Corrigé complet — Bac S 2020 Antilles-Guyane (ancien programme)

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

Ex 1	**Un ester utilisé en parfumerie** Formules semi-développées et topologiques · Carbone asymétrique et énantiomères · Spectre de RMN du proton · Synthèse d'un ester · Chauffage à reflux et décantation · Rendement	4 pts	50 min	9 questions	p. 2
Ex 2	**La physique au service de la médecine** Ondes ultrasonores et échographie · Niveau d'intensité sonore et atténuation · Longueur d'onde · Niveaux d'énergie et photon · Absorption des rayons X · Débit binaire et image numérique	11 pts	2 h	18 questions	p. 8
Ex 3	**Sauvons la vigne !** Exploitation de documents · Dilution · Oxydoréduction · Titrage colorimétrique · Équivalence · Pourcentage massique	5 pts	55 min	11 questions	p. 14
Ex 4	**Spécialité : Du chlore dans le réseau d'eau potable** Diagramme de prédominance · Solution tampon · Dilution · Dosage par étalonnage · Loi de Beer-Lambert · Concentration en masse	5 pts	50 min	2 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.

Un ester utilisé en parfumerie

Bac S 2020 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Écrire les formules semi-développées de l'acide valérique et de l'acide 2-méthylbutanoïque. Donner le nom de l'acide valérique en nomenclature systématique.

Dans une formule topologique, chaque extrémité ou sommet de la ligne brisée est un atome de carbone, qui porte assez d'atomes d'hydrogène pour former quatre liaisons.

- Acide valérique : $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$
- Acide 2-méthylbutanoïque : $CH_3-CH_2-CH(CH_3)-COOH$, le groupe CH_3 entre parenthèses étant porté par le carbone voisin du groupe carboxyle.

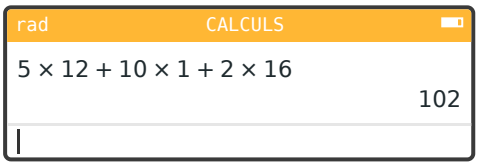
La chaîne de l'acide valérique compte cinq atomes de carbone, sans ramification, avec le groupe carboxyle en bout de chaîne.

L'acide valérique est l'**acide pentanoïque**.

PIÈGE
Le carbone du groupe $-COOH$ compte dans la chaîne et porte le numéro 1 : cinq carbones donnent « pentanoïque », et non « butanoïque ».

COMPRENDRE
Les deux acides ont la même formule brute $C_5H_{10}O_2$: ce sont des isomères de constitution. Leur masse molaire est bien $5 \times 12 + 10 \times 1 + 2 \times 16 = 102\ g \cdot mol^{-1}$, valeur du tableau.

À LA CALCULATRICE



1.2 Ces acides possèdent-ils des carbones asymétriques ? Justifier. Dans le cas où ils existent, dessiner en représentation de Cram les deux énantiomères.

Un carbone asymétrique est un carbone tétraédrique lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents.

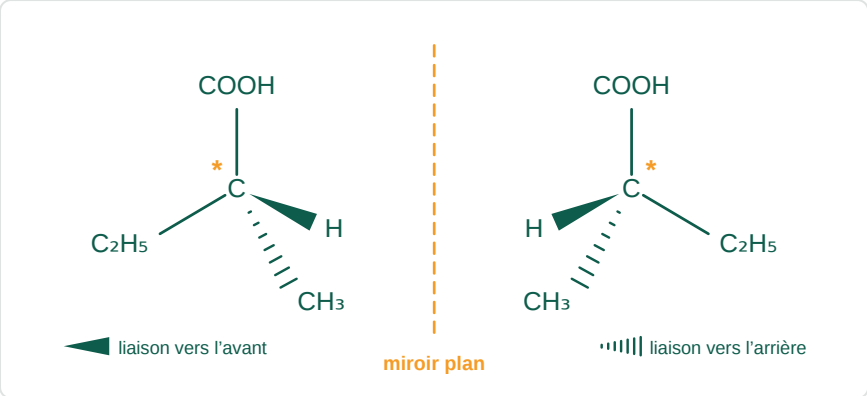
- Acide valérique : chaque carbone de la chaîne porte au moins deux atomes d'hydrogène, et le carbone du groupe carboxyle n'est pas tétraédrique. Il n'a **aucun** carbone asymétrique.
- Acide 2-méthylbutanoïque : le carbone n° 2 est lié à quatre groupes différents, $-H$, $-CH_3$, $-C_2H_5$ et $-COOH$. Il est asymétrique (noté C*). C'est le seul de la molécule.

La molécule est donc chirale : elle existe sous la forme de deux énantiomères, images l'un de l'autre dans un miroir plan et non superposables (schéma).

Seul l'acide 2-méthylbutanoïque possède un carbone asymétrique : le carbone n° 2.

COMPRENDRE
Carbone asymétrique, énantiomères et représentation de Cram appartiennent à l'ancien programme de Terminale S ; ils ne sont plus exigibles dans le programme actuel de spécialité.

MÉTHODE
Pour dessiner deux énantiomères : placer C* au centre, deux liaisons dans le plan, une en avant (triangle plein), une en arrière (hachures). Puis tracer l'image dans un miroir, ou échanger seulement deux groupes.



1.2 · Les deux énantiomères de l'acide 2-méthylbutanoïque en représentation de Cram

1.3 Indiquer dans quel flacon se trouve l'acide valérique. Justifier précisément.

Données utiles figure 1 (flacon A) : doublet, triplet, quintuplet, sextuplet ; figure 2 (flacon B) : deux triplets, quintuplet, sextuplet, avec la courbe d'intégration ; le proton de $-\mathrm{COOH}$ n'apparaît pas.

Règle : des protons équivalents ayant n protons voisins (portés par les carbones voisins) donnent un signal de $n+1$ pics.

Acide valérique $\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-COOH}$, de gauche à droite :

- $\mathrm{CH_3}$: 2 voisins, **triplet** (3 H) ;
- $\mathrm{CH_2}$: $3+2=5$ voisins, **sextuplet** (2 H) ;
- $\mathrm{CH_2}$: $2+2=4$ voisins, **quintuplet** (2 H) ;
- $\mathrm{CH_2}$ lié à $-\mathrm{COOH}$: 2 voisins, **triplet** (2 H).

On attend donc deux triplets, un quintuplet et un sextuplet, sans doublet : c'est le spectre de la figure 2. La courbe d'intégration le confirme : ses paliers sont dans les rapports 2, 2, 2 et 3 (de 2,4 ppm à 0,9 ppm).

Acide 2-méthylbutanoïque $\mathrm{CH_3-CH_2-CH(CH_3)-COOH}$: le groupe $\mathrm{CH_3}$ porté par CH n'a qu'un voisin et donne un **doublet**, présent seulement sur la figure 1.

L'acide valérique est dans le **flacon B** ; le flacon A contient l'acide 2-méthylbutanoïque.

PIÈGE
Les voisins se comptent sur tous les carbones adjacents : le $\mathrm{CH_2}$ voisin de $\mathrm{CH_3}$ a $3+2=5$ voisins. Le proton de $-\mathrm{COOH}$ ne se couple pas, et le carbone du carboxyle ne porte aucun hydrogène.

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN du proton relève de l'ancien programme ; elle n'est plus au programme actuel de spécialité, qui conserve la spectroscopie infrarouge.

MÉTHODE
Un seul signal suffit parfois à trancher : ici le doublet. Il impose des protons n'ayant qu'un seul voisin, ce qui n'existe pas dans l'acide valérique. Chercher d'abord ce signal qui distingue les deux molécules.

2.1 Compléter l'équation chimique de la synthèse, avec les formules topologiques manquantes.

L'éthanol a pour formule $\mathrm{CH_3-CH_2-OH}$. L'ester formé garde la chaîne à cinq carbones de l'acide ; le groupe éthyle de l'alcool remplace l'hydrogène du groupe carboxyle :

$$\mathrm{C_4H_9-COOH + C_2H_5-OH \rightleftharpoons C_4H_9-COO-C_2H_5 + H_2O}$$

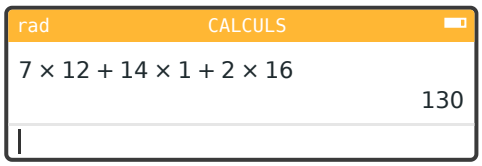
Les formules topologiques sont tracées sur le schéma.

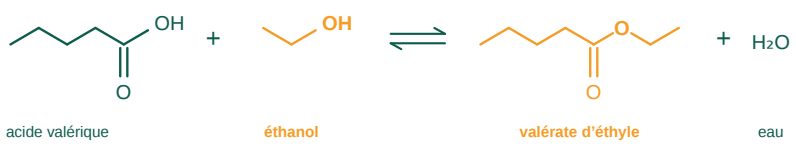
Valérate d'éthyle (pentanoate d'éthyle) : $\mathrm{CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-COO-CH_2-CH_3}$, de formule brute $\mathrm{C_7H_{14}O_2}$.

PIÈGE
En formule topologique, les atomes O s'écrivent, ainsi que le H du groupe OH. L'ester a un oxygène dans la chaîne, entre le carbone du $\mathrm{C{=}O}$ et le groupe éthyle.

COMPRENDRE
Vérification par les masses molaires : $102+46=130+18$. L'ester a bien $M=7\times12+14\times1+2\times16=130\ \mathrm{g\cdot mol^{-1}}$, valeur du tableau.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Équation de la synthèse complétée (en orange : les formules à ajouter)

2.2 Expliquer les rôles du chauffage à reflux puis identifier, parmi les montages A, B et C, celui utilisé pour réaliser la synthèse.

- Chauffer : la température est un facteur cinétique. À température élevée, la transformation est plus rapide.
- À reflux : les vapeurs qui s'échappent du mélange se condensent dans le réfrigérant vertical et retombent dans le ballon. On chauffe ainsi sans perte de matière, ni des réactifs ni des produits.

Le montage à reflux comporte un ballon posé sur un chauffe-ballon et surmonté d'un réfrigérant à eau vertical, ouvert en haut. Les montages A et C ont un réfrigérant incliné qui conduit les vapeurs condensées vers un erlenmeyer : ce sont des montages de distillation (fractionnée pour A, simple pour C).

Le montage utilisé est le **montage B**.

PIÈGE
Deux rôles sont demandés, donc deux réponses : « accélérer » pour le chauffage, « éviter les pertes de matière » pour le reflux. Citer un seul des deux fait perdre des points.

COMPRENDRE
Le chauffage accélère la transformation mais ne la rend pas totale. L'acide sulfurique concentré joue le même rôle : c'est un catalyseur, il n'apparaît pas dans l'équation.

2.3 Schématiser et légender l'ampoule à décanter à la fin de la phase de décantation. Identifier, en justifiant, les positions relatives des deux phases.

Données utiles masses volumiques en $\mathrm{g \cdot mL^{-1}}$: eau salée 1,1 ; valérate d'éthyle 0,877 ; solubilité dans l'eau salée : faible pour l'ester, grande pour l'acide valérique et l'éthanol.

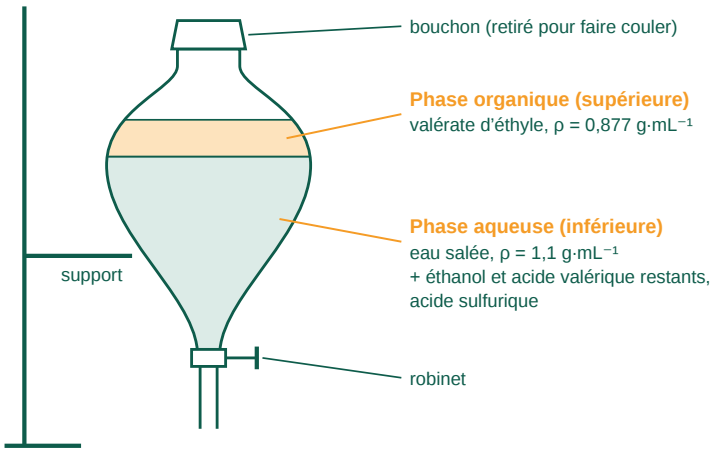
L'ester est peu soluble dans l'eau salée : il forme une phase organique distincte. L'éthanol et l'acide valérique qui n'ont pas réagi, très solubles dans l'eau salée, passent dans la phase aqueuse, avec l'acide sulfurique.

La phase la moins dense surnage. Or $\rho_{\text{ester}} = 0{,}877\ \mathrm{g \cdot mL^{-1}} < \rho_{\text{eau salée}} = 1{,}1\ \mathrm{g \cdot mL^{-1}}$.

La phase organique (ester) est **au-dessus**, la phase aqueuse (eau salée) **au-dessous**.

PIÈGE
Justifier par les masses volumiques, pas par les volumes : avec 200 mL d'eau salée pour 22 mL d'ester, la phase la plus volumineuse est ici en bas, mais ce n'est pas un argument.

COMPRENDRE
L'eau est salée et froide pour diminuer encore la solubilité de l'ester dans la phase aqueuse (relargage) : on en récupère davantage.



2.3 · Ampoule à décanter à la fin de la décantation

2.4 À partir de la valeur du rendement R, déterminer la quantité de matière d'ester qui aurait dû se former si la synthèse avait été totale.

Données utiles $m_{\text{ester,exp}} = 19{,}36$ g ; $M_{\text{ester}} = 130$ g · mol^{-1} ; $R = 87$ %

Quantité d'ester réellement obtenue :

$$n_{\text{exp}} = \frac{m_{\text{ester,exp}}}{M_{\text{ester}}} = \frac{19{,}36}{130} = 0{,}149 \text{ mol}$$

Le rendement est le rapport de la quantité obtenue à la quantité maximale, celle d'une synthèse totale : $R = \dfrac{n_{\text{exp}}}{n_{\text{max}}}$, donc

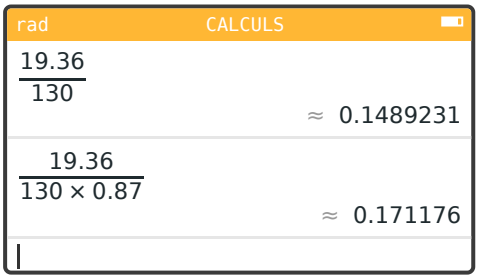
$$n_{\text{max}} = \frac{n_{\text{exp}}}{R} = \frac{m_{\text{ester,exp}}}{M_{\text{ester}} \times R} = \frac{19{,}36}{130 \times 0{,}87} = 0{,}171 \text{ mol}$$

$n_{\text{max}} \approx 0{,}17$ mol (valeur non arrondie : $0{,}171$ mol)

PIÈGE
Multiplier par R au lieu de diviser. Contrôle : la quantité maximale est forcément plus grande que la quantité obtenue ($0{,}171 > 0{,}149$). Et R s'écrit $0{,}87$ dans le calcul, pas 87.

COMPRENDRE
Le rendement n'a que deux chiffres significatifs : le résultat s'écrit $0{,}17$ mol. On garde $0{,}171$ mol pour les calculs suivants, afin de ne pas cumuler les arrondis.

À LA CALCULATRICE



2.5 Montrer que le volume d'éthanol nécessaire à la synthèse est $V_{\text{éthanol}} = 10$ mL et déterminer la masse d'acide valérique m_{acide} utilisée.

Données utiles $n_{\max} = 0{,}171$ mol (2.4) ; éthanol : $M = 46\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$, $\rho = 0{,}789\ \text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$; acide valérique : $M = 102\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

D'après l'équation, une mole d'acide et une mole d'éthanol donnent au plus une mole d'ester. Le mélange initial est équimolaire, donc :

$$n_{\text{éthanol}} = n_{\text{acide}} = n_{\max} = 0{,}171\ \text{mol}$$

Volume d'éthanol, avec $m = n \times M$ et $V = \dfrac{m}{\rho}$:

$$V_{\text{éthanol}} = \frac{n_{\text{éthanol}} \times M_{\text{éthanol}}}{\rho_{\text{éthanol}}} = \frac{0{,}171 \times 46}{0{,}789} = 9{,}97\ \text{mL}$$

Arrondi à deux chiffres significatifs, on retrouve bien $V_{\text{éthanol}} = 10$ mL.

Masse d'acide valérique :

$$m_{\text{acide}} = n_{\text{acide}} \times M_{\text{acide}} = 0{,}171 \times 102 = 17{,}4\ \text{g}$$

$V_{\text{éthanol}} = 9{,}97\ \text{mL} \approx 10\ \text{mL}$ (valeur attendue) et $m_{\text{acide}} \approx 17\ \text{g}$

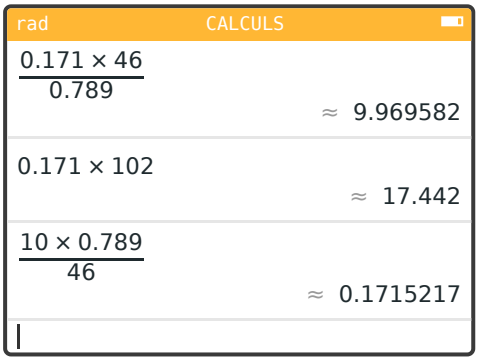
COMPRENDRE

Vérification en sens inverse : 10 mL d'éthanol pèsent 7,89 g, soit 0,172 mol, donc $0{,}172 \times 102 \approx 17$ g d'acide. Le résultat est donné avec deux chiffres significatifs, comme R.

MÉTHODE

Pour un liquide, passer de la quantité de matière au volume en deux temps : $m = n \times M$, puis $V = m/\rho$. Avec ρ en $\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ et m en g, le volume sort directement en mL.

À LA CALCULATRICE



2.6 Comment peut-on vérifier que le produit obtenu à l'issue de la synthèse est bien le valérate d'éthyle ?

Données utiles $m_{\text{ester,exp}} = 19{,}36\ \text{g}$; $V_{\text{ester}} = 22\ \text{mL}$; $\rho_{\text{ester}} = 0{,}877\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ (tableau)

On compare une propriété mesurée du produit à celle, connue, du valérate d'éthyle. Plusieurs méthodes conviennent :

- mesurer une grandeur caractéristique : masse volumique, température d'ébullition ou indice de réfraction, et la comparer à la valeur de référence ;
- réaliser un spectre : en infrarouge, on doit trouver la bande $\text{C}{=}\text{O}$ d'un ester et ne plus voir la bande large $\text{O}{-}\text{H}$ de l'acide et de l'alcool ; en RMN, le spectre doit correspondre à la formule de l'ester ;
- réaliser une chromatographie sur couche mince avec, comme témoin, du valérate d'éthyle du commerce : les taches doivent être à la même hauteur.

Les résultats du compte rendu permettent déjà un premier contrôle :

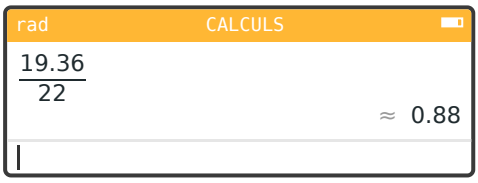
$$\rho_{\text{exp}} = \frac{m_{\text{ester,exp}}}{V_{\text{ester}}} = \frac{19{,}36}{22} = 0{,}88\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$$

$\rho_{\text{exp}} = 0{,}88\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, en accord avec $0{,}877\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$: le produit est compatible avec le valérate d'éthyle, à confirmer par un spectre.

COMPRENDRE

Une seule grandeur en accord ne prouve pas l'identité du produit : d'autres liquides ont une masse volumique proche. Un spectre apporte une preuve bien plus sûre, et renseigne aussi sur la pureté.

À LA CALCULATRICE



La physique au service de la médecine

Bac S 2020 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 2 **11 points** **Durée conseillée 2 h**

1.1 Donner une caractéristique d'une onde ultrasonore.

Une onde ultrasonore est une onde mécanique : elle ne se propage que dans un milieu matériel, sans transport de matière.

Onde mécanique, de fréquence supérieure à 20 kHz, donc inaudible pour l'être humain.

COMPRENDRE
Une seule caractéristique suffit : onde mécanique, onde longitudinale, fréquence supérieure à 20 kHz ou propagation impossible dans le vide.

1.2 Comparer les célérités des ultrasons dans le calcul biliaire et dans l'air, puis proposer une explication de la différence.

Données utiles $v_{\text{calcul}} = 1{,}54 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$; $v_{\text{air}} = 3{,}46 \times 10^2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

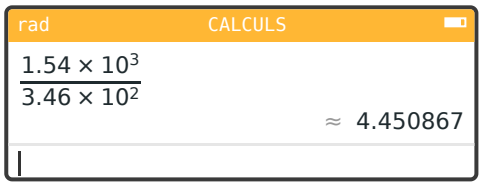
$$\frac{v_{\text{calcul}}}{v_{\text{air}}} = \frac{1{,}54 \times 10^3}{3{,}46 \times 10^2} = 4{,}45$$

Le calcul biliaire est un solide : ses constituants sont beaucoup plus proches et plus liés entre eux que les molécules d'un gaz, la perturbation se transmet donc plus vite de proche en proche.

Les ultrasons sont environ 4,5 fois plus rapides dans le calcul (solide) que dans l'air (gaz).

PIÈGE
« Comparer » demande un rapport chiffré, pas seulement « plus grande ».

À LA CALCULATRICE



1.3.1 Expliquer l'origine des trois signaux présents sur l'enregistrement de la figure 3.

Chaque fois que la salve change de milieu, une partie de l'onde est réfléchie et revient vers la sonde : chaque signal est un écho.

- $t_A = 80\ \mu\text{s}$: écho sur la surface tissu–vésicule (point A) ;
- $t_B = 130\ \mu\text{s}$: écho sur la face avant du calcul (point B) ;
- $t_C = 150\ \mu\text{s}$: écho sur la face arrière du calcul (point C).

Trois échos, renvoyés par les trois surfaces de séparation rencontrées en A, B et C.

COMPRENDRE
Plus la surface réfléchissante est profonde, plus l'écho revient tard. L'amplitude décroît car l'onde s'atténue et perd de l'énergie à chaque réflexion.

1.3.2 Déterminer une des dimensions du calcul biliaire accessible par cet examen.

Données utiles $t_B = 130\ \mu\text{s}$; $t_C = 150\ \mu\text{s}$; $v_{\text{calcul}} = 1{,}54 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

On peut déterminer l'épaisseur BC du calcul. L'écho venu de C a parcouru en plus un aller-retour dans le calcul, soit $2\,BC$, pendant $\Delta t = t_C - t_B = 20\ \mu\text{s}$.

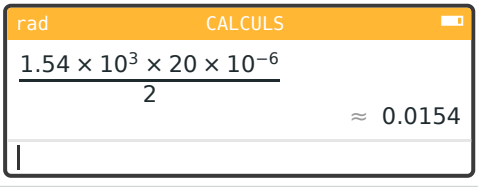
$$BC = \frac{v_{\text{calcul}} \times \Delta t}{2} = \frac{1{,}54 \times 10^3 \times 20 \times 10^{-6}}{2} = 1{,}5 \times 10^{-2} \text{ m}$$

L'épaisseur du calcul est $BC \approx 1{,}5$ cm.

PIÈGE
Oublier la division par 2 : l'onde traverse le calcul à l'aller puis au retour. Sans elle, on trouve le double, 3,1 cm.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la durée de 20 µs lue sur le graphique. Le même calcul donne $OA = 5{,}6$ cm, cohérent avec les « 5 cm sous la peau ».

À LA CALCULATRICE



1.4.1 Montrer que le niveau d'intensité sonore L de l'onde émise par la sonde est égal à 100 dB.

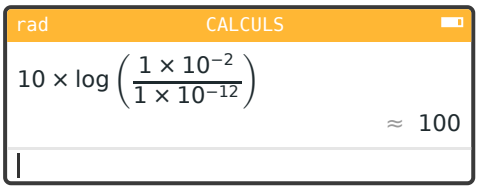
Données utiles $I = 1 \times 10^{-2}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; $I_0 = 1 \times 10^{-12}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

$$L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{1 \times 10^{-2}}{1 \times 10^{-12}}\right) = 10 \log\left(10^{10}\right)$$

$L = 10 \times 10 = 100$ dB, la valeur attendue.

PIÈGE
Utiliser la touche ln au lieu de log : le niveau sonore se calcule avec le logarithme décimal.

À LA CALCULATRICE



1.4.2 La vésicule est à environ 5 cm sous la peau. Montrer par un calcul qu'il est plus judicieux d'utiliser la fréquence $f_1 = 5{,}0$ MHz plutôt que $f_2 = 10$ MHz.

Données utiles $\alpha = 1\ \text{dB} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1}$; $L = 100$ dB (1.4.1)

D'après l'unité de α, l'atténuation en dB vaut $A = \alpha \times d \times f$, où d est la distance totale parcourue. L'onde fait l'aller-retour : $d = 2 \times 5 = 10\ \text{cm}$.

$A_1 = 1 \times 10 \times 5{,}0 = 50\ \text{dB}$ $\quad$ $A_2 = 1 \times 10 \times 10 = 100\ \text{dB}$

Niveau de l'écho reçu : $L - A_1 = 50$ dB à 5,0 MHz, mais $L - A_2 = 0$ dB à 10 MHz.

À 10 MHz l'écho est deux fois plus atténué (100 dB contre 50 dB) et n'est plus détectable : on choisit $f_1 = 5{,}0$ MHz.

PIÈGE
Prendre $d = 5$ cm : l'énoncé parle de la distance « totale » parcourue par l'onde reçue, donc de l'aller et du retour.

MÉTHODE
Quand une formule n'est pas donnée, l'unité du coefficient la fournit : des $\text{dB} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1}$ se multiplient par des cm et des MHz pour donner des dB.

1.4.3 Calculer la longueur d'onde λ_1 de l'onde ultrasonore dans la vésicule pour la fréquence $f_1 = 5{,}0$ MHz.

Données utiles $v_{\text{vésicule}} = 1{,}50 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f_1 = 5{,}0 \times 10^6\ \text{Hz}$

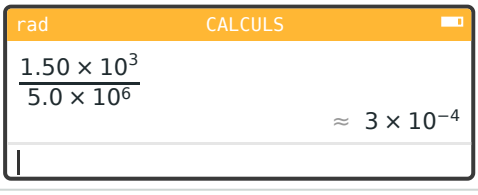
L'onde se propage dans la vésicule : on utilise la célérité dans ce milieu, et la fréquence en hertz.

$$\lambda_1 = \frac{v_{\text{vésicule}}}{f_1} = \frac{1{,}50 \times 10^3}{5{,}0 \times 10^6}$$

$\lambda_1 = 3{,}0 \times 10^{-4}\ \text{m} = 0{,}30\ \text{mm}$

PIÈGE
Se tromper de colonne dans le tableau et prendre la célérité dans le calcul biliaire.

À LA CALCULATRICE



1.4.4 Expliquer pourquoi l'échographie de la thyroïde, située à environ 2 cm sous la peau, se fait à 10 MHz plutôt qu'à 5,0 MHz, la résolution spatiale souhaitée étant de 0,2 mm.

Données utiles $\lambda_1 = 0{,}30$ mm (1.4.3) ; $\alpha = 1\ \text{dB} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{MHz}^{-1}$; $L = 100$ dB (1.4.1)

La longueur d'onde est inversement proportionnelle à la fréquence : à 10 MHz, $\lambda_2 = \dfrac{\lambda_1}{2} = 0{,}15\ \text{mm}$, du même ordre que les 0,2 mm souhaités, alors que 0,30 mm est trop grand.

L'atténuation reste acceptable car l'organe est peu profond : $A = 1 \times (2 \times 2) \times 10 = 40\ \text{dB}$, l'écho revient avec un niveau de 60 dB.

À 10 MHz, $\lambda \approx 0{,}15$ mm permet de voir des détails de 0,2 mm, et l'atténuation (40 dB) reste modérée à 2 cm de profondeur.

COMPRENDRE
Le choix d'une sonde est un compromis : une fréquence élevée donne des images plus fines, mais l'onde pénètre moins profondément. On estime ici λ_2 avec la célérité dans la vésicule, voisine de celle des autres tissus mous.

2.1.1 Donner la composition du noyau de l'atome de rhodium.

Données utiles $^{103}_{45}\text{Rh}$

$Z = 45$: le noyau contient 45 protons. $A = 103$ nucléons, donc $A - Z = 103 - 45 = 58$ neutrons.

45 protons et 58 neutrons.

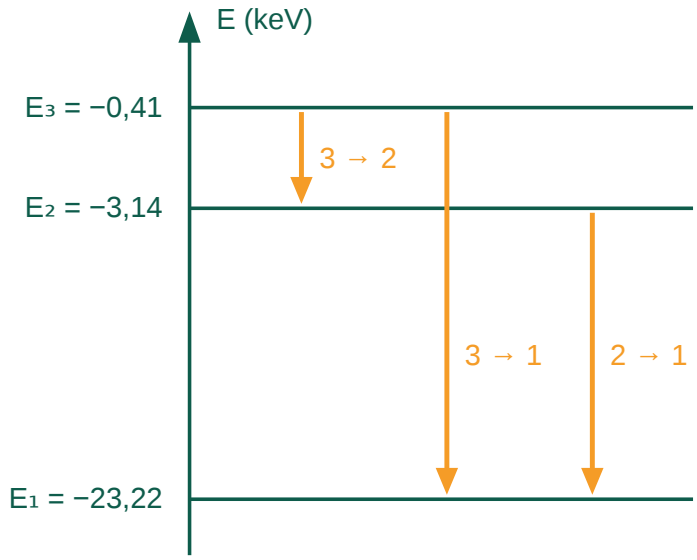
PIÈGE
Ajouter 45 électrons : on demande la composition du noyau, pas celle de l'atome.

2.1.2 Reproduire le diagramme des niveaux d'énergie du rhodium et y représenter par des flèches toutes les transitions pouvant s'accompagner de l'émission d'un photon.

L'atome émet un photon lorsqu'il passe d'un niveau d'énergie à un niveau d'énergie plus basse : les flèches sont donc dirigées vers le bas.

Trois transitions possibles : $E_3 \to E_2$, $E_3 \to E_1$ et $E_2 \to E_1$ (voir le diagramme).

PIÈGE
Tracer des flèches vers le haut : elles représenteraient une absorption d'énergie, pas une émission. Ne pas oublier la transition directe $E_3 \to E_1$.



2.1.2 · Diagramme des niveaux d'énergie du rhodium : les trois transitions avec émission d'un photon (en orange)

2.1.3 L'énergie d'un photon libéré lors d'une de ces transitions est $E_\beta = 3{,}65 \times 10^{-15}$ J. Identifier cette transition en justifiant.

Données utiles $1\ \text{eV} = 1{,}60 \times 10^{-19}$ J ; $E_1 = -23{,}22$ keV ; $E_2 = -3{,}14$ keV ; $E_3 = -0{,}41$ keV

$$E_\beta = \frac{3{,}65 \times 10^{-15}}{1{,}60 \times 10^{-19}} = 2{,}28 \times 10^4\ \text{eV} = 22{,}8\ \text{keV}$$

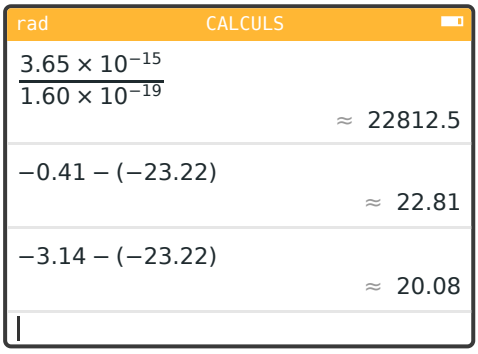
L'énergie du photon est égale à l'écart entre les deux niveaux :

- $E_3 - E_2 = -0{,}41 - (-3{,}14) = 2{,}73$ keV ;
- $E_2 - E_1 = -3{,}14 - (-23{,}22) = 20{,}08$ keV ;
- $E_3 - E_1 = -0{,}41 - (-23{,}22) = 22{,}81$ keV.

$E_\beta = 22{,}8$ keV $= E_3 - E_1$: c'est la transition du niveau E_3 vers le niveau E_1.

MÉTHODE
Convertir d'abord l'énergie du photon dans l'unité du diagramme (ici le keV), puis la comparer aux écarts entre niveaux.

À LA CALCULATRICE



2.1.4 Déterminer la longueur d'onde du rayonnement associé à cette transition. Ce résultat est-il cohérent avec le domaine de fonctionnement de l'appareil ?

Données utiles $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J·s ; $c = 3{,}00 \times 10^8$ m·s^{-1} ; $E_\beta = 3{,}65 \times 10^{-15}$ J

$E_\beta = \dfrac{h\,c}{\lambda}$ donc

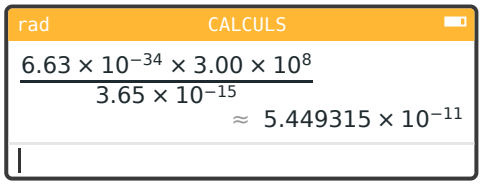
$$\lambda = \frac{h\,c}{E_\beta} = \frac{6{,}63 \times 10^{-34} \times 3{,}00 \times 10^8}{3{,}65 \times 10^{-15}} = 5{,}45 \times 10^{-11}\ \text{m}$$

Sur le spectre fourni, les rayons X correspondent à $10^{-12}\ \text{m} < \lambda < 10^{-8}\ \text{m}$: la valeur trouvée est dans cet intervalle.

$\lambda = 5{,}45 \times 10^{-11}$ m $= 54{,}5$ pm : c'est bien un rayonnement X, résultat cohérent.

PIÈGE
Utiliser l'énergie en keV dans la formule : avec h en J·s, l'énergie doit être en joules.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 Analyser qualitativement l'influence de la masse volumique des tissus et de l'énergie des photons sur le coefficient d'absorption μ.

- À énergie fixée, les courbes s'étagent dans l'ordre des masses volumiques (poumons, graisse, muscle, os) : plus le tissu est dense, plus μ est grand.
- Pour un tissu donné, chaque courbe est décroissante : plus l'énergie des photons est grande, plus μ est petit.

μ augmente avec la masse volumique du tissu et diminue quand l'énergie des photons augmente.

COMPRENDRE
L'axe vertical de la figure 5 est gradué en puissances (0,02 ; 0,05 ; 0,1…) : les écarts entre tissus sont bien plus grands qu'ils n'en ont l'air. La chute de μ est très rapide en dessous de 50 keV.

2.2.2 Calculer, puis comparer la CDA d'un os à celle des poumons pour $E = 70$ keV. Comment peut-on interpréter ce résultat ?

Données utiles figure 5, à 70 keV : $\mu_{os} \approx 0{,}5\ \text{cm}^{-1}$; $\mu_{poumons} \approx 0{,}07\ \text{cm}^{-1}$

$\mu = \dfrac{\ln(2)}{CDA}$ donc $CDA = \dfrac{\ln(2)}{\mu}$.

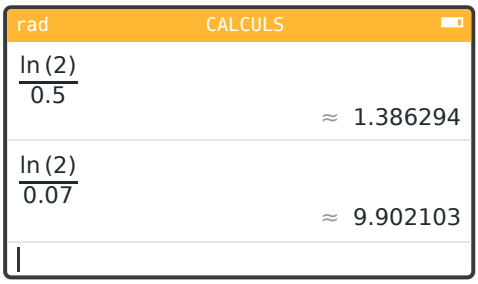
$CDA_{os} = \dfrac{\ln(2)}{0{,}5} = 1{,}4\ \text{cm}$ $\qquad$ $CDA_{poumons} = \dfrac{\ln(2)}{0{,}07} \approx 10\ \text{cm}$

Il faut environ 7 fois plus d'épaisseur de poumon que d'os pour absorber la moitié du rayonnement : l'os absorbe beaucoup plus les rayons X. Derrière un os, le détecteur reçoit peu de rayons : c'est ce contraste qui forme l'image.

$CDA_{os} \approx 1{,}4\ \text{cm}$ et $CDA_{poumons} \approx 10\ \text{cm}$: les os arrêtent bien mieux les rayons X que les poumons.

COMPRENDRE
La lecture sur une échelle non régulière est peu précise : selon le tracé, on accepte des valeurs voisines (par exemple 0,06 à 0,07 pour les poumons). C'est l'ordre de grandeur et la comparaison qui comptent.

À LA CALCULATRICE



3.1 Vérifier par un calcul la taille de l'image UHD-8K donnée dans le tableau.

Données utiles matrice 7680×4320 pixels ; 24 bits par pixel ; 1 octet = 8 bits ; taille annoncée : 100 Mo

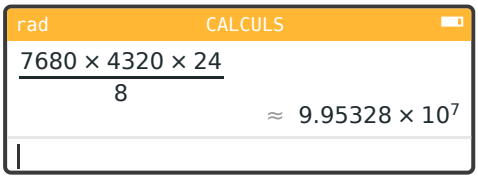
Nombre de pixels : $7680 \times 4320 = 3{,}318 \times 10^7$. Chaque pixel est codé sur 24 bits, soit $\dfrac{24}{8} = 3$ octets.

$$\text{taille} = 7680 \times 4320 \times 3 = 9{,}95 \times 10^7\ \text{octets}$$

Taille $= 99{,}5\ \text{Mo} \approx 100\ \text{Mo}$: la valeur du tableau est vérifiée.

COMPRENDRE
La transmission numérique (codage d'une image, débit binaire) ne figure plus au programme de spécialité de terminale depuis 2021. Les questions de cette partie restent un bon entraînement aux calculs de proportionnalité et aux conversions.

À LA CALCULATRICE



3.2 La transmission d'une image UHD-8K en VDSL dure environ une minute. Montrer que la technologie Gigabit Ethernet est plus adaptée à la téléconsultation.

Données utiles taille : 100 Mo ; débit Gigabit Ethernet : $D = 1000\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$

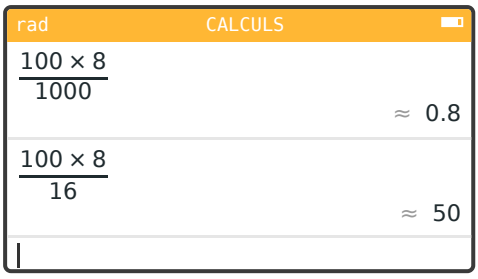
Taille en bits : $N = 100 \times 8 = 800\ \text{Mbit}$.

$$\Delta t = \frac{N}{D} = \frac{800}{1000} = 0{,}80\ \text{s}$$

$\Delta t = 0{,}80\ \text{s}$ en Gigabit Ethernet, contre environ une minute en VDSL : l'image arrive presque instantanément, ce qui convient à une consultation en direct.

PIÈGE
Diviser des mégaoctets par des mégabits par seconde : la taille doit d'abord être convertie en bits (× 8).

À LA CALCULATRICE



3.3 Calculer la durée moyenne de transmission d'un ensemble de 10 dossiers médicaux de 4 Go en VDSL. Commenter.

Données utiles 10 dossiers de 4 Go ; débit VDSL : $D = 16\ \text{Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$

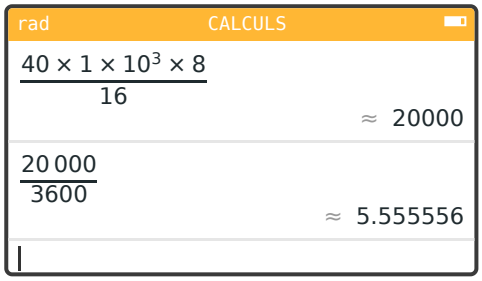
Taille totale : $10 \times 4 = 40\ \text{Go} = 40 \times 10^3\ \text{Mo}$, soit $N = 40 \times 10^3 \times 8 = 3{,}2 \times 10^5\ \text{Mbit}$.

$$\Delta t = \frac{N}{D} = \frac{3{,}2 \times 10^5}{16} = 2{,}0 \times 10^4\ \text{s}$$

Cette durée est beaucoup trop longue pour une téléconsultation : il faut réduire la taille des fichiers.

$\Delta t = 2{,}0 \times 10^4\ \text{s} \approx 5{,}6\ \text{h}$: durée incompatible avec une consultation en direct.

À LA CALCULATRICE



3.4 Proposer un format d'image adapté à la téléconsultation simultanée de 10 dossiers, en précisant le taux de compression choisi.

Données utiles $\Delta t = 2{,}0 \times 10^4$ s sans compression (3.3) ; JPEG-LS : taux de 2 à 8, pertes réversibles ; JPEG standard : taux de 3 à 100, pertes irréversibles

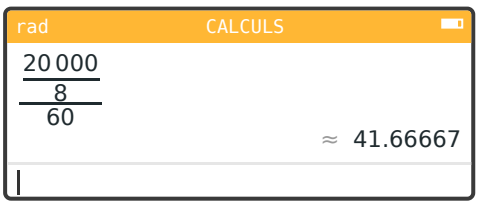
Un diagnostic exige des images fidèles : on écarte le JPEG standard, dont les pertes d'informations sont irréversibles. On retient le JPEG-LS, avec son taux de compression maximal, 8.

La taille, donc la durée de transmission, est divisée par 8 : $\Delta t' = \frac{2{,}0 \times 10^4}{8} = 2{,}5 \times 10^3\ \text{s} \approx 42\ \text{min}$.

Format JPEG-LS avec un taux de compression de 8 : la transmission dure environ 42 min au lieu de 5,6 h.

COMPRENDRE
Toute réponse argumentée est acceptée : un JPEG standard de taux 100 ramènerait la durée à 200 s, mais avec une qualité trop dégradée pour un usage médical.

À LA CALCULATRICE



Sauvons la vigne !

Bac S 2020 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 55 min**

1.1 Déterminer la masse, en tonnes, de matière organique (MO) manquante pour cette parcelle.

Données utiles superficie $S = 0{,}57$ ha ; MO actuelle : $28\ \text{t/ha}$; MO souhaitée : $44\ \text{t/ha}$

Il manque, par hectare : $44 - 28 = 16\ \text{t/ha}$.

Pour la parcelle de superficie $S = 0{,}57$ ha :

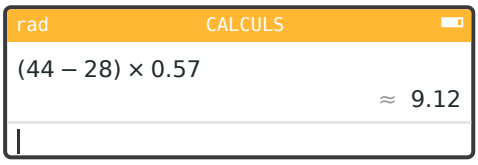
$$m_{\text{MO}} = (44 - 28) \times 0{,}57 = 9{,}1\ \text{t}$$

$m_{\text{MO}} = 9{,}1$ t de matière organique manquante

PIÈGE
Répondre 16 t : c'est la masse manquante par hectare, alors que la parcelle mesure $0{,}57$ ha.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $0{,}57$ ha. Pour la suite, on garde la valeur non arrondie $9{,}12$ t dans la calculatrice.

À LA CALCULATRICE



1.2 En déduire le nombre de maxi-sacs d'engrais que le viticulteur devra commander.

Données utiles $m_{\text{MO}} = 9{,}12$ t (1.1) ; MO apportée : 350 kg par tonne d'engrais ; maxi-sac de 500 kg

Une tonne d'engrais apporte $350\ \text{kg} = 0{,}350$ t de matière organique.
Masse d'engrais nécessaire :

$$m_{\text{engrais}} = \frac{9{,}12}{0{,}350} = 26{,}1\ \text{t}$$

Un maxi-sac contient $500\ \text{kg} = 0{,}500$ t d'engrais :

$$N = \frac{26{,}1}{0{,}500} = 52{,}1$$

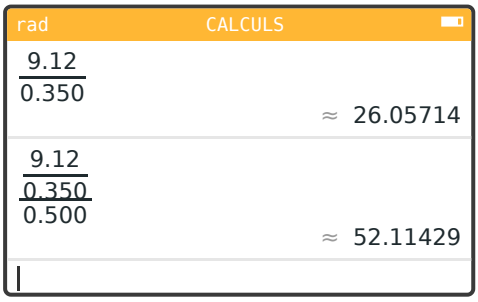
Il faut un nombre entier de sacs, suffisant pour apporter toute la matière organique : on arrondit à l'entier supérieur.

Le viticulteur devra commander 53 maxi-sacs.

COMPRENDRE
52 sacs apportent $52 \times 0{,}500 \times 0{,}350 = 9{,}10$ t, soit le besoin à $0{,}2\ \%$ près : la réponse 52, obtenue avec $9{,}1$ t arrondi, est défendable si elle est justifiée.

MÉTHODE
Un nombre d'objets à commander est entier : on calcule la valeur exacte, puis on arrondit par excès pour couvrir le besoin.

À LA CALCULATRICE



1.3 En plus de l'apport de matière organique (MO), citer deux autres avantages à utiliser cet engrais.

D'après le rapport d'expertise et la fiche de l'engrais :

- il apporte de l'azote ($3\ \%$ d'azote total), alors que le stock du sol ($32\ \text{kg/ha}$) est inférieur au besoin annuel de la vigne ($39\ \text{kg/ha}$) ;
- il augmente l'indice d'activité biologique ($+93\ \%$ par rapport à un sol non amendé), alors que celui du sol est faible ($1{,}1\ \%$).

Deux avantages : l'apport d'azote et l'augmentation de l'activité biologique du sol.

MÉTHODE
Chaque avantage cité doit répondre à un défaut relevé dans le rapport d'expertise : on met en regard une ligne du rapport et une ligne de la fiche de l'engrais.

2.1 Choisir, dans la liste proposée, la verrerie nécessaire pour réaliser avec précision la dilution de l'engrais d'un facteur 50.

Lors d'une dilution, la quantité de matière de soluté est conservée, donc le facteur de dilution vaut $F = \dfrac{V_{\text{fille}}}{V_{\text{mère}}} = 50$.

Une dilution précise utilise de la verrerie jaugée : une pipette jaugée pour prélever la solution mère, une fiole jaugée pour préparer la solution fille.

Avec la pipette jaugée de 10 mL et la fiole jaugée de 500 mL : $F = \dfrac{500}{10} = 50$.

On ajoute un bécher de 50 mL, dans lequel on verse un peu d'engrais pour y plonger la pipette.

Pipette jaugée de 10 mL, fiole jaugée de 500 mL et bécher de 50 mL.

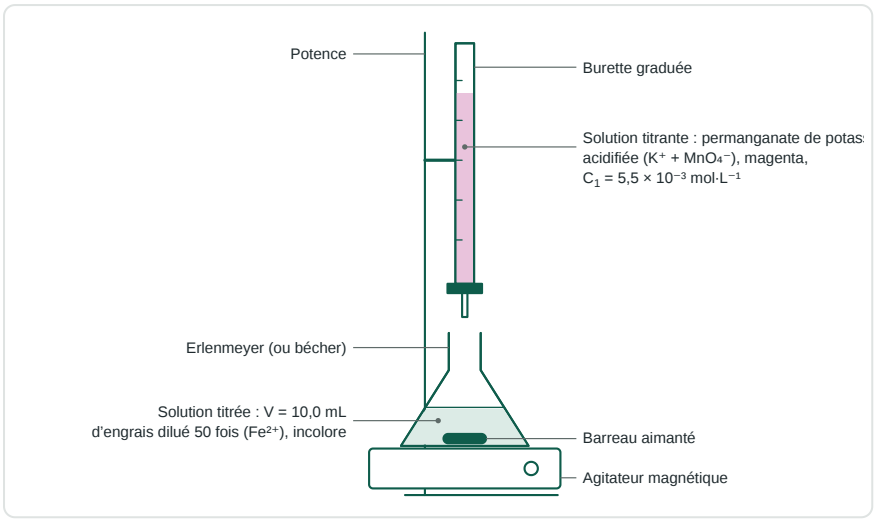
COMPRENDRE
Le couple pipette jaugée de 5 mL et fiole jaugée de 250 mL convient aussi ($250 \div 5 = 50$). Les éprouvettes graduées et les béchers ne sont pas assez précis pour mesurer un volume.

2.2 Réaliser le schéma légendé du titrage d'un volume $V = 10{,}0$ mL de la solution diluée d'engrais par la solution acidifiée de permanganate de potassium.

Schéma ci-dessous. La solution titrante (permanganate de potassium, de concentration connue C_1) est dans la burette graduée ; la solution titrée ($V = 10{,}0$ mL d'engrais dilué, prélevés à la pipette jaugée) est dans l'erlenmeyer, sous agitation magnétique.

Burette : solution de permanganate de potassium ; erlenmeyer : $10{,}0$ mL d'engrais dilué ; agitateur magnétique.

PIÈGE
Inverser les deux solutions, ou donner une légende incomplète : il faut nommer la verrerie et les deux solutions, en précisant laquelle est titrante et laquelle est titrée.



2.2 · Montage du titrage colorimétrique des ions fer(II) par les ions permanganate

2.3 Écrire la demi-équation du couple $\mathrm{Fe^{3+}(aq)/Fe^{2+}(aq)}$ et en déduire l'équation de la réaction support du titrage.

Couple $\mathrm{Fe^{3+}/Fe^{2+}}$, demi-équation à multiplier par 5 :

$$\mathrm{Fe^{2+}(aq) = Fe^{3+}(aq) + e^-}$$

Couple $\mathrm{MnO_4^-/Mn^{2+}}$:

$$\mathrm{MnO_4^-(aq) + 8\,H^+(aq) + 5\,e^- = Mn^{2+}(aq) + 4\,H_2O(l)}$$

Les 5 électrons captés par $\mathrm{MnO_4^-}$ sont cédés par 5 ions $\mathrm{Fe^{2+}}$. En additionnant (espèces en solution aqueuse, eau liquide) :

$$\mathrm{MnO_4^- + 5\,Fe^{2+} + 8\,H^+ \longrightarrow Mn^{2+} + 5\,Fe^{3+} + 4\,H_2O}$$

COMPRENDRE
Les ions $\mathrm{H^+}$ sont un réactif : c'est pour cela que la solution de permanganate est acidifiée.

MÉTHODE
Vérifier l'équation finale : aucun électron, mêmes éléments de chaque côté, même charge totale (ici $-1+10+8=+17$ à gauche, $2+15=+17$ à droite).

2.4 Définir l'équivalence, puis expliquer comment le technicien va repérer l'équivalence de ce titrage.

À l'équivalence, le réactif titré et le réactif titrant ont été introduits dans les proportions stœchiométriques de la réaction support du titrage : ils sont tous deux entièrement consommés.

Repérage : avant l'équivalence, les ions $\mathrm{MnO_4^-}$ versés sont consommés par les ions $\mathrm{Fe^{2+}}$ en excès et la solution reste incolore. Dès que les ions $\mathrm{Fe^{2+}}$ sont épuisés, les ions $\mathrm{MnO_4^-}$ versés ne réagissent plus et colorent la solution.

L'équivalence est repérée par la persistance d'une coloration rose (magenta pâle) dans l'erlenmeyer, à la goutte près.

PIÈGE
Écrire « à l'équivalence, les quantités de matière sont égales ». Ici il faut cinq fois plus d'ions $\mathrm{Fe^{2+}}$ que d'ions $\mathrm{MnO_4^-}$.

2.5 Montrer que la concentration molaire en fer de l'engrais dilué est donnée par la relation $C_2 = \dfrac{5\,C_1\,V_E}{V}$.

Données utiles $C_1 = 5{,}5 \times 10^{-3}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_E = 7{,}5$ mL ; $V = 10{,}0$ mL

À l'équivalence, les réactifs sont dans les proportions stœchiométriques de l'équation (1 ion MnO_4^- pour 5 ions Fe^{2+}) :

$$\frac{n(Fe^{2+})_{\text{titré}}}{5} = \frac{n(MnO_4^-)_{\text{versé}}}{1}$$

Avec $n(Fe^{2+})_{\text{titré}} = C_2\,V$ et $n(MnO_4^-)_{\text{versé}} = C_1\,V_E$: $\dfrac{C_2\,V}{5} = C_1\,V_E$

$$C_2 = \frac{5 \times 5{,}5 \times 10^{-3} \times 7{,}5}{10{,}0} = 2{,}1 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

$C_2 = \dfrac{5\,C_1\,V_E}{V}$, soit $C_2 = 2{,}1 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

PIÈGE
Placer le 5 du mauvais côté. Il faut plus d'ions Fe^{2+} que d'ions MnO_4^- : c'est bien $n(Fe^{2+}) = 5\,n(MnO_4^-)$.

COMPRENDRE
V_E et V peuvent rester en mL : leur rapport est sans unité, et C_2 a l'unité de C_1.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{5 \times 5.5 \times 10^{-3} \times 7.5}{10.0}$ ≈ 0.020625

2.6 Le pourcentage en masse de fer de l'engrais liquide est-il en accord avec l'indication de l'étiquette ?

Données utiles $C_2 = 2{,}06 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ (2.5, valeur non arrondie) ; dilution d'un facteur 50 ; $M(Fe) = 55{,}8\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$; masse volumique $\rho = 1{,}15\ \text{kg/L}$; étiquette : 5 % en masse de fer

L'engrais a été dilué 50 fois, donc sa concentration en fer est :

$$C = 50 \times C_2 = 50 \times 2{,}06 \times 10^{-2} = 1{,}03\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$$

Masse de fer dans 1 L d'engrais : $m_{Fe} = C \times M(Fe) = 1{,}03 \times 55{,}8 = 57{,}5$ g

Masse de 1 L d'engrais : $m = 1{,}15\ \text{kg} = 1{,}15 \times 10^3$ g

$$w = \frac{m_{Fe}}{m} = \frac{57{,}5}{1{,}15 \times 10^3} = 0{,}050$$

$w = 5{,}0$ % de fer en masse : le résultat est en accord avec l'étiquette (5 %).

PIÈGE
Oublier le facteur 50 : C_2 est la concentration de la solution diluée, pas celle de l'engrais. On trouverait 0,1 %.

COMPRENDRE
Les valeurs intermédiaires sont gardées non arrondies. Avec C_2 arrondi à $2{,}1 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$, on obtient 5,1 % : la conclusion est la même.

MÉTHODE
Pourcentage massique : raisonner sur 1 L de solution. La concentration donne la masse de soluté, la masse volumique donne la masse de solution, à exprimer dans la même unité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{50 \times 5 \times 5.5 \times 10^{-3} \times 7.5}{10.0}$ ≈ 1.03125

1.03125 × 55.8 ≈ 57.54375

$\dfrac{57.54375}{1.15 \times 10^3}$ ≈ 0.05003804

2.7.1 Quel est l'intérêt d'utiliser le produit ANTYS Fe plutôt que l'engrais liquide du viticulteur ?

L'engrais liquide contient bien le fer annoncé (2.6), pourtant la carence persiste : la vigne absorbe mal le fer apporté sous forme de sulfate de fer II.

Dans le produit ANTYS Fe, le fer est chélaté : d'après la notice, cette forme augmente l'absorption du fer et son métabolisme cellulaire.

Intérêt : le fer chélaté est mieux absorbé et mieux utilisé par la vigne.

COMPRENDRE
Ce produit n'apporte pas plus de fer : $35\ \text{g/L}$ contre environ $58\ \text{g/L}$ pour l'engrais liquide (2.6). L'intérêt est la forme du fer, pas sa quantité.

2.7.2 Déterminer la masse de fer répandue sur la parcelle de vigne étudiée lors d'une application de ce produit respectant les conseils d'utilisation.

Données utiles dose pour la vigne : $3\ \text{L/ha}$; superficie $S = 0{,}57$ ha ; teneur : $35\ \text{g/L}$ de fer chélaté

Volume de produit à pulvériser sur la parcelle : $V_p = 3 \times 0{,}57 = 1{,}7\ \text{L}$

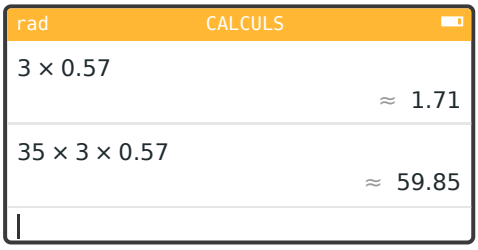
Masse de fer correspondante :

$$m = 35 \times 3 \times 0{,}57 = 60\ \text{g}$$

$m \approx 60\ \text{g}$ de fer répandus sur la parcelle

PIÈGE
Utiliser la dose $1\text{-}2\ \text{L/ha}$: elle concerne les gazons et les fleurs. Pour la vigne, la notice indique $3\ \text{L/ha}$.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Du chlore dans le réseau d'eau potable

Bac S 2020 Antilles-Guyane (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

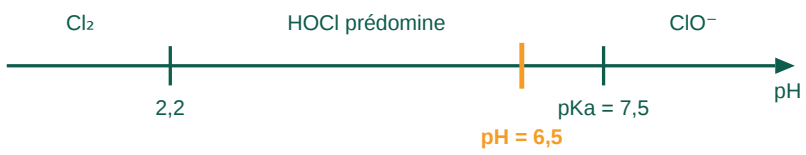
1 Lors du protocole de dosage par étalonnage, sous quelle forme se trouve majoritairement le chlore libre dans les solutions aqueuses ? Justifier.

Données utiles $\mathrm{p}K_a(\mathrm{HOCl}/\mathrm{ClO}^-) = 7{,}5$; dichlore présent seulement si $\mathrm{pH} < 2{,}2$; solution de DPD tamponnée à $\mathrm{pH} = 6{,}5$

La solution de DPD est tamponnée : dans chaque fiole, le pH est maintenu à $6{,}5$.

- $\mathrm{pH} = 6{,}5 > 2{,}2$: il n'y a pas de dichlore Cl_2 en solution.
- $\mathrm{pH} = 6{,}5 < \mathrm{p}K_a = 7{,}5$: l'acide du couple $\mathrm{HOCl}/\mathrm{ClO}^-$ prédomine sur sa base.

Le chlore libre est majoritairement sous forme d'acide hypochloreux HOCl.



1 · Domaines de prédominance du chlore libre et pH du dosage

COMPRENDRE

Cet exercice vient de l'ancien enseignement de spécialité (thème « L'eau »), qui n'existe plus sous cette forme. Les notions utilisées ici restent toutes au programme actuel de Terminale.

MÉTHODE

Tracer un axe de pH, y placer $2{,}2$ et $\mathrm{p}K_a = 7{,}5$, puis le pH du milieu : l'acide prédomine pour $\mathrm{pH} < \mathrm{p}K_a$, la base pour $\mathrm{pH} > \mathrm{p}K_a$.

2 Déterminer la concentration molaire en chlore libre dans la solution S_3 avant réaction avec la DPD. Problème : l'eau prélevée à la sortie de l'usine (absorbance $0{,}15$) a-t-elle une teneur en chlore libre conforme à la réglementation ?

Données utiles $C_0 = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$; S_3 : $V_0 = 1{,}50$ mL ; fiole de $V_f = 10{,}0$ mL ; $A = 0{,}15$; $M_{\text{Cl}} = 35{,}5\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; teneur minimale en sortie d'usine : $0{,}3\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

Question 2. Lors d'une dilution, la quantité de chlore libre se conserve : $C_0\,V_0 = C_3\,V_f$.

$$C_3 = \frac{C_0\,V_0}{V_f} = \frac{1{,}0 \times 10^{-4} \times 1{,}50}{10{,}0}$$

$$C_3 = 1{,}5 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Problème. Étape 1 : droite d'étalonnage. De la même façon, $C_i = \dfrac{C_0\,V_0}{V_f}$ pour chaque solution fille. La concentration de l'espèce rose est égale à celle du chlore libre.

- S_1 : $C = 0{,}50 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $A = 0{,}08$
- S_2 : $C = 1{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $A = 0{,}18$
- S_3 : $C = 1{,}5 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $A = 0{,}25$
- S_4 : $C = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $A = 0{,}33$
- S_5 : $C = 2{,}5 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, $A = 0{,}40$

Les points sont alignés avec l'origine : $A = k\,C$ (loi de Beer-Lambert), avec $k = 1{,}64 \times 10^{4}\ \text{L} \cdot \text{mol}^{-1}$ (coefficient directeur de la droite tracée, ou régression linéaire à la calculatrice).

Étape 2 : concentration dans la solution S.

$$C_S = \frac{A}{k} = \frac{0{,}15}{1{,}64 \times 10^{4}} = 9{,}1 \times 10^{-6}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Étape 3 : concentration dans l'eau analysée. La fiole de $10{,}0$ mL contient $1{,}0$ mL de DPD, donc $V_{\text{eau}} = 9{,}0$ mL d'eau : l'eau a été diluée.

$$C_{\text{eau}} = \frac{C_S\,V_f}{V_{\text{eau}}} = \frac{9{,}1 \times 10^{-6} \times 10{,}0}{9{,}0} = 1{,}0 \times 10^{-5}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Étape 4 : teneur en chlore libre. Chaque entité de chlore libre (HOCl ici) contient un seul atome de chlore, donc la teneur en masse d'élément chlore est :

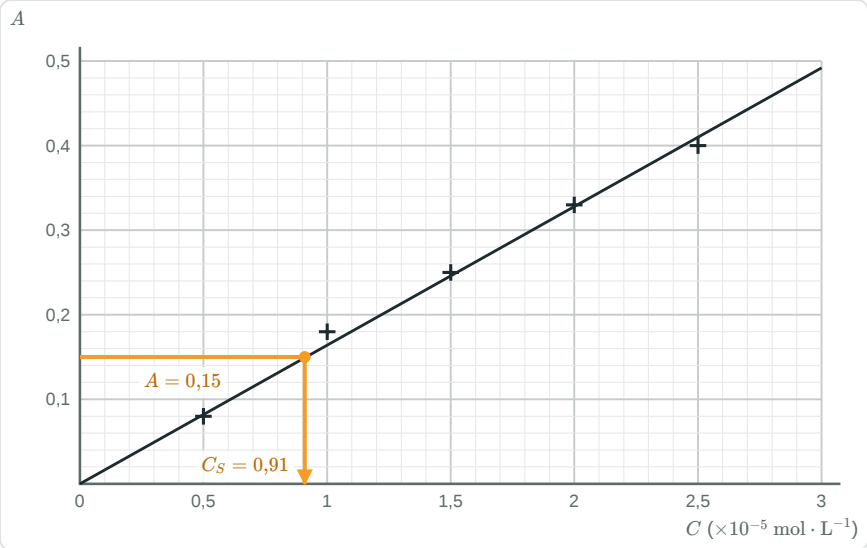
$$t = C_{\text{eau}} \times M_{\text{Cl}} = 1{,}0 \times 10^{-5} \times 35{,}5 = 3{,}6 \times 10^{-4}\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$$

$t \approx 0{,}36\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} > 0{,}3\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$: la teneur en chlore libre de l'eau en sortie d'usine est conforme à la réglementation.

PIÈGE
Oublier que l'eau analysée est diluée par le millilitre de DPD : C_S est la concentration dans la fiole, pas dans l'eau. Multiplier par M_{HOCl} ou par $2\,M_{\text{Cl}}$ est aussi une erreur : la teneur compte la masse de chlore.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C_0 et les absorbances. Le résultat dépasse le seuil de peu : on garde les valeurs non arrondies dans la calculatrice jusqu'à la fin avant de comparer à $0{,}3\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

MÉTHODE
Résolution de problème : annoncer les étapes, donner une relation littérale par étape, convertir dans l'unité de la norme, puis conclure par une phrase qui répond à la question posée.



2 · Droite d'étalonnage $A = k\,C$ et lecture pour $A = 0{,}15$

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{1.0 \times 10^{-4} \times 1.50}{10.0} \approx 1.5 \times 10^{-5}$$

$$\frac{0.15}{1.64 \times 10^{4}} \approx 9.146341 \times 10^{-6}$$

$$\frac{\frac{0.15}{1.64 \times 10^{4}} \times 10.0}{9.0} \approx 1.01626 \times 10^{-5}$$

$$\frac{\frac{0.15}{1.64 \times 10^{4}} \times 10.0}{9.0} \times 35.5 \approx 3.607724 \times 10^{-4}$$