

# BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2009

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : 3 h 30 — COEFFICIENT : 8

**L'usage des calculatrices EST autorisé**  
**Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré**

*Les données sont en italique*

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

**Les feuilles d'annexes (pages 9 à 10) SONT À RENDRE AVEC LA COPIE même si elles n'ont pas été complétées.**

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

- I. **Un cycliste écologiste (6,5 points)**
- II. **Un toboggan de plage (5,5 points)**
- III. **Une carafe filtrante permet-elle de diminuer la dureté d'une eau ? (4 points)**

## EXERCICE I. UN CYCLISTE ÉCOLOGISTE (6,5 points)

Philippe, soucieux de l'avenir de notre planète, fait la plupart de ses déplacements à vélo.

Un jour son grand-père l'interpelle : « tu sais que les piles salines de ton éclairage sont polluantes et ont une durée de vie limitée ? »

Philippe, un peu penaud, répond « oui, bien sûr, mais comment faire autrement ? »

- et bien il faut utiliser une dynamo pardi !

- j'y ai bien pensé grand-père mais cela ne donne de la lumière que quand on roule. C'est un peu dangereux !

- oh, il doit bien y avoir une solution... toi qui es si fort en physique, tu peux sans doute trouver une solution !



### Partie A : étude de la pile saline utilisée par Philippe

#### 1. Fonctionnement de la pile

1.1. Dans la pile saline utilisée par Philippe l'équation de la réaction se produisant à une des deux électrodes est :  $Zn = Zn^{2+} + 2 e^{-}$ .

Cette électrode est-elle l'anode ou la cathode ? Justifier la réponse.

1.2. Le couple mis en jeu à la seconde électrode est  $MnO_2 / MnO_2H$ .

Écrire l'équation de la réaction ayant lieu à cette électrode.

1.3. En déduire l'équation globale de fonctionnement de la pile.

#### 2. Usure de la pile

2.1. Le constructeur de la pile indique la quantité maximale d'électricité que peut débiter la pile en ampère-heure :  $Q_{max} = 1,35 \text{ Ah}$ . Donnée :  $1 \text{ Ah}$  correspond à  $3,60 \times 10^3 \text{ C}$ .

Si l'intensité  $I$  du courant débité par la pile de Philippe est égale à  $90,0 \text{ mA}$ , déterminer la durée maximale  $t_{max}$  de fonctionnement de la pile.

2.2. Déterminer la quantité d'électrons  $n(e^{-})$  mise en jeu pendant la durée  $t_{max}$ .

Donnée : constante de Faraday :  $F = 9,65 \times 10^4 \text{ C.mol}^{-1}$ .

2.3. En déduire la masse  $m$  de zinc consommée pendant cette même durée  $t_{max}$ .

Donnée :  $M(Zn) = 65,4 \text{ g.mol}^{-1}$ .

### Partie B : tentative de remplacement des piles

Philippe étudie le problème et réunit les renseignements suivants :

- une dynamo (ou alternateur) est un générateur de tension alternative uniquement quand le vélo roule.
- un circuit électrique (qui ne sera pas étudié dans cet exercice) permet de transformer la tension alternative en tension continue.
- on peut stocker de l'énergie dans un condensateur et ensuite utiliser cette énergie stockée pour faire briller une lampe.

La charge du condensateur se fait pendant que le vélo roule et ne pose pas de problème particulier. Quand le vélo s'arrête, un circuit électronique permet de commencer la décharge du condensateur dans la lampe.

## Première partie : étude expérimentale de la décharge d'un condensateur

Pour savoir si son idée est utilisable, Philippe décide de tester la décharge d'un condensateur de capacité  $C = 1,0 \mu\text{F}$  dans une lampe.

Remarque : on considère que la lampe à incandescence se comporte pratiquement comme un conducteur ohmique de résistance constante et de faible valeur ( $22 \Omega$ ) ; elle sera donc notée  $R$  dans la suite de l'exercice.

Le schéma du document 1 de l'**annexe page 9 à rendre avec la copie** représente une partie du circuit utilisé par Philippe (celle qui correspond à la décharge du condensateur).

On n'étudiera pas la charge du condensateur et on considèrera qu'à l'instant  $t = 0$ , le condensateur est chargé de telle manière que  $u_C(0) = 6,0 \text{ V}$ .

1. Sur le document 1 de l'**annexe page 9 à rendre avec la copie**, représenter en convention récepteur la tension  $u_R$  aux bornes du conducteur ohmique ainsi que la tension  $u_C$  aux bornes du condensateur.
2. *Philippe souhaite tracer la courbe  $u_C = f(t)$  grâce à un système informatisé (carte d'acquisition et logiciel adapté).*  
Sur le document 1 de l'**annexe page 9 à rendre avec la copie**, indiquer les branchements à réaliser pour enregistrer la courbe  $u_C = f(t)$  sur la voie 0 de l'interface notée EA0.
3. Philippe utilise ensuite le logiciel pour calculer et tracer la courbe  $|i| = f(t)$ . Les courbes obtenues sont données en **annexe pages 9 et 10 à rendre avec la copie (documents 2 et 3)**.
  - 3.1. À partir du document 2 de l'**annexe page 9 à rendre avec la copie**, déterminer la valeur expérimentale de la constante de temps  $\tau$  du circuit en faisant apparaître les tracés.
  - 3.2. Valeur théorique de la constante de temps  $\tau$ 
    - 3.2.1. Énoncer la relation qui permet de calculer la constante de temps  $\tau$  de ce type de circuit.
    - 3.2.2. Vérifier que  $\tau$  est homogène à un temps grâce à une analyse dimensionnelle.
    - 3.2.3. Calculer la valeur théorique de la constante de temps  $\tau$  de ce circuit.
  - 3.3. Est-ce que la valeur expérimentale de la constante de temps déterminée à la question 3.1. est en accord avec la valeur théorique trouvée à la question 3.2.3 ?
  - 3.4. *La décharge du condensateur dans la lampe d'éclairage du vélo doit permettre d'avoir de la lumière à l'arrêt pendant au moins 3 minutes (durée du feu au bout de la rue de Philippe).*  
*Philippe a testé sa lampe et il sait qu'elle brille correctement si la valeur absolue de l'intensité du courant est supérieure ou égale à 80 mA.*  
À l'aide du **document 3 de l'annexe page 10 à rendre avec la copie** expliquer pourquoi le condensateur utilisé ne convient pas.

## Deuxième partie : étude théorique de la décharge d'un condensateur

Philippe a trouvé sur internet une publicité pour des « super-condensateurs » capables de stocker une grande quantité d'énergie. Avant d'acheter un super-condensateur, Philippe veut savoir s'il convient. Il fait donc une étude théorique.

### 1. Aspect énergétique

- 1.1. Donner l'expression de l'énergie stockée dans un condensateur puis calculer sa valeur dans le cas d'un super condensateur de capacité  $C' = 1,0 \text{ F}$  chargé sous une tension  $u_C = 6,0 \text{ V}$ .
- 1.2. Comparer cette valeur avec celle de l'énergie stockée dans le condensateur utilisé dans la première partie ( $C = 1,0 \mu\text{F}$ ) et conclure.

### 2. Étude de la décharge du super-condensateur dans la lampe

- 2.1. Expression littérale de l'intensité du courant en fonction du temps :  $i = f(t)$ .

Le montage étudié est toujours celui du document 1 de l'annexe page 9 à rendre avec la copie et on a toujours  $u_C(0) = 6,0 \text{ V}$ .

2.1.1. Dans ce montage, quelle est la relation qui existe entre les tensions  $u_C$  et  $u_R$  ?

2.1.2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la tension  $u_C$ .

2.1.3. Une solution de cette équation différentielle est du type :  $u_C(t) = A.e^{\frac{-t}{\tau}}$  où  $A$  est une constante à déterminer.

Déterminer la valeur de  $A$  pour ce montage.

2.1.4. Montrer que  $i(t) = -0,27.e^{\frac{-t}{22}}$  (toutes les unités étant exprimées dans les unités du système international).

- 2.2. Étude de la courbe  $|i| = f(t)$ .

Philippe trace la courbe  $|i| = f(t)$  à l'aide d'un tableur. Il obtient la courbe donnée en annexe page 10 à rendre avec la copie (document 4).

Ce super-condensateur convient-il ? Justifier.

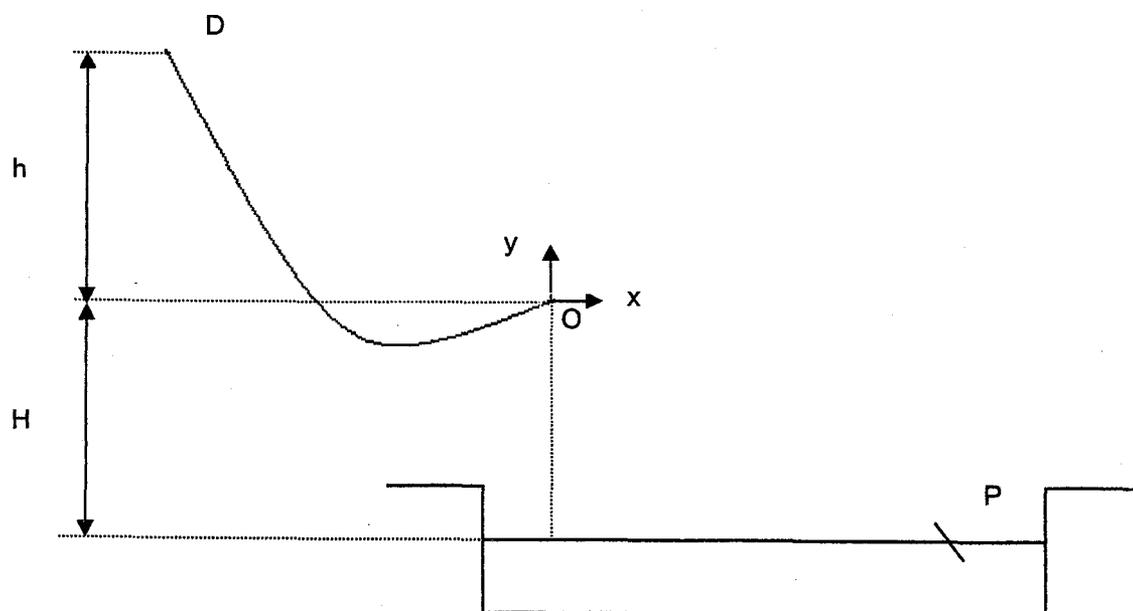
Remarque : on rappelle que la décharge du condensateur dans la lampe d'éclairage du vélo doit permettre d'avoir de la lumière à l'arrêt pendant au moins 3 minutes (durée du feu au bout de la rue de Philippe) et que la lampe brille correctement si la valeur absolue de l'intensité du courant est supérieure ou égale à 80 mA.

## EXERCICE II. UN TOBOGGAN DE PLAGE (5,5 points)

Un enfant glisse le long d'un toboggan de plage dans le référentiel terrestre supposé galiléen. Pour l'exercice, l'enfant sera assimilé à un point matériel  $G$  et on négligera tout type de frottement ainsi que toutes les actions dues à l'air.

Un toboggan de plage est constitué par :

- une piste  $DO$  qui permet à un enfant partant de  $D$  sans vitesse initiale d'atteindre le point  $O$  avec un vecteur vitesse  $\vec{V}_0$  faisant un angle  $\alpha$  avec l'horizontale ;
- une piscine de réception : la surface de l'eau se trouve à une distance  $H$  au dessous de  $O$ .



Données :

- Masse de l'enfant :  $m = 35 \text{ kg}$  ;
- Intensité de la pesanteur :  $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$  ;
- Dénivellation  $h = 5,0 \text{ m}$  ;
- Hauteur  $H = 0,50 \text{ m}$  ;
- Angle  $\alpha = 30^\circ$  ;
- On choisit l'altitude du point O comme référence pour l'énergie potentielle de pesanteur de l'enfant ;  $E_{ppO} = 0$  pour  $y_o = 0$ .

## 1. Mouvement de l'enfant entre D et O

- 1.1. Donner l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur  $E_{pp_D}$  de l'enfant au point D.
- 1.2. Donner l'expression de l'énergie mécanique  $Em_D$  de l'enfant au point D.
- 1.3. Donner l'expression de l'énergie mécanique  $Em_O$  de l'enfant au point O.
- 1.4. En déduire l'expression de la vitesse  $v_0$  en justifiant le raisonnement.
- 1.5. Calculer la valeur de la vitesse  $v_0$  de l'enfant en O.
- 1.6. En réalité, la vitesse en ce point est nettement inférieure et vaut  $5,0 \text{ m.s}^{-1}$ . Comment expliquez-vous cette différence ?

## 2. Étude de la chute de l'enfant dans l'eau

En O, origine du mouvement dans cette partie, on prendra  $v_0 = 5,0 \text{ m.s}^{-1}$ .

- 2.1. Énoncer la deuxième loi de Newton.
- 2.2. Appliquer la deuxième loi de Newton à l'enfant une fois qu'il a quitté le point O.
- 2.3. Déterminer l'expression des composantes  $a_x(t)$  et  $a_y(t)$  du vecteur accélération dans le repère Oxy.
- 2.4. Déterminer l'expression des composantes  $v_x(t)$  et  $v_y(t)$  du vecteur vitesse dans le repère Oxy.
- 2.5. Déterminer l'expression des composantes  $x(t)$  et  $y(t)$  du vecteur position dans le repère Oxy.
- 2.6. Montrer que l'expression de la trajectoire de l'enfant notée  $y(x)$  a pour expression :
$$y(x) = -\frac{1}{2}g \frac{x^2}{v_0^2 \cos^2 \alpha} + x \tan \alpha .$$
- 2.7. En déduire la valeur de l'abscisse  $x_P$  du point d'impact P de l'enfant dans l'eau.

### EXERCICE III. UNE CARAFE FILTRANTE PERMET-ELLE DE DIMINUER LA DURETÉ D'UNE EAU ? (4 points)

La dureté de l'eau ou titre hydrotimétrique (TH) est l'indicateur de la minéralisation de l'eau. Elle est surtout due aux ions calcium et magnésium. En France, le titre hydrotimétrique (TH) s'exprime en degré français (°f).

1°f correspond à  $10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$  d'ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ).

Le tableau ci-après permet de caractériser la dureté d'une eau en fonction de son TH :

TH (°f)	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 42	supérieur à 42
Eau	très douce	douce	moyennement dure	dure	très dure

La dureté d'une eau se détermine grâce à un titrage complexométrique par l'EDTA (acide EthylèneDiamineTétraAcétique) en présence d'un indicateur coloré de fin de réaction et de solution tampon permettant de maintenir le pH de la solution entre 9 et 10.

On souhaite donc comparer la dureté de l'eau du robinet (appelée eau n°1) à celle obtenue après filtration avec une carafe (appelée eau n°2).



On réalise alors deux titrages :

- un titrage d'un volume  $V = 20,0 \text{ mL}$  d'eau n°1 ;
- un titrage d'un volume  $V = 20,0 \text{ mL}$  d'eau n°2.

La concentration de la solution d'EDTA utilisée est  $c = 1,0 \times 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ .

Les résultats obtenus sont les suivants :

	Eau non filtrée (eau n°1)	Eau filtrée (eau n°2)
Volume $V_E$ (en mL) d'EDTA versé pour atteindre l'équivalence	6,7	2,9

1. Quelle verrerie doit-on utiliser pour prélever le volume  $V = 20,0 \text{ mL}$  d'eau à doser ?
2. En milieu basique l'EDTA contient des ions  $\text{Y}^{4-}$  qui réagissent avec les ions calcium ( $\text{Ca}^{2+}$ ) et les ions magnésium ( $\text{Mg}^{2+}$ ) selon les équations :
 
$$\text{Ca}^{2+} (\text{aq}) + \text{Y}^{4-} (\text{aq}) = \text{CaY}^{2-} (\text{aq})$$

$$\text{Mg}^{2+} (\text{aq}) + \text{Y}^{4-} (\text{aq}) = \text{MgY}^{2-} (\text{aq})$$
 Cela signifie donc que la quantité d'EDTA versé sert à doser les quantités d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  présents dans le volume  $V$  d'eau titrée.
  - 2.1. Ce titrage est-il direct ou indirect ? Justifier.
  - 2.2. Si  $n(\text{Ca}^{2+})$  et  $n(\text{Mg}^{2+})$  désignent respectivement les quantités d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  présentes dans le volume  $V$  d'eau titrée et si  $n(\text{EDTA})$  désigne la quantité d'ions  $\text{Y}^{4-}$  versés pour atteindre l'équivalence, quelle relation lie ces trois quantités ?
3. Quelle est la relation existant entre  $[\text{Ca}^{2+} (\text{aq})]$ ,  $[\text{Mg}^{2+} (\text{aq})]$ ,  $V$ ,  $c$  et  $V_E$  ?

#### 4. Efficacité de la carafe filtrante

- 4.1. Calculer en  $\text{mol.L}^{-1}$  la valeur de la somme  $[\text{Ca}^{2+}(\text{aq})] + [\text{Mg}^{2+}(\text{aq})]$  pour l'eau n°1 et l'eau n°2.
  - 4.2. En déduire le TH exprimé en degré français ( $^{\circ}\text{f}$ ) de l'eau non filtrée (eau n°1) et le TH de l'eau filtrée (eau n°2).
  - 4.3. Quelle est l'eau la plus dure ? Justifier.
  - 4.4. Conclure sur l'efficacité de la carafe.
5. *Certaines eaux minérales sont conseillées pour la préparation des biberons des bébés car elles sont faiblement minéralisées. Sur l'étiquette de l'une d'entre elles on trouve les indications :*  
*lons calcium :  $78 \text{ mg.L}^{-1}$*   
*lons magnésium :  $24 \text{ mg.L}^{-1}$*

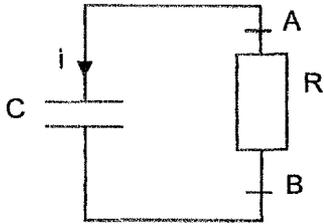
Déterminer le titre hydrotimétrique (en  $^{\circ}\text{f}$ ) de l'eau minérale considérée et le comparer à celui de l'eau filtrée avec la carafe.

Données :

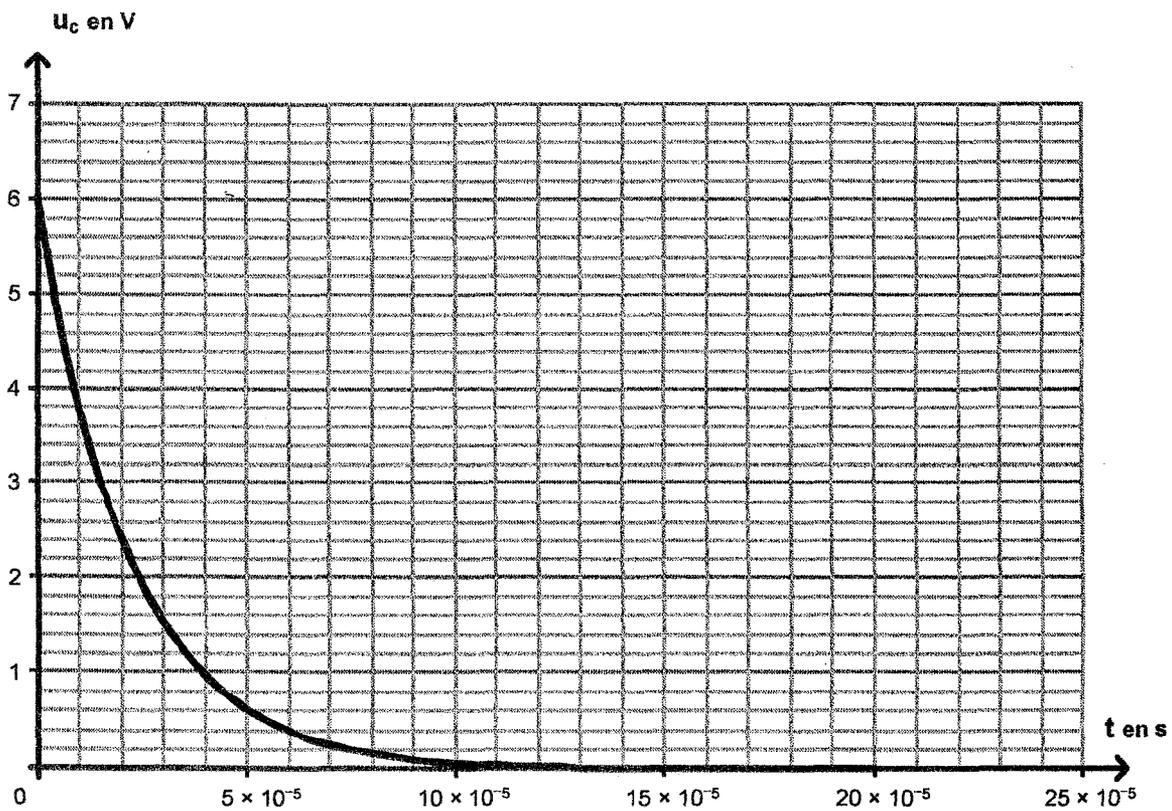
Élément	Mg	Ca
Masse molaire atomique (en $\text{g.mol}^{-1}$ )	24,3	40,1

ANNEXE DE L'EXERCICE I (À RENDRE AVEC LA COPIE)

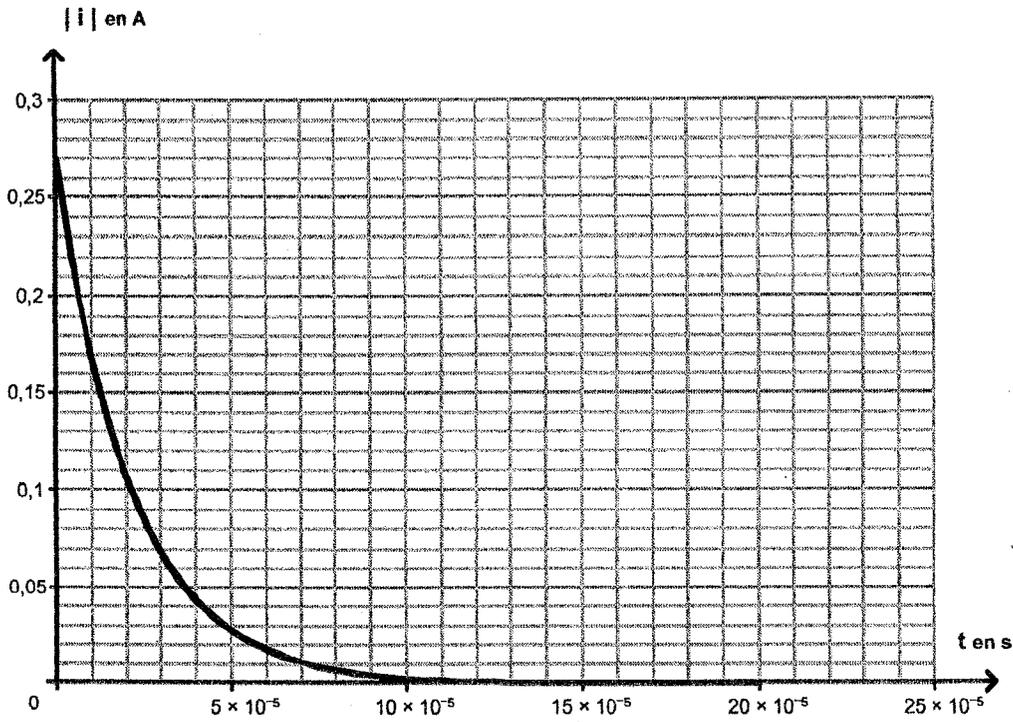
Document 1 : schéma d'une partie du circuit utilisé par Philippe (partie correspondant à la décharge du condensateur).



Document 2 : courbe expérimentale  $u_C = f(t)$ .



Document 3 : courbe expérimentale :  $|i| = f(t)$  pour  $R = 22\Omega$  et  $C = 1,0 \mu\text{F}$ .



Document 4 : courbe théorique  $|i| = f(t)$  pour  $R = 22\Omega$  et  $C = 1,0 \text{ F}$ .

