

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

Session 2012

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

Enseignement de Spécialité

Durée de l'épreuve : 3 heures 30 – Coefficient : 8

**L'usage des calculatrices est autorisé.**

**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.**

**Ce sujet comporte 13 pages numérotées de 1/13 à 13/13**

**Les feuilles d'annexes (pages 11/13, 12/13 et 13/13)  
SONT À RENDRE AGRAFÉES À LA COPIE**

## EXERCICE I : ÉRUPTION DE LA MONTAGNE PELÉE EN 1902 (5 points)



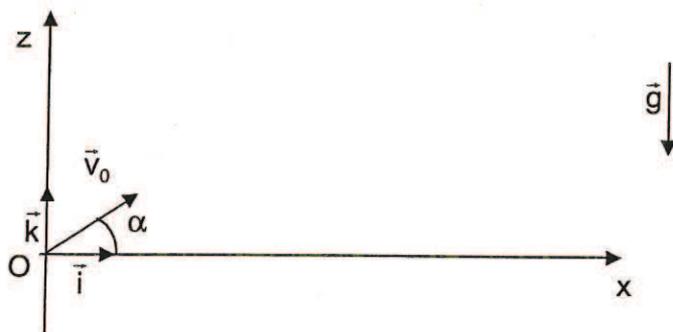
L'éruption de la Montagne Pelée en 1902 détruisit entièrement la ville de Saint-Pierre, alors préfecture de la Martinique.

D'après « 3mats.net »

Il s'agit dans cet exercice de chercher l'ordre de grandeur des vitesses d'éjection de blocs de matière émis lors de cette éruption volcanique et de déterminer l'altitude maximale atteinte par un bloc dans une situation donnée.

On considère, dans le référentiel terrestre supposé galiléen, un bloc de matière de masse  $m$ . Ce bloc est assimilé à un point matériel.

Le repère d'étude  $(O, \vec{i}, \vec{k})$  est choisi de telle sorte que le vecteur vitesse initiale  $\vec{v}_0$  soit dans le plan  $xOz$ , incliné d'un angle  $\alpha$  par rapport à l'axe  $(Ox)$ . L'origine des dates est l'instant où le bloc quitte le point  $O$ .



Dans tout l'exercice, on néglige la poussée d'Archimède et les forces de frottement dues à l'air. La valeur de l'intensité de la pesanteur  $g$  est prise égale à  $9,8 \text{ m.s}^{-2}$ .

### 1. Équations horaires du mouvement

1.1. Pourquoi peut-on dire que le bloc est en chute libre ?

- 1.2. En appliquant la seconde loi de Newton, établir la relation entre le vecteur accélération  $\vec{a}$  du centre d'inertie du bloc et le vecteur champ de pesanteur  $\vec{g}$  puis donner l'expression des composantes  $a_x(t)$  et  $a_z(t)$  dans le repère d'étude.
- 1.3. En déduire les expressions littérales  $v_x(t)$  et  $v_z(t)$  des composantes horizontale et verticale du vecteur vitesse du bloc.
- 1.4. Montrer que les expressions des équations horaires du mouvement  $x(t)$  et  $z(t)$  sont :

$$x(t) = (v_0 \cdot \cos \alpha) \cdot t$$

$$z(t) = -\frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 + (v_0 \cdot \sin \alpha) \cdot t$$

## 2. Bloc éjecté du cratère avec une vitesse initiale verticale $\vec{v}_{01}$

*Texte 1 : « Les observations les plus directes concernent la hauteur  $h$  atteinte par de gros blocs lancés verticalement lors de l'éruption. De cette hauteur  $h$ , on tire la vitesse  $\sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ .*

*L'épouvantable éruption de la Montagne Pelée n'a réussi à lancer des pierres de volume un peu considérable qu'à 400 m. »*

*D'après le Journal des Observateurs (Janvier 1940)*

Dans cette situation, le vecteur vitesse initiale, noté  $\vec{v}_{01}$ , est dirigé verticalement vers le haut. La trajectoire du bloc est rectiligne.

- 2.1. À partir des réponses aux questions 1.3 et 1.4, préciser les expressions de  $v_x(t)$ ,  $v_z(t)$ ,  $x(t)$  et  $z(t)$  dans la situation étudiée.
- 2.2. À partir de l'expression de  $v_z(t)$ , déterminer l'expression littérale de la date  $t_s$  à laquelle l'altitude maximale  $h$ , mesurée à partir du point O, est atteinte.
- 2.3. En déduire que l'expression de la vitesse initiale est  $v_{01} = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$ , comme indiqué dans le texte 1.
- 2.4. Calculer la valeur  $v_{01}$  de la vitesse initiale d'éjection si  $h = 400$  m.

## 3. Bloc éjecté du cratère avec une vitesse initiale oblique $\vec{v}_{02}$

*Texte 2 : « Nous avons, pour cette éruption, un cas observé le 7 mai 1902, où la trajectoire parabolique « d'énormes roches nettement visibles » peut, d'après les données notées par un témoin oculaire, être grossièrement calculée.*

*La vitesse initiale était d'environ  $110 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  et elle était inclinée sur l'horizon de  $43^\circ$ .»*

*D'après le Journal des Observateurs (Janvier 1940)*

Dans cette situation, le bloc est éjecté au niveau du point O avec une vitesse initiale oblique  $\vec{v}_{02}$  faisant un angle  $\alpha = 43^\circ$  avec l'horizontale. Son point d'impact A est situé sur le flanc du volcan 800 m plus bas que le point O. Le bloc a parcouru horizontalement une distance environ égale à 1,8 km.

3.1. Détermination de la valeur de la vitesse initiale  $\vec{v}_{02}$ .

- 3.1.1. À l'aide des expressions de la question 1.4, établir l'équation de la trajectoire.
- 3.1.2. En déduire l'expression littérale de la valeur  $v_{02}$  de la vitesse d'éjection du bloc. Calculer sa valeur et la comparer à celle indiquée dans le texte 2.

3.2. Détermination de l'altitude maximale atteinte par le bloc éjecté

On suppose que l'énergie mécanique du système se conserve. La masse  $m$  du bloc étudié est égale à 500 kg. La valeur  $v_{02}$  de la vitesse initiale est égale à  $110 \text{ m.s}^{-1}$ .

- 3.2.1. Exprimer littéralement puis calculer les valeurs initiales des énergies cinétique, potentielle et mécanique du bloc. On choisit une énergie potentielle égale à 0 J pour  $z = 0 \text{ m}$ .
- 3.2.2. Déterminer les valeurs de l'énergie cinétique et de l'énergie potentielle du bloc au point le plus élevé de la trajectoire noté C.
- 3.2.3. En déduire l'altitude maximale  $h'$  atteinte par le bloc, mesurée à partir du point O.
- 3.2.4. Identifier les courbes  $x(t)$  et  $z(t)$ , obtenues à l'aide d'un logiciel de simulation, qui sont représentées sur **l'ANNEXE 1 à rendre avec la copie**.  
Déterminer graphiquement la distance  $x_c$  parcourue horizontalement par le bloc lorsqu'il a atteint son altitude maximale  $h'$ .

**EXERCICE II : PANACÉES ? (7 points)**

De tous temps, certaines substances sont considérées comme des remèdes contre tous les maux, des panacées.

Deux d'entre elles sont étudiées dans cet exercice.

**Les parties A et B sont indépendantes**

**Partie A : Une potion radioactive**

Au début du XXème siècle, le Radithor, sorte de « potion magique », était censé soigner plus d'une centaine de maladies.

Un cancérologue américain a trouvé chez un antiquaire plusieurs bouteilles de Radithor. Bien que vidées depuis 10 ans de leur contenu, les bouteilles se sont avérées être encore dangereusement radioactives. Chacune avait vraisemblablement contenu environ un microcurie\* de radium 226 et de radium 228.

D'après « Pour la science » octobre 96 (Hors-série)

\* 1 microcurie correspond à  $3,7 \times 10^4$  Bq.



Données :

<b>Noyau</b>	Radium 226	Radium 228	Actinium 228	Radon 222	Hélium 4
<b>Symbole</b>	$^{226}_{88}\text{Ra}$	$^{228}_{88}\text{Ra}$	$^{228}_{89}\text{Ac}$	$^{222}_{86}\text{Rn}$	$^4_2\text{He}$

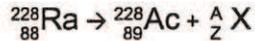
<b>Noyau</b>	Radium 226	Radon 222	Hélium 4
<b>Masse en u</b>	225,977 0	221,970 3	4,001 5

Unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 1,660 54 \times 10^{-27} \text{ kg}$   
 Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$   
 Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$   
 Masse molaire du  $^{226}_{88}\text{Ra}$  :  $M = 226 \text{ g.mol}^{-1}$

## 1. Le radium 226 et le mésothorium

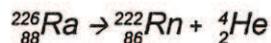
Sur l'étiquette du flacon de Radithor est mentionnée la présence de mésothorium, ancienne dénomination du radium 228. Cette « eau certifiée radioactive » contenait également du radium 226.

- 1.1. Les noyaux de radium 228 et de radium 226 sont des isotopes. Expliquer.
- 1.2. Le radium 228 se désintègre pour donner l'isotope 228 de l'actinium Ac et une particule notée X.



Compléter l'équation de désintégration en citant les lois utilisées puis identifier X. De quel type de radioactivité s'agit-il ?

*Dans la suite de l'exercice, on néglige la présence du radium 228 dans le Radithor. On suppose que l'activité radioactive du flacon est uniquement due à la présence de l'isotope 226 du radium. Celui-ci se désintègre spontanément selon l'équation suivante :*



## 2. Constante radioactive du radium 226

L'activité  $A(t)$  d'un échantillon de noyaux de radium 226 suit la loi de décroissance exponentielle  $A(t) = A_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$  avec  $A_0$ , l'activité de l'échantillon à  $t = 0$  s.

- 2.1. Rappeler la définition de la demi-vie  $t_{1/2}$  d'un échantillon radioactif.  
Vérifier sur la courbe donnant l'évolution de l'activité de l'échantillon en fonction du temps représentée dans le document 1 de **l'ANNEXE 2 à rendre avec la copie** que la demi-vie du radium 226 est égale à  $1,60 \times 10^3$  ans.
- 2.2. Établir la relation entre la demi-vie et la constante radioactive  $\lambda$  puis calculer la valeur de  $\lambda$  en  $\text{s}^{-1}$ .

## 3. Masse de radium 226

- 3.1. Donner la relation liant l'activité  $A(t)$  d'un échantillon radioactif au nombre  $N(t)$  de noyaux radioactifs présents.
- 3.2. Calculer  $N_0$ , le nombre de noyaux de radium 226 initialement présents dans le flacon de Radithor.
- 3.3. Vérifier que le flacon contenait alors une masse  $m_0 = 1,0 \mu\text{g}$  de radium 226.

#### 4. Énergie libérée par le radium 226

- 4.1. Déterminer la variation de masse associée à la réaction de désintégration d'un noyau de radium 226.
- 4.2. En déduire l'énergie  $E$  libérée lors de la désintégration d'un noyau de radium 226.
- 4.3. Calculer l'énergie totale que peut libérer le radium 226 initialement contenu dans un flacon de Radithor.

### Partie B : La vitamine C

*Depuis sa découverte, la vitamine C a été considérée comme une panacée universelle par certains partisans enthousiastes.  
L'acide ascorbique ou vitamine C intervient dans de grandes fonctions de l'organisme : défense contre les infections virales et bactériennes, protection de la paroi des vaisseaux sanguins, assimilation du fer, action antioxydante, cicatrisation.  
L. Pauling, disparu en 1994 (Prix Nobel de Chimie) lui attribuait des fonctions anticancéreuses.*

Sur l'emballage, on lit la composition en substances actives d'un comprimé de « Vitamine C UPSA® » :

*Acide ascorbique : 250 mg  
Ascorbate de sodium : 285 mg  
Quantité correspondante en acide ascorbique : 500 mg pour un comprimé à croquer.*

Il s'agit dans cette partie de l'exercice de déterminer, au moyen d'un dosage conductimétrique, la masse d'acide ascorbique contenue dans un comprimé puis de vérifier l'indication « Quantité correspondante en acide ascorbique : 500 mg pour un comprimé à croquer ».

L'acide ascorbique, de formule brute  $C_6H_8O_6$ , sera noté HA. Sa base conjuguée, l'ion ascorbate, sera notée  $A^-$ .

#### **Mode opératoire :**

On écrase un comprimé. La poudre obtenue est dissoute dans de l'eau distillée afin d'obtenir un volume de 200,0 mL de solution  $S_A$ .

On prélève un volume  $V_A = 100,0$  mL de la solution  $S_A$  que l'on dose par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium ( $Na^+_{(aq)} + HO^-_{(aq)}$ ) de concentration molaire en soluté apporté  $C_B = 8,0 \times 10^{-2}$  mol.L<sup>-1</sup>.

La courbe expérimentale représentant la conductivité de la solution en fonction du volume  $V_B$  de solution titrante versé est donnée sur le document 2 de l'ANNEXE 2 à rendre avec la copie.

### Données :

- $pK_A(\text{HA} / \text{A}^-) = 4,1$  à  $25^\circ\text{C}$
- Produit ionique de l'eau à  $25^\circ\text{C}$  :  $K_e = 1,0 \times 10^{-14}$
- Masses molaires moléculaires :
  - $M(\text{acide ascorbique}) = 176 \text{ g.mol}^{-1}$
  - $M(\text{ascorbate de sodium}) = 198 \text{ g.mol}^{-1}$
- Conductivités molaires ioniques à  $25^\circ\text{C}$  :
  - $\lambda(\text{Na}^+) = 5,01 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$ ;  $\lambda(\text{HO}^-) = 19,9 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$ ;  $\lambda(\text{A}^-) = 3,42 \text{ mS.m}^2.\text{mol}^{-1}$

### 1. Réaction de dosage

- 1.1. Écrire l'équation de la réaction de dosage de l'acide ascorbique, noté HA, par la solution d'hydroxyde de sodium.
- 1.2. Établir l'expression littérale de la constante d'équilibre K associée à cette équation de la réaction en fonction de  $K_e$  et  $K_A$ , puis calculer la valeur de K.

### 2. Équivalence du dosage

- 2.1. Définir l'équivalence du dosage.
- 2.2. Déterminer graphiquement le volume  $V_E$  de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence sur le document 2 de l'**ANNEXE 2 à rendre avec la copie**.
- 2.3. Calculer la valeur de la concentration molaire en soluté apporté  $C_A$  en acide ascorbique de la solution  $S_A$ .
- 2.4. En déduire la masse  $m_A$  d'acide ascorbique contenue dans le comprimé. Comparer cette valeur à l'indication du fabricant.

### 3. Explication de l'allure de la courbe

Interpréter l'évolution de la conductivité du mélange avant l'équivalence.

### 4. On souhaite expliquer pourquoi il est écrit sur l'emballage « Quantité correspondante en acide ascorbique : 500 mg ».

- 4.1. Préalablement, calculer la quantité de matière d'ascorbate de sodium contenue dans le comprimé.
- 4.2. Dans l'estomac le pH est environ égal à 1,5. Les ions ascorbate, ingérés lors de la prise du comprimé, se transforment alors en acide ascorbique. Justifier cela à l'aide d'un diagramme de prédominance.
- 4.3. Justifier l'indication de l'étiquette :
  - « Quantité correspondante en acide ascorbique : 500 mg ».

### EXERCICE III : ANODISATION DE L'ALUMINIUM (4 points)

Un amateur d'aéromodélisme souhaite protéger des rayures les pièces en aluminium présentes dans son modèle réduit d'avion. Pour cela, il utilise un traitement de surface qui consiste à anodiser l'aluminium afin de le durcir.

En effet, une couche d'alumine ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) de très faible épaisseur recouvre naturellement l'aluminium mais cette couche fine est sujette à la détérioration. L'anodisation consiste à oxyder en surface la pièce en aluminium ; la couche d'alumine ainsi formée est plus épaisse et garantit une plus grande dureté.

#### Données :

Couples oxydant/réducteur :  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) / \text{Al}(\text{s})$  ;  $\text{O}_2(\text{g}) / \text{H}_2\text{O}(\text{l})$  ;  $\text{H}^+(\text{aq}) / \text{H}_2(\text{g})$ .

Constante d'Avogadro :  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  ;

Charge électrique élémentaire :  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  ;

Masse molaire de l'alumine :  $M(\text{Al}_2\text{O}_3) = 102 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Masse volumique de l'alumine :  $\rho(\text{Al}_2\text{O}_3) = 4,0 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$

#### 1. Principe de l'anodisation

La pièce d'aluminium propre est utilisée comme anode lors de l'électrolyse d'une solution aqueuse d'acide sulfurique ( $2\text{H}^+(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ ) de concentration molaire en soluté apporté  $C = 2,0 \text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ . La cathode est constituée d'un bâton de graphite. On utilise un générateur de tension continue et un ampèremètre.

- 1.1. Indiquer le sens conventionnel du courant électrique et le sens de circulation des électrons sur le document 1 de l'ANNEXE 3 à rendre avec la copie.
- 1.2. Un dégagement gazeux se produit à la cathode. Écrire la demi-équation (1) d'oxydo-réduction expliquant cette observation en utilisant l'un des couples cités dans les données précédentes. Justifier le choix du couple.
- 1.3. Sachant que la pièce en aluminium doit être oxydée, indiquer sur le document 1 de l'ANNEXE page 3 à rendre avec la copie l'emplacement du bâton de graphite et celui de la pièce.
- 1.4. Écrire la demi-équation (2) associée au couple  $\text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) / \text{Al}(\text{s})$ .
- 1.5. En déduire que l'équation d'oxydo-réduction de la réaction d'électrolyse s'écrit :
$$2 \text{Al}(\text{s}) + 3 \text{H}_2\text{O}(\text{l}) = \text{Al}_2\text{O}_3(\text{s}) + 3 \text{H}_2(\text{g})$$
- 1.6. S'agit-il d'une transformation spontanée ou forcée ? Justifier.

## 2. Étude quantitative de l'électrolyse

La surface de la pièce à anodiser est  $S = 9,0 \text{ cm}^2$ . L'intensité  $I$  du courant délivrée par le générateur est maintenue à  $120 \text{ mA}$  pendant la durée  $\Delta t = 18 \text{ min}$  de l'électrolyse.

2.1. Exprimer la quantité de matière d'électrons échangée, notée  $n(e^-)$ , pendant l'électrolyse en fonction de  $I$ ,  $\mathcal{N}_A$ ,  $\Delta t$  et  $e$ .

2.2. Quelle relation existe-t-il entre la quantité de matière d'alumine formée, notée  $n(\text{Al}_2\text{O}_3)$ , et la quantité de matière d'électrons échangée,  $n(e^-)$  ?

2.3. Montrer que la masse maximale  $m_{\text{max}}$  d'alumine pouvant être formée au niveau de la pièce a pour expression :

$$m_{\text{max}} = \frac{I \times \Delta t}{6 \times \mathcal{N}_A \times e} \times M(\text{Al}_2\text{O}_3)$$

Calculer sa valeur.

2.4. Le rendement  $r$  de l'électrolyse est de  $90 \%$ . En déduire la masse  $m(\text{Al}_2\text{O}_3)$  d'alumine réellement formée.

2.5. L'amateur d'aéromodélisme souhaite obtenir une couche d'alumine d'une épaisseur minimale  $d = 7,0 \mu\text{m}$  sur toute la surface de la pièce.

2.5.1. Calculer le volume  $V'(\text{Al}_2\text{O}_3)$  d'alumine minimal à déposer.

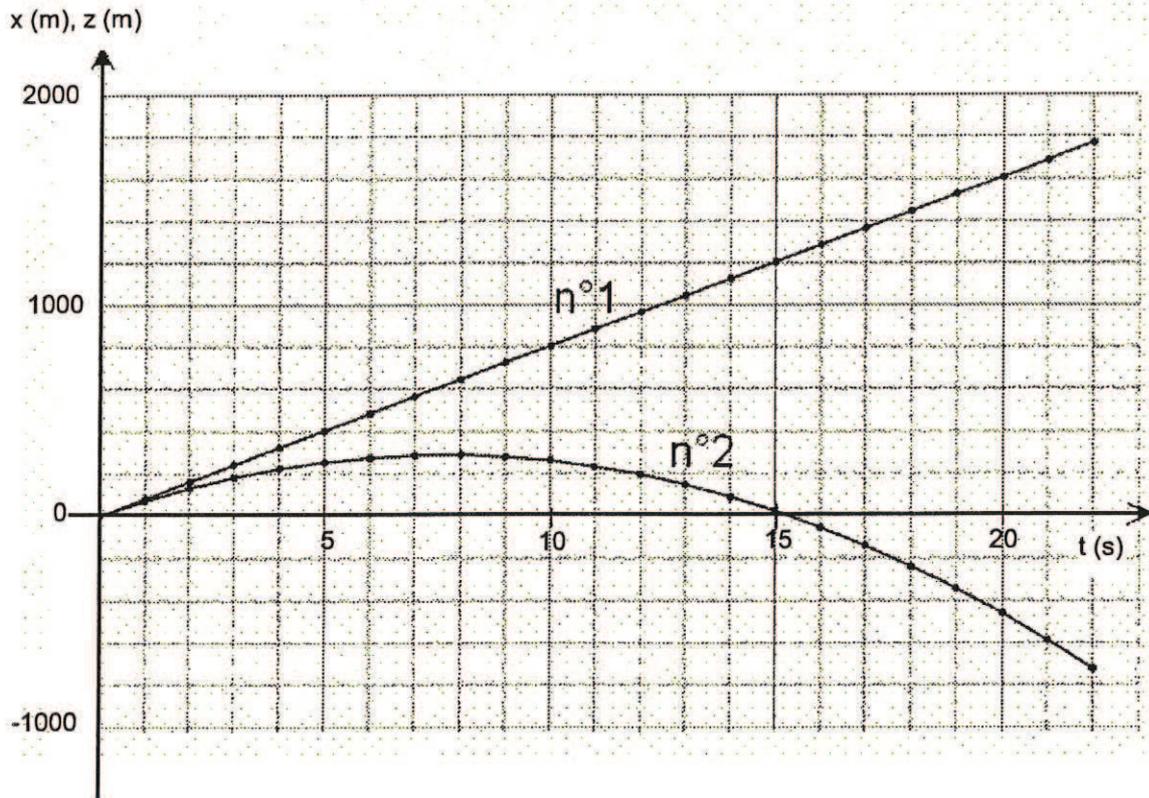
2.5.2. Déterminer la masse  $m'(\text{Al}_2\text{O}_3)$  correspondante.

2.5.3. L'épaisseur minimale d'alumine souhaitée n'est pas obtenue. Quels paramètres de l'électrolyse peut-il modifier pour augmenter la quantité d'alumine déposée ?

ANNEXE 1 à rendre avec la copie

Exercice I : Éruption de la montagne pelée en 1902

Question 3.2.4

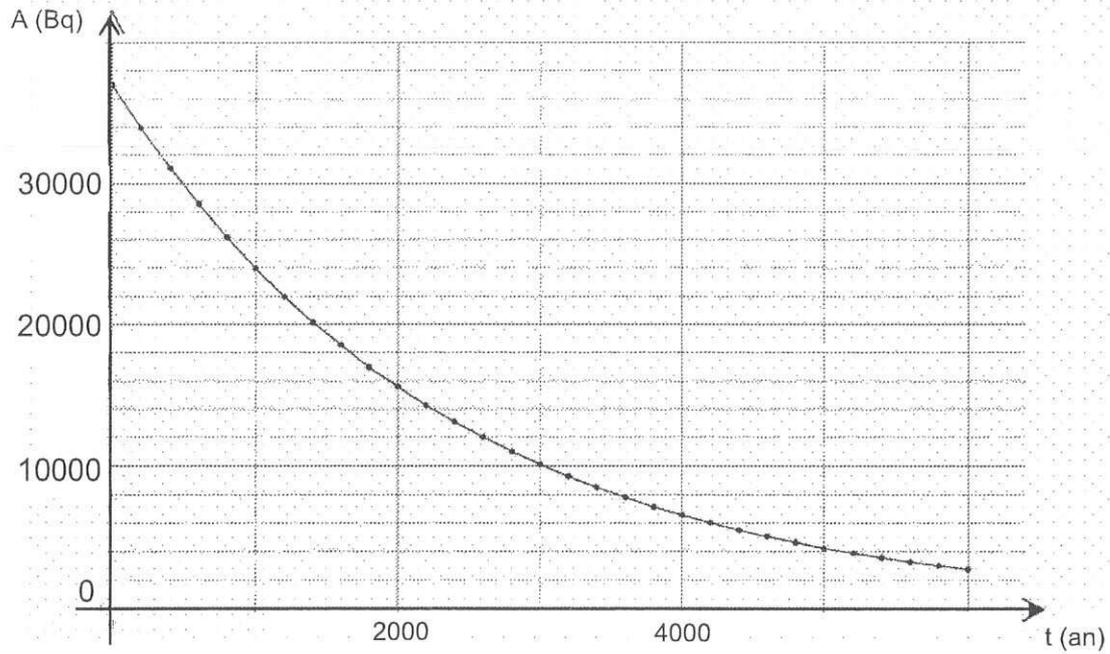


## ANNEXE 2 à rendre avec la copie

### Exercice II : Panacées ?

Partie A, question 2.1 :

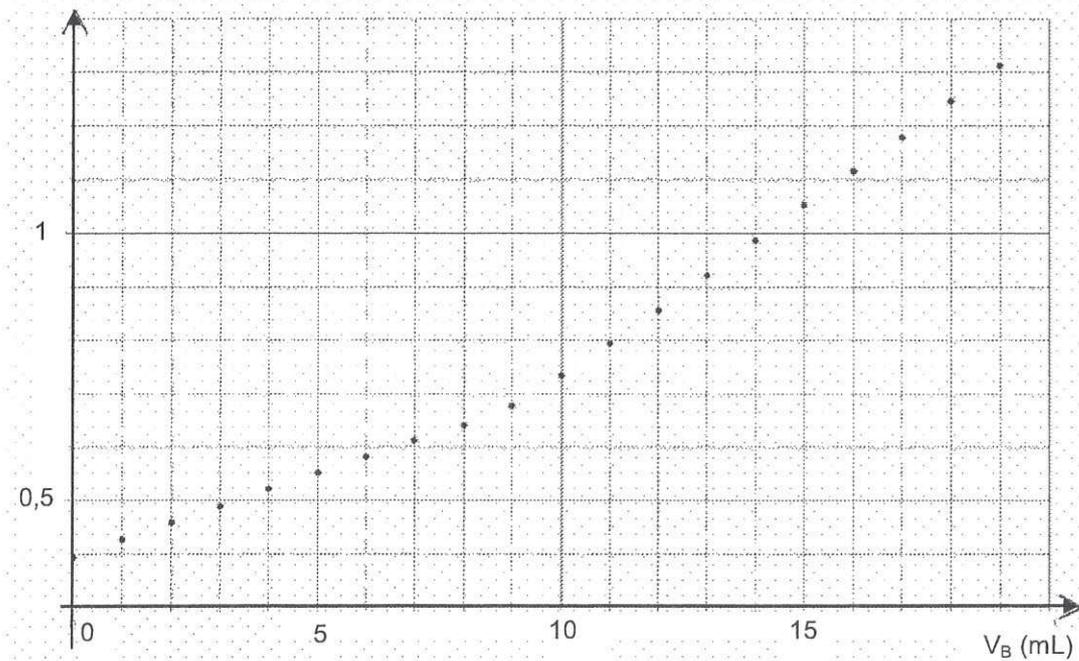
Document 1 : activité d'un échantillon de radium 226 en fonction du temps



Partie B, question 2.2

Document 2 : suivi de la conductivité au cours du dosage de la vitamine C

Conductivité ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ )



ANNEXE 3 à rendre avec la copie

Exercice III : Anodisation de l'aluminium

Questions 1.1 et 1.3

