

## INTRODUCTION

La chimie dérive de l'alchimie qui était anciennement considérée comme de la magie noire.

\* La chimie permet de comprendre le fonctionnement du vivant par l'étude de la matière et de ses transformations faisant appel à des niveaux d'énergie différents mis en évidence dans les réactions avec les électrons.

C'est une science vaste qui permet la manipulation des atomes, création de molécule, étude de leur interaction avec le monde vivant ou physique.

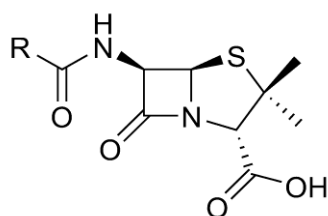
\* C'est une science à la fois microscopique (échelle du millièème de millimètre) et macroscopique (unité de tonnes, industrie chimique).

La chimie est une science centrale en interaction avec différents domaines tels que la biologie (fonctionnement du vivant), la physique, médecine, science des matériaux, géologie, agronomie...

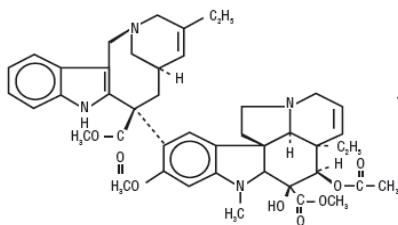
La structure et les propriétés de la matière au niveau moléculaire sont à l'origine de nombreux phénomènes naturels.

C'est la science fondatrice de la vie et la science des matériaux. Le monde de la santé bénéficie des découvertes issues de la chimie comme

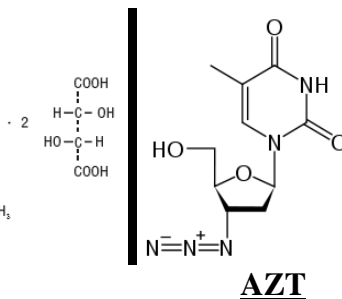
- Antibiotique notamment la pénicilline découverte pendant la 2e guerre mondiale
- navelbine pour le traitement contre le cancer
- molécule AZT utilisé dans le traitement du VIH.



Pénicilline



Navelbine



AZT

## ATOME

Toute matière est constituée de particules élémentaires indivisibles lors des transformations chimiques. Ces particules microscopiques simples, qui ne peuvent être fractionnées, indestructibles sont appelées les atomes.

Ces atomes sont désignés par des symboles ( H, C, N, O, Fe.....) et ont des propriétés physiques et chimiques propres. Ils constituent les éléments de la matière.

### Structure de l'atome :

Tous les atomes sont composés d'un noyau central chargé positivement. Le noyau contient deux types de particules ingrédients:

- protons chargés positivement +
- neutrons qui sont neutres.

Autour de ce noyau gravitent des électrons chargés négativement et répartis en différentes couches suivant leur niveau d'énergie.

Le noyau mesure  $10^{-14}$  m et l'atome mesure  $10^{-10}$  m. Le noyau est 10000 fois plus petit que l'atome complet ce qui prouve que l'atome est bien composé de vide. Le vide de l'atome est représenté par les électrons qui gravitent autour du noyau.

Particules	Masse (Kg)	Charge (C)	Masse (u.m.a)
Protons	$1,6725 \cdot 10^{-27}$	$+ 1,602 \cdot 10^{-19}$	1,007278
Neutrons	$1,6747 \cdot 10^{-27}$	0	1,008665
Electrons	$9,1094 \cdot 10^{-31}$	$- 1,602 \cdot 10^{-19}$	

Toute la masse de l'atome est concentrée dans le noyau, car la masse des électrons est négligeable.

La charge totale de l'atome est neutre car:

- charge d'un proton = - charge électrons
- Nombre de protons = nombre d'électrons

Les électrons assurent donc la neutralité électrique de l'atome.

1 u.m.a : l'unité de masse atomique, elle représente le 1/12 de la masse d'un atome de carbone 12. ( $^{12}\text{C}$ ).

$1 \text{ u.m.a} = (1/12) \cdot (12/N) = 1/N = 1/6,023 \cdot 10^{23} = 1,66 \cdot 10^{-24} \text{ g} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ .

### Constitution de l'atome :

L'atome est caractérisé par deux nombres **A** et **Z**.

**Z** est le **numéro atomique** de l'atome, il correspond au nombre de proton.

$Z = \text{nombre de protons} = \text{nombre d'électrons}$ .

**A** est le nombre de masse, il correspond au nombre de nucléons (neutrons+protons) et aux propriétés physique de l'atome.

$A = \text{nombre de protons et de neutrons du noyau}$ .

$n$  est le nombre de neutrons soit  $n = A - Z$

## ISOTOPES :

Un élément est constitué d'un ensemble d'isotopes présents en fonction de leur abondance naturelle.

Les isotopes sont des éléments qui ont le même nombre **Z** mais des nombres de **A** différents. Ils ont les mêmes propriétés chimiques. Mais ils ont un nombre de masse **A** différents. Ils sont caractérisés par un nombre différents de nucléons (neutrons+protons).

$^{35}\text{Cl}$  et  $^{37}\text{Cl}$  : ils ont le même numéro atomique  $z=17$ .

$^{35}\text{Cl}$  (17 p et 18 n)     $^{37}\text{Cl}$  (17p et 20n).

$^1\text{H}$  (hydrogène) et  $^2\text{H}$  (deutérium) et  $^3\text{H}$  (tritium)     $z=1$

$^1\text{H}$  (1p et 0n)     $^2\text{H}$  (1p et 1n)     $^3\text{H}$  (1p et 2n).

### La masse atomique moyenne :

La masse atomique est la masse moyenne d'un élément et qui prend en compte **l'ensemble des isotopes** de cet élément. Bien que tous les isotopes possèdent le même nombre de protons et d'électrons, chaque isotope possède un nombre de neutrons spécifique. Le calcul de la masse atomique prend aussi en compte **les abondances** globales des isotopes à partir desquelles est calculée une moyenne pondérée.

Masse moyenne =  $(m_1 \cdot \text{Abondance} + m_2 \cdot \text{Abondance} + m_3 \cdot \text{Abondance}) / 100$

$m_1$  = masse de l'isotope 1     $m_2$  = masse de l'isotope 2

$m_3$  = masse isotope 3.

Exemple :

Le magnésium se trouve dans la nature sous forme de trois isotopes  $^{24}\text{Mg}$   $^{25}\text{Mg}$   $^{26}\text{Mg}$  avec abondance 78,60%, 10,11%, 11,29% respectivement.

La masse des isotopes (u.m.a)  $^{24}\text{Mg}$  : 23,985045       $^{25}\text{Mg}$  : 24,985840       $^{26}\text{Mg}$  : 25,982591

$$m = 23,985045 \times 0,786 + 24,985840 \times 0,1011 + 24,985840 \times 0,1129 = 24,312 \text{ u.m.a}$$

La masse moyenne est calculée en u.m.a

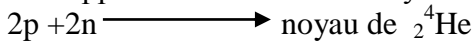
La masse atomique est calculée en gramme et les deux sont égales.

## EVOLUTION DU NOYAU

### Cohésion du noyau :

On sait que les protons chargés positivement sont concentrés dans le noyau sans se repousser entre eux, pour comprendre ça il faut connaître l'énergie de liaison.

On suppose la formation du noyau de l'hélium à partir de ses nucléons.



$$2 \times 1,007278 + 2 \times 1,008665 = 4,031886 \text{ u.m.a}$$

Mais la masse réelle de l'hélium est égale à 4,001503 u.m.a

Donc on a perte de masse :

$$\Delta m = 4,031886 - 4,001503 \quad \Delta m = 0,030383 \text{ u.m.a}$$

La formation du noyau de l'hélium est accompagnée par un dégagement important d'énergie, les constituants eux même présentent cette énergie sous forme d'une fraction de sa masse selon la relation d'Einstein  $\Delta E = \Delta m \cdot C^2$  C : vitesse de la lumière

$\Delta E$  : c'est l'énergie de liaison du noyau, elle assure la cohésion du noyau.

### Comparaison d'une réaction chimique et une réaction nucléaire :

La formation d'un noyau d'hélium libère une énergie  $\Delta E$

$$\Delta E = 0,030385 \times 1,6605 \cdot 10^{-27} \cdot (3 \cdot 10^8)^2 = 4,54 \cdot 10^{-12} \text{ joules.}$$

La formation d'une mole de noyau d'hélium libère

$$\Delta E = 4,54 \cdot 10^{-12} \times 6,023 \cdot 10^{23} = 27,34 \cdot 10^{11} \text{ joules} = 6,54 \cdot 10^8 \text{ Kcal}$$

La combustion d'une mole de carbone (12 g) libère une énergie  $\Delta E = 94,1 \text{ Kcal}$ .

Donc la formation d'une mole d'He (4 g) nécessite en point de vue énergétique la combustion de 83,4 tonnes de charbon.

L'unité d'énergie : électronvolt (ev)

L'électronvolt c'est l'énergie d'un électron sous une différence de potentiel de 1 volt.

$$1 \text{ ev} = \text{charge d'électron} \times \text{d.d.p} = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1 \text{v} \quad 1 \text{ev} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ joule}$$

$$1 \text{Mev} = 10^6 \text{ ev}$$

Donc la formation d'un noyau d'hélium est accompagnée d'une perte d'énergie égale

$$\Delta E = 4,54 \cdot 10^{-12} / 1,6 \cdot 10^{-19} = 2,837 \cdot 10^7 \text{ev} \quad \Delta E = 28,37 \text{Mev}$$

L'énergie moyenne de liaison par nucléon est :

$$\Delta E \text{ qui divise le nombre de nucléons.} \quad \Delta E_{\text{moy}} = 28,37 / 4 \quad \Delta E_{\text{moy}} = 7,09 \text{Mev}$$

Les noyaux qui ont une énergie moyenne de liaison par nucléon entre 6 et 9 Mev sont stables, la stabilité est plus grande quand l'énergie moyenne de liaison par nucléon est plus élevée.

Les isotopes (éléments) qui ont une énergie moyenne de liaison par nucléon est faible sont instables et on dit qu'ils sont **radioactifs**.

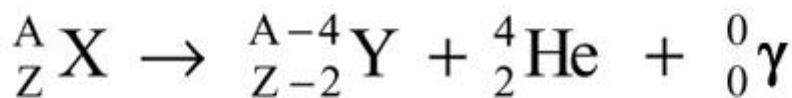
## LA RADIOACTIVITÉ

La radioactivité est la propriété naturelle de certains noyaux atomiques à émettre de façon spontanée un rayonnement. Cela correspond à une recherche spontanée de stabilité nucléaire.

Cette émission de rayonnement accompagne le phénomène de **désintégration radioactive**, qui transforme le noyau de l'élément "père" (X) en noyau fils (Y). Ainsi, le noyau d'un isotope radioactif va se transformer spontanément en un noyau d'un isotope plus stable du même élément, ou bien encore en un noyau d'un isotope plus d'un autre élément chimique.

En fonction de la nature du rayonnement émis, on peut distinguer :

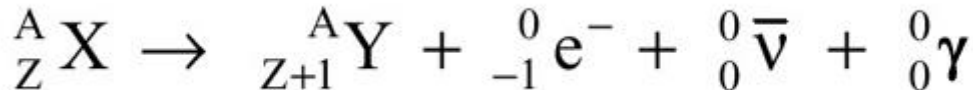
### Rayonnement alpha $\alpha$ :



On observe l'émission d'un noyau d'hélium (constitué de deux neutrons et de deux protons). Il y a en parallèle émission d'un photon  $\gamma$ . **X**: noyau père. **Y**: noyau fils.

Le radium 226 ainsi que l'uranium 238 sont des émetteurs alpha.

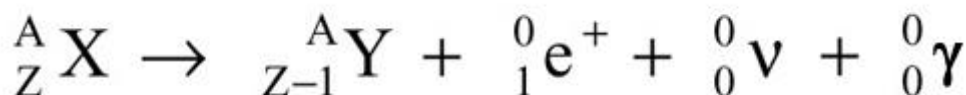
### Rayonnement bêta- $\beta^-$ :



Pour les noyaux instables présentant un excès de neutrons, on observe l'émission d'un électron  $e^-$  (ou négaton) et d'un antineutrino. Il y a en parallèle émission d'un photon  $\gamma$ . Un neutron se transforme en proton. Néanmoins, le noyau garde le même nombre de nucléons et donc la masse atomique ne change pas.

Le potassium 40 est un émetteur bêta moins. Ce type de radioactivité est la plus fréquente.

### Rayonnement bêta+ $\beta^+$ :



Pour les noyaux instables présentant un excès de protons, on observe l'émission d'un positon  $e^+$  (encore appelé positon bêta ou antiélectron) et d'un neutrino. Il y a en parallèle émission d'un photon  $\gamma$ . Un proton se transforme en neutron. Néanmoins, le noyau garde le même nombre de nucléons et donc la masse atomique ne change pas.

L'iode 122 est un émetteur bêta plus

### Rayonnement gamma $\gamma$ :

Les rayonnements  $\alpha$  et  $\beta$  sont tous deux accompagnés de l'émission d'un rayonnement  $\gamma$  qui correspond à l'émission de photons de longueur d'onde dans le vide comprise entre  $10^{-14}$  et  $10^{-12}$  m. La capture d'un neutron par un noyau est un autre type d'évènement entraînant un rayonnement de type gamma

## La décroissance radioactive :

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

$$T = 0,693 / \lambda$$

**le Becquerel (Bq).** 1 Bq = 1 désintégration par seconde (dps).

**Curie (Ci) :** 1 Ci =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bq (ce qui correspond à l'activité d'un gramme de radium).

## UTILISATION MÉDICALE

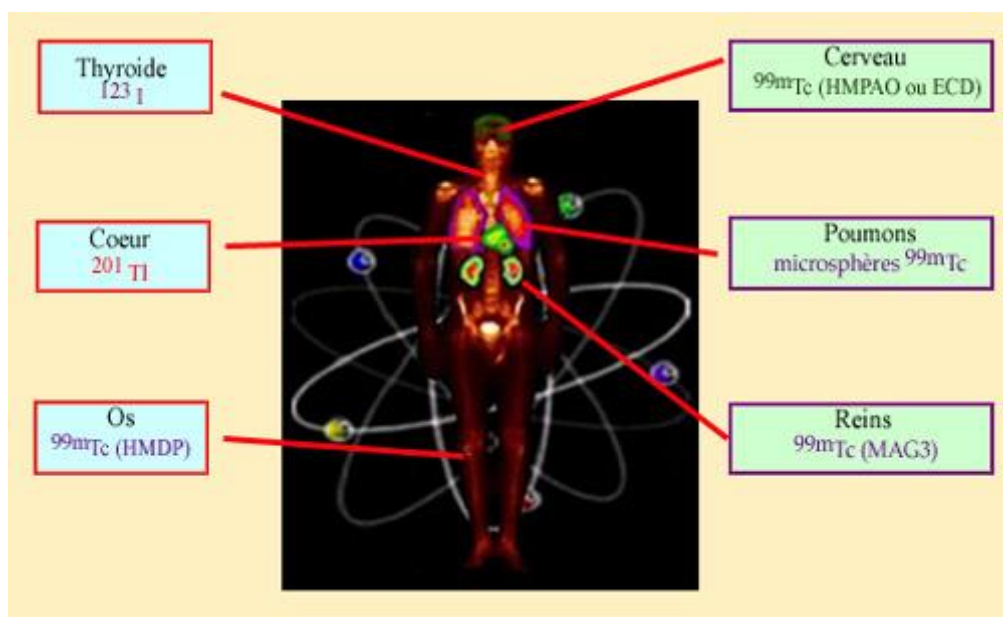
### La scintigraphie :

La **scintigraphie** est une méthode d'imagerie médicale de médecine nucléaire qui produit une image fonctionnelle par l'administration d'un médicament radiopharmaceutique (MRP) dont on détecte les rayonnements qu'il émet une fois qu'il a été capté par l'organe ou la cible à examiner.

Le patient reçoit des molécules ou des isotopes radioactifs qui vont se fixer sur les organes ou les tissus que l'on cherche à explorer. Ensuite une machine, en général une gamma-caméra, détecte les rayons émis par le corps. Enfin, on reconstruit l'image obtenue. La dose de radioactivité est maintenue faible de manière à minimiser les risques liés à l'irradiation. Par exemple, une scintigraphie osseuse n'irradie pas plus que d'autres examens d'imagerie comme une radiographie ou un scanner<sup>1</sup>.

Elle peut être utilisée pour visualiser plusieurs parties du corps, selon le traceur utilisé et ce que l'on veut voir. Elle permet de voir la forme et le fonctionnement de l'organe, la présence de tumeur primaire ou secondaire, l'origine de douleurs ou de maladies. Elle peut aussi servir à confirmer un diagnostic incertain.

De tous les radio isotopes utilisés en diagnostic le technétium  $^{99m}\text{Tc}$  est de très loin le plus utilisé. A lui seul, il intervient dans 60 % des procédures médicales (diagnostic + thérapie). Il est utilisé comme marqueur, à l'intérieur de molécules organiques complexes, adaptées à l'examen recherché ou, comme dans le cas de l'embolie pulmonaire, de macro agrégats. Exceptionnel produit médical pour un grand nombre d'applications, le technétium est très utilisé, parce qu'il n'émet que des rayons gamma et que son énergie est particulièrement bien adaptée au cristal scintillateur d'iodure de sodium (NaI) dopé au thallium (Tl).



<i>Radioisotope</i>	<i>Période</i>	<i>Energie gamma et X</i>	<i>Applications diagnostiques majeures</i>
Technétium - 99m	6 h	140 keV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Marquage albumine, foie, rate, moelle osseuse</li> <li>- Agrégats (embolie pulmonaire)</li> <li>- Marquage disphosphonates : os</li> <li>- Marquage pyrophosphonates : coeur</li> <li>- Complexes de DTPA : rein</li> <li>- Complexes de HMPAO : cerveau</li> <li>- Marquage d'anticorps : tumeur</li> </ul>
Thallium-201	72 h	72, 135, 167 keV	- Examen du muscle cardiaque
Iode-131 Iode-123	8 j 13,2 h	365 keV 159 keV	- Examen de la thyroïde, marquage de molécules vectrices dont médicaments
Indium-111	2,8 j	171, 245 keV	- Marquage des protéines, peptides...
Xenon-133	5,25 j	81 keV	- Ventilation pulmonaire associée à un examen de perfusion
Gallium-67	3,26 j	93, 185 et 300 keV	- Recherche de foyers de tumeurs et d'infection
Chrome-51	2,97 j	320 keV	- Marquage des hématies