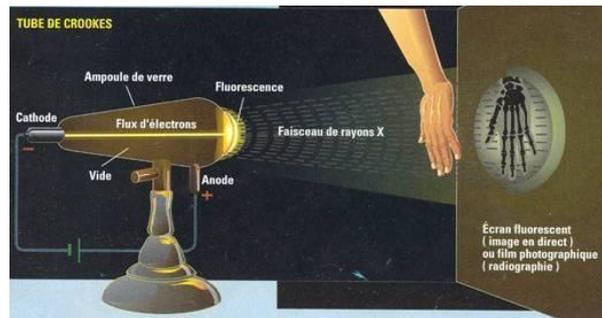


La radioactivité

I Brève chronologie :

1895 : Le physicien allemand Wilhem Röntgen étudie les rayons produits par application d'une tension de plusieurs dizaines de milliers de volts entre deux électrodes, une anode et une cathode, insérées dans un tube de verre où se trouve un gaz à très faible pression (1/1000 de la pression atmosphérique), dispositif appelé tube de Crookes.

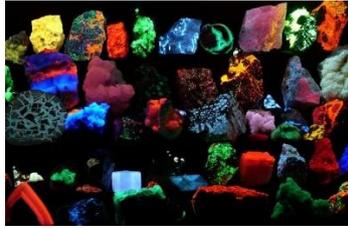


Il constate par hasard en faisant fonctionner un tel tube que des minéraux placés devant le tube deviennent fluorescents, y compris lorsque le tube est recouvert d'un carton noir. Un mystérieux rayonnement invisible, qu'il qualifie de rayons X sort donc du tube. Ce rayonnement est très pénétrant, capable de voiler une pellicule photographique protégée par un carton noir en pleine obscurité. Röntgen place la main de sa femme entre le tube et un écran ayant la propriété de fluorescence, et constate qu'on voit apparaître les os de la main. Il réalise ainsi la première radiographie.



Main de l'épouse de Röntgen (22 déc 1895)

1896 : Le physicien français Henri Becquerel, pensant qu'il existe un lien entre fluorescence (***) et rayons X, travaille sur la fluorescence des sels d'uranium, se demandant s'ils pourraient, après une longue exposition à la lumière, émettre des rayons X. Il constate par hasard, après avoir rangé pendant trois jours ses épreuves dans un tiroir en attendant un jour propice d'ensoleillement et en développant malgré tout un film photographique placé sous les sels mais séparés de ces derniers par un carton noir, que le film a été voilé. Il en déduit que **les sels d'uranium émettent spontanément un mystérieux rayonnement capable d'impressionner, au travers de papier noir, une plaque photographique. Il qualifie ce rayonnement de rayons uraniques car il pense que cette propriété est spécifique de l'uranium, et il qualifie cette dernière d'hyperphosphorescence ***.**



Minéraux fluorescents (source : Wikipédia)



Henri Becquerel
(1852-1908)



**Une substance fluorescente, plongée dans l'obscurité, émet de la lumière visible si elle est éclairée par une source d'ultraviolets. Si elle n'est pas éclairée, elle n'émet pas de lumière visible.

** * Une substance phosphorescente, plongée dans l'obscurité, émet de la lumière visible si elle a été au préalable (quelques minutes à plusieurs heures avant) exposée à une source d'énergie lumineuse comme une lumière blanche (lumière du soleil par exemple). Elle n'a cependant alors plus besoin d'être éclairée par une source de lumière visible ou non, à la différence d'une substance fluorescente.

1897 : Le physicien anglais Joseph John Thomson étudie la nature d'un rayonnement produit dans un tube de Crookes et l'attribue à des particules en mouvement chargées négativement qu'il appelle électrons (du grec : elektron= ambre) l'ambre étant le matériau sur lequel apparaît l'électricité dite résineuse ou encore qualifiée de négative par convention

<https://youtu.be/WHoH5m83Ga0> (CEA)

<https://youtu.be/qK6p2SFXuyI> (tube de Crookes en fonctionnement)

1897 : La polonaise **Marie Curie** se consacre, dans le cadre d'une thèse de doctorat à l'étude des rayons uraniques. Elle découvre que ce type de rayonnement n'est pas spécifique de l'uranium mais que le Thorium est également concerné. Elle nomme **radioactivité** ce rayonnement.

Son mari, **Pierre Curie** a développé avec ses frères 15 ans plus tôt un instrument, **l'électromètre piézoélectrique**, permettant de mesurer de très faibles courants électriques et pouvant être utilisé pour mesurer l'effet de ce rayonnement sur l'ionisation de l'air, ce qui permet de comparer la radioactivité de différents matériaux.

Marie Curie constate avec cet instrument que la pechblende, un minerai dont un gisement important se trouve à Joachimsthal en Bohême et qui contient de l'uranium, est quatre fois plus radioactif que l'uranium seul. Elle constate également que la radioactivité d'un sel d'uranium ne dépend pas de sa forme chimique mais seulement de la quantité d'uranium présente et démontre ainsi que la radioactivité est une propriété de l'atome.

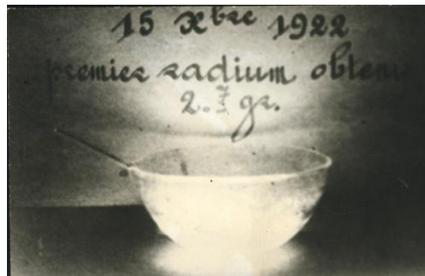
1898 : A partir de quelques tonnes de Pechblende, Marie Curie isole quelques décigrammes d'un élément des millions de fois plus radioactif que l'uranium auquel elle donne le nom de **polonium** en hommage à ses origines. Elle isole ensuite un autre élément : le **radium**.

Henri Becquerel, Marie et Pierre Curie recevront conjointement le prix Nobel de physique en 1903 pour leurs recherches sur les radiations et Marie Curie en plus sera gratifiée du prix Nobel de Chimie en 1911 pour sa découverte des deux nouveaux éléments Polonium et Radium.

2 Définition, nature, mesure et unités :

Définition

La radioactivité est l'émission spontanée d'un rayonnement invisible et très pénétrant. Ce rayonnement a pour propriété d'ioniser l'air qu'il traverse.



Coupelle de bromure de radium photographiée dans l'obscurité

Nature :

L'analyse plus poussée de la nature de ce rayonnement a montré qu'il était constitué de particules chargées et/ou d'ondes électromagnétiques. Plus précisément, on a mis en évidence différents types de rayonnements dépendant du type d'élément radioactif concerné :

Les rayonnements de particules chargées ou non:

- **Le rayonnement alpha** : Il est constitué de noyaux d'hélium, c'est le rayonnement associé à des ions « lourds ». Il est de ce fait peu pénétrant mais très nocif (on peut prendre l'image d'un éléphant qui fonce sur une palissade en bois et fait beaucoup de dégât à l'entrée, comparé à une balle qui traverse la palissade et pénètre plus profondément)
- **Le rayonnement beta moins** : Il est constitué d'électrons
- **Le rayonnement beta plus** : Il est constitué de positons (même masse que l'électron mais charge opposée)
- **Le rayonnement de neutrons** non chargé et plus rare

Les rayonnements électromagnétiques (non associés à des particules ayant une masse)

- **Le rayonnement X** : Le premier à avoir été identifié par Röntgen (très pénétrant mais moins que le rayonnement gamma : une feuille d'aluminium pour s'en protéger)
- **Le rayonnement gamma** : très pénétrant (20 cm de verre au plomb pour s'en protéger ou 3 m d'eau)
-

Voici un résumé de ces divers rayonnements et de leurs symboles

<u>Types de rayonnements associés à la radioactivité</u>		
Nom	Nature	Symbole
α	Noyaux d'Hélium	${}^4_2\text{He}$
β^-	Electrons	${}^0_{-1}e$
β^+	Positrons	0_1e
X	Onde électromagnétique	
γ	Onde électromagnétique	

Mesure

Chaque type de rayonnement de particules chargées peut être mesuré à l'aide de détecteurs comme un compteur Geiger

Un tel compteur est capable de compter les particules chargées une à une. Chaque particule détectée correspondant à la désintégration d'un atome.

Cependant un tel compteur ne peut distinguer la nature des particules comptées, électron, positon ou autre.

3) Loi de décroissance radioactive

Activité – Activité massique

L'étude de l'activité de différentes substances pures a fait apparaître que sur une période de temps donnée, le nombre de désintégrations fluctuait autour d'une valeur moyenne. La radioactivité est donc un phénomène aléatoire.

On ne peut donc prédire avec certitude quand le noyau d'un atome va se désintégrer. C'est une affaire de probabilités. Si toutefois, on travaille sur un échantillon suffisamment important (de l'ordre du millier par exemple) le nombre de désintégration sur une période donnée pourra être considéré comme constant et on peut alors définir la notion **d'activité de l'échantillon comme étant le nombre de désintégrations par seconde (soit encore le nombre de particules émises par seconde)**.

L'activité d'un échantillon se mesure en **Becquerel** (symbole Bq). Afin de comparer la radioactivité de diverses substances pures, on définit une **activité massique**, qui est l'activité d'un échantillon de masse unité, généralement 1 kg ou 1 g, formé de cette substance.

Exemples : Activités de deux radioéléments posant problème par leurs disséminations dans une catastrophe nucléaire.

Iode 131 : 4,6 millions de milliards de Bq/g

Césium 137 : 3200 milliards de Bq/g

L'iode 131 a une très forte activité massique par rapport au Césium 137 (environ mille fois plus forte) en rapport avec sa plus faible période, 8 jours contre 30 ans pour le Césium 137.

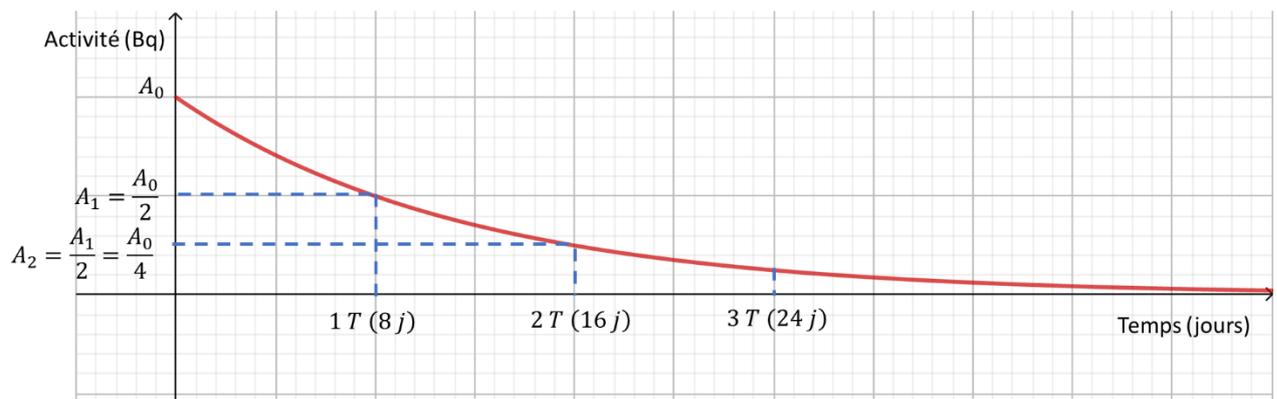
En comparaison, pour le radium 226 isolé par Marie Curie, l'activité massique est de 37 milliards de Bq/g et pour l'Uranium 238, seulement 12 000 Bq/g, soit environ 3 millions de fois faible que pour le radium.

L'activité massique d'une roche est d'environ 8 Bq/g

Le **Curie** fut défini comme l'activité d'un gramme de radium 226 donc : 1 Curie = 37 milliards de Bq

Courbe de décroissance radioactive

En étudiant l'activité d'un échantillon d'une substance radioactive, on aboutit à un diagramme de l'activité en fonction du temps d'un type qualifié de **décroissance exponentielle** à l'allure suivante :



Courbe de décroissance radioactive de l'iode 131

A partir d'un tel diagramme on peut mathématiquement en déduire l'allure du diagramme du nombre de noyaux présents dans l'échantillon en fonction du temps. Ce diagramme a une allure semblable et est appelé **courbe de décroissance radioactive**.

Ce diagramme présente deux propriétés remarquables :

- La proportion de noyaux se désintégrant sur une période donnée est constante. Ainsi pour le diagramme de l'iode 131, la moitié des noyaux radioactifs présents dans un échantillon se désintègrent sur une période de 8 jours.
- **Le temps nécessaire pour voir disparaître la moitié des noyaux présents à une date donnée est toujours le même et est appelé demi-vie ou période radioactive**

Datation au carbone 14

Une des applications de la courbe de décroissance radioactive est la datation au carbone 14.

Le carbone 14 est un isotope du carbone 12 et contient 8 neutrons soit 2 de plus que ce dernier.

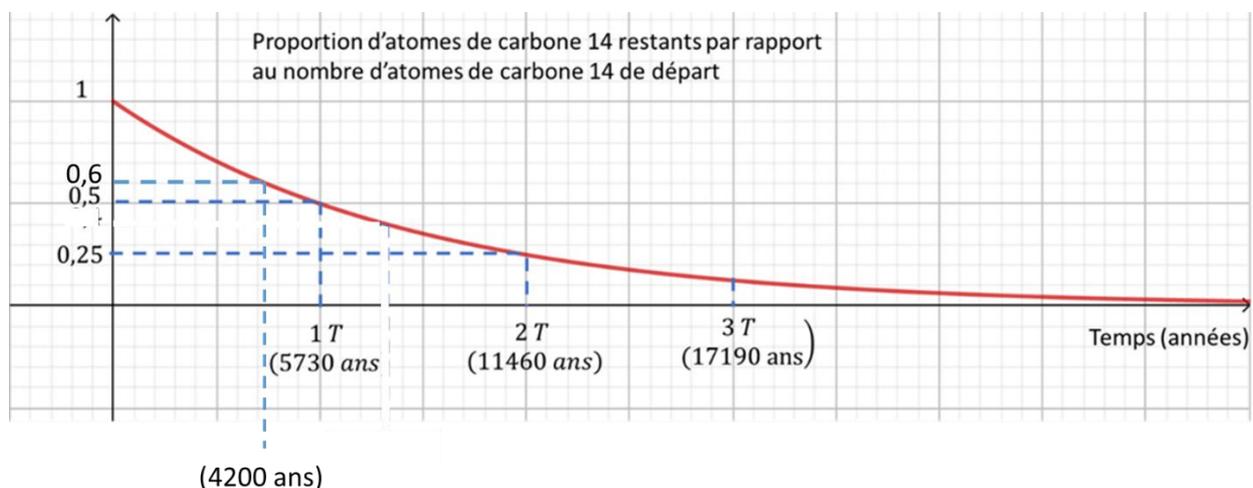
Il est généré par la transmutation d'azote 14 sous l'action de rayons cosmiques.

Le carbone 14 est radioactif avec une demi-vie égale à 5730 ans. Il peut être utilisé pour dater des corps ou des objets jusqu'à 40 000 ans dans le passé.

Exemple d'usage :

Sur une momie découverte en Egypte, on prélève un échantillon et on en mesure la teneur en carbone 14. On compare cette teneur avec celle relevée sur des échantillons semblables prélevés sur des personnes récemment décédées. On constate que la proportion de carbone 14 est pour la momie de 40 % inférieure à celle d'un individu contemporain.

La teneur en carbone 14 étant en proportion constante dans les organismes vivants, conserve de ce fait la même valeur au cours des siècles concernés par la datation. Mais, à la mort de l'être vivant, le carbone n'étant plus renouvelé, la proportion de carbone 14 diminue selon la courbe de décroissance radioactive donnée ci-dessous :



Il y a alors deux façons d'évaluer l'âge de la momie :

1^{ère} façon : graphiquement

On porte sur l'axe des ordonnées la valeur 0,6, car si la proportion a diminué de 40%, elle est de 60% de ce qu'elle était initialement, et on cherche l'antécédent de 0,6 à savoir environ 4200 ans

2^{ème} façon : Par la fonction mathématique (niveau terminale)

Il suffit de constater que l'on a :

$$f(n T) = 2^{-n}$$

Soit, en posant $n T = t$ de telle sorte que $n = t/T$:

Cette méthode est plus précise. On peut démontrer que la fonction mathématique est de la forme

$$f(t) = 2^{-\frac{t}{T}} = e^{-\text{Ln}(2)\frac{t}{T}}$$

Il suffit alors de résoudre :

$$f(t) = 0,6$$

Ce qui conduit à :

$$t = - \frac{5730 \times \text{Ln}(0,6)}{\text{Ln}(2)} \approx 4223 \text{ ans}$$

On peut se contenter, au niveau première, de définir la fonction $f(t)$ dans sa calculatrice en tapant $2^{-(t/5730)}$ et en demandant un tableau de valeurs en partant de 0 par pas de 1000 pour trouver un encadrement entre 4000 et 5000 puis en repartant de 4000 par pas de 100 pour trouver entre 4200 et 4300 puis en repartant de 4200 par pas de 10 et ainsi de suite mais inutile de donner une trop grande précision qui ne serait pas significative compte tenu de la précision des mesures.

Plus le corps à dater est âgé, plus grande est l'imprécision

Au-delà de 8 périodes, soit environ 45 000 ans, la teneur en carbone 14 devient si faible (une division par $2^8 = 256$ a été opérée) que la datation devient impossible par trop grande imprécision.

4 Equations de désintégrations radioactives

A l'aide d'un instrument appelé **spectromètre de masse**, on peut mesurer les masses des particules chargées, comme celles concernées dans les rayonnements d'électrons, de positons et de noyaux d'hélium.

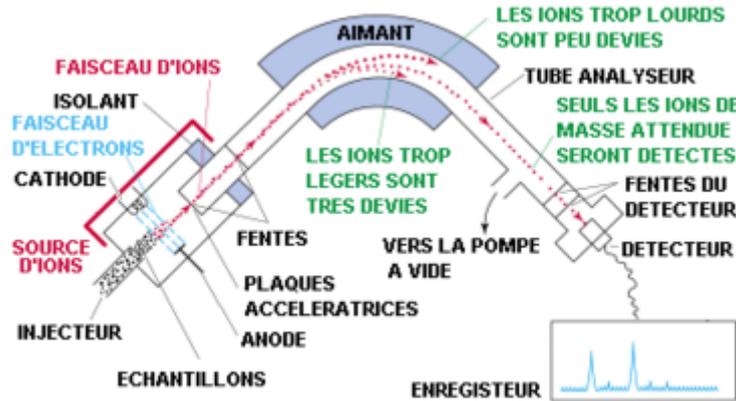
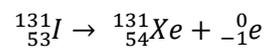


Schéma de principe d'un spectromètre de masse

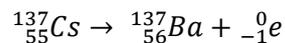
En appliquant une règle de conservation des nombres de masse et de conservation de la charge, on peut alors caractériser les désintégrations par une équation.

Ainsi, la désintégration de l'iode 131 produit un rayonnement d'électrons, dit rayonnement beta moins de symbole β^- et l'équation de la désintégration s'écrit :

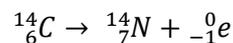


Cette désintégration s'accompagne d'une émission de rayons gamma.

Celle du Césium 137 s'écrit :



Et celle du carbone 14 :



A noter que pour les trois, il y a un excès de neutrons par rapport aux protons. Un neutron se transmute donc en proton en émettant un électron.

Mais quand c'est le contraire, le rayonnement peut être constitué de positons comme dans cet exemple du néon 19

