Corrigé complet — Bac S 2016 Polynésie (ancien programme)

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

Ex 1	**L'alanine en infrarouge** Nomenclature et stéréoisomérie · Catégories de réaction · Rendement d'une synthèse · Spectres IR et RMN · Oscillateur mécanique · Analyse dimensionnelle	7 pts	1 h 10	9 questions	p. 2
Ex 2	**Se chauffer avec le numérique** Résistance thermique d'une paroi · Flux thermique · Modes de transfert thermique · Énergie et puissance · Bilan d'énergie · Capacité thermique massique	8 pts	1 h 20	11 questions	p. 6
Ex 3	**Du jus de pomme au vinaigre** Équation de réaction · Catalyse enzymatique · Nomenclature des acides carboxyliques · Oxydoréduction · Titrage pH-métrique · Incertitude de mesure	5 pts	50 min	5 questions	p. 10
Ex 4	**Spécialité : Dessalement de l'eau de mer** Concentration molaire et masse volumique · Osmose inverse · Titrage conductimétrique · Équivalence · Dilution et mélange · Résolution de problème	5 pts	50 min	3 questions	p. 13

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.

L'alanine en infrarouge

Bac S 2016 Polynésie (ancien programme) · Exercice 1 **7 points** **Durée conseillée 1 h 10**

1.1.1 Justifier que le nom officiel de l'alanine est l'acide 2-aminopropanoïque.

La chaîne carbonée la plus longue compte trois atomes de carbone : radical « propan ».

La molécule porte le groupe carboxyle $-COOH$: c'est un acide carboxylique, d'où « acide …oïque ». Le carbone de ce groupe porte le numéro 1.

Le groupe amino $-NH_2$ est fixé sur le carbone voisin, numéroté 2 : préfixe « 2-amino ».

Le nom est donc bien acide 2-aminopropanoïque.

PIÈGE
Compter seulement deux carbones dans la chaîne : le carbone du groupe $-COOH$ en fait partie et c'est lui qui porte le numéro 1.

1.1.2 Pourquoi l'alanine présente-t-elle des stéréoisomères ? Donner leur représentation de Cram et préciser la relation de stéréoisomérie qui les lie.

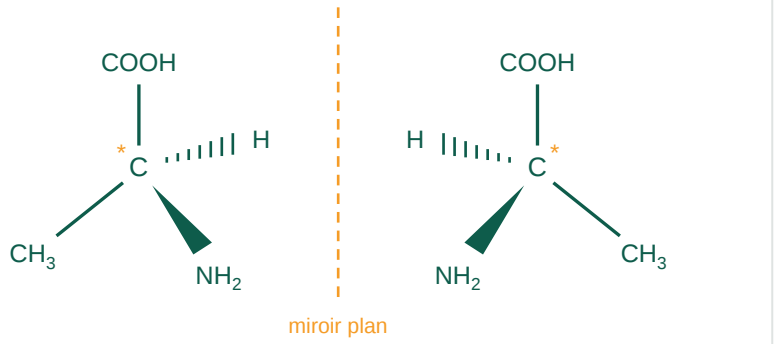
Le carbone numéro 2 est lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents : $-H$, $-CH_3$, $-NH_2$ et $-COOH$. C'est un atome de carbone asymétrique, noté C^*.

Une molécule qui possède un seul carbone asymétrique est chirale : elle existe sous deux formes, images l'une de l'autre dans un miroir plan et non superposables (représentations de Cram ci-dessous).

L'alanine a un carbone asymétrique : ses deux stéréoisomères sont des **énantiomères**.

COMPRENDRE
Les stéréoisomères de configuration (énantiomères, diastéréoisomères) et la représentation de Cram ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale.

MÉTHODE
Pour dessiner l'énantiomère, on trace l'image dans un miroir, ou bien on échange deux des quatre groupes portés par C^*. Trait plein : liaison dans le plan ; triangle plein : vers l'avant ; triangle hachuré : vers l'arrière.



1.1.2 · Représentation de Cram des deux énantiomères de l'alanine

1.2.1 Déterminer la catégorie de la réaction de synthèse de l'alanine.

Dans l'acide 2-bromopropanoïque, l'atome de brome porté par le carbone 2 est remplacé par le groupe $-NH_2$; il se forme en même temps HBr. Un atome est remplacé par un groupe d'atomes, sans changement du nombre de liaisons du carbone.

C'est une réaction de **substitution**.

MÉTHODE
Deux réactifs donnent deux produits : substitution. Deux réactifs donnent un seul produit : addition. Un réactif donne deux produits, avec apparition d'une liaison multiple : élimination.

1.2.2 Le rendement est de 80 % et l'ammoniac est en excès. Quelle masse d'acide 2-bromopropanoïque faut-il utiliser pour synthétiser 1,0 kg d'alanine ?

Données utiles $m_{\text{ala}} = 1{,}0\ \text{kg}$; $\eta = 0{,}80$; $M(\text{C}) = 12$, $M(\text{H}) = 1$, $M(\text{N}) = 14$, $M(\text{O}) = 16$, $M(\text{Br}) = 80\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Alanine $\text{C}_3\text{H}_7\text{NO}_2$: $M_{\text{ala}} = 3\times 12 + 7\times 1 + 14 + 2\times 16 = 89\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Acide 2-bromopropanoïque $\text{C}_3\text{H}_5\text{O}_2\text{Br}$: $M_{\text{ac}} = 3\times 12 + 5\times 1 + 2\times 16 + 80 = 153\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

L'ammoniac est en excès : l'acide est le réactif limitant. D'après l'équation, une mole d'acide donne au maximum une mole d'alanine, donc $n_{\text{max}} = n_{\text{ac}}$.

Rendement : $\eta = \dfrac{n_{\text{ala}}}{n_{\text{max}}}$, d'où $n_{\text{ac}} = \dfrac{n_{\text{ala}}}{\eta} = \dfrac{m_{\text{ala}}}{\eta\, M_{\text{ala}}}$ et

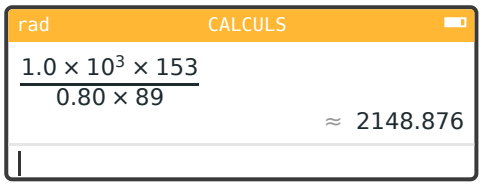
$$m_{\text{ac}} = \frac{m_{\text{ala}}\, M_{\text{ac}}}{\eta\, M_{\text{ala}}} = \frac{1{,}0\times 10^3 \times 153}{0{,}80\times 89} = 2{,}1\times 10^3\ \text{g}$$

$\boxed{m_{\text{ac}} = 2{,}1\ \text{kg}}$

PIÈGE
Multiplier par 0,80 au lieu de diviser : le rendement est inférieur à 1, il faut donc prévoir plus de réactif que ne l'indique la stœchiométrie.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme 1,0 kg et 80 %. Il faut plus de 2 kg d'acide pour 1 kg d'alanine car la molécule bromée est bien plus lourde (153 contre 89 $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$).

À LA CALCULATRICE



1.3 Parmi les spectres IR et RMN des composés A et B, identifier ceux de l'alanine. Justifier.

Données utiles C=O (acide aminé) : 1590 - 1600 cm^{-1} ; N–H (acide aminé) : 2600 - 3100 cm^{-1} ; O–H (acide carboxylique) : 2500 - 3300 cm^{-1}, bande large

Spectre RMN attendu. Les protons de $-\text{NH}_2$ et de $-\text{OH}$ ne donnent pas de signal ici. Il reste deux groupes de protons équivalents, donc deux signaux :

- les trois protons de $-\text{CH}_3$ ont un seul voisin (le proton de CH) : doublet ;
- le proton de CH a trois voisins (ceux de CH_3) : quadruplet.

Le spectre RMN de A montre un doublet vers 1,5 ppm et un quadruplet vers 3,8 ppm : il convient. Celui de B montre deux triplets : il ne convient pas.

Spectre IR de A. On y trouve une bande forte vers 1600 cm^{-1}, attribuable à C=O d'un acide aminé, et une bande large et intense entre 2500 et 3300 cm^{-1}, où se superposent O–H (acide carboxylique), N–H (acide aminé) et C–H. Il est compatible avec l'alanine.

Les spectres de l'alanine sont ceux du **composé A**.

PIÈGE
Trancher avec les seuls spectres IR : ceux de A et de B se ressemblent beaucoup. Ici c'est la multiplicité des signaux de RMN qui départage les deux composés.

COMPRENDRE
La spectroscopie RMN du proton ne figure plus au programme actuel de spécialité ; l'exploitation d'un spectre IR à l'aide d'une table reste exigible.

MÉTHODE
Règle des $(n+1)$-uplets : un groupe de protons équivalents ayant n protons voisins donne un signal à $n+1$ pics. On prévoit le spectre à partir de la formule, puis on compare.

2.1 Discuter, d'après les courbes 1 à 3, de l'influence de la masse m du solide et de la constante de raideur k du ressort sur les oscillations.

Données utiles courbe 1 : $m = 145$ g, $k = 10\ \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$; courbe 2 : $m = 145$ g, $k = 30\ \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$; courbe 3 : $m = 500$ g, $k = 10\ \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$

Dans les trois expériences, les oscillations sont périodiques, de même amplitude 3 cm (fixée par l'écart initial). On compare donc les périodes T, lues entre deux maximums successifs :

- courbe 1 : $T_1 \approx 0{,}75$ s ;
- courbe 2 : $T_2 \approx 0{,}44$ s ;
- courbe 3 : $T_3 \approx 1{,}4$ s.

Influence de k (courbes 1 et 2, même masse) : quand k passe de 10 à 30 $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$, la période diminue.

Influence de m (courbes 1 et 3, même raideur) : quand m passe de 145 g à 500 g, la période augmente.

La période augmente avec m et diminue quand k augmente ; la fréquence varie donc en sens inverse.

COMPRENDRE
Ces lectures s'accordent avec $T = 2\pi\sqrt{m/k}$: k triplé divise T par $\sqrt{3}$. Cet oscillateur, hors du programme actuel, prépare la question 2.2 : la fréquence croît avec la raideur et décroît avec la masse.

MÉTHODE
Pour étudier l'influence d'un paramètre, on compare deux expériences qui ne diffèrent que par ce paramètre. Les courbes 2 et 3, où m et k changent tous les deux, ne se comparent pas directement.

2.2.1 Retrouver l'unité du nombre d'onde σ par une analyse dimensionnelle.

Données utiles $\sigma = \dfrac{1}{2\pi c}\sqrt{\dfrac{\alpha}{\mu}}$; α en $\text{g} \cdot \text{s}^{-2}$; μ en g ; c en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$; $\sigma = \dfrac{1}{\lambda}$

Le facteur 2π est sans dimension. En notant M, L et T les dimensions d'une masse, d'une longueur et d'un temps :

$$\left[\frac{\alpha}{\mu}\right] = \frac{\text{M} \cdot \text{T}^{-2}}{\text{M}} = \text{T}^{-2} \quad \text{donc} \quad \left[\sqrt{\frac{\alpha}{\mu}}\right] = \text{T}^{-1}$$

$$[\sigma] = \frac{\text{T}^{-1}}{\text{L} \cdot \text{T}^{-1}} = \text{L}^{-1}$$

σ est l'inverse d'une longueur, ce que confirme la relation $\sigma = \dfrac{1}{\lambda}$. Avec les unités imposées : $\dfrac{\text{s}^{-1}}{\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}} = \text{cm}^{-1}$.

σ est homogène à l'inverse d'une longueur : il s'exprime ici en cm^{-1} .

COMPRENDRE
L'unité SI serait le m^{-1}. Le sujet donne c en $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$ et les masses en grammes pour obtenir directement des cm^{-1}, unité usuelle en spectroscopie IR.

2.2.2 Calculer le nombre d'onde correspondant à la vibration d'élongation d'une liaison C–H. Comparer le résultat aux données.

Données utiles $m_H = 1{,}67 \times 10^{-24}$ g ; $m_C = 1{,}99 \times 10^{-23}$ g ; $\alpha = 5{,}0 \times 10^{5}\ \text{g} \cdot \text{s}^{-2}$; $c = 3{,}00 \times 10^{10}\ \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$; table : C–H entre 2850 et 3020 cm^{-1}

Masse réduite de la liaison C–H :

$$\mu = \frac{m_C\, m_H}{m_C + m_H} = \frac{1{,}99 \times 10^{-23} \times 1{,}67 \times 10^{-24}}{1{,}99 \times 10^{-23} + 1{,}67 \times 10^{-24}} = 1{,}54 \times 10^{-24}\ \text{g}$$

Nombre d'onde :

$$\sigma = \frac{1}{2\pi c}\sqrt{\frac{\alpha}{\mu}} = \frac{1}{2\pi \times 3{,}00 \times 10^{10}} \times \sqrt{\frac{5{,}0 \times 10^{5}}{1{,}54 \times 10^{-24}}} = 3{,}0 \times 10^{3}\ \text{cm}^{-1}$$

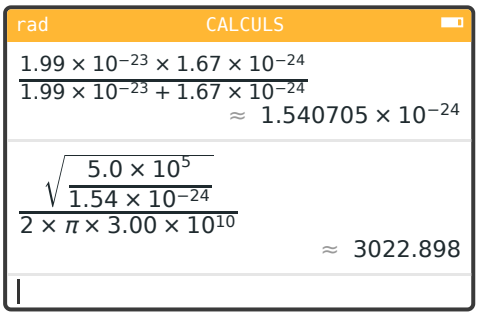
La table donne pour C–H une bande entre 2850 et 3020 cm^{-1} : la valeur calculée, environ 3000 cm^{-1}, se situe dans cet intervalle. Le modèle est en accord avec les données.

$\sigma_{\text{C–H}} = 3{,}0 \times 10^{3}\ \text{cm}^{-1}$, compatible avec l'intervalle 2850 - 3020 cm^{-1}.

PIÈGE
Convertir en unités SI une partie seulement des données. La relation est prévue pour des grammes et des $\text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$: on garde les valeurs telles qu'elles sont données.

COMPRENDRE
α n'a que deux chiffres significatifs : on écrit $3{,}0 \times 10^{3}$ et non 3022. La masse réduite est très proche de m_H : c'est surtout l'atome léger qui vibre.

À LA CALCULATRICE



2.2.3 La liaison simple C–O absorbe vers 1300 cm^{-1} et la liaison double C=O vers 1700 cm^{-1}. Les masses réduites étant considérées comme égales, proposer une explication.

D'après la loi de Hooke, $\sigma = \frac{1}{2\pi c}\sqrt{\frac{\alpha}{\mu}}$: à masse réduite μ égale, σ est proportionnel à $\sqrt{\alpha}$, donc ne dépend que de la constante de force α et augmente avec elle.

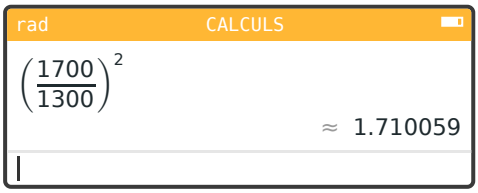
Comme $\sigma_{\text{C=O}} > \sigma_{\text{C–O}}$, on en déduit $\alpha_{\text{C=O}} > \alpha_{\text{C–O}}$.

Cela se comprend : une liaison double est plus forte, plus « raide », qu'une liaison simple. Comme pour le ressort de la question 2.1, une raideur plus grande donne une période plus courte, donc une fréquence et un nombre d'onde plus élevés.

La constante de force de C=O est plus grande que celle de C–O : la liaison double, plus rigide, absorbe à un nombre d'onde plus élevé.

COMPRENDRE
On peut chiffrer : $\alpha_{\text{C=O}}/\alpha_{\text{C–O}} = (1700/1300)^2 \approx 1{,}7$. La constante de force de la liaison double vaut un peu moins du double de celle de la liaison simple.

À LA CALCULATRICE



Se chauffer avec le numérique

Bac S 2016 Polynésie (ancien programme) · Exercice 2 **8 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1 Quelle devrait être l'épaisseur du mur extérieur s'il n'était constitué que de béton armé ?

Données utiles mur extérieur : $Z_{HQE} = 4{,}00\ \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$; béton armé : $\lambda_b = 2{,}2\ \text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$

Le label impose $Z \geqslant Z_{HQE}$. Pour un seul matériau, $Z = \dfrac{e}{\lambda_b}$, donc l'épaisseur minimale est $e = Z_{HQE} \times \lambda_b$.

$e = 4{,}00 \times 2{,}2 = 8{,}8\ \text{m}$

$e = 8{,}8\ \text{m}$: une épaisseur irréalisable, le béton seul ne suffit pas.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme λ_b, la donnée la moins précise. Cette règle vaut pour tous les calculs de l'exercice.

1.2 L'isolant choisi est la laine de verre. Justifier ce choix.

Données utiles λ en $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$: laine de verre 0,032 ; laine de roche 0,034 ; polystyrène 0,038

Comme $Z = \dfrac{e}{\lambda}$, à épaisseur égale la résistance thermique est d'autant plus grande que la conductivité thermique λ est petite.

Parmi les trois isolants du tableau, la laine de verre a la plus faible conductivité : $0{,}032 < 0{,}034 < 0{,}038$.

La laine de verre est le meilleur isolant proposé : elle donne la résistance voulue avec la plus petite épaisseur.

PIÈGE
Comparer la laine de verre au béton seulement ne justifie rien : les trois isolants sont bien meilleurs que le béton. Il faut la comparer aux deux autres isolants.

1.3 Déterminer l'épaisseur minimale de laine de verre nécessaire pour que la condition d'obtention du label HQE soit vérifiée.

Données utiles $Z_{HQE} = 4{,}00\ \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$; béton : $e_b = 0{,}20$ m, $\lambda_b = 2{,}2$; polymère : $e_p = 0{,}050$ m, $\lambda_p = 0{,}18$; laine de verre : $\lambda_v = 0{,}032$ (en $\text{W} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

Les résistances thermiques des trois couches superposées s'ajoutent. Pour $1{,}0\ \text{m}^2$ de mur :

$$Z = \frac{e_b}{\lambda_b} + \frac{e_v}{\lambda_v} + \frac{e_p}{\lambda_p}$$

L'épaisseur minimale correspond à $Z = Z_{HQE}$:

$$e_v = \lambda_v \left(Z_{HQE} - \frac{e_b}{\lambda_b} - \frac{e_p}{\lambda_p} \right)$$

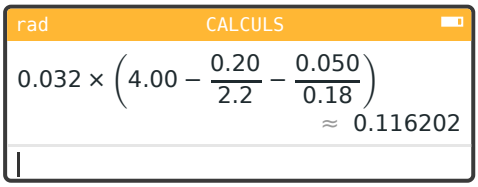
$$e_v = 0{,}032 \times \left(4{,}00 - \frac{0{,}20}{2{,}2} - \frac{0{,}050}{0{,}18} \right) = 0{,}12\ \text{m}$$

$e_v = 0{,}12$ m, soit environ 12 cm de laine de verre.

PIÈGE
Ajouter les épaisseurs ou les conductivités n'a pas de sens : seules les résistances $\dfrac{e}{\lambda}$ s'ajoutent. Les épaisseurs se convertissent en mètres (20 cm = 0,20 m ; 5,0 cm = 0,050 m).

COMPRENDRE
Béton et polymère n'apportent à eux deux que $0{,}37\ \text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$ sur les 4,00 exigés : 12 cm de laine de verre font plus de 90 % de l'isolation.

À LA CALCULATRICE



2.1 Citer les trois modes de transfert qui permettent aux ordinateurs de céder de l'énergie thermique à la pièce où ils sont stockés.

Les trois modes de transfert thermique sont la **conduction**, la **convection** et le **rayonnement**.

COMPRENDRE
Conduction : de proche en proche dans la matière, sans déplacement d'ensemble. Convection : par le mouvement de l'air autour des serveurs. Rayonnement : par émission d'ondes électromagnétiques (infrarouge), même sans milieu matériel.

2.2 Montrer que l'énergie thermique $Q_{serveurs}$ libérée en une journée par les serveurs est égale à $8{,}3 \times 10^{11}$ J.

Données utiles $N = 20\,000$ serveurs ; $P = 480$ W par serveur ; $\Delta t = 1$ jour

Toute l'énergie électrique consommée est transformée en énergie thermique, donc $Q_{serveurs} = N \times P \times \Delta t$.

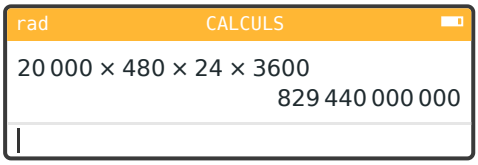
Durée en secondes : $\Delta t = 24 \times 3600 = 86\,400$ s.

$$Q_{serveurs} = 20\,000 \times 480 \times 86\,400 = 8{,}29 \times 10^{11} \text{ J}$$

$Q_{serveurs} \approx 8{,}3 \times 10^{11}$ J : c'est la valeur attendue.

PIÈGE
Laisser la durée en heures donne des W·h, pas des joules : 1 W correspond à 1 J par seconde, la journée s'exprime donc en secondes.

À LA CALCULATRICE



2.3.1 Calculer le transfert thermique Q_{sol} à travers le sol pour une journée d'hiver.

Données utiles sol : $Z_{HQE} = 4{,}00 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$; $L = 80$ m ; $l = 50$ m ; $T_{int} = 23\ ^\circ\text{C}$; $T_{sol} = 11\ ^\circ\text{C}$; $\Delta t = 86\,400$ s

Surface du sol : $S = L \times l = 80 \times 50 = 4{,}0 \times 10^3 \text{ m}^2$.

Résistance thermique du sol : $R_{th} = \dfrac{Z_{HQE}}{S}$. Flux thermique : $\phi = \dfrac{T_{int} - T_{sol}}{R_{th}} = \dfrac{(T_{int} - T_{sol}) \times S}{Z_{HQE}}$.

$$Q_{sol} = \phi \times \Delta t = \frac{(T_{int} - T_{sol}) \times L \times l}{Z_{HQE}} \times \Delta t$$

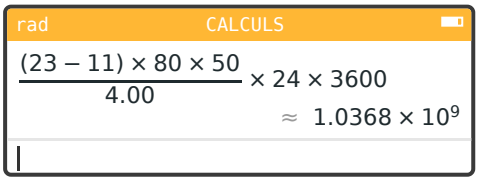
$$Q_{sol} = \frac{(23 - 11) \times 80 \times 50}{4{,}00} \times 86\,400 = 1{,}0 \times 10^9 \text{ J}$$

$Q_{sol} = 1{,}0 \times 10^9$ J

PIÈGE
De l'autre côté de la dalle se trouve le sol à 11 °C, pas l'air extérieur à 7,0 °C. Et Z_{HQE} vaut pour 1 m² : il faut diviser par la surface, pas l'utiliser tel quel.

COMPRENDRE
Un écart de températures a la même valeur en °C et en K : inutile de convertir pour calculer $T_{int} - T_{sol} = 12$ K.

À LA CALCULATRICE



2.3.2 Déterminer l'énergie thermique totale perdue par l'ensemble des parois du centre de données au cours d'une journée d'hiver.

Données utiles $Q_{sol} = 1{,}0 \times 10^9$ J (2.3.1) ; $Q_{murs} = 9{,}0 \times 10^8$ J ; $Q_{toiture} = 6{,}8 \times 10^8$ J

Les pertes à travers les différentes parois s'ajoutent :

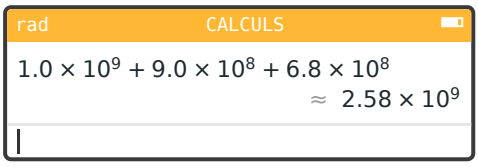
$$Q_{parois} = Q_{sol} + Q_{murs} + Q_{toiture}$$

$$Q_{parois} = 1{,}0 \times 10^9 + 9{,}0 \times 10^8 + 6{,}8 \times 10^8 = 2{,}6 \times 10^9 \text{ J}$$

$$\boxed{Q_{parois} = 2{,}6 \times 10^9 \text{ J}}$$

MÉTHODE
Avant d'additionner des puissances de dix différentes, tout écrire avec le même exposant : $1{,}0 \times 10^9 + 0{,}90 \times 10^9 + 0{,}68 \times 10^9$.

À LA CALCULATRICE



2.4 Que risque-t-il de se passer au niveau du bâtiment du centre de données si rien n'est fait ?

Données utiles $Q_{serveurs} = 8{,}3 \times 10^{11}$ J (2.2) ; $Q_{parois} = 2{,}6 \times 10^9$ J (2.3.2)

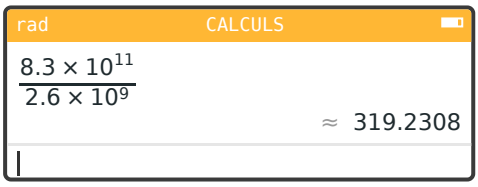
En une journée, les serveurs libèrent $8{,}3 \times 10^{11}$ J alors que les parois, très isolantes, n'évacuent que $2{,}6 \times 10^9$ J, soit environ 320 fois moins.

L'énergie thermique s'accumule donc dans le bâtiment.

Sans refroidissement, la température intérieure augmente fortement : les serveurs risquent la surchauffe et la panne.

COMPRENDRE
L'isolation HQE, utile pour un logement, joue ici contre le bâtiment : elle retient la chaleur produite à l'intérieur. D'où la climatisation permanente évoquée dans le texte.

À LA CALCULATRICE



3.1 Quelle surface de logement le centre de données permet-il de chauffer durant six mois ? La valeur annoncée dans le texte introductif est-elle réaliste ?

Données utiles $Q = 1{,}5 \times 10^{14}$ J en six mois ; $50\ \text{kW} \cdot \text{h}$ par m² de logement ; $1\ \text{kW} \cdot \text{h} = 3{,}6 \times 10^6$ J ; texte : jusqu'à $600\,000\ \text{m}^2$

Énergie nécessaire pour chauffer 1 m² pendant six mois : $E_1 = 50 \times 3{,}6 \times 10^6 = 1{,}8 \times 10^8$ J.

Surface que l'on peut chauffer :

$$S = \frac{Q}{E_1} = \frac{1{,}5 \times 10^{14}}{1{,}8 \times 10^8} = 8{,}3 \times 10^5\ \text{m}^2$$

Le texte annonce jusqu'à $600\,000\ \text{m}^2 = 6 \times 10^5\ \text{m}^2$: même ordre de grandeur, et un peu moins que la valeur calculée, ce qui est cohérent puisque toute l'énergie libérée ne peut pas être récupérée.

$\boxed{S = 8{,}3 \times 10^5\ \text{m}^2}$: la valeur annoncée de $600\,000\ \text{m}^2$ est réaliste.

PIÈGE
Diviser des joules par des kW·h donne un résultat faux d'un facteur $3{,}6 \times 10^6$. Les deux énergies doivent être dans la même unité avant de faire le quotient.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$50 \times 3.6 \times 10^6$ $\approx 1.8 \times 10^8$

$\dfrac{1.5 \times 10^{14}}{50 \times 3.6 \times 10^6}$ ≈ 833333.3

3.2 La machine thermique convertit sans perte l'énergie qu'elle reçoit. Donner la relation entre Q_{eau}, Q_{air} et W.

La machine reçoit Q_{air} (de l'air du centre de données) et W (énergie électrique) ; elle cède Q_{eau} à l'eau du circuit primaire. Sans perte, l'énergie cédée est égale à l'énergie reçue.

$$Q_{eau} = Q_{air} + W$$

COMPRENDRE
Sur le schéma, les flèches entrantes sont les énergies reçues, la flèche sortante l'énergie cédée. Le fonctionnement de cette machine (pompe à chaleur) n'est pas au programme actuel ; la conservation de l'énergie suffit.

3.3 L'eau du circuit primaire entre dans la machine thermique à 10 °C avec un débit de $2 \times 10^2\ \text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Quel mode de chauffage peut-on envisager pour les logements voisins ?

Données utiles $Q_{air} = 5{,}2 \times 10^{11}$ J et $W = 1{,}0 \times 10^5\ \text{kW} \cdot \text{h}$ par jour ; $c_{eau} = 4185\ \text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $\rho_{eau} = 1{,}0 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $\theta_i = 10\ ^\circ\text{C}$; radiateur : 50 à 65 °C ; plancher chauffant : 25 à 30 °C

Démarche : calculer l'énergie reçue par l'eau en une journée, la masse d'eau qui traverse la machine pendant cette durée, puis la température de sortie de l'eau.

Énergie reçue par l'eau en un jour (3.2), avec $W = 1{,}0 \times 10^5 \times 3{,}6 \times 10^6 = 3{,}6 \times 10^{11}$ J :

$$Q_{eau} = Q_{air} + W = 5{,}2 \times 10^{11} + 3{,}6 \times 10^{11} = 8{,}8 \times 10^{11}\ \text{J}$$

Masse d'eau circulant en un jour, avec le débit volumique D et $\Delta t = 24$ h :

$$m_{eau} = \rho_{eau} \times D \times \Delta t = 1{,}0 \times 10^3 \times 2 \times 10^2 \times 24 = 4{,}8 \times 10^6\ \text{kg}$$

Cette eau s'échauffe de θ_i à θ_f : $Q_{eau} = m_{eau}\, c_{eau}\, (\theta_f - \theta_i)$, donc

$$\theta_f = \theta_i + \frac{Q_{eau}}{m_{eau}\, c_{eau}} = 10 + \frac{8{,}8 \times 10^{11}}{4{,}8 \times 10^6 \times 4185} = 54\ ^\circ\text{C}$$

Cette température est comprise entre 50 °C et 65 °C ; elle est trop élevée pour un plancher chauffant (25 à 30 °C).

$\theta_f \approx 54\ ^\circ\text{C}$: un chauffage par **radiateurs** est envisageable.

PIÈGE
Le débit est donné par heure et les énergies par jour : la masse d'eau se calcule sur 24 h. Ne pas oublier non plus de convertir W en joules avant de l'ajouter à Q_{air}.

COMPRENDRE
La relation donne un écart de température (≈ 44 K ou 44 °C) : on l'ajoute directement aux 10 °C d'entrée, sans passer par les kelvins.

MÉTHODE
Question ouverte : annoncer la démarche, puis enchaîner énergie reçue, masse chauffée, relation $Q = m\, c\, \Delta\theta$, et conclure en comparant aux données. Chaque étape juste rapporte des points, même si le calcul n'aboutit pas.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$5.2 \times 10^{11} + 1.0 \times 10^5 \times 3.6 \times 10^6$ $\approx 8.8 \times 10^{11}$

$1.0 \times 10^3 \times 2 \times 10^2 \times 24$ ≈ 4800000

$10 + \dfrac{8.8 \times 10^{11}}{4.8 \times 10^6 \times 4185}$ ≈ 53.80725

Du jus de pomme au vinaigre

Bac S 2016 Polynésie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Établir l'équation de la réaction de fermentation alcoolique du D-glucose. Pourquoi cette fermentation est-elle qualifiée d'alcoolique ?

Sur la représentation de Cram, on compte 6 atomes de carbone, 12 d'hydrogène et 6 d'oxygène : le glucose a pour formule brute $C_6H_{12}O_6$.

D'après le texte, il se forme de l'éthanol CH_3-CH_2-OH, soit C_2H_6O, et du dioxyde de carbone CO_2.

$$C_6H_{12}O_6 \longrightarrow 2\,C_2H_6O + 2\,CO_2$$

La fermentation est dite alcoolique car l'un des produits, l'éthanol, porte le groupe hydroxyle $-OH$: il appartient à la famille des alcools.

PIÈGE
Dans une formule topologique, les atomes d'hydrogène portés par les carbones de la chaîne ne sont pas tous dessinés. Le carbone du bout de chaîne CH_2OH en porte deux.

COMPRENDRE
La représentation de Cram et la notion d'énantiomères ne figurent plus au programme actuel de spécialité. Ici, seul le décompte des atomes est utile.

MÉTHODE
Ajuster dans l'ordre : l'hydrogène impose 2 devant l'éthanol (12 = 2 × 6), puis le carbone impose 2 devant CO_2 (6 = 4 + 2). Vérifier enfin l'oxygène : 6 = 2 + 4.

1.2 Quel est le rôle de la zymase dans la fermentation alcoolique ?

La zymase est une enzyme : elle est nécessaire à la transformation mais n'apparaît pas dans l'équation de la réaction.

La zymase est un **catalyseur** (catalyse enzymatique) : elle diminue la durée de la transformation du glucose, sans être consommée.

COMPRENDRE
Un catalyseur accélère la réaction sans modifier son bilan : il est régénéré en fin de transformation. Une enzyme est de plus très sélective, la zymase n'agit que sur le D-glucose, pas sur son énantiomère.

2.1 Donner le nom en nomenclature systématique de l'acide acétique.

La molécule possède le groupe carboxyle $-COOH$: c'est un acide carboxylique. Sa chaîne carbonée compte deux atomes de carbone, d'où le radical « éthan ».

L'acide acétique est l'**acide éthanoïque**.

PIÈGE
Le carbone du groupe carboxyle fait partie de la chaîne : deux carbones au total, donc « éthanoïque » et non « méthanoïque ».

2.2 Écrire la réaction de fermentation acétique en identifiant les deux produits formés. Montrer que l'éthanol subit une oxydation et en déduire les couples oxydant/réducteur mis en jeu.

Le dioxygène réagit avec l'éthanol pour donner l'acide acétique CH_3-COOH, de formule brute $C_2H_4O_2$. La conservation des éléments montre que le second produit est l'eau :

$$C_2H_6O + O_2 \longrightarrow C_2H_4O_2 + H_2O$$

Demi-équation associée à l'éthanol :

$$C_2H_6O + H_2O = C_2H_4O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^-$$

L'éthanol cède des électrons : il subit bien une oxydation, c'est le réducteur du couple $C_2H_4O_2$ / C_2H_6O.

Ces électrons sont captés par le dioxygène, qui est réduit : $O_2 + 4\,H^+ + 4\,e^- = 2\,H_2O$.

Produits : acide acétique et eau. Couples : $C_2H_4O_2$ / C_2H_6O (acide éthanoïque / éthanol) et O_2 / H_2O.

PIÈGE
Un couple s'écrit toujours oxydant / réducteur. L'éthanol, qui perd des électrons, est le réducteur : il se place à droite.

COMPRENDRE
Les deux demi-équations échangent chacune 4 électrons : leur somme redonne directement l'équation de la fermentation acétique, les ions H^+ et une molécule d'eau se simplifient.

MÉTHODE
Demi-équation en milieu acide : ajuster l'élément principal, puis l'oxygène avec H_2O, l'hydrogène avec H^+, enfin les charges avec des électrons.

3 Déterminer si le cidre mis en fermentation depuis plusieurs semaines peut être commercialisé sous l'appellation vinaigre.

Données utiles $V = (25{,}0 \pm 0{,}1)$ mL de cidre dilué dix fois ; $c = (0{,}15 \pm 0{,}005)\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $U(V_E) = 0{,}2$ mL ; $M = 60\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; teneur minimale : 5,0 g pour 100 mL, tolérance 0,2 degré

Démarche. On détermine par le titrage la masse d'acide acétique dans 100 mL de cidre (degré d), puis on la compare au seuil légal.

Équivalence. Réaction support du titrage : $CH_3COOH + HO^- \longrightarrow CH_3COO^- + H_2O$.

Le volume équivalent est l'abscisse du maximum de la dérivée $\dfrac{\mathrm{d}pH}{\mathrm{d}V_B}$: $V_E = 12{,}5$ mL.

Masse d'acide dans la prise d'essai. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n_{\text{acide}} = c\,V_E$, donc

$$m = c\,V_E\,M = 0{,}15 \times 12{,}5 \times 10^{-3} \times 60 = 0{,}1125\ \text{g}$$

Degré du cidre. Cette masse est contenue dans 25,0 mL de cidre dilué dix fois. Le cidre non dilué en contient dix fois plus dans 25,0 mL, et encore quatre fois plus dans 100 mL :

$$d = m \times 10 \times \frac{100}{25{,}0} = 4{,}5\ \text{g pour } 100\ \text{mL}$$

Incertitude. Avec $C_B = c$:

$$U(d) = 4{,}5 \times \sqrt{\left(\frac{0{,}1}{25{,}0}\right)^2 + \left(\frac{0{,}2}{12{,}5}\right)^2 + \left(\frac{0{,}005}{0{,}15}\right)^2} = 0{,}17$$

arrondie par excès à un chiffre significatif : $d = (4{,}5 \pm 0{,}2)$ degrés.

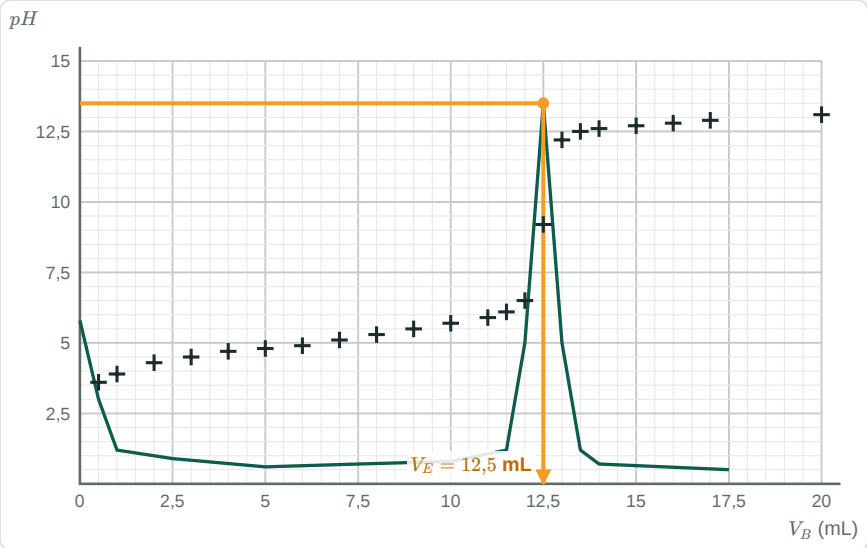
Conclusion. La tolérance abaisse le seuil à $5{,}0 - 0{,}2 = 4{,}8$ degrés. Le degré du cidre est compris entre 4,3 et 4,7.

$d = (4{,}5 \pm 0{,}2)$ degrés : même la valeur haute, 4,7, reste inférieure à 4,8. Ce cidre ne peut pas être vendu sous l'appellation vinaigre.

PIÈGE
Oublier la dilution : sans le facteur 10, on trouve 0,45 degré. Autre oubli fréquent : le passage de 25,0 mL à 100 mL, et la conversion de V_E en litre.

COMPRENDRE
La concentration c n'a que deux chiffres significatifs : d aussi. Une incertitude s'arrondit par excès à un chiffre, et le résultat s'écrit avec la même précision. Le terme lié à c domine largement.

COMPRENDRE
Le sujet note U une incertitude élargie et fournit la formule de composition. Le programme actuel raisonne avec l'incertitude-type u, mais la formule, toujours donnée, s'applique de la même façon.



3 · Graphe du sujet : pH (croix) et dérivée (courbe) ; le maximum de la dérivée donne V_E

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.15 \times 12.5 \times 10^{-3} \times 60$

≈ 0.1125

$\dfrac{0.1125 \times 10 \times 100}{25}$

≈ 4.5

$4.5 \times \sqrt{\left(\frac{0.1}{25}\right)^2 + \left(\frac{0.2}{12.5}\right)^2 + \left(\frac{0.005}{0.15}\right)^2}$

≈ 0.1673559

Spécialité : Dessalement de l'eau de mer

Bac S 2016 Polynésie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Déterminer, parmi les quatre valeurs proposées, celle qui est égale à la concentration molaire moyenne en ions chlorure dans l'eau de mer.

Données utiles salinité $s = 35{,}6\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ (chlorure de sodium seul) ; $M(\text{Na}) = 23{,}0\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(\text{Cl}) = 35{,}5\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $\rho = 1027\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

On raisonne sur $m_{\text{mer}} = 1{,}000$ kg d'eau de mer, qui contient $m = 35{,}6$ g de chlorure de sodium.

Quantité de matière, avec $M(\text{NaCl}) = 23{,}0 + 35{,}5 = 58{,}5\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$:

$$n = \frac{m}{M(\text{NaCl})} = \frac{35{,}6}{58{,}5} = 0{,}609\ \text{mol}.$$

Volume occupé par ce kilogramme, avec $\rho = 1027\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3} = 1{,}027\ \text{kg}\cdot\text{L}^{-1}$:

$$V = \frac{m_{\text{mer}}}{\rho} = \frac{1{,}000}{1{,}027} = 0{,}9737\ \text{L}.$$

La dissolution $\text{NaCl(s)} \longrightarrow \text{Na}^+\text{(aq)} + \text{Cl}^-\text{(aq)}$ libère un ion chlorure par NaCl dissous, donc :

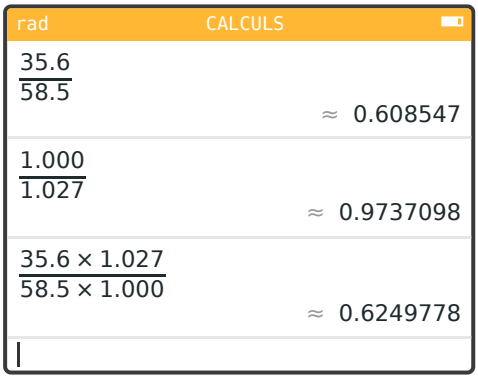
$$[\text{Cl}^-] = \frac{n}{V} = \frac{m\,\rho}{M(\text{NaCl})\,m_{\text{mer}}} = \frac{35{,}6 \times 1{,}027}{58{,}5 \times 1{,}000}$$

$[\text{Cl}^-] = 0{,}625\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$: c'est la troisième valeur proposée.

PIÈGE
Confondre un kilogramme et un litre d'eau de mer conduit à $0{,}609\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, valeur proposée exprès. Un kilogramme d'eau de mer occupe moins d'un litre.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme la salinité et les masses molaires. La salinité est une masse de sel par kilogramme de solution, pas par litre : la masse volumique fait le lien.

À LA CALCULATRICE



2 Expliquer en quoi la technique de dessalement de l'eau de mer par osmose inverse est génératrice de saumures.

L'eau de mer est placée dans le compartiment de la solution la plus concentrée, sur laquelle on exerce une pression.

Sous l'effet de cette pression, l'eau traverse la membrane semi-perméable vers le compartiment le moins concentré : on y recueille l'eau dessalée. Les ions, eux, ne franchissent pas la membrane.

Dans le compartiment sous pression, la quantité de matière n d'ions dissous reste donc la même alors que le volume V de solution diminue : la concentration $c = \frac{n}{V}$ augmente.

Il reste, du côté de l'eau de mer, une solution de plus en plus concentrée en ions, surtout Na^+ et Cl^- : c'est la saumure, qu'il faut ensuite évacuer.

COMPRENDRE
L'osmose ne figure plus au programme actuel de spécialité. Tout ce qu'il faut savoir est dans le document : la membrane laisse passer l'eau, pas les ions, et la pression impose le sens du passage.

MÉTHODE
Pour expliquer une variation de concentration, dire séparément ce que devient la quantité de matière de soluté et ce que devient le volume, puis conclure avec $c = n/V$.

3 On mélange 1,0 L de saumure, analysée par titrage conductimétrique, avec 200 L d'eau de mer avant rejet. Ce rejet présente-t-il un danger pour les écosystèmes marins ?

Données utiles effets sur la posidonie dès $37{,}4\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$; saumure diluée 500 fois (solution S) ; $V_1 = 10{,}00$ mL ; $C_2 = 2{,}00\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $[\text{Cl}^-]_{\text{mer}} = 0{,}625\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (Q1)

Démarche. On calcule la concentration en ions chlorure du mélange rejeté et on la compare à celle d'une eau de salinité $37{,}4\ \text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Seuil de danger. Même calcul qu'à la question 1 : $c_{\text{seuil}} = \dfrac{37{,}4\times1{,}027}{58{,}5} = 0{,}657\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Volume à l'équivalence. La courbe $\sigma = f(V_2)$ présente deux portions rectilignes. On trace les deux droites qui les modélisent : leur point d'intersection repère l'équivalence. On lit $V_{2E} = 11{,}0$ mL.

Concentration de la saumure. À l'équivalence, les réactifs de $\text{Cl}^-\,(\text{aq}) + \text{Ag}^+\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{AgCl}\,(\text{s})$ ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n(\text{Cl}^-)_{\text{initial}} = n(\text{Ag}^+)_{\text{versé}}$, soit $C_S\,V_1 = C_2\,V_{2E}$.

$$C_S = \frac{C_2\,V_{2E}}{V_1} = \frac{2{,}00\times10^{-3}\times11{,}0}{10{,}00} = 2{,}2\times10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

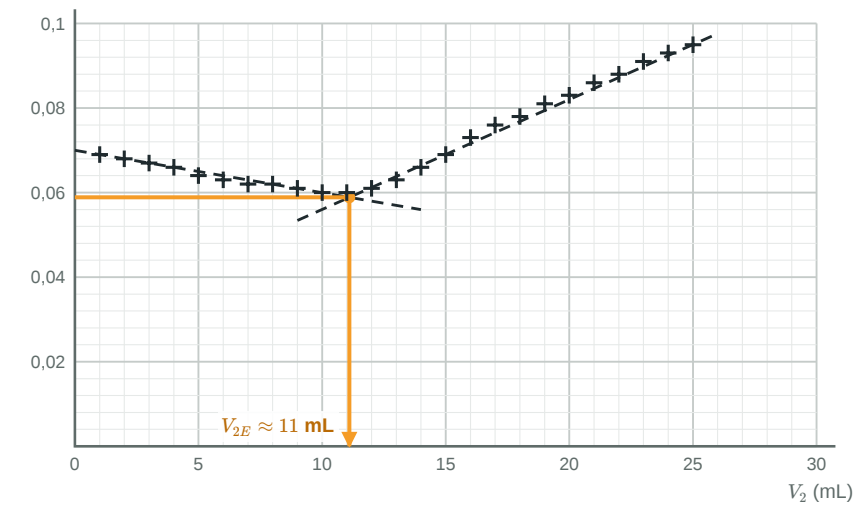
La saumure a été diluée 500 fois : $C = 500\,C_S = 1{,}1\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$.

Concentration du mélange. Les quantités de matière d'ions chlorure s'ajoutent, les volumes aussi ($V = 1{,}0$ L de saumure, $V_{\text{mer}} = 200$ L) :

$$C_{\text{rejet}} = \frac{C\,V + [\text{Cl}^-]_{\text{mer}}\,V_{\text{mer}}}{V + V_{\text{mer}}} = \frac{1{,}1\times1{,}0 + 0{,}625\times200}{1{,}0+200} = 0{,}627\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Conclusion. $C_{\text{rejet}} < c_{\text{seuil}}$: le mélange est à peine plus salé que l'eau de mer naturelle.

$C_{\text{rejet}} = 0{,}627\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1} < 0{,}657\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$: avec cette dilution, le rejet ne présente pas de danger pour les écosystèmes marins.



3 · Courbe du sujet : les deux droites tracées se coupent à l'équivalence

PIÈGE
Oublier le facteur 500 : le titrage donne la concentration de la solution S, pas celle de la saumure. L'eau distillée ajoutée pour immerger la sonde ne change pas la quantité d'ions chlorure titrée.

COMPRENDRE
Avant l'équivalence, chaque ion Cl^- consommé est remplacé par un ion NO_3^- un peu moins conducteur : σ baisse légèrement. Après, les ions Ag^+ et NO_3^- s'accumulent : σ augmente nettement.

MÉTHODE
Les points proches de l'équivalence s'écartent des droites : on trace chaque droite sur les points qui en sont éloignés, puis on lit l'abscisse de l'intersection. Comparer ensuite deux grandeurs de même nature et de même unité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{37.4 \times 1.027}{58.5} \approx 0.6565778$$

$$\frac{2.00 \times 10^{-3} \times 11.0}{10.00} \approx 0.0022$$

$$500 \times 2.2 \times 10^{-3} \approx 1.1$$

$$\frac{1.1 \times 1.0 + 0.625 \times 200}{1.0 + 200} \approx 0.6273632$$