

BACCALURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2009

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

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

spécialité

L'usage des calculatrices N'EST PAS autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Les données sont en italique.

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE et deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 8 pages numérotées de 1 à 8, y compris celle-ci.

Les feuilles annexes (pages 7 et 8) SONT À RENDRE AVEC LA COPIE.

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

EXERCICE I. TITRAGE DES IONS NITRATE CONTENUS DANS UN ENGRAIS LIQUIDE (4 points)

La toxicité des nitrates provient essentiellement de leur transformation en nitrites dans l'organisme. La principale source de pollution de l'eau par les nitrates est l'utilisation massive d'engrais. L'exercice suivant se propose d'étudier un protocole permettant de déterminer la teneur en ions nitrate NO_3^- d'un engrais de jardin.

Principe du titrage :

Un excès connu d'ions Fe^{2+} réagit avec les ions nitrate contenus dans une solution préparée à partir d'un engrais liquide. Les ions Fe^{2+} qui n'ont pas réagi sont titrés par une solution de dichromate de potassium.

Protocole expérimental :

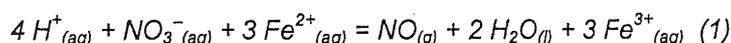
On introduit dans un ballon bicol de 500 mL, muni d'un réfrigérant à eau disposé verticalement, 1,00 g d'engrais liquide, 115 mL d'eau distillée, 45,0 mL d'une solution acidifiée de sel de Mohr contenant des ions Fe^{2+} à la concentration molaire $c_1 = 0,200 \text{ mol.L}^{-1}$ et 40,0 mL d'acide sulfurique concentré. L'ensemble est porté à ébullition pendant 5 minutes. Après refroidissement, le milieu réactionnel est transvasé en totalité dans un bécher de 500 mL. Une solution de dichromate de potassium de concentration molaire $c_2 = 0,100 \text{ mol.L}^{-1}$ permet d'effectuer le titrage des ions Fe^{2+} restants.

Données :

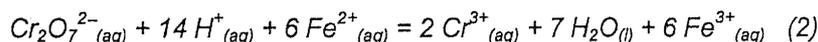
$M_N = 14,0 \text{ g.mol}^{-1}$; $M_O = 16,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

Sel de Mohr : $\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$; masse molaire $M = 392,1 \text{ g.mol}^{-1}$.

1. Quelle masse m faut-il peser pour préparer $V = 50,0 \text{ mL}$ d'une solution de sel de Mohr de concentration molaire $c = 0,200 \text{ mol.L}^{-1}$?
2. Quelle est la quantité de matière en ions Fe^{2+} , notée n_1 , présente dans un prélèvement de volume $V_1 = 45,0 \text{ mL}$ d'une solution de sel de Mohr contenant des ions Fe^{2+} à la concentration molaire de $c_1 = 0,200 \text{ mol.L}^{-1}$?
3. Quel est le nom du montage utilisé dans le protocole expérimental ?
4. Sachant que les couples oxydant / réducteur mis en jeu sont : $\text{Fe}^{3+}_{(\text{aq})} / \text{Fe}^{2+}_{(\text{aq})}$ et $\text{NO}_3^-_{(\text{aq})} / \text{NO}_{(\text{g})}$, en déduire que l'équation de la réaction entre les ions nitrate, issus de l'engrais liquide et les ions Fe^{2+} , contenus dans la solution de sel de Mohr est :



5. On donne par la suite l'équation de la réaction entre les ions dichromate et les ions Fe^{2+} :



Sachant que le volume équivalent trouvé lors du titrage est : $V_{\text{eq}} = 10,0 \text{ mL}$, en déduire la quantité de matière n_2 d'ions dichromate versée à l'équivalence.

6. À partir de l'équation de la réaction (2), déterminer la quantité de matière n_3 en ions Fe^{2+} dosée par les ions dichromate. (On pourra éventuellement s'aider d'un tableau d'avancement).
7. Vérifier que la quantité de matière n_4 en ions Fe^{2+} qui a réagi avec les ions nitrate est $n_4 = 3,00 \times 10^{-3} \text{ mol}$.
8. À partir de l'équation de la réaction (1), déterminer la quantité de matière n_5 d'ions nitrate présente dans 1,00 g d'engrais liquide. (On pourra éventuellement s'aider d'un tableau d'avancement).
9. En déduire la masse d'ions nitrate m_{nitrate} présente dans 1,00 g d'engrais liquide puis trouver le pourcentage massique en ions nitrate p_{nitrate} dans l'engrais liquide.

Le pourcentage massique est défini par
$$p_{\text{nitrate}} = \frac{m_{\text{nitrate}}}{m_{\text{engrais}}} \times 100$$

EXERCICE II. À PROPOS DU SATELLITE SPOT 4 (7 points)

Le satellite d'observation SPOT 4 est placé sur une orbite polaire (c'est-à-dire passant à la verticale des pôles) supposée circulaire dans le référentiel d'étude, à une altitude $h = 830 \text{ km}$ et sa période de révolution est de $T = 101 \text{ min}$.

On supposera que le satellite, de centre d'inertie C , est un solide ponctuel. À cette altitude, on suppose que le satellite se déplace sans frottement.

On appellera m la masse du satellite et M_T la masse de la Terre.

On donne :

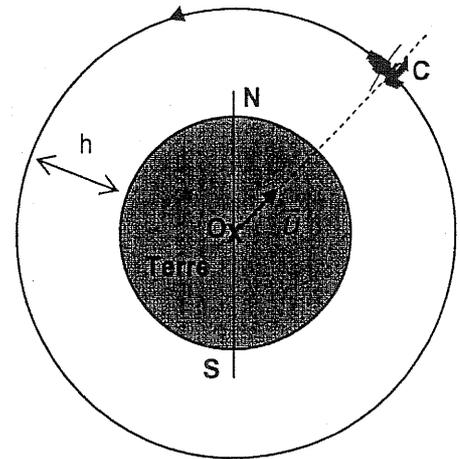
Rayon moyen de la Terre : $R_T = 6,38 \times 10^6 \text{ m}$

Constante gravitationnelle : $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$

Aides au calcul :

$$\frac{4\pi^2}{6,67 \times 10^{-11}} \approx 6 \times 10^{11} \quad \frac{6,67 \times 10^{-11}}{4\pi^2} \approx 2 \times 10^{-12} \quad \pi^2 \approx 10$$

$$(7,21 \times 10^6)^2 \approx 5 \times 10^{13} \quad (7,21 \times 10^6)^3 \approx 4 \times 10^{20} \quad (6,06 \times 10^3)^2 \approx 4 \times 10^7 \quad (6,06 \times 10^3)^3 \approx 2 \times 10^{11}$$



Partie I

1. Quel est le nom du référentiel dans lequel le mouvement du satellite est étudié ?
Décrire la trajectoire d'un point de la surface de la Terre dans ce référentiel.
2. Exprimer vectoriellement la force \vec{F} exercée par la Terre sur le satellite en fonction des données de l'énoncé et du vecteur unitaire \vec{u} .
3. Quelle propriété doit avoir le référentiel pour pouvoir appliquer la deuxième loi de Newton ?
4. On considérera dans la suite de l'exercice que le référentiel d'étude vérifie cette condition.
 - 4.1. Énoncer la deuxième loi de Newton appliquée au satellite.
 - 4.2. En déduire une représentation du vecteur accélération \vec{a} (sans souci d'échelle) sur le schéma en **annexe 1, page 7/8, à rendre avec la copie**.
 - 4.3. En déduire que la valeur de l'accélération a du centre d'inertie C du satellite est : $a = G \frac{M_T}{(R_T + h)^2}$
5. Quelles propriétés a le vecteur accélération si le mouvement est circulaire uniforme ? Montrer que ces propriétés sont vérifiées ici.
6. Donner l'expression de la vitesse v , supposée constante, du centre d'inertie C du satellite en fonction de R_T , h et T .
7. Donner l'expression de l'accélération a du centre d'inertie C du satellite en fonction de v , R_T et h . En déduire l'expression de l'accélération a du centre d'inertie C du satellite en fonction de R_T , h et T .
8. En identifiant les expressions de l'accélération obtenues aux questions 4.3 et 7, exprimer la masse M_T de la Terre en fonction des données de l'énoncé et calculer sa valeur. (Pour cette seule question, le résultat sera exprimé avec un seul chiffre significatif)
9. Le satellite est-il géostationnaire ? Justifier la réponse.

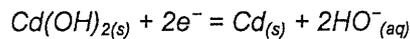
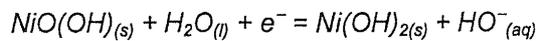
Partie II

Compte tenu de l'orbite choisie pour le satellite SPOT 4, son générateur solaire se trouve dans l'ombre de la Terre à chaque révolution pendant une durée d'environ 35 min et éclairé durant 65 min. Le courant n'est généré par les cellules que pendant les périodes éclairées. Il faut donc un élément capable de stocker de l'énergie pendant le « jour » et de la restituer pendant la « nuit » pour alimenter de façon permanente le satellite. De même, pendant les phases de lancement, avant que le générateur solaire ne soit déployé, l'alimentation du satellite doit être assurée.

Pour cela, quatre batteries de 40 ampères-heures, pesant près de 45 kg chacune, sont embarquées sur SPOT 4 pour répondre à la consommation électrique du satellite. Elles sont composées chacune de 24 accumulateurs nickel-cadmium. À chaque révolution, les batteries effectuent un cycle complet décharge - recharge. Pour tenir les cinq années de durée de vie souhaitée, ce qui représente plus de 25 000 cycles, une gestion très fine des batteries s'impose.

L'accumulateur nickel-cadmium est composé d'une électrode de nickel et d'une électrode de cadmium, plongées dans un électrolyte et séparées par une paroi poreuse. Les deux couples oxydant / réducteur mis en jeu sont : $\text{NiO}(\text{OH})_{(s)} / \text{Ni}(\text{OH})_{2(s)}$ et $\text{Cd}(\text{OH})_{2(s)} / \text{Cd}_{(s)}$. Par souci de simplification, on étudiera uniquement l'accumulateur nickel-cadmium lors de sa charge et on considérera qu'il est relié à un générateur. Le schéma simplifié du dispositif est représenté en **annexe 2, page 7/8, à rendre avec la copie**.

On donne les deux demi-équations électroniques associées à cet accumulateur :



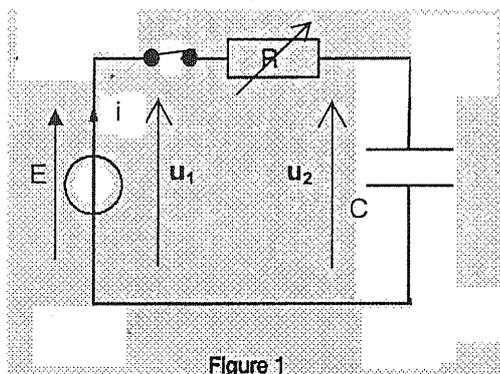
1. Sachant que du cadmium solide se forme, écrire l'équation globale lors de la charge de l'accumulateur.
2. Indiquer sur le schéma en **annexe 2, page 7/8, à rendre avec la copie** :
 - 2.1 Le sens de déplacement des électrons lors de la charge de l'accumulateur ;
 - 2.2 La polarité des bornes du générateur relié à l'accumulateur.
3. À quelle électrode (nickel ou cadmium) se produit la réduction lors de la charge de cet accumulateur ?
4. La masse de métal nickel va-t-elle augmenter, diminuer ou rester constante durant la charge ? Justifier la réponse.
5. Sachant que l'électrolyte est formé d'ions $\text{K}^+_{(aq)}$ et $\text{HO}^-_{(aq)}$, indiquer le sens de déplacement de ces ions lors de la charge de l'accumulateur, en complétant le schéma en **annexe 2, page 7/8, à rendre avec la copie**.
6. Exprimer la charge électrique Q de 40 ampères-heures, indiquée dans le texte, dans l'unité du système international.
7. Calculer la durée minimale théorique de charge d'une batterie complètement déchargée lorsque le courant de charge est maintenu constant à 10 A.

EXERCICE III. DÉTERMINATION DE LA CAPACITÉ D'UN CONDENSATEUR (5 points)

On se propose de déterminer la capacité d'un condensateur à partir de deux méthodes différentes.
On dispose du matériel suivant :

- un générateur de tension continue $E = 20 \text{ V}$;
- une boîte de résistances étalonnées R ($\times 1 \Omega$, $\times 10 \Omega$, $\times 100 \Omega$, $\times 1000 \Omega$) ;
- une bobine idéale d'inductance $L = 0,50 \text{ H}$ et de résistance nulle ;
- un condensateur de capacité C inconnue ;
- un ordinateur relié au montage par une interface et permettant d'enregistrer des variations de tensions et d'intensité au cours du temps ;
- des fils de connexion sécurisés ;
- un interrupteur.

I - Première méthode.



Le montage d'un circuit RC est représenté sur la **figure 1**.

À l'aide de l'ordinateur, on enregistre les variations au cours du temps des deux tensions u_1 et u_2 à partir de l'instant de la fermeture de l'interrupteur, choisi comme origine des dates.

Les graphes obtenus pour différentes valeurs de la résistance R sont reproduits sur l'annexe 3, page 8/8, à rendre avec la copie.

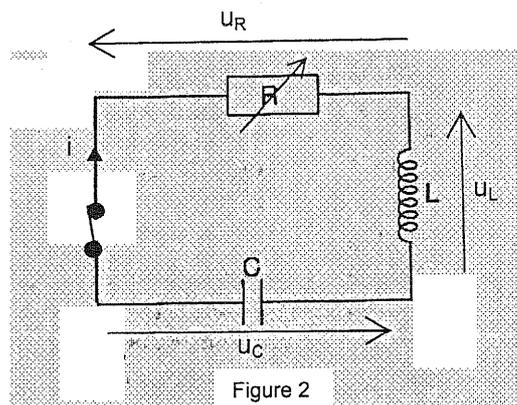
1. Compléter le tableau de l'annexe 3, page 8/8, à rendre avec la copie, en indiquant dans chaque case, le numéro de la courbe qui convient (le même numéro peut apparaître plusieurs fois).
2. Compléter le tableau de l'annexe 4, page 8/8, à rendre avec la copie, après avoir déterminé graphiquement la constante de temps τ correspondant à la charge du condensateur pour $R = 1600 \Omega$ en expliquant la méthode utilisée.
3. Donner l'expression de la constante de temps τ en fonction des caractéristiques du circuit. Justifier son unité par une analyse dimensionnelle.
4. Tracer sur l'annexe 5, page 8/8, à rendre avec la copie, le graphe représentant τ en fonction de R (échelle : 1 carreau $\leftrightarrow 0,02 \text{ s}$ et 1 carreau $\leftrightarrow 100 \Omega$). En déduire la valeur de C en expliquant la méthode utilisée.

II - Deuxième méthode.

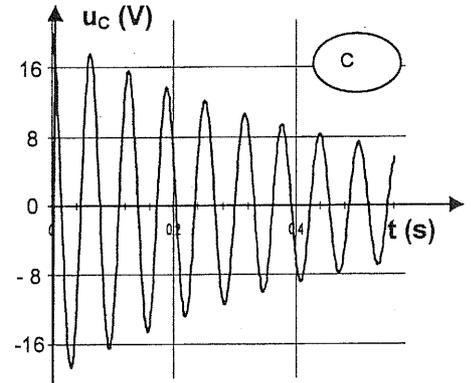
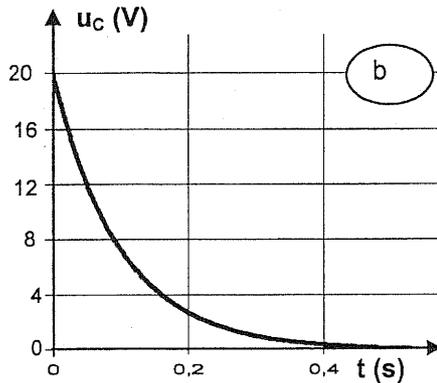
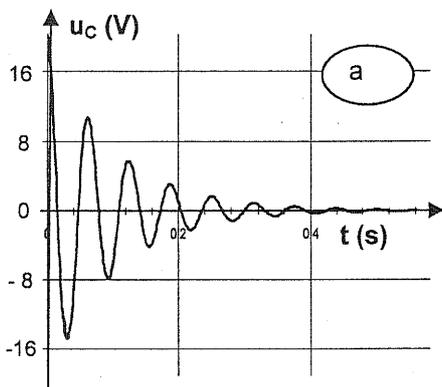
Le condensateur chargé sous une tension $E = 20 \text{ V}$ est maintenant placé en série avec la résistance R et la bobine idéale d'inductance $L = 0,50 \text{ H}$ et de résistance nulle.

Le circuit ainsi réalisé est représenté sur la **figure 2**.

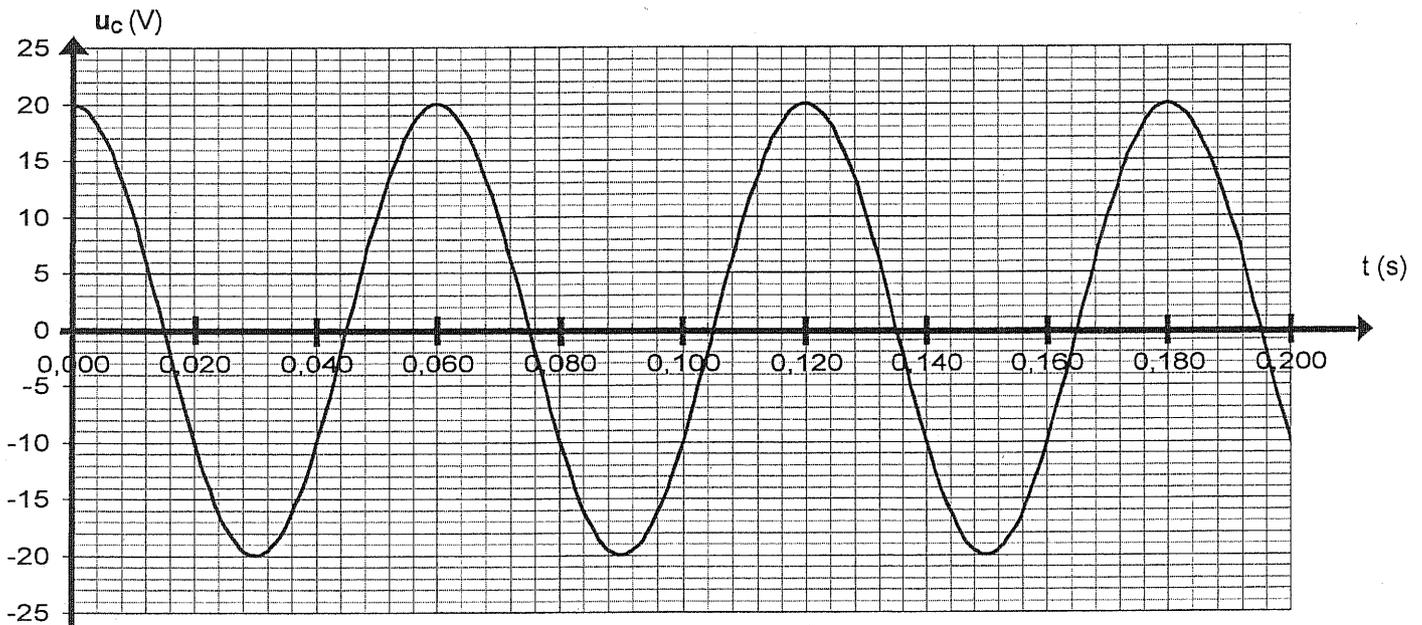
À l'instant de date $t = 0$ on ferme l'interrupteur.
L'ordinateur permet de suivre les variations au cours du temps de la tension u_C et de l'intensité i .



1. On donne ci-dessous plusieurs courbes représentant les variations de u_C au cours du temps pour différentes valeurs de R .
Compléter le tableau de l'annexe 6, page 8/8, à rendre avec la copie, en associant chaque courbe à la valeur de R qui lui correspond et donner le nom du régime de décharge.



2. Établir l'équation différentielle vérifiée par la fonction $u_C(t)$ si la résistance R est nulle.
3. L'ordinateur donne la courbe suivante :



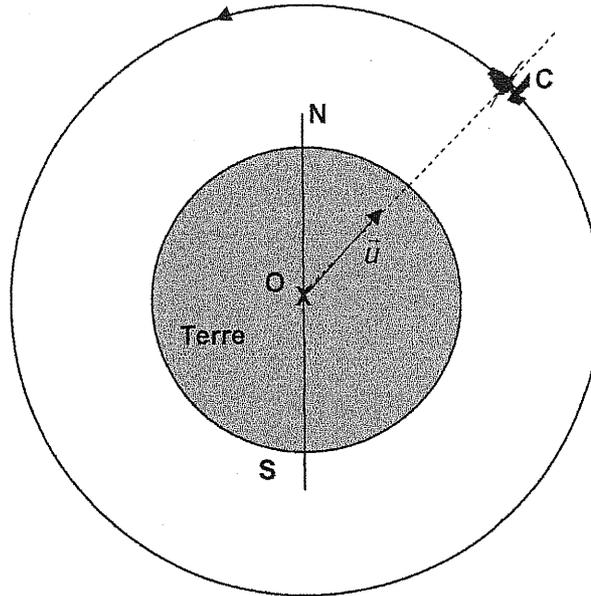
- a. Déterminer la période propre T_0 des oscillations et donner son expression en fonction des caractéristiques du circuit.
b. En déduire la valeur de C .

On donne :

$$(0,060)^2 = 3,6 \times 10^{-3} \quad \pi^2 \approx 10$$

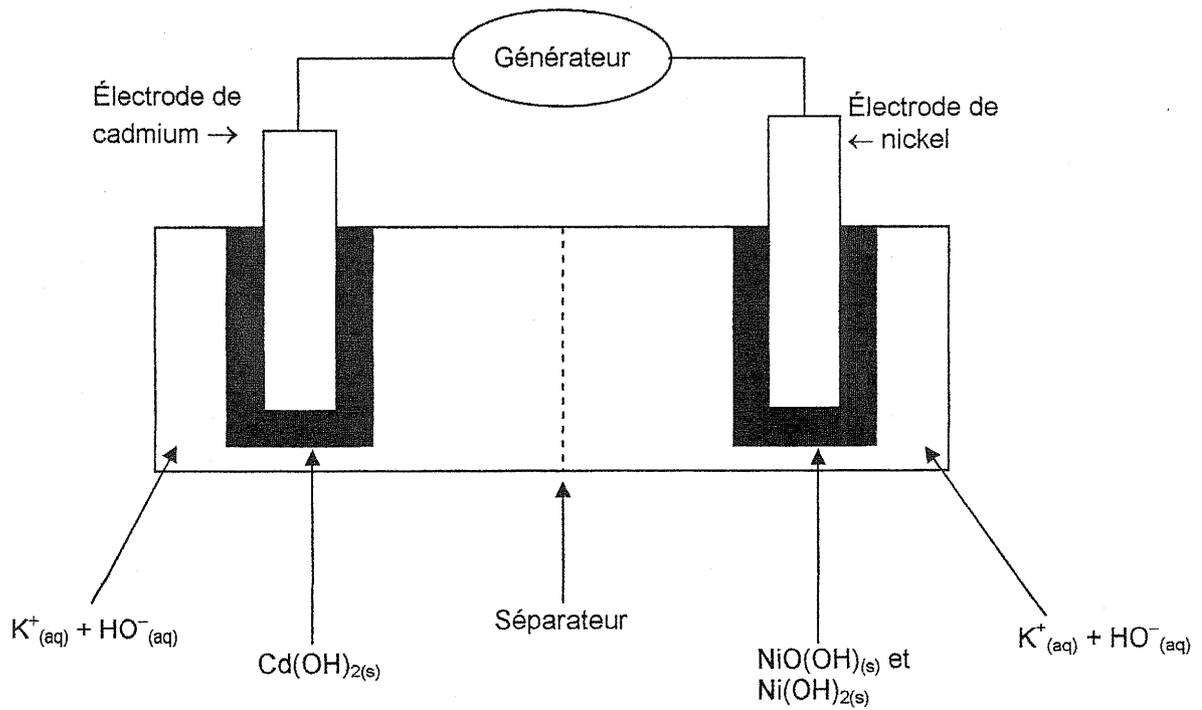
ANNEXES DE L'EXERCICE II
 À RENDRE AVEC LA COPIE

Annexe 1



Trajectoire du satellite SPOT 4

Annexe 2



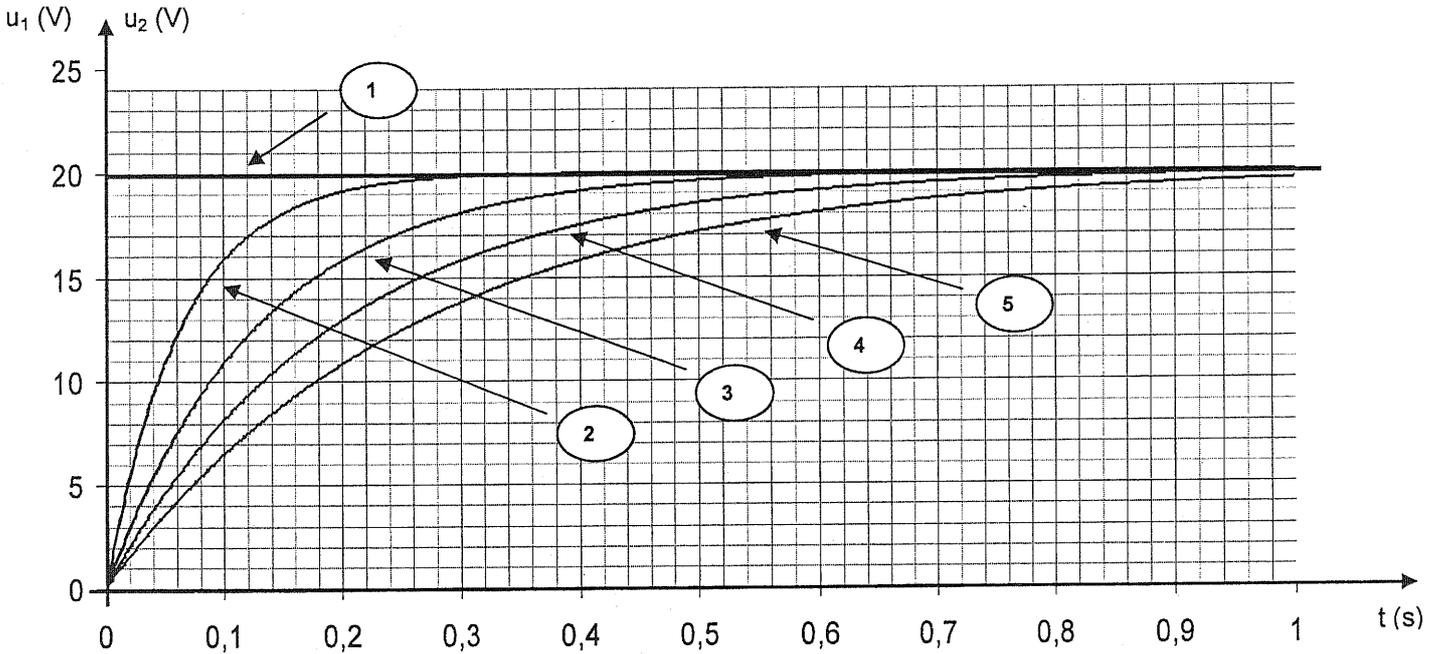
Structure simplifiée de l'accumulateur Ni/Cd

ANNEXES DE L'EXERCICE III

À RENDRE AVEC LA COPIE

Annexe 3

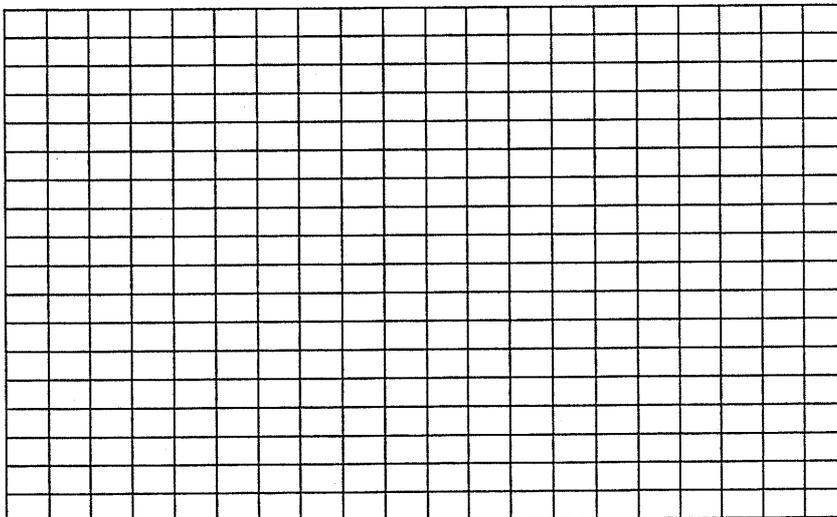
R (Ω)	400 Ω	800 Ω	1200 Ω	1600 Ω
Courbe représentant u_1				
Courbe représentant u_2				



Annexe 4

R (Ω)	400 Ω	800 Ω	1200 Ω	1600 Ω
τ (s)	0,06	0,14	0,21	

Annexe 5



Échelle :
 1 carreau \leftrightarrow 0,02 s
 1 carreau \leftrightarrow 100 Ω

Annexe 6

	R = 2 Ω	R = 10 Ω	R = 1000 Ω
Courbe représentant u_c			
Nom du régime de décharge			