Corrigé complet — Bac S 2019 Asie (ancien programme)

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

Ex 1	**Le formaldéhyde : un polluant domestique** Nomenclature des aldéhydes · Spectroscopie infrarouge · Facteurs cinétiques · Couleur et absorption · Loi de Beer-Lambert · Dosage par étalonnage	5 pts	50 min	7 questions	p. 2
Ex 2	**Le byssus de la moule** Acides aminés et énantiomères · Protection de fonction · Mécanisme réactionnel · Diffraction par un fil · Énergie mécanique d'un système masse-ressort	9 pts	1 h 30	15 questions	p. 6
Ex 3	**Les océans sous haute surveillance** Célérité et retard d'une onde · Indice d'un milieu · Force gravitationnelle · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme d'un satellite · Effet Doppler	6 pts	1 h	9 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Traitement de l'eau d'un puits** Concentration en masse · Oxydoréduction · Quantité de matière et stœchiométrie · Volume molaire d'un gaz · Débit · Résolution de problème	5 pts	50 min	3 questions	p. 16

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.

Le formaldéhyde : un polluant domestique

Bac S 2019 Asie (ancien programme) · Exercice 1 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Écrire la formule développée du formaldéhyde et donner son nom dans la nomenclature systématique.

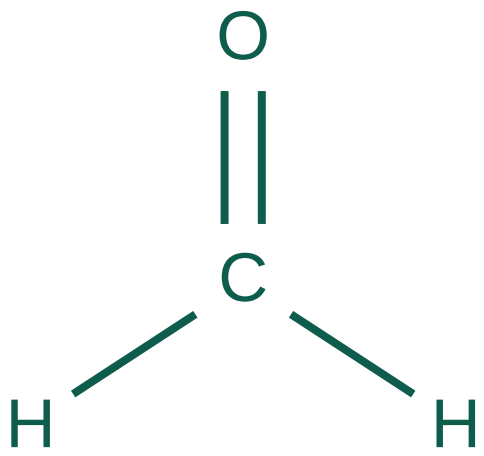
Données utiles formule brute CH_2O

L'atome de carbone forme quatre liaisons : une double liaison avec l'atome d'oxygène et une liaison simple avec chacun des deux atomes d'hydrogène (voir la figure).

La chaîne ne compte qu'un atome de carbone (préfixe « méthan- ») et porte le groupe carbonyle en bout de chaîne (aldéhyde, terminaison « -al »).

Le formaldéhyde est le **méthanal**, de formule $H_2C{=}O$.

PIÈGE
Une formule développée montre toutes les liaisons, y compris les liaisons $C{-}H$. Écrire $HCHO$ ou CH_2O ne répond pas à la question.



1.1 · Formule développée du méthanal

1.2 Le spectre IR obtenu pour l'échantillon de matériau permet-il de soupçonner la présence de formaldéhyde ? Justifier.

Données utiles aldéhyde : $C_{tri}{-}H$ entre 2700 et 2900 cm^{-1} ; $C{=}O$ entre 1720 et 1740 cm^{-1}

Le formaldéhyde est un aldéhyde : son spectre doit présenter les deux bandes de cette famille.

Sur le spectre, on relève :

- une bande fine et intense vers 1740 cm^{-1}, attribuable à la liaison $C{=}O$ d'un aldéhyde ;
- deux bandes entre 2700 et 2900 cm^{-1}, attribuables aux liaisons $C_{tri}{-}H$.

Aucune bande large n'apparaît au-delà de 3000 cm^{-1} : il n'y a pas de liaison $O{-}H$, ce qui écarte un alcool ou un acide carboxylique.

Oui : le spectre est celui d'un aldéhyde, la présence de formaldéhyde peut être soupçonnée.

PIÈGE
L'axe des nombres d'onde est gradué de droite à gauche et son échelle change à 2000 cm^{-1}. Repérer chaque bande par rapport aux graduations voisines.

COMPRENDRE
La bande $C{=}O$ seule ne suffit pas : cétones, esters et acides en possèdent une dans la même zone. C'est la bande $C_{tri}{-}H$ qui désigne un aldéhyde.

2.1 Pourquoi chauffe-t-on le mélange lors de la troisième étape ?

Données utiles étuve à 105 °C pendant 30 min

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

Le chauffage accélère la réaction entre le formaldéhyde et l'acide chromotropique : le composé B est entièrement formé au bout de 30 min.

COMPRENDRE
Le dosage n'a de sens que si tout le formaldéhyde a réagi avant la mesure : l'absorbance mesurée correspond alors à l'état final.

2.2 Quelle est la couleur du composé coloré formé lors de cette réaction ?

Données utiles maximum d'absorption de B à 580 nm ; cercle chromatique

Le composé B absorbe surtout les radiations de longueur d'onde voisine de 580 nm, situées dans le jaune (entre 560 nm et 590 nm sur le cercle chromatique).

La couleur perçue est la couleur complémentaire de la couleur absorbée : elle est diamétralement opposée sur le cercle chromatique.

Le composé B est **violet** (violet à bleu-violet).

PIÈGE
Répondre « jaune » : 580 nm est la couleur absorbée, pas la couleur de la solution.

2.3 Déterminer la concentration en masse minimale de la solution d'acide chromotropique pour que celui-ci soit en excès sur toute la gamme d'échantillons.

Données utiles $V = 3{,}0$ mL de solution étalon ; $C_{m,\max} = 5{,}0\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $V_0 = 0{,}3$ mL de solution d'acide chromotropique ; $M_{\text{for}} = 30\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M_{\text{chro}} = 320\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Le cas le plus exigeant est celui de la solution étalon la plus concentrée, $C_{m,\max} = 5{,}0\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Quantité de formaldéhyde introduite : $n_{\text{for}} = \dfrac{C_{m,\max}\,V}{M_{\text{for}}}$.

Quantité d'acide chromotropique introduite, pour une solution de concentration en masse C_{m0} : $n_{\text{chro}} = \dfrac{C_{m0}\,V_0}{M_{\text{chro}}}$.

D'après l'équation, 2 mol d'acide chromotropique réagissent avec 1 mol de formaldéhyde. La concentration minimale correspond au mélange stœchiométrique : $\dfrac{n_{\text{chro}}}{2} = n_{\text{for}}$, soit

$$C_{m0} = \frac{2\,M_{\text{chro}}\,C_{m,\max}\,V}{M_{\text{for}}\,V_0}$$

$$C_{m0} = \frac{2 \times 320 \times 5{,}0 \times 3{,}0}{30 \times 0{,}3} = 1{,}1 \times 10^{3}\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$$

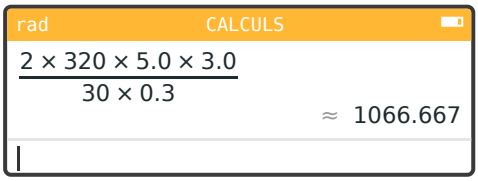
$C_{m0} \approx 1{,}1\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$: au-dessus de cette valeur, l'acide chromotropique est en excès pour toute la gamme.

PIÈGE
Oublier le coefficient 2 de l'équation, ou comparer directement les masses : la stœchiométrie porte sur les quantités de matière.

COMPRENDRE
Les volumes restent en mL au numérateur et au dénominateur : leur rapport est sans unité, et C_{m0} sort en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ comme $C_{m,\max}$.

COMPRENDRE
Chiffres significatifs : les données en ont deux, sauf $V_0 = 0{,}3$ mL qui n'en a qu'un. On garde deux chiffres au plus ; l'ordre de grandeur est $1\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



2.4.1 Déterminer, par une méthode au choix, la concentration en masse en formaldéhyde dans le filtrat étudié.

Données utiles tableau $A = f(C_m)$ des solutions étalons ; filtrat : $A = 1{,}34$

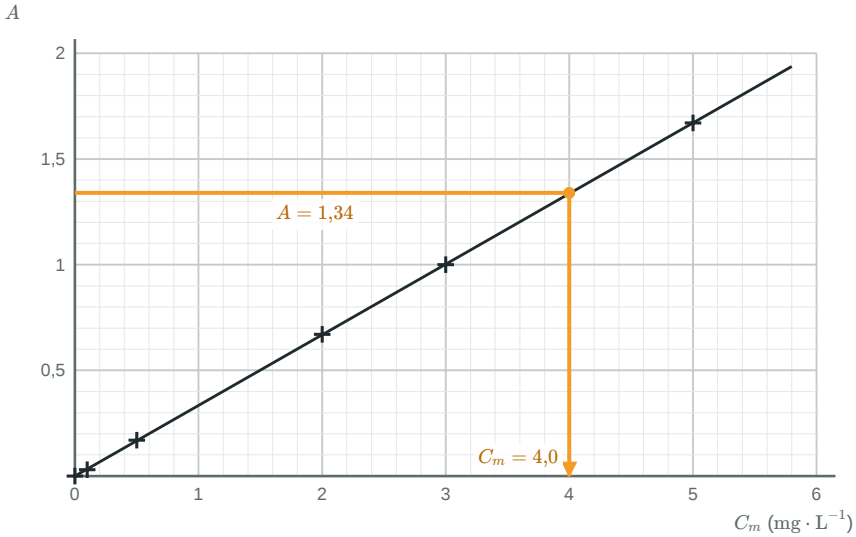
On calcule le rapport $\dfrac{A}{C_m}$ pour les solutions étalons :

$\dfrac{0{,}17}{0{,}5} = 0{,}34$; $\dfrac{0{,}67}{2{,}0} = 0{,}335$; $\dfrac{1{,}00}{3{,}0} = 0{,}333$; $\dfrac{1{,}67}{5{,}0} = 0{,}334$ (en $\text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$).

Ce rapport est constant : l'absorbance est proportionnelle à la concentration en masse, $A = k\,C_m$ (loi de Beer-Lambert), avec $k = 0{,}334\ \text{L} \cdot \text{mg}^{-1}$. Le point à $0{,}1\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ (rapport 0,3) est trop peu précis pour être retenu.

Le filtrat a subi le même protocole, donc $C_m = \dfrac{A}{k} = \dfrac{1{,}34}{0{,}334}$

$C_m = 4{,}0\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de formaldéhyde dans le filtrat.



2.4.1 · Droite d'étalonnage et lecture pour le filtrat

PIÈGE
Utiliser un seul point de la gamme sans avoir montré la proportionnalité. Il faut justifier que la loi de Beer-Lambert est vérifiée avant de s'en servir.

MÉTHODE
Autre voie : tracer $A = f(C_m)$, droite passant par l'origine, puis lire l'abscisse du point d'ordonnée 1,34. Vérification rapide : $1{,}34 = 2 \times 0{,}67$, donc $C_m = 2 \times 2{,}0\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1.67}{5.0}$ ≈ 0.334

$\dfrac{1.34}{0.334}$ ≈ 4.011976

2.4.2 La norme E1 impose une teneur en formaldéhyde inférieure ou égale à 8 mg pour 100 g de matériau. L'échantillon étudié satisfait-il à cette norme ?

Données utiles $C_m = 4{,}0\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (2.4.1) ; échantillon de $30{,}0$ g macéré dans $V_{\text{eau}} = 300$ mL

Masse de formaldéhyde extraite des 30,0 g de matériau et dissoute dans les 300 mL de filtrat :

$$m = C_m\, V_{\text{eau}} = 4{,}0 \times 0{,}300 = 1{,}2\ \text{mg}$$

Par proportionnalité, pour 100 g de matériau :

$$m_{100} = 1{,}2 \times \frac{100}{30{,}0} = 4{,}0\ \text{mg}$$

Teneur de 4,0 mg pour 100 g, inférieure à 8 mg pour 100 g : l'échantillon **satisfait** à la norme E1.

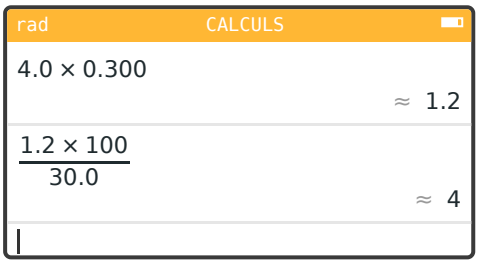
PIÈGE

Comparer directement $4{,}0\ \text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ à 8 mg : la norme est une masse par 100 g de matériau, pas une concentration. Convertir aussi 300 mL en litres.

COMPRENDRE

On suppose que la macération de 16 h a extrait tout le formaldéhyde du solide. Si l'extraction est incomplète, la teneur réelle est supérieure à la valeur trouvée.

À LA CALCULATRICE



Le byssus de la moule

Bac S 2019 Asie (ancien programme) · Exercice 2 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Justifier que la 3,4-dihydroxyphénylalanine est bien un acide aminé.

La molécule porte à la fois un groupe carboxyle $-COOH$ (fonction acide carboxylique) et un groupe amino $-NH_2$ (fonction amine).

Elle possède un groupe carboxyle et un groupe amino : c'est un acide aminé.

COMPRENDRE
Les deux groupes sont ici portés par le même atome de carbone : on parle d'acide α-aminé.
Les deux groupes $-OH$ du cycle n'interviennent pas dans cette justification.

1.2 Représenter les deux énantiomères de la 3,4-dihydroxyphénylalanine.

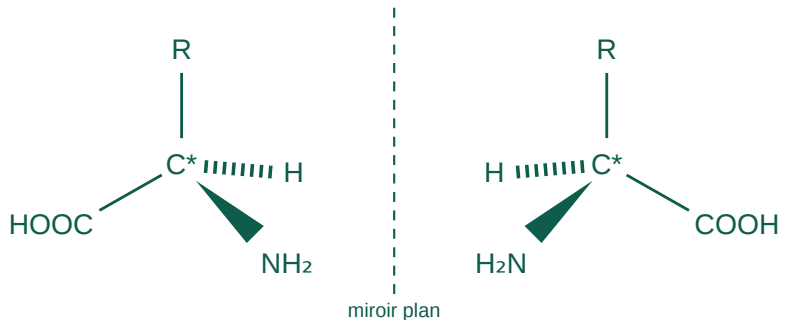
Le carbone lié à $-NH_2$ porte quatre groupes différents (R, H, NH_2, $COOH$) : il est asymétrique, noté C*.

Les deux énantiomères sont images l'un de l'autre dans un miroir plan et ne sont pas superposables. On les dessine en représentation de Cram.

Voir les deux représentations de Cram, symétriques par rapport au miroir.

COMPRENDRE
La représentation de Cram et la recherche d'énantiomères ne figurent plus au programme actuel de spécialité de Terminale ; elles étaient exigibles au bac S.

MÉTHODE
Dessiner un énantiomère, tracer le miroir, puis construire l'image symétrique point par point : les liaisons en avant (triangle plein) restent en avant, celles en arrière (hachures) restent en arrière.



1.2 · Les deux énantiomères en représentation de Cram

2.1 Justifier la nécessité de protéger le groupe amino (étape 1) pour la suite de la synthèse.

Chaque molécule d'acide aminé possède un groupe amino et un groupe carboxyle. À l'étape 4, on veut que le groupe carboxyle de la première molécule réagisse uniquement avec le groupe amino de la molécule fixée sur la résine.

Sans protection, le groupe amino de la première molécule pourrait réagir lui aussi, par exemple avec le groupe carboxyle d'une autre molécule identique : on obtiendrait un mélange de dipeptides.

Protéger le groupe amino le rend inactif : un seul dipeptide peut se former à l'étape 4.

COMPRENDRE
L'étape 2 joue le même rôle pour le groupe carboxyle de la seconde molécule, bloqué par la résine. L'étape 3 est une déprotection : elle libère le groupe amino qui doit réagir.

2.2 Montrer à l'aide d'un diagramme de prédominance que le pH doit être supérieur à 9,4 pour l'étape 1.

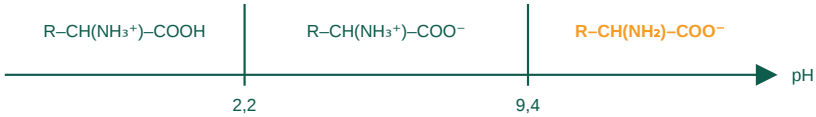
Données utiles $pK_a \approx 2{,}2$ pour le groupe carboxyle ; $pK_a \approx 9{,}4$ pour le groupe amino

Couples mis en jeu : $-COOH$ / $-COO^-$ ($pK_a \approx 2{,}2$) et $-NH_3^+$ / $-NH_2$ ($pK_a \approx 9{,}4$). Pour chaque couple, la base prédomine quand $pH > pK_a$ (voir le diagramme).

À l'étape 1, le réactif est écrit avec les groupes $-COO^-$ et $-NH_2$: l'atome d'azote doit garder son doublet non liant pour réagir avec $(CH_3)_3COCl$. Cette forme ne prédomine que dans le domaine situé à droite de 9,4.

Il faut $pH > 9{,}4$ pour que le groupe amino soit sous la forme $-NH_2$.

PIÈGE
Placer la forme $-NH_2$ et $-COOH$ sur le diagramme : elle ne prédomine à aucun pH, car le groupe carboxyle perd son proton bien avant le groupe $-NH_3^+$.



2.2 · Diagramme de prédominance ; en orange, la forme nécessaire à l'étape 1

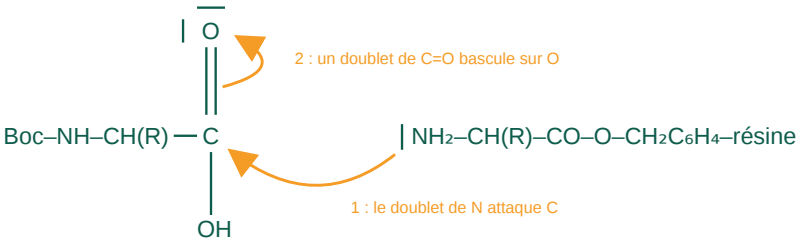
2.3 Compléter l'étape 4 sur l'annexe en faisant apparaître les flèches courbes du mécanisme réactionnel.

Site donneur : l'atome d'azote du groupe $-NH_2$ (doublet non liant). Site accepteur : l'atome de carbone du groupe carboxyle, appauvri en électrons par les deux atomes d'oxygène, plus électronégatifs.

Flèche 1 : du doublet non liant de N vers cet atome de carbone (formation de la liaison $C-N$). Flèche 2 : d'un doublet de la liaison double $C=O$ vers l'atome d'oxygène, qui devient O^-.

Deux flèches courbes : doublet de N vers C, puis doublet de $C=O$ vers O.

PIÈGE
Une flèche courbe part toujours d'un doublet (non liant ou liaison), jamais d'un atome ni d'une charge, et arrive sur l'atome accepteur. Tracée dans l'autre sens, elle ne rapporte aucun point.



2.3 · Annexe complétée : flèches courbes de l'étape 4 (en orange)

2.4 À quelle catégorie de réactions correspondent respectivement l'étape 4 et l'étape 5 ? Justifier.

Étape 4 : les deux réactifs s'assemblent en un seul produit et la liaison double $C=O$ devient une liaison simple. C'est une addition.

Étape 5 : une seule espèce réagit ; elle libère une petite molécule, H_2O, et une liaison double $C=O$ se forme. C'est une élimination.

Étape 4 : addition. Étape 5 : élimination.

MÉTHODE
Compter les espèces : deux réactifs donnent un produit (addition) ; un réactif donne deux produits dont une petite molécule (élimination) ; deux réactifs donnent deux produits (substitution).

2.5 En une phrase, préciser quelle étape suivante permettrait d'ajouter un troisième acide aminé à la chaîne.

Il faut déprotéger le groupe amino $-\mathrm{NH}-\mathrm{Boc}$ du dipeptide (comme à l'étape 3, avec $\mathrm{CF_3COOH}$) pour retrouver un groupe $-\mathrm{NH_2}$ capable de réagir avec un troisième acide aminé protégé.

COMPRENDRE
Le cycle se répète ensuite : couplage en présence de DCC, élimination d'eau, déprotection. La chaîne reste fixée sur la résine jusqu'à la fin, ce qui facilite sa séparation.

3.1 Associer chacune des figures A, B et C à l'un des fils F1, F2 et F3. Justifier.

Données utiles $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$; F1 : $60\ \mu\mathrm{m}$; F2 : $90\ \mu\mathrm{m}$; F3 : $120\ \mu\mathrm{m}$

La longueur d'onde λ est la même pour les trois fils. D'après $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$, plus le fil est fin, plus l'écart angulaire θ est grand, donc plus la tache centrale est large.

La tache centrale la plus large est celle de la figure C, la plus étroite celle de la figure A.

Figure C : fil F1 ($60\ \mu\mathrm{m}$) ; figure B : fil F2 ($90\ \mu\mathrm{m}$) ; figure A : fil F3 ($120\ \mu\mathrm{m}$).

PIÈGE
Associer le fil le plus gros à la tache la plus large. En diffraction, c'est l'inverse : un obstacle plus petit étale davantage la lumière.

3.2 a. Établir la relation entre l'écart angulaire θ et la largeur L de la tache centrale, avec $\tan\theta \approx \theta$. b. Montrer par un calcul que le diamètre a du filament vaut environ $100\ \mu\mathrm{m}$.

Données utiles $D = 1{,}60$ m ; $\lambda = 630$ nm ; $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$; figure du filament sur papier millimétré

a. Dans le triangle rectangle formé par le fil, le centre de l'écran et le bord de la tache centrale, le côté opposé à θ mesure $\dfrac{L}{2}$ et le côté adjacent D :

$$\tan\theta = \frac{L/2}{D} = \frac{L}{2D}$$

L'angle étant petit, $\tan\theta \approx \theta$ avec θ en radian.

a. $\theta = \dfrac{L}{2D}$

b. En égalant les deux expressions de θ : $\dfrac{\lambda}{a} = \dfrac{L}{2D}$, donc $a = \dfrac{2\lambda D}{L}$.

Sur la figure du filament, la tache centrale s'étend sur deux grands carreaux : $L = 2{,}0$ cm.

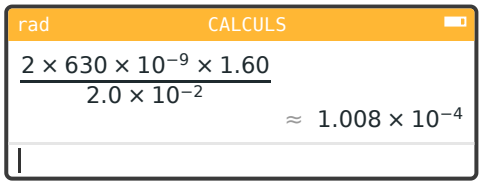
$$a = \frac{2 \times 630 \times 10^{-9} \times 1{,}60}{2{,}0 \times 10^{-2}} = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{m}$$

b. $a = 1{,}0 \times 10^{-4}\ \mathrm{m} = 100\ \mu\mathrm{m}$, valeur attendue.

PIÈGE
Prendre $d = 0{,}10$ m (distance laser-fil) ou $d + D$ à la place de D : seule la distance entre le fil et l'écran intervient. Ne pas oublier non plus le facteur 2, car θ correspond à la demi-largeur.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme la lecture de L , qui est la donnée la moins précise. La largeur L se mesure entre les milieux des deux zones sombres qui encadrent la tache centrale.

À LA CALCULATRICE



3.3 a. Avec une longueur moyenne de 5 cm par filament, déterminer la masse de protéine adhésive extraite d'une seule moule. b. Estimer le nombre de moules à traiter pour obtenir 1 gramme de protéines adhésives et conclure sur la pertinence d'une exploitation des ressources naturelles.

Données utiles $\rho = 640\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; pourcentage massique en protéines : 0,9 % ; environ 50 filaments par moule ; $\ell = 5$ cm ; $a = 100\ \mu\text{m}$ (3.2)

a. Un filament est un cylindre de rayon $\frac{a}{2}$ et de longueur ℓ :

$$V = \pi\left(\frac{a}{2}\right)^2 \ell = \pi \times (50\times10^{-6})^2 \times 5\times10^{-2} = 3{,}9\times10^{-10}\ \text{m}^3$$

Masse de protéines pour les 50 filaments d'une moule, qui en contiennent 0,9 % en masse :

$$m_p = 0{,}009 \times 50 \times \rho V = 0{,}009\times50\times640\times3{,}9\times10^{-10} = 1{,}1\times10^{-7}\ \text{kg}$$

a. $m_p \approx 1\times10^{-7}$ kg, soit environ 0,1 mg de protéines par moule.

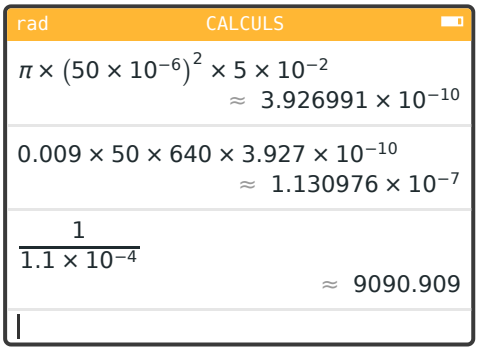
b. Nombre de moules pour 1 g : $N = \dfrac{1}{1{,}1\times10^{-4}} \approx 9\times10^{3}$.

b. Il faut de l'ordre de 10^4 moules pour 1 g de protéines : l'extraction à partir de moules naturelles n'est pas pertinente, d'où l'intérêt de la synthèse en laboratoire.

PIÈGE
Utiliser le diamètre à la place du rayon (masse multipliée par 4), oublier les 50 filaments, ou laisser ℓ en cm et a en µm avec ρ en $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$.

COMPRENDRE
Les données « 5 cm », « 0,9 % » et « une cinquantaine » n'ont qu'un chiffre significatif : seul l'ordre de grandeur du résultat a un sens.

À LA CALCULATRICE



4.1 Identifier parmi les courbes (a), (b) et (c) celles de l'énergie cinétique, de l'énergie potentielle élastique et de l'énergie mécanique. Justifier brièvement.

- L'énergie mécanique se conserve : elle est constante, c'est la courbe (a).
- À $t = 0$, $x = 0$ donc $E_{pe} = \frac{1}{2}kx^2 = 0$: l'énergie potentielle élastique part de zéro puis augmente, c'est la courbe (b).
- À $t = 0$, la vitesse v_0 est maximale, puis la moule ralentit : $E_c = \frac{1}{2}mv^2$ décroît, c'est la courbe (c).

(a) : E_m ; (b) : E_{pe} ; (c) : E_c.

COMPRENDRE
L'énergie potentielle élastique n'est plus au programme actuel de spécialité ; son expression est fournie par le sujet. Le raisonnement reste le même qu'avec l'énergie potentielle de pesanteur : $E_m = E_c + E_p$.

4.2 Calculer la valeur de l'énergie mécanique initiale E_i.

Données utiles $m = 20$ g ; $v_0 = 2$ m · s^{-1}

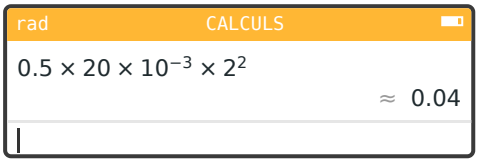
À $t = 0$, $x = 0$ donc $E_{pe} = 0$: l'énergie mécanique est entièrement cinétique.

$$E_i = \frac{1}{2}mv_0^2 = \frac{1}{2} \times 20 \times 10^{-3} \times 2^2$$

$E_i = 4 \times 10^{-2}$ J

PIÈGE
Laisser la masse en grammes : on obtiendrait 40 au lieu de 0,04 J. Dans $\frac{1}{2}mv^2$, la masse est en kg et la vitesse en m · s^{-1}.

À LA CALCULATRICE



4.3 Montrer que l'allongement maximal x_{max} des filaments de byssus (à $t = 0{,}010$ s) est de l'ordre de 1,3 cm.

Données utiles $k = 500$ N · m^{-1} ; $E_i = 4 \times 10^{-2}$ J (4.2)

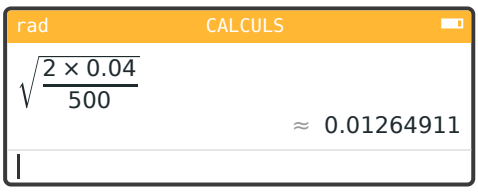
À $t = 0{,}010$ s, le graphique montre que $E_c = 0$: toute l'énergie mécanique est sous forme potentielle élastique. Comme l'énergie mécanique se conserve :

$$E_i = \frac{1}{2}kx_{max}^2 \quad \text{donc} \quad x_{max} = \sqrt{\frac{2E_i}{k}} = \sqrt{\frac{2 \times 4 \times 10^{-2}}{500}} = 1{,}3 \times 10^{-2} \text{ m}$$

$x_{max} = 1{,}3 \times 10^{-2}$ m $= 1{,}3$ cm, valeur attendue.

MÉTHODE
Conservation de l'énergie mécanique entre deux instants bien choisis : celui où tout est connu ($t = 0$, énergie cinétique seule) et celui où la grandeur cherchée apparaît seule ($v = 0$, énergie potentielle seule).

À LA CALCULATRICE



4.4 En déduire la valeur maximale de la force de rappel F que le réseau de filaments devrait exercer et conclure.

Données utiles $F = kx$; $k = 500$ N · m^{-1} ; $x_{max} = 1{,}26 \times 10^{-2}$ m (4.3) ; $F_{max} = 5{,}1$ N

La force de rappel est maximale quand l'allongement est maximal :

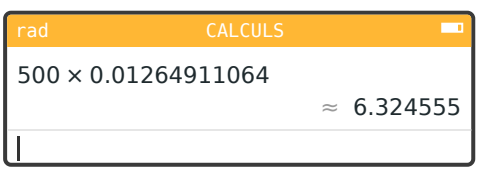
$$F = k\,x_{max} = 500 \times 1{,}26 \times 10^{-2} = 6{,}3 \text{ N}$$

Cette valeur dépasse la force de rupture $F_{max} = 5{,}1$ N.

$F = 6{,}3$ N $> F_{max}$: sans dissipation d'énergie, le réseau de filaments se romprait et la moule serait arrachée.

COMPRENDRE
Avec la valeur arrondie $x_{max} = 1{,}3$ cm, on trouve 6,5 N : la conclusion est identique. La moule reste pourtant accrochée : le modèle sans frottement ne décrit donc pas correctement la réalité.

À LA CALCULATRICE



4.5 Montrer que la dissipation d'énergie par le réseau de filaments permet à la moule de rester accrochée à son support malgré la tempête.

Données utiles graphique de l'énergie mécanique en situation réelle ; $E_i = 4 \times 10^{-2}$ J (4.2) ; $k = 500\ \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$; $F_{max} = 5{,}1$ N

Sur le graphique, l'énergie mécanique diminue puis se stabilise vers $t = 0{,}01$ s. En mesurant les hauteurs à la règle, le palier se situe à environ 47 % de E_i :

$$E_f \approx 0{,}47 \times 4 \times 10^{-2} = 1{,}9 \times 10^{-2}\ \text{J}$$

À l'allongement maximal, la vitesse est nulle : $E_f = \frac{1}{2} k x_{max}^2$, donc $x_{max} = \sqrt{\frac{2E_f}{k}}$ et

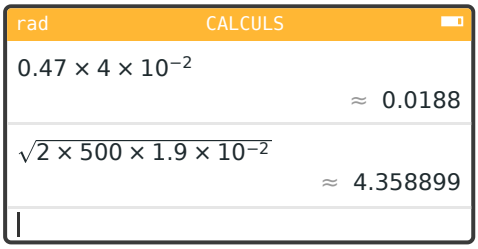
$$F = k\, x_{max} = \sqrt{2\, k\, E_f} = \sqrt{2 \times 500 \times 1{,}9 \times 10^{-2}} = 4{,}4\ \text{N}$$

$F \approx 4{,}4$ N $< F_{max} = 5{,}1$ N : grâce à l'énergie dissipée, les filaments ne se rompent pas, la moule reste accrochée.

COMPRENDRE

La lecture graphique est peu précise : avec $E_f \approx \frac{E_i}{2}$, on trouve 4,5 N. Tant que E_f reste inférieure à $\frac{F_{max}^2}{2k} = 2{,}6 \times 10^{-2}$ J, la conclusion tient.

À LA CALCULATRICE



Les océans sous haute surveillance

Bac S 2019 Asie (ancien programme) · Exercice 3 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Exprimer la durée Δt d'un aller-retour du signal radar en fonction de la célérité c et de la distance H_a.

Le signal descend jusqu'à la mer puis remonte : il parcourt la distance $2H_a$ à la célérité c.

$$\Delta t = \frac{2H_a}{c}$$

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : l'écho est reçu à bord du satellite, l'onde a donc parcouru deux fois la distance altimétrique.

1.2 a. Montrer que le délai supplémentaire $\tau = \Delta t_1 - \Delta t_2$ dû à la traversée aller et retour d'un nuage s'exprime à l'aide de h, c, n_1 et n_2, puis calculer τ. b. Calculer en cm la distance d parcourue dans l'atmosphère sans nuage pendant la durée τ et conclure sur l'intérêt du radiomètre.

Données utiles $h = 2{,}0$ km ; $n_1 = 1{,}00032$; $n_2 = 1{,}00029$; $n = \frac{c}{v}$; $c = 3{,}0 \times 10^8$ m · s^{-1} ; précision des mesures : 5 cm

a. Dans un milieu d'indice n, l'onde se propage à la célérité $v = \frac{c}{n}$. Un aller-retour sur la hauteur h dure donc $\frac{2h}{v} = \frac{2hn}{c}$.

Dans le nuage : $\Delta t_1 = \frac{2hn_1}{c}$; dans l'air sans nuage : $\Delta t_2 = \frac{2hn_2}{c}$.

$$\tau = \Delta t_1 - \Delta t_2 = \frac{2h}{c}(n_1 - n_2)$$

L'énoncé écrit $(n_2 - n_1)$: les indices y sont inversés, ce qui donnerait un délai négatif alors que $n_1 > n_2$.

$$\tau = \frac{2 \times 2{,}0 \times 10^3}{3{,}0 \times 10^8} \times (1{,}00032 - 1{,}00029) = 4{,}0 \times 10^{-10} \text{ s}$$

b. Dans l'air sans nuage, la célérité est $v_2 = \frac{c}{n_2}$, donc $d = v_2\,\tau = \frac{c\,\tau}{n_2}$.

$$d = \frac{3{,}0 \times 10^8 \times 4{,}0 \times 10^{-10}}{1{,}00029} = 0{,}12 \text{ m} = 12 \text{ cm}$$

Cette distance dépasse la précision de 5 cm visée pour le niveau de la mer. Sans connaître les indices, donc sans le radiomètre, le retard dû au nuage serait pris pour une distance supplémentaire et la mesure serait faussée.

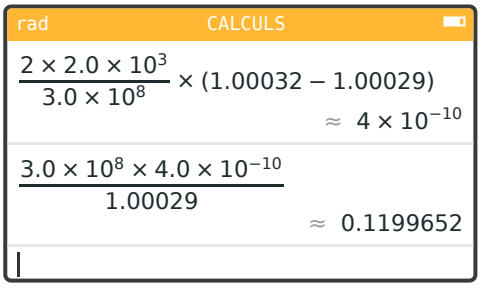
$\tau = \frac{2h}{c}(n_1 - n_2) = 4{,}0 \times 10^{-10}$ s et $d = 12$ cm, supérieure à la précision de 5 cm : la correction du radiomètre est indispensable.

PIÈGE
Laisser h en kilomètres. Arrondir les indices avant de les soustraire : tout le résultat tient dans leur différence, 3×10^{-5}.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme h et c. Le nuage a l'indice le plus grand : l'onde y est plus lente et arrive plus tard, donc τ est positif. Contrôler ainsi le signe d'un résultat.

MÉTHODE
Pour juger si un effet est négligeable, le convertir dans la grandeur mesurée (ici une distance) et le comparer à la précision annoncée par l'énoncé.

À LA CALCULATRICE

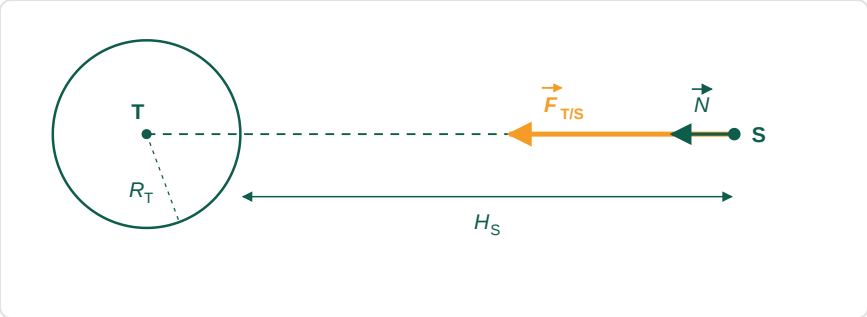


2.1 Représenter sur la figure 1 de l'annexe la force $\overrightarrow{F_{T/S}}$ exercée par la Terre sur le satellite S.

La force est appliquée en S, portée par la droite (ST) et dirigée de S vers T : elle est attractive.

$\overrightarrow{F_{T/S}}$: flèche partant de S et dirigée vers le centre T de la Terre (voir figure).

PIÈGE
Faire partir la flèche de T, ou la dessiner vers l'extérieur. Une force se trace à partir du système qui la subit, ici S.



2.1 · Figure 1 de l'annexe complétée : la force est tracée en orange

2.2 Donner l'expression vectorielle de cette force en fonction des données de l'énoncé et du vecteur unitaire $\vec{N}$.

La distance entre le centre de la Terre et le satellite est $TS = R_T + H_S$. Le vecteur $\vec{N}$ est dirigé de S vers T, comme la force.

$$\vec{F}_{T/S} = G\,\frac{M\,m}{(R_T + H_S)^2}\,\vec{N}$$

PIÈGE
Écrire H_S^2 au dénominateur : la distance se compte entre les centres, pas depuis le sol. Pas de signe « $-$ » non plus, puisque $\vec{N}$ pointe déjà vers la Terre.

2.3 En ne considérant que l'action de la Terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération $\vec{a}$ du satellite dans le référentiel géocentrique supposé galiléen.

Système : le satellite Jason, de masse m constante. Référentiel géocentrique, supposé galiléen. Seule force : $\vec{F}_{T/S}$.

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $G\,\dfrac{M\,m}{(R_T + H_S)^2}\,\vec{N} = m\,\vec{a}$.

$$\vec{a} = \frac{G\,M}{(R_T + H_S)^2}\,\vec{N}$$

COMPRENDRE
La masse m du satellite se simplifie : l'accélération, donc tout le mouvement, ne dépend que de la Terre et du rayon de l'orbite.

MÉTHODE
Toujours annoncer système, référentiel et bilan des forces avant d'écrire la deuxième loi de Newton : ces trois lignes sont comptées dans le barème.

2.4 Montrer que, pour un mouvement circulaire (admis uniforme), la vitesse du satellite s'écrit $V = \sqrt{\dfrac{G\,M}{R_T + H_S}}$.

Pour un mouvement circulaire uniforme de rayon $R_T + H_S$, l'accélération est dirigée vers le centre de la trajectoire et vaut :

$$\vec{a} = \frac{V^2}{R_T + H_S}\,\vec{N}$$

En identifiant avec l'expression de la question 2.3 :

$$\frac{V^2}{R_T + H_S} = \frac{G\,M}{(R_T + H_S)^2} \quad \text{donc} \quad V^2 = \frac{G\,M}{R_T + H_S}$$

$V = \sqrt{\dfrac{G\,M}{R_T + H_S}}$, qui est bien l'expression attendue.

COMPRENDRE
L'accélération de la question 2.3 n'a aucune composante tangente à la trajectoire : $\dfrac{\mathrm{d}V}{\mathrm{d}t} = 0$. C'est ce qui justifie le caractère uniforme, admis ici.

2.5 En déduire la valeur de la période de rotation T_S du satellite et la comparer à celle de l'énoncé.

Données utiles $G = 6{,}67 \times 10^{-11}$ N · m^2 · kg^{-2} ; $M = 5{,}98 \times 10^{24}$ kg ; $R_T = 6{,}38 \times 10^3$ km ; $H_S = 1336$ km ; $T_J = 112$ min

Pendant une période, le satellite parcourt la circonférence de son orbite à la vitesse constante V :

$$T_S = \frac{2\pi\,(R_T + H_S)}{V} = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + H_S)^3}{G\,M}}$$

Rayon de l'orbite : $R_T + H_S = 6{,}38 \times 10^6 + 1{,}336 \times 10^6 = 7{,}716 \times 10^6$ m.

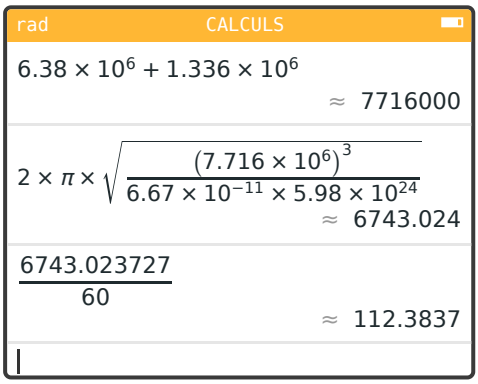
$$T_S = 2\pi\sqrt{\frac{(7{,}716 \times 10^6)^3}{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}98 \times 10^{24}}} = 6{,}74 \times 10^3 \text{ s}$$

Soit $T_S = \dfrac{6{,}74 \times 10^3}{60} = 112$ min.

$T_S = 6{,}74 \times 10^3$ s $= 112$ min : c'est la valeur T_J donnée par l'énoncé.

PIÈGE
Laisser R_T et H_S en kilomètres alors que G est en unités SI. Confondre aussi T_T, période de rotation de la Terre sur elle-même, avec la période du satellite.

À LA CALCULATRICE



3.1 Compléter le document 1 « principe de l'effet Doppler » de l'annexe, par analogie avec les ondes sonores.

Comme pour une sirène qui paraît plus aiguë en approchant et plus grave en s'éloignant :

- le satellite s'approche de la balise : la fréquence reçue est **supérieure** à la fréquence émise ;
- le satellite s'éloigne de la balise : la fréquence reçue est **inférieure** à la fréquence émise.

Approche : fréquence reçue supérieure à f_0 ; éloignement : fréquence reçue inférieure à f_0.

COMPRENDRE
Quand l'émetteur et le récepteur se rapprochent, les fronts d'onde sont reçus à intervalles plus courts : la période perçue diminue, la fréquence augmente. C'est l'inverse quand ils s'éloignent.

Le satellite est à la verticale de la balise : c'est le point TCA.
La fréquence du signal reçu est égale à la fréquence du signal émis.

Le satellite s'approche de la balise :
La fréquence du signal reçu est **supérieure** à la fréquence du signal émis.

Le satellite s'éloigne de la station :
La fréquence du signal reçu est **inférieure** à la fréquence du signal émis.

3.1 · Document 1 de l'annexe complété : les mots ajoutés sont en orange

3.2 a. Exprimer la vitesse v du satellite en fonction de $\Delta f = f_r - f_0$, de f_0, de c et de $\cos(\theta)$. b. Calculer v en $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ et la comparer à la valeur que donne l'expression de la question 2.4.

Données utiles $\Delta f = -4{,}07$ kHz ; $\theta = 115^\circ$; $f_0 = 401{,}250$ MHz ; $c = 3{,}0 \times 10^8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $R_T + H_S = 7{,}716 \times 10^6$ m (2.5)

a. On développe la relation de l'énoncé : $f_r = f_0 + f_0 \dfrac{v\cos(\theta)}{c}$, donc $\Delta f = f_r - f_0 = f_0 \dfrac{v\cos(\theta)}{c}$.

$$v = \frac{c\,\Delta f}{f_0 \cos(\theta)}$$

b. Application numérique :

$$v = \frac{3{,}0 \times 10^8 \times (-4{,}07 \times 10^3)}{401{,}250 \times 10^6 \times \cos(115^\circ)} = 7{,}2 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Avec l'expression de la question 2.4 :

$$V = \sqrt{\frac{G\,M}{R_T + H_S}} = \sqrt{\frac{6{,}67 \times 10^{-11} \times 5{,}98 \times 10^{24}}{7{,}716 \times 10^6}} = 7{,}19 \times 10^3\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Les deux valeurs coïncident à la précision des données : la mesure Doppler redonne bien la vitesse orbitale.

$v = \dfrac{c\,\Delta f}{f_0 \cos(\theta)} = 7{,}2\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$, en accord avec $V = 7{,}19\ \text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ obtenue par la mécanique.

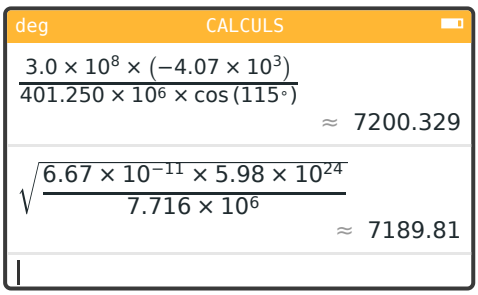
PIÈGE

Calculatrice en radians, ou oubli des conversions kHz et MHz en Hz. Le signe « $-$ » de Δf doit être conservé : avec $\cos(115^\circ) < 0$, il donne une vitesse positive.

COMPRENDRE

$\Delta f < 0$: la fréquence reçue est inférieure à f_0, le satellite s'éloigne de la balise, ce qui correspond à un angle supérieur à 90°. Le résultat a deux chiffres significatifs, comme c.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Traitement de l'eau d'un puits

Bac S 2019 Asie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 Justifier le fait que l'eau du puits analysée doit subir un traitement et qu'il peut se faire par le *déferriseur 5750* dans les conditions normales d'utilisation.

Données utiles analyse de l'eau : $\text{pH} = 7{,}2$; $t_{\text{Fe}} = 3{,}8\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; $t_{\text{Mn}} = 1{,}0\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$; seuils : $300\ \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (fer), $150\ \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (manganèse) ; déferriseur : $6{,}8 < \text{pH} < 9$ et $t_{\text{Fe}} + 2 \times t_{\text{Mn}} < 6\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$

L'eau doit être traitée. On convertit les concentrations en masse dans l'unité des seuils :

- fer : $t_{\text{Fe}} = 3{,}8\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} = 3\,800\ \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} > 300\ \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$;
- manganèse : $t_{\text{Mn}} = 1{,}0\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} = 1\,000\ \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1} > 150\ \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

Les deux seuils sont largement dépassés : sans traitement, l'eau tacherait le linge et abîmerait les canalisations.

Le déferriseur 5750 convient. Ses deux conditions d'utilisation sont respectées :

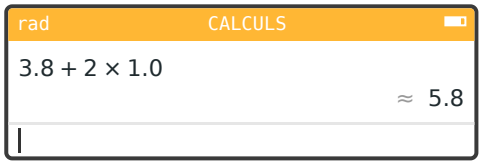
- acidité : $\text{pH} = 7{,}2$, donc $6{,}8 < \text{pH} < 9$;
- concentrations : $t_{\text{Fe}} + 2 \times t_{\text{Mn}} = 3{,}8 + 2 \times 1{,}0 = 5{,}8\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} < 6\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

L'eau dépasse les deux seuils (fer et manganèse) et respecte les conditions du déferriseur : $\text{pH} = 7{,}2$ et $5{,}8\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1} < 6\ \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

PIÈGE
Comparer $3{,}8$ à 300 sans convertir : l'analyse est en $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, les seuils en $\mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, et $1\ \text{mg} = 1\,000\ \mu\text{g}$.

MÉTHODE
La question demande deux justifications : le besoin de traitement (deux seuils) et la possibilité de l'appareil (deux conditions). Chacune se prouve par une comparaison chiffrée, pas par une phrase générale.

À LA CALCULATRICE



2 Donner une valeur approchée de la proportion en volume de dioxygène dans l'air.

L'air est composé, en volume, d'environ $80\ \%$ de diazote et $20\ \%$ de dioxygène.

Proportion en volume de dioxygène dans l'air : environ $20\ \%$, soit un cinquième.

COMPRENDRE
La valeur plus précise est $21\ \%$, avec $78\ \%$ de diazote et $1\ \%$ d'autres gaz. Pour un gaz, proportion en volume et proportion en quantité de matière sont égales.

P Problème. Quel doit être le débit minimal d'air (exprimé en $\mathrm{L \cdot h^{-1}}$) de l'aérateur du *déferriseur 5750* pour que l'eau traitée puisse alimenter un lave-linge ?

Données utiles $M_{\mathrm{Fe}} = 55{,}8\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $M_{\mathrm{Mn}} = 54{,}9\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $V_M = 24\ \mathrm{L \cdot mol^{-1}}$; débit de la pompe à eau : $1{,}0\ \mathrm{m^3 \cdot h^{-1}}$; $t_{\mathrm{Fe}} = 3{,}8\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$; $t_{\mathrm{Mn}} = 1{,}0\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$; seuils $0{,}300$ et $0{,}150\ \mathrm{mg \cdot L^{-1}}$; $20\ \%$ de dioxygène dans l'air (question 2)

Démarche. On raisonne sur une heure de fonctionnement. On cherche les masses d'ions à éliminer pour redescendre aux seuils, puis la quantité de dioxygène qui les oxyde, puis le volume d'air qui apporte ce dioxygène.

1. Volume d'eau traité en une heure. $V_{\mathrm{eau}} = 1{,}0\ \mathrm{m^3} = 1{,}0 \times 10^3\ \mathrm{L}$.

2. Masses d'ions à éliminer. Il faut au minimum ramener chaque concentration à son seuil :

$$m_{\mathrm{Fe}} = (3{,}8 - 0{,}300) \times 1{,}0 \times 10^3 = 3{,}5 \times 10^3\ \mathrm{mg} = 3{,}5\ \mathrm{g}$$

$$m_{\mathrm{Mn}} = (1{,}0 - 0{,}150) \times 1{,}0 \times 10^3 = 8{,}5 \times 10^2\ \mathrm{mg} = 0{,}85\ \mathrm{g}$$

3. Quantités de matière.

$$n_{\mathrm{Fe}} = \frac{m_{\mathrm{Fe}}}{M_{\mathrm{Fe}}} = \frac{3{,}5}{55{,}8} = 6{,}3 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$$

$$n_{\mathrm{Mn}} = \frac{m_{\mathrm{Mn}}}{M_{\mathrm{Mn}}} = \frac{0{,}85}{54{,}9} = 1{,}5 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$$

4. Dioxygène nécessaire. D'après les équations, une mole de $\mathrm{O_2}$ oxyde 4 moles de $\mathrm{Fe^{2+}}$ ou 2 moles de $\mathrm{Mn^{2+}}$:

$$n(\mathrm{O_2}) = \frac{n_{\mathrm{Fe}}}{4} + \frac{n_{\mathrm{Mn}}}{2} = 1{,}57 \times 10^{-2} + 0{,}77 \times 10^{-2} = 2{,}3 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol}$$

5. Volume de dioxygène, puis d'air.

$$V(\mathrm{O_2}) = n(\mathrm{O_2}) \times V_M = 2{,}3 \times 10^{-2} \times 24 = 0{,}56\ \mathrm{L}$$

Le dioxygène représente $20\ \%$ du volume de l'air :

$$V_{\mathrm{air}} = \frac{V(\mathrm{O_2})}{0{,}20} = \frac{0{,}56}{0{,}20} = 2{,}8\ \mathrm{L}$$

Ce volume doit être injecté chaque heure.

Regard critique. On a supposé que tout le dioxygène injecté se dissout et réagit, et seulement avec ces deux ions. En pratique il faut régler l'aérateur nettement au-dessus de cette valeur. Ce débit reste très faible devant celui de l'eau ($1\,000\ \mathrm{L \cdot h^{-1}}$).

Débit minimal d'air : $D_{\mathrm{air}} \approx 2{,}8\ \mathrm{L \cdot h^{-1}}$, soit environ $3\ \mathrm{L \cdot h^{-1}}$.

PIÈGE
Inverser les coefficients : il faut $\frac{n_{\mathrm{Fe}}}{4}$ et $\frac{n_{\mathrm{Mn}}}{2}$ de dioxygène, pas $4\,n_{\mathrm{Fe}}$. Autre oubli fréquent : s'arrêter au volume de dioxygène sans passer au volume d'air.

COMPRENDRE
Si l'on choisit d'éliminer la totalité des ions ($3{,}8$ g et $1{,}0$ g par heure), on trouve $3{,}1\ \mathrm{L \cdot h^{-1}}$. Les deux démarches donnent environ $3\ \mathrm{L \cdot h^{-1}}$: deux chiffres significatifs au plus, car $20\ \%$ est une valeur approchée.

COMPRENDRE
L'enseignement de spécialité de l'ancien programme (thème « L'eau ») n'existe plus. Les outils utilisés ici, oxydoréduction, quantité de matière, volume molaire, restent au programme actuel.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{3.5}{55.8} \approx 0.06272401$$

$$\frac{0.85}{54.9} \approx 0.0154827$$

$$\frac{\frac{3.5}{55.8}}{4} + \frac{\frac{0.85}{54.9}}{2} \approx 0.02342235$$

$$\left(\frac{\frac{3.5}{55.8}}{4} + \frac{\frac{0.85}{54.9}}{2}\right) \times 24 \approx 0.5621364$$

$$\frac{\left(\frac{\frac{3.5}{55.8}}{4} + \frac{\frac{0.85}{54.9}}{2}\right) \times 24}{0.20} \approx 2.810682$$

$$\frac{\left(\frac{\frac{3.8}{55.8}}{4} + \frac{\frac{1.0}{54.9}}{2}\right) \times 24}{0.20} \approx 3.135907$$