BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2008

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : 6

L'usage des calculatrices EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Les données sont en italique.

Ce sujet comporte deux exercices de CHIMIE et un exercice de PHYSIQUE présentés sur 9 pages numérotées de 1 à 9, y compris celle-ci.

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

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

I. **La pile sous toutes ses faces (6,5 points)**
II. **Bobine d'un woofer (5,5 points)**
III. **Utilisation de technétium en médecine nucléaire (4 points)**

EXERCICE I. LA PILE SOUS TOUTES SES FACES (6,5 points)

Depuis la découverte de la pile par Alessandro Volta en 1800, de nombreux scientifiques ont cherché (et cherchent encore) à fabriquer des piles de plus en plus performantes (transport plus facile, encombrement plus faible, durée de fonctionnement plus longue, intensité débitée plus grande...).
On se propose dans cet exercice d'étudier quelques caractéristiques de trois modèles de piles :

- *une pile "classique ", celle de J. Daniell ;*
- *un accumulateur rechargeable ;*
- *une pile à combustible.*

Les trois parties de cet exercice sont indépendantes.

1. La pile Daniell.

Conçue en 1836 par le physicien britannique John Daniell, elle met en jeu les deux couples $Zn^{2+}(aq)/Zn(s)$ et $Cu^{2+}(aq)/Cu(s)$. Elle offre l'avantage sur la pile de Volta de délivrer un courant constant. Initialement, les deux solutions étaient séparées par une paroi en terre poreuse. Cette paroi fut remplacée par une feuille de parchemin permettant à la pile de débiter un courant plus intense.
Le modèle présenté sur la ***feuille annexe, page 8/9, à rendre avec la copie****, est constitué de deux demi-piles reliées par un pont salin au nitrate de potassium $K^+(aq) + NO_3^-(aq)$.*
Les solutions aqueuses de sulfate de zinc et de sulfate de cuivre utilisées ont la même concentration molaire en ions zinc et en ions cuivre : $[Cu^{2+}] = [Zn^{2+}] = 1,0\ mol.L^{-1}$.
L'électrode positive de cette pile est l'électrode de cuivre.

1.1. Légender le schéma de la figure 1 de **la feuille annexe, page 8/9, à rendre avec la copie,** en indiquant :
- la nature de chaque électrode ;
- la nature des ions métalliques présents dans les béchers ;
- le sens conventionnel du courant et le sens du mouvement des électrons.

1.2. Écrire les équations des réactions qui se produisent aux électrodes en précisant pour chacune d'elles s'il s'agit d'une oxydation ou d'une réduction.
1.3. En déduire l'équation de la réaction de fonctionnement de la pile.

1.4.1. Donner l'expression littérale du quotient de réaction associé à la réaction dont l'équation a été donnée en réponse à la question 1.3.
1.4.2. Calculer sa valeur $Q_{r,i}$ dans l'état initial du système.
1.4.3. Cette valeur est-elle en accord avec la polarité de la pile indiquée dans l'énoncé ? Justifier.
Donnée : Pour la réaction d'équation $Cu^{2+}(aq) + Zn(s) = Cu(s) + Zn^{2+}(aq)$, *la constante d'équilibre vaut* $K = 1,9 \times 10^{37}$.

1.5. Comment évoluent les concentrations des ions métalliques dans chacun des béchers ?
1.6. En déduire le sens du mouvement des ions présents dans le pont salin.

2. L'accumulateur au plomb.

L'accumulateur au plomb a été inventé en 1859 par Gaston Planté. Robuste et bon marché, il peut débiter des courants de très grandes intensités (plusieurs centaines d'ampères). C'est pourquoi il est utilisé pour alimenter les démarreurs des moteurs thermiques (voitures et camions).
Un élément d'accumulateur est constitué de deux électrodes, l'une en plomb $Pb(s)$, l'autre en plomb recouverte d'oxyde de plomb $PbO_2(s)$. Ces deux électrodes sont immergées dans une solution aqueuse d'acide sulfurique.

L'équation de la réaction de fonctionnement de l'accumulateur en générateur s'écrit :

$$PbO_2(s) + 4\,H^+(aq) + Pb(s) = Pb^{2+}(aq) + Pb^{2+}(aq) + 2\,H_2O(l)$$

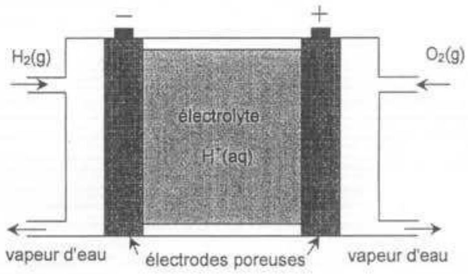
2.1. Identifier les deux couples oxydant/réducteur qui interviennent dans le fonctionnement de ce générateur.

On s'intéresse dans ce qui suit à la charge de l'accumulateur.
Lors de la charge, l'accumulateur joue le rôle d'électrolyseur. Un générateur de charge, de force électromotrice supérieure à celle de l'accumulateur impose le sens du courant (voir figure 2 de ***la feuille annexe, page 8/9, à rendre avec la copie****).*

2.2. Sur la figure 2, indiquer l'anode et la cathode de l'accumulateur.
2.3. La transformation est-elle spontanée ou forcée ?
2.4. Écrire l'équation de la réaction chimique qui modélise dans le sens direct la transformation chimique qui se produit lors de la charge.
2.5. Comment évolue le quotient de cette réaction par rapport à la constante d'équilibre lors de cette transformation ?

3. La pile à combustible à hydrogène.

Si le principe de la pile à combustible est connu depuis 1839 (C Schönbein puis William R. Grove), ce n'est que dans les années 1950 que Francis T. Bacon réalise les premiers prototypes. Les piles à hydrogène alimentaient en électricité les missions Apollo qui permirent aux astronautes américains de se poser sur la Lune. Elles équipent encore actuellement les navettes spatiales. Convertisseur d'énergie non polluant, la pile à hydrogène serait le générateur idéal des voitures à moteur électrique mais le coût de fabrication élevé (les électrodes contiennent du platine qui joue le rôle de catalyseur) et la difficulté de stocker le dihydrogène freinent son développement.



Une cellule de pile à hydrogène est constituée de deux électrodes poreuses séparées par un électrolyte (acide dans le cas présent).
À la borne négative, le dihydrogène réagit suivant l'équation :
$H_2(g) = 2\,H^+(aq) + 2\,e^-$
À la borne positive, le dioxygène réagit suivant l'équation :
$O_2(g) + 4\,H^+(aq) + 4\,e^- = 2\,H_2O(l)$
L'équation de fonctionnement de la pile s'écrit alors :
$O_2(g) + 2\,H_2(g) = 2\,H_2O(l)$

Des essais montrent qu'une voiture munie d'un moteur électrique alimenté par une pile à hydrogène consomme 2,5 kg de dihygrogène pour parcourir 500 km en 6 h 40 min.

3.1. Calculer la quantité de matière de dihydrogène consommée pendant la durée du trajet.
3.2. En déduire la quantité d'électrons (en mol) qui circule dans le circuit extérieur (on pourra s'aider d'un tableau descriptif de l'évolution du système).
3.3. Calculer la quantité d'électricité totale débitée par la pile, puis l'intensité du courant, supposée constante pendant la durée du trajet.
Remarque : l'intensité calculée, très grande, ne correspond pas à la réalité car, dans une voiture, plusieurs éléments de pile sont montés en série.

Données : *Masse molaire atomique de l'hydrogène* $M(H) = 1,00\ g.mol^{-1}$
1 faraday (1F) $= 9,65\times10^4\ C.mol^{-1}$
Constante d'Avogadro : $N_A = 6,02\times10^{23}\ mol^{-1}$
Charge électrique élémentaire : $e = 1,60\times10^{-19}\ C$

EXERCICE II. BOBINE D'UN WOOFER (5,5 points)

Frédéric, un élève bricoleur, démonte le caisson de grave de sa chaîne Hi-fi. Cette enceinte acoustique comporte un woofer : c'est un haut-parleur de grand diamètre qui a pour fonction de reproduire les sons graves. Frédéric découvre à l'intérieur du woofer une bobine formée d'un enroulement de fil de cuivre isolé sur un cylindre en carton. Il montre cette bobine à son professeur de sciences physiques et lui demande comment trouver les valeurs de l'inductance L et de la résistance interne r de cette bobine. Le professeur lui propose de trouver expérimentalement les caractéristiques de la bobine du woofer lors d'une séance de travaux pratiques.

Frédéric dispose du matériel suivant :
un générateur de tension continue de f e m $E = 6,0$ V ; un conducteur ohmique de résistance R réglable ; la bobine du woofer ; un interrupteur ; des fils de connexion et un système d'acquisition informatisé.
Frédéric réalise le montage représenté sur la figure 1 ci-contre. Il règle la résistance à la valeur $R = 10\ \Omega$. À l'instant de date $t = 0$ s, il ferme l'interrupteur et enregistre la courbe d'évolution de la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique en fonction du temps.

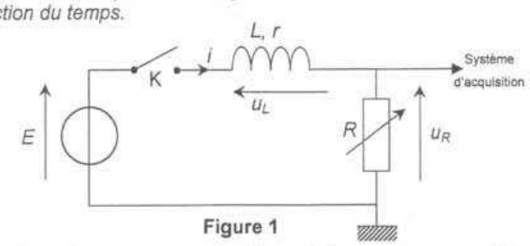


Figure 1

Partie A :
Le professeur : *« À partir de la courbe que vous venez d'enregistrer, vous pouvez utiliser les fonctions du logiciel pour faire apparaître la courbe d'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps. »*
Frédéric obtient la courbe ***du document 1 en ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE****.*
Frédéric : *« Cette nouvelle courbe a la même allure que celle obtenue lors de mon acquisition : elle comporte deux parties correspondant au régime transitoire et au régime permanent. En utilisant le régime permanent, je devrais pouvoir trouver la valeur de la résistance interne r de la bobine. »*
Après quelques calculs, Frédéric trouve $r = 4,0\ \Omega$.
Le professeur : *« Il existe un appareil permettant de vérifier si votre résultat est juste. Réfléchissez. »*

QUESTIONS 1, 2, 3, 4 et 5 :

1. À partir de la courbe qu'il a enregistrée, expliquer comment Frédéric a pu obtenir la courbe du document 1 donnant l'évolution de l'intensité du courant en fonction du temps.
2. Quelle est la valeur de l'intensité I du courant traversant le circuit lorsque le régime permanent est atteint ?
3. Montrer que l'expression de l'intensité I du courant en régime permanent est : $I = \dfrac{E}{R + r}$.
4. Vérifier la valeur de la résistance interne r de la bobine du woofer.
5. Quel appareil Frédéric peut-il utiliser pour vérifier que la résistance interne de la bobine du woofer est $r = 4,0\ \Omega$?

Partie B :
Le professeur : *« Maintenant, comment pouvez-vous trouver l'inductance L de la bobine en utilisant encore une fois la courbe du document 1 ? »*
Frédéric : *« Et si je déterminais graphiquement la constante de temps τ du circuit ? »*
Le professeur : *« C'est une bonne idée ! Ne soyez pas étonné, ce genre de bobine a une valeur d'inductance assez faible de l'ordre du millihenry. »*

QUESTIONS 6, 7 et 8 :

6. À partir de la courbe **du document 1 en ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE** et en détaillant votre méthode, déterminer la constante de temps τ du circuit.
7. Donner l'expression de la constante de temps τ en fonction des grandeurs caractéristiques du circuit.
8. En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine du woofer.

Partie C :
Le professeur : *« Il nous reste encore un peu de temps avant la sonnerie ; je vous propose d'étudier de manière théorique l'établissement du courant dans le circuit représenté sur la figure 1. »*
Frédéric : *« J'applique la loi d'additivité des tensions et j'obtiens une équation de la forme :*

$$\frac{di}{dt} = A - B.\, i(t)$$ ***(équation 1)* »**

Le professeur : *« Vous allez résoudre numériquement l'équation 1 par la méthode d'Euler. Je vais vous donner les valeurs de A et de B. Je vous prépare un tableau pour que vous fassiez les premiers calculs à la main. »*
Frédéric : *« Monsieur, c'est long ! »*
Le professeur : *« Continuez vos calculs à l'aide du tableur de l'ordinateur. »*

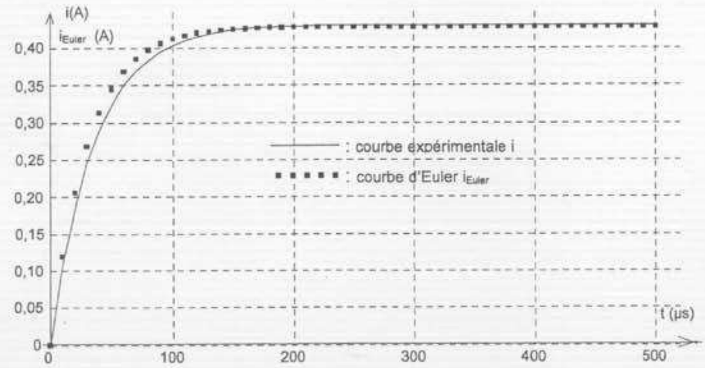
QUESTIONS 9, 10, 11 et 12 :

9. Établir **l'équation 1** et vérifier que les expressions littérales de A et B sont : $A = \frac{E}{L}$ et $B = \frac{(R + r)}{L}$.

10. Établir, à l'aide d'une analyse dimensionnelle, l'unité de B dans le système international.
On donne $A = 1{,}2 \times 10^4\ A.s^{-1}$ et $B = 2{,}8 \times 10^4$ SI

11. *La méthode d'Euler permet de calculer successivement les valeurs de i(t) et de $\left(\frac{di(t)}{dt}\right)$ à des instants de date t séparés par des intervalles de temps réguliers Δt. Δt est le pas de résolution du calcul, ici $\Delta t = 1{,}0 \times 10^{-5}$ s.*
Compléter le tableau **du document 2 de l'ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE**.

12. *À l'aide d'un tableur, Frédéric continue les calculs jusqu'à l'instant de date t = 500 μs. Il place les valeurs expérimentales i(t) et les valeurs calculées $i_{Euler}(t)$ par la méthode d'Euler sur le graphe ci-dessous.*



Comment Frédéric peut-il améliorer la précision de la méthode d'Euler ?

Partie D :
Frédéric : *« Monsieur, que s'est-il passé ? J'ai une courbe supplémentaire sur mon écran ! »*
Le professeur : *« Pendant que vous faisiez vos calculs à la main, j'ai effectué une nouvelle acquisition. J'ai gardé dans le circuit la bobine de votre woofer et je n'ai modifié qu'une seule grandeur caractéristique du circuit. »*
Frédéric : *« Vous avez changé soit la valeur de la f e m E du générateur, soit la valeur de la résistance réglable R. »*
Le professeur : *« Eh oui ! Comparez les constantes de temps des deux courbes et vous trouverez ce que j'ai modifié dans votre montage. »*

QUESTION 13 :

La courbe obtenue par le professeur est représentée sur ***le document 3 en ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE.***
13. Quelle grandeur caractéristique du circuit (*E* ou *R*) le professeur a-t-il changée pour obtenir la courbe n°1 **du document 3 de l'ANNEXE, page 9/9, À RENDRE AVEC LA COPIE** ? Justifier.

EXERCICE III. UTILISATION DE TECHNÉTIUM EN MÉDECINE NUCLÉAIRE (4 points)

La médecine nucléaire consiste à introduire des substances radioactives à l'intérieur d'un organisme vivant à des fins de diagnostic et de thérapeutique. L'histoire de la médecine nucléaire est étroitement liée à celle de la physique nucléaire. Dès 1903 fut reconnue l'action bénéfique des rayons du radium pour le traitement des tumeurs cancéreuses ; c'était la naissance de la radiothérapie. Mais c'est principalement la découverte de la radioactivité artificielle en 1934 par Irène et Frédéric Joliot-Curie qui a mis à la disposition des médecins et des biologistes une grande variété d'isotopes radioactifs conduisant à l'établissement de diagnostics précis.
Actuellement le technétium 99 est très utilisé en médecine nucléaire car il présente les avantages suivants :

- *sa durée de vie est courte et réduit l'irradiation du patient tout en étant compatible avec la durée de l'examen ;*
- *il peut être associé à de nombreuses molécules, ce qui permet l'étude de nombreux organes ;*
- *il est moins coûteux que d'autres isotopes radioactifs ;*
- *et enfin il peut être facilement mis à la disposition des médecins.*

<u>Données</u> :

Noyau	technétium 97	technétium 99	molybdène 96	molybdène 99	deutérium
Symbole	$^{97}_{43}Tc$	$^{99}_{43}Tc$	$^{96}_{42}Mo$	$^{99}_{42}Mo$	$^{2}_{1}H$

Particule ou noyau	molybdène 99	technétium 99	proton	neutron	électron
Masse en u	98,88437	98,88235	1,00728	1,00866	0,00055

Unité de masse atomique	$1\ u = 1{,}66054 \times 10^{-27} kg$
Célérité de la lumière dans le vide	$c = 3{,}00 \times 10^{8}\ m.s^{-1}$
Electronvolt	$1\ eV = 1{,}60 \times 10^{-19}\ J$
Énergie de masse de l'unité de masse atomique	$E = 931{,}5\ MeV$

1. Découverte du technétium.

Le technétium est un élément chimique de numéro atomique 43. Son nom vient du grec « technetos » qui signifie « artificiel ». C'est en effet le premier élément chimique produit sans avoir été découvert dans la nature. Tous les isotopes connus du technétium sont radioactifs. En 1937, Carlo Perrier et Emilio Segrè ont synthétisé l'isotope 97 du technétium en bombardant du molybdène 96 avec du deutérium.

1.1. À quelles conditions dit-on que deux noyaux sont isotopes ?
1.2.1. Énoncer les lois de conservation qui régissent les réactions nucléaires.

1.2.2. Écrire l'équation de la réaction nucléaire de synthèse du technétium 97 sachant qu'une particule $^{A}_{Z}X$ est émise. Nommer cette particule.

2. Production actuelle du technétium 99.

Actuellement pour fabriquer du technétium 99, il existe des générateurs molybdène / technétium à l'intérieur desquels le molybdène 99 se désintègre en technétium 99.

2.1. Écrire l'équation de la désintégration du molybdène 99. De quel type de radioactivité s'agit-il ?
2.2. Calculer en joules et en MeV l'énergie libérée lors de la désintégration d'un noyau de molybdène 99.

3. Scintigraphie osseuse à l'aide du technétium 99.

Un patient va subir une scintigraphie osseuse. Cet examen se déroule en deux temps :

- *l'injection intraveineuse d'un produit appelé diphosphonate marqué au technétium 99, ce produit se fixe préférentiellement sur les lésions osseuses du squelette (sa captation est maximale au bout de trois heures).*
- *Le technétium 99 produit est ensuite détecté par une gamma-caméra. Celle-ci fournit une image du squelette appelée scintigraphie où peuvent apparaître des zones fortement colorées indiquant une inflammation, un abcès ou une métastase.*

Un mardi à 14h, une infirmière injecte au patient une dose de technétium 99 d'activité A = 555 MBq. Le temps de demi-vie du technétium 99 est $t_{1/2}$ = 6,0 heures.

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

Le nombre N(t) de noyaux radioactifs de technétium 99 présents dans la dose injectée au patient suit une loi de décroissance exponentielle : $N(t) = N_0 . e^{-\lambda t}$. *La relation entre la constante radioactive* λ *et le temps de demi-vie* $t_{1/2}$ *est :* $t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$.

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

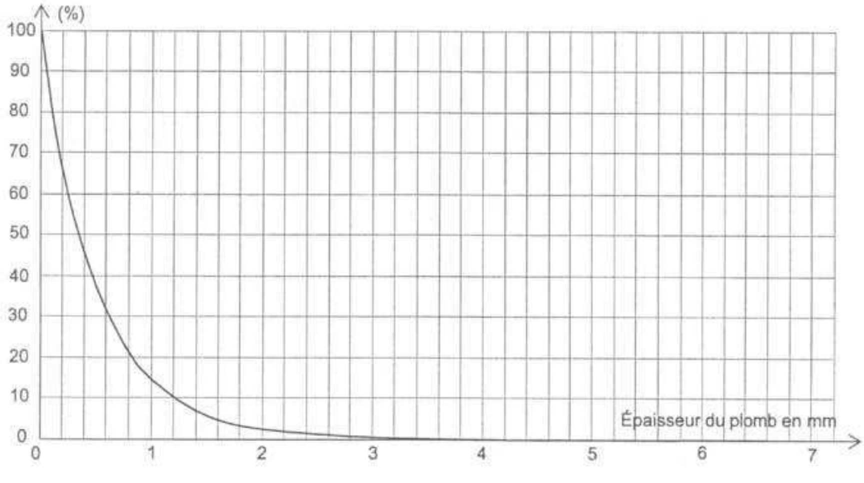
3.2. Montrer que l'expression de l'activité peut se mettre sous la forme $A(t) = A_0 . e^{-\lambda t}$.

3.3. Calculer le nombre de noyaux de technétium 99 reçus par le patient lors de l'injection.

A la fin de l'examen, l'activité du patient est égale à 63% de sa valeur mesurée à 14 h, juste après l'injection.
3.4. À quelle heure se termine l'examen ?

La dose injectée au patient le mardi à 14h a été préparée par l'infirmière le mardi matin à 8h.

Pour se protéger du rayonnement γ *produit par le technétium 99, l'infirmière a utilisé, lors de l'injection de la dose au patient, un protège-seringue d'une épaisseur de 5 mm de plomb. La couche de demi-atténuation d'un matériau est l'épaisseur de ce matériau capable d'arrêter 50 % du rayonnement ionisant. Le graphe ci-dessous représente le pourcentage de rayonnement* γ *produit par le technétium 99 transmis à l'extérieur en fonction de l'épaisseur de plomb.*



3.5. À l'aide du graphe, déterminer la valeur de la couche de demi-atténuation du plomb pour le rayonnement γ produit par le technétium 99.

ANNEXE DE L'EXERCICE I

À RENDRE AVEC LA COPIE

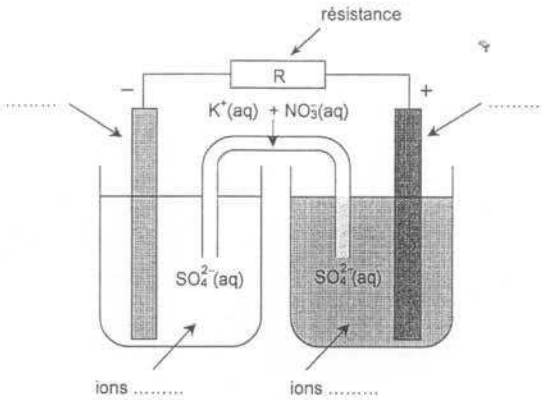


Figure 1

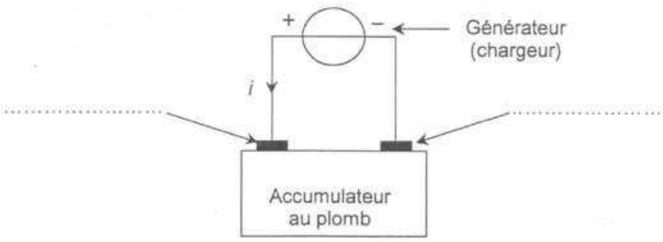
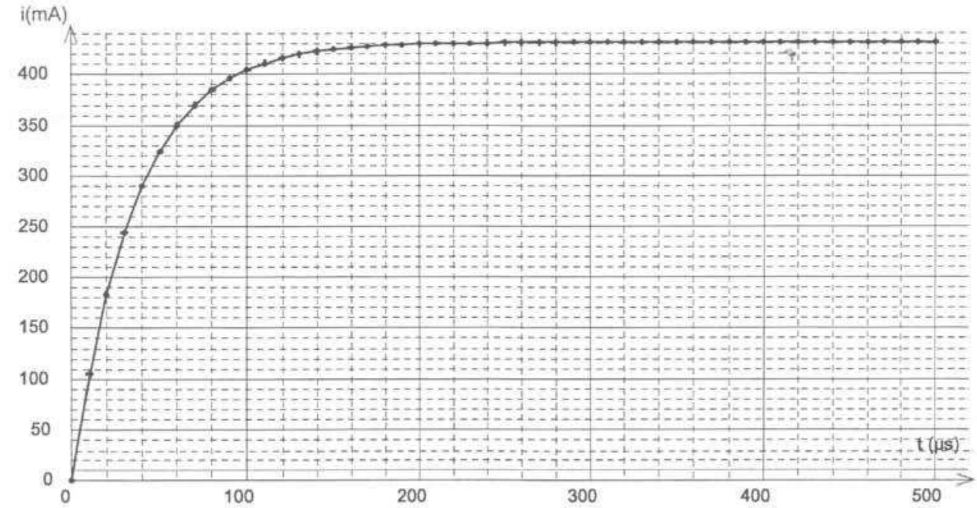


Figure 2

ANNEXE DE L'EXERCICE II

À RENDRE AVEC LA COPIE

Document 1 : Évolution de l'intensité du courant en fonction du temps



Document 2

t en s	$i(t)$ en A	$\left(\dfrac{di(t)}{dt}\right)$ en $A.s^{-1}$
0	0	
$1{,}0\times 10^{-5}$	0,12	
$2{,}0\times 10^{-5}$		$6{,}1\times 10^{3}$

Document 3