Corrigé complet — Bac S 2018 Asie (ancien programme)

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

Ex 1	**L'acide citrique au quotidien** Couples acide-base et pKa · Diagramme de distribution · Extraction liquide-liquide · Spectroscopie infrarouge · Titrage pH-métrique · Pureté d'un produit	9 pts	1 h 30	14 questions	p. 2
Ex 2	**étude du vol d'une balle de golf** Chronophotographie · Mouvement rectiligne uniforme · Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Équations horaires · Portée d'un tir	6 pts	1 h	11 questions	p. 7
Ex 3	**Communication sous-marine** Célérité d'une onde sonore · Incertitudes de mesure · Période et fréquence · Intensité et niveau d'intensité sonore · Atténuation géométrique et par absorption	5 pts	50 min	9 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Vitrage électrochrome** Facteur solaire d'un vitrage · Capacité thermique · Variation d'énergie interne · Bilan d'énergie · Conversion kWh et joule · Résolution de problème	5 pts	50 min	2 questions	p. 17

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'acide citrique au quotidien

Bac S 2018 Asie (ancien programme) · Exercice 1 **9 points** **Durée conseillée 1 h 30**

1.1 Rappeler ce qu'est un acide selon Brönsted, puis expliquer pourquoi l'acide citrique est qualifié de « triacide ».

Un acide selon Brönsted est une espèce chimique capable de céder au moins un ion hydrogène $\mathrm{H^+}$ (un proton).

La molécule d'acide citrique porte trois groupes carboxyle $-\mathrm{COOH}$: chacun peut céder un ion $\mathrm{H^+}$.

L'acide citrique peut céder trois ions $\mathrm{H^+}$: c'est un **triacide**.

PIÈGE
Le groupe hydroxyle $-\mathrm{OH}$ porté par le carbone central est celui d'un alcool : il ne cède pas d'ion $\mathrm{H^+}$ dans l'eau. Seuls les trois $-\mathrm{COOH}$ comptent.

1.2 Parmi les espèces a, b, c et d, indiquer celle qui prédomine en milieu très acide et celle qui prédomine en milieu très basique. Justifier.

En notant $\mathrm{AH_3}$ l'acide citrique, les quatre espèces sont $\mathrm{AH_3}$ (d), $\mathrm{AH_2^-}$ (a), $\mathrm{AH^{2-}}$ (c) et $\mathrm{A^{3-}}$ (b).

Plus le pH est faible, plus la forme acide d'un couple l'emporte sur sa forme basique. En milieu très acide, c'est donc l'espèce qui a gardé ses trois ions $\mathrm{H^+}$ qui prédomine ; en milieu très basique, c'est celle qui les a tous cédés.

Milieu très acide : espèce **d** ($\mathrm{AH_3}$). Milieu très basique : espèce **b** ($\mathrm{A^{3-}}$).

MÉTHODE
Compter les groupes $-\mathrm{COO}-$ de chaque représentation : zéro pour d, un pour a, deux pour c, trois pour b. Ce classement sert pour toute la partie 1.

1.3 Associer chaque espèce acido-basique a, b, c et d à une courbe 1, 2, 3 ou 4 du diagramme de distribution.

Quand le pH augmente, l'acide citrique cède ses ions $\mathrm{H^+}$ un par un : les espèces prédominent tour à tour dans l'ordre $\mathrm{AH_3}$, $\mathrm{AH_2^-}$, $\mathrm{AH^{2-}}$, $\mathrm{A^{3-}}$, c'est-à-dire dans l'ordre des courbes de gauche à droite.

Courbe (1) : **d** ; courbe (2) : **a** ; courbe (3) : **c** ; courbe (4) : **b**.

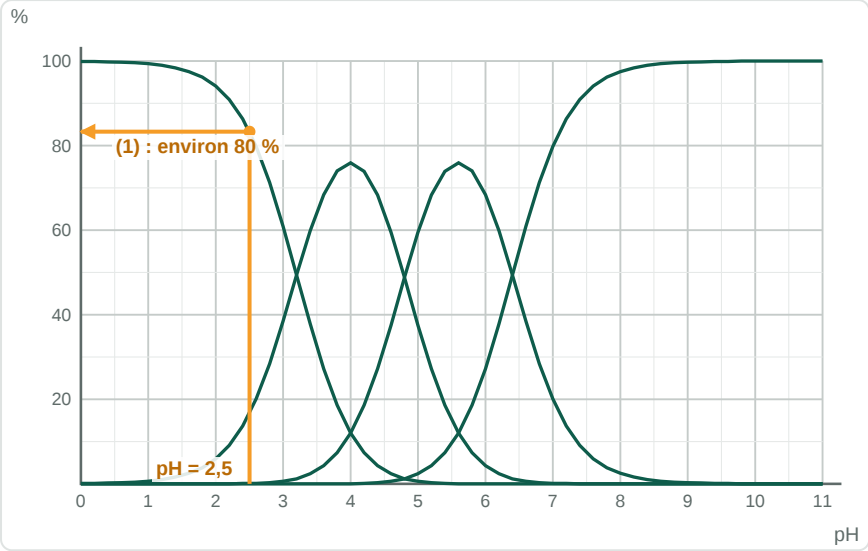
1.4 Le pH d'une solution d'acide citrique est d'environ 2,5. Quelles sont les formes prédominantes dans cette solution ? Estimer leurs proportions relatives.

Données utiles $\mathrm{pH} \approx 2{,}5$; diagramme de distribution (document 1) ; attribution des courbes (1.3)

À pH $= 2{,}5$, on lit sur le diagramme : courbe (1) à environ 80 %, courbe (2) à environ 20 %, courbes (3) et (4) pratiquement à 0 %.

L'espèce **d** ($\mathrm{AH_3}$) prédomine, à environ 80 % ; l'espèce **a** ($\mathrm{AH_2^-}$) est présente à environ 20 % ; c et b sont négligeables.

COMPRENDRE
La somme des pourcentages lus à un même pH doit faire 100 % : c'est un contrôle rapide de la lecture.



1.4 · Allure du document 1 : courbes (1), (2), (3), (4) de gauche à droite, et lecture à pH = 2,5

1.5 Indiquer à quelle grandeur acido-basique particulière correspond la valeur de pH égale à 3,2. Justifier.

Au point d'abscisse 3,2, la courbe (1) coupe la courbe (2) à 50 % : $[\mathrm{AH_3}] = [\mathrm{AH_2^-}]$.

Or $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_A + \log \dfrac{[\mathrm{AH_2^-}]}{[\mathrm{AH_3}]}$, et $\log 1 = 0$, donc $\mathrm{pH} = \mathrm{p}K_A$.

3,2 est le $\mathrm{p}K_A$ du couple $\mathrm{AH_3/AH_2^-}$ (première acidité de l'acide citrique).

MÉTHODE
Sur un diagramme de distribution, chaque croisement de deux courbes voisines donne un $\mathrm{p}K_A$. Les deux autres croisements, vers 4,8 et 6,4, donnent ceux des couples suivants.

1.6 L'acide citrique présente-t-il un atome de carbone asymétrique ? Justifier la réponse.

Un atome de carbone asymétrique est lié à quatre atomes ou groupes d'atomes tous différents.

Le seul candidat est le carbone central, qui a quatre liaisons simples. Il porte $-\mathrm{OH}$, $-\mathrm{COOH}$ et deux groupes $-\mathrm{CH_2}-\mathrm{COOH}$ identiques. Les carbones des $-\mathrm{CH_2}-$ portent deux H identiques ; ceux des $-\mathrm{COOH}$ n'ont que trois voisins.

L'acide citrique ne possède **aucun** atome de carbone asymétrique.

PIÈGE
Les liaisons en coin et en pointillés (représentation de Cram) autour du carbone central ne prouvent rien : il faut comparer les quatre groupes un à un.

COMPRENDRE
Le carbone asymétrique et la représentation de Cram relevaient du programme de Terminale S ; ils ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

2.1 Écrire la formule brute de l'ion citrate (forme b). En déduire la formule brute du précipité de citrate de calcium formé à l'étape 3.

Données utiles acide citrique $\mathrm{C_6H_8O_7}$; ion calcium $\mathrm{Ca^{2+}}$

L'ion citrate est l'acide citrique $\mathrm{C_6H_8O_7}$ qui a perdu trois ions $\mathrm{H^+}$: sa formule est $\mathrm{C_6H_5O_7^{3-}}$.

Le précipité est électriquement neutre : il faut 3 ions $\mathrm{Ca^{2+}}$ (charge $+6$) pour 2 ions $\mathrm{C_6H_5O_7^{3-}}$ (charge -6).

Ion citrate : $\mathrm{C_6H_5O_7^{3-}}$; citrate de calcium : $\mathrm{Ca_3(C_6H_5O_7)_2}$.

MÉTHODE
Sans la formule brute donnée en partie 3, on compte les atomes sur la représentation b : 6 C, 7 O, et 5 H (deux $\mathrm{CH_2}$ et le H de $-\mathrm{OH}$).

2.2 Expliquer pourquoi le précipité de citrate de calcium disparait au cours de l'étape 5.

Données utiles étape 5 : pH < 1 ; $pK_A = 3{,}2$ (1.5)

À pH < 1, très inférieur à 3,2, la forme prédominante est l'acide citrique AH_3 (espèce d). Les ions citrate du solide captent donc les ions H^+ apportés par l'acide sulfurique et deviennent des molécules d'acide citrique, non chargées.

Les ions citrate étant consommés, le solide ionique $Ca_3(C_6H_5O_7)_2$ ne peut plus exister : il disparait et l'acide citrique passe en solution.

COMPRENDRE
L'aspect laiteux vient d'un autre solide, formé par les ions calcium libérés et les ions sulfate de l'acide ; il est retiré par la filtration de l'étape 6.

2.3 Faire un schéma légendé de l'ampoule à décanter de l'étape 6, préciser les positions des phases organique, aqueuse et de l'acide citrique. Justifier la position relative des deux phases.

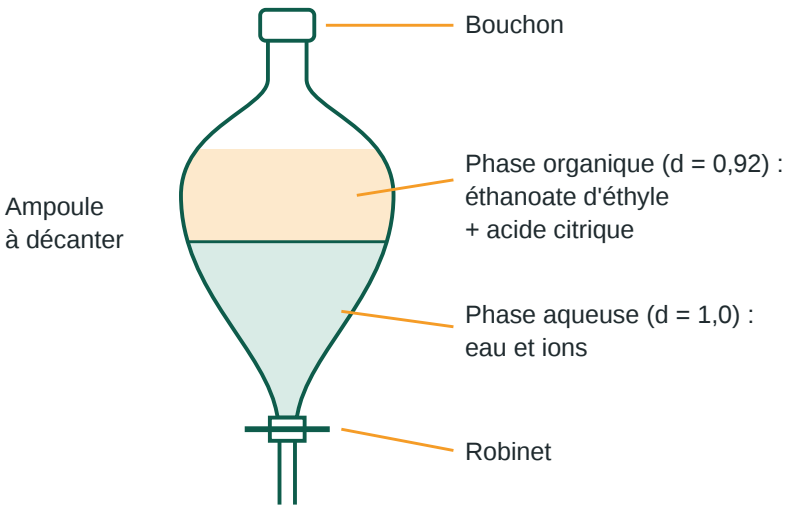
Données utiles densités : eau 1,0 ; éthanoate d'éthyle 0,92

L'éthanoate d'éthyle est moins dense que l'eau ($0{,}92 < 1{,}0$) : la phase organique surnage, la phase aqueuse est en dessous.

Le protocole jette la phase aqueuse et récupère l'acide citrique en évaporant le solvant organique (étape 7) : l'acide citrique se trouve donc dans la phase organique.

Au-dessus : phase organique contenant l'acide citrique ; **en dessous** : phase aqueuse.

PIÈGE
La phase organique n'est pas toujours en haut : avec un solvant plus dense que l'eau, elle serait en bas. La justification attendue est la comparaison des densités.



2.3 · Ampoule à décanter après décantation (étape 6)

2.4 Le spectre infrarouge du produit isolé confirme-t-il que le produit extrait du citron par ce protocole est de l'acide citrique ?

Données utiles table IR : $\mathrm{O-H}$ alcool 3200 – 3400 $\mathrm{cm^{-1}}$; $\mathrm{O-H}$ acide carboxylique 2500 – 3200 $\mathrm{cm^{-1}}$ (bande large) ; $\mathrm{C=O}$ acide carboxylique 1700 – 1725 $\mathrm{cm^{-1}}$

L'acide citrique possède des groupes carboxyle et un groupe hydroxyle. Sur le spectre, on repère :

- une bande très large entre 2500 et 3200 $\mathrm{cm^{-1}}$: liaisons $\mathrm{O-H}$ d'acide carboxylique ;
- une bande intense vers 1700 $\mathrm{cm^{-1}}$: liaisons $\mathrm{C=O}$ d'acide carboxylique ;
- des bandes plus fines entre 3300 et 3500 $\mathrm{cm^{-1}}$: liaison $\mathrm{O-H}$ d'alcool, un peu au-delà de l'intervalle de la table pour la plus haute.

Le spectre présente les bandes des groupes de l'acide citrique : il est **compatible** avec cette molécule.

PIÈGE
La bande vers 1700 – 1750 $\mathrm{cm^{-1}}$ est dédoublée et recouvre aussi l'intervalle des aldéhydes. La bande large $\mathrm{O-H}$ acide écarte cette lecture : on conclut à des groupes carboxyle.

COMPRENDRE
Un spectre infrarouge identifie des liaisons, pas une molécule : une autre espèce portant les mêmes groupes donnerait des bandes voisines. Il valide le protocole sans constituer une preuve absolue.

3.1 Expliquer pourquoi le coefficient stœchiométrique vaut 3 pour les ions hydroxyde dans l'équation support du titrage.

L'acide citrique est un triacide : chaque molécule cède trois ions $\mathrm{H^+}$, un par groupe carboxyle. Un ion hydroxyde $\mathrm{HO^-}$ ne capte qu'un seul ion $\mathrm{H^+}$.

Il faut donc **3** ions $\mathrm{HO^-}$ pour transformer une molécule $\mathrm{C_6H_8O_7}$ en ion citrate $\mathrm{C_6H_5O_7^{3-}}$.

COMPRENDRE
La courbe ne montre qu'un seul saut de pH : les trois $\mathrm{p}K_A$ sont trop proches pour que les acidités soient titrées séparément.

3.2 En expliquant la démarche, déterminer la valeur V_E du volume de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

Données utiles courbe de titrage et courbe dérivée du pH par rapport au volume

À l'équivalence, le pH varie le plus brutalement : le volume V_E est l'abscisse du maximum (pic) de la courbe dérivée $\frac{\mathrm{d\,pH}}{\mathrm{d}V}$.

Le pic se situe entre 16 et 17 mL, un peu avant le milieu de l'intervalle.

$V_E = 16{,}4\ \mathrm{mL}$

MÉTHODE
Sans courbe dérivée, on utilise la méthode des tangentes parallèles : deux tangentes parallèles de part et d'autre du saut, puis la parallèle équidistante, qui coupe la courbe au point d'équivalence.

3.3 Quel indicateur coloré pourrait-on utiliser pour réaliser ce titrage ? Préciser comment serait repéré le volume versé à l'équivalence.

Données utiles $V_E = 16{,}4$ mL (3.2) ; rouge de crésol : jaune, rouge, virage de 7,2 à 8,8

Un indicateur convient si sa zone de virage contient le pH à l'équivalence. Sur la courbe, pour $V_E = 16{,}4$ mL, on lit $\mathrm{pH}_E \approx 8{,}5$, valeur comprise entre 7,2 et 8,8.

Quelques gouttes de rouge de crésol sont ajoutées dans le bécher avant le titrage. La solution, acide, est d'abord jaune.

Rouge de crésol ; l'équivalence est repérée par le passage du jaune au rouge, persistant, à la goutte près.

PIÈGE
Le bleu de bromothymol (6,0 à 7,6) virerait trop tôt : la courbe monte lentement jusqu'à pH 7, le changement de teinte s'étalerait sur plusieurs millilitres avant l'équivalence.

3.4 Montrer que le détartrant n'est pas de l'acide citrique monohydraté, déterminer le pourcentage massique d'acide citrique anhydre du détartrant et conclure sur sa pureté.

Données utiles $m_{\text{pesée}} = 0{,}053$ g ; $C = 5{,}0 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} ; $V_E = 16{,}4$ mL (3.2) ; $M_{\text{anhydre}} = 192$ g · mol^{-1} ; $M_{\text{monohydraté}} = 210$ g · mol^{-1}

Quantité d'acide titrée. À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : $n_{\text{acide}} = \dfrac{n_{\text{HO}^-}}{3} = \dfrac{C\,V_E}{3}$

$$n_{\text{acide}} = \frac{5{,}0 \times 10^{-2} \times 16{,}4 \times 10^{-3}}{3} = 2{,}7 \times 10^{-4}\ \text{mol}$$

Hypothèse monohydraté. $m = n_{\text{acide}} \times M = \dfrac{C\,V_E}{3} \times 210 = 0{,}057$ g. Cette masse dépasse la masse de poudre pesée, $0{,}053$ g : c'est impossible, le détartrant n'est pas de l'acide citrique monohydraté.

Hypothèse anhydre. $m = \dfrac{C\,V_E}{3} \times 192 = 0{,}052$ g, valeur inférieure à $0{,}053$ g : cette forme convient.

Pourcentage massique. $w = \dfrac{m}{m_{\text{pesée}}} \times 100 = \dfrac{0{,}0525}{0{,}053} \times 100 = 99\ \%$ (avec la masse non arrondie, $0{,}0525$ g)

Le détartrant contient de l'acide citrique **anhydre**, à environ **99 %** en masse : il est pratiquement pur.

PIÈGE
Oublier le facteur 3 donne une masse de 0,16 g, trois fois la masse pesée : un résultat supérieur à la pesée doit alerter. Convertir aussi V_E en litres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme C et la masse pesée. La balance affiche au milligramme : $0{,}053$ g est connu à 2 % près, donc 99 % ne se distingue pas de 100 %.

MÉTHODE
Raisonnement par l'absurde : pour chaque forme, calculer la masse que le titrage imposerait, puis la comparer à la pesée. Une masse d'espèce supérieure à la masse de l'échantillon élimine l'hypothèse.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{5.0 \times 10^{-2} \times 16.4 \times 10^{-3}}{3} \approx 2.733333 \times 10^{-4}$

$\dfrac{5.0 \times 10^{-2} \times 16.4 \times 10^{-3}}{3} \times 210 \approx 0.0574$

$\dfrac{5.0 \times 10^{-2} \times 16.4 \times 10^{-3}}{3} \times 192 \approx 0.05248$

$\dfrac{0.0525}{0.053} \times 100 \approx 99.0566$

étude du vol d'une balle de golf

Bac S 2018 Asie (ancien programme) · Exercice 2 **6 points** **Durée conseillée 1 h**

1.1 Déterminer l'intervalle de temps Δt qui sépare deux images de la chronophotographie.

Données utiles caméra : 1 000 images par seconde

La caméra prend 1 000 images en une seconde, donc deux images consécutives sont séparées de :

$$\Delta t = \frac{1}{1\,000} = 1{,}00 \times 10^{-3}\ \text{s}$$

$\Delta t = 1{,}00 \times 10^{-3}\ \text{s} = 1{,}00\ \text{ms}$

COMPRENDRE
La durée entre deux images est l'inverse de la fréquence de prise de vue : $\Delta t = \frac{1}{f}$ avec $f = 1\,000$ Hz.

1.2 À quel type de mouvement simple peut être assimilé le mouvement de la balle au début du vol représenté sur la figure 1 ?

Sur la figure 1, les neuf positions de la balle sont alignées : la trajectoire est une droite, le mouvement est rectiligne.

Les positions sont régulièrement espacées alors qu'elles sont prises à intervalles de temps égaux : la valeur de la vitesse est constante, le mouvement est uniforme.

Au début du vol, le mouvement de la balle est **rectiligne uniforme**.

PIÈGE
Donner un seul des deux adjectifs. Chacun se justifie par une observation différente : l'alignement des points pour « rectiligne », l'égalité des écarts pour « uniforme ».

1.3 En prenant en considération l'échelle proposée, déterminer le plus précisément possible la vitesse initiale V_0 de la balle.

Données utiles échelle de la figure 1 : segment représentant 15 cm ; $\Delta t = 1{,}00 \times 10^{-3}$ s (1.1)

Le mouvement étant uniforme, la vitesse est la même sur tout l'enregistrement. Pour limiter l'incertitude de lecture, on mesure la plus grande distance possible : celle qui sépare la 1re et la 9e position, parcourue en 8 intervalles de temps.

$$V_0 = \frac{d}{8\,\Delta t}$$

Mesures à la règle sur la figure : le segment d'échelle mesure environ 3,0 cm pour 15 cm réels ; la distance entre les positions 1 et 9 mesure environ 12,0 cm.

$$d = \frac{12{,}0 \times 15}{3{,}0} = 60\ \text{cm} = 0{,}60\ \text{m}$$

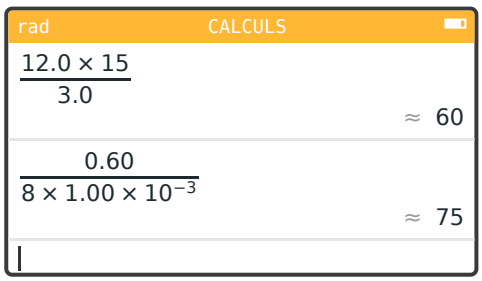
$$V_0 = \frac{0{,}60}{8 \times 1{,}00 \times 10^{-3}}$$

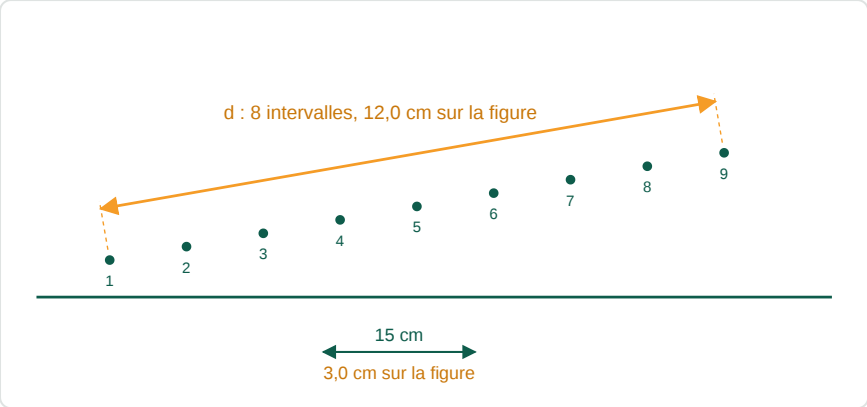
$V_0 \approx 75\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Neuf images, mais huit intervalles de temps. Diviser par $9\,\Delta t$ donne une vitesse trop faible. Penser aussi à convertir d en mètres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement : l'échelle est lue au millimètre près sur 3 cm. Selon la mesure, on trouve entre 73 et 78 $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$, ce qui s'accorde avec la valeur $75{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ fournie ensuite.

À LA CALCULATRICE





1.3 · Figure 1 : mesure de la distance entre la 1re et la 9e position

2.1 À partir d'une loi dont on donnera le nom, montrer que les composantes du vecteur accélération sont $a_x = 0$ et $a_y = -g$.

Système : {balle}, de masse m constante. Référentiel terrestre, supposé galiléen. Seule force prise en compte : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$ (pas de résistance de l'air).

Deuxième loi de Newton : $\sum \vec{F}_{\text{ext}} = m\,\vec{a}$, soit $m\,\vec{g} = m\,\vec{a}$, donc $\vec{a} = \vec{g}$.

Dans le repère (Oxy), $\vec{g}$ est vertical et dirigé vers le bas : $\vec{g} = -g\,\vec{j}$.

$$\vec{a}\begin{cases} a_x = 0 \\ a_y = -g \end{cases}$$

PIÈGE
Oublier le signe « $-$ ». L'axe (Oy) est orienté vers le haut alors que $\vec{g}$ pointe vers le bas.

MÉTHODE
Toute étude de mouvement commence par les mêmes quatre lignes : système, référentiel galiléen, bilan des forces, deuxième loi de Newton. On projette ensuite sur les axes du sujet.

2.2 Déterminer les équations horaires du mouvement.

Données utiles à $t = 0$: balle en O, vitesse $\vec{V}_0$ faisant l'angle θ avec l'horizontale

Comme $\vec{a} = \dfrac{\mathrm{d}\vec{v}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de a_x et a_y : $v_x = C_1$ et $v_y = -g\,t + C_2$.

À $t = 0$, $\vec{v} = \vec{V}_0$ de coordonnées $(V_0\cos\theta\ ;\ V_0\sin\theta)$, donc $C_1 = V_0\cos\theta$ et $C_2 = V_0\sin\theta$:

$$\vec{v}\begin{cases} v_x = V_0\cos\theta \\ v_y = -g\,t + V_0\sin\theta \end{cases}$$

Comme $\vec{v} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OM}}{\mathrm{d}t}$, on intègre une seconde fois : $x = V_0\cos\theta\cdot t + C_3$ et $y = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + V_0\sin\theta\cdot t + C_4$.

À $t = 0$, la balle est en O : $C_3 = 0$ et $C_4 = 0$.

$$x(t) = V_0\cos\theta\cdot t \qquad y(t) = -\frac{1}{2}\,g\,t^2 + V_0\sin\theta\cdot t$$

PIÈGE
Oublier les constantes d'intégration, ou les annuler sans justification. Chacune se détermine avec une condition initiale, qu'il faut écrire.

COMPRENDRE
Le mouvement horizontal est uniforme (v_x constante) ; le mouvement vertical est uniformément accéléré. Les deux sont indépendants.

2.3 Montrer que la portée de la balle s'écrit $x_{max} = 2\dfrac{V_0^2\cos(\theta)\sin(\theta)}{g}$.

La balle retombe sur le sol lorsque $y(t) = 0$:

$$-\frac{1}{2}g\,t^2 + V_0\sin\theta\cdot t = 0 \iff t\left(-\frac{1}{2}g\,t + V_0\sin\theta\right) = 0$$

La solution $t = 0$ correspond au départ. L'autre donne la date du retour au sol : $t_{max} = \dfrac{2\,V_0\sin\theta}{g}$.

La portée est l'abscisse à cette date : $x_{max} = x(t_{max}) = V_0\cos\theta \times \dfrac{2\,V_0\sin\theta}{g}$.

$x_{max} = 2\dfrac{V_0^2\cos(\theta)\sin(\theta)}{g}$: c'est l'expression attendue.

COMPRENDRE
On peut aussi passer par l'équation de la trajectoire $y(x)$ et chercher où elle s'annule : le résultat est le même, le calcul est plus long.

MÉTHODE
Portée d'un tir lancé depuis le sol : 1) résoudre $y(t) = 0$ en factorisant par t ; 2) écarter $t = 0$; 3) reporter la date trouvée dans $x(t)$.

2.4 Déterminer la valeur de la portée x_{max} dans les conditions expérimentales données.

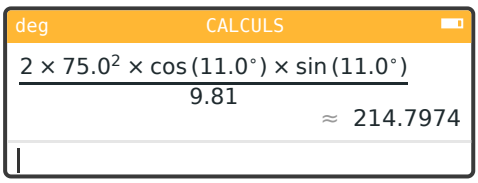
Données utiles $\theta = 11{,}0^\circ$; $V_0 = 75{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

$$x_{max} = 2\frac{V_0^2\cos(\theta)\sin(\theta)}{g} = 2\times\frac{75{,}0^2\times\cos(11{,}0^\circ)\times\sin(11{,}0^\circ)}{9{,}81}$$

$x_{max} = 215\ \text{m}$

PIÈGE
Calculatrice réglée en radians : on obtient alors une portée négative, de l'ordre de -5 m. Vérifier le mode degré avant tout calcul d'angle.

À LA CALCULATRICE



2.5 Comparer la portée calculée avec celle annoncée en introduction, et indiquer en quoi la valeur réelle de la portée dans l'air peut sembler surprenante.

Données utiles portée réelle : environ 250 m ; $x_{max} = 215$ m (2.4)

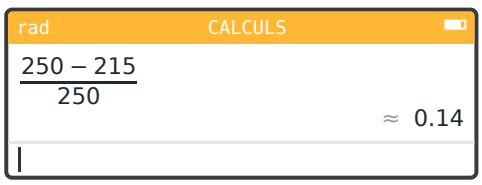
La portée calculée sans résistance de l'air (215 m) est inférieure à la portée réelle (250 m). L'écart vaut $250 - 215 = 35$ m, soit $\dfrac{35}{250} = 14\ \%$ de la portée réelle.

Ce résultat peut surprendre : on s'attend à ce que l'air freine la balle et réduise la portée. La portée réelle devrait alors être plus petite que celle du modèle sans air, et c'est l'inverse qui est observé.

$x_{max} = 215\ \text{m} < 250\ \text{m}$: dans l'air, la balle va plus loin que dans le modèle sans air. L'air ne fait donc pas que freiner la balle.

PIÈGE
Se limiter à « les valeurs sont différentes ». Il faut dire laquelle est la plus grande, chiffrer l'écart, puis expliquer pourquoi le sens de cet écart est inattendu.

À LA CALCULATRICE



3.1 Représenter sur le document réponse les forces modélisant les actions mécaniques s'exerçant sur la balle.

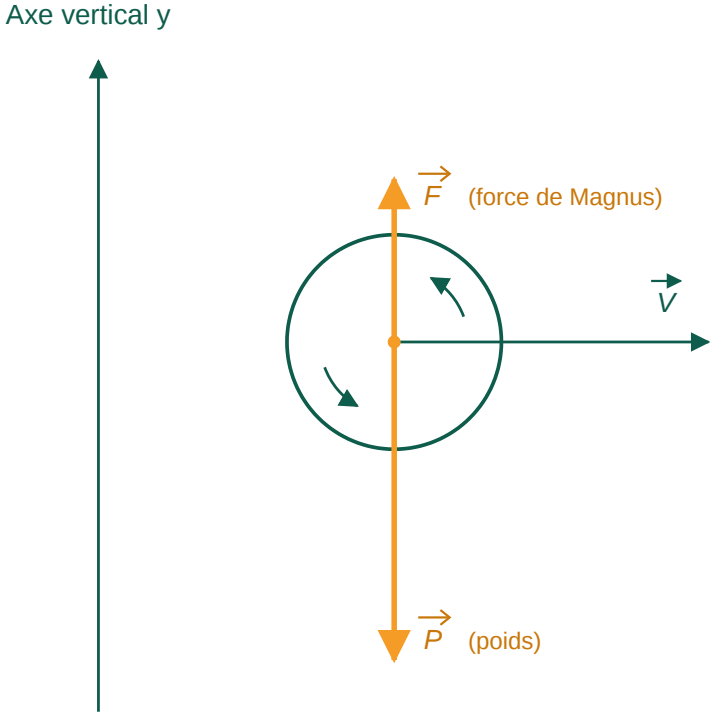
Dans ce modèle, deux forces s'exercent sur la balle, toutes deux appliquées en son centre :

- le poids $\vec{P}$, vertical, dirigé vers le bas ;
- la force $\vec{F}$ due à l'effet Magnus, verticale, dirigée vers le haut.

Les autres effets de l'air sont négligés. La balle retombe : $\vec{F}$ est tracée plus courte que $\vec{P}$.

Deux vecteurs verticaux partant du centre de la balle : $\vec{P}$ vers le bas et $\vec{F}$ vers le haut, avec $F < P$.

PIÈGE
Tracer $\vec{V}$ comme une force, ou ajouter une « force de lancer » : le club ne touche plus la balle. La vitesse n'est pas une action mécanique.



3.1 · Document réponse complété : les deux forces, appliquées au centre de la balle

3.2 En déduire l'expression de la nouvelle composante a_y de l'accélération verticale en fonction de m, g et F.

Deuxième loi de Newton appliquée à la balle dans le référentiel terrestre : $\vec{P} + \vec{F} = m\,\vec{a}$.

En projection sur l'axe vertical (Oy), orienté vers le haut : $-m\,g + F = m\,a_y$.

$$a_y = -g + \frac{F}{m}$$

COMPRENDRE
$\vec{F}$ est verticale, donc $a_x = 0$ comme dans la partie 2. Tout se passe comme si la balle tombait dans une pesanteur plus faible, d'intensité $g - \frac{F}{m}$.

3.3 Estimer la valeur de l'intensité de la force $\vec{F}$ pour retrouver la portée effectivement observée.

Données utiles $m = 46$ g ; $g = 9{,}81\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $V_0 = 75{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\theta = 11{,}0^\circ$; portée observée : 250 m ; a_y (3.2)

Par rapport à la partie 2, seule change la composante verticale de l'accélération : $-g$ est remplacé par $-\left(g - \dfrac{F}{m}\right)$, les conditions initiales restant identiques. Le calcul de la portée est donc le même, en remplaçant g par $g - \dfrac{F}{m}$:

$$x'_{max} = 2\,\frac{V_0^2\cos(\theta)\sin(\theta)}{g - \dfrac{F}{m}}$$

On isole F : $g - \dfrac{F}{m} = 2\,\dfrac{V_0^2\cos(\theta)\sin(\theta)}{x'_{max}}$ d'où $F = m\left(g - 2\,\dfrac{V_0^2\cos(\theta)\sin(\theta)}{x'_{max}}\right)$

Avec $x'_{max} = 250$ m et $m = 46\times10^{-3}$ kg :

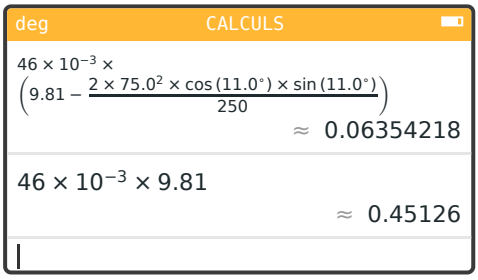
$$F = 46\times10^{-3}\times\left(9{,}81 - 2\times\frac{75{,}0^2\times\cos(11{,}0^\circ)\times\sin(11{,}0^\circ)}{250}\right)$$

$F \approx 6{,}3\times10^{-2}$ N, soit environ 14 % du poids de la balle ($P = m\,g = 0{,}45$ N).

PIÈGE
Laisser la masse en grammes : la deuxième loi de Newton exige des kilogrammes. Vérifier aussi que $F < P$, sinon la balle ne retomberait pas.

MÉTHODE
Quand un nouveau modèle ne change qu'un paramètre d'une formule déjà établie, on la réutilise par analogie en justifiant la substitution, sans refaire toute la démonstration.

À LA CALCULATRICE



Communication sous-marine

Bac S 2018 Asie (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Lors de l'expérience de 1825, pourquoi le premier expérimentateur lance-t-il une fusée ?

La fusée est un signal lumineux lancé au moment où le son est produit dans l'eau. La lumière se propage beaucoup plus vite que le son : sur 1000 m, elle arrive de façon quasi instantanée au second bateau.

La fusée indique au chronométreur l'instant d'émission du son : il déclenche le chronomètre en la voyant.

COMPRENDRE
Dans l'air, la lumière parcourt 1000 m en environ 3×10^{-6} s, durée négligeable devant celle du son dans l'eau, inférieure à la seconde mais mesurable.

1.2 Identifier au moins deux sources d'erreurs sur la mesure de la vitesse du son dans l'expérience de 1825.

La vitesse est calculée par $v = \dfrac{d}{\Delta t}$: toute erreur sur d ou sur Δt se retrouve sur v.

- Distance : elle n'est connue qu'approximativement (« environ 1000 m »).
- Départ du chronomètre : le son et la fusée ne partent pas exactement ensemble, et le chronométreur réagit avec retard.
- Arrêt du chronomètre : il passe par un geste du bras, ce qui ajoute le temps de réaction de deux personnes.
- Chronomètre : il n'indique que les quarts de seconde, alors que la durée mesurée est inférieure à une seconde.

Sources d'erreurs : distance mal connue, temps de réaction des expérimentateurs et chronomètre peu précis.

PIÈGE
Répondre « erreurs humaines » sans préciser. Il faut nommer la grandeur touchée, distance ou durée, et la cause de l'erreur.

1.3 Quelles améliorations du deuxième protocole ont permis de réduire l'incertitude ?

- Le signal lumineux est déclenché par le coup donné sur la cloche : lumière et son partent au même instant.
- Un seul expérimentateur voit la lumière et entend le son grâce au tube : il n'y a plus de signe du bras ni de troisième personne.
- La distance est bien plus grande et mieux connue (13 487 m à 20 m près) : la durée mesurée passe à plusieurs secondes, si bien que le quart de seconde du chronomètre pèse beaucoup moins.

Émission synchronisée, un seul observateur, distance plus grande et mieux mesurée : l'incertitude relative sur d et sur Δt diminue.

COMPRENDRE
Avec le même chronomètre, l'incertitude sur la durée reste de 0,25 s. C'est l'incertitude relative $U(\Delta t)/\Delta t$ qui diminue quand la durée mesurée augmente.

1.4 À l'aide de l'expression de l'incertitude relative sur v, donner un encadrement de la valeur de la vitesse du son dans l'eau.

Données utiles $d = 13\,487$ m ; $U(d) = 20$ m ; $\Delta t = 9{,}4$ s ; $U(\Delta t) = 0{,}25$ s

Vitesse du son : $v = \dfrac{d}{\Delta t} = \dfrac{13\,487}{9{,}4} = 1{,}435 \times 10^3$ m · s^{-1} (valeur non arrondie gardée pour la suite).

Incertitude relative :

$$\frac{U(v)}{v} = \sqrt{\left(\frac{20}{13\,487}\right)^2 + \left(\frac{0{,}25}{9{,}4}\right)^2} = 0{,}0266$$

d'où $U(v) = 0{,}0266 \times 1435 = 38$ m · s^{-1}.

On arrondit l'incertitude par excès à un chiffre significatif : $U(v) = 4 \times 10^1$ m · s^{-1}. La vitesse s'arrondit alors à la dizaine : $v = (1{,}43 \pm 0{,}04) \times 10^3$ m · s^{-1}.

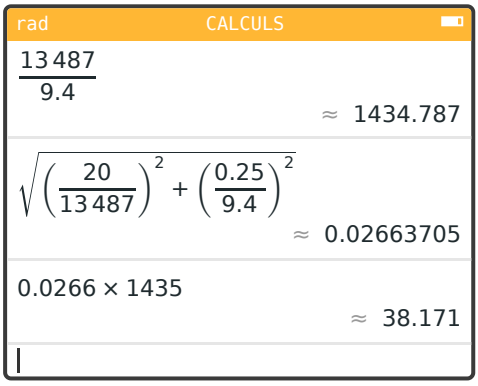
$$1{,}39 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \leqslant v \leqslant 1{,}47 \times 10^3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$$

PIÈGE
Écrire $v = 1434{,}8 \pm 38{,}2$ m · s^{-1} : les chiffres placés après le rang de l'incertitude n'ont aucun sens.

COMPRENDRE
L'incertitude se donne avec un seul chiffre significatif, arrondie par excès. Le résultat s'arrête ensuite au même rang qu'elle : ici la dizaine de m · s^{-1}.

COMPRENDRE
Le programme actuel note $u(v)$ l'incertitude-type. La formule de composition, fournie par l'énoncé, s'utilise de la même façon.

À LA CALCULATRICE



1.5 Colladon affirme que l'erreur possible ne dépasse pas 1/60 de la valeur véritable. Est-ce cohérent avec le résultat de la question 1.4 ? Justifier.

Données utiles $U(v) = 4 \times 10^1$ m · s^{-1} et $v = 1{,}43 \times 10^3$ m · s^{-1} (1.4)

Incertitude relative obtenue à la question 1.4 : $\dfrac{U(v)}{v} = \dfrac{4 \times 10^1}{1{,}43 \times 10^3} = 0{,}03$.

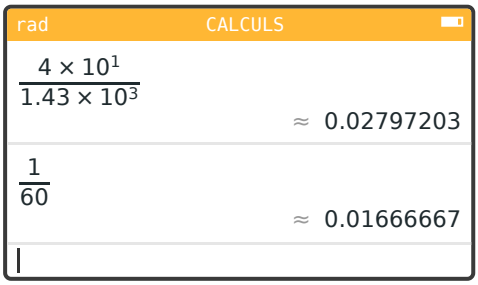
Affirmation de Colladon : $\dfrac{1}{60} = 0{,}017$.

Comme $0{,}03 > 0{,}017$, l'incertitude relative trouvée est presque deux fois plus grande que celle annoncée.

L'affirmation n'est pas cohérente avec la question 1.4 : l'erreur possible vaut environ 3 % de v, et non $\dfrac{1}{60} \approx 1{,}7$ %.

MÉTHODE
Pour comparer deux précisions, tout ramener à une incertitude relative, sans unité. On peut aussi comparer $U(v)$ à $v/60 \approx 24$ m · s^{-1}.

À LA CALCULATRICE



2.1 À l'aide de l'enregistrement du signal émis par le sonar, vérifier que la fréquence d'émission f vaut 12 kHz.

Le signal part de zéro en croissant à $t = 0$ et repasse par zéro en croissant, pour la troisième fois, à $t = 250$ µs : trois périodes durent 250 µs.

$$T = \frac{250}{3} = 83{,}3 \text{ µs} = 8{,}33 \times 10^{-5} \text{ s}$$

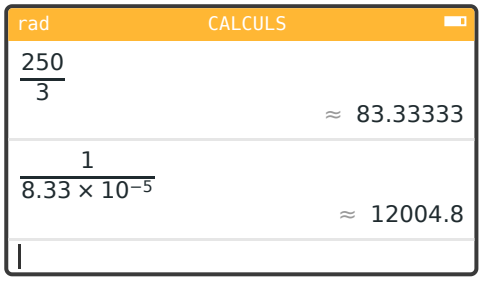
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{8{,}33 \times 10^{-5}} = 1{,}20 \times 10^{4} \text{ Hz}$$

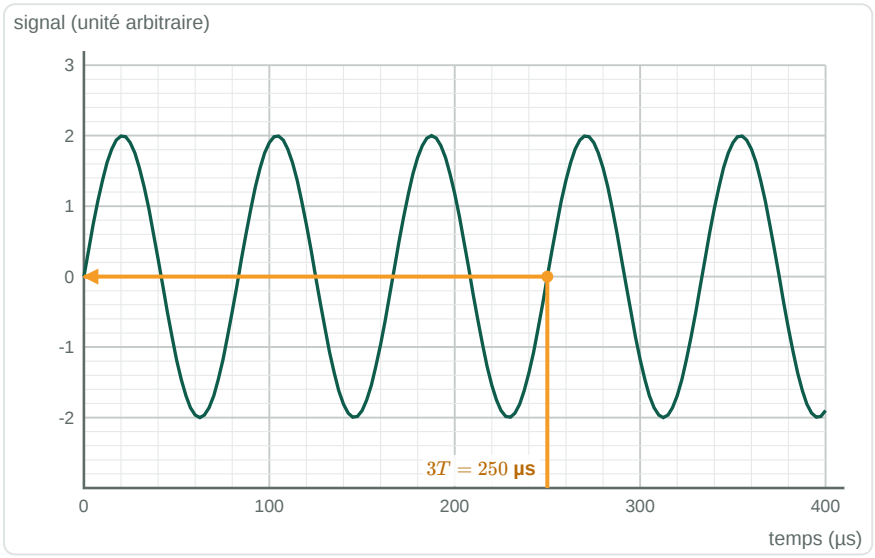
$f = 12{,}0$ kHz : on retrouve bien la valeur annoncée de 12 kHz.

PIÈGE
Laisser T en microsecondes dans $f = 1/T$. Il faut des secondes pour obtenir des hertz : $1 \text{ µs} = 10^{-6}$ s.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes, entre deux points faciles à repérer sur le quadrillage, puis diviser : l'erreur de lecture est répartie sur le nombre de périodes.

À LA CALCULATRICE





2.1 · Signal du sonar : trois périodes durent 250 µs

2.2 Ce signal appartient-il au domaine audible des êtres humains ?

Données utiles $f = 12$ kHz (2.1)

L'oreille humaine perçoit les sons de fréquence comprise entre 20 Hz et 20 kHz environ.

Or $20 \text{ Hz} < 12 \text{ kHz} < 20 \text{ kHz}$.

Oui : avec $f = 12$ kHz, le signal du sonar appartient au domaine audible de l'être humain.

COMPRENDRE
Au-delà de 20 kHz, on parle d'ultrasons, et en dessous de 20 Hz, d'infrasons. Ces bornes sont à connaître.

2.3 a. Calculer l'intensité sonore maximale à 1 m du sonar. b. Montrer que la puissance de la source vaut $8{,}80 \times 10^{8}$ W. c. En déduire que le niveau d'intensité sonore à 65 km vaut 144 dB. d. Estimer la perte de niveau due à l'absorption, en précisant l'approximation.

Données utiles $L = 240$ dB à $R = 1$ m ; $I_0 = 7{,}00 \times 10^{-17}$ W · m^{-2} ; $I = \dfrac{P}{4\pi R^2}$; $R' = 65$ km ; tableau : $\alpha = 1$ dB · km^{-1} à 10 kHz et 5 dB · km^{-1} à 30 kHz

2.3.a. Le niveau d'intensité sonore est $L = 10\log\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$, donc $I = I_0 \times 10^{L/10}$.

$I = 7{,}00 \times 10^{-17} \times 10^{240/10} = 7{,}00 \times 10^{-17} \times 10^{24}$

2.3.a. $I = 7{,}00 \times 10^{7}$ W · m^{-2}

2.3.b. De $I = \dfrac{P}{4\pi R^2}$ on tire $P = 4\pi R^2 I$, avec $R = 1$ m :

$P = 4\pi \times 1^2 \times 7{,}00 \times 10^{7} = 8{,}80 \times 10^{8}$ W

2.3.b. $P = 8{,}80 \times 10^{8}$ W : c'est la valeur attendue.

2.3.c. À $R' = 65$ km $= 65 \times 10^{3}$ m, la même puissance est répartie sur une sphère plus grande :

$$I' = \frac{P}{4\pi R'^2} = \frac{8{,}80 \times 10^{8}}{4\pi \times (65 \times 10^{3})^2} = 1{,}66 \times 10^{-2} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$$

$$L' = 10\log\left(\frac{I'}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{1{,}66 \times 10^{-2}}{7{,}00 \times 10^{-17}}\right) = 143{,}7 \text{ dB}$$

2.3.c. $L' \approx 144$ dB : c'est la valeur attendue.

2.3.d. La fréquence du sonar, 12 kHz, ne figure pas dans le tableau. Approximation : on prend le coefficient de la fréquence la plus proche, 10 kHz, soit $\alpha \approx 1$ dB · km^{-1}.

Perte par absorption : $\alpha R' = 1 \times 65 = 65$ dB

2.3.d. L'absorption fait perdre environ 65 dB sur 65 km.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$7.00 \times 10^{-17} \times 10^{\frac{240}{10}}$ ≈ 7×10^{7}

$4 \times \pi \times 1^2 \times 7.00 \times 10^{7}$ ≈ 8.796459×10^{8}

$\dfrac{8.80 \times 10^{8}}{4 \times \pi \times (65 \times 10^{3})^2}$ ≈ 0.01657472

$10 \times \log\left(\dfrac{\frac{8.80 \times 10^{8}}{4 \times \pi \times (65 \times 10^{3})^2}}{7.00 \times 10^{-17}}\right)$ ≈ 143.7435

PIÈGE

Laisser 65 km en kilomètres dans $4\pi R'^2$: l'intensité serait fausse d'un facteur 10^6. En revanche, dans $\alpha R'$, la distance reste en km puisque α est en dB par km.

COMPRENDRE

Entre 1 m et 65 km, le niveau chute de 96 dB par simple dilution de l'énergie sur la sphère : c'est l'atténuation géométrique. L'absorption par l'eau s'y ajoute.

MÉTHODE

Raccourci pour vérifier le c : multiplier la distance par k retire $20\log k$ au niveau sonore, soit ici $240 - 20\log(65 \times 10^3) \approx 144$ dB.

2.4 D'après les données de l'exercice, les dauphins ont-ils pu percevoir l'émission du sonar du navire en 2008 ?

Données utiles $L' = 144$ dB à 65 km sans absorption (2.3.c) ; perte par absorption de 65 dB (2.3.d) ; $f = 12$ kHz ; courbe du seuil d'audition du dauphin

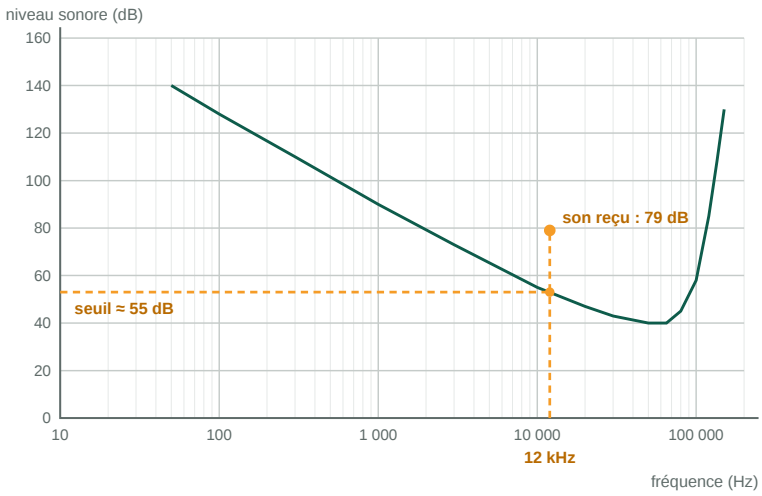
Niveau d'intensité sonore reçu par les dauphins à 65 km, absorption comprise :

$L_{\text{reçu}} = 144 - 65 = 79$ dB

Sur la courbe, à $f = 12\,\text{kHz} = 1{,}2 \times 10^4$ Hz, le niveau minimal audible par un dauphin est d'environ 55 dB.

Comme $79\ \text{dB} > 55\ \text{dB}$, le son reçu dépasse le seuil d'audition.

Oui : avec environ 79 dB reçus pour un seuil voisin de 55 dB, les dauphins ont pu percevoir le sonar.



2.4 · Seuil d'audition du dauphin et son reçu à 65 km, à 12 kHz

PIÈGE
L'axe des fréquences est logarithmique : 12 kHz se place juste après la graduation 10 000 Hz, et non au milieu de l'intervalle entre 10 000 et 100 000 Hz.

COMPRENDRE
La marge, plus de 20 dB, est assez large pour que la conclusion résiste aux approximations faites sur α et sur la lecture de la courbe.

Spécialité : Vitrage électrochrome

Bac S 2018 Asie (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1 En été, est-il préférable de disposer de vitrages ayant un facteur solaire g faible ou élevé ? Justifier.

D'après le document 1 : $E_{\text{entrante}} = g \times E_{\text{incidente}}$.

Pour un ensoleillement donné, l'énergie qui pénètre dans la pièce est proportionnelle à g. Plus g est petit, moins la pièce reçoit d'énergie et moins elle s'échauffe.

En été, il faut un vitrage de facteur solaire g **faible**.

COMPRENDRE
g est un rapport de deux énergies : il n'a pas d'unité. Avec $g = 0{,}14$, seuls $14\,\%$ de l'énergie solaire reçue par le vitrage entrent dans la pièce.

COMPRENDRE
Ancien programme : la résolution de problème de l'enseignement de spécialité a disparu. Les notions utilisées ici (capacité thermique, $\Delta U = C\,\Delta T$, bilan d'énergie) restent au programme actuel de terminale.

2 Vérifier que l'énergie reçue en une journée de juin par la mezzanine à travers le vitrage standard est comprise entre 400 et 600 MJ. Problème : montrer que l'installation des vitrages électrochromes a permis de limiter la température à 26 °C dans la mezzanine.

Données utiles $C_t = 3{,}8 \times 10^7\ \text{J}\cdot\text{K}^{-1}$; $\theta_i = 22\ ^\circ\text{C}$; $\theta_{\max} = 36\ ^\circ\text{C}$; $E_{\text{surf}} = 5{,}7\ \text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}$; 24 vitrages de $1{,}86\ \text{m} \times 1{,}00\ \text{m}$; $g = 0{,}14$; $1\ \text{Wh} = 3600\ \text{J}$; consommation : 60 W pendant 24 h

Question 2. Les échanges thermiques ne se font qu'à travers le vitrage : toute l'énergie reçue sert à élever la température de la mezzanine, de θ_i à $\theta_{\max}$.

$$E_{\text{reçue}} = C_t\,(\theta_{\max} - \theta_i) = 3{,}8 \times 10^7 \times (36 - 22) = 5{,}3 \times 10^8\ \text{J}$$

$E_{\text{reçue}} = 5{,}3 \times 10^2\ \text{MJ}$**, valeur bien comprise entre 400 et 600 MJ.**

Problème. Démarche. On calcule l'énergie solaire reçue par la verrière en une journée, puis la part qui entre dans la pièce, et enfin l'élévation de température qu'elle provoque. Même hypothèse qu'à la question 2 : échanges à travers le vitrage seulement, température du matin $\theta_i = 22\ ^\circ\text{C}$.

a. Surface de la verrière.

$$S = 24 \times 1{,}86 \times 1{,}00 = 44{,}6\ \text{m}^2$$

b. Énergie solaire incidente en une journée.

$$E_{\text{inc}} = E_{\text{surf}} \times S = 5{,}7 \times 44{,}6 = 2{,}5 \times 10^2\ \text{kWh}$$

Comme $1\ \text{kWh} = 3{,}6 \times 10^6\ \text{J}$: $\quad E_{\text{inc}} = 9{,}2 \times 10^8\ \text{J}$.

c. Énergie entrant dans la mezzanine.

$$E_{\text{ent}} = g \times E_{\text{inc}} = 0{,}14 \times 9{,}2 \times 10^8 = 1{,}3 \times 10^8\ \text{J}$$

d. Température atteinte. Cette énergie échauffe la mezzanine : $E_{\text{ent}} = C_t\,(\theta_f - \theta_i)$, donc

$$\theta_f = \theta_i + \frac{E_{\text{ent}}}{C_t} = 22 + \frac{1{,}3 \times 10^8}{3{,}8 \times 10^7} = 22 + 3{,}4 = 25{,}4\ ^\circ\text{C}$$

e. Regard critique. Le vitrage consomme $E_{\text{él}} = P\,\Delta t = 60 \times 24 = 1{,}4 \times 10^3\ \text{Wh} = 5{,}2 \times 10^6\ \text{J}$. Même si toute cette énergie finissait en chaleur dans la pièce, on aurait $\theta_f = 25{,}5\ ^\circ\text{C}$: la conclusion ne change pas.

$\theta_f \approx 25\ ^\circ\text{C} < 26\ ^\circ\text{C}$: le vitrage électrochrome limite bien la température à 26 °C.

PIÈGE
Laisser E_{inc} en kWh alors que C_t est en $\text{J}\cdot\text{K}^{-1}$. Oublier le nombre de vitrages, ou oublier d'ajouter θ_i : $3{,}4\ ^\circ\text{C}$ est une élévation de température, pas la température finale.

COMPRENDRE
Un écart de température a la même valeur en °C et en K : $36 - 22 = 14\ ^\circ\text{C} = 14\ \text{K}$. Deux chiffres significatifs, comme C_t, g et E_{surf} ; les valeurs non arrondies restent dans la calculatrice d'une étape à l'autre.

MÉTHODE
Résolution de problème : annoncer la démarche et les hypothèses, enchaîner des étapes repérées (relation littérale, calcul, unité), puis conclure en comparant à la valeur de l'énoncé. Ici, le vitrage standard correspondait à $g \approx 0{,}58$: quatre fois plus d'énergie entrante.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$3.8 \times 10^7 \times (36 - 22)$
$\approx 5.32 \times 10^8$

$24 \times 1.86 \times 1.00$
≈ 44.64

5.7×44.64
≈ 254.448

$254.448 \times 3.6 \times 10^6$
$\approx 9.160128 \times 10^8$

$0.14 \times 916\,012\,800$
$\approx 1.282418 \times 10^8$

$22 + \dfrac{128\,241\,792}{3.8 \times 10^7}$
≈ 25.37478

$60 \times 24 \times 3600$
$5\,184\,000$

$22 + \dfrac{128\,241\,792 + 5\,184\,000}{3.8 \times 10^7}$
≈ 25.51121