

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2011

## PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 – COEFFICIENT : 8.

L'usage des calculatrices EST autorisé

**Ce sujet nécessite une feuille de papier millimétré**

*Ce sujet comporte deux exercices de CHIMIE et un exercice de PHYSIQUE présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10, y compris celle-ci.*

**Les feuilles annexes (pages 8, 9 et 10) SONT À RENDRE AVEC LA COPIE.**

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres :

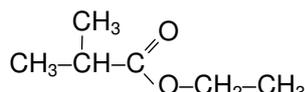
## EXERCICE I. LE PARFUM DE LA FRAISE (6,5 points)

Le parfum de la fraise est le titre d'un ouvrage de Peter Atkins, professeur à l'Université d'Oxford. D'après la revue *New Scientist*, il s'agit « du plus beau livre de chimie jamais écrit ». Le parfum de la fraise est aussi un arôme dont l'un des principaux constituants est le méthylpropanoate d'éthyle. C'est à cette espèce chimique que cet exercice est consacré.

Les parties 1, 2 et 3 de cet exercice sont indépendantes.

### 1. Généralités

Le méthylpropanoate d'éthyle est un ester de formule semi-développée :



- 1.1. Recopier la formule semi-développée sur la copie et entourer le groupe ester.
- 1.2. Cet ester est obtenu par réaction entre l'acide méthylpropanoïque et un alcool. Donner le nom et la formule semi-développée de l'alcool utilisé.
- 1.3. Citer deux caractéristiques de la réaction d'estérification.

### 2. Étude cinétique de la transformation

Dans toute la suite de l'exercice, l'acide sera noté AH, l'alcool C et l'ester E. On notera  $n_A$ ,  $n_C$ , et  $n_E$  les quantités de matière correspondantes à un instant quelconque.

On verse dans un ballon bicol une quantité  $n_{A0} = 1,0$  mol d'acide AH et une quantité  $n_{C0} = 1,0$  mol d'alcool C. On ajoute quelques grains de pierre ponce puis on chauffe à reflux ce mélange réactionnel pendant plusieurs jours. On dose à intervalles de temps réguliers  $\Delta t = 12$  h l'acide contenu dans un petit volume prélevé dans le mélange réactionnel.

Les résultats des différents titrages permettent de calculer l'avancement  $x$  défini dans le tableau du **document 1** à différents instants et de tracer la courbe  $x = f(t)$  du **document 2 de l'annexe** à rendre avec la copie.

#### 2.1. À propos du montage (Document 3 de la feuille annexe)

- 2.1.1. Quel est le volume d'alcool versé dans le ballon ?  
Données : Masse molaire de l'alcool  $M_C = 46 \text{ g.mol}^{-1}$   
Masse volumique de l'alcool :  $\rho_C = 0,80 \text{ g.mL}^{-1}$
- 2.1.2. Indiquer le sens de circulation de l'eau dans le réfrigérant.
- 2.1.3. Compléter le schéma du **document 3 de la feuille annexe** en ajoutant les éléments nécessaires à l'utilisation du chauffage à reflux en toute sécurité.
- 2.1.4. Quel est l'intérêt du ballon bicol ?

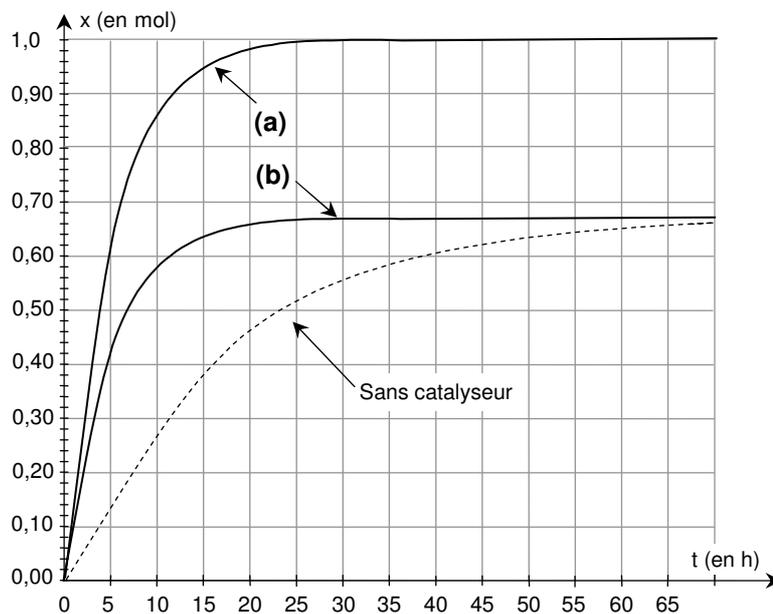
#### 2.2. Exploitation des résultats

- 2.2.1. En utilisant le **document 2 de la feuille annexe**, déterminer l'avancement final de la transformation.
- 2.2.2. Calculer le taux d'avancement final sachant que l'avancement maximal est  $x_M = 1,0$  mol.
- 2.2.3. Déterminer le temps de demi-réaction. Les constructions nécessaires doivent figurer sur la courbe du **document 2**.
- 2.2.4. En traçant les tangentes à la courbe en deux instants différents, indiquer sans faire de calcul, comment évolue la vitesse volumique de la réaction.
- 2.2.5. Quel est le facteur cinétique responsable de cette évolution ?

#### 2.3. Utilisation d'un catalyseur

- 2.3.1. Définir un catalyseur.
- 2.3.2. Citer un catalyseur des réactions d'estérification.
- 2.3.3. On ajoute un catalyseur dans le ballon. Parmi les deux courbes (a) et (b) proposées sur le **document 4 de la page suivante**, laquelle est réellement obtenue ? Justifier la réponse.

### 2.3.4. Comment peut-on obtenir l'autre courbe ?



Document 4

### 3. Titrages de l'acide restant

Toutes les douze heures, on prélève un volume  $V = 5,0$  mL du mélange réactionnel qu'on trempe rapidement. On dose ensuite l'échantillon par une solution d'hydroxyde de sodium ( $\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{HO}^-(\text{aq})$ ) de concentration  $c_B = 1,0$  mol.L<sup>-1</sup>. Soit  $V_{BE}$  le volume d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

- 3.1. Écrire l'équation de la réaction de titrage de l'acide AH par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium.
- 3.2. Rappeler la définition de l'équivalence d'un titrage.
- 3.3. En déduire la relation entre la quantité  $n_{A\text{éché}}$  d'acide présent dans l'échantillon et le volume  $V_{BE}$  d'hydroxyde de sodium versé. On pourra s'aider d'un tableau d'avancement.
- 3.4. À l'instant  $t = 36$  h, l'équivalence du titrage est obtenue pour un volume  $V_{BE} = 14,0$  mL. Calculer la quantité d'acide  $n_{A\text{éché}}$  présent dans l'échantillon prélevé à cet instant.
- 3.5. Le volume initial du mélange réactionnel est  $V_1 = 148$  mL. En déduire la quantité  $n_A$  d'acide restant à cet instant.

### 4. Vérification d'un point de la courbe

On désire pour terminer, vérifier un point de la courbe  $x = f(t)$  du **document 2 de la feuille annexe**.

- 4.1. Compléter le tableau d'avancement de la transformation donné en annexe (**document 1**).
- 4.2. En déduire la relation à l'instant  $t$  entre les quantités  $n_A$ ,  $n_{A0}$  et l'avancement  $x$ .
- 4.3. Calculer l'avancement  $x$  à l'instant  $t = 36$  h et vérifier que le résultat est conforme à celui donné par la courbe du **document 2 en annexe**.

## EXERCICE II. DATATION DES VINS PAR RADIOACTIVITÉ (5,5 points)

La collaboration entre des scientifiques du centre d'études nucléaires de Bordeaux-Gradignan et du laboratoire interrégional de Bordeaux de la direction générale de la concurrence, de la consommation et de la répression des fraudes a permis de mettre au point une technique de datation des vins. En effet, ces deux laboratoires ont mis en évidence la présence d'un élément radioactif, le césium 137, dans certains vins. À l'exception du césium 133, naturellement présent dans l'environnement, tous les isotopes du césium sont artificiels et produits par des réactions nucléaires de fission. Une importante quantité de césium 137 a été libérée dans l'environnement lors des essais nucléaires atmosphériques effectués durant la période 1945-1980.

En 2000, une étude a été réalisée sur plusieurs vins de la région bordelaise. Les scientifiques ont pu conclure que le taux de césium 137 varie en fonction du millésime\* du vin.

\*Un millésime est le nombre désignant une année. En œnologie, c'est l'année de récolte des raisins ayant servi à produire un vin.

### Données :

Noyau	Uranium 235	Césium 137	Baryum 137	Iode 137	Yttrium 97
Symbole	${}^{235}_{92}\text{U}$	${}^{137}_{55}\text{Cs}$	${}^{137}_{56}\text{Ba}$	${}^{137}_{53}\text{I}$	${}^{97}\text{Y}$

Particule ou noyau	Uranium 235	Iode 137	Yttrium 97	proton	neutron	électron
Masse en u	235,043930	136,917877	96,918129	1,00728	1,00866	0,00055

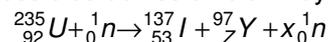
- Unité de masse atomique :  $1 \text{ u} = 1,66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$  ;
- Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$  ;
- Electron-volt :  $1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$  ;
- Energie de masse de l'unité de masse atomique :  $E = 931,5 \text{ MeV}$  ;
- Constante de Planck :  $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ J.s}$ .

### 1. Production de césium 137

Le césium 137 est l'un des produits de fission de l'uranium.

- 1.1. Quand dit-on que des noyaux sont isotopes ?
- 1.2. Qu'appelle-t-on réaction nucléaire de fission ?

1.3. L'équation d'une des réactions possibles de fission d'un noyau d'uranium 235 est :



- 1.3.1. Déterminer les valeurs de Z et de x.
- 1.3.2. Cette réaction de fission peut donner une réaction en chaîne. Expliquer pourquoi.
- 1.3.3. Donner l'expression de la perte de masse  $\Delta m$  du système au cours de cette réaction. Calculer sa valeur en u, puis en kg.
- 1.3.4. Calculer en joules et en MeV l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium.

Les produits de fission comme l'iode 137 sont radioactifs et se transforment en d'autres noyaux eux-mêmes radioactifs. Parmi ces déchets, on trouve le césium 137 obtenu en quelques minutes par une suite de désintégrations  $\beta^-$ .

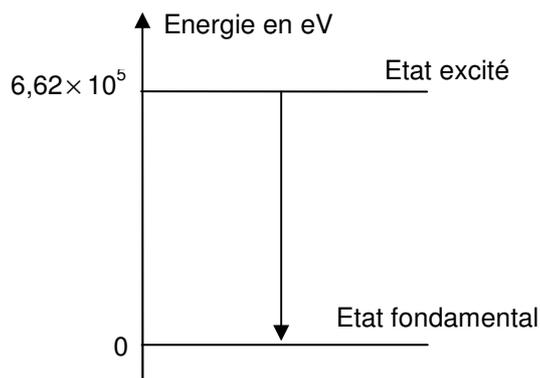
1.4. Nommer et donner la notation  ${}^A_Z\text{X}$  de la particule émise lors d'une désintégration  $\beta^-$ . Combien de désintégrations  $\beta^-$  se sont produites pour obtenir un noyau de césium 137 à partir d'un noyau d'iode 137 ?

## 2. Vérifier un millésime grâce au césium 137

Le césium 137, de temps de demi-vie  $t_{1/2} = 30$  ans, se désintègre en baryum 137. La majorité des noyaux fils obtenus lors de cette désintégration se trouve dans un état excité. Au bout de quelques minutes les noyaux de baryum émettent un rayonnement pour revenir à leur état fondamental. Ce rayonnement, très pénétrant, s'échappe facilement du vin, traverse le verre de la bouteille et est détecté par un appareil qui mesure alors l'activité en césium 137 du vin analysé. L'activité en césium 137 d'un vin est faible et s'exprime en mBq (millibecquerel) par litre de vin. L'étude réalisée, en 2000, sur une série de vins de la région bordelaise d'origines et de millésimes différents, a conduit à la courbe **du document 1 de l'annexe**.

2.1.1. De quel type de rayonnement parle-t-on dans le texte ci-dessus ?

2.1.2. On donne le diagramme des niveaux d'énergie d'un noyau de baryum 137 :



Donner l'expression de l'énergie  $\Delta E$  qui correspond à l'émission du rayonnement, en fonction de  $\lambda$ , la longueur d'onde associée à ce rayonnement. Calculer la valeur de  $\lambda$ .

En 2010, le laboratoire de la répression des fraudes a analysé une bouteille de vin dont l'étiquette indique l'année 1955. Les scientifiques ont mesuré une activité en césium 137 de  $A(2010) = 278$  mBq par litre de vin.

2.2. Donner la loi de décroissance radioactive en explicitant chaque terme.

2.3. Définir le terme « temps de demi-vie ».

On rappelle que l'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs est définie par  $A(t) = \left| \frac{dN(t)}{dt} \right|$ .

La relation entre la constante radioactive  $\lambda$  et le temps de demi-vie  $t_{1/2}$  est :  $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ .

2.4. En déduire la relation entre l'activité  $A(t)$ , le nombre de noyaux  $N(t)$  et  $\lambda(\text{Cs})$ , constante radioactive du césium 137.

2.5. Calculer le nombre de noyaux de césium 137 présents, en 2010, dans un litre du vin analysé.

On rappelle que l'activité d'un échantillon de noyaux radioactifs suit également une loi de décroissance exponentielle.

2.6. On prendra l'an 2000 comme origine des dates ( $t_0$ ).

Montrer que l'activité  $A_0(2000)$  que ce vin possédait en l'an 2000 a pour expression :

$$A_0(2000) = \frac{A(2010)}{e^{-\left(\frac{\ln 2}{3}\right)}}$$

2.7. Calculer la valeur de  $A_0(2000)$  pour un litre de ce vin.

2.8. Utiliser la courbe **du document 1 de l'annexe** pour en déduire le millésime ou les millésimes de ce vin. L'acheteur de ce vin peut-il être rassuré sur l'authenticité du vin ?

2.9. Pourquoi ne peut-on pas utiliser cette technique pour authentifier un vin trop jeune ou trop vieux (de 1920 par exemple) ?

### EXERCICE III. LE POSTE À GALÈNE (4 points)

Le **poste à galène**, connu sous les noms de récepteur à cristal, de poste à diode ou de poste à pyrite, est un récepteur radio à modulation d'amplitude extrêmement simple qui historiquement, dès le début du XX<sup>e</sup> siècle, permit la réception des ondes radioélectriques émises de la tour Eiffel et des premiers postes de radiodiffusion. Le poste à galène équipait les stations de T.S.F. (Transmission **S**ans **F**il) des navires, des ballons dirigeables, des avions... Il joua un rôle important pour la diffusion de messages pendant la première et la seconde guerres mondiales (écoute de Radio Londres) car il fonctionne sans pile : l'énergie fournie par l'onde et convertie en énergie électrique par l'antenne est suffisante pour une écoute sur casque.

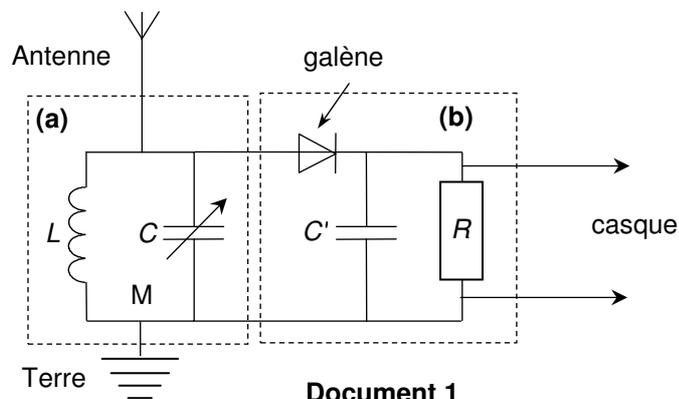


Dès 1911, à l'aide d'un émetteur à arc et d'un poste à galène, les stations côtières effectuaient des liaisons radiotélégraphiques avec les navires. La fréquence  $F = 500$  kHz était la fréquence internationale de détresse. C'est sur cette fréquence que Jack Philips envoya le premier SOS lors du naufrage du Titanic le 15 avril 1912.

*D'après plusieurs sites Internet*

En contact avec une pointe métallique, un cristal de galène (sulfure de plomb) se comporte comme une diode à faible tension de seuil. Sur le document 1 ci-dessous représentant le schéma électrique d'un poste à galène, le cristal de galène est donc représenté par le symbole de la diode.

Du point de vue électrique, le casque est modélisé par un conducteur ohmique de résistance  $R$  monté en dérivation aux bornes du condensateur  $C'$ .



#### 1. Étude des différents modules du poste

1.1. Le module noté (a), délimité par le cadre pointillé de gauche sur le **document 1** est le circuit d'accord.

1.1.1. Quel est son rôle ?

1.1.2. De quel type de filtre s'agit-il ?

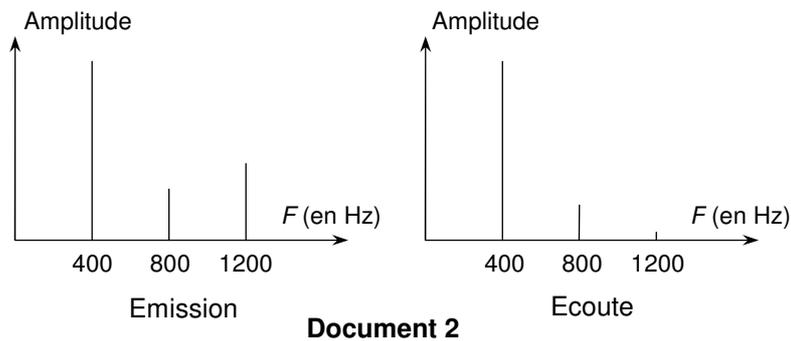
1.1.3. Sur quelle valeur fallait-il régler la capacité du condensateur  $C$  pour capter les signaux de détresse des navires ( $F = 500$  kHz) ?

Donnée : Inductance de la bobine :  $L = 2,0 \times 10^{-4}$  H

1.1.4. Cette fréquence  $F = 500$  kHz correspond-elle à la porteuse ou au signal à transmettre ? Justifier.

1.1.5. Suivant les caractéristiques de ses composants, le circuit d'accord est plus ou moins sélectif. Quel est l'inconvénient d'un circuit d'accord pas assez sélectif ?

- 1.1.6. Le **document 2** ci-dessous représente le spectre de fréquences d'une note lors de l'émission puis de l'écoute dans le casque dans le cas d'un circuit d'accord trop sélectif. Quelle est la qualité physiologique du son qui est modifiée ? Justifier.



- 1.2. Le module noté (b), délimité par le cadre pointillé de droite sur le **document 1**, est le détecteur de crête ou détecteur d'enveloppe.
- 1.2.1. Quel est le rôle du cristal de galène dans ce module ?
- 1.2.2. Le **document 3 de la feuille annexe**, à rendre avec la copie, représente l'évolution en fonction du temps de la tension à l'entrée du détecteur de crête (tension modulée). Représenter soigneusement sur ce document l'évolution en fonction du temps de la tension aux bornes du casque à la sortie du détecteur de crête (tension démodulée) dans le cas d'une bonne démodulation. On admettra que la galène se comporte comme une diode idéale (tension de seuil nulle).
- 1.2.3. Indiquer sur ce graphe les parties qui correspondent à la charge du condensateur et celles qui correspondent à la décharge.
- 1.2.4. Que se passe-t-il si la constante de temps du dipôle RC' est trop grande ? (on rappelle que le casque se comporte comme un conducteur ohmique de résistance  $R$ ).
- 1.2.5. Le casque d'un vieux poste à galène a une résistance  $R = 1,0 \text{ k}\Omega$ . Choisir dans la liste ci-dessous la capacité du condensateur  $C'$  qu'il faut associer pour écouter France-Inter dans de bonnes conditions avec ce poste.

Liste des capacités :  $100 \text{ pF}$  ;  $1,0 \text{ nF}$  ;  $10 \text{ nF}$  ;  $100 \text{ nF}$  ;  $1,0 \text{ }\mu\text{F}$

Données : Fréquence de France-Inter :  $F = 162 \text{ kHz}$

Fréquences des informations vocales à transmettre :  $f < 4,5 \text{ kHz}$

On rappelle que pour une bonne démodulation, la constante de temps du

dipôle RC' doit vérifier la double inégalité :  $\frac{1}{F} \ll \tau < \frac{1}{f}$

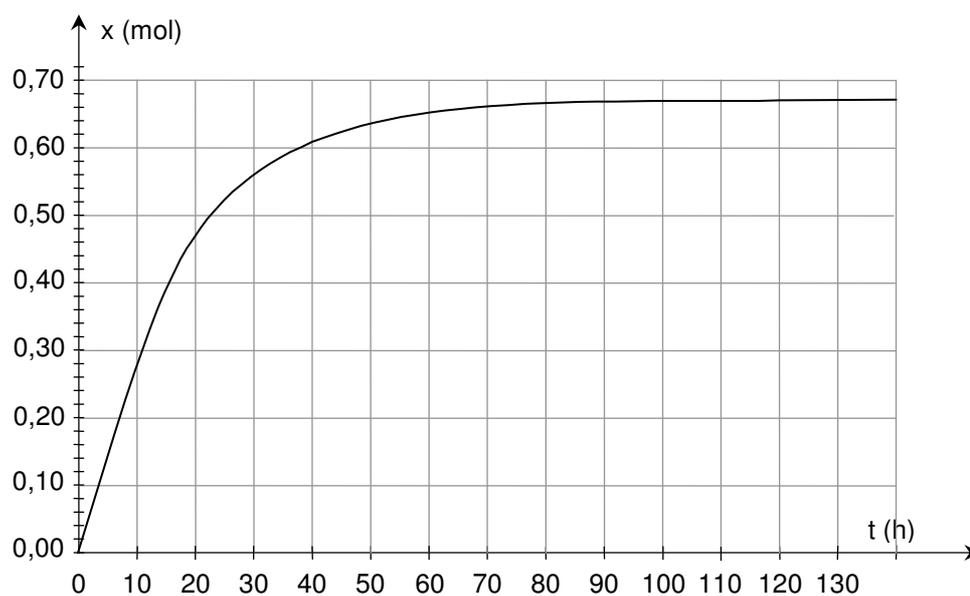
## 2. Amélioration du montage

- 2.1. Le poste à galène a le gros avantage de fonctionner sans pile. Rechercher dans le texte encadré d'où provient l'énergie nécessaire au fonctionnement.
- 2.2. Cette énergie ne suffit pas pour une écoute sur haut-parleurs. Il faut ajouter un amplificateur de puissance alimenté par une source extérieure (voir **document 4 de la feuille annexe**). La tension à la sortie du détecteur de crête, tracée sur la feuille annexe à la question 1.2.2. possède une composante continue qu'il faut supprimer avant amplification. On intercale pour cela un filtre entre le détecteur de crête (module (b)) et l'ampli.
- 2.2.1. Quel filtre utilise-t-on pour supprimer la tension continue ?
- 2.2.2. Représenter ce filtre dans le cadre (c) du **document 4 de la feuille annexe** à rendre avec la copie.

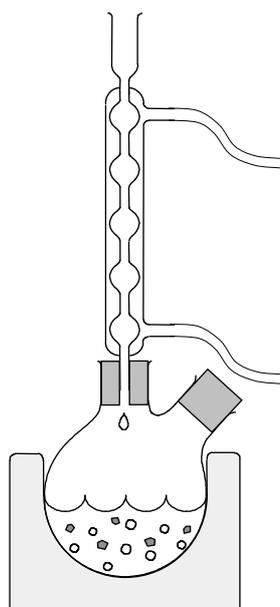
**FEUILLE ANNEXE DE L'EXERCICE I À RENDRE AVEC VOTRE COPIE**

Équation de la réaction		$AH(\ell) + C(\ell) = E(\ell) + H_2O(\ell)$			
État	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	$x = 0$	$n_{A0} = 1,0$	$n_{C0} = 1,0$	$n_{E0} = 0$	0
État intermédiaire	$x$	$n_A =$	$n_C =$	$n_E =$	$n_{eau} =$
État final	$x = x_F$	$n_{AF} =$	$n_{CF} =$	$n_{EF} =$	$n_{eauF} =$

**Document 1**



**Document 2**

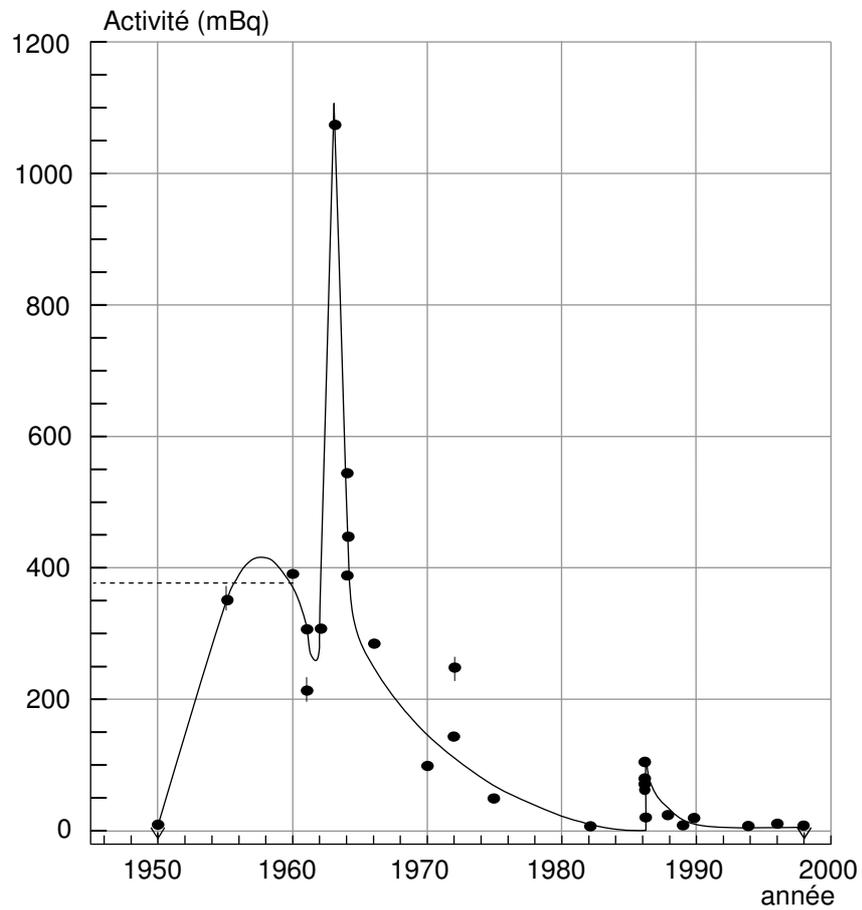


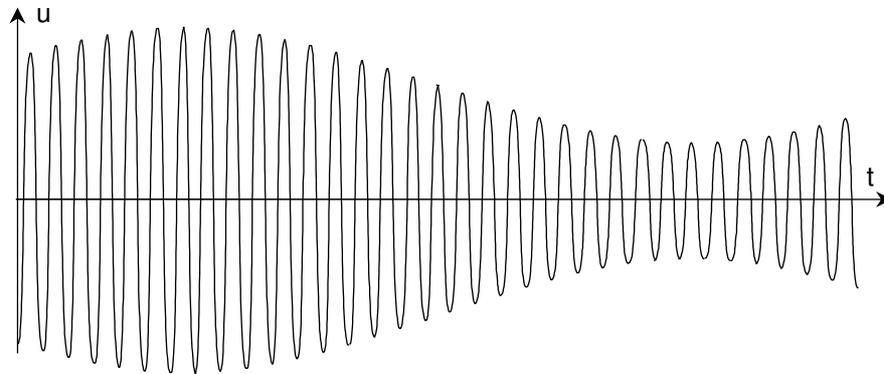
**Document 3**

ANNEXE DE L'EXERCICE II À RENDRE AVEC VOTRE COPIE

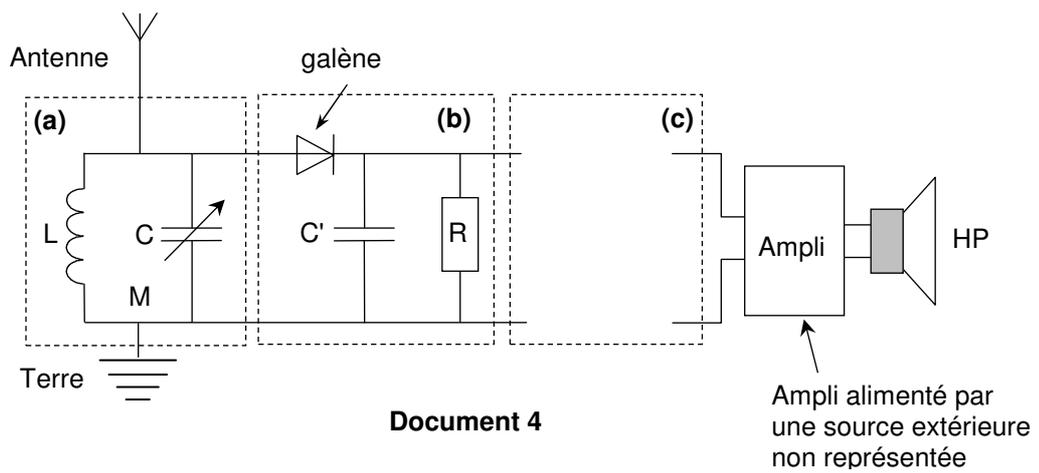
**Document 1** : Évolution de l'activité du césium 137 pour les vins de la région de Bordeaux d'âge compris entre 1950 et nos jours (mesures faites en 2000). Les mesures de l'activité s'expriment en mBq par litre de vin.

Par exemple, l'activité mesurée en 2000, d'un litre de vin de 1960 est de 375 mBq.





Document 3



Document 4