

Chapitre VIII : Radioactivité

Plan :

I- INTRODUCTION	2
1- La radioactivité dans la nature et chez les êtres vivants.....	2
2- Découverte de la radioactivité.....	3
3- Les applications de la radioactivité.....	3
4- Les dangers de la radioactivité.....	4
5- Mesure de la radioactivité	5
II- RAPPELS ET DEFINITIONS.....	5
1- Le noyau de l'atome	5
a- <i>Rappels</i>	5
b- <i>Cohésion du noyau</i>	6
2- Isotopes, isotones et isobares	6
a- <i>Isotope</i>	6
b- <i>Isotones</i>	7
c- <i>Isobares</i>	7
3- Radioactivité	7
4- Bilan d'énergie de masse.....	13
III- DECROISSANCE RADIOACTIVE ET APPLICATION.....	15
1- Décroissance radioactive.....	15
a- <i>Constante radioactive λ</i>	15
b- <i>Loi de décroissance radioactive</i>	15
c- <i>Période radioactive T ou temps de demi-vie τ</i>	16
2- Activité radioactive.....	16
a- <i>Définition</i>	16
b- <i>Application</i>	16
3- Filiation radioactive	17
a- <i>Définition</i>	17
b- <i>Exemples</i>	17

I- Introduction

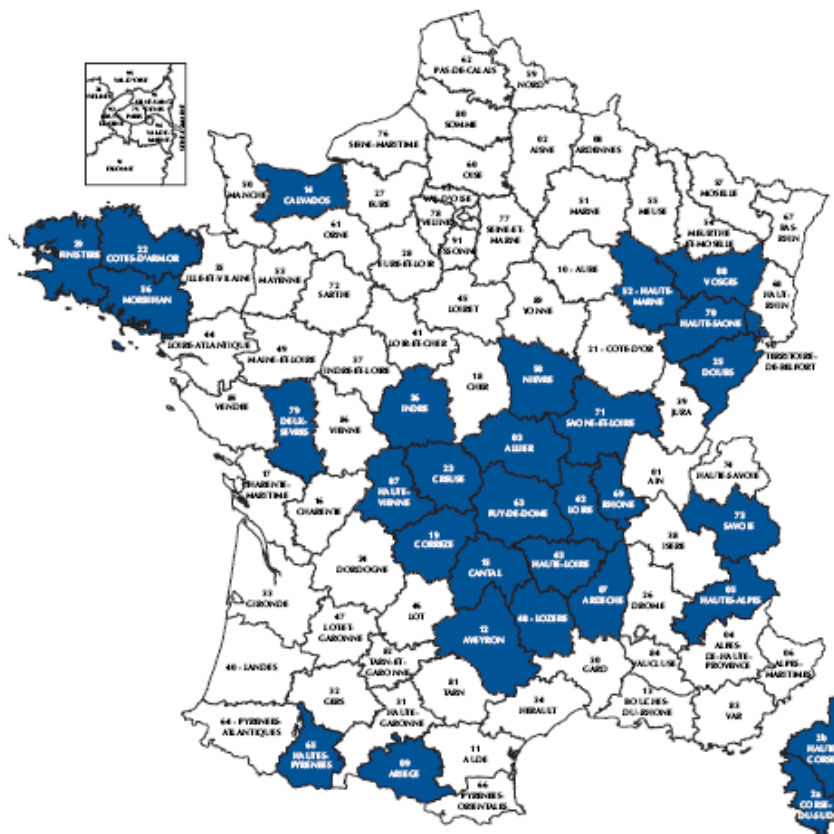
1- La radioactivité dans la nature et chez les êtres vivants

La **radioactivité** est d'origine naturelle. L'intégralité des éléments présents sur Terre, y compris les noyaux radioactifs, ont été formés :

- dans la phase dite de **nucléosynthèse** aux premiers instants de l'univers, pour les éléments légers : **hydrogène** et **hélium** ;
- dans les **étoiles**, pour les éléments jusqu'au **fer** ${}_{26}\text{Fe}$;
- lors de l'**explosion des étoiles**, marquant la fin de vie de celles-ci, pour les éléments de numéro atomique supérieur au **fer**.

La **radioactivité** est à l'origine de l'apparition de la vie sur Terre. C'est la chaleur qu'elle génère qui maintient le noyau terrestre sous forme liquide, et qui a permis, lors des éruptions volcaniques, la formation de l'**atmosphère primitive** (protection contre les météorites, effet de serre pour diminuer les écarts thermiques entre le jour et la nuit). C'est aussi la radioactivité qui entretient la combustion au sein du soleil, par le biais des réactions **thermonucléaires** où l'hydrogène est transformé en hélium par un processus de **fusion nucléaire**.

Le **radium** est la principale source d'exposition naturelle des populations à la radioactivité. Le **radium** est un gaz rare **radioactif** principalement formé par la désintégration de l'**uranium** ${}^{238}_{92}\text{U}$ présent dans les couches terrestres. Le **radium** est présent partout dans l'atmosphère et a tendance à s'accumuler dans les espaces clos, comme les habitations :



Principales zones d'exposition à la radioactivité naturelle

Plus surprenant, le corps humain est lui aussi naturellement radioactif ! La radioactivité du corps humain provient de la présence en son sein de deux radioéléments d'origine naturelle, le potassium $^{40}_{19}\text{K}$ et le carbone $^{14}_6\text{C}$. Le carbone $^{14}_6\text{C}$ est fixé par les êtres vivants par leur alimentation. On le retrouve par exemple dans la cellulose des arbres, créée lors de la **photosynthèse**. Ainsi, le bois d'un arbre est naturellement radioactif. C'est cette propriété des tissus vivants à fixer le CO_2 (donc le $^{14}_6\text{C}$) qui est à l'origine de la méthode de datation par le carbone 14.

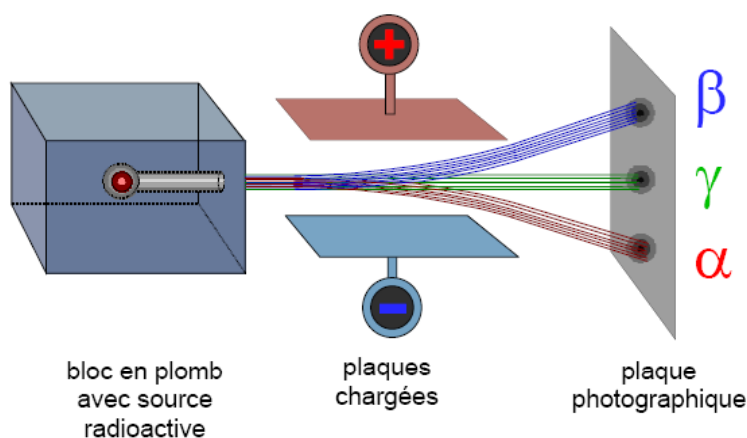
2- Découverte de la radioactivité

En 1896, **Henri Becquerel** travaillant sur la **phosphorescence** (**phénomène** observé lorsqu'une matière continue à émettre de la **lumière** après avoir été éclairée ; le terme signifie **illuminer** comme le phosphore) découvre la **radioactivité** naturelle. Il met en évidence qu'un film photographique peut être impressionné par des sels d'**uranium** sans que ce dernier n'ait été exposé à une quelconque lumière. Il en conclut que l'**uranium** émet spontanément des **rayonnements**.

Pierre et Marie Curie désignent ce phénomène sous le nom de **radioactivité**. Ils reçoivent le prix Nobel de Physique en 1903 avec **Henri Becquerel**.

Ernest Rutherford met en évidence expérimentalement, grâce à un champ électrique et magnétique, les rayonnements α , β , γ . La direction de la déviation des faisceaux montre que :

- les **particules α** sont chargées **positivement**, la magnitude de la déflexion indiquant nettement que les **particules α** sont bien plus massives que les **particules β** ; il s'agit, en effet, de noyau d'hélium $^4_2\text{He}^{2+}$ de charge élémentaire +2 ;
- les **particules β** sont chargées **négativement** (**électron**) ou **positivement** (**positon**) ;
- et les **rayonnements γ** sont **neutres**.



Déviation des particules chargées α et β

En 1934, **Frédéric et Irène Joliot- Curie** reçoivent le prix Nobel de Chimie pour la découverte de la **radioactivité artificielle**.

3- Les applications de la radioactivité

Depuis plus d'un siècle, l'homme a découvert l'existence de la radioactivité. Il a su exploiter l'énergie fabuleuse cachée au cœur de la matière, avec plus ou moins de bonheur, et même créer de nouveaux éléments qui n'existent pas sur Terre !

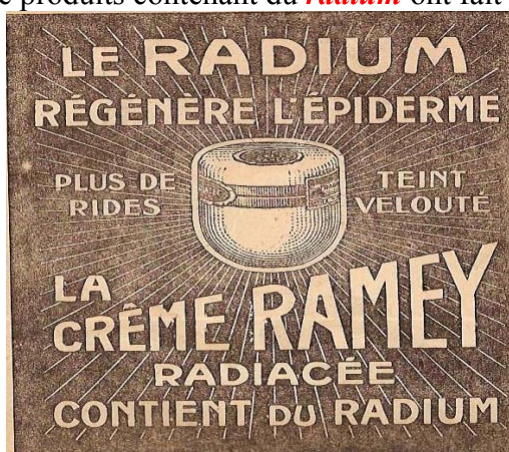
Les applications importantes de la radioactivité concernent les domaines suivants :

- **énergétiques** : centrales nucléaires à fission ;
- **médicales** : utilisation de traceurs radioactifs pour les diagnostics thérapeutiques (tomographie par émission de positon ou TEP) ; traitement des cellules cancéreuses par radiothérapie iridium ^{192}Ir ou iode ^{125}I pour les cancers de la prostate ;
- **biologiques / géologie** : études in vivo à l'aide de marqueurs radioactifs tel que le fluor ^{18}F , datation au carbone ^{14}C pour les objets organiques ou au potassium-argon ^{40}K - ^{40}Ar pour les roches d'origine volcanique ;
- **militaires** : bombes nucléaires à fusion ou à fission.

4- Les dangers de la radioactivité

Les **dangers de la radioactivité** pour la santé ne furent pas immédiatement reconnus. Ainsi, **Nikola Tesla**, en soumettant volontairement ses propres doigts à une irradiation par des **rayons X**, constata que les effets aigus de cette irradiation provoquaient des brûlures qu'il attribua à la présence d'ozone.

D'autre part, les **effets mutagènes** des radiations, en particulier les risques de cancer, ne furent découverts qu'en 1927 par **Hermann Joseph Muller**. Avant que les effets biologiques des radiations ne soient connus, des médecins et des sociétés attribuaient aux matières radioactives des **propriétés thérapeutiques**. Le **radium** ^{88}Ra , en particulier, était populaire comme **tonifiant**. Durant les années 1930, les nombreuses morts imputées à l'utilisation de produits contenant du **radium** ont fait passer cette mode :



Utilisation du radium dans les produits cosmétiques



Utilisation des matériaux radioactifs

En traversant le corps, les rayonnements **radioactifs** provoquent des **destructions cellulaires**. A faible dose ces rayonnements sont responsables d'une augmentation des **cancers** et d'**anomalies génétiques**.

On parle :

- d'**irradiation** lorsqu'un organisme se trouve à proximité d'une source **radioactive**. Il reçoit alors une partie du rayonnement émis par la source. Il y a **contamination interne ou externe** lorsque les produits radioactifs sont absorbés par les voies digestives ou respiratoires. Ils peuvent alors se désintégrer au sein même de l'organisme.
- d'**ionisation**, lorsque l'énergie du rayonnement est suffisante pour arracher des électrons aux atomes et molécules des cellules, ce qui entraîne des réactions chimiques inhabituelles. Les cellules vont muter voire mourir.

5- Mesure de la radioactivité

Le **sievert** de symbole Sv est l'« unité utilisée pour donner une évaluation de l'impact des rayonnements sur l'homme ». Plus précisément, c'est l'unité qui permet d'évaluer quantitativement l'impact biologique d'une exposition à des rayonnements ionisants.

Le **Sievert** a la même définition physique que le **gray**, soit un **joule par kilogramme** :

- **dose** inférieure à 5 Gy : état fébrile, céphalées, anorexie, anémie et infection convalescence puis guérison vers le fin du 2^{ème} mois ;
- **dose** de 5 à 20 Gy: vomissements, diarrhées, perforations intestinales, défaillances d'organes, hémorragies décès certain une semaine après l'irradiation ;
- **dose** supérieure à 50 Gy : prostration, convulsions, décès au maximum en quelques heures

En permanence, nous sommes soumis à une **irradiation naturelle**. Elle représente environ 60% de la dose totale reçue. La dose moyenne d'exposition en France est de 3,4 mSv/an. L'effet des rayonnements dépend d'abord de l'énergie ionisante reçue physiquement par chaque unité de masse.

II- Rappels et définitions

1- Le noyau de l'atome

a- Rappels

L'**atome** de symbole général A_ZM se caractérise par :

- un **symbole** chimique noté M ;
- de **numéro atomique Z** égal au nombre de **protons** ou au nombre **d'électrons**, l'atome étant électriquement neutre ;
- de **nombre de masse A** égal au nombre de **nucléons N**, nombre de protons + neutrons.

La masse des **électrons** étant très faible devant celle des **nucléons**, la masse du noyau est sensiblement égale à celle de l'atome. Son unité est le u (**unité de masse atomique**), défini comme 1/12^{ème} de la masse molaire de l'atome de carbone ${}^{12}_6C$:

$$1u = \frac{1}{12} \times \frac{M({}^{12}_6C)}{N_A} = 1,66057 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$$

Un **élément chimique** est une famille d'atomes comportant le **même nombre de protons Z**. Il est désigné par M dans la **classification périodique**. Les éléments sont classés par ordre croissant de numéro atomique Z.

Un **nucléide** est une espèce qui se différencie des autres, soit par son **nombre de masse** A , soit par son **numéro atomique** Z . Le symbole d'un nucléide est A_ZM .

La taille des atomes est de l'ordre de 10^{-10} m ou 1 Å. La taille des noyaux est de l'ordre de 10^{-15} m ou 1 fermi (fm).

b- Cohésion du noyau

La **cohésion** et la **stabilité** des noyaux atomiques sont assurées par trois **forces** principales :

- **interaction nucléaire attractive** entre les **nucléons** ;
- **force répulsive électromagnétique** entre les **protons** ;
- **interaction faible** à l'intérieur des **nucléons**.

i- Interaction nucléaire attractive

L'**interaction nucléaire** est une force **attractive intense** et de courte portée qui se manifeste par le fait que des **neutrons** peuvent passer à proximité d'un noyau sans être capté par ce dernier. Il s'agit d'une force qu'exerce le **noyau** sur les nucléons et qui permet de confiner les **protons** dans le petit volume qu'est le **noyau**. L'**interaction nucléaire** est la force responsable de la **radioactivité α** . Son intensité relative est de 1.

ii- Force répulsive électromagnétique

L'**interaction nucléaire attractive** est en concurrence avec la **répulsion électrostatique** ou **électromagnétique** qui existe entre les **protons**. Elle s'applique à toutes particules ayant une charge électrique de même signe. Son intensité relative est de 10^{-2} , ce qui explique la cohésion du noyau (l'**interaction nucléaire** étant 100 fois plus élevée en comparaison).

iii- Interaction faible

Il s'agit d'une **force ni attractive, ni répulsive** agissant à l'intérieur même des **nucléons**. Elle transforme un **nucléon** :

- soit un **proton** en un **neutron** ;
- soit un **neutron** en un **proton**.

L'**interaction faible** est à l'origine de la **radioactivité β^+ ou β^-** .

Sans l'intervention des **forces faibles**, le nombre de nucléides « naturels » dans notre environnement serait supérieur à 287. L'expulsion d'un proton ou d'un neutron coûte de l'énergie. Faute de pouvoir transformer l'un dans l'autre, plusieurs milliers de noyaux radioactifs deviendraient stables.

L'**interaction faible** joue également un rôle essentiel dans l'univers. Sans l'**interaction faible**, le soleil s'arrêterait de briller parce qu'il ne pourrait pas fusionner l'hydrogène ${}^1_1\text{H}$ en deutérium ${}^2_1\text{D}$ avec émission d'un positon. La fusion du deutérium ${}^2_1\text{D}$ avec un noyau d'hydrogène ${}^1_1\text{H}$ conduit à un isotope de l'hélium ${}^3_2\text{He}$.

2- Isotopes, isotones et isobares

a- Isotope

Des **isotopes** sont des atomes de **même numéro atomique Z** mais de **nombre de neutrons $N = A - Z$ différents**. Tous les isotopes d'un même élément ont des **propriétés chimiques** identiques mais des **propriétés physiques** différentes.