

## Radioactivité et mesure du temps

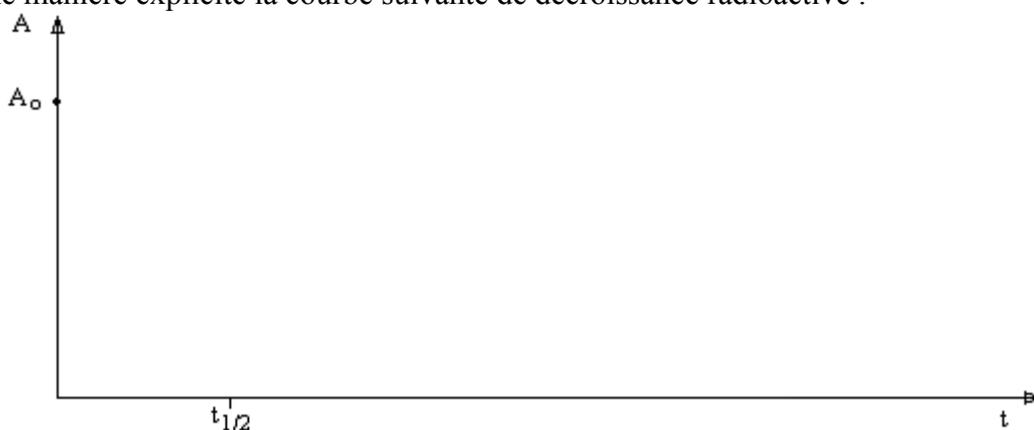
La mesure du temps s'effectue aujourd'hui avec une précision qui laisse parfois le profane mais dont il profite néanmoins, à son insu, à travers le GPS ou encore les horloges à quartz pilotées par l'horloge atomique de Genève.

Cette mesure du temps, plus exactement d'une durée, nécessite la synchronisation des horloges avec l'état initial et l'état final du système dont on veut étudier l'évolution temporelle : une horloge doit être présente à l'instant initial et à l'instant final; ce n'est pas nécessairement la même horloge: nous mesurons ainsi par exemple la durée d'un trajet ferroviaire, soit avec notre propre montre, soit avec celles des gares de départ et d'arrivée.

Mais que vaut donc cette précision lorsqu'il s'agit de mesurer des durées géologiques ? Les exercices qui suivent illustrent les méthodes utilisées .

### A-Mesure d'une durée par datation au carbone $^{14}\text{C}$

- 1- Il est très facile de tracer une courbe de décroissance radioactive si l'on connaît la demi-vie de l'échantillon et le nombre initial d'atomes radioactifs. Compléter avec un soin tout particulier et d'une manière explicite la courbe suivante de décroissance radioactive .



- 2- Pour dater un échantillon de bois ancien, on compare l'activité  $A$  de ce bois contenant du carbone 14 à celle d'un échantillon actuel de ce bois de même masse .

Données : demi-vie du carbone 14 = 5570 ans

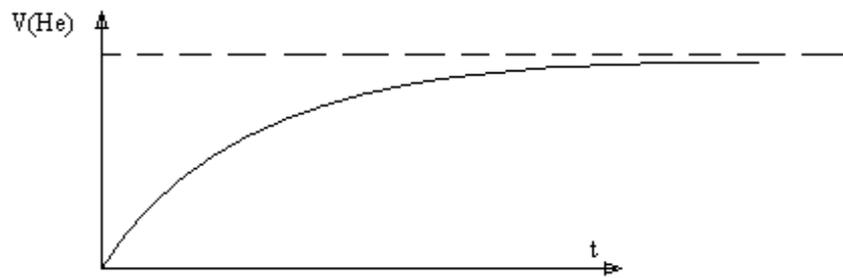
$$A = 560 \text{ Bq}$$

$$\text{Activité de l'échantillon actuel} = 816 \text{ Bq}$$

- 2-a- Quelle hypothèse faut-il formuler pour calculer l'âge de l'échantillon de bois ancien?  
2-b- Calculer cet âge.

### B- Mesure d'une durée par une mesure de volume

- 1- Ecrire l'équation de désintégration du bismuth  $^{212}_{83}\text{Bi}$  radioactif émetteur  $\alpha$  de demi-vie  $t_{1/2} = 60 \text{ min}$  sachant que cette émission s'accompagne d'un rayonnement  $\gamma$  et que le nouveau noyau produit correspond à l'élément thallium Tl .
- 2- Un échantillon a une activité initiale de  $3,13 \cdot 10^{16} \text{ Bq}$
- 2-a- Calculer sa constante radioactive
- 2-b- Quelle relation existe-t-il entre  $A$  et  $dN/dt$  ? En déduire le nombre initial,  $N_0$  de noyaux radioactifs.
- 2-c- Calculer le volume d'hélium produit dans les conditions normales, en une minute au moment initial, en supposant que l'activité reste constante pendant ce laps de temps.
- Données: volume molaire  $= V_m = 22,4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$   $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- 3- L'allure de la courbe donnant le volume total d'hélium libéré est la suivante .



3-a- justifier l'existence d'une asymptote et déterminer son ordonnée.

3-b- Pour mesurer ce volume qui permet de déterminer une durée , on songe à placer l'échantillon radioactif dans de l'eau et à récupérer le gaz par simple déplacement d'eau. Quel inconvénient entrevoyez -vous dans ce procédé ?

### C- Une application déconcertante

La question A et le texte d'introduction laissent imaginer que la mesure du temps par la décroissance radioactive n'intéresse que des événements très éloignés dans le temps

1-Indiquer les raisons qui accèdent cette affirmation

2- Malgré la réponse précédente il peut être très délicat de synchroniser des horloges pour des événement très rapprochés dans le temps .

L'expérience qui suit apporte une solution dans le même temps où elle débouche sur un résultat surprenant.

Les muons sont les particules les plus nombreuses du rayonnement cosmique ; particules de masse environ égale à 200 fois celle des électrons ; ils se désintègrent spontanément en un électron , un neutrino et un anti-neutrino avec une demi-vie égale à  $1,53 \cdot 10^{-6}$  s.

On peut donc mettre à profit cette demi-vie pour mesurer le temps comme cela se fait pour la datation au carbone 14.

L'expérience consiste à mesurer le temps mis par les muons pour parcourir la distance verticale séparant un détecteur situé au sommet du mont Washington (New Hampshire) et un détecteur situé 1910 m plus bas .

Des filtres de vitesse adaptés à la charge des muons permettent de sélectionner les muons ayant une vitesse comprise entre  $0,9950c$  et  $0,9954c$ .

Le détecteur supérieur enregistre alors  $563 \pm 10$  muons par heure animés de cette vitesse.

Il est clair que par suite de la décroissance radioactive , à cause de la durée du parcours effectué la population de muons aura diminué.

a- Calculer la durée du parcours de l'échantillon de muons si l'on considère que par suite de la résistance de l'air la vitesse réelle est égale à  $0,992 c$ . ( $c=3.00 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>)

b- Combien de muons de cet échantillon devraient être présents à l'enregistrement du détecteur inférieur ?

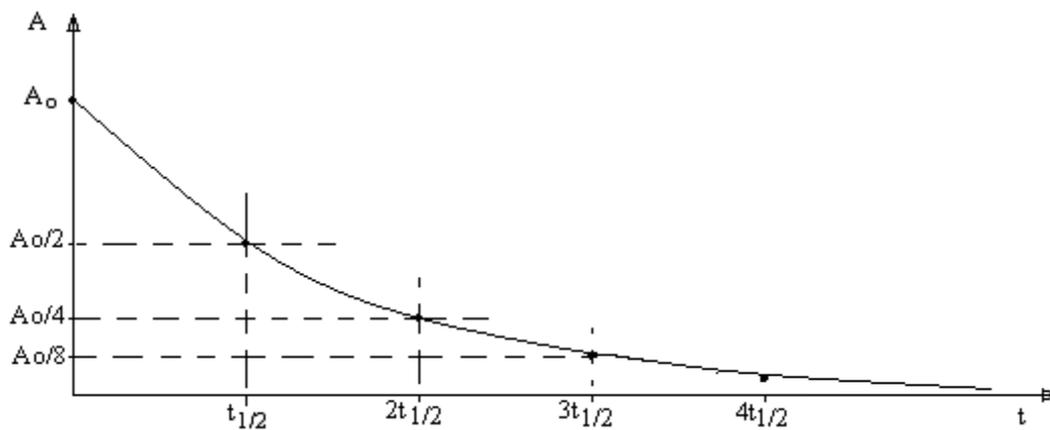
c- L'appareil détecte en réalité  $408 \pm 10$  muons par heure, soit une valeur notablement différente. L'interprétation tient au fait qu'à cette vitesse très proche de celle de la lumière, la particule est considérée comme relativiste et qu'à ce titre elle n'obéit plus aux lois de Newton.

- Calculer la durée  $t$  de parcours des muons à partir des résultats du détecteur inférieur.

En déduire le rapport  $r$  entre le temps propre « vécu » par les muons au cours de leur chute et le temps impropre mesuré par les observateurs.

## Réponses

A1



**A2a** La teneur en carbone 14 d'un bois vivant n'a pas changé

**A2b** On sait que  $A=A_0e^{-\lambda t}$  avec  $\lambda = \text{Ln}2 / t_{1/2}$

$$A/A_0 = e^{-\lambda t} \quad \text{Ln}(A/A_0) = -\lambda t \quad t = -\text{Ln}(A/A_0) / \lambda \quad \text{AN: } t = 3025 \text{ ans}$$



**B2a**  $\lambda = \text{Ln}2 / t_{1/2} = 1,93 \cdot 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

**B2b**  $A = -dN/dt$  or  $N = N_0 e^{-\lambda t} \Rightarrow A = \lambda N$  soit  $A_0 = \lambda N_0$      $N_0 = A_0 / \lambda$      $N_0 = 1,62 \cdot 10^{20}$  atomes

**B2c** En une minute le nombre d'atomes désintégrés est égal à  $\lambda N_0 t$  ;

soit  $3,13 \cdot 10^{16} \times 60 = 1,88 \cdot 10^{18}$  atomes.

Ce qui représente une quantité de matière  $n = 1,88 \cdot 10^{18} / N_A = 3,12 \cdot 10^{-6} \text{ mol}$  soit un volume de gaz égal à  $nV_M = 6,99 \cdot 10^{-3} \text{ L}$

**B3a** Il ne reste alors plus d'atomes radioactifs dans l'échantillon

Le volume total correspond ainsi à la quantité de matière  $n_0 = N_0 / N_A$  et à un volume  $V_f$  égal à :

$$V_f = (N_0 / N_A) \cdot V_M = 6,03 \cdot 10^{-3} \text{ L} = 6,03 \text{ mL}$$

**B3b** Le bismuth pourrait réagir chimiquement sur l'eau et bien que cela n'affecterait pas la désintégration il pourrait alors s'avérer impossible de mesurer le volume.

**C1** D'une part on ne peut pas imaginer l'existence d'horloges aux époques préhistoriques et d'autre part, pour des raisons évidentes de précision, il semble bien plus préférable d'utiliser des horloges à quartz aujourd'hui.

**C2a**  $T_i = 1910 / (0,992 \times 3 \cdot 10^8) = 6,4 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

**C2b**  $= t_{1/2} / \text{Ln}2 = 2,21 \cdot 10^{-6} \text{ s}$

$$N = N_0 e^{-t/\tau} = 563 e^{-T_i/\tau} = 31$$

**C2c**  $N = N_0 e^{-t/\tau}$      $408 = 563 e^{-t/\tau}$

$$\ln(408/563) = -t/\tau$$

$$t = -\tau \text{Ln}(408/563)$$

$t = 7,12 \cdot 10^{-7} \text{ s}$  C'est le temps propre de parcours des muons, celui mesuré par les muons pendant leur trajet.

La différence est importante et ne peut en aucun cas être mise sur le compte d'une quelconque imprécision des appareils de mesure.

Le rapport des deux valeurs est égal à 0,11 ( $7,12 \cdot 10^{-7} / 6,4 \cdot 10^{-6}$ ) très proche du résultat théorique prévu par la théorie de la relativité restreinte (0,13).