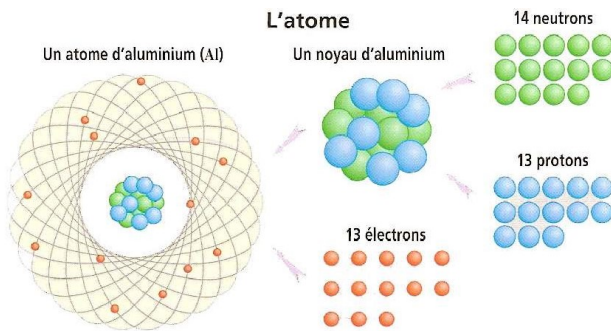
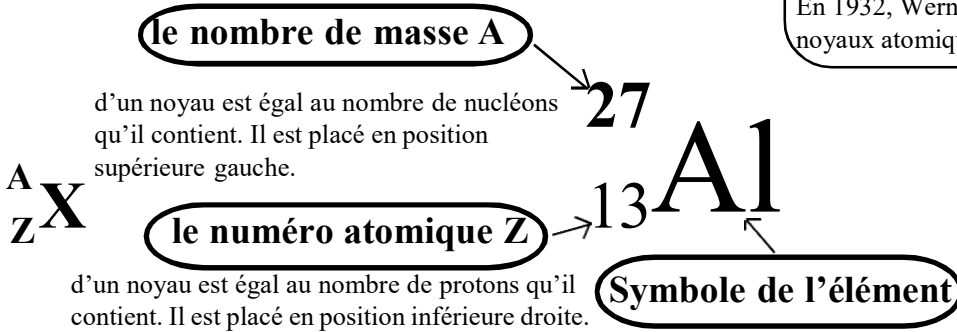


# CHAP 03. LES MARQUEURS RADIOACTIFS

## EN IMAGERIE MEDICALE

### 1. NOTATION DES ATOMES D'UN ELEMENT.

Chaque élément chimique est représenté par un symbole.  
Pour décrire sa composition, on précise deux caractéristiques:



#### Un peu d'histoire.

En 1919, Ernest Rutherford a donné le nom de *proton* au noyau de l'atome d'hydrogène.  
En 1932, James Chadwick a découvert le *neutron*.  
En 1932, Werner Heisenberg a fait l'hypothèse que les noyaux atomiques sont formés de protons et de neutrons.

#### Y a-t-il une infinité d'atomes différents ?

En principe, le numéro atomique devrait pouvoir varier de 1 à l'infini; il existerait donc une infinité d'atomes. Dans la réalité, ce n'est pas le cas. Les atomes les plus répandus sont les plus légers et aussi les plus stables, l'hydrogène étant le plus abondant. Les atomes plus lourds, eux, sont plus rares, et sont issus de la fusion nucléaire. En 1869, le tableau périodique des éléments du russe Dimitri Mendeleïev (voir plus loin) comptait une soixantaine d'atomes. Les recherches en ont apporté deux fois plus. Néanmoins, les «transuraniens» (les atomes dont le nombre atomique est supérieur à 92 celui de l'Uranium) sont très instables, à quelques exceptions près.

### 2. NOTION D'ISOTOPIE.

Deux isotopes ont le même numéro atomique Z, mais des nombres de masse A différents: leurs noyaux possèdent donc le même nombre de protons, mais des nombres différents de neutrons.

#### Exemple.

Dans un échantillon de cuivre, tous les atomes de cuivre ne sont pas identiques. Il existe deux sortes d'atomes de cuivre (contenant tous 29 protons):

- ceux dont les noyaux comportent 63 nucléons  ${}^{63}_{29}\text{Cu}$
- ceux dont les noyaux sont formés de 65 nucléons

On dit qu'il existe deux isotopes de l'élément cuivre et le phénomène correspondant porte le nom d'isotopie. Les deux isotopes du cuivre sont caractérisés par:

- le même nombre de protons  $Z = 29$  dans leur noyau.
- mais des nombres de neutrons différents ( $N = 34$  ou  $N = 36$ ) dans leur noyau.

#### Remarque.

- La plupart des éléments dans la nature existent sous la forme de mélanges de plusieurs isotopes.
- Pour un élément, il peut exister des isotopes naturels mais aussi des isotopes artificiels (dont les noyaux sont "fabriqués" par réaction nucléaire dans un accélérateur de particules).
- Des atomes isotopes possèdent le même nombre d'électrons, donc les mêmes propriétés chimiques; ils diffèrent par leurs noyaux et présentent donc des propriétés nucléaires différentes

#### Exemples d'isotopes

|                         |   |
|-------------------------|---|
| Isotopes de l'hydrogène | ${}^1_1\text{H}$ ; ${}^2_1\text{H}$ (ou D); ${}^3_1\text{H}$ (ou T) |
| Isotopes du carbone     | ${}^{12}_6\text{C}$ ; ${}^{13}_6\text{C}$ ; ${}^{14}_6\text{C}$     |
| Isotopes de l'uranium   | ${}^{235}_{92}\text{U}$ ; ${}^{238}_{92}\text{U}$                   |

#### REMARQUES

- L'isotope  ${}^2_1\text{H}$  de l'hydrogène (deutérium) existe dans l'eau lourde  $\text{D}_2\text{O}$ ; l'isotope  ${}^3_1\text{H}$  (tritium) n'existe pas dans la nature.
- Le carbone 14 ( ${}^{14}_6\text{C}$ ) sert dans la datation d'objets anciens.
- L'uranium 235 est à l'origine de l'énergie produite dans les centrales nucléaires.

Sur 1 000 milliards d'atomes de carbone dans la nature, un seul est du carbone 14. On l'appelle ainsi parce que son noyau est composé de 14 particules. Le carbone 14 est radioactif: instable, il se brise spontanément en éjectant un électron. Le carbone 14 disparaît continuellement mais il est naturellement reformé.

Les atomes de  ${}^{14}_6\text{C}$  naissent, dans la haute atmosphère, de la rencontre entre une particule cosmique et un atome d'azote. Le carbone 14, comme les atomes de carbone 12, se lie avec l'oxygène de l'air pour constituer une molécule de  $\text{CO}_2$ . Il participe alors au cycle du carbone. Le  ${}^{14}_6\text{C}$  disparaît par sa décomposition radioactive et se régénère en haute atmosphère. Il garde la même concentration dans l'atmosphère, les végétaux et les animaux qui échangent en permanence du carbone avec l'air ou l'eau, tant qu'ils sont vivants. Mais dès qu'un végétal ou un animal meurt, tout échange avec l'atmosphère est stoppé et son carbone reste fixé dans l'organisme. Alors, les atomes de  ${}^{14}_6\text{C}$  disparaissent peu à peu.

### 3. HISTORIQUE DE LA TRANSFORMATION NUCLEAIRE

«Les conséquences de ces faits se font sentir dans toutes les parties de la science (...) C'est donc là une véritable théorie de la transmutation des corps simples, mais non pas comme le comprenaient les alchimistes. La matière inorganique évoluerait nécessairement à travers les âges suivant des lois immuables (...) (...) ici on peut se demander si l'humanité a avantage à connaître les secrets de la nature, si elle est mûre pour en profiter ou si cette connaissance ne lui sera pas nuisible (...) Je suis de ceux qui pensent avec Nobel que l'humanité tirera plus de bien que de mal des découvertes nouvelles.»

Ces phrases étonnamment prémonitoires sont prononcées par Pierre Curie dans sa conférence Nobel à Stockholm le 6 juin 1905. La découverte de la radioactivité se situe à la charnière entre deux mondes, au cœur de profondes révolutions scientifiques sans équivalent depuis lors. La première mesure quantitative du rayonnement de l'uranium, l'identification du polonium et du radium, ainsi que l'introduction du terme radioactivité ont lieu à l'EMPCI (Ecole Municipale de Physique et Chimie Industrielle) en quelques mois grâce à l'expérience montée par Pierre et Marie Curie.

La date de «naissance» de la radioactivité ? 1896, Henri Becquerel s'aperçoit que des produits de son laboratoire émettent, sans exposition préalable au Soleil, un rayonnement invisible qui impressionne les plaques photographiques et ionise l'air. Il vient de découvrir la radioactivité naturelle. Où en sont les sciences et techniques en cette fin de siècle ?

Le XIX<sup>e</sup> siècle, c'est avant:

- l'avion que Clément Adler invente en 1895;
- la commercialisation de la première matière plastique synthétique, la bakélite, inventé en 1907 par Baekeland;
- l'électronique, inaugurée en 1904 et 1906 par Fleming et l'invention du tube à vide;
- la commercialisation de l'aspirine, en 1900 par Bayer.

### 4. DEFINITION TRANSFORMATION NUCLEAIRE SPONTANEE.

Un noyau radioactif est un noyau instable dont la désintégration est aléatoire et au cours de laquelle il se transforme en un autre noyau.

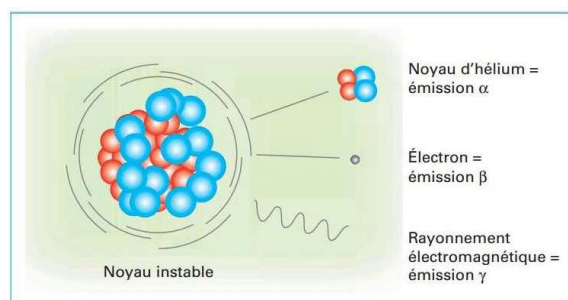
Une transformation qui met en jeu des noyaux est appelée réaction nucléaire.

La radioactivité correspond à une réaction nucléaire spontanée avec émission de rayonnement.

Les désintégrations radioactives sont:

- Aléatoires. Il est impossible de prévoir l'instant de la désintégration.
- Spontanée. Elles se déclenchent sans aucune intervention extérieure.
- Inéluctables. Un noyau instable se désintégrera tôt ou tard.
- Indépendantes de la combinaison chimique dans laquelle est engagée le noyau radioactif.
- Indépendantes des paramètres de pression et de température contrairement aux réactions chimiques.

On distingue trois types de désintégration radioactive spontanées:



### 5. LOIS DE CONSERVATION.

Une désintégration nucléaire peut être modélisée par une équation qui obéit aux deux lois suivantes:

- **Loi de conservation du nombre de charge.**

La somme des nombres de charge du noyau fils et de la particule qui sont formés est égale au nombre de charge du noyau désintégré (noyau père).

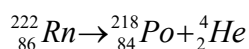
- **Loi de conservation du nombre de nucléons.**

La somme des nombres de nucléons du noyau-fils et de la particule qui sont formés est égale au nombre de nucléons du noyau désintégré (noyau-père).

**Exemple :** la radioactivité α

Elle est caractéristique des éléments lourds ( $A > 200$ ), dont le noyau possède trop de nucléons pour être stable.

Ils se transforment en un noyau plus léger, avec émission d'un noyau d'hélium  ${}^4_2\text{He}$ . Ce sont des particules positives appelées aussi particules α



## 6. ACTIVITE ET DECROISSANCE RADIOACTIVE.

- **L'activité** correspond au nombre de désintégrations ayant lieu chaque seconde en becquerel (Bq).

$$A = \frac{\text{nombre de désintégrations}}{\text{durée de comptage de ces désintégrations}}$$

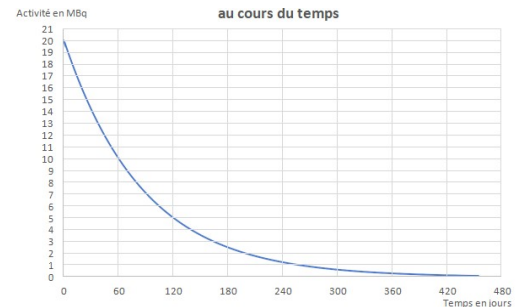
Elle dépend de la nature des radionucléides et de la masse totale de la matière radioactive présente.

- **Période radioactive** (ou demi-vie).

Au cours du temps, l'activité diminue selon une courbe particulière que l'on appelle une exponentielle décroissante.

On définit alors la période radioactive  $T$ , étant la durée nécessaire :

- Pour que la moitié des nucléides présents dans un échantillon se désintègrent.
- Donc pour que l'activité  $A$  soit divisée par 2.



On considère qu'au bout de 20 périodes, la radioactivité d'un échantillon est nulle.

## 7. LA RADIOACTIVITE AU SERVICE DE LA MEDECINE..

- L'activité  $A$  d'un radioélément ou la dose absorbée  $D$  sont des données insuffisantes pour prédire les dangers pour un organe ou un corps. On évalue ces effets et ces risques grâce à la dose équivalente  $H$ , à l'aide d'un dosimètre.

$$D = \frac{\text{énergie reçue lors de la désintégration (en J)}}{\text{masse du corps ayant reçu cette énergie (en kg)}}$$

On peut aussi définir la dose équivalente  $H$  (en Sievert Sv)  $H = w_R \times D$

avec  $w_R$  un facteur de pondération :  $w_R = 1$  si radioactivité  $\beta^-$ ,  $\beta^+$ ,  $\gamma$   
 $w_R = 20$  si radioactivité  $\alpha$ .

- Il faut évidemment avoir un comportement responsable lorsqu'on manipule des marqueurs radioactifs : s'éloigner du radioélément et limiter son temps d'exposition + port de protection (tablier, gants et lunettes) comportant du plomb.
- On distingue deux types de médecine nucléaire :

- **Médecine nucléaire diagnostique** : dose faible.

Le choix du radioélément se fait en fonction de l'organe ou de la partie du corps à explorer mais toujours à courte période radioactive (détection assurée avec une faible quantité administrée au patient).

- **Médecine nucléaire curative** : doses élevées (irradiation locale pour détruire la tumeur).

Plusieurs types de radiothérapie utilisent des radioéléments (choisis suivant l'organe traité) :

- La curiethérapie : le radioélément est placé dans ou contre la tumeur (action ciblée) ;
- La radiothérapie métabolique : le radioélément va se fixer sur les cellules cancéreuses ;
- La radiothérapie externe : les rayonnements émis sont concentrés sur la tumeur pour la détruire.