

Thème 1 : Constitution et transformation de la matière

Partie 2B. Evolution temporelle d'un système - transformation nucléaire

CHAP 06-ACT EXP Radioactivité : caractère aléatoire + décroissance radioactive

Objectifs:

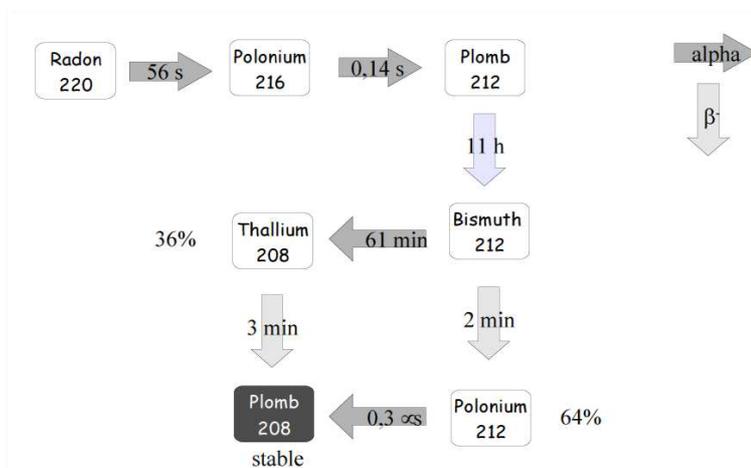
- montrer comment un phénomène aléatoire au niveau microscopique peut obéir à une loi de probabilité à l'échelle macroscopique.
- Etudier l'évolution temporelle de la radioactivité naturelle du radon 220
- Déterminer la demi-vie du radon 220 à partir de la loi de décroissance radioactive

Partie A : Caractère aléatoire du phénomène de désintégration radioactive

1) Aspect microscopique : comportement individuel d'un noyau

Le radon 220 se désintègre en polonium 216 avec une demi-vie de 56 s. Au bout de 20 min environ après le prélèvement on peut considérer qu'il ne reste plus de radon 220.

Le polonium est lui aussi radioactif. Ci-dessous le diagramme des descendants avec leur demi-vie:



La fiole scintillante ne peut détecter que les désintégrations alpha. On observera donc les désintégrations du bismuth 212 entre 20 minutes et 1 heure après le prélèvement.

2) Aspect macroscopique : comportement d'une population de noyaux

On utilise un appareil muni d'un scintillateur qui permet de déterminer le nombre de particules reçues par le détecteur pendant un intervalle de temps Δt .

Le radon 220 est recueilli dans une fiole dont la paroi latérale est tapissée de sulfure de zinc. Cette fiole, dont le fond est transparent, est placée dans la chambre d'un photomultiplicateur. Lorsqu'une particule α heurte la paroi, une gerbe de photons est émise par fluorescence dans le domaine du visible.

Le photomultiplicateur transforme cette énergie lumineuse en une décharge électrique qui est comptabilisée.

A chaque particule α produite, donc pour chaque noyau radioactif désintégré, le détecteur capte une décharge qu'il comptabilise.

Compte tenu de l'efficacité du détecteur, nécessairement inférieure à 100% mais constante, **le nombre d'événements détectés sur une durée Δt fixée est proportionnel au nombre de noyaux qui se sont désintégrés.**

La source radioactive est du Rn, radioactive alpha. On effectue 100 comptages successifs d'une durée $\Delta t = 5$ s chacun.

Le nombre de fois où on obtient le nombre de désintégrations n_i est notée f_i et représente la fréquence.

3) Exploitation

a) Disposer les résultats dans un tableau

n_i Nombre de désintégrations enregistrées										
f_i Nombre de fois où chaque valeur de n_i a été obtenue										

- b) Tracer l'histogramme des fréquences représentant f_i en fonction de n_i
- c) Quelle caractéristique du phénomène de la radioactivité ces résultats mettent-ils en évidence ?
- d) A l'aide de votre calculatrice ou d'un tableur EXEL, calculer
- la valeur moyenne $\bar{n} = \frac{\sum_i n_i f_i}{\sum_i f_i}$
 - la variance $v = \frac{\sum_i f_i (n_i - \bar{n})^2}{\sum_i f_i}$
 - et l'écart type $\sigma = \sqrt{v}$
- e) Déterminer la valeur la plus probable n_m du nombre de désintégrations en 5 secondes.
- f) Quelle est la probabilité pour que la valeur de n appartienne à l'intervalle $[\bar{n} - 2\sigma; \bar{n} + 2\sigma]$?

4) Interprétation

Un phénomène aléatoire au niveau microscopique peut obéir à une loi de probabilité à l'échelle macroscopique.

La variance et l'écart type sont *des* grandeurs qui permettent d'évaluer la dispersion des valeurs aléatoires obtenues autour de la valeur moyenne.

Définitions statistiques

- **Valeur moyenne** du nombre de comptages : $\bar{x} = \sum x_i f_i / \sum f_i$
- **L'écart type** $\sigma = \sqrt{[\sum (x_i - \bar{x})^2 \cdot f_i / \sum f_i]}$, est une grandeur qui renseigne sur la distribution des valeurs par rapport à la moyenne.
- **L'intervalle de confiance** défini comme étant égal à la valeur moyenne + ou - deux fois l'écart type $[\bar{x} - 2\sigma; \bar{x} + 2\sigma]$ possède un niveau de confiance de 95 %
- **Valeur la plus probable** : elle correspond au résultat de comptage ayant la fréquence la plus élevée.

On fait l'hypothèse que la probabilité de désintégration d'un noyau est proportionnelle à la durée d'observation.

Lorsque le nombre de comptages est grand, on vérifie que la loi de désintégration est un phénomène aléatoire qui suit une « loi de Poisson » ; La caractéristique de cette loi est que l'écart type est proche de la racine carré de la moyenne et la valeur la plus probable est égale à la valeur moyenne. C'est une loi statistique.

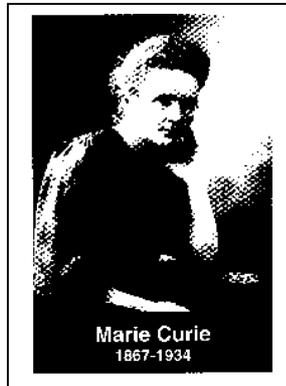
On a 95 % (dans cet exemple) de chance que le nombre de désintégrations mesuré soit compris dans l'intervalle de confiance.

Partie B : Décroissance radioactive

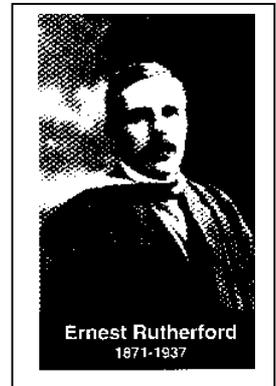
I. ETUDE PRELIMINAIRE SUR LE RADON

1) Les familles radioactives

Le radon $^{220}_{86}\text{Rn}$, et le radon $^{222}_{86}\text{Rn}$, sont deux isotopes radioactifs du radon. Ce gaz de la famille des gaz chimiquement inertes (dernière colonne du tableau périodique des éléments) est émis par les roches granitiques et schisteuses. Ces roches contiennent dans des proportions très variables deux radioéléments naturels, l'uranium et le thorium. Ceux-ci sont à l'origine des émanations de radon qui peuvent s'accumuler en plus ou moins grande quantité dans les bâtiments mal aérés.



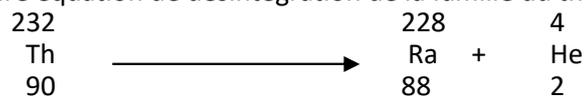
A partir de 1903 les expériences et les découvertes de **Pierre et Marie CURIE** ainsi que celles de **Ernest RUTHERFORD** et de **Frédéric SODDY**, ont démontré que les radioéléments se désintégraient en cascade et que l'uranium et le thorium étaient à l'origine de deux grandes familles radioactives. Les diagrammes de ces deux familles figurent en annexe.



2) Les transmutations radioactives

Les désintégrations qui conservent le nombre de masse A (flèches horizontales bleues des diagrammes) sont des désintégrations β , les autres (les plus fréquentes) sont des désintégrations α .

Par exemple, voici la première équation de désintégration de la famille du thorium



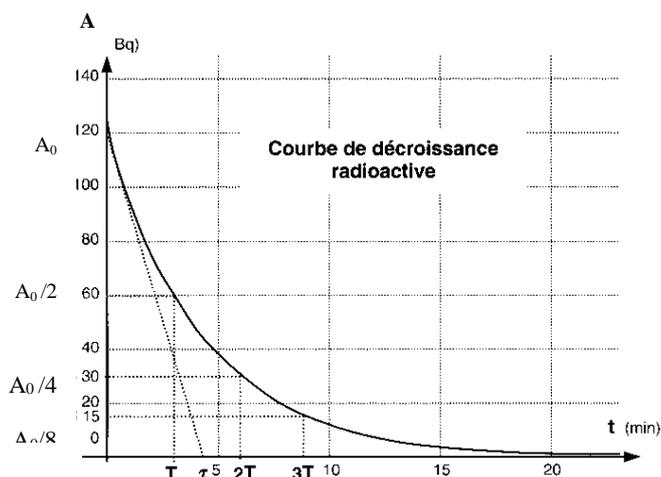
- Quelles sont les deux lois de conservation vérifiées par cette équation de désintégration?
- Dans la famille du thorium, écrire toutes les équations de désintégration successives jusqu'au radon $^{220}_{86}\text{Rn}$.
- De même dans la famille de l'uranium, écrire les équations de désintégration successives aboutissant au radon $^{222}_{86}\text{Rn}$.
- $^{220}_{86}\text{Rn}$ et $^{222}_{86}\text{Rn}$ sont des isotopes du radon. Rappeler la définition de deux isotopes.

3) La demi-vie d'un radioélément

Dans les diagrammes des familles radioactives de l'uranium et du thorium, la *demi-vie* (autrefois appelée *période radioactive*) est inscrite sous chaque élément.

- Quelles sont les demi-vies du $^{220}_{86}\text{Rn}$ et du $^{222}_{86}\text{Rn}$?
- A l'aide du schéma ci-dessous retrouve et donne la définition de la demi-vie d'un radioélément. Quelle est la valeur de T mesurée sur ce schéma ?

A représente l'activité ou nombre de désintégrations par seconde (son unité est le becquerel Bq).



- c) En chimie, au début de l'année, tu as rencontré une durée similaire dans une expérience de cinétique chimique, quelle était son nom ?
- d) A quel modèle mathématique obéit la décroissance d'un élément radioactif?
- e) Une autre technique permet de déterminer T on trace la tangente à cette courbe à la date t=0 et on mesure l'abscisse τ de son intersection avec axe des temps.

On démontre en cours que cette abscisse vérifie la relation

$$T = \tau \cdot \ln 2$$

(ln 2 est le logarithme népérien de 2)

- f) Quel nom donne-t-on à la grandeur τ ? Quelle est son unité ?
- g) Mesure τ sur le schéma et montre que la relation précédente est vérifiée.
- h) Quelle est la valeur de τ dans le cas du $^{220}_{86}\text{Rn}$ et dans celui du $^{222}_{86}\text{Rn}$?

II. DEMI-VIE DU RADON 220

1) Protocole expérimental

L'Alsace est une des régions où les teneurs en radon sont les plus basses de France. Ceci ne permet pas de réaliser une mesure expérimentale à partir d'un prélèvement fait dans notre environnement.

On dispose d'un générateur de Radon : fiole hermétique contenant des radioéléments du thorium qui génère du gaz Radon.

Prélever un échantillon d'air en procédant de la façon suivante :

- Créer une dépression suffisante (~ -90 kPa) dans la fiole à scintillation à l'aide de la pompe à vide manuelle.
- Relier, **dans l'ordre**, le générateur de Radon (**fiole NOIRE-embout BLANC**) à la fiole à scintillation (**fiole VERTE-embout NOIR**) : la fiole se remplit par différence de pression.
- Déconnecter, **dans l'ordre**, la fiole à scintillation puis le générateur de Radon.
- Introduire la fiole à scintillation contenant l'échantillon d'air à analyser dans le compteur de radioactivité.

Les particules α émises interagissent avec le sulfure de zinc qui tapisse les parois de la fiole à scintillations en émettant des photons qui sont détectés par le compteur de radioactivité (photomultiplicateur).

Toutes les 30 s, mesurer (MESURE) le nombre total de désintégrations N_{des} détectées pendant un temps de comptage (T.COMPT) $\Delta t = 5$ s.

Regrouper les valeurs obtenues dans le tableau suivant:

Date (s)	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270
N_{des}										
N_{220}										
$A = N_{220} / \Delta t$ (Bq)										

Date (s)	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570
N_{des}										
N_{220}										
$A = N_{220} / \Delta t$ (Bq)										

2) Exploitation

- a) Que constate-t-on concernant les dernières mesures de comptage ? Quelle valeur moyenne retenir ?
 - b) Quelle est l'origine de ces désintégrations "résiduelles" ?
- Aide: l'échantillon émetteur de radon contient des radioéléments des deux familles présentées plus haut.**
- c) Remplir les deux dernières lignes du tableau avec le nombre de désintégration attribuable au radon 220 et l'activité correspondante.
 - d) Tracer la courbe $A = f(t)$ sur papier millimétré ou en utilisant un tableur.
 - e) Déterminer la valeur de la demi-vie T du radon 220, en utilisant les deux méthodes vues précédemment.
 - f) Comparer la valeur obtenue à celle fournie dans le diagramme de la famille du thorium.

Remarque : on pourra éventuellement interfacer le compteur de radioactivité à l'ordinateur.

Le logiciel « Radioactivité naturelle » permet de paramétrer les comptages en nombre et en durée et de réaliser le traitement des données (tracé de la courbe de décroissance radioactive, modélisation....)

III. APPLICATION: DATATION AU CARBONE 14

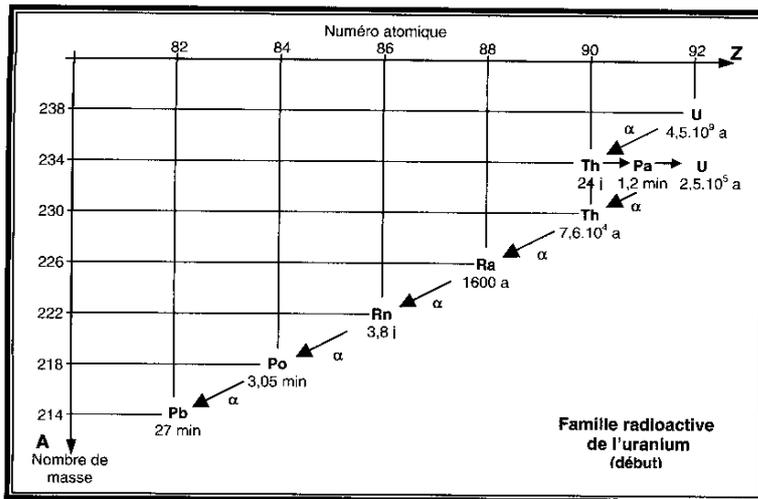
Attention: exercice sans calculatrice

Le carbone 14 est un isotope radioactif du carbone 12 et il existe en proportion constante dans l'atmosphère. Les plantes, en respirant, absorbent le dioxyde de carbone provenant indifféremment du carbone 12 et du carbone 14, mais à leur mort cette absorption cesse et le carbone 14 qu'elles contiennent se désintègre avec une demi-vie $t_{1/2} = 5\,730$ ans. Dans un échantillon de bois vivant, la proportion d'atomes de carbone 14 par rapport au nombre d'atomes de carbone 12 est $r_0 = 10^{-12}$. Quand le bois est mort, le rapport r peut s'écrire $r = r_0 e^{-\lambda t}$. Au cours d'une fouille archéologique, la mesure du rapport $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$ sur une statuette en bois a donné $0,2 \cdot 10^{-12}$.

- Expliquer en quelques lignes le principe de la datation au carbone 14.
- Ecrire l'équation de désintégration du carbone 14 émetteur β^- sachant que l'élément de nombre de charge $Z = 7$ est l'azote. Quels sont les différents rayonnements émis lors de cette désintégration ?
- Donner la valeur du rapport r , 5 730 ans puis 11 460 ans après la fabrication de la statuette.
- Construire la courbe $r/r_0 = f(t)$ en choisissant comme échelle, en abscisse 2 cm pour $t_{1/2} = 5\,730$ ans et en ordonnée 1 cm pour $r/r_0 = 0,1$. On placera seulement les points correspondants à $t = 0$; $t = t_{1/2}$; $t = 2 t_{1/2}$; $t = 3 t_{1/2}$; $t = 4 t_{1/2}$; $t = 5 t_{1/2}$; $t = 6 t_{1/2}$.
- En utilisant le graphe de la question précédente, déterminer l'âge de la statuette.
- Pourquoi ne peut-on pas, avec cette méthode, dater des objets ayant quelques millions d'années ?

Document annexe

Famille radioactive de l'uranium



Famille radioactive du thorium

