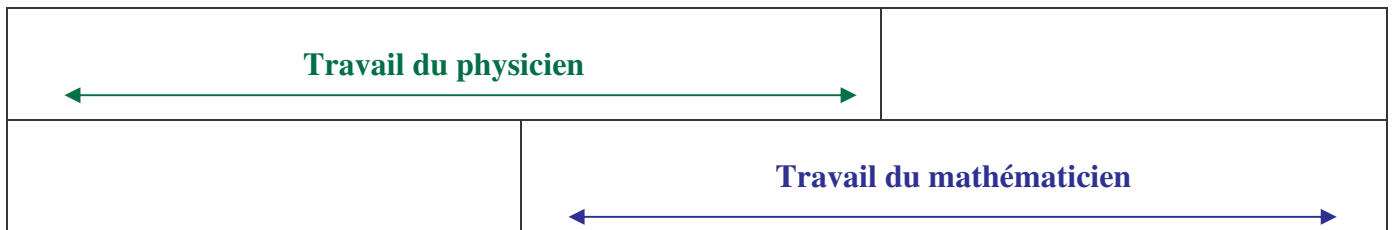


Dans la progression concertée proposée, la modélisation de la décroissance radioactive et l'étude des équations différentielles  $y' = a y$  sont menées conjointement en mathématiques et en physique.

Le schéma suivant met en évidence l'articulation entre les deux disciplines.

**Modélisation continue de la radioactivité**

Partie physique		Partie mathématique
Évolution d'une quantité d'un produit radioactif <ul style="list-style-type: none"> <li>• Expérimentations</li> <li>• Observations</li> <li>• <b>Principe physique</b> La quantité d'émission radioactive est proportionnelle à la quantité de matière radioactive : <math>\Delta N = -\lambda \times N \times \Delta t</math>.</li> <li>• <b>Prédiction</b></li> </ul> <b>Loi de décroissance exponentielle</b>	Choix <i>a priori</i> →  <b>Phase 1</b>  Traduction →	Une <b>fonction N</b> définie sur $[0; +\infty[$ à valeurs dans $[0; +\infty[$ continue et dérivable ...  <b>solution de l'équation différentielle</b> $N' = -\lambda \times N$ .
↓		↓  <b>Phase 2</b>  <b>Résolution de l'équation différentielle <math>y' = a y</math> sur <math>\mathbb{R}</math></b>
<b>Etude de la radioactivité</b>	←  <b>Phase 3</b>  Traduction et validation	<b>Résultat :</b> $N(t) = N(0) \exp(-\lambda t)$



Le travail concerté comporte trois phases successives :

1. Le professeur de physique introduit un principe s'appuyant sur des faits expérimentaux et qu'il traduit par la relation  $\Delta N = -\lambda \times N \times \Delta t$ .  
Le professeur de mathématiques choisit le modèle d'une fonction N continue et dérivable.  
Le principe physique est traduit par un objet mathématique : « une équation différentielle ».  
**Ce choix a priori n'est pas fait au hasard** : il est validé par la nécessité de trouver un théorème qui puisse s'interpréter par la loi de décroissance exponentielle prévue par le physicien.
2. La seconde phase est purement mathématique : un théorème est établi.
3. Ce travail mathématique débouche sur une formule, qu'il faut interpréter et valider.  
La collaboration entre le mathématicien et le physicien paraît ici essentielle.

Ce travail en trois phases impose des contraintes dans la progression de chacune des deux disciplines. L'expérience a montré que le choix présenté dans le tableau suivant est tout à fait satisfaisant. Non seulement il contribue au renforcement de la cohérence entre les disciplines scientifiques, mais il correspond également, en mathématiques, à une démarche en spirale.

Semaines	En mathématiques	En physique
1	<p><b>L'outil des dérivées</b> Ce chapitre est un « chapitre technique » qui ne nécessite pas la notion de limite. On ne prévoit pas de révisions systématiques : un QCM en classe peut servir de test diagnostique d'entrée dans l'étude permettant de situer les besoins des élèves sur les règles de dérivation, l'application au sens de variation et aux tangentes. Ce test peut engendrer des fiches de synthèse et un choix d'exercices pour un DM. En classe, on prend en charge la maîtrise des outils du physicien (écriture différentielle, vitesse et accélération) ainsi que les deux résultats suivants indispensables à l'étude de la fonction exponentielle :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Une fonction dont la dérivée est nulle sur un intervalle I est constante sur I.</li> <li>• La dérivation d'une fonction de type <math>f : x \mapsto f(x) = g(ax + b)</math>.</li> </ul> <p>Le cas général <math>f = g \circ u</math> fait l'objet d'un travail ultérieur, prévu semaine 14. <b>Voir aussi le lien « Dérivée : un outil pour le physicien »</b></p>	<p><b>En début d'année :</b> <b>Introduction à l'évolution temporelle des systèmes</b></p> <p><b>Avant la semaine 7 :</b> <b>Introduction de la radioactivité et du principe physique</b> <math>\Delta N = -\lambda \times N \times \Delta t</math>.</p> <p><b>Voir dans l'annexe 1 de ce document le TP « Radioactivité » et son corrigé ...</b></p>
2 et 3	<p><b>La fonction exponentielle</b> Recherche d'une fonction <math>f</math> dérivable sur <math>\mathbf{R}</math>, vérifiant <math>f' = f</math> et <math>f(0) = 1</math>. En ce début d'année, l'étude du comportement asymptotique est exclu, ce qui n'empêche pas quelques conjectures. Enfin, le fait de ne disposer de la dérivée d'une fonction composée <math>f = g \circ u</math> que dans le cas où la fonction <math>u</math> est affine, impose un choix d'exercices adaptés et cette « restriction » de début d'année est tout à fait souhaitable pour la maturation des savoirs et la progressivité des exigences.</p>	
5	<p><b>Introduction des logarithmes pour le physicien</b> Rappelons que le physicien a besoin du logarithme népérien pour l'étude de la décroissance radioactive : <b>voir le lien « logarithmes pour le physicien ».</b></p>	
7	<p><b>Résolution des équations différentielles du type <math>y' = a y</math></b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Entrée dans l'étude à partir du modèle expérimental obtenu en TP de physique</b> Passage de <math>\Delta N = -\lambda \times N \times \Delta t</math> à <math>N' = -\lambda \times N</math></li> <li>2. <b>Traitement mathématique de l'équation <math>y' = a y</math></b> Solution générale et solution particulière Allure des courbes</li> <li>3. <b>Retour au problème initial :</b> étude de la décroissance radioactive ; demi-vie (voir <a href="#">annexe 2</a>).</li> </ol>	
8		
9	<p><b>TP : Datation au carbone C14 (voir <a href="#">annexe 3</a>).</b></p>	

**Annexe 1**

**TP de Physique - RADIOACTIVITÉ**

**Objectifs :**

- acquérir une première approche de la radioactivité
- établir une relation entre le nombre de noyaux radioactifs d'un échantillon et la variation de ce nombre

**I Radioactivité**

Parmi tous les types de noyaux atomiques existant dans la nature, certains sont instables, c'est-à-dire qu'ils se transforment spontanément en d'autres noyaux ; cette transformation s'accompagne simultanément de l'émission d'une particule et d'un rayonnement électromagnétique. Ce phénomène s'appelle radioactivité.

**II Expérience**

On dispose d'un échantillon d'iode-131. Les noyaux d'iode-131 sont radioactifs, donc ils se désintègrent spontanément tel que décrit plus haut. Le nombre de noyaux d'iode-131 présents à la date  $t = 0$  est  $N_0 = 4,55 \cdot 10^{12}$ . On note  $N(t)$  le nombre de noyaux d'iode-131 encore présents dans l'échantillon à la date  $t$ . Un compteur de radioactivité permet de mesurer, toutes les 12 heures, un nombre  $n_{mes}(t)$  de désintégrations par seconde ; en fait il compte le nombre de particules émises qu'il reçoit. Le compteur possède une fenêtre d'entrée d'aire  $A = 65 \text{ mm}^2$ . Cette fenêtre est placée à 10,0 cm de l'échantillon supposé ponctuel et est perpendiculaire à la direction moyenne du déplacement des particules émises qui l'atteignent. Les particules sont émises par l'échantillon dans toutes les directions de l'espace.

**III Mesures**

$t(\text{h})$	$n_{mes}(t) (\text{s}^{-1})$	$n(t) (\text{s}^{-1})$	$\Delta N(t)$	$N(t)$	$n(t)/N(t) (\text{s}^{-1})$
0	$2,35 \cdot 10^3$			$4,55 \cdot 10^{12}$	
12	$2,25 \cdot 10^3$				
24	$2,16 \cdot 10^3$				
36	$2,06 \cdot 10^3$				
48	$1,98 \cdot 10^3$				
60	$1,89 \cdot 10^3$				
72	$1,81 \cdot 10^3$				
84	$1,74 \cdot 10^3$				
96	$1,66 \cdot 10^3$				
108	$1,59 \cdot 10^3$				
120	$1,53 \cdot 10^3$				
132	$1,46 \cdot 10^3$				
144	$1,40 \cdot 10^3$				
156	$1,34 \cdot 10^3$				
168	$1,28 \cdot 10^3$				
180	$1,23 \cdot 10^3$				
192	$1,18 \cdot 10^3$				
204	$1,13 \cdot 10^3$				
216	$1,08 \cdot 10^3$				
228	$1,03 \cdot 10^3$				
240	$0,99 \cdot 10^3$				

## IV Exploitation

### 1) Nombre total de désintégrations par seconde

- a) Pourquoi le nombre  $n(t)$  de désintégrations par seconde de l'échantillon est-il très supérieur au résultat  $n_{mes}(t)$  des mesures ?
- b) Calculer la valeur du rapport  $\frac{n_{mes}(t)}{n(t)}$ , sachant que l'aire d'une sphère de rayon  $R$  a pour valeur  $4 \pi R^2$ . En déduire une relation entre  $n(t)$  et  $n_{mes}(t)$ .
- c) Compléter la 3<sup>e</sup> colonne du tableau.

### 2) Variation du nombre de noyaux de l'échantillon

- a) Quelle est la relation entre la variation  $\Delta N(t)$  du nombre de noyaux d'iode-131 (en la considérant comme une valeur algébrique) pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$  séparant deux mesures, et le nombre  $n(t)$  de désintégrations par seconde de l'échantillon ? On considérera en première approximation que le nombre  $n(t)$  de désintégrations par seconde reste constant pendant l'intervalle de temps  $\Delta t$ .
- b) Compléter la 4<sup>e</sup> colonne du tableau.

### 3) Nombre de noyaux présents dans l'échantillon à la date $t$

Compléter la 5<sup>e</sup> colonne du tableau.

## V Conclusion : relation entre $\Delta N$ , $N$ et $\Delta t$

- a) Compléter la 6<sup>e</sup> colonne du tableau.
- b) Que peut-on remarquer alors ?
- c) Conclure, en utilisant la relation établie au IV 2)a), afin d'écrire une relation entre  $\Delta N$ ,  $N$  et  $\Delta t$ .

## Correction du TP de physique-RADIOACTIVITÉ

## III Mesures

$t(h)$	$n_{mes}(t) (s^{-1})$	$n(t) (s^{-1})$	$\Delta N(t)$	$N(t)$	$n(t)/N(t) (s^{-1})$
0	$2,35 \cdot 10^3$	$4,54 \cdot 10^6$	$-1,96 \cdot 10^{11}$	$4,55 \cdot 10^{12}$	$0,998 \cdot 10^{-6}$
12	$2,25 \cdot 10^3$	$4,35 \cdot 10^6$	$-1,88 \cdot 10^{11}$	$4,35 \cdot 10^{12}$	$0,999 \cdot 10^{-6}$
24	$2,16 \cdot 10^3$	$4,18 \cdot 10^6$	$-1,80 \cdot 10^{11}$	$4,17 \cdot 10^{12}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
36	$2,06 \cdot 10^3$	$3,98 \cdot 10^6$	$-1,72 \cdot 10^{11}$	$3,99 \cdot 10^{12}$	$0,999 \cdot 10^{-6}$
48	$1,98 \cdot 10^3$	$3,83 \cdot 10^6$	$-1,65 \cdot 10^{11}$	$3,81 \cdot 10^{12}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
60	$1,89 \cdot 10^3$	$3,65 \cdot 10^6$	$-1,58 \cdot 10^{11}$	$3,65 \cdot 10^{12}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
72	$1,81 \cdot 10^3$	$3,50 \cdot 10^6$	$-1,51 \cdot 10^{11}$	$3,49 \cdot 10^{12}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
84	$1,74 \cdot 10^3$	$3,36 \cdot 10^6$	$-1,45 \cdot 10^{11}$	$3,34 \cdot 10^{12}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$
96	$1,66 \cdot 10^3$	$3,21 \cdot 10^6$	$-1,39 \cdot 10^{11}$	$3,19 \cdot 10^{12}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
108	$1,59 \cdot 10^3$	$3,07 \cdot 10^6$	$-1,33 \cdot 10^{11}$	$3,06 \cdot 10^{12}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$
120	$1,53 \cdot 10^3$	$2,96 \cdot 10^6$	$-1,28 \cdot 10^{11}$	$2,92 \cdot 10^{12}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$
132	$1,46 \cdot 10^3$	$2,82 \cdot 10^6$	$-1,22 \cdot 10^{11}$	$2,79 \cdot 10^{12}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$
144	$1,40 \cdot 10^3$	$2,71 \cdot 10^6$	$-1,17 \cdot 10^{11}$	$2,67 \cdot 10^{12}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$
156	$1,34 \cdot 10^3$	$2,59 \cdot 10^6$	$-1,12 \cdot 10^{11}$	$2,56 \cdot 10^{12}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$
168	$1,28 \cdot 10^3$	$2,47 \cdot 10^6$	$-1,07 \cdot 10^{11}$	$2,44 \cdot 10^{12}$	$1,01 \cdot 10^{-6}$
180	$1,23 \cdot 10^3$	$2,38 \cdot 10^6$	$-1,03 \cdot 10^{11}$	$2,34 \cdot 10^{12}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$
192	$1,18 \cdot 10^3$	$2,28 \cdot 10^6$	$-9,85 \cdot 10^{10}$	$2,23 \cdot 10^{12}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$
204	$1,13 \cdot 10^3$	$2,18 \cdot 10^6$	$-9,44 \cdot 10^{10}$	$2,14 \cdot 10^{12}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$
216	$1,08 \cdot 10^3$	$2,09 \cdot 10^6$	$-9,02 \cdot 10^{10}$	$2,04 \cdot 10^{12}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$
228	$1,03 \cdot 10^3$	$1,99 \cdot 10^6$	$-8,60 \cdot 10^{10}$	$1,95 \cdot 10^{12}$	$1,02 \cdot 10^{-6}$
240	$0,99 \cdot 10^3$	$1,91 \cdot 10^6$	$-8,27 \cdot 10^{10}$	$1,87 \cdot 10^{12}$	$1,03 \cdot 10^{-6}$

## IV Exploitation

### 1) Nombre total de désintégrations par seconde

a) Les particules sont émises dans toutes les directions, alors que la fenêtre du compteur a une aire relativement faible. Ainsi le compteur ne reçoit que les particules émises dans un très petit nombre de directions, donc qu'une très petite partie des particules émises (le nombre  $n(t)$  de désintégrations étant égal au nombre total de particules émises et le résultat  $n_{mes}(t)$  des mesures étant égal au nombre de particules reçues par le compteur).

b)  $n_{mes}(t) \leftrightarrow$  aire  $A$  de la surface du détecteur

Si on considère les particules traversant la surface de la sphère de rayon  $R = 10,0 \text{ cm} = 100 \text{ mm}$ , distance entre la fenêtre du compteur et l'échantillon, seules celles traversant la surface d'aire  $A$  sont mesurées.

$$n(t) \leftrightarrow \text{aire } 4\pi R^2$$

En considérant que les particules sont émises dans toutes les directions

Par proportionnalité, on obtient : 
$$\frac{n_{mes}(t)}{n(t)} = \frac{A}{4\pi R^2} = \frac{65}{4\pi \times (100)^2} = 5,17 \cdot 10^{-4} .$$

Par conséquent : 
$$n(t) = \frac{n_{mes}(t)}{5,17 \cdot 10^{-4}} = n_{mes}(t) \times 1,93 \cdot 10^3 .$$

c) Il suffit d'appliquer la formule ci-dessus.

### 2) Variation du nombre de noyaux de l'échantillon

a) Le nombre de particules émises pendant la durée  $\Delta t$  est égal à  $n(t) \times \Delta t$ , en supposant que le nombre de particules émises par seconde est constant pendant cette durée.

La variation du nombre de noyaux  $\Delta N(t)$  est donc telle que  $|\Delta N(t)| = n(t) \times \Delta t$  (car à chaque désintégration et donc à chaque émission de particule, le nombre de noyaux diminue d'une unité).

Cette variation étant négative, on a :  $\Delta N(t) = - n(t) \times \Delta t$  (avec  $\Delta t = 12 \text{ h} = 12 \times 3600 \text{ s}$ )

b) Il suffit d'appliquer la formule ci-dessus.

### 3) Nombre de noyaux présents dans l'échantillon à la date $t$

Il suffit de faire  $N(t') = N(t) + \Delta N(t)$  : on ajoute à la valeur de la ligne précédente le  $\Delta N$  (négatif) de la ligne précédente.

## V Conclusion : relation entre $\Delta N$ , $N$ et $\Delta t$

b) Les valeurs sont sensiblement égales.

c) On peut donc écrire :  $\frac{n(t)}{N(t)} = \lambda$  où  $\lambda$  est une constante, d'où :  $n(t) = \lambda \times N(t)$

Or :  $\Delta N(t) = - n(t) \times \Delta t$  (trouvée au IV 2)a)

Par conséquent :  $\Delta N(t) = - \lambda \times N(t) \times \Delta t$ .

Relation obtenue :  $\Delta N = - \lambda \times N \times \Delta t$  avec  $\lambda = 10^{-6} \text{ s}^{-1}$  dans le cas de l'iode-131.

Rappelons le plan du chapitre de mathématiques dédié aux équations différentielles du type  $y' = a y$ .

1. **Entrée dans l'étude** à partir du modèle expérimental obtenu en TP de physique.  
Passage de  $\Delta N = -\lambda \times N \times \Delta t$ . à  $N' = -\lambda \times N$ .
2. **Traitement mathématique** de l'équation  $y' = a y$  :  
Solution générale et solution particulière. Allure des courbes.
3. **Retour au problème initial** : étude de la décroissance radioactive ; demi-vie.

**Nous développons ici le dernier point qui correspond à la validation du modèle obtenu.**

Ce travail est commun aux deux disciplines. On pourrait concevoir une séance animée par les deux professeurs.

On reprend le nombre  $N(t)$  de noyaux présents dans le corps radioactif à l'instant  $t$  et le modèle mathématique choisi : une fonction  $N$  solution de l'équation différentielle  $N' = -\lambda \times N$ , sur l'intervalle  $[0; +\infty[$ .

On connaît les fonctions solutions d'une équation différentielle du type  $y' = a y$ .

Il existe donc une constante réelle  $k$  telle que l'on ait  $N(t) = k e^{-\lambda t}$ , pour tout réel  $t \geq 0$ .

De plus on connaît le nombre  $N_0$  de noyaux présents à la date  $t = 0$ . D'où  $N(t) = N_0 e^{-\lambda t}$ , pour tout  $t \geq 0$ .

Pour l'iode-131, avec  $\lambda = 10^{-6} s^{-1}$  et  $N_0 = 4,55 \cdot 10^{12}$ , on a  $N(t) = 4,55 \times 10^{12} e^{-10^{-6} t}$  ( $t$  exprimé en secondes).

### Validation du modèle obtenu

- Etude du sens de variation de la fonction  $N$ .
- Création d'un tableau de valeurs avec un pas correspondant à 12h (attention aux unités).  
Comparaison avec le tableau de valeurs obtenu dans le TP de physique.

**Demi-vie**. « La demi-vie  $t_{1/2}$  d'un échantillon de noyaux radioactifs est la durée nécessaire pour que la moitié des noyaux radioactifs de l'échantillon présents à la date  $t$  soit désintégrée à la date  $t + t_{1/2}$  »

- Tracé sur la calculatrice de la courbe représentative de la fonction  $f : t \mapsto \frac{N(t)}{N_0}$  (proportion de noyaux radioactifs présents à la date  $t$ ) sur un intervalle de temps correspondant à une dizaine de jours, avec un choix de fenêtre approprié. Lecture à l'aide de la touche *Trace* d'une valeur approchée de la demi-vie.
- Mise en équation et résolution mathématique :  $\left( N(t + t_{1/2}) = \frac{N(t)}{2} \right) \Leftrightarrow \left( N_0 e^{-\lambda(t+t_{1/2})} = \frac{1}{2} N_0 e^{-\lambda t} \right)$

En utilisant les propriétés de la fonction exponentielle, l'équation s'écrit  $e^{-\lambda t_{1/2}} = \frac{1}{2}$ .

On met en œuvre la réciprocity des fonctions exponentielle et logarithme... On aboutit à  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ .

L'étude mathématique légitime la définition donnée en physique, la solution étant indépendante de  $t$ .

Dans le cas de l'iode-131 :  $t_{1/2} = 10^6 \times \ln 2 s \approx 693147 s$ , environ 192 heures, soit 8 jours.

Cette très courte demie-vie explique que l'iode-131 soit l'un des produits de fission les plus redoutés s'il est relâché par accident dans l'atmosphère. Par contre, en médecine, il est utilisé à petites doses notamment dans le traitement des cancers de la thyroïde.

- Application . Un malade a ingéré une dose de  $1 \mu g$  d'iode-131 dont la demie-vie est de 8 jours.
  - a) Estimer la masse d'iode-131 restante au bout de seize jours :  $0 \mu g$  ?  $0,5 \mu g$  ?  $0,25 \mu g$  ? autre réponse ?
  - b) Déterminer l'expression de la masse d'iode-131 restante après une durée de  $n t_{1/2}$  ( $n$  entier naturel).

**Constante de temps.** Un travail concerté analogue au précédent est souhaitable d'autant que la constante de temps correspond à la durée de vie moyenne d'un noyau radioactif, qui peut faire l'objet d'une étude ultérieure en probabilités. Il s'agit ici de mettre en œuvre la tangente à la courbe représentative de la fonction  $N$  au point  $t = 0$ .

**Ce TP se fait conjointement à l'étude de la datation en physique.**

**Ses objectifs sont d'engager les calculs mathématiques utiles en physique et d'entraîner les élèves, dans un contexte motivant, à la réciprocity des fonctions exponentielle et logarithme népérien.**

### **Exercice**

Le comportement d'un échantillon de matière radioactive a conduit à considérer que le nombre  $N(t)$  de noyaux présents à la date  $t$  définit une fonction  $N$  solution de l'équation différentielle  $N' = -\lambda \times N$ , où  $\lambda$  est la constante radioactive caractéristique de la matière considérée.

**I.** Utiliser un échantillon radioactif en tant qu'horloge, c'est demander de pouvoir déterminer une date  $t$ , connaissant la constante  $\lambda$  caractéristique de la matière radioactive, un échantillon de la matière radioactive et un moyen de mesurer le nombre  $N(t)$  de noyaux radioactifs présents à la date  $t$  que l'on cherche ainsi que le nombre  $N_0$  de noyaux à la date  $t = 0$ .

1°) Exprimer  $t$  en fonction de  $\lambda$ , de  $N_0$  et de  $N(t)$ .

2°) Dans la pratique, on mesure non pas le nombre  $N(t)$  de noyaux mais plutôt le nombre de désintégrations par unité de temps  $\frac{-\Delta N(t)}{\Delta t}$ , noté  $A(t)$  et appelé « activité ».

Justifier la relation  $A(t) = \lambda N(t)$ , puis exprimer  $t$  en fonction de  $\lambda$ , de  $A(0)$  et de  $A(t)$ .

### **II.** Datation au carbone-14.

La méthode repose sur l'hypothèse que la teneur en carbone-14 de tous les organismes vivants reste identique au cours du temps (\*). On a donc un moyen de connaître  $N_0$  ou  $A(0)$ .

Lorsqu'un organisme vivant meurt, son carbone-14 n'est plus renouvelé. Le carbone-14 qu'il contient se désintègre de manière exponentielle, en étant divisé par 2 tous les 5570 ans.

1°) Déterminer la constante radioactive  $\lambda$  (en  $\text{année}^{-1}$ ) du carbone-14.

2°) On analyse des fragments d'os trouvés dans une grotte. Des mesures montrent qu'ils ont perdu 30 % de leur teneur en carbone. Déterminer l'âge de ces fragments d'os.

3°) On a retrouvé dans le Massif Central des morceaux de bois carbonisés lors d'une éruption volcanique. La mesure de la radioactivité au Carbone-14 de ce bois carbonisé donne 4,8 désintégrations par gramme et par minute alors qu'un bois vivant en donne 13,5.

Évaluer la date de l'éruption volcanique.

4°) On estime que, pour un organisme mort il y a plus de 35000 ans, la plus grande partie des noyaux de carbone-14 ont été désintégrés et que le comptage ne peut donc plus se pratiquer(\*\*).

Contrôler cette affirmation par un calcul.

(\*) On a pu montrer récemment que ce n'était plus tout à fait le cas, et qu'il fallait tenir compte des variations des échanges océan-atmosphère d'origine climatique et des variations du champ magnétique terrestre agissant sur le rayonnement cosmique. Le rayonnement cosmique et l'activité solaire ont pu également varier au cours des quelques milliers d'années passées. Depuis la révolution industrielle, l'activité humaine a fortement modifié le taux de carbone-14 présent dans l'atmosphère et les datations doivent bien sûr en tenir compte.

(\*\*) La variété des valeurs des demi-vies (d'une trentaine de secondes à plusieurs milliards d'années) est une chance car elle permet d'effectuer des datations pour toutes les échelles de temps nécessaires.

(Références : annexe du document d'accompagnement des programmes de mathématiques)