Chaque année leur formation est réactualisée ; ils doivent être capables de faire face à tout incident.

Une tranche nucléaire, une silhouette dans le paysage



De gauche à droite : bâtiment du combustible, bâtiment du réacteur, salle des machines, tour de refroidissement atmosphérique.

Un réacteur s'organise en deux bâtiments principaux



>>> La double enceinte contient la partie nucléaire : le cœur où se fait la réaction nucléaire est enfermé dans la cuve ; la réaction est régulée par les barres de commande ; le pressuriseur règle la pression ; dans les générateurs de vapeur, l'eau du circuit primaire cède sa chaleur à celle du circuit secondaire. Cette dernière y est vaporisée. La salle des machines contient la partie classique : les turbines entraînées par la vapeur et couplées à l'alternateur créant l'électricité envoyée sur le réseau ; le condenseur où la vapeur repasse sous forme liquide pour être renvoyée aux générateurs de vapeur.

Le saviez-vous ?

>>> Chacun connaît le panache qui s'échappe des tours de refroidissement des centrales : c'est de la simple vapeur d'eau qui se condense dans l'air !

Avant Fukushima, quels ont été les principaux accidents ?

28 mars 1979 : l'accident de Three Mile Island

Cet accident a eu lieu aux États-Unis. Il n'a pas fait de victime mais a fortement impressionné l'opinion publique. Après la mise en service de plus de cent réacteurs, il a marqué l'arrêt, jusqu'à aujourd'hui, de toute nouvelle construction de centrale nucléaire dans ce pays.

26 avril 1986 : la catastrophe de Tchernobyl

Cet accident survenu vingt-cinq ans avant Fukushima fut infiniment plus grave dans ses conséquences. Une étude du Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) de l'Organisation mondiale de la santé de 2006 estimait à 16 000 le nombre de décès des suites de cancers causés par l'exposition aux rayonnements ionisants d'ici 2065. Ce sont essentiellement les grands pays d'Extrême-Orient qui ont poursuivi des politiques volontaristes d'équipement en centrales nucléaires.

En France

L'accident le plus grave s'est produit le 17 octobre 1969 sur le réacteur UNGG (uranium naturel-graphite-gaz) de Saint-Laurent-A1. Suite à un défaut de refroidissement, 50 kg d'uranium ont commencé à fondre. Le 13 mars 1980, le réacteur A2 a eu un problème de graphite (son modérateur) qui nécessita un arrêt de trois ans et demi. Aucun de ces accidents n'eut d'impact sanitaire.

Three Mile Island : au départ, un incident banal

>>> Persuadés qu'une soupape de régulation est fermée, alors qu'elle est restée ouverte, les opérateurs posent un diagnostic inexact de l'état du système et lancent des actions inadéquates... jusqu'à ce qu'ils réalisent qu'un accident s'est produit. Le défaut de refroidissement du cœur du réacteur a entraîné la fusion d'une partie du combustible nucléaire. Heureusement, les « barrières » que constituent la cuve du réacteur et l'enceinte le confinant ont parfaitement résisté et pratiquement aucune radioactivité n'a été répandue dans l'environnement.

Tchernobyl : des défauts de conception et un manque de culture de sûreté

>>> Ce jour-là, le réacteur n° 4 est confié à une équipe chargée d'un essai électrique banal. Pressée par le temps, elle ne respecte pas les procédures de sûreté. Le réacteur est ainsi amené dans une situation instable et la mise en œuvre des moyens d'arrêt est beaucoup trop lente révélant deux défauts de conception. La forte puissance nucléaire atteinte entraîne une explosion qui soulève l'énorme dalle couvrant le cœur. Elle provoque ensuite un incendie du graphite utilisé comme modérateur dans ces réacteurs de type RBMK. Cet incendie expulse d'importantes quantités de produits radioactifs auxquels sont exposés les « liquidateurs ». Ces rejets sont ensuite emportés par le « nuage » qui se répand sur presque toute l'Europe, y compris la France, avec des conséquences dramatiques en Ukraine et en Biélorussie, où de vastes zones restent encore interdites.

La fusion, le nucléaire du futur ?

La fusion : l'inverse de la fission

La fusion nucléaire (ou thermonucléaire pour rappeler l'émission de chaleur associée) est la réunion de deux petits noyaux pour en former un plus gros. Découverte par Hans Bethe en 1938, sa seule utilisation est la bombe H. Des programmes de recherche visent donc à mettre au point une application pacifique.

Des atouts certains

Ses réserves sont pratiquement illimitées. Elle produit également très peu de déchets nucléaires, seulement des produits d'activation à vie courte. Enfin, la machine présente peu de risque d'accident et contient peu de matières radioactives.

Mais de grandes difficultés à surmonter

Deux voies sont explorées. La fusion magnétique enferme les réactifs par des champs magnétiques dans une vaste chambre ayant la forme d'une chambre à air de roue de voiture, appelée *tokamak*. Les réactifs y sont sous forme de plasma, c'est-à-dire un léger gaz formé de noyaux et d'électrons. La principale difficulté est la nécessité de porter la matière à 100 millions de degrés pour déclencher les réactions ! Dans la fusion inertielle, les réactifs ont initialement la forme d'un petit grain de glace. Ils sont fortement comprimés et chauffés par de puissants lasers pour provoquer les réactions. Les perspectives industrielles de ces deux voies sont encore lointaines !

Deux réactions de fusion connues

>>> Il est difficile de provoquer une réaction de fusion car les noyaux de même charge électrique ont tendance à se repousser. Dans le Soleil ou les étoiles, la gravité et la température sont si fortes qu'elles surpassent cette répulsion. Cette fusion met en jeu quatre noyaux d'hydrogène pour former un noyau d'hélium. Elle est très lente et impossible à reproduire sur Terre.

La réaction de fusion utilisée par l'homme met en jeu un noyau de deutérium et un noyau de tritium pour former de l'hélium. Les ressources en deutérium sont quasiment illimitées dans l'eau de mer. Le tritium est un isotope radioactif de l'hydrogène de période 12 ans. Il n'existe donc plus dans la nature et doit être produit à partir de lithium, abondant sur Terre.

En quoi consiste le projet Iter ?

>>> Iter (*International Thermonuclear Experimental Reactor*) est le plus gros tokamak au monde construit à Cadarache (Bouches-du-Rhône) depuis 2005. Il expérimente la fusion magnétique et devrait démarrer en 2020. C'est un projet international qui réunit l'Union européenne, le Japon, la Russie, les États-Unis, la Corée du Sud, la Chine et l'Inde. Certains scientifiques dénoncent son coût excessif.

Le laser mégajoule (LMJ)

>>> Le NIF (*National Ignition Facility*) américain et le LMJ français, mis en service en 2014, étudient la fusion inertielle. Ces installations observent les réactions mises en œuvre dans une arme H depuis que la communauté internationale a renoncé aux essais nucléaires.