Corrigé complet — Bac S 2007 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme)

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

Ex 1	**Du chou dans l'abricot** Titrage pH-métrique · Indicateur coloré · Constante d'acidité · Facteurs cinétiques · Taux d'avancement · Temps de demi-réaction	4 pts	52 min	16 questions	p. 2
Ex 2	**Le dioxyde de carbone atmosphérique** Oscillateur masse-ressort · Deuxième loi de Newton · Ondes électromagnétiques et domaines spectraux · Effet de serre · Radioactivité et lois de conservation · Datation au carbone 14	9,5 pts	1 h 57	19 questions	p. 7
Ex 3	**Synthèse de l'arome abricot** Estérification et hydrolyse · Nomenclature des alcools · Catalyseur · Anhydride d'acide · Avancement maximal · Rendement d'une synthèse	2,5 pts	26 min	11 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Traitement des effluents industriels** Électrolyse · Demi-équations électroniques · Tableau d'avancement · Quantité d'électricité et faraday · Intensité du courant · Précipitation	4 pts	52 min	15 questions	p. 15

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.

Du chou dans l'abricot

Bac S 2007 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Écrire l'équation de la réaction de titrage de l'acide propanoïque par une solution d'hydroxyde de sodium.

L'acide propanoïque cède un proton à l'ion hydroxyde :

$$CH_3CH_2CO_2H\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow CH_3CH_2CO_2^-\,(aq) + H_2O\,(l)$$

COMPRENDRE
L'ion Na^+ est spectateur : il n'apparaît pas dans l'équation. Une réaction support de titrage est totale, d'où la flèche simple.

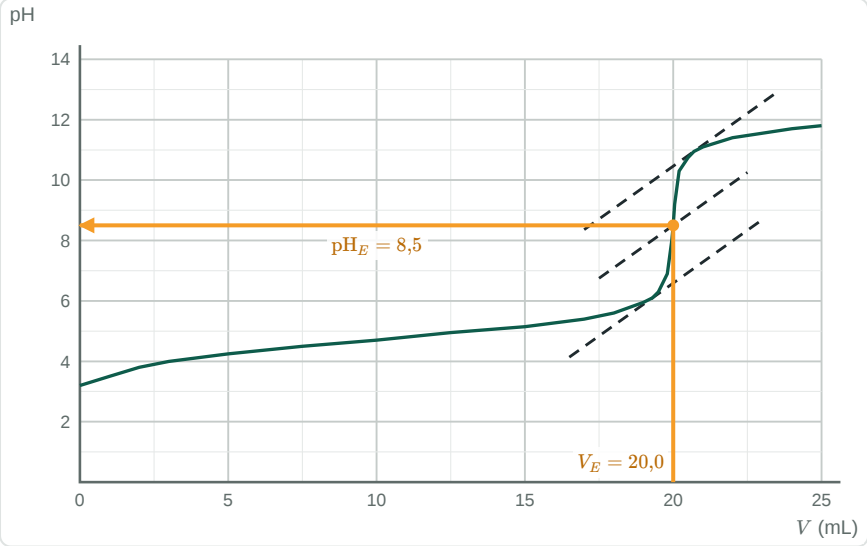
1.2 Déterminer, avec les constructions sur la courbe de l'annexe 4, le volume V et le pH à l'équivalence.

Méthode des tangentes parallèles : on trace deux tangentes parallèles de part et d'autre du saut de pH, puis la parallèle située à égale distance des deux. Cette droite coupe la courbe au point d'équivalence E.

$V_E = 20{,}0$ mL et $pH_E \approx 8{,}5$

COMPRENDRE
$pH_E > 7$: à l'équivalence, la solution contient l'ion propanoate, qui est une base faible.

MÉTHODE
Les deux tangentes se placent dans les parties courbées, juste avant et juste après le saut, avec la même pente. La troisième droite passe au milieu : on le vérifie à la règle sur une perpendiculaire commune.



1.2 · Annexe 4 complétée : méthode des tangentes parallèles

1.3 Quelle est la couleur de la solution initiale une fois le jus de chou rouge introduit ? Justifier avec les annexes 3 et 4.

Annexe 4 : pour $V = 0$, on lit $pH \approx 3{,}2$.

Annexe 3 : entre pH 3,0 et pH 6, les anthocyanes sont sous la forme cation flavylium, de couleur rouge.

La solution initiale est **rouge**.

1.4 Le chou rouge peut-il être utilisé comme indicateur coloré dans ce dosage ? Justifier.

Le saut de pH à l'équivalence s'étend d'environ 6,5 à 10,5. D'après l'annexe 3, le jus de chou rouge passe du bleu au vert à pH 8,5 : ce changement de teinte se produit dans le saut, et même à pH_E.

Oui : le passage du **bleu au vert** repère l'équivalence.

PIÈGE
La solution vire d'abord du rouge au bleu vers pH 6, soit un peu avant l'équivalence ($V \approx 19{,}5$ mL). Ce premier changement n'est pas le bon repère : il faut attendre le vert.

MÉTHODE
Un indicateur coloré convient si sa zone de virage est contenue dans le saut de pH, donc si elle encadre pH_E.

1.5.1 Donner l'expression de la constante d'acidité de l'acide propanoïque.

Réaction de l'acide avec l'eau :

$$CH_3CH_2CO_2H\,(aq) + H_2O\,(l) \rightleftharpoons CH_3CH_2CO_2^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq)$$

$$K_A = \frac{[CH_3CH_2CO_2^-]_{éq} \times [H_3O^+]_{éq}}{[CH_3CH_2CO_2H]_{éq}}$$

COMPRENDRE
L'eau, solvant, ne figure pas dans l'expression. En toute rigueur chaque concentration est divisée par $c^\circ = 1\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: K_A est sans unité.

1.5.2 Que peut-on dire des concentrations en acide propanoïque et en ion propanoate lorsque la moitié du volume équivalent a été versée ?

À l'équivalence, tout l'acide initialement présent a réagi. Pour $V = \frac{V_E}{2}$, on a apporté la moitié des ions HO^- nécessaires : la moitié de l'acide a été transformée en ion propanoate, l'autre moitié reste.

Les deux espèces sont en même quantité dans le même volume :

$$[CH_3CH_2CO_2H]_{éq} = [CH_3CH_2CO_2^-]_{éq}$$

1.5.3 Donner alors l'expression de la constante d'acidité en fonction du pH lorsque la moitié du volume équivalent a été versée.

Les deux concentrations égales se simplifient dans l'expression de K_A : $K_A = [H_3O^+]_{éq}$.

Or $[H_3O^+]_{éq} = 10^{-\text{pH}}$, donc

$$K_A = 10^{-\text{pH}} \text{ à la demi-équivalence}$$

COMPRENDRE
Cela revient à écrire $\text{pH} = \text{p}K_A$ à la demi-équivalence : c'est une méthode expérimentale classique pour mesurer un $\text{p}K_A$.

1.5.4 À partir du pH lu sur la courbe à la demi-équivalence, déterminer la valeur de la constante d'acidité de l'acide propanoïque.

Données utiles $V_E = 20{,}0$ mL (1.2)

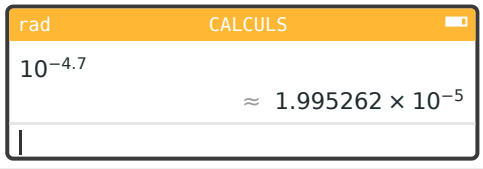
Demi-équivalence : $V = \frac{V_E}{2} = 10{,}0\ \text{mL}$. Sur la courbe, on lit $\text{pH} = 4{,}7$.

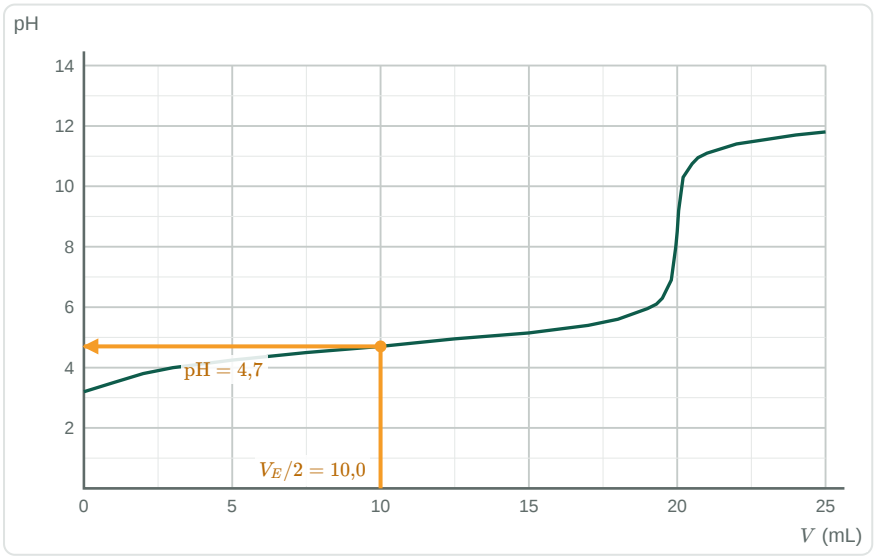
$K_A = 10^{-4{,}7}$

$$K_A = 2{,}0 \times 10^{-5}$$

COMPRENDRE
Le pH est lu à 0,1 près : K_A n'est connu qu'à 20 % près environ. On garde au plus deux chiffres significatifs.

À LA CALCULATRICE





1.5.4 · Lecture du pH à la demi-équivalence

2.1 Expliquer l'intérêt de la trempe en précisant le ou les facteurs cinétiques mis en jeu.

La trempe bloque la réaction d'estérification dans la prise d'essai : la quantité d'acide propanoïque que l'on titre ensuite est bien celle présente à la date du prélèvement.

Deux facteurs cinétiques interviennent :

- la **température** : l'eau glacée refroidit brutalement le mélange, ce qui ralentit très fortement la transformation ;
- la **concentration des réactifs** : la grande quantité d'eau dilue le mélange, ce qui la ralentit aussi.

La trempe fige la composition du prélèvement (température et concentrations abaissées).

COMPRENDRE
La réaction de titrage, elle, reste rapide même à froid : le dosage n'est pas gêné par la trempe.

2.2 Déterminer la quantité de matière d'acide propanoïque $n_B(0)$ introduite à la date $t = 0$.

Données utiles $V_B = 29{,}0$ mL ; $\rho_B = 0{,}99$ g · mL^{-1} ; $M_B = 74{,}0$ g · mol^{-1}

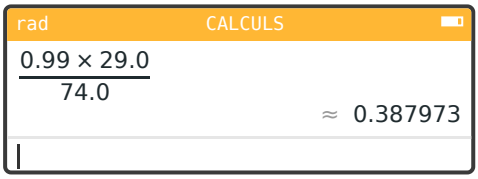
Masse d'acide introduite : $m_B = \rho_B \times V_B$, d'où

$$n_B(0) = \frac{\rho_B \times V_B}{M_B} = \frac{0{,}99 \times 29{,}0}{74{,}0}$$

$n_B(0) = 0{,}39$ mol

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la donnée la moins précise ($\rho_B = 0{,}99$). On garde 0,388 mol dans la calculatrice pour les calculs suivants.

À LA CALCULATRICE



2.3 Déterminer l'avancement maximal de la transformation chimique.

Données utiles $n_A(0) = 18 \times 10^{-2}$ mol ; $n_B(0) = 0{,}39$ mol (2.2)

L'acide et l'alcool réagissent mole à mole.

- Si l'alcool A est limitant : $n_A(0) - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = 0{,}18$ mol.
- Si l'acide est limitant : $n_B(0) - x_{\max} = 0$, soit $x_{\max} = 0{,}39$ mol.

On retient la plus petite valeur : l'alcool A est le réactif limitant.

$x_{\max} = n_A(0) = 0{,}18$ mol

COMPRENDRE
L'annexe 5 nomme l'ester « éthanoate d'isoamyle » avec $M = 130{,}2$ g · mol^{-1}. L'ester $C_8H_{16}O_2$ formé ici est en réalité un propanoate, de masse molaire $144{,}2$ g · mol^{-1}. Cette ligne ne sert à aucune question.

2.4 Établir la relation entre la quantité n_B d'acide restant à la date t, la quantité $n_B(0)$ et l'avancement x à cette date.

Le nombre stœchiométrique de l'acide vaut 1 : quand l'avancement vaut x, une quantité x d'acide a été consommée.

$n_B = n_B(0) - x$

2.5 Déterminer la quantité n'_B d'acide propanoïque présent dans la prise d'essai à $t = 30$ min, puis la quantité n_B restant dans le milieu réactionnel.

Données utiles $C = 1{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; $V = 13{,}0$ mL à $t = 30$ min ; $V'_B = 3{,}0$ mL ; $V_T = 50{,}0$ mL

À l'équivalence du titrage (équation de 1.1), la quantité d'ions HO^- versée est égale à la quantité d'acide propanoïque de la prise d'essai :

$$n'_B = C \times V = 1{,}0 \times 13{,}0 \times 10^{-3} = 1{,}3 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

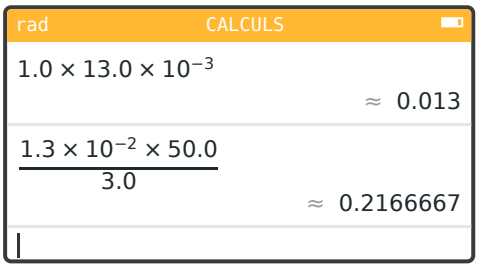
La prise d'essai a la même composition que le milieu réactionnel ; les quantités sont proportionnelles aux volumes :

$$n_B = n'_B \times \frac{V_T}{V'_B} = 1{,}3 \times 10^{-2} \times \frac{50{,}0}{3{,}0}$$

$n'_B = 1{,}3 \times 10^{-2}$ mol et $n_B = 0{,}22$ mol

PIÈGE
Laisser V en millilitres dans $C \times V$, ou oublier de ramener la prise d'essai de 3,0 mL au volume total de 50,0 mL.

À LA CALCULATRICE



2.6 Déterminer le taux d'avancement τ de la transformation à la date $t = 30$ min.

Données utiles $n_B(0) = 0{,}388$ mol (2.2) ; $n_B = 0{,}217$ mol (2.5) ; $x_{\max} = 0{,}18$ mol (2.3)

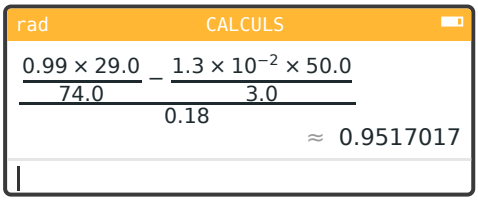
D'après 2.4 : $x = n_B(0) - n_B$. Donc

$$\tau = \frac{x}{x_{\max}} = \frac{n_B(0) - n_B}{x_{\max}} = \frac{0{,}388 - 0{,}217}{0{,}18}$$

$\tau = 0{,}95$, soit 95 % à $t = 30$ min

PIÈGE
Avec les valeurs déjà arrondies (0,39 et 0,22), on trouve 0,94 : une différence de deux nombres proches amplifie les arrondis. Il faut reprendre les valeurs non arrondies.

À LA CALCULATRICE



2.7 Placer sur l'annexe 6 la valeur déterminée, tracer la courbe. Peut-on considérer que la transformation est terminée après 30 minutes de chauffage à reflux ? Justifier.

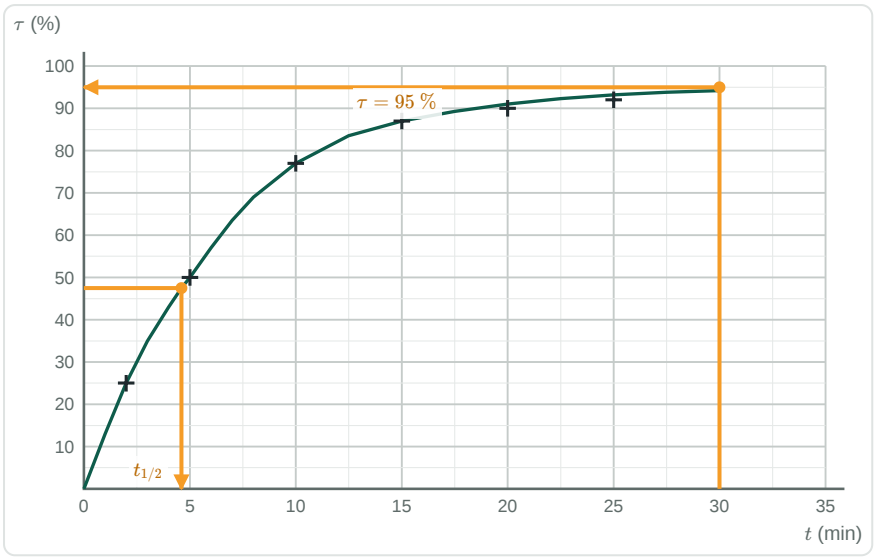
On place le point $(30\ \text{min}; 95\ \%)$ et on trace une courbe régulière au plus près des points, à partir de l'origine.

D'après le tableau, le volume versé à l'équivalence est le même à 25 min et à 30 min ($V = 13{,}0$ mL) : la quantité d'acide restant ne varie plus, donc τ non plus. La courbe atteint un palier.

Oui : la composition n'évolue plus, la transformation est terminée (état final atteint, avec $\tau < 100\ \%$).

COMPRENDRE
Le point calculé (95 %) tombe un peu au-dessus de celui du sujet à 25 min (92 %), alors que V est identique. Les points de l'annexe ont été calculés avec $n_A(0)$ non arrondi (0,184 mol), ce qui donne 93 %.

COMPRENDRE
Terminée ne veut pas dire totale : une estérification est limitée, elle s'arrête à un état d'équilibre où les quatre espèces coexistent.



2.7 · Annexe 6 complétée : point à 30 min, courbe et lecture de $t_{1/2}$ (question 2.8)

2.8 Définir et déterminer le temps de demi-réaction.

Données utiles $\tau_f = 95\ \%$ (2.6)

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

Comme τ est proportionnel à x, cela correspond à $\tau(t_{1/2}) = \dfrac{\tau_f}{2} = \dfrac{95}{2} \approx 47\ \%$.

Sur la courbe de l'annexe 6, l'abscisse du point d'ordonnée 47 % est :

$t_{1/2} \approx 4{,}5\ \text{min}$ (environ 5 min)

PIÈGE

La référence est l'avancement final, pas l'avancement maximal. Ici $x_f < x_{\max}$: lire à 50 % donnerait 5 min, valeur voisine mais obtenue avec une définition inexacte.

Le dioxyde de carbone atmosphérique

Bac S 2007 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **9,5 points** **Durée conseillée 1 h 57**

1.1 Nommer l'unique force mise en jeu et donner son expression littérale pour un allongement quelconque $x(t)$.

Système : l'atome d'oxygène, de masse m. Le poids est négligé et il n'y a pas de frottement : il ne reste que l'action du ressort sur la masse, appelée **force de rappel** du ressort.

Elle est proportionnelle à l'allongement et de sens opposé à celui-ci :

$$\vec{F} = -k\,x(t)\,\vec{i}$$

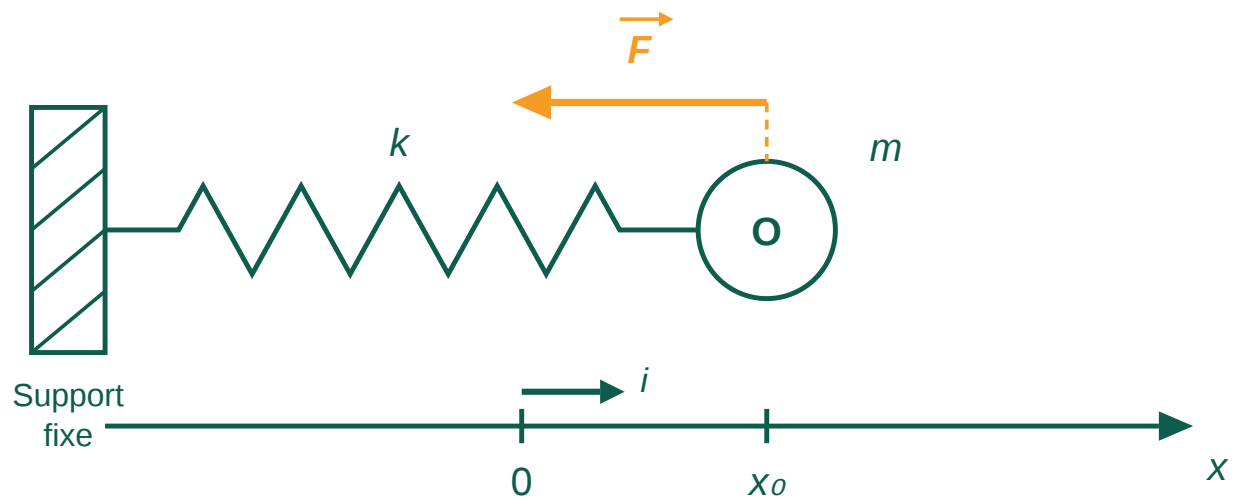
PIÈGE
Oublier le signe « $-$ ». La force ramène toujours la masse vers sa position d'équilibre : elle est opposée au déplacement $x\,\vec{i}$.

COMPRENDRE
L'oscillateur masse-ressort ne figure plus au programme actuel de spécialité. La démarche reste utile : bilan des forces, deuxième loi de Newton, équation différentielle, vérification d'une solution proposée.

1.2 Sur l'annexe, représenter cette force dans le cas où $x > 0$.

Pour $x > 0$, le ressort est étiré : $F_x = -k\,x < 0$. La force est horizontale, appliquée à la masse et dirigée vers le support fixe, c'est-à-dire dans le sens opposé à $\vec{i}$.

Voir l'annexe complétée : $\vec{F}$ est tracée en orange, de la masse vers la position d'équilibre.



1.2 · Annexe complétée : force de rappel pour x > 0

1.3 En appliquant une loi dont on donnera le nom, établir l'équation différentielle vérifiée par la position $x(t)$ de la masse m.

Système {atome d'oxygène}, référentiel galiléen, une seule force $\vec{F}$.

Deuxième loi de Newton : $\vec{F} = m\,\vec{a}$.

En projection sur l'axe (Ox), avec $a_x = \dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$: $\quad -k\,x = m\,\dfrac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$

$$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} + \frac{k}{m}\,x = 0$$

MÉTHODE
Toujours dans cet ordre : système, référentiel, bilan des forces, loi, projection sur l'axe du mouvement. L'équation se présente ensuite avec toutes les grandeurs inconnues dans le même membre.

1.4 Sachant que $x(t) = x_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right)$ est solution de l'équation différentielle, exprimer T_0 en fonction de k et m. Nommer cette grandeur.

On dérive deux fois :

$$\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} = -x_0 \frac{2\pi}{T_0}\sin\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right) \quad \text{puis} \quad \frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2} = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 x_0 \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t\right) = -\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 x(t)$$

On reporte dans l'équation de la question 1.3 :

$$\left[-\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 + \frac{k}{m}\right] x(t) = 0$$

Cette égalité doit être vraie à chaque instant, donc $\left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 = \frac{k}{m}$, soit $T_0^2 = 4\pi^2 \frac{m}{k}$.

$T_0 = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$: c'est la **période propre** de l'oscillateur.

PIÈGE

Dériver $\cos(u)$ sans multiplier par $u' = \frac{2\pi}{T_0}$. Ce facteur apparaît à chaque dérivation, d'où le carré dans la dérivée seconde.

1.5 En déduire l'expression littérale de la fréquence f_0 des oscillations, puis sa valeur numérique.

Données utiles $k = 422\ \mathrm{N\cdot m^{-1}}$; $m = 2{,}66 \times 10^{-26}$ kg ; T_0 (1.4)

La fréquence est l'inverse de la période : $f_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}$

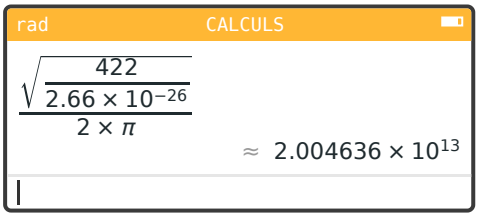
$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{422}{2{,}66 \times 10^{-26}}}$$

$f_0 = 2{,}00 \times 10^{13}$ Hz

COMPRENDRE

Les données k et m ont trois chiffres significatifs : le résultat s'écrit avec trois chiffres, $2{,}00 \times 10^{13}$ Hz, et non 2×10^{13} Hz.

À LA CALCULATRICE



2.1 Rappeler sur un axe gradué en longueurs d'onde les limites du spectre visible dans le vide (en µm et en nm) et les couleurs associées.

Le spectre visible s'étend, dans le vide, de 400 nm à 800 nm environ :

- limite inférieure : $\lambda = 400\ \mathrm{nm} = 0{,}400\ \mu\mathrm{m}$, couleur **violette** ;
- limite supérieure : $\lambda = 800\ \mathrm{nm} = 0{,}800\ \mu\mathrm{m}$, couleur **rouge**.

Visible : de $0{,}400$ µm (violet) à $0{,}800$ µm (rouge), voir l'axe ci-dessous.

COMPRENDRE

$1\ \mu\mathrm{m} = 10^3\ \mathrm{nm} = 10^{-6}\ \mathrm{m}$. Les limites sont conventionnelles : une borne rouge à 750 nm ou 780 nm est tout aussi acceptable.



2.1 · Axe des longueurs d'onde dans le vide (questions 2.1 et 2.2)

2.2 Nommer et situer les domaines de radiations situés au-delà de chacune de ces limites.

- Pour $\lambda < 400$ nm, en deçà du violet : domaine des **ultraviolets** (UV).
- Pour $\lambda > 800$ nm, au-delà du rouge : domaine des **infrarouges** (IR).

Ultraviolet du côté des courtes longueurs d'onde, infrarouge du côté des grandes (en orange sur l'axe de la question 2.1).

PIÈGE
Inverser les deux domaines. « Ultra-violet » se place après le violet, donc vers les petites longueurs d'onde ; « infra-rouge » après le rouge, vers les grandes.

2.3 Pour une onde électromagnétique dans le vide, donner la relation entre sa longueur d'onde λ_0, sa fréquence f et sa célérité c.

La longueur d'onde est la distance parcourue par l'onde à la célérité c pendant une période $T = \dfrac{1}{f}$:

$\lambda_0 = \dfrac{c}{f}$, avec λ_0 en m, c en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ et f en Hz.

2.4 Déterminer, en micromètre, la longueur d'onde λ_0 du rayonnement électromagnétique que peut absorber le dioxyde de carbone.

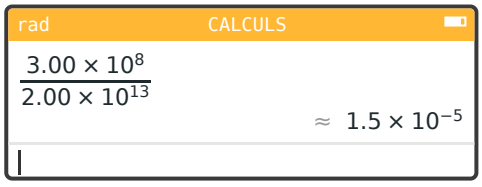
Données utiles $f_0 = 2{,}00 \times 10^{13}$ Hz ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

Le rayonnement absorbé a la même fréquence que la vibration propre de la molécule, donc :

$$\lambda_0 = \frac{c}{f_0} = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{2{,}00 \times 10^{13}} = 1{,}50 \times 10^{-5}\ \mathrm{m}$$

$\lambda_0 = 15{,}0 \times 10^{-6}\ \mathrm{m} = 15{,}0\ \mu\mathrm{m}$

À LA CALCULATRICE



2.5 Dans quelle gamme du spectre de la question 2.1 se situe la longueur d'onde calculée ?

Données utiles $\lambda_0 = 15{,}0$ µm (2.4)

$\lambda_0 = 15{,}0\ \mu\mathrm{m}$ est supérieure à la limite rouge du visible, $0{,}800$ µm.

Cette radiation appartient au domaine **infrarouge**.

MÉTHODE
Pour situer une radiation, convertir sa longueur d'onde dans l'unité de l'axe (ici le µm), puis la comparer aux deux bornes du visible.

2.6 Expliquer pourquoi le dioxyde de carbone atmosphérique peut piéger l'énergie thermique émise par la surface terrestre.

La Terre restitue l'énergie reçue sous forme d'un rayonnement R_T situé essentiellement dans l'infrarouge.

Or la molécule de CO_2 absorbe les radiations dont la fréquence est égale à sa fréquence propre de vibration, c'est-à-dire des radiations infrarouges ($\lambda_0 = 15{,}0$ µm).

Le CO_2 absorbe une partie du rayonnement infrarouge terrestre : cette énergie est retenue dans l'atmosphère au lieu de partir directement vers l'espace.

COMPRENDRE
Le rayonnement solaire, surtout visible, n'a pas la bonne fréquence : il traverse le CO_2 sans être absorbé. L'atmosphère laisse entrer l'énergie et freine sa sortie, comme la vitre d'une serre.

3.1 Énoncer les lois de conservation relatives à une transformation nucléaire et en déduire l'identité de la particule X.

Données utiles ${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \longrightarrow {}^{14}_{6}\mathrm{C} + {}^{A}_{Z}\mathrm{X}$

Deux grandeurs se conservent lors d'une transformation nucléaire (lois de Soddy) :

- le nombre total de nucléons : $1 + 14 = 14 + A$, d'où $A = 1$;
- le nombre de charge : $0 + 7 = 6 + Z$, d'où $Z = 1$.

L'élément de numéro atomique $Z = 1$ est l'hydrogène.

X est un noyau d'hydrogène ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$, c'est-à-dire un proton.

PIÈGE
Parler de « conservation de la masse » ou « des éléments ». Dans une transformation nucléaire, l'élément chimique change : seuls le nombre de nucléons A et la charge Z se conservent.

3.2 Qu'est-ce qu'un noyau radioactif ? Citer les quatre types d'émissions qui caractérisent la radioactivité.

Un noyau radioactif est un noyau instable : il se désintègre spontanément, de façon aléatoire, en un noyau différent, en émettant une particule et souvent un rayonnement.

Les quatre types d'émissions :

- radioactivité α : émission d'un noyau d'hélium ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$;
- radioactivité β^- : émission d'un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$;
- radioactivité β^+ : émission d'un positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$;
- émission γ : rayonnement électromagnétique de très haute fréquence, émis par le noyau fils qui se désexcite.

Noyau instable qui se désintègre spontanément ; émissions α, β^-, β^+ et γ.

3.3 Le carbone 14 présente une radioactivité β^- : écrire l'équation de sa désintégration.

Une désintégration β^- s'accompagne de l'émission d'un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$.
Pour le noyau fils ${}^{A}_{Z}\mathrm{Y}$:

- nucléons : $14 = A + 0$, donc $A = 14$;
- charge : $6 = Z - 1$, donc $Z = 7$: c'est l'azote.

$${}^{14}_{6}\mathrm{C} \longrightarrow {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{-1}\mathrm{e}$$

COMPRENDRE
Le carbone 14 redonne l'azote 14 dont il est issu dans la haute atmosphère (question 3.1). Lors d'une désintégration β^-, A ne change pas et Z augmente d'une unité.

3.4 Rappeler la définition de la demi-vie.

La demi-vie $t_{1/2}$ d'un échantillon radioactif est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs présents au départ se sont désintégrés.

$$N(t_{1/2}) = \frac{N_0}{2}$$

PIÈGE
Croire qu'après deux demi-vies tous les noyaux ont disparu. Il en reste $\frac{N_0}{4}$: la population est divisée par deux à chaque demi-vie.

3.5 Quel nom donne-t-on à la constante λ ? Quelle est son unité compte tenu des données de l'énoncé ?

Données utiles $\lambda = \dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}$; $t_{1/2} = 5370$ ans

λ est la **constante radioactive** du noyau considéré.

$\ln 2$ est sans unité, donc λ a la dimension de l'inverse d'un temps. La demi-vie étant donnée en années :

λ s'exprime en an^{-1} (son unité dans le Système international est la s^{-1}).

COMPRENDRE
Le produit $\lambda\, t$ dans l'exponentielle est sans unité. Il suffit donc que λ et t utilisent la même unité de temps : avec λ en an^{-1}, l'âge sort directement en années.

3.6 D'après le taux de carbone 14 donné, que vaut le rapport $\dfrac{N(t)}{N_0}$?

Données utiles taux de carbone 14 du charbon : 9,20 % de celui d'un organisme vivant

N_0 est le nombre de noyaux de carbone 14 à la mort de l'organisme, égal à celui d'un organisme vivant. Il n'en reste que 9,20 % : $N(t) = \dfrac{9{,}20}{100} N_0$.

$$\frac{N(t)}{N_0} = 0{,}0920$$

3.7 Quel est alors l'âge de ces peintures ?

Données utiles $\dfrac{N(t)}{N_0} = 0{,}0920$ (3.6) ; $t_{1/2} = 5370$ ans

Loi de décroissance : $\dfrac{N(t)}{N_0} = \text{e}^{-\lambda t}$, donc $\ln\left(\dfrac{N(t)}{N_0}\right) = -\lambda\, t = -\dfrac{\ln 2}{t_{1/2}}\, t$.

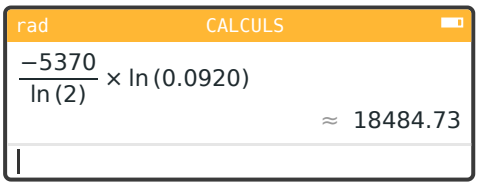
$$t = -\frac{t_{1/2}}{\ln 2} \ln\left(\frac{N(t)}{N_0}\right) = -\frac{5370}{\ln 2} \times \ln(0{,}0920)$$

$t = 1{,}85 \times 10^4$ ans : les peintures ont environ 18 500 ans.

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ » : $\ln(0{,}0920)$ est négatif, l'âge doit être positif. Trois chiffres significatifs, comme le taux de 9,20 %.

COMPRENDRE
Contrôle rapide : $0{,}0920$ est compris entre $\dfrac{1}{8}$ et $\dfrac{1}{16}$, donc l'âge se situe entre 3 et 4 demi-vies, soit entre 16 110 et 21 480 ans.

À LA CALCULATRICE



COMPRENDRE
La demi-vie admise du carbone 14 est 5730 ans ; l'énoncé indique 5370 ans. On calcule avec la valeur de l'énoncé. Avec 5730 ans, on trouverait environ $1{,}97 \times 10^4$ ans.

3.8 Que traduit la présence de ces animaux dans la grotte quant au climat de l'époque ? Pourquoi la grotte était-elle alors accessible aux hommes ?

Les pingouins vivent dans les régions froides. S'ils ont été peints près de Marseille il y a environ 18 500 ans, c'est que le climat y était alors nettement plus froid qu'aujourd'hui (période glaciaire).

Avec un climat froid, une grande quantité d'eau était immobilisée sous forme de glace sur les continents : les océans avaient un niveau inférieur à celui d'aujourd'hui.

Climat beaucoup plus froid ; mer plus basse, donc l'entrée de la grotte, aujourd'hui à 37 m sous l'eau, était à l'air libre.

COMPRENDRE
C'est le phénomène inverse de celui évoqué par l'énoncé : un réchauffement fait fondre les glaces et monter le niveau des mers, un refroidissement le fait baisser.

Synthèse de l'arome abricot

Bac S 2007 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **2,5 points** **Durée conseillée 26 min**

1.1 À partir de la formule du propanoate d'isoamyle, donner la formule semi-développée du composé A.

Un ester $R-COO-R'$ s'obtient à partir de l'acide $R-COOH$ et de l'alcool $R'-OH$. Ici le groupe CH_3-CH_2-CO- vient de l'acide propanoïque ; la chaîne liée à l'oxygène vient de A, qui est donc un alcool.

A : $HO-CH_2-CH_2-CH(CH_3)-CH_3$

MÉTHODE
Pour retrouver les réactifs d'un ester, couper la liaison entre le carbone du groupe $C{=}O$ et l'oxygène voisin : côté $C{=}O$ on ajoute OH (acide), côté oxygène on ajoute H (alcool).

1.2 Préciser le nom systématique du composé A.

Chaîne la plus longue portant le groupe hydroxyle : 4 carbones (butane), numérotée à partir du carbone lié à OH. Groupe OH sur le carbone 1, groupe méthyle sur le carbone 3.

A est le **3-méthylbutan-1-ol**.

PIÈGE
Numéroter la chaîne depuis l'autre extrémité donne « 2-méthylbutan-4-ol » : c'est le groupe hydroxyle qui doit porter le plus petit numéro, pas la ramification.

1.3 Écrire l'équation de la réaction entre le composé A et l'acide propanoïque, en formules semi-développées.

$$CH_3-CH_2-COOH + HO-CH_2-CH_2-CH(CH_3)_2 \rightleftharpoons CH_3-CH_2-COO-CH_2-CH_2-CH(CH_3)_2 + H_2O$$

acide propanoïque + 3-méthylbutan-1-ol $\rightleftharpoons$ propanoate d'isoamyle + eau

PIÈGE
Oublier la molécule d'eau, ou écrire une flèche simple : l'estérification est limitée, l'équation s'écrit avec une double flèche (ou un signe égal).

1.4 Nommer la transformation inverse susceptible de se produire.

L'ester formé peut réagir avec l'eau pour redonner l'acide et l'alcool.

La transformation inverse est l'**hydrolyse** de l'ester.

COMPRENDRE
Estérification et hydrolyse ont lieu en même temps. Quand leurs vitesses sont égales, la composition n'évolue plus : c'est un état d'équilibre, d'où un avancement final inférieur à l'avancement maximal.

1.5 Justifier l'emploi d'un excès d'acide propanoïque.

L'estérification est limitée. Introduire l'un des réactifs en excès déplace l'équilibre dans le sens direct, celui de la formation de l'ester.

L'excès d'acide augmente le taux d'avancement final, donc le rendement par rapport à l'alcool A (réactif limitant).

COMPRENDRE
Avec un excès d'acide, le quotient de réaction initial est plus éloigné de la constante d'équilibre K : le système doit avancer davantage dans le sens direct pour l'atteindre. K, elle, ne change pas.

1.6 Quel est le rôle de l'acide sulfurique ?

L'acide sulfurique est un **catalyseur** : il accélère la transformation sans modifier l'état final du système.

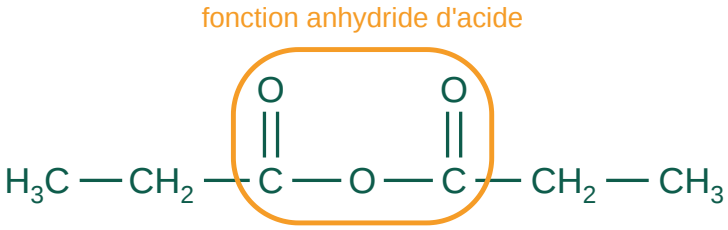
PIÈGE
Écrire que le catalyseur « améliore le rendement ». Il permet d'atteindre plus vite le même état d'équilibre et il accélère autant l'hydrolyse que l'estérification.

2.1 Recopier la formule développée de l'anhydride propanoïque et encercler la fonction anhydride d'acide.

La fonction anhydride d'acide est formée de deux groupes $\mathrm{C{=}O}$ reliés par un même atome d'oxygène.

Groupe entouré : $-\mathrm{CO}-\mathrm{O}-\mathrm{CO}-$ (voir la formule ci-dessous).

COMPRENDRE
Un anhydride d'acide correspond à deux molécules d'acide carboxylique qui auraient perdu ensemble une molécule d'eau, d'où son nom (anhydre : sans eau).



2.1 · Anhydride propanoïque : le groupe entouré est la fonction anhydride d'acide

2.2 Écrire l'équation de la réaction modélisant la synthèse n°2.

L'anhydride propanoïque réagit avec l'alcool A ; il se forme l'ester et de l'acide propanoïque :

$$(\mathrm{CH_3{-}CH_2{-}CO})_2\mathrm{O} + \mathrm{HO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH(CH_3)_2}$$
$$\longrightarrow \mathrm{CH_3{-}CH_2{-}COO{-}CH_2{-}CH_2{-}CH(CH_3)_2} + \mathrm{CH_3{-}CH_2{-}COOH}$$

anhydride propanoïque + 3-méthylbutan-1-ol $\longrightarrow$ propanoate d'isoamyle + acide propanoïque

PIÈGE
Écrire $\mathrm{H_2O}$ parmi les produits par habitude. Avec un anhydride, le second produit est l'acide carboxylique : sans eau formée, pas d'hydrolyse de l'ester possible, d'où la flèche simple.

2.3 Quel est l'intérêt de l'emploi d'un anhydride d'acide ?

Aucune molécule d'eau n'est produite : l'ester ne peut pas être hydrolysé et la transformation n'est pas limitée.

Avec l'anhydride d'acide, la transformation est **totale** et **rapide**, même sans catalyseur.

COMPRENDRE
Les courbes de l'annexe le confirment : la courbe 2 démarre avec une pente plus forte que la courbe 1 et son palier est plus haut.

2.4 À partir de la courbe 2 de l'annexe, déterminer graphiquement l'avancement maximal x_{max} de la transformation.

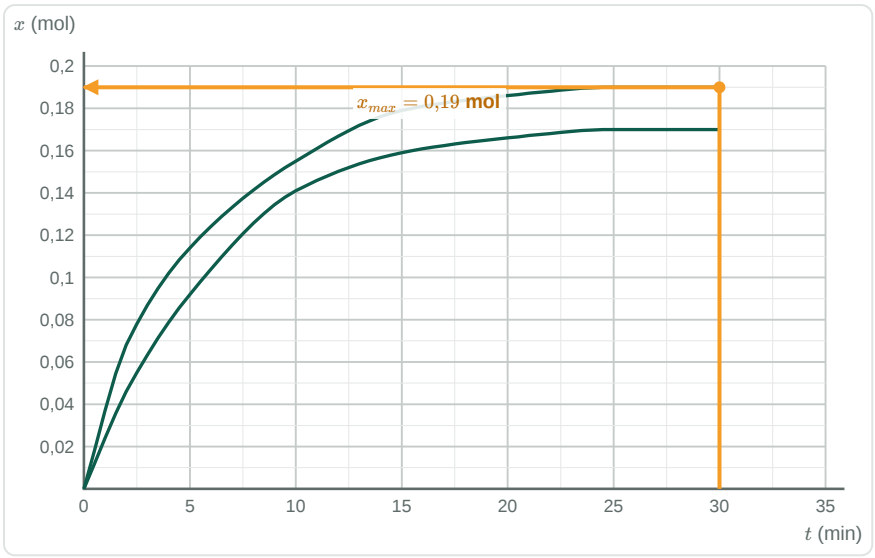
À partir de $t = 25$ min, la courbe 2 présente un palier horizontal : l'avancement n'évolue plus, l'état final est atteint. La transformation n°2 étant totale, $x_f = x_{max}$.

Le palier se trouve sur la ligne en pointillés située entre 0,18 et 0,20 mol.

$x_{max} = 0{,}19$ mol

COMPRENDRE
L'alcool A est le réactif limitant, avec un nombre stœchiométrique égal à 1 : x_{max} est aussi la quantité de A introduite, $n_0(\mathrm{A}) = 0{,}19$ mol.

MÉTHODE
Tracer à la règle l'horizontale du palier jusqu'à l'axe des ordonnées et laisser ce trait sur l'annexe rendue. Repérer d'abord l'échelle : ici une ligne tous les 0,01 mol.



2.4 · Annexe complétée : palier de la courbe 2 (courbe du haut)

3 À partir des courbes 1 et 2 de l'annexe, déterminer le rendement de la synthèse n°1.

Données utiles $x_{max} = 0{,}19$ mol (2.4)

Le composé A, réactif limitant, est introduit en même quantité dans les deux synthèses : l'avancement maximal de la synthèse n°1 est aussi $x_{max} = 0{,}19$ mol.

Palier de la courbe 1 : $x_f = 0{,}17$ mol.

Rendement : $\eta = \dfrac{n(\text{ester})_{\text{obtenu}}}{n(\text{ester})_{\text{maximal}}} = \dfrac{x_f}{x_{max}} = \dfrac{0{,}17}{0{,}19} = 0{,}89$

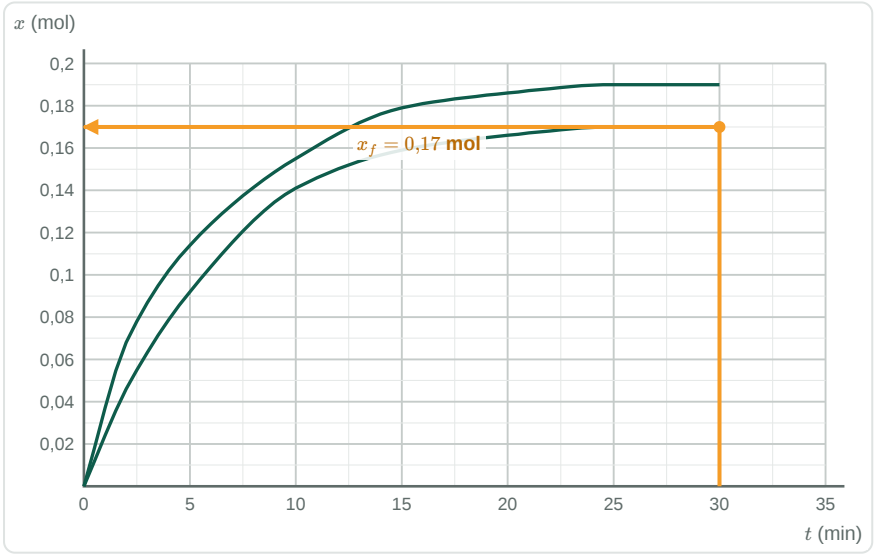
$\eta = 0{,}89$, soit un rendement de 89 % pour la synthèse n°1.

PIÈGE

Chercher x_{max} sur la courbe 1 : son palier donne l'avancement final d'une transformation limitée. C'est la synthèse n°2, totale, qui fournit x_{max}.

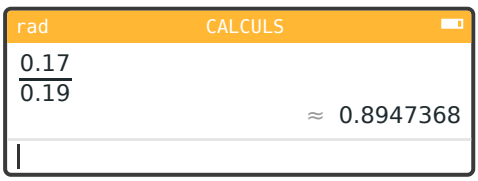
COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme les deux lectures graphiques. Un rendement est toujours inférieur ou égal à 1 : trouver 1,1 signale que les deux paliers ont été inversés.



3 · Annexe : palier de la courbe 1 (courbe du bas)

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Traitement des effluents industriels

Bac S 2007 Antilles-Guyane rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 L'électrodéposition du cuivre est un exemple d'électrolyse. Est-ce une transformation spontanée ?

Une électrolyse n'a lieu que si un générateur impose le passage du courant : le système évolue dans le sens inverse de son sens spontané grâce à l'énergie électrique reçue.

Non : l'électrodéposition est une transformation **forcée**.

1.2 Sur quelle électrode s'effectue le dépôt de cuivre métallique ? Écrire la demi-équation électronique correspondante.

Le dépôt de cuivre correspond à un gain d'électrons par les ions cuivre(II) : c'est une réduction, elle se produit à la cathode.

Les électrons sortent de la borne $-$ du générateur et arrivent sur l'électrode en carbone : c'est elle la cathode.

Dépôt sur l'électrode en **carbone** : $\mathrm{Cu^{2+}\,(aq) + 2\,e^- = Cu\,(s)}$

PIÈGE
Dans une électrolyse, la cathode est reliée à la borne $-$ du générateur, alors que dans une pile la cathode est la borne $+$. Seule la définition ne change pas : la réduction a lieu à la cathode.

1.3 L'autre électrode est également le siège d'une transformation chimique. Est-ce une oxydation ou une réduction ?

L'électrode en titane est reliée à la borne $+$ du générateur : des électrons la quittent vers le circuit extérieur. Ils sont cédés par une espèce de la solution.

C'est une **oxydation** (l'électrode en titane est l'anode).

1.4 À partir de l'équation globale de l'électrolyse, écrire la demi-équation électronique qui se déroule à l'anode et identifier le couple oxydant/réducteur mis en jeu.

Données utiles $\mathrm{2\,Cu^{2+}\,(aq) + 2\,H_2O\,(l) = O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) + 2\,Cu\,(s)}$

À l'anode, un réducteur est oxydé. Dans l'équation globale, le cuivre est réduit ; l'espèce oxydée est donc l'eau, qui donne du dioxygène.

$\mathrm{2\,H_2O\,(l) = O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) + 4\,e^-}$; couple $\mathrm{O_2\,(g)\ /\ H_2O\,(l)}$

MÉTHODE
Vérification : la réduction $\mathrm{Cu^{2+} + 2\,e^- = Cu}$ comptée deux fois, ajoutée à cette oxydation, redonne l'équation globale. Quatre électrons sont échangés chaque fois que la réaction a lieu « une fois ».

2.1 Calculer la masse initiale m_0 d'ions $\mathrm{Cu^{2+}}$ présents dans la solution au début du rinçage.

Données utiles $C_{m0} = 900{,}0\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$; $V_0 = 300\ \mathrm{L}$

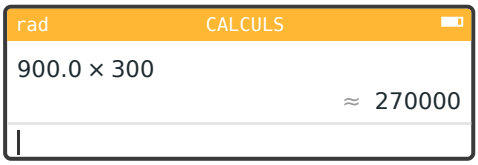
La concentration en masse est $C_{m0} = \dfrac{m_0}{V_0}$, donc $m_0 = C_{m0} \times V_0$.

$m_0 = 900{,}0 \times 300 = 2{,}70 \times 10^5\ \mathrm{mg}$

$m_0 = 270\ \mathrm{g}$

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme V_0, la donnée la moins précise. La concentration est en milligrammes par litre : le produit sort en milligrammes, à convertir en grammes pour la suite.

À LA CALCULATRICE



2.2 Calculer la masse m_f de ces ions restant en solution en fin de rinçage et en déduire la masse m_{Cu} de cuivre métallique déposé à la cathode.

Données utiles $C_{mf} = 30{,}0\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_0 = 300\ \text{L}$; $m_0 = 270\ \text{g}$ (2.1)

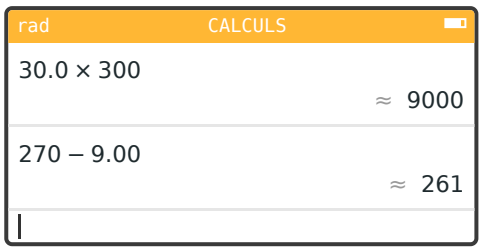
$m_f = C_{mf} \times V_0 = 30{,}0 \times 300 = 9{,}00 \times 10^3\ \text{mg} = 9{,}00\ \text{g}$

Chaque ion Cu^{2+} qui disparaît donne un atome de cuivre, de même masse (celle des électrons est négligeable) :

$m_{Cu} = m_0 - m_f = 270 - 9{,}00$

$m_f = 9{,}00\ \text{g}$ et $m_{Cu} = 261\ \text{g}$

À LA CALCULATRICE



2.3 Calculer les quantités de matière de cuivre présent sous ses deux formes, $n_{Cu^{2+}}$ et n_{Cu}, en fin de rinçage.

Données utiles $M_{Cu} = 63{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $m_f = 9{,}00\ \text{g}$ et $m_{Cu} = 261\ \text{g}$ (2.2)

On utilise $n = \dfrac{m}{M}$, avec la même masse molaire pour l'ion et pour l'atome.

Ions restant en solution : $n_{Cu^{2+}} = \dfrac{m_f}{M_{Cu}} = \dfrac{9{,}00}{63{,}5} = 0{,}142\ \text{mol}$

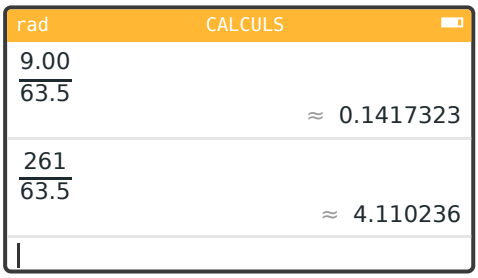
Cuivre déposé : $n_{Cu} = \dfrac{m_{Cu}}{M_{Cu}} = \dfrac{261}{63{,}5} = 4{,}11\ \text{mol}$

$n_{Cu^{2+}} = 0{,}142\ \text{mol}$ et $n_{Cu} = 4{,}11\ \text{mol}$

COMPRENDRE

Contrôle : $0{,}142 + 4{,}11 = 4{,}25$ mol, la quantité initiale n donnée dans le tableau de l'annexe ($270 \div 63{,}5$). Le cuivre est conservé.

À LA CALCULATRICE



2.4 Compléter la partie grisée du tableau d'évolution de la transformation donné en annexe, avec les quantités de matière des espèces chimiques mises en jeu.

Données utiles $n = 4{,}25$ mol ; $n_{Cu^{2+}} = 0{,}142$ mol et $n_{Cu} = 4{,}11$ mol (2.3)

D'après les nombres stœchiométriques, pour un avancement x : il disparaît $2x$ mol d'ions Cu^{2+} ; il se forme $2x$ mol de Cu, x mol de O_2 et $4x$ mol d'ions H^+.

À l'état final, on reporte les valeurs de la question 2.3.

Ligne finale : $n - 2x_f = 0{,}142$ mol ; $2x_f = 4{,}11$ mol ; x_f ; $4x_f$ (tableau ci-dessous).

		$2\,Cu^{2+}(aq)$	$+\,2\,H_2O(l) =$	$2\,Cu(s)$	$+\,O_2(g)$	$+\,4\,H^+(aq)$	
État	Avancement (mol)	Quantités de matière des espèces en jeu (mol)					Quantité d'électrons échangés (mol)
initial	0	$n = 4{,}25$	excès	0	0	0	0
intermédiaire	x	$n - 2x$	excès	$2x$	x	$4x$	
final	x_f	$n - 2x_f$ = 0,142	excès	$2x_f$ = 4,11	x_f	$4x_f$	

2.4 · Annexe : partie grisée complétée (en orange)

2.5 Calculer l'avancement final en fin de rinçage, x_f.

Données utiles $m_{Cu} = 261$ g (2.2) ; $M_{Cu} = 63{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

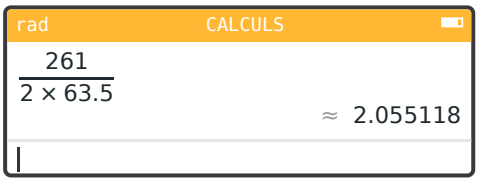
D'après le tableau, la quantité de cuivre déposé est $n_{Cu} = 2x_f$, donc

$$x_f = \frac{n_{Cu}}{2} = \frac{m_{Cu}}{2\,M_{Cu}} = \frac{261}{2 \times 63{,}5}$$

$x_f = 2{,}06$ mol

PIÈGE
Avec la valeur arrondie $4{,}11 \div 2 = 2{,}055$, on hésite entre 2,05 et 2,06. Le calcul sans arrondi intermédiaire donne 2,0551 : l'arrondi correct est 2,06 mol.

À LA CALCULATRICE



2.6 Compléter la dernière colonne du tableau de l'annexe (quantité d'électrons échangés), en s'aidant de la réponse à la question 1.4.

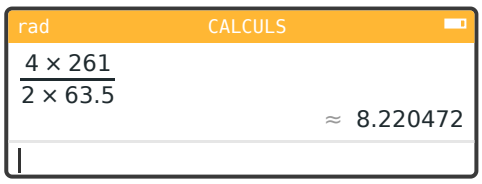
Données utiles $x_f = 2{,}06$ mol (2.5)

D'après la demi-équation de la question 1.4, la formation d'une mole de O_2 s'accompagne du transfert de 4 moles d'électrons. Pour un avancement x, il se forme x mol de O_2 : la quantité d'électrons échangés est $4x$.

À l'état final : $n_e = 4x_f = 4 \times \dfrac{261}{2 \times 63{,}5} = 8{,}22$ mol

Dernière colonne : $4x$ (état intermédiaire) et $4x_f = 8{,}22$ mol (état final).

À LA CALCULATRICE



		$2\,Cu^{2+}(aq)$	$+\,2\,H_2O(l) =$	$2\,Cu(s)$	$+\,O_2(g)$	$+\,4\,H^+(aq)$	
État	Avancement (mol)	Quantités de matière des espèces en jeu (mol)					Quantité d'électrons échangés (mol)
initial	0	$n = 4{,}25$	excès	0	0	0	0
intermédiaire	x	$n - 2x$	excès	$2x$	x	$4x$	$4x$
final	x_f	$n - 2x_f$ = 0,142	excès	$2x_f$ = 4,11	x_f = 2,06	$4x_f$ = 8,22	$4x_f$ = 8,22

2.6 · Annexe : dernière colonne complétée (en orange)

2.7 À partir de ce résultat, exprimer la quantité d'électricité Q utilisée par la cellule durant toute l'opération.

Données utiles $1\ F = 9{,}65 \times 10^4\ \text{C} \cdot \text{mol}^{-1}$; $n_e = 4x_f = 8{,}22$ mol (2.6)

Une mole d'électrons transporte une charge égale, en valeur absolue, à un faraday. La charge qui a traversé la cellule est donc

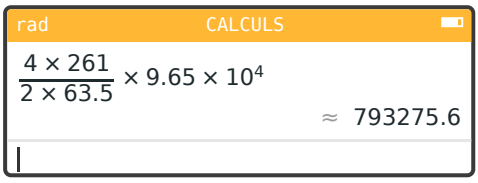
$$Q = n_e \times F = 4\,x_f\,F$$

Valeur : $Q = 8{,}22 \times 9{,}65 \times 10^4 = 7{,}93 \times 10^5$ C

$$\boxed{Q = 4\,x_f\,F \approx 7{,}93 \times 10^5\ \text{C}}$$

COMPRENDRE
La question demande seulement l'expression ; la valeur sert à la question suivante. Le faraday est la charge d'une mole d'électrons : $F = N_A \times e$.

À LA CALCULATRICE



2.8 En considérant que l'intensité du courant qui alimente la cellule reste constante, exprimer puis calculer cette intensité I.

Données utiles $\Delta t = 6$ h ; $Q = 4\,x_f\,F = 7{,}93 \times 10^5$ C (2.7)

Pour un courant d'intensité constante, $Q = I \times \Delta t$, donc

$$I = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{4\,x_f\,F}{\Delta t}$$

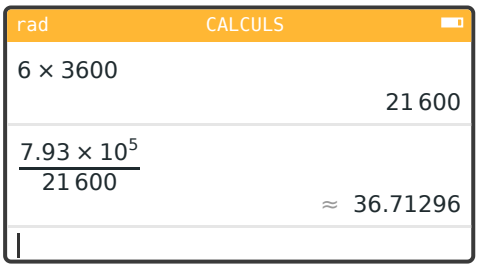
avec $\Delta t = 6 \times 3600 = 2{,}16 \times 10^4$ s.

$$I = \frac{7{,}93 \times 10^5}{2{,}16 \times 10^4}$$

$$\boxed{I = 36{,}7\ \text{A}}$$

PIÈGE
Laisser la durée en heures. Dans $Q = I\,\Delta t$, la charge est en coulombs et l'intensité en ampères seulement si Δt est en secondes.

À LA CALCULATRICE



3.1 Calculer la masse de précipité d'hydroxyde de cuivre(II) produite lors de la précipitation de 4,11 mol d'ions Cu^{2+}. Comparer cette masse avec la masse de cuivre obtenue à la question 2.2.

Données utiles $Cu^{2+}\,(aq) + 2\,HO^-\,(aq) = Cu(OH)_2\,(s)$; $M_{Cu} = 63{,}5$, $M_O = 16{,}0$, $M_H = 1{,}0$ g · mol^{-1} ; $m_{Cu} = 261$ g (2.2)

D'après l'équation, une mole d'ions Cu^{2+} donne une mole de précipité : $n_{Cu(OH)_2} = n_{Cu^{2+}} = 4{,}11$ mol.

Masse molaire : $M_{Cu(OH)_2} = 63{,}5 + 2 \times (16{,}0 + 1{,}0) = 97{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

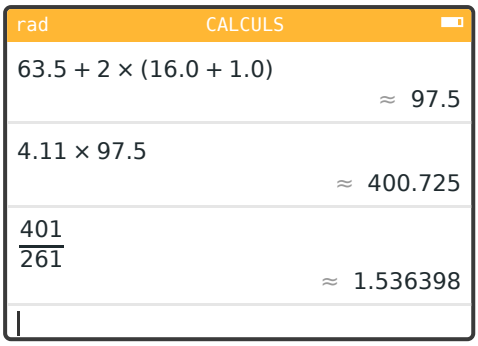
$m_{Cu(OH)_2} = n_{Cu(OH)_2} \times M_{Cu(OH)_2} = 4{,}11 \times 97{,}5 = 401$ g

Comparaison : $\dfrac{401}{261} \approx 1{,}5$.

$$\boxed{m_{Cu(OH)_2} = 401\ \text{g, soit environ 1,5 fois la masse de cuivre métallique (261 g).}}$$

COMPRENDRE
Pour la même quantité de cuivre retirée de l'eau, le précipité est plus lourd car il contient aussi les atomes d'oxygène et d'hydrogène des ions hydroxyde.

À LA CALCULATRICE



3.2.1 Quel est le produit obtenu qu'il faudra extraire des eaux de rinçage, puis traiter chimiquement pour le recycler ?

Le précipité reste en suspension dans les eaux de rinçage : il faut le séparer (filtration ou décantation), puis le transformer chimiquement pour retrouver du cuivre métallique.

L'hydroxyde de cuivre(II) $\mathrm{Cu(OH)_2\,(s)}$, obtenu par précipitation.

3.2.2 Lequel des deux procédés donne un produit directement utilisable ?

L'électrolyse dépose directement du cuivre métallique sur l'électrode en carbone : il suffit de le récupérer, sans autre traitement chimique.

L'**électrodéposition**, qui fournit du cuivre métallique.