

■ 1 ■

Le modèle de l'atome

La matière est constituée à partir d'atomes.

STRUCTURE D'UN ATOME

► Généralités

Un atome est formé d'un *noyau* central chargé positivement et de Z *électrons* de charge négative qui sont en mouvement incessant et désordonné autour du noyau.

Le noyau est formé de particules appelées *nucléons*. Le nombre de nucléons présents dans un noyau est appelé « *nombre de masse* » et désigné par la lettre A .

Ces nucléons sont soit des *protons*, possédant chacun une charge positive $+e$, soit des neutrons non chargés. Le noyau d'un atome comporte N neutrons et Z protons. Le nombre Z est appelé « *numéro atomique* » (ou parfois « *nombre de charge* »). On a, bien entendu : $A = N + Z$.

► Répartition des charges électriques dans un atome

* Un atome est **électriquement neutre**.

* La charge e est appelée « *charge élémentaire* » ; c'est la valeur absolue de la plus petite quantité d'électricité que l'on puisse isoler de sorte que les charges électriques sont toutes des multiples de e . L'unité de charge électrique est le coulomb (symbole C). On a : $e \cong 1,6 \times 10^{-19} C$.

* Chaque proton porte la charge $+e$. Un neutron ne porte pas de charge électrique. Le noyau porte alors une charge globale $+Ze$.

* Chaque électron porte une charge $-e$.

Pour que la neutralité électrique d'un atome soit respectée, celui-ci doit comporter autant d'électrons (Z) qu'il y a de protons dans son noyau.

► Répartition des masses dans un atome

On donne les masses approchées des constituants d'un atome :

proton	neutron	électron
$1,673 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$1,675 \times 10^{-27} \text{ kg}$	$9 \times 10^{-31} \text{ kg}$

☞ La masse d'un proton est très voisine de la masse d'un neutron.

☞ La masse d'un électron est négligeable devant la masse d'un proton ou d'un neutron ; la masse d'un atome est concentrée dans son noyau.

► Dimensions respectives d'un atome et de son noyau

Si on assimile un atome à une sphère, on peut alors parler de « rayon atomique ». Le noyau peut également, pour simplifier, être assimilé à une sphère.

Le « diamètre » d'un atome est de l'ordre de 10^{-10} m ; le « diamètre » d'un noyau est, lui, de l'ordre de 10^{-15} m !

Les électrons, de taille négligeable, se déplacent donc dans le 'vaste' espace vide séparant le noyau de la frontière fictive de l'atome ! On dit, parfois, que la matière est, à l'échelle atomique, essentiellement constituée par du vide !

NOTION D'ÉLÉMENT CHIMIQUE

Définition : Un élément chimique est caractérisé par un numéro atomique (nombre Z). On lui attribue un symbole.

► Élément chimique

Exemples : Z = 1 correspond à l'élément chimique hydrogène (symbole H)

Z = 6 correspond à l'élément chimique carbone (symbole C)

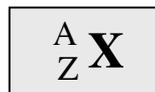
Z = 17 correspond à l'élément chimique chlore (symbole Cl)

etc

► Symbole d'un noyau d'atome

Rappel : Un noyau d'atome comporte Z protons, N neutrons, donc A nucléons avec $N + Z = A$.

On désigne, habituellement, un noyau par le symbole :



A : nombre de masse

Z : numéro atomique

X : symbole de l'élément chimique auquel appartient l'atome.

Exemple : ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ comporte 63 nucléons dont 29 protons. C'est un noyau appartenant à l'élément chimique cuivre.

Remarque : Par extension, ce symbole peut parfois désigner l'atome ayant ce noyau.

► Isotopes

D'après ce qui précède, les atomes, les noyaux, les ions qui possèdent le même numéro atomique correspondent au même élément chimique.

Le couple (A,Z) définit une catégorie de noyaux que l'on appelle nucléide.

Les atomes d'un même élément chimique ne sont pas, pour autant, nécessairement identiques ! Ils peuvent différer par le nombre de neutrons !

Des noyaux, de même numéro atomique et de nombres de masse différents, sont appelés isotopes du même élément.



Exemples : ${}_{17}^{37}\text{Cl}$ (chlore 37) et ${}_{17}^{35}\text{Cl}$ (chlore 35) sont deux isotopes.

Remarques :

⇒ L'isotopie est un phénomène très fréquent et, dans la nature, les proportions isotopiques sont pratiquement constantes.

⇒ Le nombre de nucléides est bien plus élevé que le nombre d'éléments chimiques ; on dénombre une centaine d'éléments chimiques et environ 300 nucléides !

⇒ Certains isotopes ont été fabriqués par l'homme ; ce sont des isotopes artificiels (exemples : le phosphore 30 et l'uranium 239) ; ces isotopes artificiels sont tous radioactifs.

⇒ Des atomes isotopes ont les mêmes propriétés chimiques.

LES IONS MONOATOMIQUES

Les atomes existent rarement à l'état isolé ; ils s'associent à d'autres atomes en formant des édifices ou en se transformant en ions.

Un ion monoatomique est formé à partir d'un atome qui perd ou gagne un ou plusieurs électrons.

Exemple : Le départ de n électrons d'un atome crée un excès de n protons par rapport au nombre d'électrons ce qui se traduit par un excès de n charges positives élémentaires pour ce qui reste.

Un atome X qui perd n électrons donne un ion monoatomique chargé positivement (un cation) avec la charge $+n e$; on note ce cation : X^{n+} .

Un atome Y qui gagne p électrons donne un ion monoatomique chargé négativement (un anion) avec la charge $-p e$; on note cet anion : Y^{p-} .

REACTIONS NUCLEAIRES SPONTANÉES

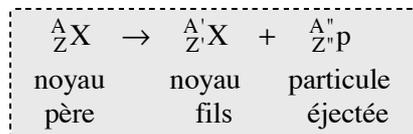
► Généralités

Certains noyaux, instables, se désintègrent spontanément ; ils sont dits radioactifs. La radioactivité, c'est la transformation d'un noyau « père » en un noyau « fils » ; elle s'accompagne de l'expulsion d'une particule.

Écriture des équations de désintégration radioactive

Cette écriture obéit à deux règles :

- Conservation du nombre total de nucléons : $A = A' + A''$
- Conservation de la charge électrique totale : $Z = Z' + Z''$



- Radioactivité α : la particule éjectée est une particule α (c'est-à-dire un noyau d'hélium ${}^4_2\text{He}$).
- Radioactivité β^- : la particule éjectée est un électron ${}^0_{-1}e$.
- Radioactivité β^+ : la particule éjectée est un positron (ou positon) ${}^0_{+1}e$.

La transformation radioactive peut s'accompagner d'un rayonnement électromagnétique de très courte longueur d'onde donc très pénétrant (rayonnement γ).

► Propriétés de la radioactivité

Ce phénomène est indépendant de la combinaison chimique dans laquelle le noyau radioactif est engagé, indépendant de la température et de la pression.

C'est un phénomène aléatoire en ce sens qu'on ne peut prédire à quel instant un noyau donné se désintégrera.

Un échantillon radioactif se caractérise, à chaque instant t , par son activité $A(t)$ qui est le nombre de désintégrations radioactives qui s'y produisent, par seconde. Elle s'exprime en becquerel (Bq).

$$A(t) = -\frac{dN(t)}{dt} \quad 1 \text{ Bq} = 1 \text{ désintégration par seconde.}$$

$N(t)$: nombre de noyaux radioactifs (donc non encore désintégrés), dans l'échantillon considéré, à l'instant t .

$A(t)$ est proportionnelle au nombre $N(t)$; le coefficient de proportionnalité λ est une constante caractéristique du radionucléide étudié (constante radioactive) : $A(t) = \lambda N(t)$

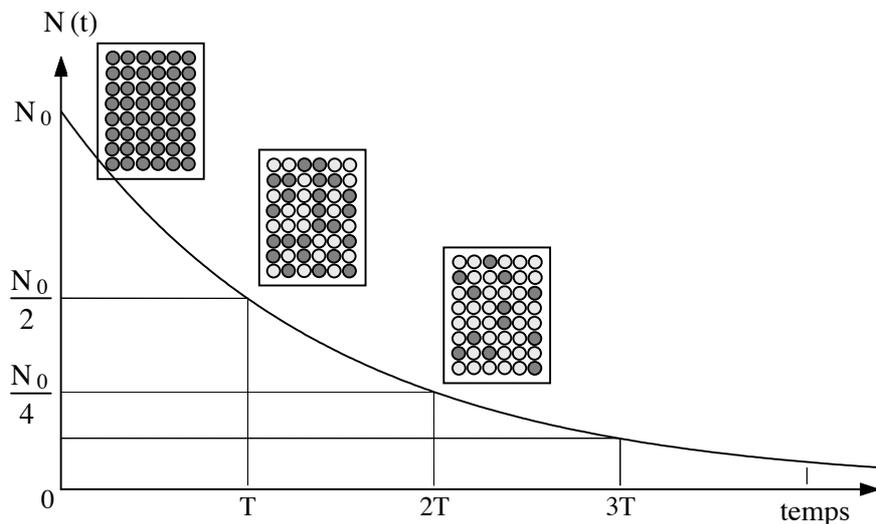
L'intégration de l'expression : $-\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t)$ conduit à une décroissance exponentielle du nombre moyen de noyaux radioactifs de l'échantillon :

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$$

Ce nombre est divisé par deux chaque fois qu'il s'écoule une durée que l'on appelle période (T) et qui est caractéristique du radionucléide étudié. En effet, on a, successivement :

$$N(t+T) = \frac{N_0 e^{-\lambda t}}{2} = N_0 e^{-\lambda(t+T)} \text{ soit : } \frac{N_0 e^{-\lambda t}}{2} = N_0 e^{-\lambda t} e^{-\lambda T}$$

puis : $e^{\lambda T} = 2$ et, enfin : $\lambda T = \ln 2$



Remarque : la période T d'un nucléide est aussi appelé « demi-vie radioactive ».

Cette période est très variable d'un radionucléide à l'autre ; elle vaut 14 milliards d'années pour le thorium 232 et 24 secondes pour l'oxygène 15 !

► Quelques applications

Datation au carbone 14

Le carbone naturel est un mélange de carbone 12, de carbone 13 et d'une petite proportion de carbone 14 (radioactif). Le rapport entre carbone 14 et carbone 12 est identique dans le monde vivant et dans l'atmosphère puisqu'il existe des échanges entre eux (respiration, alimentation, photosynthèse,...).

A la mort de l'organisme vivant, le taux de carbone 14 décroît et la mesure de ce taux, dans un fossile, permet alors de dater la mort de celui-ci. On estime pouvoir remonter ainsi jusqu'à 50000 ans en arrière.

Utilisations de traceurs radioactifs

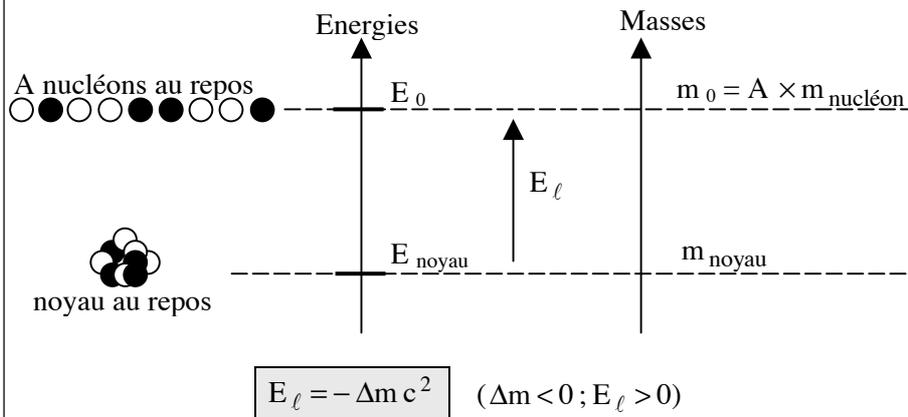
L'utilisation de radio-isotopes permet de détecter certaines tumeurs, de comprendre le fonctionnement d'un organe, d'étudier le comportement de masses d'air, de suivre des polluants,...

REACTIONS NUCLEAIRES PROVOQUEES**► Stabilité du noyau**

La cohésion du noyau est assurée par une interaction forte entre ses constituants ; interaction qui ne se manifeste que si les distances entre les nucléons sont de l'ordre de 10^{-15} m.

Pour séparer les nucléons les uns des autres, il faut donc fournir de l'énergie ; cette énergie est appelée « énergie de liaison » (notée E_ℓ).

La relation d'Einstein donne une équivalence masse-énergie de sorte que l'on relie le défaut de masse du noyau ($\Delta m = m_{\text{noyau}} - A \times m_{\text{nucléon}}$) à l'énergie de liaison.

**► De nouvelles unités**

- de masse :

Pour exprimer de manière simple la masse des noyaux, on utilise, en physique nucléaire, l'unité de masse atomique (symbole u).

Par convention, l'unité de masse atomique correspond au $\frac{1}{12}$ de la masse de l'atome de carbone 12.

Comme cet atome comporte 12 nucléons (on néglige la masse des électrons), on en déduit que la masse d'un nucléon est très voisine d'une unité de masse atomique ; la masse d'un noyau comportant A nucléons est donc égale à A

unités de masse atomique (ce qui justifie, a posteriori, l'appellation « nombre de masse » pour A).

$$1 \text{ u} = 1,6605655 \times 10^{-27} \text{ kg} \cong m_{\text{proton}} \cong m_{\text{neutron}}$$

• d'énergie :

L'électronvolt (eV) est une unité mieux adaptée que le joule aux énergies que l'on rencontre en physique atomique ou nucléaire :

$$1 \text{ eV} \cong 1,60 \times 10^{-19} \text{ J} ; \quad 1 \text{ MeV} = 10^6 \text{ eV} ; \quad 1 \text{ GeV} = 10^9 \text{ eV}$$

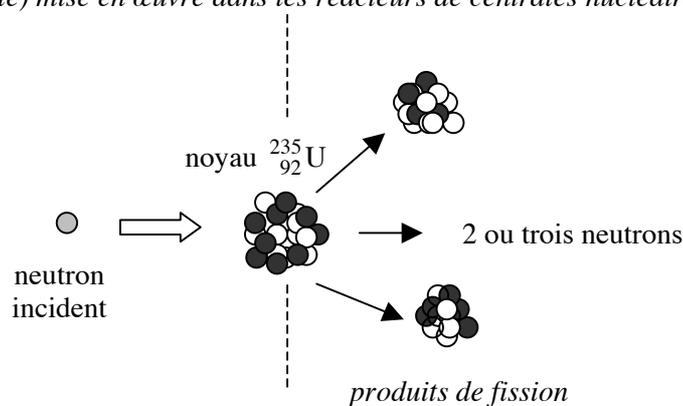
• Correspondance masse-énergie : on utilise la relation d'équivalence pour calculer l'énergie correspondant à une unité atomique :

$$E \cong 1,66 \times 10^{-27} \text{ kg} \times (3 \times 10^8 \text{ m/s})^2 \cong 1,494 \times 10^{-10} \text{ J} \text{ soit } 931,5 \text{ MeV}$$

► Réactions de fission

La fission est l'éclatement d'un noyau lourd en deux noyaux (d'importance à peu près égale) sous l'impact d'un neutron. Cette réaction ne concerne qu'une catégorie de noyaux dits « fissiles » ; elle est exothermique.

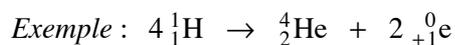
Schéma de principe de la fission de l'uranium 235 (seul nucléide naturel fissile) mise en œuvre dans les réacteurs de centrales nucléaires



Les neutrons produits par la fission peuvent, à leur tour, provoquer des réactions de fission ; il est nécessaire de contrôler la réaction si on ne veut pas qu'elle s'emballe !

► Réactions de fusion

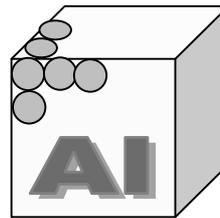
On peut également obtenir une libération d'énergie par fusion de noyaux légers pour former un noyau plus lourd avec éjection d'un neutron ou d'un proton. Une telle fusion ne peut se faire que si les noyaux sont animés d'une très grande vitesse. Ces réactions sont fréquentes dans les étoiles où les températures élevées permettent d'atteindre ces vitesses.



► Enoncés des exercices ◄

■ Exercice 1 (10 min)

1. Si on assimile l'atome d'aluminium à une sphère de rayon $r = 1,26 \times 10^{-10}$ m, calculer le nombre total N d'atomes d'aluminium que l'on pourrait empiler dans un cube d'arête $a = 2,15$ cm.



2. La masse d'un atome d'aluminium vaut : $m_a \cong 4,48 \times 10^{-23}$ g.

- a) Calculer la masse m de ces N atomes.
- b) En déduire un ordre de grandeur de la masse volumique de ce métal et comparer avec la valeur usuelle soit : $\rho \cong 2698 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

■ Exercice 2 (5 min)

En admettant qu'un neutron puisse être représenté par une sphère de rayon $r \cong 1,0 \times 10^{-15}$ m, donner un ordre de grandeur de la masse volumique ρ_n du neutron.

Comparer ensuite cette masse volumique à celle du fer et commenter.

Données : masse volumique du fer : $\rho_{\text{fer}} \cong 7,9 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

masse d'un neutron : $m_n \cong 1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}$.

■ Exercice 3.....

On suppose qu'un noyau d'atome d'hydrogène peut être représenté par une sphère de diamètre $d = 2,0 \times 10^{-15}$ m.

1. Compte tenu des indications données en cours, quel doit être l'ordre de grandeur du diamètre D de l'atome d'hydrogène ? Choisir la bonne réponse parmi les réponses proposées :

<input type="checkbox"/> $D = 2,8 \times 10^{-10} \text{ m}$	<input type="checkbox"/> $D = 2,8 \times 10^{+10} \text{ m}$	<input type="checkbox"/> $D = 2,8 \times 10^{-5} \text{ m}$
--	--	---