# Corrigé complet — Bac S 2006 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme)

Physique-chimie, Bac S (épreuve écrite) **16 points** **3 h 30**


| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Ex 1 | **Décharge d'un condensateur**<br>Circuit RC · Décharge d'un condensateur · Équation différentielle du premier ordre · Constante de temps · Analyse dimensionnelle · Énergie d'un condensateur | 5 pts | 1 h 05 | 19 questions | p. 2 |
| Ex 2 | **Mission sur mars**<br>Mouvement circulaire uniforme · Deuxième loi de Newton · Troisième loi de Kepler · Fusion nucléaire et courbe d'Aston · Équivalence masse-énergie · Électrolyse de l'eau | 7 pts | 1 h 31 | 24 questions | p. 7 |
| Ex 3 | **Etude d'une réaction d'estérification**<br>Estérification et hydrolyse basique · Catalyseur et facteurs cinétiques · Avancement et taux d'avancement final · Quotient de réaction et constante d'équilibre · Temps de demi-réaction · Équilibre dynamique | 4 pts | 52 min | 17 questions | p. 14 |
| Ex 4 | **Spécialité : Dosage des ions cuivre(II)**<br>Titrage indirect · Équivalence et stœchiométrie · Dilution · Loi de Beer-Lambert · Dosage par étalonnage · Dissolution d'un solide hydraté | 4 pts | 52 min | 12 questions | p. 19 |


**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.

# Décharge d'un condensateur

Bac S 2006 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

**1.1** Quelle relation lie $u_R$ et $u_C$ ?

Le circuit ne comporte qu'une maille. Loi des mailles (additivité des tensions), avec les flèches du schéma :

$u_C + u_R = 0$, soit $u_R = -u_C$

**COMPRENDRE**
Les deux dipôles sont branchés aux mêmes points. La flèche $u_C$ pointe vers A, la flèche $u_R$ vers la borne reliée à B : les deux tensions sont opposées.

**1.2** Rappeler la relation qui lie la charge $q_A$ de l'armature A à la tension $u_C$.

La flèche de $u_C$ pointe vers l'armature A, donc :

$q_A = C\,u_C$

**1.3** Quel est le signe de $i$ ? Établir la relation liant l'intensité $i$ à la tension $u_C$.

Pendant la charge, le courant compté positivement arrive sur l'armature A. Pendant la décharge, le courant circule dans l'autre sens : $i$ est **négative**.

Avec cette orientation, $i = \dfrac{\mathrm{d}q_A}{\mathrm{d}t}$. Comme $q_A = C\,u_C$ et que $C$ est constante :

$i < 0$ et $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$

**COMPRENDRE**
Vérification : pendant la décharge, $u_C$ diminue, donc $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} < 0$ et la relation redonne bien $i < 0$.

**1.4** Montrer que l'équation différentielle vérifiée par $u_C$ s'écrit $\alpha\,u_C + \dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$ et exprimer $\alpha$ en fonction de $R$ et $C$.

Loi d'Ohm, avec l'orientation choisie pour $i$ : $u_R = R\,i$.

La relation de 1.1 devient $u_C + R\,i = 0$, puis avec 1.3 :

$$u_C + RC\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$$

En divisant par $RC$ : $\dfrac{1}{RC}\,u_C + \dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$.

$\alpha\,u_C + \dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$ avec $\alpha = \dfrac{1}{RC}$

**MÉTHODE**
Équation d'un circuit RC en trois temps : loi des mailles, loi d'Ohm, puis $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$ pour ne garder que $u_C$.

**2.1** En utilisant l'équation différentielle, montrer que $\beta = \dfrac{1}{RC}$.

Si $u_C = A\,\mathrm{e}^{-\beta t}$, alors $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\beta A\,\mathrm{e}^{-\beta t}$.

On reporte dans l'équation différentielle :

$$\frac{1}{RC}\,A\,\mathrm{e}^{-\beta t} - \beta A\,\mathrm{e}^{-\beta t} = 0 \quad \text{soit} \quad A\,\mathrm{e}^{-\beta t}\left(\frac{1}{RC} - \beta\right) = 0$$

Cette égalité doit être vraie à chaque instant. Or $A \neq 0$ et une exponentielle ne s'annule jamais, donc $\dfrac{1}{RC} - \beta = 0$.

$\beta = \dfrac{1}{RC}$

**PIÈGE**
Oublier le signe « − » en dérivant $\mathrm{e}^{-\beta t}$, ou conclure sans dire pourquoi le facteur $A\,\mathrm{e}^{-\beta t}$ ne peut pas être nul.

**2.2** Déterminer la valeur de $A$.

**Données utiles** $u_C(0) = U_0 = 10$ V

Condition initiale : $u_C(0) = A\,\mathrm{e}^0 = A$. Or $u_C(0) = U_0$.

$A = U_0 = 10$ V

**2.3** Indiquer, parmi les courbes 1 et 2, celle qui peut représenter $u_C$. Justifier.

$u_C = U_0\,\mathrm{e}^{-t/RC}$ vaut $U_0 = 10$ V à $t = 0$, puis décroît et tend vers 0. La courbe 2 part de 0 et augmente : elle correspond à une charge.

La courbe 1 représente $u_C$.

**2.4** Donner l'expression littérale de la constante de temps $\tau$.

On écrit $u_C = U_0\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$, donc $\tau = \dfrac{1}{\beta}$.

$\tau = RC$

**2.5** Montrer par analyse dimensionnelle que $\tau$ a la même unité qu'une durée.

Loi d'Ohm : $R = \dfrac{u_R}{i}$, donc $[R] = \dfrac{[U]}{[I]}$.

Relation de 1.3 : $C = \dfrac{i}{\mathrm{d}u_C/\mathrm{d}t}$, donc $[C] = \dfrac{[I]\,[T]}{[U]}$.

$$[\tau] = [R]\,[C] = \frac{[U]}{[I]} \times \frac{[I]\,[T]}{[U]} = [T]$$

$\tau = RC$ a la dimension d'une durée : elle s'exprime en secondes.

**MÉTHODE**

Pour la dimension d'une grandeur électrique, partir d'une relation connue qui la contient (ici $u = Ri$ et $i = C\dfrac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$) et tout ramener à $[U]$, $[I]$ et $[T]$.

**2.6** Déterminer sur la courbe choisie la valeur de la constante de temps $\tau$ du circuit.

**Données utiles** courbe 1 ; $U_0 = 10$ V

À $t = \tau$ : $u_C(\tau) = U_0\,\mathrm{e}^{-1} = 0{,}37 \times 10 = 3{,}7$ V.

Sur la courbe 1, l'ordonnée 3,7 V correspond à l'abscisse $t \approx 0{,}07$ s.

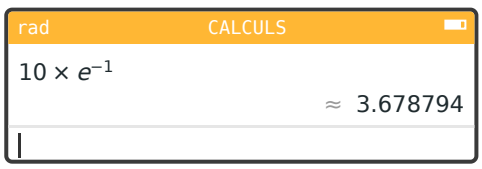
La tangente à l'origine coupe l'axe des temps à la même date.

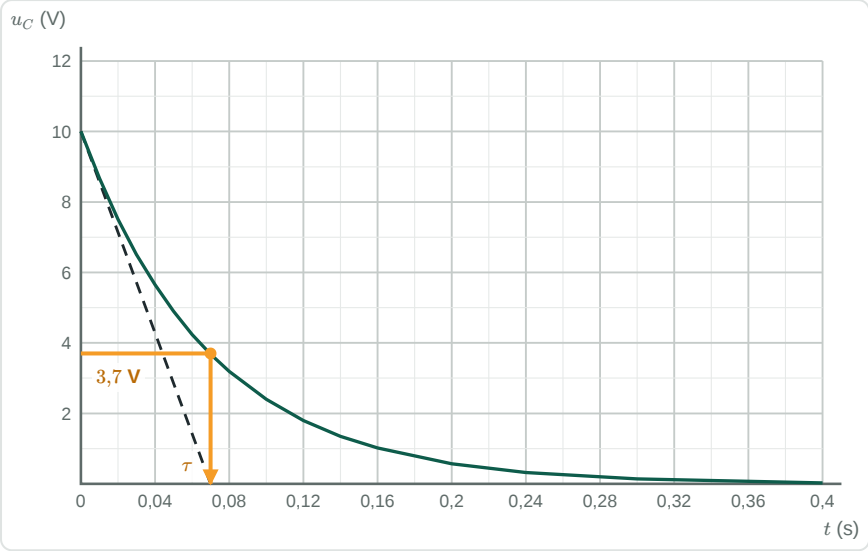
$\tau \approx 0{,}07$ s

**COMPRENDRE**

Une graduation vaut 0,02 s : la lecture donne $\tau$ à environ 0,01 s près, donc avec un seul chiffre significatif. Les résultats qui en découlent ne peuvent pas être plus précis.

**À LA CALCULATRICE**






**2.6** · Courbe 1 du sujet : lecture de $\tau$ à 37 % de $U_0$ et tangente à l'origine

**2.7** Sachant que $R = 33\ \Omega$, en déduire la valeur de la capacité $C$ du condensateur.

**Données utiles** $R = 33\ \Omega$ ; $\tau \approx 0{,}07$ s (2.6)

$\tau = RC$ donc $C = \dfrac{\tau}{R}$.

$$C = \frac{0{,}07}{33} = 2 \times 10^{-3}\ \text{F}$$

$$C \approx 2 \times 10^{-3}\ \text{F} = 2\ \text{mF}$$

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$\dfrac{0.07}{33}$

$\approx$ 0.002121212

**3.1** En utilisant les résultats précédents, montrer que $i = -\dfrac{U_0}{R}\,\mathrm{e}^{-t/RC}$.

D'après 2.1 et 2.2 : $u_C = U_0\,\mathrm{e}^{-t/RC}$, donc $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{U_0}{RC}\,\mathrm{e}^{-t/RC}$.

D'après 1.3 : $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{C\,U_0}{RC}\,\mathrm{e}^{-t/RC}$.

$$i = -\frac{U_0}{R}\,\mathrm{e}^{-t/RC}$$

**COMPRENDRE**

Autre chemin, plus court : $u_C + R\,i = 0$ (1.4) donne directement $i = -\dfrac{u_C}{R}$.

**3.2** Déterminer la valeur $I_0$ de $i$ à $t = 0$.

**Données utiles** $U_0 = 10$ V ; $R = 33\ \Omega$

À $t = 0$, l'exponentielle vaut 1 : $I_0 = -\dfrac{U_0}{R}$.

$$I_0 = -\frac{10}{33} = -0{,}30\ \text{A}$$

$$I_0 = -0{,}30\ \text{A}$$

**COMPRENDRE**

Deux chiffres significatifs, comme $U_0$ et $R$.
L'intensité passe d'un coup de 0 à $I_0$ : contrairement à $u_C$, elle peut être discontinue.

**À LA CALCULATRICE**

rad CALCULS

$\dfrac{-10}{33}$

$\approx$ −0.3030303

**3.3** En justifiant, indiquer parmi les quatre courbes celle qui peut représenter $i$.

$i$ est négative à chaque instant, vaut $I_0 = -\dfrac{U_0}{R}$ à $t = 0$, puis tend vers 0 quand $t$ augmente. Les courbes 1 et 2 sont positives ; la courbe 4 part de 0.

La courbe 3 représente $i$.

**3.4** Calculer la valeur de $i$ pour $t = 0{,}50$ s.

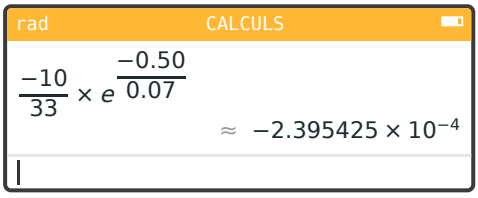
**Données utiles** $U_0 = 10$ V ; $R = 33\ \Omega$ ; $RC = \tau \approx 0{,}07$ s (2.6)

$$i(0{,}50) = -\frac{U_0}{R}\,\mathrm{e}^{-t/\tau} = -\frac{10}{33} \times \mathrm{e}^{-0{,}50/0{,}07} = -2 \times 10^{-4}\ \mathrm{A}$$

$i(0{,}50) \approx -2 \times 10^{-4}\ \mathrm{A} = -0{,}2\ \mathrm{mA}$

**PIÈGE**
Oublier les parenthèses autour de l'exposant à la calculatrice, ou perdre le signe « − » de l'intensité.

**À LA CALCULATRICE**




**3.5** Déterminer la valeur de $u_C$ à la même date.

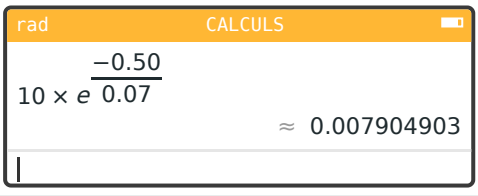
**Données utiles** $U_0 = 10$ V ; $\tau \approx 0{,}07$ s (2.6)

$$u_C(0{,}50) = U_0\,\mathrm{e}^{-t/\tau} = 10 \times \mathrm{e}^{-0{,}50/0{,}07} = 8 \times 10^{-3}\ \mathrm{V}$$

$u_C(0{,}50) \approx 8 \times 10^{-3}\ \mathrm{V} = 8\ \mathrm{mV}$

**COMPRENDRE**
On retrouve cette valeur avec $u_C = -Ri = 33 \times 2{,}4 \times 10^{-4}$ V.

**À LA CALCULATRICE**




**3.6** Le condensateur est-il déchargé ? Justifier.

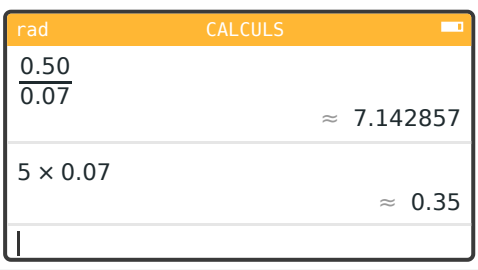
**Données utiles** $u_C(0{,}50) \approx 8$ mV (3.5) ; $\tau \approx 0{,}07$ s (2.6)

À $t = 0{,}50$ s, il s'est écoulé environ $7\tau$, soit plus de $5\tau = 0{,}35$ s. La tension $u_C \approx 8$ mV représente moins de 0,1 % de $U_0$.

On peut considérer que le condensateur est déchargé.

**COMPRENDRE**
En théorie, l'exponentielle ne s'annule jamais. En pratique, on considère la décharge terminée au bout de $5\tau$, quand il reste moins de 1 % de la tension initiale.

**À LA CALCULATRICE**



**4.1** Rappeler l'expression de l'énergie emmagasinée dans le condensateur en fonction de $C$ et $u_C$, puis en fonction de $C$ et $q_A$.

$E = \frac{1}{2} C u_C^2$

Comme $u_C = \frac{q_A}{C}$ (1.2) : $E = \frac{1}{2} C \left(\frac{q_A}{C}\right)^2$.

$$E = \frac{1}{2} C u_C^2 = \frac{1}{2} \frac{q_A^2}{C}$$

**4.2** Un condensateur de capacité $C' > C$ est chargé sous la même tension $U_0$. L'énergie emmagasinée est-elle supérieure à la précédente ?

Chargés sous la tension $U_0$, les condensateurs emmagasinent $E = \frac{1}{2} C U_0^2$ et $E' = \frac{1}{2} C' U_0^2$.

À tension égale, l'énergie est proportionnelle à la capacité : $\frac{E'}{E} = \frac{C'}{C} > 1$.

Oui : $E' > E$.

**PIÈGE**

Raisonner avec $E = \frac{q_A^2}{2C}$ et conclure que l'énergie diminue : la charge n'est pas la même, c'est la tension $U_0$ qui est imposée.

# Mission sur mars

Bac S 2006 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **7 points** **Durée conseillée 1 h 31**

**1.1** Donner la définition d'un mouvement circulaire uniforme.

La trajectoire est un cercle et la valeur de la vitesse reste constante au cours du temps.

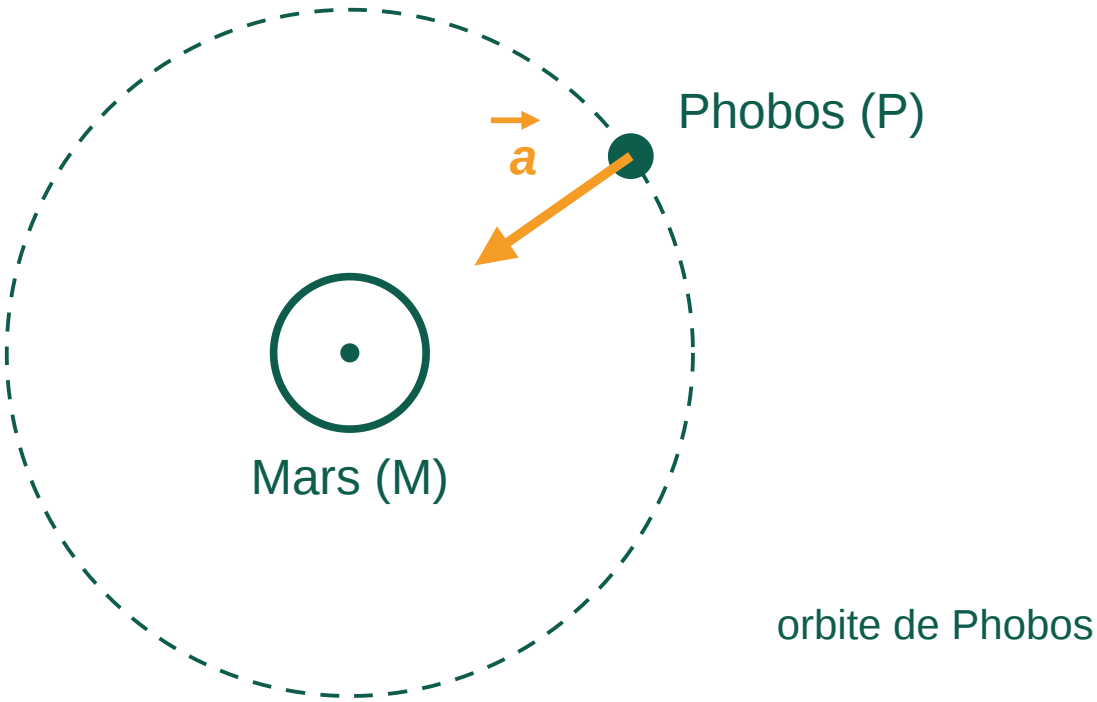
**PIÈGE**
Seule la valeur de la vitesse est constante. Le vecteur vitesse change de direction à chaque instant : il y a donc une accélération.

**1.2** Représenter sur un schéma le point d'application, la direction et le sens du vecteur accélération de Phobos.

Point d'application : le centre P de Phobos.

Direction : la droite (PM) qui joint les centres de Phobos et de Mars.

Sens : de Phobos vers Mars ; l'accélération est centripète.




**1.2** · Accélération de Phobos : centripète, dirigée vers le centre de Mars

**1.3** Donner, sans justification, l'expression de la norme du vecteur accélération de Phobos en fonction de $v$ et $r$.

$$a = \frac{v^2}{r}$$

**1.4** Appliquer la deuxième loi de Newton à Phobos.

Système {Phobos}, de masse $m_P$ ; référentiel centré sur Mars, supposé galiléen.

Seule force : l'attraction gravitationnelle de Mars, $\overrightarrow{F}_{M/P} = G\dfrac{m_P\, m_M}{r^2}\,\vec{u}$ , où $\vec{u}$ est le vecteur unitaire dirigé de P vers M.

Deuxième loi de Newton : $\overrightarrow{F}_{M/P} = m_P\,\vec{a}$, donc

$\vec{a} = \dfrac{G\,m_M}{r^2}\,\vec{u}$, de norme $a = \dfrac{G\,m_M}{r^2}$

**COMPRENDRE**
La masse $m_P$ se simplifie : le mouvement de Phobos ne dépend pas de sa propre masse, ce qui explique que l'énoncé ne la donne pas.

**1.5** En déduire que la vitesse de révolution de Phobos autour de Mars est $v = \sqrt{\dfrac{G\,m_M}{r}}$.

Les deux expressions de $a$ (1.3 et 1.4) sont égales :

$$\frac{v^2}{r} = \frac{G\,m_M}{r^2} \quad \text{donc} \quad v^2 = \frac{G\,m_M}{r}$$

$v = \sqrt{\dfrac{G\,m_M}{r}}$ : c'est l'expression attendue.

**1.6** Déterminer l'expression reliant $v$, $r$ et la période de révolution $T_P$ de Phobos.

En une période $T_P$, Phobos parcourt à vitesse constante le périmètre $2\pi r$ de son orbite.

$v = \dfrac{2\pi r}{T_P}$

**1.7** Montrer que $\dfrac{T_P^2}{r^3} = 9{,}22 \times 10^{-13}\ \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$.

**Données utiles** $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$ ; $m_M = 6{,}42 \times 10^{23}$ kg

On élève au carré les deux expressions de $v$ (1.5 et 1.6) :

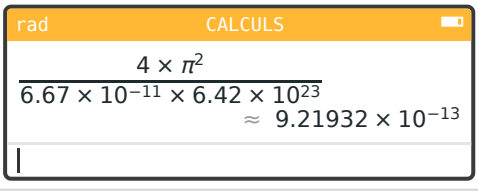
$$\frac{4\pi^2 r^2}{T_P^2} = \frac{G\,m_M}{r} \quad \text{donc} \quad \frac{T_P^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G\,m_M}$$

$$\frac{T_P^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 6{,}42 \times 10^{23}}$$

$\dfrac{T_P^2}{r^3} = 9{,}22 \times 10^{-13}\ \text{s}^2 \cdot \text{m}^{-3}$ : c'est la valeur attendue.

**COMPRENDRE**
C'est la troisième loi de Kepler : le rapport ne dépend que de la masse de Mars. Trois chiffres significatifs, comme $G$ et $m_M$.

**À LA CALCULATRICE**



**1.8** En déduire la valeur de $T_P$.

**Données utiles** $r = 9{,}38 \times 10^3$ km ; $\frac{T_P^2}{r^3}$ (1.7)

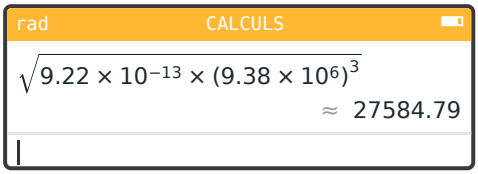
$T_P = \sqrt{9{,}22 \times 10^{-13} \times r^3}$ avec $r = 9{,}38 \times 10^6$ m.

$$T_P = \sqrt{9{,}22 \times 10^{-13} \times (9{,}38 \times 10^6)^3}$$

$T_P = 2{,}76 \times 10^4$ s, soit environ 7 h 40 min.

**PIÈGE**
Laisser $r$ en kilomètres : le rapport de 1.7 est en $\mathrm{s^2 \cdot m^{-3}}$, il faut $r$ en mètres.

**À LA CALCULATRICE**




**1.9** Dans quel plan faut-il placer un satellite pour qu'il soit immobile par rapport à la base relais sur Mars ? Justifier sans calcul.

Le satellite doit rester à la verticale d'un même point du sol martien. Ce point décrit un cercle dans un plan perpendiculaire à l'axe de rotation de Mars.

Par ailleurs, la force gravitationnelle est dirigée vers le centre de Mars : le plan de l'orbite contient ce centre.

Un seul plan est à la fois perpendiculaire à l'axe de rotation et passe par le centre de Mars.

Le satellite doit être placé dans le plan de l'équateur de Mars (et tourner dans le même sens que la planète).

**COMPRENDRE**
L'énoncé annonçait une base relais sur Phobos et parle ici d'une base sur Mars. On répond à la question telle qu'elle est posée : un satellite immobile vu du sol martien, analogue d'un satellite géostationnaire.

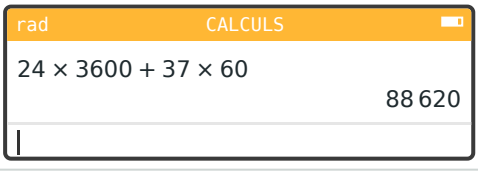
**1.10** Quelle est la période $T_S$ de révolution d'un tel satellite ?

**Données utiles** $T_M = 24\text{ h }37\text{ min}$

Le satellite fait un tour pendant que Mars fait un tour sur elle-même.

$T_S = T_M = 24\text{ h }37\text{ min} = 8{,}862 \times 10^4$ s

**À LA CALCULATRICE**




**2.1.1** Donner la définition du mot isotope.

Des noyaux isotopes ont le même nombre de protons (même numéro atomique $Z$) mais des nombres de neutrons différents (nombres de nucléons $A$ différents).

**2.1.2** En utilisant la courbe d'Aston, montrer qualitativement que la fusion du deutérium et du tritium dégage de l'énergie.

Sur la courbe, $-\dfrac{E_l}{A}$ vaut environ $-1$ MeV par nucléon pour ${}^2_1\mathrm{H}$, $-3$ pour ${}^3_1\mathrm{H}$ et $-7$ pour ${}^4_2\mathrm{He}$ : le point de l'hélium 4 est nettement plus bas.

L'énergie de liaison par nucléon du noyau formé est donc plus grande que celle des noyaux de départ : les nucléons y sont plus fortement liés, le noyau d'hélium est plus stable.

En passant de noyaux peu liés à un noyau plus stable, le système perd de l'énergie : la fusion en libère vers l'extérieur.

**COMPRENDRE**
La courbe représente l'opposé de $E_l/A$ : plus un noyau est bas, plus il est stable. Les noyaux légers gagnent en stabilité par fusion, les noyaux très lourds par fission.

**2.2.1** Montrer que le défaut de masse de la réaction de fusion étudiée vaut $\Delta m = -0{,}01886$ u.

**Données utiles** $m({}^4_2\mathrm{He}) = 4{,}00150$ u ; $m(n) = 1{,}00869$ u ; $m({}^2_1\mathrm{H}) = 2{,}01355$ u ; $m({}^3_1\mathrm{H}) = 3{,}01550$ u

$\Delta m$ est la variation de masse au cours de la réaction, masse des produits moins masse des réactifs :

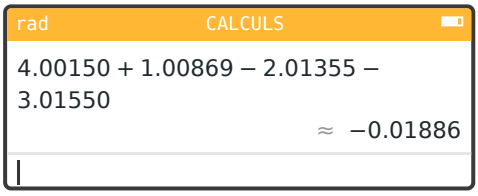
$$\Delta m = m({}^4_2\mathrm{He}) + m(n) - m({}^2_1\mathrm{H}) - m({}^3_1\mathrm{H})$$

$$\Delta m = 4{,}00150 + 1{,}00869 - 2{,}01355 - 3{,}01550$$

$\Delta m = -0{,}01886$ u : c'est la valeur attendue.

**COMPRENDRE**
Le sujet parle de « défaut de masse », mais une valeur négative correspond à une variation de masse (produits moins réactifs). Un défaut de masse est par définition positif. Le signe « $-$ » traduit une perte de masse.

**À LA CALCULATRICE**




**2.2.2** Rappeler la relation d'équivalence masse-énergie.

$E = m\,c^2$, avec $E$ en joules, $m$ en kilogrammes et $c$ en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$.

**2.2.3** Montrer que l'énergie libérée par la réaction de formation d'un noyau d'hélium est $E = -2{,}81 \times 10^{-12}$ J.

**Données utiles** $\Delta m = -0{,}01886$ u (2.2.1) ; $1\ \mathrm{u} = 1{,}66050 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 2{,}99792 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

$E = \Delta m \times c^2$, avec $\Delta m$ converti en kilogrammes :

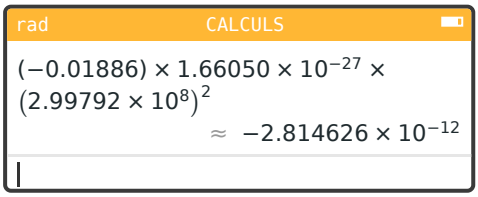
$$E = -0{,}01886 \times 1{,}66050 \times 10^{-27} \times (2{,}99792 \times 10^{8})^2$$

$E = -2{,}81 \times 10^{-12}$ J : c'est la valeur attendue.

**PIÈGE**
Oublier de convertir les unités de masse atomique en kilogrammes, ou oublier le carré sur $c$.

**COMPRENDRE**
Le signe « $-$ » indique que le système cède cette énergie au milieu extérieur : l'énergie libérée par une fusion vaut $2{,}81 \times 10^{-12}$ J, soit environ 17,6 MeV.

**À LA CALCULATRICE**



**2.2.4** Calculer le nombre de noyaux contenus dans $m = 100$ g de deutérium.

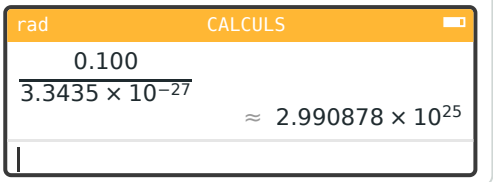
**Données utiles** $m(^2_1\mathrm{H}) = 3{,}3435 \times 10^{-27}$ kg

$N = \dfrac{m}{m(^2_1\mathrm{H})}$, les deux masses étant exprimées en kilogrammes : $m = 0{,}100$ kg.

$$N = \frac{0{,}100}{3{,}3435 \times 10^{-27}}$$

$N = 2{,}99 \times 10^{25}$ noyaux de deutérium

À LA CALCULATRICE




**2.2.5** En déduire que la fusion de 100 g de deutérium avec la quantité correspondante de tritium libère une énergie $E_l = -8{,}40 \times 10^{13}$ J.

**Données utiles** $N = 2{,}99 \times 10^{25}$ (2.2.4) ; $E = -2{,}81 \times 10^{-12}$ J (2.2.3)

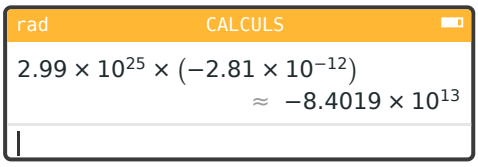
Chaque fusion consomme un noyau de deutérium : la réaction se produit $N$ fois.

$$E_l = N \times E = 2{,}99 \times 10^{25} \times (-2{,}81 \times 10^{-12})$$

$E_l = -8{,}40 \times 10^{13}$ J : c'est la valeur attendue.

**COMPRENDRE**
La valeur de l'énoncé s'obtient avec $N$ et $E$ arrondis. En gardant les valeurs non arrondies dans la calculatrice, on trouve $-8{,}42 \times 10^{13}$ J : les deux résultats sont acceptables.

À LA CALCULATRICE



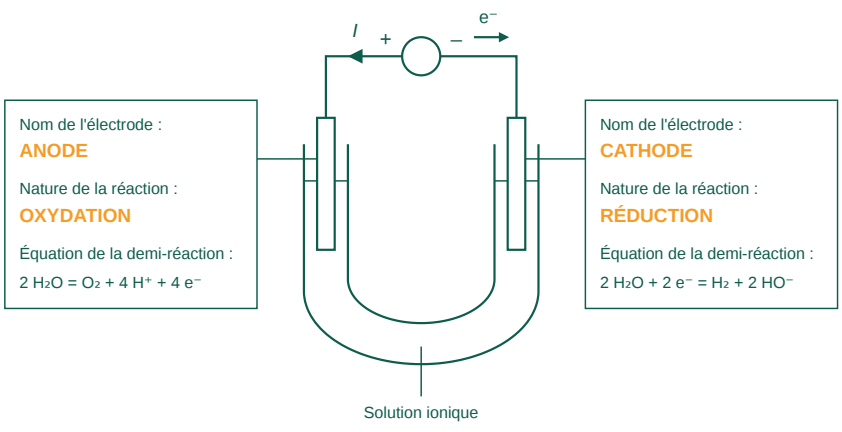

**3.1.1** Compléter le schéma de principe de l'électrolyseur (annexe) : nom des électrodes et nature de la réaction à chaque électrode.

Électrode de gauche, reliée à la borne $+$ du générateur : les électrons la quittent. La demi-équation $2\,\mathrm{H_2O} = \mathrm{O_2} + 4\,\mathrm{H^+} + 4\,\mathrm{e^-}$ libère des électrons : c'est une oxydation, l'électrode est l'anode.

Électrode de droite, reliée à la borne $-$ : les électrons y arrivent. La demi-équation $2\,\mathrm{H_2O} + 2\,\mathrm{e^-} = \mathrm{H_2} + 2\,\mathrm{HO^-}$ consomme des électrons : c'est une réduction, l'électrode est la cathode.

À gauche : anode, oxydation. À droite : cathode, réduction.

**MÉTHODE**
Anode et oxydation commencent par une voyelle, cathode et réduction par une consonne. Les électrons circulent dans les fils en sens inverse du courant $I$.




**3.1.1** · Annexe complétée : électrolyseur

**3.1.2** Rappeler, sans le justifier, si cette électrolyse est une réaction spontanée ou forcée.

L'électrolyse est une transformation forcée : elle n'a lieu que grâce à l'énergie électrique fournie par le générateur.

**3.2.1** Calculer la quantité de matière $n_{O_2}$ de dioxygène envoyée par les poumons pendant une heure.

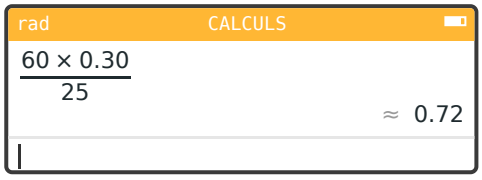
**Données utiles** $v = 0{,}30$ L par minute ; $V_m = 25\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$

En une heure, soit 60 minutes, le volume de dioxygène est $V = 60 \times v$.

$$n_{O_2} = \frac{V}{V_m} = \frac{60 \times 0{,}30}{25}$$

$n_{O_2} = 0{,}72$ mol

À LA CALCULATRICE




**3.2.2** Montrer que la quantité de matière d'électrons échangée vaut $n_{e^-} = 2{,}88$ mol.

**Données utiles** $n_{O_2} = 0{,}72$ mol (3.2.1)

À l'anode : $2\,H_2O = O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^-$.

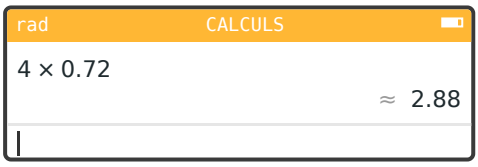
Pour un avancement $x$ de cette demi-réaction, il se forme $n_{O_2} = x$ et il circule $n_{e^-} = 4x$ : la formation d'une mole de dioxygène libère quatre moles d'électrons.

$$n_{e^-} = 4\,n_{O_2} = 4 \times 0{,}72$$

$n_{e^-} = 2{,}88$ mol : c'est la valeur attendue.

**PIÈGE**
Utiliser la demi-équation de la cathode (2 électrons) : elle concerne $H_2$, pas $O_2$. Le coefficient 4 se lit dans la demi-équation où figure le dioxygène.

À LA CALCULATRICE




**3.2.3** En déduire la quantité d'électricité $Q$ mise en jeu.

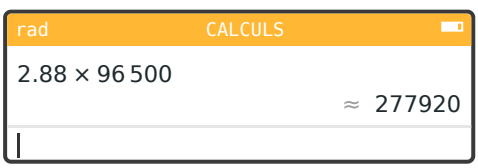
**Données utiles** $n_{e^-} = 2{,}88$ mol (3.2.2) ; $F = 96\,500\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$

$$Q = n_{e^-} \times F = 2{,}88 \times 96\,500$$

$Q = 2{,}78 \times 10^5$ C

**COMPRENDRE**
Le volume $v = 0{,}30$ L n'a que deux chiffres significatifs ; on en garde trois ici pour rester cohérent avec la valeur $2{,}88$ mol imposée par l'énoncé.

À LA CALCULATRICE



**3.2.4** Quelle est l'intensité $I$ du courant nécessaire, supposée constante pendant toute l'heure de fonctionnement ?

**Données utiles** $Q$ (3.2.3) ; $\Delta t = 1\text{ h} = 3600\text{ s}$

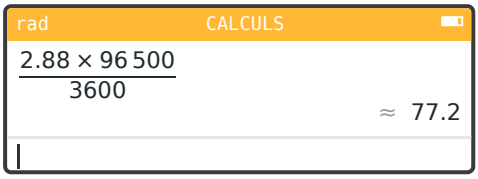
Pour un courant constant, $Q = I \times \Delta t$, donc

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{2{,}88 \times 96\,500}{3600}$$

$$\boxed{I = 77{,}2\text{ A}}$$

**PIÈGE**
Laisser la durée en heures : dans $Q = I\,\Delta t$, la durée est en secondes pour une charge en coulombs.

**À LA CALCULATRICE**




**3.2.5** La tension aux bornes du générateur étant $U = 5{,}00$ V, calculer l'énergie électrique $E_{el}$ consommée pendant une heure.

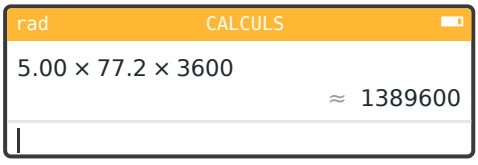
**Données utiles** $U = 5{,}00$ V ; $I = 77{,}2$ A (3.2.4) ; $\Delta t = 3600$ s

$$E_{el} = U\,I\,\Delta t = 5{,}00 \times 77{,}2 \times 3600$$

$$\boxed{E_{el} = 1{,}39 \times 10^{6}\text{ J}}$$

**COMPRENDRE**
Cela représente environ 0,39 kWh par heure, soit une puissance de 386 W fournie en continu pour la respiration d'un seul spationaute.

**À LA CALCULATRICE**



# Etude d'une réaction d'estérification

Bac S 2006 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

**1.1** Donner la formule semi-développée de l'alcool (B).

L'ester $CH_3-COO-CH_2-CH_2-CH_3$ porte, après le groupe $-COO-$, la chaîne à trois carbones apportée par l'alcool : (B) est le propan-1-ol.

(B) : $CH_3-CH_2-CH_2-OH$

**MÉTHODE**
Dans un ester $R-COO-R'$, le groupe $R-CO$ vient de l'acide $R-COOH$ et le groupe $O-R'$ vient de l'alcool $R'-OH$.

**1.2** Donner le nom de l'ester (E).

Partie issue de l'acide éthanoïque : « éthanoate » ; groupe alkyle issu de l'alcool, à trois carbones : « propyle ».

(E) est l'éthanoate de propyle.

**PIÈGE**
Inverser les deux parties du nom : le propanoate d'éthyle $CH_3-CH_2-COO-CH_2-CH_3$ est un autre ester.

**1.3** Rappeler les principales caractéristiques d'une réaction d'estérification.

L'estérification est une transformation **lente** et **limitée** (non totale : elle conduit à un état d'équilibre).

**COMPRENDRE**
Elle est limitée par la réaction inverse, l'hydrolyse de l'ester, qui a lieu en même temps. Elle est aussi athermique : la température modifie la vitesse, pratiquement pas l'état final.

**2.1** Quel est le rôle joué par l'acide introduit dans le mélange initial ?

L'acide sulfurique est un **catalyseur** : il accélère la réaction sans figurer dans son équation et sans modifier l'état final.

**PIÈGE**
L'acide dont il s'agit ici est l'acide sulfurique (quelques gouttes), pas l'acide éthanoïque (A), qui est un réactif.

**2.2** Pourquoi les tubes 1 à 9 sont-ils placés dans un bain thermostaté à une température supérieure à celle du laboratoire ?

La température est un facteur cinétique : plus elle est élevée, plus la transformation est rapide.

À 60 °C, l'estérification est accélérée : l'état final est atteint en une durée compatible avec une séance.

**COMPRENDRE**
Le bain thermostaté maintient aussi la même température dans tous les tubes : ils évoluent de façon identique et ne diffèrent que par la durée de chauffage.

**2.3** Expliquer pourquoi la quantité de soude nécessaire au dosage du tube n°1 est supérieure à celle nécessaire au dosage du tube n°9.

La soude dose les ions $H_3O^+$ du catalyseur, en quantité identique dans tous les tubes, et l'acide éthanoïque restant.

L'acide éthanoïque est consommé par l'estérification : au bout de 2 min (tube n°1) la réaction a peu avancé, il en reste beaucoup ; au bout de 90 min (tube n°9) il en reste nettement moins.

Moins il reste d'acide éthanoïque, moins il faut de soude : le tube n°1 en demande plus que le tube n°9.

**COMPRENDRE**
Plonger le tube dans la glace est une trempe : la réaction est pratiquement stoppée, la quantité d'acide dosée est bien celle présente à la date du prélèvement.

**2.4.1** À chaud, l'ester (E) pourrait réagir avec les ions hydroxyde. Quelle serait l'équation chimique associée à cette transformation ?

L'ion hydroxyde transforme l'ester en ion carboxylate et en alcool :

$$\mathrm{CH_3COOCH_2CH_2CH_3 + HO^- \longrightarrow CH_3COO^- + CH_3CH_2CH_2OH}$$

**PIÈGE**
En milieu basique, on n'obtient pas l'acide éthanoïque mais sa base conjuguée, l'ion éthanoate $\mathrm{CH_3-COO^-}$. Vérifier la conservation de la charge : une charge négative de chaque côté.

**2.4.2** Rappeler les principales caractéristiques d'une réaction d'hydrolyse basique d'un ester.

L'hydrolyse basique d'un ester (saponification) est, à chaud, une transformation **rapide** et **totale**.

**COMPRENDRE**
C'est pour éviter cette réaction parasite, qui consommerait de la soude en plus, que le dosage se fait à froid, tubes refroidis dans la glace.

**3.1** Déterminer l'avancement maximal $x_{max}$ de la réaction d'estérification étudiée.

**Données utiles** $n_i(\mathrm{A}) = n_i(\mathrm{B}) = 0{,}38$ mol

D'après l'équation $\mathrm{A + B = E + H_2O}$, à l'avancement $x$ il reste $0{,}38 - x$ mol de A et $0{,}38 - x$ mol de B.

Le mélange initial est stœchiométrique : si la transformation était totale, les deux réactifs seraient épuisés ensemble, $0{,}38 - x_{max} = 0$.

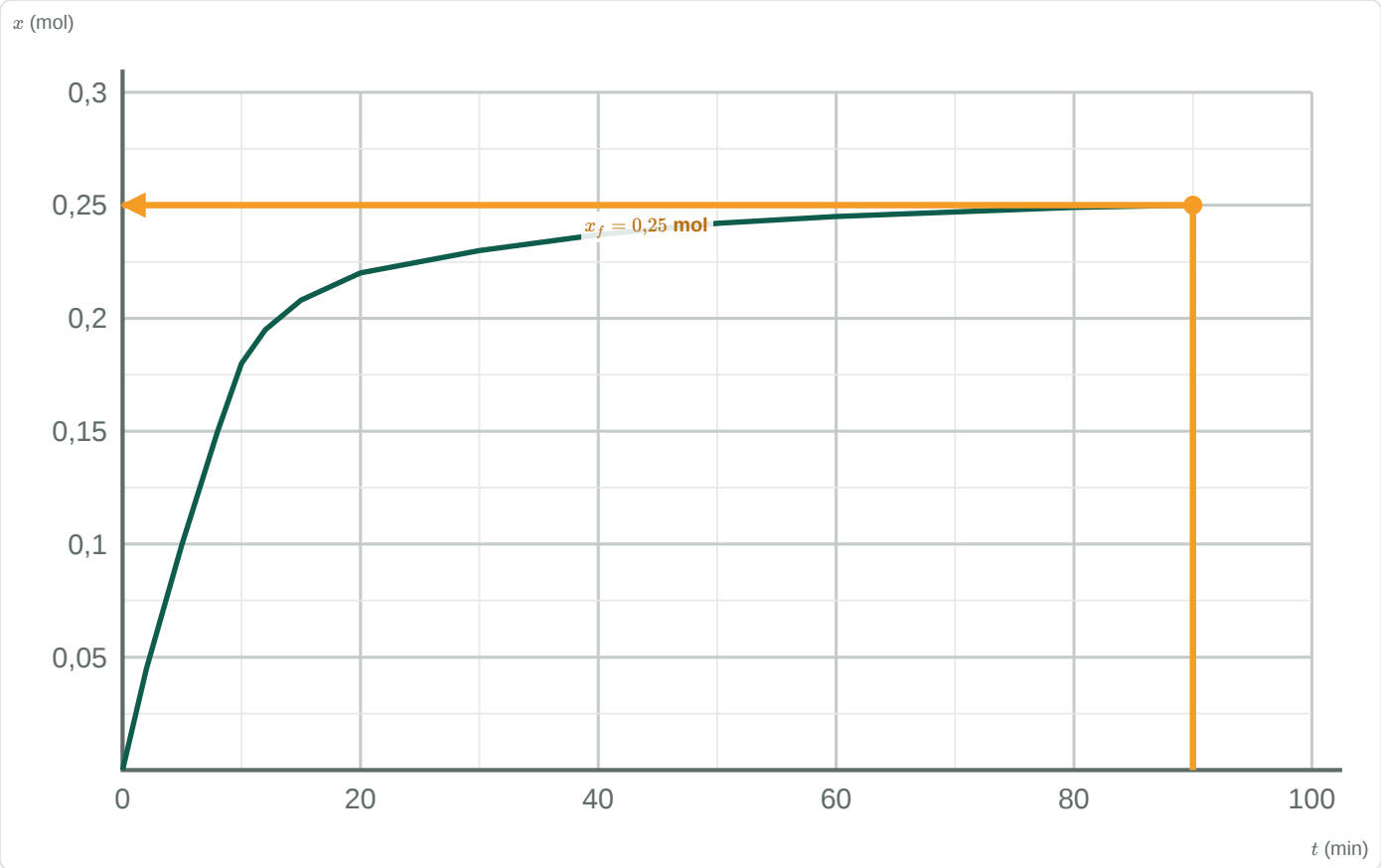
$x_{max} = 0{,}38$ mol

**COMPRENDRE**
La courbe de la question 3.2 tend vers 0,25 mol avec ce même $x_{max}$ : elle décrit donc le mélange entier (50 mL), et non un seul tube de 5 mL.

**3.2.1** Déterminer graphiquement la valeur de l'avancement final $x_f$ de la réaction.

Au-delà de 80 min environ, la courbe ne monte plus : elle se confond avec le palier horizontal d'ordonnée 0,25 mol.

$x_f = 0{,}25$ mol




**3.2.1** · Courbe du sujet : l'avancement final se lit sur le palier

**3.2.2** Définir et calculer le taux d'avancement de cette réaction.

**Données utiles** $x_{max} = 0{,}38$ mol (3.1) ; $x_f = 0{,}25$ mol (3.2.1)

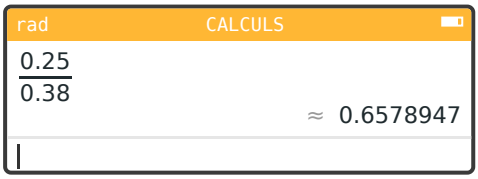
Le taux d'avancement final est le rapport de l'avancement final à l'avancement maximal :

$$\tau = \frac{x_f}{x_{max}} = \frac{0{,}25}{0{,}38} = 0{,}66$$

$\tau = 0{,}66$, soit 66 % : $\tau < 1$, la transformation est limitée.

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs, comme les deux données. On retrouve environ 2/3, valeur habituelle pour un mélange équimolaire d'acide carboxylique et d'alcool primaire.

**À LA CALCULATRICE**




**4.1** À la réaction $\mathrm{A}(\ell) + \mathrm{B}(\ell) = \mathrm{E}(\ell) + \mathrm{H_2O}(\ell)$ on associe la constante $K = 3{,}7$. Donner l'expression de $K$.

$K$ est la valeur du quotient de réaction dans l'état d'équilibre :

$$K = \frac{[\mathrm{E}]_f\,[\mathrm{H_2O}]_f}{[\mathrm{A}]_f\,[\mathrm{B}]_f}$$

**PIÈGE**
L'eau n'est pas ici le solvant mais un produit parmi d'autres dans un mélange de liquides : sa concentration figure dans l'expression, contrairement au cas des solutions aqueuses.

**4.2.1** À l'instant $t_1 = 4$ min, l'avancement vaut $x = 0{,}125$ mol. Quelle est la composition du mélange à cet instant ?

**Données utiles** $n_i(\text{A}) = n_i(\text{B}) = 0{,}38$ mol

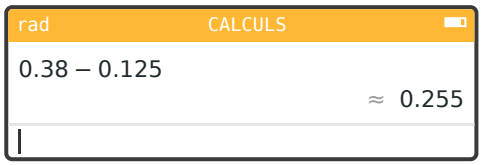
| (mol) | A | B | E | $H_2O$ |
|---|---|---|---|---|
| état initial | 0,38 | 0,38 | 0 | 0 |
| date $t_1$ | $0{,}38 - x$ | $0{,}38 - x$ | $x$ | $x$ |

$n(\text{A}) = n(\text{B}) = 0{,}38 - 0{,}125 = 0{,}255$ mol et $n(\text{E}) = n(H_2O) = 0{,}125$ mol.

À $t_1$ : 0,255 mol d'acide (A), 0,255 mol d'alcool (B), 0,125 mol d'ester (E), 0,125 mol d'eau, et le catalyseur.

**COMPRENDRE**
Le sujet réutilise ici le nom $t_1$, avec 4 min, alors que $t_1$ désignait 2 min dans le protocole. On suit l'énoncé de cette question : $t_1 = 4$ min.

**À LA CALCULATRICE**




**4.2.2** En cinétique, la date $t_1$ porte un nom particulier. Quel est ce nom ?

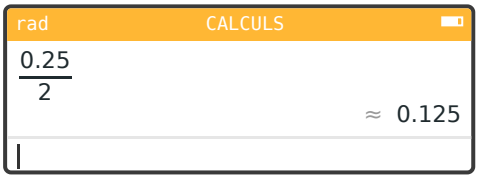
**Données utiles** $x_f = 0{,}25$ mol (3.2.1)

$x(t_1) = 0{,}125 \text{ mol} = \dfrac{0{,}25}{2} = \dfrac{x_f}{2}$ : à $t_1$, l'avancement vaut la moitié de sa valeur finale.

$t_1$ est le **temps de demi-réaction** : $t_{1/2} = 4$ min.

**PIÈGE**
Le temps de demi-réaction se définit avec $x_f$, pas avec $x_{max}$ : ici $x_{max}/2 = 0{,}19$ mol. Ce n'est pas non plus la moitié de la durée de la transformation.

**À LA CALCULATRICE**




**4.2.3** Calculer le quotient de réaction $Q_r$ pour ce mélange.

**Données utiles** composition à $t_1$ (4.2.1)

Toutes les espèces sont dans le même volume $V$, qui se simplifie :

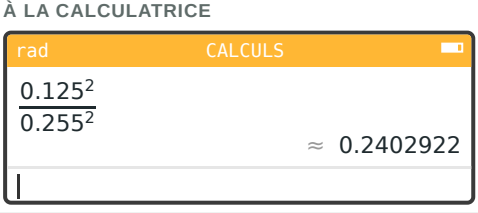
$$Q_r = \frac{[\text{E}]\,[H_2O]}{[\text{A}]\,[\text{B}]} = \frac{n(\text{E})\,n(H_2O)}{n(\text{A})\,n(\text{B})} = \frac{x^2}{(0{,}38 - x)^2}$$

$$Q_r = \frac{0{,}125^2}{0{,}255^2}$$

$Q_r = 0{,}24$

**PIÈGE**
$Q_r$ est sans unité. On peut remplacer les concentrations par les quantités de matière seulement parce qu'il y a autant de facteurs au numérateur qu'au dénominateur.

**À LA CALCULATRICE**




**4.2.4** Justifier que le mélange est encore en évolution à la date $t_1$.

**Données utiles** $Q_r = 0{,}24$ (4.2.3) ; $K = 3{,}7$

À la date $t_1$, $Q_r = 0{,}24 \neq K = 3{,}7$ : le système n'est pas à l'équilibre.

$Q_r < K$ : le système évolue encore, dans le sens direct (formation de l'ester et de l'eau).

**MÉTHODE**
Critère d'évolution : $Q_r < K$, sens direct ; $Q_r > K$, sens inverse ; $Q_r = K$, équilibre. L'évolution fait augmenter $Q_r$ jusqu'à la valeur $K$.

**4.3** Pour une date $t'$ supérieure à 1 heure, le système chimique est en équilibre dynamique. Expliquer cette expression. Que vaut alors le quotient de réaction ?

Équilibre : à l'échelle macroscopique, la composition du système ne varie plus (les quantités de A, B, E et d'eau restent constantes).

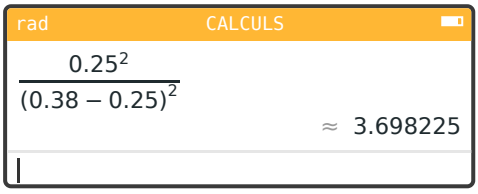
Dynamique : à l'échelle microscopique, l'estérification et l'hydrolyse de l'ester se poursuivent, mais à la même vitesse ; chacune compense exactement l'autre.

À l'équilibre, $Q_{r,\text{éq}} = K = 3{,}7$.

**COMPRENDRE**

Vérification avec la courbe : pour $x_f = 0{,}25$ mol, $Q_r = \dfrac{0{,}25^2}{(0{,}38-0{,}25)^2} = 3{,}7$. La lecture graphique et la valeur de $K$ sont cohérentes.

**À LA CALCULATRICE**



# Spécialité : Dosage des ions cuivre(II)

Bac S 2006 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

**1.1.1** Dans la réaction (1), justifier la nécessité d'un excès d'ions iodure $I^-$ par rapport aux ions cuivre $Cu^{2+}$.

On veut doser les ions $Cu^{2+}$ du prélèvement : il faut donc qu'ils réagissent tous. Avec les ions $I^-$ en excès, $Cu^{2+}$ est le réactif limitant de la réaction (1) et il est entièrement consommé.

La quantité de diiode formé ne dépend alors que de la quantité initiale d'ions $Cu^{2+}$.

**PIÈGE**
Répondre seulement « pour que la réaction soit totale ». Il faut dire que $Cu^{2+}$ doit être le réactif limitant, sinon une partie des ions cuivre échapperait au dosage.

**1.1.2** La méthode proposée est-elle un dosage direct ou indirect des ions $Cu^{2+}$ ? Justifier.

Les ions $Cu^{2+}$ ne réagissent pas avec la solution titrante de thiosulfate de sodium. Ils sont d'abord transformés par la réaction (1), et c'est le diiode $I_2$ formé qui est titré par la réaction (2).

C'est un dosage **indirect** : on titre le diiode produit, puis on remonte à la quantité d'ions $Cu^{2+}$.

**COMPRENDRE**
Dans un dosage direct, l'espèce cherchée réagit elle-même avec le réactif titrant versé à la burette. Ici, un intermédiaire, le diiode, fait le lien entre les deux réactions.

**1.2.1** Quelle relation lie les quantités de diiode $n_{I_2}$ et d'ions thiosulfate $n_{S_2O_3^{2-}}$ ayant réagi à l'équivalence ?

À l'équivalence, les réactifs de la réaction (2) ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : une mole de $I_2$ réagit avec deux moles de $S_2O_3^{2-}$.

$$n_{I_2} = \frac{n_{S_2O_3^{2-}}}{2}$$

**PIÈGE**
Placer le facteur 2 du mauvais côté. Il faut deux fois plus d'ions thiosulfate que de diiode : c'est la quantité de thiosulfate que l'on divise par 2.

**1.2.2** Quelle relation lie les quantités de diiode $n_{I_2}$ et d'ions cuivre $n_{Cu^{2+}}$ mises en jeu lors de la réaction (1) ?

D'après l'équation (1), la consommation de deux moles de $Cu^{2+}$ forme une mole de $I_2$. Les ions $Cu^{2+}$ étant limitants, ils sont tous consommés.

$$n_{I_2}\text{ formé} = \frac{n_{Cu^{2+}}\text{ consommé}}{2}$$

**MÉTHODE**
Avec un tableau d'avancement : $n_{Cu^{2+}} - 2x_{max} = 0$ et $n_{I_2} = x_{max}$, d'où la même relation.

**1.2.3** En déduire la concentration $[Cu^{2+}]$ de la solution $S_1$.

**Données utiles** $V_1 = 20{,}0$ mL ; $[S_2O_3^{2-}] = 0{,}40\ mol \cdot L^{-1}$ ; $V_E = 12{,}4$ mL ; relations des questions 1.2.1 et 1.2.2

Les deux relations donnent $\frac{n_{Cu^{2+}}}{2} = n_{I_2} = \frac{n_{S_2O_3^{2-}}}{2}$, soit $n_{Cu^{2+}} = n_{S_2O_3^{2-}}$.

Or $n_{Cu^{2+}} = [Cu^{2+}] \times V_1$ et $n_{S_2O_3^{2-}} = [S_2O_3^{2-}] \times V_E$, donc

$$[Cu^{2+}] = \frac{[S_2O_3^{2-}] \times V_E}{V_1} = \frac{0{,}40 \times 12{,}4}{20{,}0}$$

$[Cu^{2+}] = 0{,}25\ mol \cdot L^{-1}$ dans la solution $S_1$

**COMPRENDRE**
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($0{,}40\ mol \cdot L^{-1}$). Les volumes peuvent rester en mL : ils interviennent par leur rapport.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.40 \times 12.4}{20.0} \approx 0.248$$

**2.1** Décrire soigneusement la préparation de 50 mL de la solution $S_{d2}$ à partir de la solution mère $S_m$, avec la verrerie disponible.

**Données utiles** $c_m = 0{,}50\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; $[\text{Cu}^{2+}]_{d2} = 0{,}200\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ; $V_{d2} = 50\ \text{mL}$

Lors d'une dilution, la quantité de soluté se conserve : $c_m \times V_m = [\text{Cu}^{2+}]_{d2} \times V_{d2}$.

$$V_m = \frac{[\text{Cu}^{2+}]_{d2} \times V_{d2}}{c_m} = \frac{0{,}200 \times 50}{0{,}50} = 20\ \text{mL}$$

Protocole :

- verser un peu de solution $S_m$ dans un bécher ;
- prélever 20 mL de $S_m$ avec la pipette jaugée de 20 mL, rincée avec cette solution ;
- les introduire dans la fiole jaugée de 50 mL ;
- ajouter de l'eau distillée aux trois quarts, boucher, agiter ;
- compléter à l'eau distillée jusqu'au trait de jauge, boucher et homogénéiser.

$V_m = 20$ mL de $S_m$ (pipette jaugée de 20 mL), dans une fiole jaugée de 50 mL complétée à l'eau distillée.

**PIÈGE**
Choisir une éprouvette graduée pour prélever ou un bécher pour ajuster le volume. Seule la verrerie jaugée (pipette et fiole) garantit la précision de la concentration.

**MÉTHODE**
Facteur de dilution : $F = \frac{c_m}{c_{d2}} = 2{,}5 = \frac{V_{d2}}{V_m}$. On vérifie qu'un couple pipette-fiole disponible le réalise : $50/20 = 2{,}5$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{0.200 \times 50}{0.50} \approx 20$$

**2.2.1** L'opérateur place une cuve d'eau distillée dans le spectrophotomètre et règle l'absorbance sur zéro. Justifier cette opération.

La cuve et le solvant (l'eau) absorbent un peu de lumière. En réglant le zéro sur une cuve d'eau distillée, on retranche cette absorption de toutes les mesures suivantes.

On « fait le blanc » : l'absorbance mesurée ensuite est due uniquement aux ions $\text{Cu}^{2+}$.

**2.2.2** D'après le graphique des points expérimentaux, la loi de Beer-Lambert $A = k \cdot [\text{Cu}^{2+}]$ est-elle vérifiée ?

Les points expérimentaux sont alignés sur une droite qui passe par l'origine : l'absorbance $A$ est proportionnelle à la concentration $[\text{Cu}^{2+}]$.

Le coefficient directeur vaut $k = \frac{2{,}4}{0{,}20} = 12\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$.

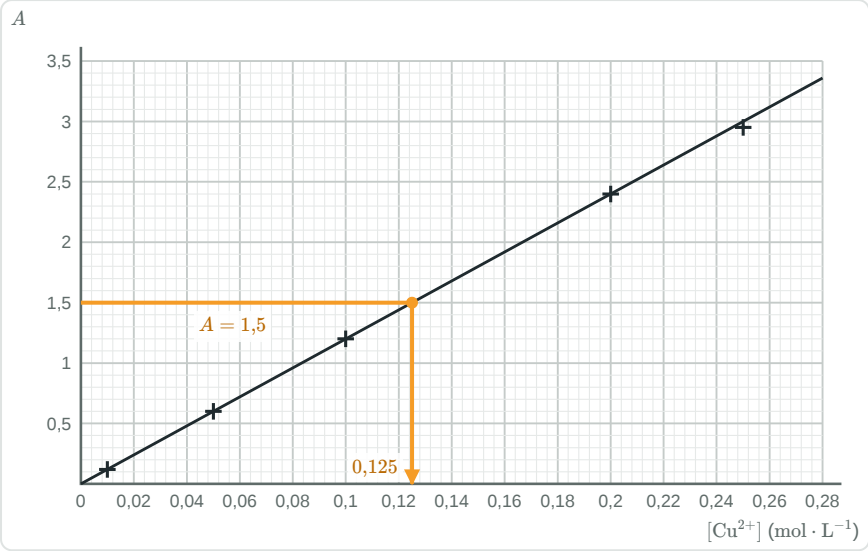
La loi de Beer-Lambert $A = k \cdot [\text{Cu}^{2+}]$ est vérifiée dans ce domaine de concentrations.

**PIÈGE**
Écrire seulement « c'est une droite ». Une droite ne passant pas par l'origine traduirait une fonction affine, pas une proportionnalité : les deux arguments sont attendus.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2.4}{0.20} \approx 12$$




**2.2.2** · Graphique du sujet avec la droite d'étalonnage et la lecture pour A = 1,5 (question 2.3)

**2.3** Déterminer graphiquement la concentration en ions $Cu^{2+}$ de la solution $S_2$, puis en déduire celle de la solution $S_1$.

**Données utiles** $A = 1{,}5$ ; prélèvement $V_{S_1} = 25{,}0$ mL de $S_1$ ; fiole jaugée $V_{S_2} = 50$ mL ; droite d'étalonnage (2.2.2)

On trace la droite d'étalonnage passant par l'origine et au plus près des points. Pour $A = 1{,}5$, on lit en abscisse :

$[Cu^{2+}]_{S_2} = 0{,}125 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$S_2$ est obtenue par dilution de $S_1$ ; la quantité d'ions cuivre se conserve : $[Cu^{2+}]_{S_1} \times V_{S_1} = [Cu^{2+}]_{S_2} \times V_{S_2}$.

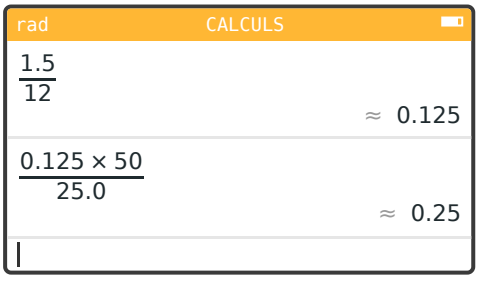
$$[Cu^{2+}]_{S_1} = \frac{[Cu^{2+}]_{S_2} \times V_{S_2}}{V_{S_1}} = \frac{0{,}125 \times 50}{25{,}0}$$

$[Cu^{2+}]_{S_2} = 0{,}125 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ et $[Cu^{2+}]_{S_1} = 0{,}25 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$

**PIÈGE**
S'arrêter à la valeur lue. Le graphique donne la concentration de la solution diluée $S_2$ ; $S_1$ est deux fois plus concentrée.

**COMPRENDRE**
La dilution au demi est nécessaire : on ramène l'absorbance au milieu de la gamme d'étalonnage, là où la lecture est la plus fiable. Résultat à deux chiffres significatifs, comme $A = 1{,}5$.

**À LA CALCULATRICE**




**2.4** La méthode employée est-elle un dosage par titrage ou un dosage par étalonnage ? Justifier.

On a mesuré l'absorbance de solutions de concentrations connues pour tracer une droite d'étalonnage, puis on y a reporté l'absorbance de la solution inconnue. Aucune réaction chimique n'a consommé les ions $Cu^{2+}$.

C'est un dosage par **étalonnage** (méthode non destructive), et non un titrage.

**COMPRENDRE**
Un titrage repose sur une réaction chimique qui consomme l'espèce dosée, jusqu'à l'équivalence : c'est le cas de la première méthode.

**3.1** Déterminer la concentration en ions $Cu^{2+}$ de la solution $S_1$ à partir de sa préparation par dissolution de sulfate de cuivre pentahydraté.

**Données utiles** $M = 249{,}6\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ; $m = 15{,}6\ \text{g}$ ; $V = 250\ \text{mL} = 0{,}250\ \text{L}$

Dissolution : $CuSO_4 \cdot 5\,H_2O\,(s) \longrightarrow Cu^{2+}\,(aq) + {SO_4}^{2-}\,(aq) + 5\,H_2O\,(l)$.

Une mole de solide apporte une mole d'ions $Cu^{2+}$ : $n_{Cu^{2+}} = \dfrac{m}{M}$.

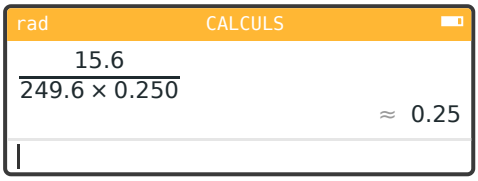
$$[Cu^{2+}] = \frac{n_{Cu^{2+}}}{V} = \frac{m}{M \times V} = \frac{15{,}6}{249{,}6 \times 0{,}250}$$

$$[Cu^{2+}] = 0{,}250\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

**PIÈGE**

Laisser le volume en mL, ou recalculer une masse molaire sans les cinq molécules d'eau : la masse pesée est celle du solide hydraté, $M = 249{,}6\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

**À LA CALCULATRICE**




**3.2** Conclure sur la validité des dosages effectués précédemment. Justifier.

**Données utiles** titrage : $0{,}25\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (1.2.3) ; étalonnage : $0{,}25\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (2.3) ; préparation : $0{,}250\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ (3.1)

Le titrage indirect et le dosage spectrophotométrique donnent tous deux $[Cu^{2+}] = 0{,}25\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, valeur égale à la concentration attendue d'après la préparation de la solution, $0{,}250\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

Les deux dosages sont valides : leurs résultats concordent entre eux et avec la concentration de préparation.

**COMPRENDRE**

Avant arrondi, le titrage donne $0{,}248\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, soit un écart relatif de $0{,}8\ \%$ avec la valeur de préparation : c'est compatible avec la précision de la verrerie.