Corrigé complet — Bac S 2007 Centres étrangers (ancien programme)

Physique-chimie, enseignement de spécialité **20 points** **3 h 30**

Ex 1	**Etude cinétique d'une réaction** Tableau d'avancement · Conductimétrie · Suivi cinétique · Vitesse volumique de réaction · Temps de demi-réaction · Facteurs cinétiques	4 pts	52 min	13 questions	p. 2
Ex 2	**Principe de l'allumage d'une voiture** Pile et demi-équations électroniques · Électrolyse et transformation forcée · Circuit RL et équation différentielle · Constante de temps · Énergie emmagasinée dans une bobine	6,5 pts	1 h 18	18 questions	p. 6
Ex 3	**Spécialité : étude d'une pile** Pile électrochimique · Quotient de réaction · Critère d'évolution spontanée · Quantité d'électricité et faraday · Titrage par précipitation · Équivalence	4 pts	52 min	14 questions	p. 12
Ex 4	**à propos des étoiles filantes** Force d'interaction gravitationnelle · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme · Période de révolution · Niveaux d'énergie d'un atome · Spectre de raies et photon	5,5 pts	1 h 05	15 questions	p. 17

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Etude cinétique d'une réaction

Bac S 2007 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Montrer que la quantité initiale de 2-chloro-2-méthylpropane introduite dans le dernier mélange est $n_0 = 1{,}8 \times 10^{-3}$ mol.

Données utiles $M = 92{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho = 0{,}85\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; $V_1 = 1{,}0$ mL de liquide pur dans $25{,}0$ mL de solution S ; prélèvement $V_0 = 5{,}0$ mL de S

Quantité de 2-chloro-2-méthylpropane dans la fiole de solution S : $n_1 = \dfrac{m}{M} = \dfrac{\rho\, V_1}{M}$.

On verse dans le bécher $5{,}0$ mL des $25{,}0$ mL de S, soit un cinquième de cette quantité :

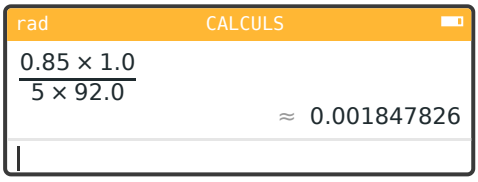
$$n_0 = \frac{V_0}{V_S}\, n_1 = \frac{\rho\, V_1}{5\, M} = \frac{0{,}85 \times 1{,}0}{5 \times 92{,}0} = 1{,}8 \times 10^{-3}\ \text{mol}$$

$n_0 = 1{,}8 \times 10^{-3}$ mol, valeur attendue.

PIÈGE
Oublier le prélèvement : $\rho V_1 / M = 9{,}2 \times 10^{-3}$ mol est la quantité contenue dans toute la fiole, pas celle versée dans le bécher.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme ρ et V_1, les données les moins précises. La calculatrice affiche $1{,}85 \times 10^{-3}$: on garde $1{,}8 \times 10^{-3}$ mol, la valeur de l'énoncé, pour la suite.

À LA CALCULATRICE



1.2 Compléter le tableau d'avancement de l'annexe 5. Quelle relation lie $[H_3O^+]$ et $[Cl^-]$ à chaque instant ?

Tableau complété : voir l'annexe ci-dessous. La réaction est totale et l'eau est en excès : le réactif limitant est entièrement consommé, donc $x_{max} = n_0$.

Les deux ions sont formés en même quantité x dans le même volume V : $[H_3O^+] = [Cl^-] = \dfrac{x}{V}$.

À chaque instant, $[H_3O^+] = [Cl^-]$.

COMPRENDRE
Dans l'eau distillée, les ions H_3O^+ déjà présents sont en quantité négligeable : on écrit 0 à l'état initial pour les trois produits.

Équation chimique		$(CH_3)_3C\text{–}Cl$ + $2\,H_2O$ = $(CH_3)_3C\text{–}OH$ + H_3O^+ + Cl^-				
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (en mol)				
État initial	0	n_0	excès	0	0	0
État intermédiaire	x	$n_0 - x$	excès	x	x	x
État final	x_{max}	$n_0 - x_{max} = 0$	excès	$x_{max} = n_0$	$x_{max} = n_0$	$x_{max} = n_0$

1.2 · Annexe 5 complétée (en orange : ce que l'élève écrit)

1.3 Donner l'expression de la conductivité σ du mélange en fonction de $[H_3O^+]$ et des conductivités molaires ioniques.

Les seuls ions présents sont H_3O^+ et Cl^- : $\sigma = \lambda^0(H_3O^+)\,[H_3O^+] + \lambda^0(Cl^-)\,[Cl^-]$.

Comme $[Cl^-] = [H_3O^+]$ (1.2) :

$\sigma = \left(\lambda^0(H_3O^+) + \lambda^0(Cl^-)\right)[H_3O^+]$

PIÈGE
Les espèces moléculaires (réactif, alcool, acétone, eau) ne conduisent pas le courant : elles n'apparaissent pas dans σ.

1.4 Donner l'expression de σ en fonction de l'avancement x, du volume V du mélange réactionnel et des conductivités molaires ioniques.

D'après le tableau, $n(H_3O^+) = x$, donc $[H_3O^+] = \dfrac{x}{V}$.

$$\sigma = \left(\lambda^0(H_3O^+) + \lambda^0(Cl^-)\right)\frac{x}{V}$$

COMPRENDRE
σ est proportionnelle à x : mesurer la conductivité revient à suivre l'avancement, sans rien prélever dans le mélange.

1.5 Sachant que la conductivité finale vaut $\sigma_\infty = 0{,}374\ S \cdot m^{-1}$, vérifier que la transformation est bien totale.

Données utiles $\lambda^0(H_3O^+) = 349{,}8 \times 10^{-4}\ S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$; $\lambda^0(Cl^-) = 76{,}3 \times 10^{-4}\ S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$; $V = 200{,}0 + 5{,}0 = 205{,}0$ mL ; $n_0 = 1{,}8 \times 10^{-3}$ mol (1.1)

D'après 1.4, l'avancement final est $x_\infty = \dfrac{\sigma_\infty V}{\lambda^0(H_3O^+) + \lambda^0(Cl^-)}$, avec $V = 205{,}0 \times 10^{-6}\ m^3$.

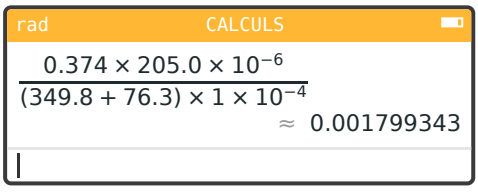
$$x_\infty = \frac{0{,}374 \times 205{,}0 \times 10^{-6}}{(349{,}8 + 76{,}3) \times 10^{-4}} = 1{,}80 \times 10^{-3}\ mol$$

$x_\infty = 1{,}80 \times 10^{-3}\ mol = n_0 = x_{max}$: la transformation est totale.

PIÈGE
Laisser V en litres ou en millilitres. Les λ^0 sont en $S \cdot m^2 \cdot mol^{-1}$: les concentrations sont en $mol \cdot m^{-3}$ et le volume en m^3 ($1\ mL = 10^{-6}\ m^3$).

MÉTHODE
Transformation totale ou non : comparer l'avancement final mesuré à l'avancement maximal du tableau. S'ils sont égaux, le réactif limitant a disparu.

À LA CALCULATRICE



1.6 Exprimer le rapport $\dfrac{\sigma}{\sigma_\infty}$. En déduire l'expression de x en fonction de σ, σ_∞ et de l'avancement maximal x_{max}.

À un instant quelconque : $\sigma = \left(\lambda^0(H_3O^+) + \lambda^0(Cl^-)\right)\dfrac{x}{V}$.

À l'état final, $x = x_{max}$: $\sigma_\infty = \left(\lambda^0(H_3O^+) + \lambda^0(Cl^-)\right)\dfrac{x_{max}}{V}$.

En divisant membre à membre, les conductivités molaires et le volume se simplifient : $\dfrac{\sigma}{\sigma_\infty} = \dfrac{x}{x_{max}}$.

$$x = \frac{\sigma}{\sigma_\infty}\,x_{max}$$

1.7 Pour $\sigma = 0{,}200\ S \cdot m^{-1}$, quelle est la valeur de x ?

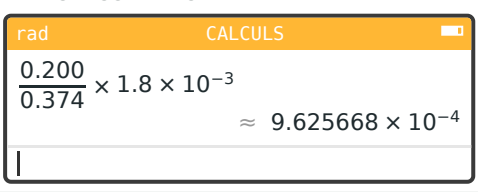
Données utiles $\sigma_\infty = 0{,}374\ S \cdot m^{-1}$; $x_{max} = n_0 = 1{,}8 \times 10^{-3}$ mol (1.1)

$$x = \frac{\sigma}{\sigma_\infty}\,x_{max} = \frac{0{,}200}{0{,}374} \times 1{,}8 \times 10^{-3} = 9{,}6 \times 10^{-4}\ mol$$

$x = 9{,}6 \times 10^{-4}$ mol, soit 0,96 mmol

COMPRENDRE
Le rapport des conductivités est sans unité : inutile de convertir, x prend l'unité de x_{max}. Ici un peu plus de la moitié du réactif a été consommée.

À LA CALCULATRICE



2.1 Expliquer la méthode qui permettrait d'évaluer graphiquement la vitesse volumique $v = \frac{1}{V}\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ à un instant donné.

- On trace la tangente à la courbe $x(t)$ au point d'abscisse t.
- On calcule son coefficient directeur à partir de deux points éloignés de cette tangente : il est égal à $\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ à cet instant.
- On divise ce coefficient par le volume V de la solution.

$v(t) = \frac{1}{V} \times$ (coefficient directeur de la tangente à la courbe $x(t)$ à l'instant t)

COMPRENDRE
Le programme actuel définit plutôt la vitesse volumique d'apparition d'un produit, $\frac{\mathrm{d}[\mathrm{H_3O^+}]}{\mathrm{d}t}$. Comme $[\mathrm{H_3O^+}] = x/V$, c'est ici la même grandeur.

2.2 À l'aide de la courbe, indiquer comment évolue cette vitesse au cours du temps.

La tangente à la courbe est très inclinée à $t = 0$, puis de moins en moins : son coefficient directeur diminue au cours du temps, et V est constant.

La vitesse volumique est maximale à $t = 0$, puis elle diminue et tend vers zéro.

2.3 Quel facteur cinétique permet de justifier cette évolution ?

Le 2-chloro-2-méthylpropane est consommé : sa concentration diminue au cours du temps, et la réaction ralentit.

Le facteur cinétique est la concentration du réactif, qui diminue.

PIÈGE
Citer la température : elle est un facteur cinétique, mais elle reste constante pendant l'expérience. Elle ne peut pas expliquer un ralentissement.

2.4 Définir le temps de demi-réaction et estimer graphiquement sa valeur.

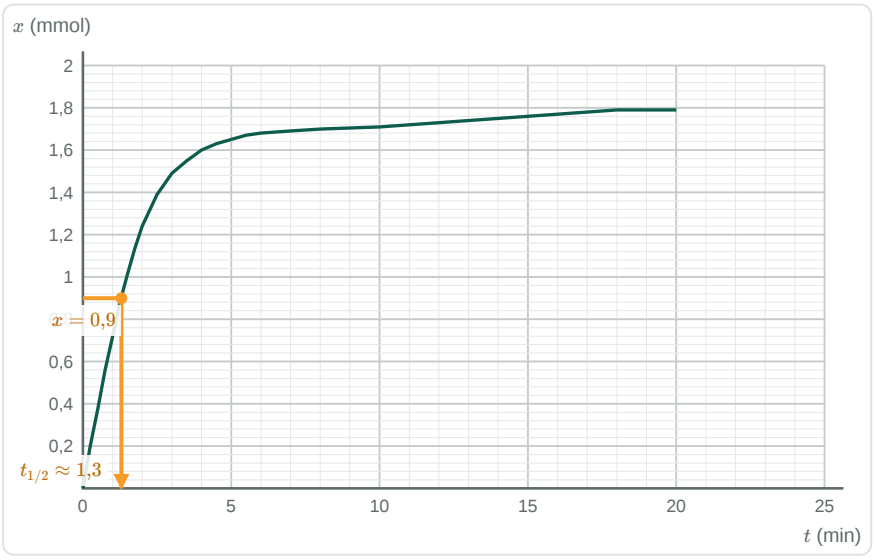
Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement atteint la moitié de sa valeur finale : $x(t_{1/2}) = \frac{x_f}{2}$.

La transformation est totale : $x_f = x_{max} = 1{,}8$ mmol, donc $x(t_{1/2}) = 0{,}9$ mmol. On lit sur la courbe l'abscisse du point d'ordonnée $0{,}9$ mmol.

$t_{1/2} \approx 1{,}3$ min

PIÈGE
Lire le temps à mi-parcours de l'axe horizontal (10 min). On part de l'axe vertical, à $x_f/2$, on rejoint la courbe, puis on descend vers l'axe des temps.

COMPRENDRE
La lecture est peu précise près de l'origine, où une graduation vaut 1 min : toute valeur entre 1,2 et 1,4 min convient.



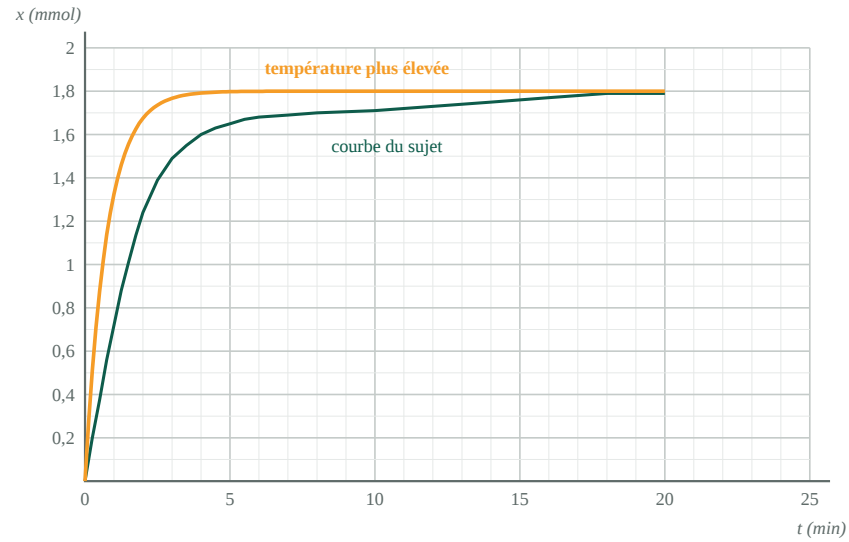
2.4 · Annexe 6 : lecture du temps de demi-réaction

2.5.1 La même expérience est réalisée à une température plus élevée. Dessiner qualitativement sur l'annexe 6 l'allure de la courbe $x(t)$.

La nouvelle courbe part aussi de l'origine, monte plus vite (tangente à l'origine plus inclinée) et reste au-dessus de la première. Les quantités introduites sont les mêmes : elle tend vers le même avancement final, $x_{max} = 1{,}8$ mmol.

Courbe au-dessus de la précédente, même palier à $1{,}8$ mmol, atteint plus tôt.

PIÈGE
Tracer un palier plus haut. La température change la vitesse, pas l'état final d'une transformation totale : x_{max} ne dépend que de n_0 .



2.5.1 · Annexe 6 complétée : en orange, l'allure à température plus élevée

2.5.2 La valeur du temps de demi-réaction est-elle identique, inférieure ou supérieure à la valeur précédente ? Justifier.

La température est un facteur cinétique : quand elle augmente, la vitesse volumique de réaction augmente. L'avancement $\frac{x_{max}}{2} = 0{,}9$ mmol, inchangé, est donc atteint plus tôt.

Le temps de demi-réaction est inférieur à la valeur précédente.

Principe de l'allumage d'une voiture

Bac S 2007 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 2 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1 Écrire les demi-équations électroniques associées aux couples $Pb^{2+}(aq)/Pb(s)$ et $PbO_2(s)/Pb^{2+}(aq)$.

Couple $Pb^{2+}(aq)/Pb(s)$:

$$Pb^{2+}(aq) + 2\,e^- = Pb(s)$$

Couple $PbO_2(s)/Pb^{2+}(aq)$:

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

MÉTHODE
En milieu acide : équilibrer l'élément principal, puis O avec H_2O, puis H avec H^+, enfin les charges avec des électrons. Vérifier la charge totale de chaque côté (ici $+2$ et $+2$).

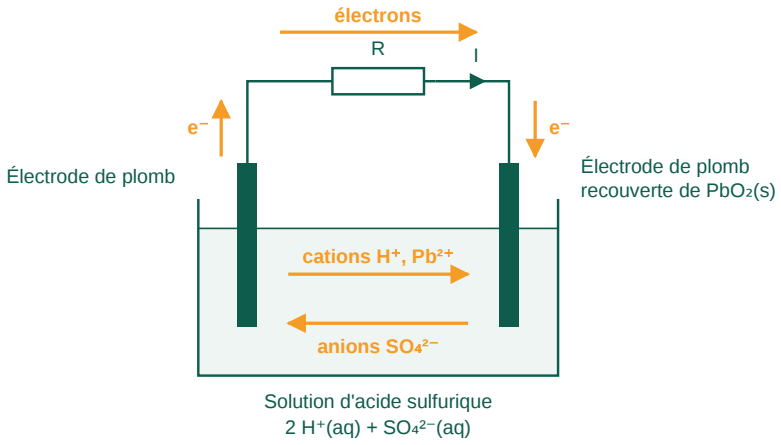
1.2 Sur l'annexe 1, flécher le sens de circulation des porteurs de charge dans les fils de connexion et dans la solution d'acide sulfurique.

Dans les fils et la résistance, les porteurs de charge sont les électrons : ils circulent en sens inverse du courant I, donc de l'électrode de plomb vers l'électrode recouverte de PbO_2.

Dans la solution, les porteurs sont les ions : les cations (H^+, Pb^{2+}) se déplacent dans le sens du courant, vers l'électrode recouverte de PbO_2 ; les anions SO_4^{2-} se déplacent en sens inverse, vers l'électrode de plomb.

Électrons : du plomb vers PbO_2 par les fils ; cations vers PbO_2, anions vers le plomb dans la solution.

PIÈGE
Faire circuler des électrons dans la solution. Ils n'existent pas à l'état libre dans l'eau : seuls les ions y transportent la charge.



1.2 · Annexe 1 complétée : fonctionnement en pile

1.3 Justifier que l'équation de la réaction lors du démarrage peut s'écrire $Pb(s) + PbO_2(s) + 4\,H^+(aq) = 2\,Pb^{2+}(aq) + 2\,H_2O(l)$.

Les électrons quittent l'électrode de plomb (Q 1.2) : le plomb y est oxydé. $Pb(s) = Pb^{2+}(aq) + 2\,e^-$

Ils arrivent sur l'électrode recouverte de PbO_2 : le dioxyde de plomb y est réduit. $PbO_2(s) + 4\,H^+(aq) + 2\,e^- = Pb^{2+}(aq) + 2\,H_2O(l)$

Chaque demi-équation échange 2 électrons : on les additionne membre à membre.

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

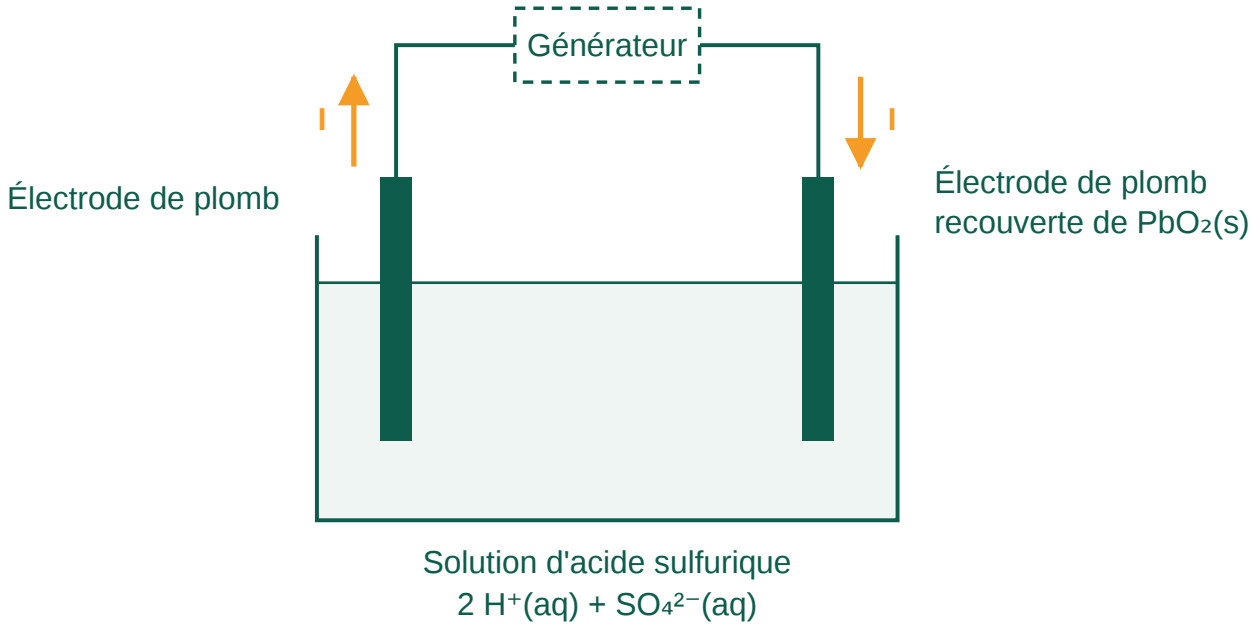
COMPRENDRE
C'est le sens du courant donné sur l'annexe 1 qui fixe tout : il sort de la pile par l'électrode recouverte de PbO_2, qui est donc la borne positive, siège de la réduction.

1.4 La batterie se recharge : la transformation chimique est-elle spontanée ou forcée ? En déduire, sur l'annexe 2, le sens de circulation du courant électrique.

Lors de la recharge, le générateur fournit de l'énergie électrique et impose au système d'évoluer dans le sens inverse de son sens spontané : la transformation est forcée.

Le courant circule donc en sens inverse de celui de la pile : dans les fils, il va de l'électrode de plomb vers l'électrode recouverte de $\mathrm{PbO_2}$ en traversant le générateur.

Transformation forcée ; courant de sens opposé à celui de l'annexe 1.



1.4 · Annexe 2 : sens du courant pendant la recharge

1.5 Écrire l'équation de la réaction qui a lieu lors de la recharge de la batterie, les couples mis en jeu étant les mêmes qu'au démarrage.

La transformation forcée est l'inverse de la transformation spontanée de la question 1.3.

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

COMPRENDRE
La recharge régénère les réactifs de la pile, Pb et $\mathrm{PbO_2}$: c'est ce qui distingue un accumulateur d'une pile ordinaire.

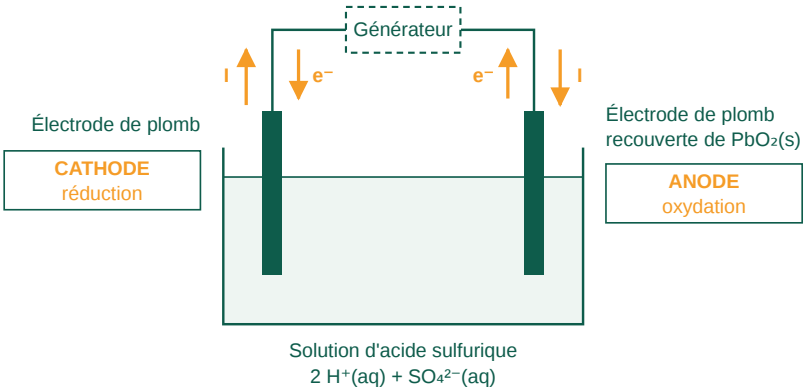
1.6 Préciser pour chaque électrode la nature (oxydation ou réduction) de la réaction, puis indiquer la cathode et l'anode sur l'annexe 2.

Électrode de plomb : les électrons y arrivent, il s'y produit une réduction, $\mathrm{Pb^{2+}\,(aq)} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{Pb\,(s)}$. C'est la cathode.

Électrode recouverte de $\mathrm{PbO_2}$: les électrons en partent, il s'y produit une oxydation, $\mathrm{Pb^{2+}\,(aq)} + 2\,\mathrm{H_2O\,(l)} = \mathrm{PbO_2\,(s)} + 4\,\mathrm{H^+\,(aq)} + 2\,\mathrm{e^-}$. C'est l'anode.

Électrode de plomb : réduction, cathode. Électrode recouverte de $\mathrm{PbO_2}$: oxydation, anode.

PIÈGE
Garder les noms du fonctionnement en pile. L'anode est toujours le siège de l'oxydation : pendant la recharge, les rôles des deux électrodes sont échangés.



1.6 · Annexe 2 complétée : recharge (électrolyse)

2.1.1 Donner l'expression de la tension u aux bornes de la bobine primaire en fonction de r, L et i.

La bobine est orientée en convention récepteur (flèche de u opposée au sens de i).

$$u = r\,i + L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$$

COMPRENDRE
La bobine et le circuit RL ne sont plus au programme de la spécialité actuelle. La méthode (loi des mailles, équation différentielle du premier ordre, constante de temps) est la même que pour le circuit RC.

2.1.2 Montrer que l'équation différentielle vérifiée par i est $L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + K\,i = E$ et donner l'expression de la constante K.

Interrupteur fermé, la tension à ses bornes est nulle. Loi des mailles : $E = u + u_R$.

Loi d'Ohm : $u_R = R\,i$. Avec l'expression de u (Q 2.1.1) :

$$E = r\,i + L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + R\,i$$

$$L\,\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} + (R + r)\,i = E, \text{ soit } K = R + r.$$

2.1.3.1 Avec la solution $i = A\,(1 - \mathrm{e}^{-Bt})$, montrer à l'aide de l'équation différentielle que $A = \frac{E}{K}$ et $B = \frac{K}{L}$.

On dérive : $\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = A\,B\,\mathrm{e}^{-Bt}$.

On reporte dans l'équation différentielle :

$$L\,A\,B\,\mathrm{e}^{-Bt} + K\,A - K\,A\,\mathrm{e}^{-Bt} = E$$

$$A\,(L\,B - K)\,\mathrm{e}^{-Bt} + K\,A = E$$

Cette égalité est vraie à chaque instant seulement si le terme en e^{-Bt} disparaît : $L\,B - K = 0$ (car $A \neq 0$). Il reste $K\,A = E$.

$$B = \frac{K}{L} \text{ et } A = \frac{E}{K}$$

MÉTHODE
Pour identifier des constantes : dériver, reporter, regrouper les termes qui dépendent du temps d'un côté. Une fonction du temps ne peut être égale à une constante que si son coefficient est nul.

2.1.3.2 Calculer la valeur de A et préciser son unité.

Données utiles $E = 12\ \text{V}$; $R = 2{,}5\ \Omega$; $r = 0{,}50\ \Omega$

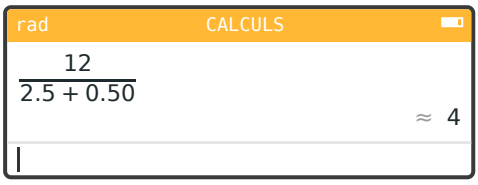
$A = \dfrac{E}{K} = \dfrac{E}{R + r}$: une tension divisée par une résistance est une intensité (loi d'Ohm), A s'exprime en ampères.

$$A = \frac{12}{2{,}5 + 0{,}50}$$

$A = 4{,}0\ \text{A}$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme E, R et r : on écrit $4{,}0$ A et non 4 A. A est l'intensité du régime permanent, atteinte quand $\dfrac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = 0$.

À LA CALCULATRICE



2.1.4 Parmi les courbes 1, 2 et 3, indiquer en justifiant celle qui peut représenter i.

D'après $i = A\left(1 - \mathrm{e}^{-Bt}\right)$:

- à $t = 0$, $i = A(1 - 1) = 0$: la courbe 1, qui part de $-4{,}0$ A, est écartée ;
- quand t devient grand, e^{-Bt} tend vers 0 et i tend vers $A = 4{,}0$ A : la courbe 3, qui croît de plus en plus vite et dépasse $4{,}0$ A, est écartée.

La courbe 2 part de 0 et se stabilise à $4{,}0$ A.

La courbe 2 représente i.

MÉTHODE
Pour choisir une courbe, tester deux points sûrs de la solution : la valeur initiale et la valeur limite.

2.1.5 Déterminer graphiquement la valeur de la constante de temps τ du circuit à partir de la courbe choisie.

Données utiles $A = 4{,}0$ A (Q 2.1.3.2)

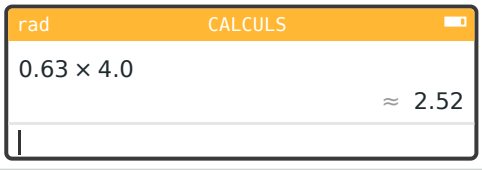
À $t = \tau$, l'intensité vaut 63 % de sa valeur finale : $i(\tau) = 0{,}63 \times 4{,}0 = 2{,}5$ A.

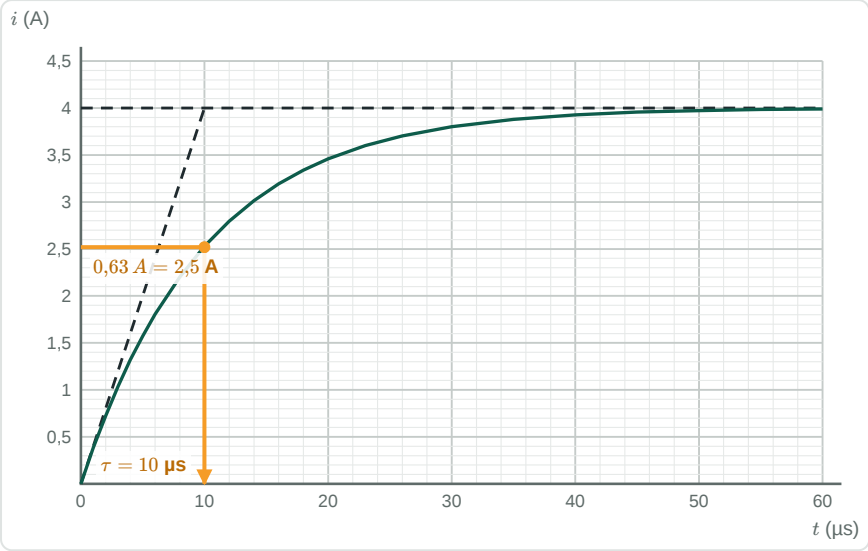
Sur la courbe 2, le point d'ordonnée $2{,}5$ A a pour abscisse 10 µs. La tangente à l'origine coupe l'asymptote $i = 4{,}0$ A à la même abscisse.

$\tau = 10$ µs

COMPRENDRE
Le 63 % vient de $i(\tau) = A\left(1 - \mathrm{e}^{-1}\right)$ avec $1 - \mathrm{e}^{-1} \approx 0{,}63$.

À LA CALCULATRICE





2.1.5 · Courbe 2 : tangente à l'origine et lecture de τ

2.1.6 Donner l'expression littérale de la constante de temps τ en fonction des paramètres du circuit.

La solution s'écrit $i = A\,(1 - \mathrm{e}^{-t/\tau})$, donc $\tau = \dfrac{1}{B} = \dfrac{L}{K}$.

$$\boxed{\tau = \frac{L}{R + r}}$$

PIÈGE
Oublier la résistance interne r de la bobine : c'est la résistance totale du circuit qui intervient.

2.1.7 En déduire la valeur de l'inductance L de la bobine primaire.

Données utiles $\tau = 10$ µs (Q 2.1.5) ; $R = 2{,}5\ \Omega$; $r = 0{,}50\ \Omega$

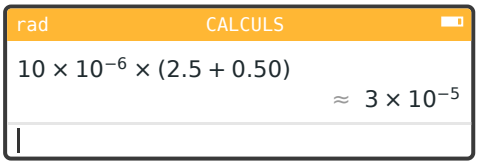
$$L = \tau\,(R + r)$$

$$L = 10 \times 10^{-6} \times (2{,}5 + 0{,}50)$$

$$\boxed{L = 3{,}0 \times 10^{-5}\ \text{H}}$$

PIÈGE
Laisser τ en microsecondes : il faut $\tau = 10 \times 10^{-6}$ s pour obtenir L en henrys.

À LA CALCULATRICE



2.1.8 Donner l'expression littérale de l'énergie W_L emmagasinée dans la bobine primaire.

$$\boxed{W_L = \frac{1}{2}\,L\,i^2}$$

2.1.9 Calculer l'énergie maximale emmagasinée dans la bobine primaire à l'aide de la courbe choisie à la question 2.1.4.

Données utiles $L = 3{,}0 \times 10^{-5}$ H (Q 2.1.7)

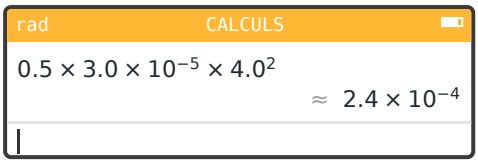
L'énergie est maximale quand l'intensité est maximale. Sur la courbe 2, l'intensité se stabilise à $I_{\max} = 4{,}0$ A.

$$W_{L,\max} = \frac{1}{2}\,L\,I_{\max}^2 = \frac{1}{2} \times 3{,}0 \times 10^{-5} \times 4{,}0^2$$

$$\boxed{W_{L,\max} = 2{,}4 \times 10^{-4}\ \text{J}}$$

PIÈGE
Oublier le carré de l'intensité, ou le facteur $\frac{1}{2}$.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 À quelle courbe (4 ou 5) correspond la valeur de $\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$ à $t = 0$ la plus élevée ?

Les deux courbes partent de la même intensité. À $t = 0$, la tangente à la courbe 5 est plus inclinée que celle de la courbe 4 : l'intensité y décroît plus vite.

La valeur de $\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$ à $t = 0$ est la plus élevée pour la courbe 5.

COMPRENDRE
Les deux pentes sont négatives : celle de la courbe 5 est la plus petite au sens algébrique, mais la plus grande en valeur absolue. C'est la valeur absolue que le sujet demande.

2.2.2 La tension u_2 aux bornes de la bobine secondaire est proportionnelle à $\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$ à $t = 0$. Quelle courbe permet d'obtenir plus facilement une étincelle ?

L'étincelle apparaît si u_2 est suffisamment grande. Comme u_2 est proportionnelle à $\left|\frac{\Delta i}{\Delta t}\right|$ à $t = 0$, elle est la plus grande pour la courbe 5 (Q 2.2.1).

La courbe 5 permet d'obtenir plus facilement l'étincelle.

COMPRENDRE
Plus le courant est coupé brutalement dans la bobine primaire, plus la tension créée au secondaire est élevée : c'est le principe de la bobine d'allumage.

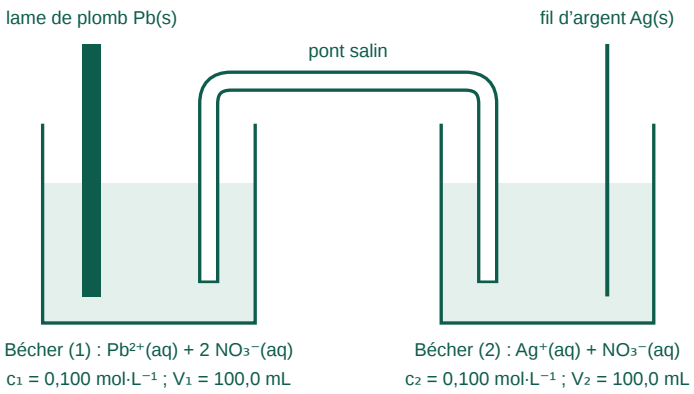
Spécialité : étude d'une pile

Bac S 2007 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Schématiser la pile que l'on peut construire avec ce matériel.

Deux demi-piles reliées par le pont salin : la lame de plomb plonge dans la solution de nitrate de plomb (bécher 1), le fil d'argent dans la solution de nitrate d'argent (bécher 2).

Schéma ci-dessous : chaque métal plonge dans la solution de son propre cation, le pont salin relie les deux solutions.



1.1 · Schéma de la pile plomb-argent

PIÈGE
Inverser les solutions (plomb dans le nitrate d'argent) ou oublier le pont salin : sans lui, le circuit est ouvert et aucune charge ne circule entre les béchers.

1.2 Définir et calculer le quotient de réaction initial du système mis en jeu lors de la fabrication de la pile.

Données utiles $2\,Ag^+(aq) + Pb(s) = 2\,Ag(s) + Pb^{2+}(aq)$; $c_1 = c_2 = 0{,}100\ mol \cdot L^{-1}$

Pour cette réaction, les solides n'apparaissent pas dans le quotient :

$$Q_{r,i} = \frac{[Pb^{2+}]_i}{[Ag^+]_i^2}$$

Avec $[Pb^{2+}]_i = c_1$ et $[Ag^+]_i = c_2$ (concentrations en $mol \cdot L^{-1}$) :

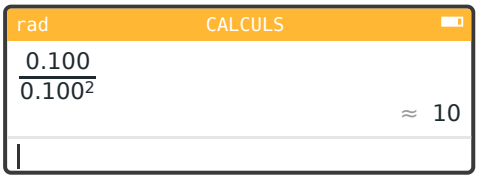
$$Q_{r,i} = \frac{0{,}100}{0{,}100^2}$$

$Q_{r,i} = 10{,}0$ (sans unité)

PIÈGE
Oublier l'exposant 2 sur $[Ag^+]$ (nombre stœchiométrique) ou faire figurer les métaux solides dans l'expression.

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat s'écrit $10{,}0$ et non 10. Chaque ion nitrate est spectateur et n'intervient pas.

À LA CALCULATRICE



1.3 Rappeler le critère d'évolution spontanée d'un système chimique.

On compare le quotient de réaction initial $Q_{r,i}$ à la constante d'équilibre K :

- si $Q_{r,i} < K$, le système évolue spontanément dans le sens direct de l'équation ;
- si $Q_{r,i} > K$, il évolue dans le sens inverse ;
- si $Q_{r,i} = K$, le système est à l'équilibre : il n'évolue pas.

Le système évolue spontanément dans le sens qui rapproche Q_r de K.

1.4 On branche une résistance aux bornes de la pile. Indiquer, en justifiant par le critère d'évolution spontanée, si la pile peut délivrer un courant électrique.

Données utiles $Q_{r,i} = 10{,}0$ (1.2) ; $K = 6{,}8 \times 10^{28}$

$Q_{r,i} = 10{,}0 < K = 6{,}8 \times 10^{28}$: le système est hors équilibre et évolue spontanément dans le sens direct.

Le plomb est oxydé ($\mathrm{Pb} = \mathrm{Pb}^{2+} + 2\,\mathrm{e}^-$) et cède des électrons, qui traversent la résistance jusqu'au fil d'argent, où les ions argent sont réduits ($\mathrm{Ag}^+ + \mathrm{e}^- = \mathrm{Ag}$).

Ce transfert d'électrons par le circuit extérieur est un courant électrique : la pile peut débiter.

COMPRENDRE
Les électrons partent du plomb : la lame de plomb est la borne négative, le fil d'argent la borne positive. Le courant circule dans la résistance de l'argent vers le plomb.

2.1 Calculer la quantité d'électricité Q échangée pendant une heure d'utilisation.

Données utiles $I = 65\ \mathrm{mA}$; $\Delta t = 1\ \mathrm{h}$

L'intensité est constante : $Q = I \times \Delta t$, avec $I = 65 \times 10^{-3}$ A et $\Delta t = 3600$ s.

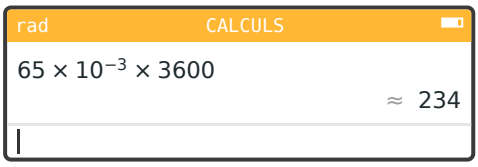
$$Q = 65 \times 10^{-3} \times 3600 = 234\ \mathrm{C}$$

$Q = 2{,}3 \times 10^2$ C

PIÈGE
Laisser l'intensité en mA ou la durée en heures : le coulomb est un ampère-seconde.

COMPRENDRE
I n'a que deux chiffres significatifs : on annonce $2{,}3 \times 10^2$ C, mais on garde 234 C pour les calculs suivants.

À LA CALCULATRICE



2.2 Calculer la quantité de matière d'électrons n_e échangée pendant cette durée.

Données utiles $Q = 234$ C (2.1) ; $1\ F = 9{,}65 \times 10^4\ \mathrm{C \cdot mol^{-1}}$

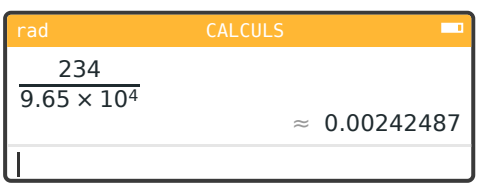
Une mole d'électrons porte, en valeur absolue, la charge F : $Q = n_e \times F$, donc

$$n_e = \frac{Q}{F} = \frac{234}{9{,}65 \times 10^4}$$

$n_e = 2{,}4 \times 10^{-3}$ mol

COMPRENDRE
N_A et e sont inutiles ici : le faraday les contient déjà, puisque $F = N_A \times e$.

À LA CALCULATRICE



2.3 Calculer la quantité de matière $n(\mathrm{Pb}^{2+})$ d'ions $\mathrm{Pb}^{2+}\,(\mathrm{aq})$ formée pendant cette durée.

Données utiles $\mathrm{Pb} = \mathrm{Pb}^{2+} + 2\,\mathrm{e}^-$; $n_e = 2{,}42 \times 10^{-3}$ mol (2.2, valeur non arrondie)

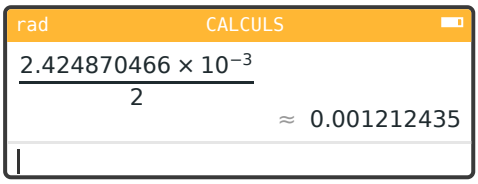
D'après la demi-équation, la formation d'un ion Pb^{2+} libère deux électrons :

$$n(\mathrm{Pb}^{2+}) = \frac{n_e}{2} = \frac{2{,}42 \times 10^{-3}}{2}$$

$\boxed{n(\mathrm{Pb}^{2+}) = 1{,}2 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}}$

PIÈGE
Multiplier par 2 au lieu de diviser : il y a deux fois moins d'ions plomb formés que d'électrons échangés.

À LA CALCULATRICE



2.4 Calculer la concentration finale en ions $\mathrm{Pb}^{2+}\,(\mathrm{aq})$, notée $[\mathrm{Pb}^{2+}\,(\mathrm{aq})]_f$, dans le bécher (1).

Données utiles $c_1 = 0{,}100\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_1 = 100{,}0\ \mathrm{mL}$; $n(\mathrm{Pb}^{2+})$ formée (2.3)

Les ions formés s'ajoutent à ceux déjà présents, dans un volume V_1 inchangé :

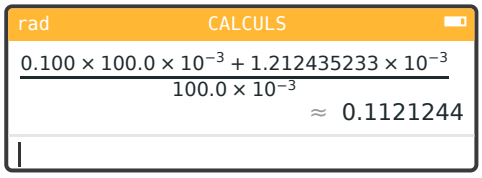
$$[\mathrm{Pb}^{2+}]_f = \frac{c_1 V_1 + n(\mathrm{Pb}^{2+})}{V_1}$$

$$[\mathrm{Pb}^{2+}]_f = \frac{0{,}100 \times 100{,}0 \times 10^{-3} + 1{,}21 \times 10^{-3}}{100{,}0 \times 10^{-3}}$$

$\boxed{[\mathrm{Pb}^{2+}]_f = 0{,}112\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}}$

PIÈGE
Diviser seulement la quantité formée par V_1 : on obtient l'augmentation de concentration ($0{,}012\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$), pas la concentration finale.

À LA CALCULATRICE



3.1.1 Les réactions (a) et (b) ne se déroulent pas simultanément. Justifier cette affirmation en indiquant laquelle se déroule en premier.

Sur la simulation, tant que la quantité d'ions Ag^+ diminue et que celle de AgSCN augmente, la quantité d'ions Fe^{3+} reste constante et il ne se forme pas de FeSCN^{2+}.

Les ions Fe^{3+} ne commencent à être consommés qu'une fois les ions Ag^+ épuisés.

Les deux réactions sont successives : la réaction (a) se déroule en premier, puis la réaction (b).

COMPRENDRE
Le titrage par précipitation ne figure plus au programme actuel de spécialité. Le raisonnement à l'équivalence reste celui de tout titrage.

3.1.2 Cette méthode permet de titrer les ions $\mathrm{Ag}^+\,(\mathrm{aq})$. Indiquer comment est repérée l'équivalence de ce dosage.

À l'équivalence, tous les ions Ag^+ ont réagi. La première goutte de solution de thiocyanate versée ensuite réagit avec les ions Fe^{3+} selon (b) et forme FeSCN^{2+}, rouge sang.

L'équivalence est repérée par l'apparition d'une coloration rouge sang persistante dans le mélange.

COMPRENDRE
Les ions Fe^{3+} jouent le rôle d'indicateur de fin de réaction : ils ne réagissent qu'après l'espèce titrée.

3.1.3 Ce titrage est-il un titrage direct ou indirect des ions $\mathrm{Ag^+\,(aq)}$? Justifier la réponse.

La réaction support du titrage est la réaction (a) : les ions $\mathrm{Ag^+}$ à doser réagissent eux-mêmes avec le réactif titrant $\mathrm{SCN^-}$ versé à la burette.

C'est un titrage direct.

COMPRENDRE
Dans un titrage indirect, l'espèce étudiée est d'abord transformée par un réactif en excès, puis on titre une autre espèce (l'excès restant ou un produit formé).

3.2.1 Avec quelle verrerie faut-il prélever le volume V_P ?

Données utiles $V_P = 20{,}0\ \mathrm{mL}$

Le volume prélevé doit être connu avec précision ($20{,}0\ \mathrm{mL}$, au dixième de millilitre).

On utilise une pipette jaugée de 20,0 mL, munie d'un dispositif d'aspiration.

PIÈGE
Répondre « éprouvette graduée » ou « bécher » : leur précision est insuffisante pour un prélèvement à titrer.

3.2.2 En déduire la valeur de $[\mathrm{Ag^+\,(aq)}]_f$ dans le bécher (2).

Données utiles $[\mathrm{SCN^-}] = 2{,}0 \times 10^{-1}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V_{eq} = 7{,}5\ \mathrm{mL}$; $V_P = 20{,}0\ \mathrm{mL}$

Réaction support : $\mathrm{Ag^+\,(aq) + SCN^-\,(aq) = AgSCN\,(s)}$. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques :

$$n(\mathrm{Ag^+})_{\text{prélevé}} = n(\mathrm{SCN^-})_{\text{versé}} \quad \text{soit} \quad [\mathrm{Ag^+}]_f \times V_P = [\mathrm{SCN^-}] \times V_{eq}$$

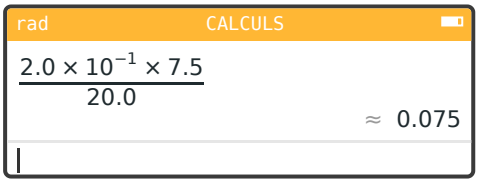
$$[\mathrm{Ag^+}]_f = \frac{[\mathrm{SCN^-}] \times V_{eq}}{V_P} = \frac{2{,}0 \times 10^{-1} \times 7{,}5}{20{,}0}$$

$[\mathrm{Ag^+}]_f = 7{,}5 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

PIÈGE
Diviser par $23{,}0\ \mathrm{mL}$: les 3,0 mL de solution de fer(III) diluent le prélèvement mais ne changent pas la quantité d'ions $\mathrm{Ag^+}$ qu'il contient.

COMPRENDRE
Vérification : la pile a consommé $n_e = 2{,}4 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$ d'ions $\mathrm{Ag^+}$ sur $1{,}00 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$; il en reste $7{,}6 \times 10^{-3}\ \mathrm{mol}$ dans 100,0 mL, ce qui concorde.

À LA CALCULATRICE



4 En utilisant les valeurs de $[Pb^{2+}(aq)]_f$ et de $[Ag^+(aq)]_f$, indiquer si l'équilibre chimique est atteint ou si la pile continue de fournir du courant.

Données utiles $[Pb^{2+}]_f = 0{,}112\ mol \cdot L^{-1}$ (2.4) ; $[Ag^+]_f = 7{,}5 \times 10^{-2}\ mol \cdot L^{-1}$ (3.2.2) ; $K = 6{,}8 \times 10^{28}$

Quotient de réaction après une heure :

$$Q_{r,f} = \frac{[Pb^{2+}]_f}{[Ag^+]_f^2} = \frac{0{,}112}{(7{,}5 \times 10^{-2})^2} = 20$$

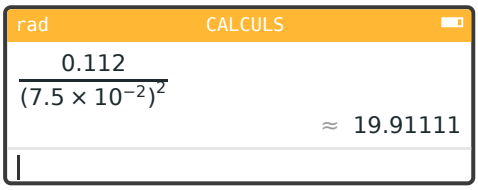
$Q_{r,f} = 20$ reste très inférieur à $K = 6{,}8 \times 10^{28}$: le système évolue encore dans le sens direct.

$Q_{r,f} = 20 \neq K$: l'équilibre n'est pas atteint, la pile continue de fournir du courant.

COMPRENDRE

En une heure, Q_r est seulement passé de 10 à 20. Avec une constante aussi grande, la pile ne s'arrêtera que lorsque les ions Ag^+ seront presque tous consommés.

À LA CALCULATRICE



à propos des étoiles filantes

Bac S 2007 Centres étrangers (ancien programme) · Exercice 4 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Donner l'expression vectorielle de la force subie par la Terre, en utilisant le vecteur $\vec{u}$ du schéma de l'annexe 3.

La Terre subit la force d'attraction gravitationnelle du Soleil, dirigée de la Terre vers le Soleil, donc dans le sens de $\vec{u}$:

$$\boxed{\overrightarrow{F}_{S/T} = G\,\frac{M_S\,M_T}{R^2}\,\vec{u}}$$

PIÈGE
Mettre un signe « $-$ ». Sur l'annexe, $\vec{u}$ part de la Terre et pointe vers le Soleil : la force attractive est selon $+\vec{u}$.

1.2 Énoncer, puis appliquer la deuxième loi de Newton à la Terre.

Énoncé : dans un référentiel galiléen, la somme des forces extérieures appliquées à un système de masse m constante est égale au produit de sa masse par le vecteur accélération de son centre d'inertie : $\sum \overrightarrow{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$.

Application : système {Terre}, de masse M_T ; référentiel héliocentrique, considéré comme galiléen ; seule force : $\overrightarrow{F}_{S/T}$.

$$\boxed{\overrightarrow{F}_{S/T} = M_T\,\vec{a}}$$

MÉTHODE
Avant d'écrire la loi, toujours nommer le système, le référentiel galiléen et faire le bilan des forces : ces trois éléments sont notés.

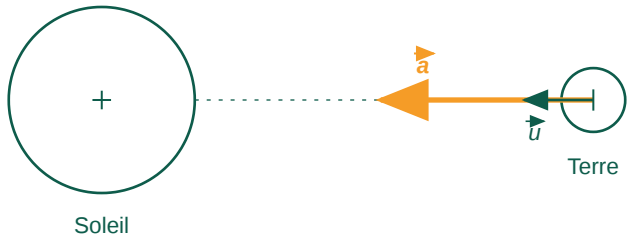
1.3 En déduire l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$; donner sa direction, son sens et l'expression de sa norme ; le représenter sur le schéma de l'annexe.

$G\,\dfrac{M_S\,M_T}{R^2}\,\vec{u} = M_T\,\vec{a}$, donc, en simplifiant par M_T : $\vec{a} = \dfrac{G\,M_S}{R^2}\,\vec{u}$.

- Direction : la droite joignant les centres de la Terre et du Soleil.
- Sens : de la Terre vers le Soleil (accélération centripète).
- Norme : voir ci-dessous.

$$\boxed{\vec{a} = \frac{G\,M_S}{R^2}\,\vec{u}\text{, de norme } a = \frac{G\,M_S}{R^2}}$$

COMPRENDRE
La masse de la Terre se simplifie : l'accélération, donc le mouvement, ne dépend que de la masse de l'astre attracteur et de la distance.



1.3 · Annexe 3 complétée : vecteur accélération de la Terre

1.4 Le mouvement étant circulaire uniforme, quelle relation peut-on écrire entre l'accélération a et la vitesse v du centre d'inertie de la Terre ?

Pour un mouvement circulaire uniforme de rayon R, l'accélération est centripète et sa valeur est :

$$\boxed{a = \frac{v^2}{R}}$$

1.5 Donner l'expression de la vitesse v du centre d'inertie de la Terre en fonction de G, M_S et R.

On égale les deux expressions de a (1.3 et 1.4) : $\dfrac{v^2}{R} = \dfrac{G\,M_S}{R^2}$, soit $v^2 = \dfrac{G\,M_S}{R}$.

Une vitesse étant positive :

$$\boxed{v = \sqrt{\dfrac{G\,M_S}{R}}}$$

1.6 Calculer la valeur de cette vitesse.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ SI ; $M_S = 1{,}98 \times 10^{30}$ kg ; $R = 1{,}50 \times 10^{11}$ m

$$v = \sqrt{\dfrac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 1{,}98 \times 10^{30}}{1{,}50 \times 10^{11}}}$$

$$\boxed{v = 2{,}97 \times 10^{4}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}, \text{ soit } 29{,}7\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}}$$

COMPRENDRE
Les données ont trois chiffres significatifs : le résultat en garde trois. L'unité « SI » de G est $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$, ce qui donne bien des $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ sous la racine.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\sqrt{\dfrac{6.67 \times 10^{-11} \times 1.98 \times 10^{30}}{1.50 \times 10^{11}}} \approx 29672.21$$

1.7 Donner l'expression de la période de rotation T de la Terre autour du Soleil en fonction de v et de R.

Pendant une période T, la Terre parcourt à vitesse constante v le périmètre $2\pi R$ de sa trajectoire : $v = \dfrac{2\pi R}{T}$.

$$\boxed{T = \dfrac{2\pi R}{v}}$$

1.8 Montrer que $T = \dfrac{2\pi R^{3/2}}{\sqrt{G\,M_S}}$, puis calculer sa valeur.

Données utiles expression de v (1.5) ; G, M_S, R comme en 1.6

$$T = \dfrac{2\pi R}{v} = 2\pi R\sqrt{\dfrac{R}{G\,M_S}} = \dfrac{2\pi R \times R^{1/2}}{\sqrt{G\,M_S}}, \text{ donc } T = \dfrac{2\pi R^{3/2}}{\sqrt{G\,M_S}}.$$

$$T = \dfrac{2\pi \times (1{,}50 \times 10^{11})^{3/2}}{\sqrt{6{,}67 \times 10^{-11} \times 1{,}98 \times 10^{30}}}$$

$$\boxed{T = 3{,}18 \times 10^{7}\ \text{s}, \text{ soit environ 368 jours}}$$

PIÈGE
Reprendre la valeur arrondie de v au lieu de l'expression littérale : la question demande une démonstration, pas seulement un nombre.

COMPRENDRE
On retrouve l'année à moins de 1 % près (365,25 jours). L'écart vient du modèle : l'orbite réelle n'est pas exactement circulaire et R est une valeur moyenne arrondie.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\dfrac{2 \times \pi \times (1.50 \times 10^{11})^{1.5}}{\sqrt{6.67 \times 10^{-11} \times 1.98 \times 10^{30}}} \approx 3.176298 \times 10^{7}$$

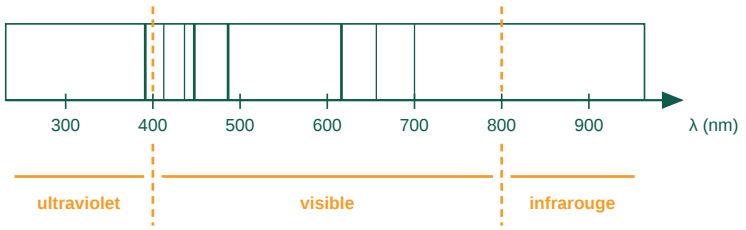
$$\dfrac{31\,762\,980.27}{86\,400} \approx 367.6271$$

2.1 Indiquer sur le spectre de l'annexe 4 les domaines de la lumière visible, des rayonnements infrarouges et ultraviolets.

Dans le vide, le domaine visible s'étend d'environ 400 nm (violet) à 800 nm (rouge).

Ultraviolet : $\lambda < 400$ nm ; visible : $400\ \text{nm} < \lambda < 800\ \text{nm}$; infrarouge : $\lambda > 800$ nm

COMPRENDRE
La limite rouge du visible n'est pas nette : 750, 780 ou 800 nm sont acceptés. Presque toutes les raies du spectre enregistré sont dans le visible.



2.1 · Annexe 4 complétée : domaines du spectre

2.2 Sur le diagramme des niveaux d'énergie, une transition est représentée par une flèche. La raie correspondante est-elle une raie d'émission ou d'absorption ? Justifier.

La flèche part du niveau $-0{,}54$ eV et arrive au niveau $-3{,}39$ eV, plus bas : l'énergie de l'atome diminue. L'énergie perdue est cédée à l'extérieur sous forme d'un photon.

C'est une raie d'**émission**.

MÉTHODE
Flèche vers le bas : l'atome se désexcite, il émet un photon. Flèche vers le haut : l'atome absorbe un photon.

2.3 Donner l'expression de l'énergie échangée $|\Delta E|$ entre l'atome et le milieu extérieur lors de cette transition, en notant ν la fréquence de la radiation.

L'énergie échangée est celle du photon émis, de fréquence ν :

$$|\Delta E| = h\,\nu$$

2.4 Donner la relation entre la longueur d'onde λ de cette radiation et sa fréquence ν dans le vide.

$$\lambda = \frac{c}{\nu}$$

2.5 Déterminer sur le diagramme la valeur de $|\Delta E|$, puis la convertir en joule.

Données utiles niveaux de départ $-0{,}54$ eV et d'arrivée $-3{,}39$ eV ; $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J

$$|\Delta E| = |-3{,}39 - (-0{,}54)| = 2{,}85\ \text{eV}$$

$$|\Delta E| = 2{,}85 \times 1{,}60 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

$$|\Delta E| = 2{,}85\ \text{eV} = 4{,}56 \times 10^{-19}\ \text{J}$$

PIÈGE
Additionner les deux énergies ($3{,}93$ eV) : les niveaux sont négatifs, l'écart est une différence.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$3.39 - 0.54$

≈ 2.85

$2.85 \times 1.60 \times 10^{-19}$

$\approx 4.56 \times 10^{-19}$

2.6 Calculer la valeur de la longueur d'onde λ correspondant à cette transition.

Données utiles $h = 6{,}62 \times 10^{-34}$ J·s ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}$ m · s^{-1} ; $|\Delta E| = 4{,}56 \times 10^{-19}$ J (2.5)

Avec 2.3 et 2.4 : $|\Delta E| = h\nu = \dfrac{hc}{\lambda}$, donc $\lambda = \dfrac{hc}{|\Delta E|}$.

$$\lambda = \frac{6{,}62 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^{8}}{4{,}56 \times 10^{-19}} = 4{,}36 \times 10^{-7}\ \text{m}$$

$\lambda = 436$ nm

PIÈGE
Laisser $|\Delta E|$ en électronvolts dans la formule : avec h en J·s, l'énergie doit être en joules.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{6.62 \times 10^{-34} \times 3.00 \times 10^{8}}{4.56 \times 10^{-19}}$

$\approx 4.355263 \times 10^{-7}$

2.7 À l'aide des tableaux de longueurs d'onde de raies de l'azote, de l'oxygène et de l'hydrogène, identifier l'élément mis en évidence par cette raie.

Données utiles $\lambda = 436$ nm (2.6)

La valeur 436 nm ne figure que dans le tableau de l'hydrogène ; l'azote (424 et 445 nm) et l'oxygène (420 et 442 nm) n'ont pas de raie à cette longueur d'onde.

L'élément mis en évidence est l'**hydrogène**.

COMPRENDRE
Le diagramme le confirmait : un niveau fondamental à $-13{,}6$ eV est celui de l'atome d'hydrogène. La raie à 436 nm est bien présente sur le spectre de l'annexe 4.