Exercice III - Spécialité. LE SEL DANS LES LARMES ARTIFICIELLES (4 points)
Bac S Métropole rattrapage 09/2011

Les larmes artificielles vendues dans le commerce peuvent être fabriquées à partir d'une solution aqueuse de chlorure de sodium.
Elles sont fréquemment utilisées en ophtalmologie pour rincer les yeux puisque leur teneur en sel (ou chlorure de sodium NaCl) est équivalente à celle trouvée dans les larmes naturelles. On les trouve sous forme de doses stériles de 5,0 mL à usage unique.

Composition d'une dose
Chlorure de sodium 0,045 g
Eau purifiée 5,0 mL
Solution de chlorure de sodium : à 0,9 % en masse

Extrait de l'étiquette d'un fabricant de larmes artificielles

L'objectif de cet exercice est de vérifier, par deux méthodes différentes, la composition indiquée par le fabricant sur les doses de larmes artificielles.

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

Données :

- L'équation de la réaction chimique de dissolution du chlorure de sodium dans l'eau s'écrit :

$$NaCl(s) = Na^+(aq) + Cl^-(aq)$$

- à la température ambiante, la dissolution est totale aux concentrations utilisées ;
- masses molaires : M (Na) = 23,0 g.mol^{-1} M (Cl) = 35,5 g.mol^{-1}.

Dans le cas des solutions diluées, la conductivité σ des solutions s'exprime selon la relation $\sigma = \sum_i \lambda_i.[X_i]$, ou [X_i] représente la concentration de l'espèce ionique Xi en solution et λ_i la conductivité molaire ionique de cette espèce.

1. Titrage des ions chlorure par réaction avec des ions argent

On introduit dans un erlenmeyer :

- 5,0 mL de larmes artificielles (une dose) ;
- 20 mL d'eau distillée ;
- 4 gouttes d'une solution de chromate de potassium ($2\ K^+ + CrO_4^{2-}$), indicateur de fin de réaction.

On remplit une burette graduée avec une solution de nitrate d'argent ($Ag^+ + NO_3^-$) de concentration $C_0 = 5{,}00 \times 10^{-2}$ mol.L^{-1}.
On verse progressivement cette solution de nitrate d'argent dans l'erlenmeyer tout en agitant le mélange.
La réaction entre les ions argent et les ions chlorure conduit à la formation d'un précipité blanc. L'équation de cette réaction correspondant au titrage est :

$$Ag^+(aq) + Cl^-(aq) = AgCl(s)$$

Le précipité blanc qui apparaît dans un premier temps s'intensifie au fur et à mesure des ajouts. À partir d'un volume V_E = 15,5 mL, l'indicateur de fin de réaction donne un précipité rouge brique indiquant l'équivalence.

1.1. Faire un schéma légendé du dispositif de titrage en précisant toutes les solutions utilisées.
1.2. Calculer la quantité de matière $n(Cl^-)$ d'ions chlorure présents dans une dose de 5,0 mL de larmes artificielles.
1.3. Calculer la masse m(NaCl) de chlorure de sodium dissous contenu dans une dose de larmes artificielles et la comparer à celle indiquée sur l'étiquette par le fabricant.

2. Dosage par étalonnage du chlorure de sodium dans les doses de larmes artificielles

On dispose de dix solutions aqueuses de chlorure de sodium de différentes concentrations molaires C pour lesquelles on a mesuré leur conductivité σ. Les résultats, regroupés dans le tableau ci-dessous, ont permis de tracer le graphe $\sigma = f(C)$ qui représente l'évolution de la conductivité des solutions aqueuses de chlorure de sodium en fonction de leur concentration (**FIGURE A6 DE L'ANNEXE**).

N° de la solution	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Concentration molaire C (mmol.L^{-1})	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Conductivité de la solution σ (mS.cm^{-1})	0,125	0,255	0,360	0,447	0,576	0,702	0,816	0,919	1,03	1,10

On dilue par un facteur 20 la solution des larmes artificielles. La valeur mesurée de la conductivité de la solution S ainsi obtenue est de 0,880 mS.cm^{-1}.

2.1. Décrire le protocole détaillé permettant de préparer 50 mL de solution N°1 à partir de la solution N°5 supposée en quantité suffisante.

2.2. La **FIGURE A6 DE L'ANNEXE** tirée de l'expérience montre que l'on peut modéliser l'évolution des conductivités des solutions par une droite d'équation $\sigma = k.C$ dans le domaine étudié.

2.2.1. Dans le cas des solutions diluées, exprimer la conductivité σ d'une solution aqueuse de chlorure de sodium en fonction des concentrations et des conductivités molaires ioniques de chaque espèce chimique présente en solution.

2.2.2. Sachant que la dissolution du chlorure de sodium dans l'eau est totale, montrer que l'expression précédente est en accord avec l'écriture $\sigma = k.C$.

2.3. Déterminer la concentration molaire C en chlorure de sodium dans la solution diluée S.

2.4. Calculer la masse m(NaCl) de chlorure de sodium dissous dans une dose de larmes artificielles et la comparer à celle indiquée sur l'étiquette par le fabricant.

2.5. Pourquoi a-t-on mesuré la conductivité d'une solution de larmes diluée par un facteur 20 et non par un facteur 10 ?

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE III DE SPÉCIALITÉ

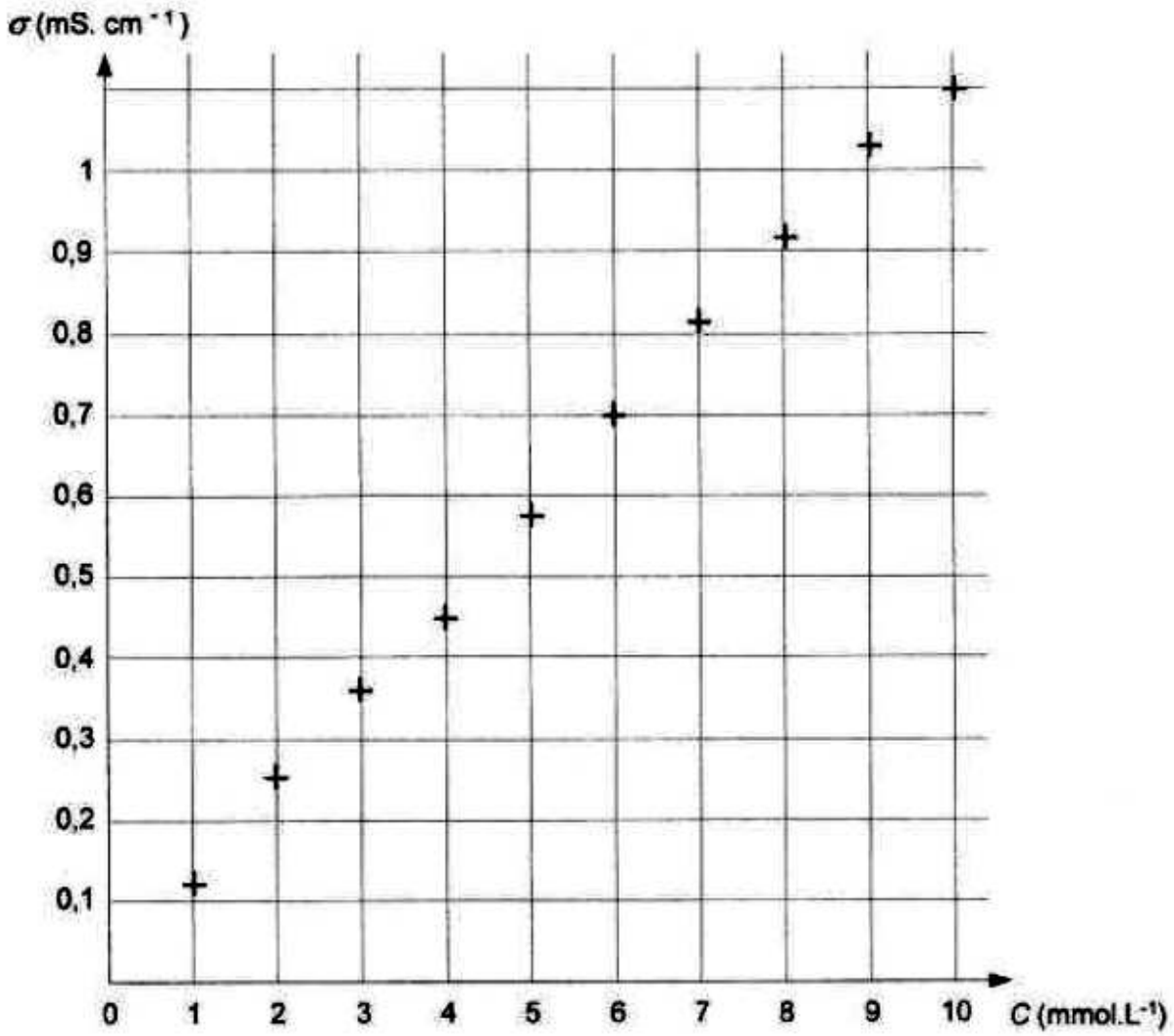


Figure A6. Graphe $\sigma = f(C)$ représentant la variation de la conductivité des solutions aqueuses de chlorure de sodium en fonction de leur concentration

Exercice III. CHAUFFERETTE CHIMIQUE (4 points)
Bac S Métropole rattrapage 09/2011

La neige tombe, les mains commencent à s'engourdir et le refuge est encore loin. Le randonneur sort alors de son sac à dos une pochette en plastique, remplie d'un liquide transparent et appuie sur un petit disque métallique placé à l'intérieur : le liquide commence à se solidifier tout en dégageant une douce chaleur.
Ce dispositif nommé chaufferette chimique est constitué d'une enveloppe souple de plastique qui contient une solution aqueuse d'acétate de sodium à 20 % en masse minimum. La solidification s'amorce à partir du disque, localement la solution s'échauffe. L'énergie qu'il a fallu fournir au matériau pour le faire fondre est restituée [...]. Après utilisation, on peut régénérer la chaufferette en faisant fondre le solide obtenu par chauffage. On laisse alors le matériau doucement refroidir...

Extrait de l'article « Idées de physique »
Pour la Science (2008)

Après l'étude d'une solution d'éthanoate de sodium (ou acétate de sodium), on se propose de vérifier par un titrage pH-métrique que la solution contenue dans une chaufferette chimique est une solution saturée en éthanoate de sodium.

Données :

- produit ionique de l'eau : $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$ à 25°C ;
- masse molaire de l'éthanoate de sodium : M (CH_3COONa) = 82,0 g.mol^{-1} ;
- la solubilité notée s d'une espèce chimique exprimée en g.L^{-1} est la masse maximale de cette espèce que l'on peut dissoudre dans un litre de solution à une température donnée ;
- solubilité de l'éthanoate de sodium dans l'eau à 25°C : s = 365 g.L^{-1} soit 4,5 mol.L^{-1}.

Les deux parties sont indépendantes.

1. Étude d'une solution aqueuse d'éthanoate de sodium

L'éthanoate de sodium CH_3COONa est un solide blanc. En solution aqueuse, l'éthanoate de sodium donne entre autres l'ion éthanoate CH_3COO^-.

1.1. Pourquoi l'ion éthanoate est-il une base selon Brönsted ? En déduire le couple acido-basique correspondant.
1.2. Lorsqu'on introduit dans un bécher un volume V = 100 mL d'une solution S d'éthanoate de sodium dont la quantité de matière en soluté apporté est $n = 1{,}0 \times 10^{-2}$ mol, le pH mesuré de cette solution S est égal à 8,9.
L'équation de la réaction chimique entre l'ion éthanoate CH_3COO^- et l'eau est :

$$CH_3COO^-(aq) + H_2O(\ell) = CH_3COOH(aq) + HO^-(aq)$$

1.2.1. Construire le tableau d'avancement de cette réaction en utilisant la quantité de matière n et l'avancement x de la réaction.
1.2.2. Calculer la concentration à l'équilibre $[H_3O^+]_{éq}$ en ions oxonium H_3O^+ dans la solution. En déduire la valeur de la concentration en ions hydroxyde à l'équilibre $[HO^-]_{éq}$ à la température de 25°C.
1.2.3. Pour la solution préparée, calculer l'avancement à l'équilibre $x_{éq}$.
1.2.4. Définir le taux d'avancement τ à l'équilibre. Calculer sa valeur. La transformation est-elle totale ?

2. Titrage de la solution d'éthanoate de sodium contenue dans une chaufferette chimique

Une chaufferette chimique contient une solution aqueuse S_0 d'éthanoate de sodium ($Na^+ + CH_3COO^-$). La solution a un volume V_0 = 100 mL et une masse m = 130 g.
La solution S_0 contenue dans la chaufferette chimique étant trop concentrée pour être dosée directement au laboratoire, on prépare une solution S_1 en diluant 100 fois le contenu de la chaufferette chimique.

2.1. Titrage de la solution S_1
Pour déterminer la concentration molaire C_0 en éthanoate de sodium apporté dans une chaufferette chimique, on place dans un bécher un volume V_1 = 25,0 mL de solution S_1 à titrer.

On réalise un titrage par pH-métrie par une solution d'acide chlorhydrique ($H_3O^+ + C\ell^-$) de concentration $C_A = 2{,}0 \times 10^{-1}$ mol.L^{-1}. On note V_A le volume de la solution d'acide chlorhydrique versé.
L'équation de la réaction chimique support du titrage s'écrit :

$$CH_3COO^-(aq) + H_3O^+(aq) = CH_3COOH(aq) + H_2O(\ell)$$

On obtient les courbes de la figure 5 ci-dessous :

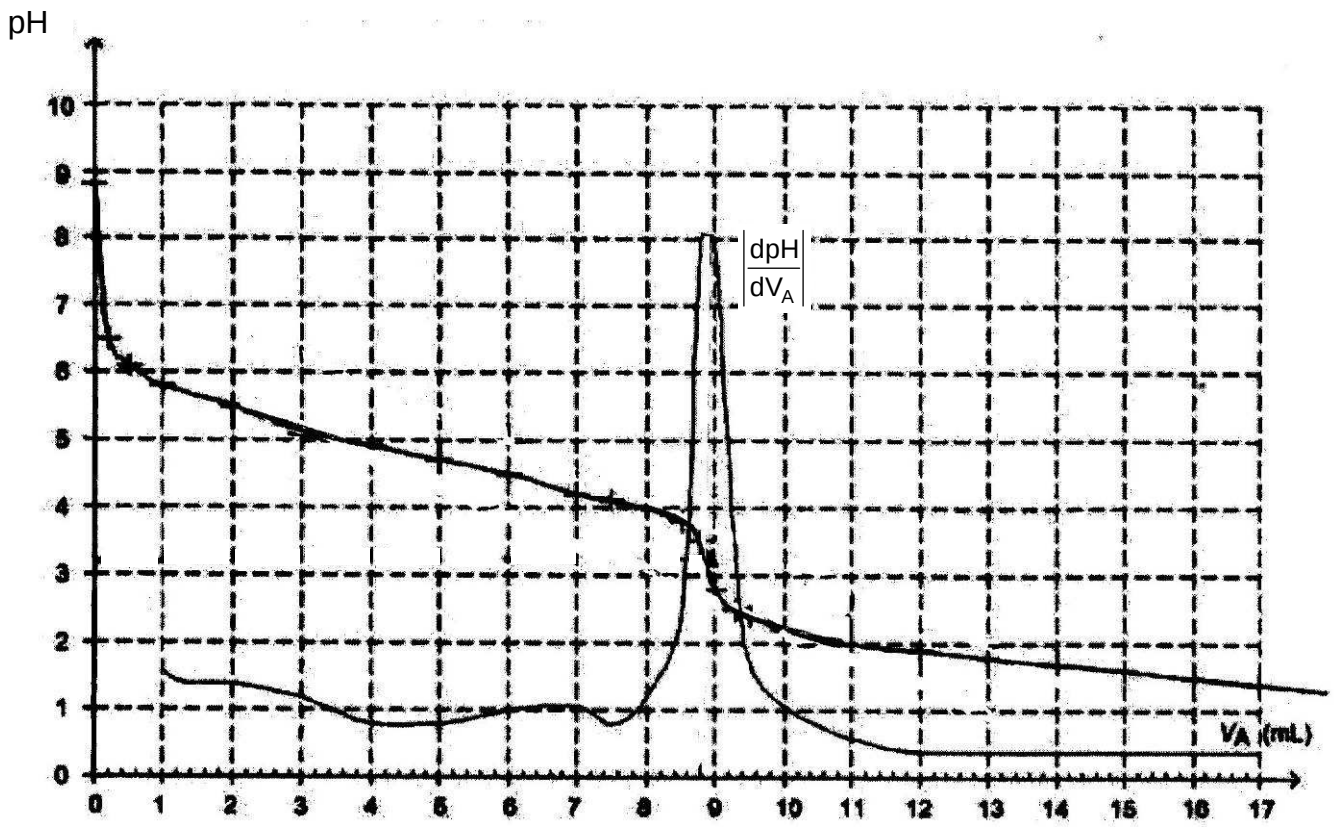


Figure 5. Courbes pH = f(V_A) et $\left|\frac{dpH}{dV_A}\right|$ = f(V_A)

2.1.1. Schématiser et légender le dispositif de titrage.
2.1.2. Après avoir défini l'équivalence, écrire la relation entre la quantité de matière d'ions éthanoate $n_i(CH_3COO^-)$ présente initialement dans le bécher et la quantité de matière d'ions oxonium $n_E(H_3O^+)$, qui permet d'atteindre cette équivalence. On pourra éventuellement s'aider d'un tableau d'avancement.
2.1.3. Déterminer le volume à l'équivalence V_E en expliquant la méthode utilisée.
2.1.4. Calculer la concentration C_1 en ions éthanoate de la solution dosée.

2.2. Saturation de la solution d'éthanoate de sodium contenue dans la chaufferette chimique
2.2.1. Calculer la concentration C_0 en éthanoate de sodium apporté dans la solution contenue dans la chaufferette. La solution d'éthanoate de sodium contenue dans la chaufferette est-elle saturée ?
2.2.2. Calculer la masse d'éthanoate de sodium dans la chaufferette.
2.2.3. La solution aqueuse de masse 130 g contenue dans la chaufferette est-elle au moins à 20% en masse d'éthanoate de sodium comme l'indique le texte introductif ?

Exercice I. LA BLUECAR (6,5 points)
Bac S Métropole rattrapage 09/2011

Voici la Bluecar ou B^0 : c'est une petite voiture citadine entièrement électrique, elle n'émet aucun gaz, aucune particule fine.
Alimentées par des batteries (Lithium Métal Polymère) des supercapacités et des panneaux solaires, ces voitures possèdent une autonomie de plus de 250 km soit bien plus que les 40 km qui sont la moyenne des déplacements.
Les supercapacités ont pour rôle de récupérer et stocker l'énergie de freinage, pus de la restituer au redémarrage. Il en résulte des accélérations plus puissantes, une augmentation de l'autonomie et une durée de vie accrue pour la batterie.
Ce sont des voitures rapides, leur vitesse maximale est de 130 km/h, agréables à conduire, sûres et endurantes.



D'après le site Internet Bluecar.

Dans cet exercice, on étudie quelques caractéristiques des trois composants principaux de la voiture cités dans le texte : le supercondensateur, la batterie Lithium Métal Polymère et les panneaux solaires placés sur la calandre et le toit.

Les trois parties sont indépendantes.

1. Le supercondensateur

Les supercondensateurs ont une capacité de plusieurs milliers de farads et une tension d'utilisation de 2,7 V. Un supercondensateur est équivalent à un dipôle MP associant en série un condensateur de grande capacité C et un conducteur ohmique de faible résistance R (voir la **figure 1** ci-dessous).



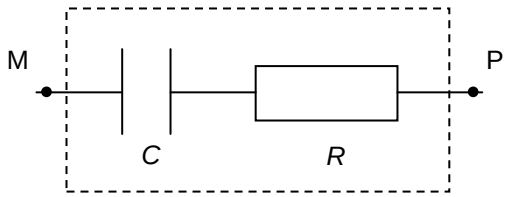


Figure 1. Modèle du supercondensateur

Les caractéristiques techniques d'un supercondensateur qu'on peut trouver à partir du site internet du constructeur sont les suivantes :

Capacité (25°C, 100 A)	$2{,}6 \times 10^3$ F	Masse	0,500 kg
Tension d'utilisation	2,7 V	* Énergie spécifique (2,7 V, 25°C)	$1{,}9 \times 10^4$ J.kg^{-1}
Résistance série (25°C,100 A)	0,35 mΩ	Constante de temps (25°C,100 A)	0,90 s

**L'énergie spécifique est l'énergie que le supercondensateur peut restituer par unité de masse.*

1.1. Étude théorique préalable de la décharge du supercondensateur
On étudie la décharge du supercondensateur, celui-ci ayant été au préalable chargé sous la tension d'utilisation E = 2,7 V.
Le schéma du circuit électrique de décharge est donné **figure 2**.

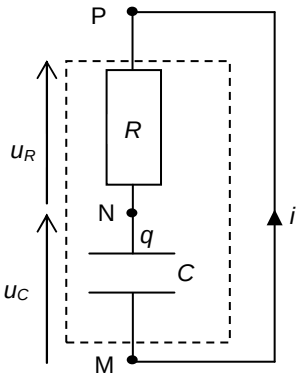


Figure 2.
Circuit de décharge

Avec l'orientation choisie, l'intensité i du courant s'exprime par la relation $i = \frac{dq}{dt}$ où q est la charge positive portée par l'armature N du condensateur. La tension aux bornes du dipôle NM s'exprime par la relation $u_C = \frac{q}{C}$.

1.1.1. Exprimer la tension u_R aux bornes du conducteur ohmique en fonction de sa résistance R et de i, puis en fonction de R, C et $\frac{du_C}{dt}$.

1.1.2. Établir la relation entre u_R et u_C et en déduire l'équation différentielle vérifiée par u_C.

1.1.3. En vérifiant que l'expression $u_C(t) = E.e^{-\frac{t}{\tau}}$ est solution de l'équation différentielle, montrer que l'expression de la constante de temps τ est égale à RC.

1.1.4. L'expression de l'intensité i peut se mettre sous la forme $i(t) = I_0.e^{-\frac{t}{\tau}}$. Monter que l'intensité I_0 à t = 0 est égale à $-\frac{E}{R}$.

1.2. Étude de la variation de l'intensité du courant lors de la décharge du supercondensateur
On mesure, avec un capteur de courant spécifique, l'intensité i du courant lors de la décharge du supercondensateur. La courbe donnant l'intensité i en fonction du temps t est donnée **SUR LA FIGURE A1 DE L'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE**. Le logiciel de traitement à permis de tracer la tangente à l'origine.

1.2.1. Déterminer graphiquement la valeur de I_0. En déduire la valeur de la résistance R. Vérifier qu'elle est en accord avec celle du tableau.

1.2.2. Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ.

1.2.3. En déduire la valeur de la capacité C. Est-elle en accord avec la valeur indiquée dans les caractéristiques techniques ?

1.3. Étude énergétique

1.3.1. Calculer la valeur de l'énergie électrique maximale E_C emmagasinée et restituée par le condensateur lors de sa décharge en prenant la valeur de la capacité fournie dans le tableau.

1.3.2. Comparer cette valeur de l'énergie avec celle obtenue en utilisant les valeurs de la masse et de l'énergie spécifique de ce supercondensateur.

2. Les panneaux solaires
La cellule photovoltaïque est l'élément de base des panneaux solaires qui produisent de l'électricité.
La lumière arrivant sur une cellule génère une tension électrique à ses bornes.
Lors de la conversion d'énergie lumineuse en énergie électrique, les atomes de silicium qui composent la cellule passent d'un niveau d'énergie à un autre, plus élevé. Ce « saut d'énergie » peut se produire lorsqu'un photon est absorbé par le silicium.
L'énergie minimale ΔE des photons nécessaire à la transition entre deux niveaux vaut 1,1 eV.

Données :
- constante de Planck : $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J.s ;
- célérité de la lumière dans le vide : $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1} ;
- conversion électron-volt : 1 eV = $1{,}60 \times 10^{-19}$ J.

2.1. Calculer la longueur d'onde dans le vide λ du rayonnement correspondant à cette transition d'énergie ΔE.
2.2. Cette radiation appartient-elle au domaine du visible ? Justifier.

3. La batterie Lithium Métal Polymère

La cellule électrochimique élémentaire de la batterie Lithium Métal Polymère est basée sur l'utilisation de quatre composants (**FIGURE A2 DE L'ANNEXE**).
Cette cellule élémentaire solide est constituée de deux électrodes au fonctionnement réversible : l'anode assure la fourniture des ions lithium lors de la décharge et la cathode agit comme un réceptacle où les ions lithium viennent s'intercaler.
Les deux électrodes sont séparées par un électrolyte polymère solide, le polyoxyéthylène. La conduction est assurée par des ions obtenus par dissolution de sels de lithium dans l'électrolyte.
Un collecteur de courant est relié à la cathode pour assurer la connexion électrique.

D'après le site internet « http://www.batscap.fr »

Caractéristiques électriques de la batterie :

Énergie	30 kW.h
Tension nominale	400 V
Puissance maximale	45 kW
Quantité d'électricité maximale disponible	75 A.h

Données :

- couple oxydoréducteur : Li^+ / Li ;
- constante d'Avogadro : $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}$ mol^{-1} ;
- charge électrique élémentaire : $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ;
- masse molaire atomique du lithium : $M(Li) = 6{,}9$ $g.mol^{-1}$;
- l'ampère-heure (A.h) est une unité de quantité d'électricité : 1 A.h = 3600 C.

3.1. Réactions aux électrodes

3.1.1. **SUR LA FIGURE A2 DE L'ANNEXE,** représenter le sens conventionnel du courant électrique et le sens de circulation des porteurs de charge à l'extérieur de la batterie quand elle débite.

3.1.2. Quelle est la nature de la réaction se produisant au pôle négatif ? Quelle est la nature de la réaction se produisant au pôle positif ?

3.1.3. Écrire la demi-équation d'oxydoréduction de la réaction se produisant au pôle négatif.

3.2. Autonomie de la batterie

3.2.1. Calculer en coulombs la valeur de la quantité d'électricité maximale disponible q_{max} qui est donnée en A.h dans le tableau.

3.2.2. En déduire la valeur de la quantité de matière maximale d'électrons échangés $n(e^-)_{éch}$ au cours de la réaction d'oxydoréduction en supposant que la batterie s'est complètement déchargée.

3.2.3. Calculer la masse de lithium correspondante.

3.2.4. À l'aide des valeurs données dans les caractéristiques électriques ci-dessus, déterminer la valeur de l'intensité du courant I_{max} que peut débiter cette batterie.

3.2.5. La batterie débite un courant d'intensité I = 100 A dans un circuit extérieur sous sa tension nominale U_{NOM}. Calculer la durée maximale Δt_{max} de fonctionnement de la batterie.

3.3. Étude de l'électrolyte

On donne la formule du polyoxyéthylène, aussi appelé polyéthylèneglycol.

$$H(—O—CH_2—CH_2—)\ \ldots\ (—O—CH_2—CH_2)—\mathbf{OH}$$

3.3.1. Nommer le groupe caractéristique en gras.

3.3.2. À quelle famille de composés organiques appartient le polyoxyéthylène ?

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

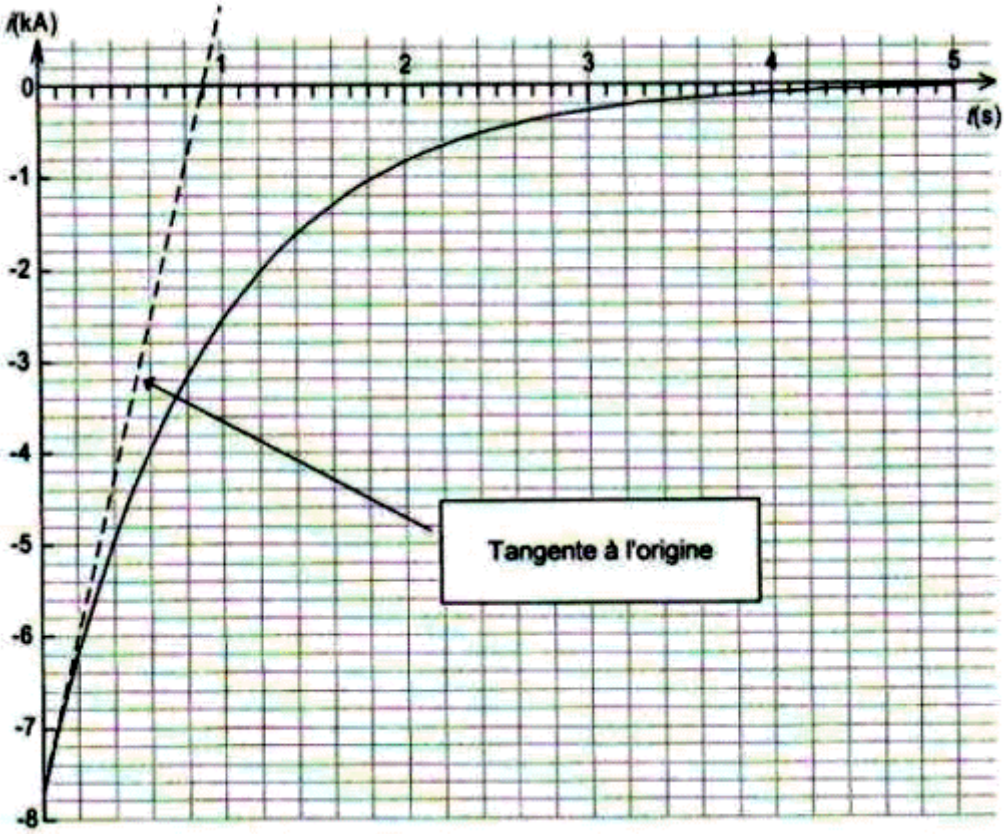


Figure A1. Intensité *i* débitée par le supercondensateur en fonction du temps

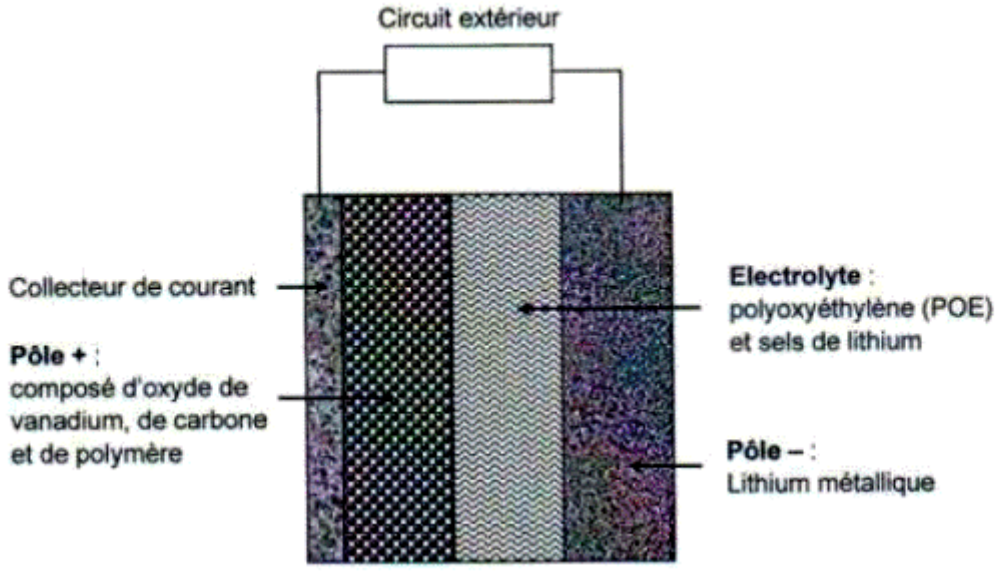
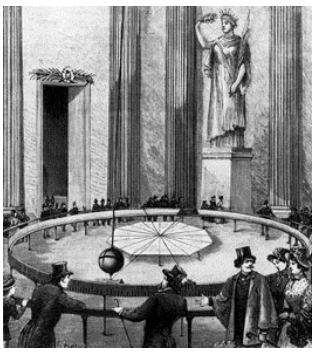


Figure A2. Cellule électrochimique élémentaire de la batterie Lithium Métal Polymère

EXERCICE II. PENDULE DE FOUCAULT (5,5 points)
Bac S Métropole rattrapage 09/2011

Depuis 1996, au Panthéon à Paris, on peut observer la reconstitution de l'expérience menée par Léon Foucault en 1851. Celle-ci avait permis de confirmer, sans observation du ciel, la rotation de la Terre sur elle-même.
Une sphère en plomb, de 20 cm de diamètre, de masse 47 kg, est suspendue sous le dôme de l'édifice par un fil en acier très fin d'une longueur de 67 m.
Le pendule ainsi constitué oscille librement.
On constate qu'au cours de la journée le plan d'oscillation tourne lentement dans le sens des aiguilles d'une montre autour d'un axe vertical.



La première partie traite des oscillations d'un pendule simple et la seconde du pendule de Foucault.

Dans tout l'exercice, les amplitudes angulaires θ_{max} des oscillations sont inférieures à 10°, soit 0,17 rad. On considère qu'on est dans le cadre des petites oscillations.

Données :

- la valeur *g* du champ de pesanteur en un point à la surface de la Terre dépend de la latitude λ du lieu, elle ne dépend pas de sa longitude.
- valeur du champ de pesanteur à Paris : $g_{Paris} = 9{,}8\ m.s^{-2}$;
- période de rotation de la Terre dans le référentiel géocentrique : $T_{Terre} = 24\ h$.

1. Période propre d'un pendule simple

On appelle pendule simple un système constitué d'un fil inextensible de longueur *L,* dont une extrémité est fixée à un support et l'autre attachée à un objet quasi ponctuel de masse *m*. La masse du fil est négligeable par rapport à la masse de l'objet.

1.1. Étude dynamique

Un pendule simple, constitué d'une petite sphère assimilée à un point B, de masse $m = 50$ g et d'un fil AB de longueur $L = 2{,}0$ m, est écarté de sa position d'équilibre d'un angle θ_0 inférieur à 10° puis lâché sans vitesse initiale (se reporter à **LA FIGURE A3 DE L'ANNEXE**).

Le plan $(O,\vec{i},\vec{k})$ contient la verticale AO passant par le point de suspension A et la position initiale B_0 du point B.

La position du point B peut être repérée par l'abscisse angulaire θ = $(\overrightarrow{AO},\overrightarrow{AB})$ ou par ses coordonnées (x,z) dans le plan $(O,\vec{i},\vec{k})$.

1.1.1. **SUR LA FIGURE A3 DE L'ANNEXE**, représenter sans souci d'échelle les forces qui s'exercent sur la sphère B pour un angle θ quelconque. Toutes les actions de l'air sont négligées.

1.1.2. L'application de la deuxième loi de Newton dans le référentiel terrestre, considéré en première approche comme galiléen permet de montrer que le mouvement s'effectue bien dans le plan (xOz).
   a. Énoncer la deuxième loi de Newton sous la forme d'une phrase.
   b. Quels éléments permettent de justifier l'affirmation que le mouvement est plan ?

1.1.3. Dans l'approximation des petites oscillations, l'application de la deuxième loi de Newton permet d'établir l'expression de $x(t)$.
   On donne trois possibilités pour $x(t)$ dans lesquelles *K* est une constante positive :

   (a) : $x(t) = K.\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}.t\right)$ (b) : $x(t) = -K.\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}.t\right)$ (c) : $x(t) = K.\cos\left(\frac{2\pi}{T_0}.t\right)$

   Le pendule étant lâché sans vitesse initiale à $t = 0$ d'un angle correspondant à **LA FIGURE A3 DE L'ANNEXE**, choisir l'expression qui vérifie les conditions initiales.

1.2. Étude de la période

1.2.1. On montre que la période propre du pendule simple a pour expression : $T_0 = 2\pi.\sqrt{\frac{L}{g}}$. Vérifier l'homogénéité de l'expression par analyse dimensionnelle.

1.2.2. À partir du XVIII^{ème} siècle, les horloges à balancier furent très utilisées pour mesurer le temps.

a. On considère, à Paris, une horloge dont le balancier a une longueur L = 1,0 m. Le balancier d'une telle horloge est un pendule aux oscillations entretenues et de faible amplitude que l'on peut modéliser par un pendule simple. Calculer la période propre du balancier de cette horloge.

b. Pourquoi dit-on que cette horloge « bat la seconde » ?

c. Que penser des indications données par cette horloge dans un lieu de latitude différente de celle de Paris ?

2. Pendule de Foucault

2.1. Période du pendule

Les dimensions précisées dans le texte d'introduction montrent que le pendule de Foucault installé au Panthéon peut être assimilé à un pendule simple.

On filme le mouvement de ce pendule pendant quelques minutes, durée assez courte pour pouvoir négliger la rotation de son plan d'oscillation.

Après traitement de la vidéo par un logiciel de relevés de positions, on trace la courbe représentant l'abscisse x du centre B de la sphère en fonction du temps.

Cette courbe est reproduite sur la figure 3 ci-dessous.

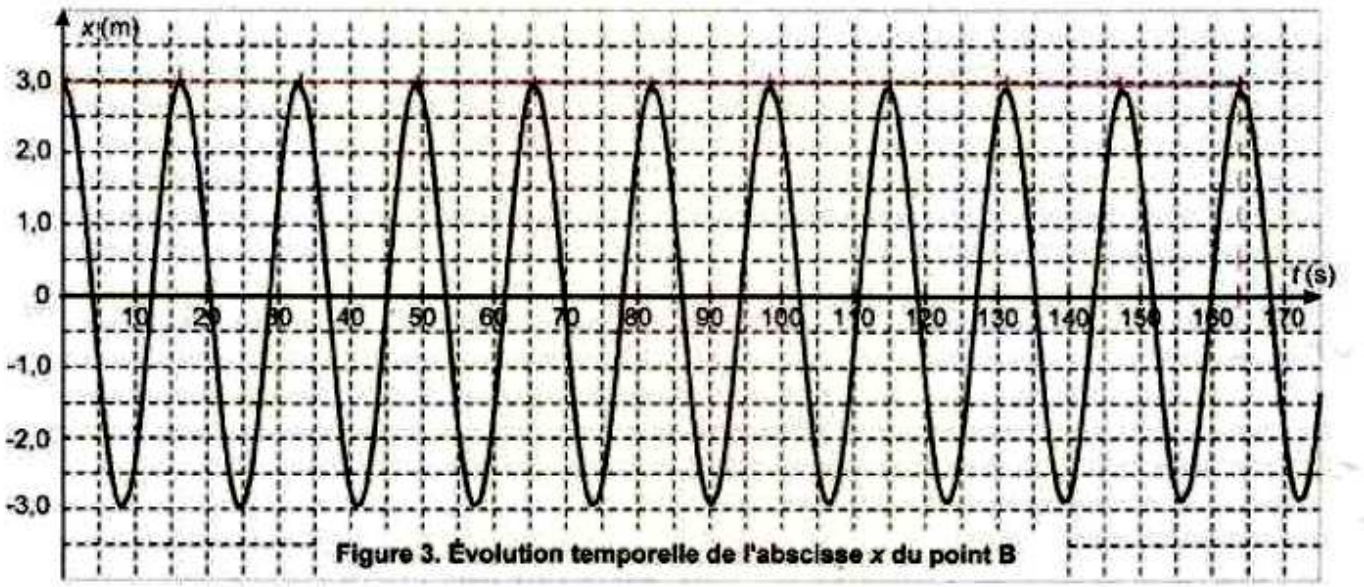


Figure 3. Évolution temporelle de l'abscisse *x* du point B

2.1.1. Déterminer graphiquement la valeur de la pseudo-période T des oscillations à 0,1 seconde près.

2.1.2. On rappelle que, compte tenu du faible amortissement, la pseudo-période est très voisine de la période propre. À partir de la valeur de la pseudo-période trouvée précédemment, retrouver la longueur du pendule de Foucault décrit dans le texte d'introduction.

2.2. Amortissement

2.2.1. Quelle est l'origine de l'amortissement constaté dans les oscillations ?

2.2.2. Préciser la nature des conversions d'énergies mises en jeu lors des oscillations du pendule.

2.2.3. Comment évolue l'énergie mécanique du pendule au cours du temps ?

2.3. Rotation du plan d'oscillation

Une observation plusieurs heures montre que le plan d'oscillation tourne lentement, à vitesse constante, autour de l'axe vertical passant par le point de suspension A ; pour le pendule de Foucault installé au Panthéon à Paris, en un jour, soit 24 h, ce plan tourne de 270° dans le sens des aiguilles d'une montre, comme l'illustre la **figure 4** ci-dessous.

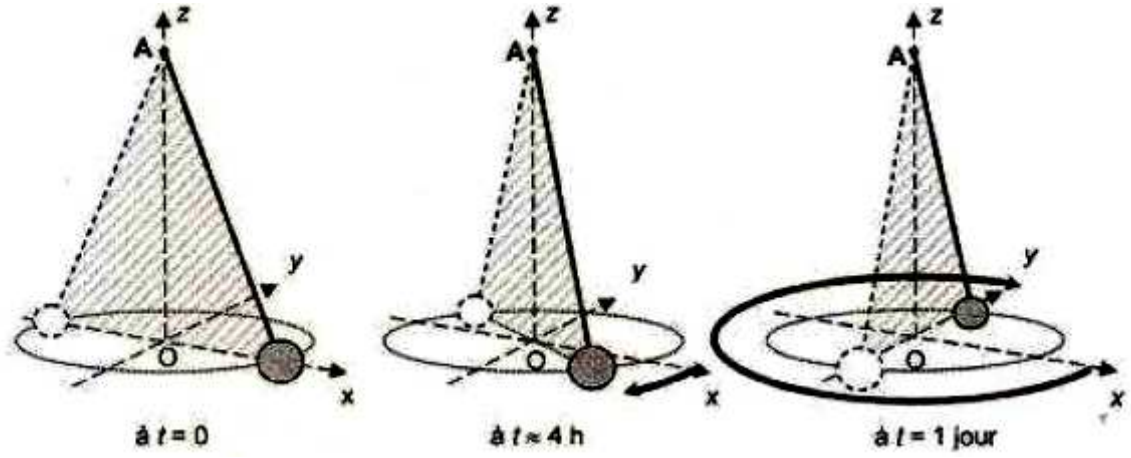


Figure 4. Rotation du plan d'oscillation au cours d'une journée

De nombreux pendules de Foucault ont été réalisés et placés en différents lieux sur la Terre. L'étude de leurs mouvements montre que la période de rotation du plan d'oscillation, notée τ, dépend uniquement de la latitude λ du lieu (voir les documents présentés **AUX FIGURES A4 ET A5 DE L'ANNEXE**).

2.3.1. Pour un observateur fixe dans le référentiel terrestre, le mouvement du pendule n'est pas plan. Cette observation est en désaccord avec l'application de la deuxième loi de Newton évoquée à la question 1.1.2. Que peut-on en conclure quant au référentiel terrestre choisi pour faire l'étude ?

2.3.2. Calculer, pour le pendule installé au Panthéon, la période de rotation du plan d'oscillation, notée τ. Compléter la case vide du tableau **DE LA FIGURE A4 DE L'ANNEXE.**

2.3.3. Reporter le point correspondant sur le graphe $\tau = f\left(\frac{1}{|\sin\lambda|}\right)$ **DE LA FIGURE A5 DE L'ANNEXE.**

En déduire une méthode pour déterminer, à l'aide d'un pendule de Foucault, la latitude d'un lieu. Dans la pratique, on utilise d'autres méthodes pour déterminer la latitude d'un lieu.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE II

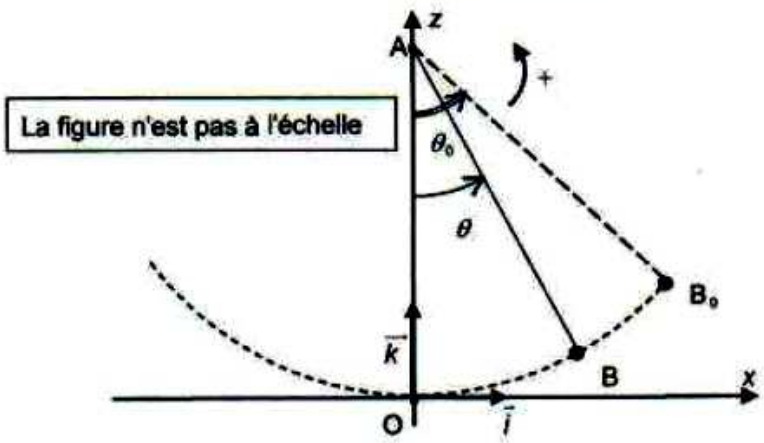


Figure A3. Pendule simple

Lieu	latitude λ	période τ
Pôle nord	90,00°	23 h 56 min
Kirkenes (Norvège)	69,82°	25 h 31 min
Paris	48,85°	.....
Quito (Equateur)	0,22°	6329 h 17 min
Rio De Janeiro (Brésil)	-22,95°	61 h 31 min
Melbourne (Australie)	-37,82°	39 h 02 min

Figure A4. Période de rotation du plan d'oscillation en différents lieux

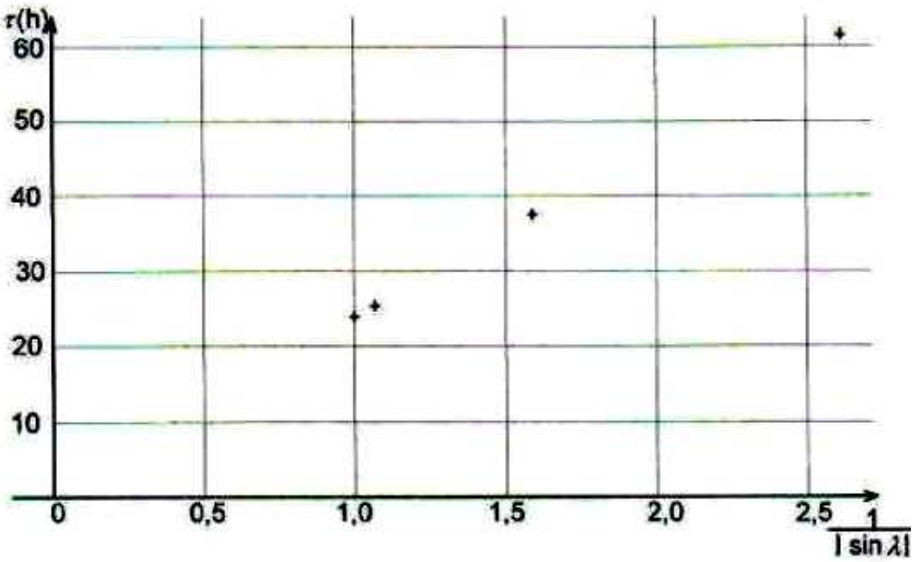


Figure A5. Représentation graphique de la période τ en fonction de $\frac{1}{|\sin\lambda|}$