Corrigé complet — Bac S 2013 Amérique du Nord (ancien programme)

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

Ex 1	**Aspirine et prévention cardiovasculaire** Réactif limitant · Chromatographie sur couche mince · Spectroscopies IR et RMN · Titrage acido-basique · Incertitudes de mesure · Diagramme de prédominance	8,5 pts	1 h 20	16 questions	p. 2
Ex 2	**Station spatiale internationale** Force d'interaction gravitationnelle · Deuxième loi de Newton · Mouvement circulaire uniforme · Période de révolution · Quantité de mouvement et propulsion par réaction · Analyse dimensionnelle	6,5 pts	1 h	10 questions	p. 8
Ex 3	**Surfer sur la vague** Onde mécanique progressive · Longueur d'onde, période et célérité · Diffraction · Exploitation de documents · Retard et vitesse de propagation	5 pts	50 min	8 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Concert en sous sol** Période et fréquence · Hauteur d'un son · Analyse spectrale · Réverbération · Formule de Sabine · Analyse dimensionnelle	5 pts	50 min	6 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.

Aspirine et prévention cardiovasculaire

Bac S 2013 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 1 **8,5 points** **Durée conseillée 1 h 20**

1.1.1 Montrer que l'anhydride éthanoïque est introduit en excès.

Données utiles acide salicylique : $m_1 = 10{,}0$ g, $M_1 = 138\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; anhydride éthanoïque : $V_2 = 14{,}0$ mL, $\mu = 1{,}082\ \text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$, $M_2 = 102\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

Acide salicylique : $n_1 = \dfrac{m_1}{M_1} = \dfrac{10{,}0}{138} = 7{,}25 \times 10^{-2}$ mol

Anhydride éthanoïque (liquide) : $m_2 = \mu V_2$, donc

$$n_2 = \frac{\mu V_2}{M_2} = \frac{1{,}082 \times 10^3 \times 14{,}0 \times 10^{-3}}{102} = 0{,}149 \text{ mol}$$

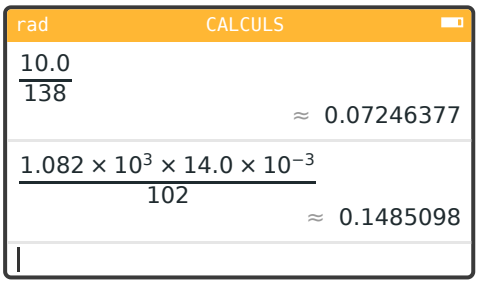
D'après l'équation, les deux réactifs réagissent mole à mole. Or $n_1 < n_2$: l'acide salicylique est le réactif limitant.

$n_2 = 0{,}149$ mol $> n_1 = 7{,}25 \times 10^{-2}$ mol : l'anhydride éthanoïque est en excès.

PIÈGE
La masse volumique est en $\text{kg} \cdot \text{L}^{-1}$: il faut l'écrire $1{,}082 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ et convertir le volume en litres pour obtenir une masse en grammes.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme les données les moins précises (10,0 g, 14,0 mL, 138, 102). Comparer directement n_1 et n_2 n'est permis que parce que les nombres stœchiométriques valent tous 1.

À LA CALCULATRICE



1.1.2 Calculer la masse attendue d'aspirine lors de cette synthèse.

Données utiles $n_1 = 7{,}25 \times 10^{-2}$ mol (1.1.1) ; $M(\text{aspirine}) = 180\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$

L'acide salicylique est limitant et une mole d'acide salicylique donne une mole d'aspirine. Si la transformation est totale : $n(\text{aspirine}) = x_{max} = n_1$.

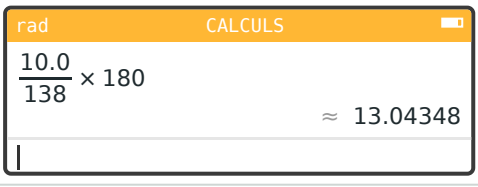
$$m = n_1 \times M(\text{aspirine}) = \frac{10{,}0}{138} \times 180 = 13{,}0 \text{ g}$$

$m(\text{aspirine}) = 13{,}0$ g

COMPRENDRE
C'est une masse maximale théorique. La masse réellement recueillie après purification est plus faible ; leur quotient est le rendement de la synthèse.

MÉTHODE
Reprendre la valeur non arrondie de n_1 dans le calcul, et n'arrondir qu'au résultat final.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Proposer un protocole expérimental pour réaliser les chromatographies permettant de s'assurer de la formation de l'aspirine, avec le matériel du document 1.

1. Sur une plaque pour CCM, tracer au crayon une ligne de dépôt à 1 cm environ du bord inférieur et y repérer sept emplacements. 2. Avec un capillaire propre pour chaque dépôt, déposer une goutte des deux témoins (acide salicylique pur dissous, aspirine pure du commerce dissoute), puis une goutte de chacun des cinq prélèvements, du premier (avant chauffage) au dernier. 3. Verser un peu d'éluant dans la cuve : son niveau doit rester sous la ligne de dépôt. Placer la plaque dans la cuve et fermer. 4. Laisser l'éluant monter jusqu'à 1 cm environ du bord supérieur, sortir la plaque, repérer le front de l'éluant et sécher. 5. Révéler les taches sous la lampe UV (ou avec la solution de permanganate de potassium) et les entourer au crayon.

Une tache d'un prélèvement au niveau de la tache du témoin « aspirine » prouve que l'aspirine s'est formée.

PIÈGE
Oublier les deux témoins. Sans eux, on ne peut attribuer aucune tache des prélèvements à une espèce chimique.

COMPRENDRE
Les espèces étudiées sont incolores : la révélation est indispensable. Si la plaque est trop étroite pour sept dépôts, on en utilise deux, avec les deux témoins sur chacune.

1.2.2 Quelles particularités doit présenter le chromatogramme du dernier prélèvement si le système est dans son état final ?

L'acide salicylique est le réactif limitant : dans l'état final, il a entièrement disparu, et de l'aspirine s'est formée.

Pour le dernier prélèvement, on doit donc observer :

- une tache au niveau de la tache du témoin « aspirine » ;
- aucune tache à la hauteur de celle du témoin « acide salicylique ».

Tache de l'aspirine présente, tache de l'acide salicylique absente.

COMPRENDRE
Sur les prélèvements successifs, la tache de l'acide salicylique s'atténue pendant que celle de l'aspirine se renforce : c'est ainsi que la CCM permet de suivre l'avancement de la réaction.

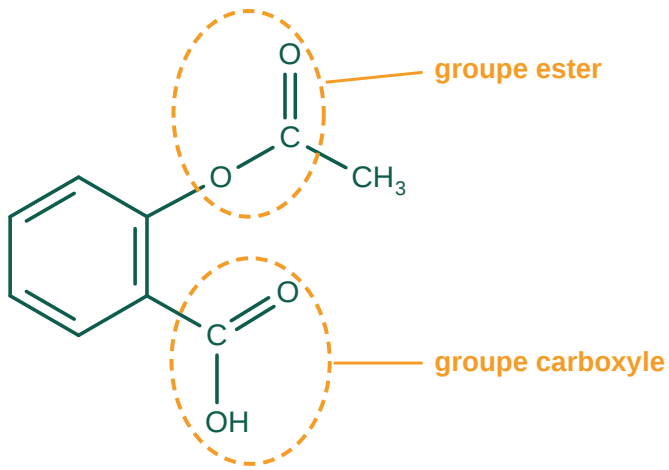
2.1.1 Recopier la formule de la molécule d'aspirine, puis identifier et nommer ses deux groupes caractéristiques.

La molécule d'aspirine comporte deux groupes caractéristiques (voir la figure) :

- le groupe **ester** $-O-CO^-$, lié au groupe CH_3 ;
- le groupe **carboxyle** $-COOH$, porté par le cycle.

Groupe ester et groupe carboxyle.

PIÈGE
Ne pas entourer séparément $C{=}O$ et $-OH$ en les nommant « carbonyle » et « hydroxyle » : réunis sur le même atome de carbone, ils forment un seul groupe, le groupe carboxyle.



2.1.1 · Molécule d'aspirine : les deux groupes caractéristiques

2.1.2 Expliquer pourquoi les atomes d'hydrogène liés au carbone « a » donnent le singulet du spectre RMN, et pourquoi le doublet correspond à l'atome d'hydrogène lié au carbone « b ».

Règle des $(n+1)$-uplets : des protons équivalents ayant n protons voisins (portés par les atomes de carbone voisins) donnent un signal à $n+1$ pics.

Carbone « a » : ses trois atomes d'hydrogène sont équivalents. Son seul voisin est le carbone du groupe ester, qui ne porte aucun atome d'hydrogène : $n=0$, donc $0+1=1$ pic, un **singulet**.

Carbone « b » : il a deux carbones voisins dans le cycle. L'un, lié à l'atome d'oxygène, ne porte pas d'atome d'hydrogène ; l'autre en porte un seul : $n=1$, donc $1+1=2$ pics, un **doublet**.

Carbone « a » : $n=0$, singulet. Carbone « b » : $n=1$, doublet.

PIÈGE
Compter les atomes d'hydrogène portés par le carbone étudié lui-même. La multiplicité ne dépend que des protons voisins : le groupe CH_3 a trois protons mais donne un seul pic.

COMPRENDRE
La spectroscopie de RMN ne figure plus au programme actuel de la spécialité de Terminale. Cette question relève de l'ancien programme de Terminale S.

2.2.1 Donner la formule semi-développée de l'acide éthanoïque et celle du méthanoate de méthyle, son isomère.

Les deux molécules ont la même formule brute $C_2H_4O_2$ mais des enchaînements d'atomes différents (voir la figure).

L'acide éthanoïque est un acide carboxylique à deux atomes de carbone. Le méthanoate de méthyle est un ester : le groupe $H-CO^-$ vient de l'acide méthanoïque, le groupe $-CH_3$ lié à l'oxygène est le groupe méthyle.

Acide éthanoïque : CH_3-COOH ; méthanoate de méthyle : $H-COO-CH_3$.

PIÈGE
Écrire $CH_3-COO-H$ pour l'ester, ce qui redonne l'acide. Dans le méthanoate de méthyle, l'atome d'hydrogène est lié au carbone et le groupe CH_3 à l'oxygène.



acide éthanoïque — méthanoate de méthyle

2.2.1 · Deux isomères de formule brute $C_2H_4O_2$

2.2.2 Identifier, parmi les deux spectres IR du document 3, celui de l'acide éthanoïque, en justifiant.

Données utiles document 4 : acide carboxylique, liaison O–H : 2500 - 3200 cm^{-1} ; liaison C=O : 1740 - 1800 cm^{-1} (acide), 1730 - 1750 cm^{-1} (ester)

L'acide éthanoïque possède une liaison O–H d'acide carboxylique, que le méthanoate de méthyle n'a pas.

Le spectre IR 1 présente une bande très large et intense entre 2500 et 3200 cm^{-1} environ, caractéristique de cette liaison O–H. Le spectre IR 2 ne présente pas cette bande large.

Les deux spectres montrent une bande intense vers 1700 - 1750 cm^{-1}, due à la liaison C=O présente dans les deux molécules : elle ne permet pas de les distinguer.

Le spectre IR 1 est celui de l'acide éthanoïque (le spectre IR 2 est celui du méthanoate de méthyle).

COMPRENDRE
Les intervalles C=O de l'acide et de l'ester se chevauchent dans le document 4, et les bandes lues sur les spectres sont très proches : seul l'argument de la liaison O–H est décisif.

MÉTHODE
Pour départager deux spectres IR, chercher la liaison présente dans une seule des deux molécules, puis sa bande dans la table. Les bandes situées sous 1500 cm^{-1} ne s'exploitent pas ici.

3.1 Écrire l'équation de la réaction acido-basique support du dosage.

L'aspirine HA, acide, cède un ion H^+ à l'ion hydroxyde, base :

$$HA\,(aq) + HO^-\,(aq) \longrightarrow A^-\,(aq) + H_2O\,(l)$$

COMPRENDRE
Une réaction support de titrage est totale : on l'écrit avec une flèche simple. Les ions Na^+ sont spectateurs et n'apparaissent pas dans l'équation.

3.2 Déterminer la masse m_{exp} d'aspirine contenue dans le sachet.

Données utiles $c_B = 1{,}00 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V_E = 10{,}7$ mL ; $V_A = 100{,}0$ mL ; volume de S : 500,0 mL ; $M = 180\ \text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$

À l'équivalence, les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques : la quantité d'aspirine dans la prise d'essai V_A vaut $n_A = c_B\,V_E$.

La solution S (500,0 mL) contient tout le sachet, soit $\dfrac{500{,}0}{100{,}0} = 5$ fois plus d'aspirine que la prise d'essai :

$$m_{exp} = 5\,c_B\,V_E\,M$$
$$m_{exp} = 5 \times 1{,}00 \times 10^{-2} \times 10{,}7 \times 10^{-3} \times 180$$
$$m_{exp} = 9{,}63 \times 10^{-2}\ \text{g}$$

$$\boxed{m_{exp} = 9{,}63 \times 10^{-2}\ \text{g} = 96{,}3\ \text{mg}}$$

PIÈGE
S'arrêter à la masse contenue dans les 100,0 mL dosés (19,3 mg). Le sachet a été dissous dans 500,0 mL : il faut multiplier par 5.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$5 \times 1.00 \times 10^{-2} \times 10.7 \times 10^{-3} \times 180$
$\approx$ 0.0963

3.3 Déterminer l'incertitude relative $\dfrac{\Delta m_{exp}}{m_{exp}}$ à l'aide de la relation fournie, puis en déduire un encadrement de m_{exp}.

Données utiles $V_E = 10{,}7 \pm 0{,}1$ mL ; $c_B = (1{,}00 \pm 0{,}02) \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $m_{exp} = 96{,}3$ mg (3.2)

$$\frac{\Delta m_{exp}}{m_{exp}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta V_E}{V_E}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c_B}{c_B}\right)^2}$$

$$\frac{\Delta m_{exp}}{m_{exp}} = \sqrt{\left(\frac{0{,}1}{10{,}7}\right)^2 + \left(\frac{0{,}02}{1{,}00}\right)^2} = 2{,}2 \times 10^{-2}$$

L'incertitude relative vaut 2,2 %.

$\Delta m_{exp} = 2{,}2 \times 10^{-2} \times 96{,}3 = 2{,}1$ mg, arrondie par excès à un chiffre significatif : $\Delta m_{exp} = 3$ mg.

On écrit alors $m_{exp} = (96 \pm 3)$ mg.

$$\boxed{\frac{\Delta m_{exp}}{m_{exp}} = 2{,}2\ \%\ \text{et}\ 93\ \text{mg} \leqslant m_{exp} \leqslant 99\ \text{mg}}$$

PIÈGE
Oublier la racine carrée : la relation donne le carré de l'incertitude relative. Le facteur 10^{-2} de c_B se simplifie dans le quotient $\Delta c_B / c_B$.

COMPRENDRE
Une incertitude s'arrondit par excès, et la valeur mesurée s'écrit avec la même précision qu'elle. Avec $\Delta m_{exp} = 2$ mg, on obtiendrait de 94 mg à 98 mg : la conclusion de la question 3.4 serait la même.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\sqrt{\left(\frac{0.1}{10.7}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{1.00}\right)^2}$
$\approx$ 0.02207587

$\sqrt{\left(\frac{0.1}{10.7}\right)^2 + \left(\frac{0.02}{1.00}\right)^2} \times 96.3$
$\approx$ 2.125906

3.4 L'encadrement obtenu est-il en accord avec la mention portée sur le sachet ? Proposer une explication à l'écart éventuel.

Données utiles mention du sachet : 100 mg ; $93\ \text{mg} \leqslant m_{exp} \leqslant 99\ \text{mg}$ (3.3)

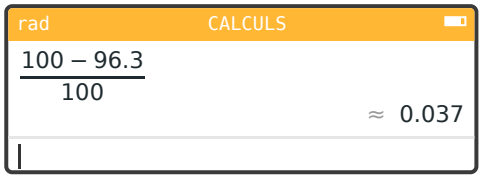
La valeur de 100 mg n'appartient pas à l'intervalle $[93\ \text{mg}; 99\ \text{mg}]$: le résultat de l'élève n'est pas en accord avec la mention du sachet. L'écart reste faible (moins de 4 %).

Explication possible : une partie de la poudre est restée dans le sachet ou sur le matériel lors du transfert dans la fiole jaugée. La quantité d'aspirine dosée est alors inférieure à celle du sachet.

Pas d'accord : 100 mg est hors de l'intervalle ; une perte de solide au transfert peut l'expliquer.

COMPRENDRE
Autres explications recevables : une dissolution incomplète de l'aspirine, peu soluble dans l'eau, ou un changement de teinte de la phénolphtaléine mal repéré, qui fausse V_E.

À LA CALCULATRICE



4.1 Le pH de l'estomac est voisin de 2. Quelle est la forme prédominante du couple aspirine / ion acétylsalicylate dans l'estomac ? Justifier.

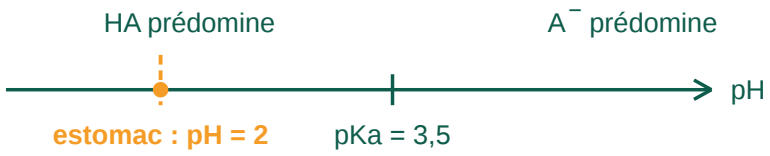
Données utiles $\text{p}K_a = 3{,}5$

Pour un couple acide/base, la forme acide prédomine si $\text{pH} < \text{p}K_a$, la forme basique si $\text{pH} > \text{p}K_a$.

Dans l'estomac, $\text{pH} = 2 < \text{p}K_a = 3{,}5$.

La forme acide, l'aspirine HA (acide acétylsalicylique), prédomine dans l'estomac.

MÉTHODE
Tracer un axe de pH, placer le $\text{p}K_a$, écrire l'acide à gauche et la base à droite, puis situer le pH du milieu.



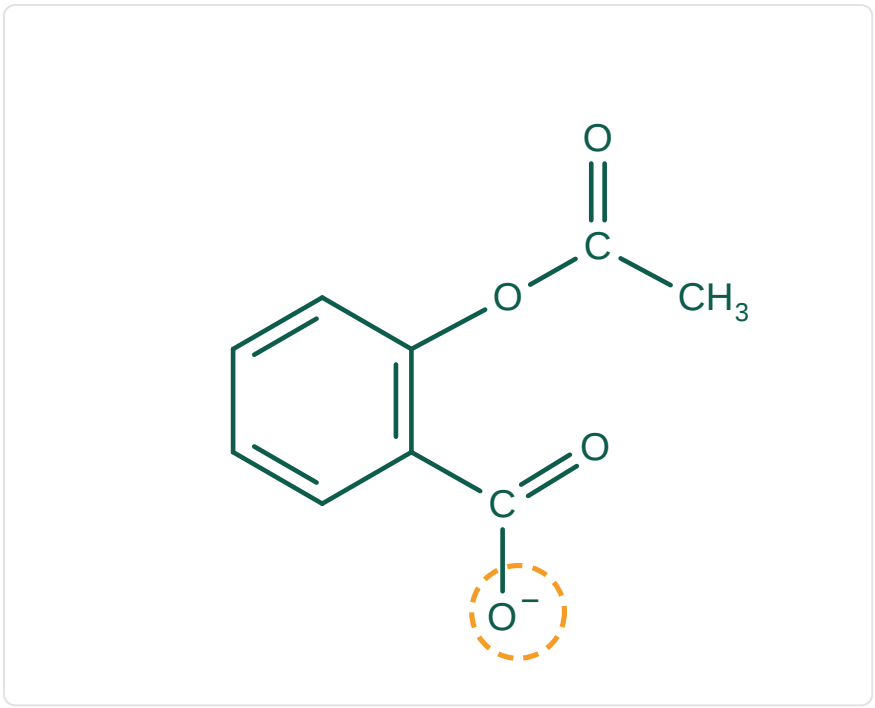
4.1 · Diagramme de prédominance du couple aspirine / ion acétylsalicylate

4.2.1 Écrire la formule semi-développée de l'ion acétylsalicylate.

L'ion acétylsalicylate est la base conjuguée de l'aspirine : il s'obtient en retirant un ion H^+ au groupe carboxyle, qui devient le groupe carboxylate $-\text{COO}^-$. Le reste de la molécule est inchangé.

Formule de l'aspirine dans laquelle $-\text{COOH}$ est remplacé par $-\text{COO}^-$ (voir la figure).

PIÈGE
Oublier la charge négative, ou retirer un atome d'hydrogène du groupe CH_3. Seul l'atome d'hydrogène du groupe carboxyle est acide.



4.2.1 · Ion acétylsalicylate : le groupe carboxyle a perdu un ion $\mathrm{H^+}$

4.2.2 Expliquer pourquoi la catalgine est soluble dans l'eau.

La catalgine, acétylsalicylate de sodium, est un solide ionique, constitué d'ions $\mathrm{Na^+}$ et d'ions acétylsalicylate. L'eau est un solvant polaire : ses molécules interagissent fortement avec les ions, les entourent (solvatation) et les dispersent.

Solide ionique et solvant polaire : la catalgine se dissout dans l'eau en libérant ses ions.

COMPRENDRE
L'aspirine moléculaire HA, elle, est peu soluble dans l'eau ($3{,}3\ \mathrm{g\cdot L^{-1}}$ à 25 °C) : c'est le passage à la forme ionique qui rend le médicament soluble.

4.2.3 Donner l'équation de la réaction se produisant dans l'estomac après ingestion de la catalgine.

Dans l'estomac, l'ion acétylsalicylate $\mathrm{A^-}$, base, capte un ion $\mathrm{H^+}$ cédé par l'ion oxonium ; l'aspirine formée précipite.

$$\mathrm{A^-\,(aq) + H_3O^+\,(aq) \longrightarrow HA\,(s) + H_2O\,(l)}$$

COMPRENDRE
C'est cohérent avec la question 4.1 : à $\mathrm{pH} = 2$, inférieur au $\mathrm{p}K_a$, la forme acide HA prédomine. L'état (s) traduit la précipitation décrite dans le texte.

Station spatiale internationale

Bac S 2013 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 2 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h**

1 Représenter sur un schéma la Terre, la station S, un vecteur unitaire $\vec{u}$ orienté de S vers la Terre T et la force gravitationnelle exercée par la Terre sur la station. Donner l'expression vectorielle de cette force en fonction de $\vec{u}$.

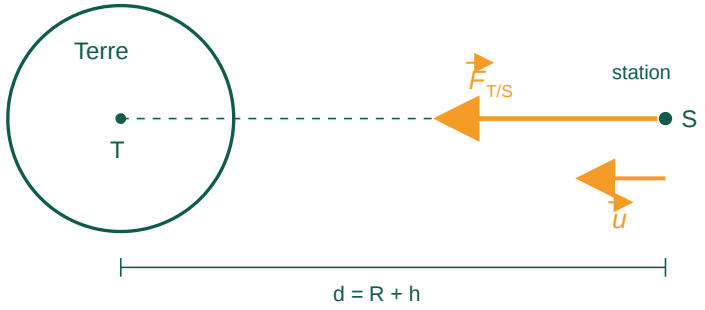
Schéma ci-dessous : la force $\vec{F}_{T/S}$ est appliquée en S, portée par la droite (ST) et dirigée vers T, comme $\vec{u}$.

La distance entre T et S est $d = R + h$, donc :

$$\vec{F}_{T/S} = G\,\frac{m\,M}{(R+h)^2}\,\vec{u}$$

PIÈGE

Tracer la force à partir du centre de la Terre : elle s'exerce sur la station, son point d'application est S. Avec $\vec{u}$ orienté de S vers T, il n'y a pas de signe « $-$ ».



1 · La Terre, la station S, le vecteur unitaire et la force gravitationnelle

2 En considérant la seule action de la Terre, établir l'expression vectorielle de l'accélération $\vec{a}_S$ de la station dans le référentiel géocentrique, en fonction de G, M, h, R et $\vec{u}$.

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

Deuxième loi de Newton : $\vec{F}_{T/S} = m\,\vec{a}_S$, soit $G\,\dfrac{m\,M}{(R+h)^2}\,\vec{u} = m\,\vec{a}_S$.

En simplifiant par m :

$$\vec{a}_S = \frac{G\,M}{(R+h)^2}\,\vec{u}$$

COMPRENDRE

L'accélération ne dépend pas de la masse m de la station. Elle est dirigée vers le centre de la Terre : on dit qu'elle est centripète.

MÉTHODE

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

3.1 Montrer que, pour un mouvement circulaire, la valeur de la vitesse de la station a pour expression $v = \sqrt{\dfrac{GM}{R+h}}$.

Pour un mouvement circulaire de rayon $R+h$, l'accélération s'écrit dans le repère de Frenet $(S\,;\vec{n},\vec{\tau})$, avec $\vec{n}=\vec{u}$ dirigé vers le centre T :

$$\vec{a}_S = \frac{v^2}{R+h}\vec{u} + \frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\vec{\tau}$$

Or, d'après la question 2, $\vec{a}_S = \dfrac{G\,M}{(R+h)^2}\vec{u}$. Par identification :

- selon $\vec{\tau}$: $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$, la valeur de la vitesse est constante, le mouvement est uniforme ;
- selon $\vec{u}$: $\dfrac{v^2}{R+h} = \dfrac{G\,M}{(R+h)^2}$, soit $v^2 = \dfrac{G\,M}{R+h}$.

$v = \sqrt{\dfrac{G\,M}{R+h}}$, qui est bien l'expression attendue.

PIÈGE
Le rayon de la trajectoire est $R+h$, pas h : la station tourne autour du centre de la Terre, pas autour d'un point de sa surface.

MÉTHODE
Orbite circulaire : deuxième loi de Newton, puis accélération dans le repère de Frenet, puis identification. La composante tangentielle donne l'uniformité, la composante normale donne la vitesse.

3.2 Calculer la valeur de la vitesse de la station en $\mathrm{m\cdot s^{-1}}$.

Données utiles $G = 6{,}67\times10^{-11}\ \mathrm{m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}}$; $M = 5{,}98\times10^{24}$ kg ; $R = 6380$ km ; $h = 400$ km

$R+h = 6380+400 = 6780\ \mathrm{km} = 6{,}78\times10^{6}\ \mathrm{m}$

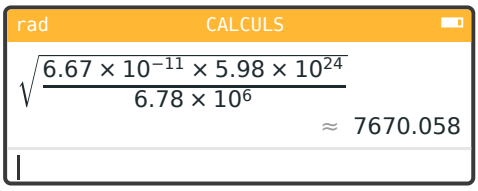
$$v = \sqrt{\frac{G\,M}{R+h}} = \sqrt{\frac{6{,}67\times10^{-11}\times5{,}98\times10^{24}}{6{,}78\times10^{6}}}$$

$v = 7{,}67\times10^{3}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$

PIÈGE
Laisser $R+h$ en kilomètres : G est donnée en unités SI, la distance doit être en mètres. Sinon le résultat est faux d'un facteur $\sqrt{1000}\approx 32$.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme G et M, les données les moins précises. Cela représente environ $7{,}7\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$, soit près de $28\,000\ \mathrm{km\cdot h^{-1}}$.

À LA CALCULATRICE



4 Combien de révolutions autour de la Terre un astronaute présent à bord de la station fait-il en 24 h ?

Données utiles $v = 7{,}67\times10^{3}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$ (3.2) ; $R+h = 6{,}78\times10^{6}$ m

Le mouvement est circulaire uniforme : pendant une période T, la station parcourt le périmètre $2\pi(R+h)$ à la vitesse v.

$$T = \frac{2\pi\,(R+h)}{v} = \frac{2\pi\times6{,}78\times10^{6}}{7{,}67\times10^{3}} = 5{,}55\times10^{3}\ \mathrm{s}$$

soit environ 1 h 33 min.

En $\Delta t = 24\ \mathrm{h} = 86\,400$ s, le nombre de révolutions est :

$$N = \frac{\Delta t}{T} = \frac{86\,400}{5{,}55\times10^{3}} = 15{,}6$$

$N \approx 15{,}6$: l'astronaute fait un peu plus de 15 tours de la Terre en 24 h.

PIÈGE
Diviser 24 h par une période en secondes. Les deux durées doivent avoir la même unité : tout en secondes, ou tout en heures.

COMPRENDRE
L'astronaute a le même mouvement que la station. Ce nombre de tours est compté dans le référentiel géocentrique : la rotation de la Terre sur elle-même n'intervient pas.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2 \times \pi \times 6.78 \times 10^6}{7.67 \times 10^3} \approx 5554.106$

$24 \times 3600 = 86\,400$

$\dfrac{86\,400}{5.55 \times 10^3} \approx 15.56757$

1.1 Le système {fusée + gaz} étant supposé isolé, comparer sa quantité de mouvement à $t = 0$ s et à $t = 1$ s pour montrer que $\vec{v}_f = -\dfrac{m_g}{m_f}\vec{v}_g$. Quelle est la conséquence de l'éjection des gaz sur le mouvement de la fusée ?

Dans le référentiel terrestre supposé galiléen, le système {fusée + gaz} est isolé : sa quantité de mouvement $\vec{p}$ se conserve.

- À $t = 0$ s, le système est immobile : $\vec{p}(0) = \vec{0}$.
- À $t = 1$ s : $\vec{p}(1) = m_f\,\vec{v}_f + m_g\,\vec{v}_g$.

Conservation : $\vec{p}(1) = \vec{p}(0)$, soit $m_f\,\vec{v}_f + m_g\,\vec{v}_g = \vec{0}$.

$\vec{v}_f = -\dfrac{m_g}{m_f}\vec{v}_g$, qui est bien la relation attendue.

Le signe « $-$ » montre que $\vec{v}_f$ est de sens opposé à $\vec{v}_g$: les gaz sont éjectés vers le bas, la fusée est mise en mouvement vers le haut. C'est la propulsion par réaction.

PIÈGE
Oublier la seconde partie de la question. La relation démontrée ne suffit pas : il faut dire en une phrase que la fusée part dans le sens opposé à celui des gaz.

COMPRENDRE
La quantité de mouvement $\vec{p} = m\,\vec{v}$ et sa conservation pour un système isolé relevaient du programme de Terminale S. Elles ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

1.2 Montrer numériquement que la variation de la masse de la fusée est négligeable une seconde après le décollage, puis calculer la valeur de la vitesse de la fusée à cet instant.

Données utiles $D = 2{,}9 \times 10^3$ kg · s^{-1} ; masse au décollage $m_0 = 7{,}8 \times 10^2$ t $= 7{,}8 \times 10^5$ kg ; $v_g = 4{,}0$ km · s^{-1} $= 4{,}0 \times 10^3$ m · s^{-1}

Masse de gaz éjectée en $\Delta t = 1$ s : $m_g = D\,\Delta t = 2{,}9 \times 10^3 \times 1 = 2{,}9 \times 10^3$ kg.

$$\frac{m_g}{m_0} = \frac{2{,}9 \times 10^3}{7{,}8 \times 10^5} = 3{,}7 \times 10^{-3}$$

La fusée a perdu moins de 0,4 % de sa masse : cette variation est négligeable, donc $m_f \approx m_0 = 7{,}8 \times 10^5$ kg.

En valeur, la relation de la question 1.1 donne :

$$v_f = \frac{m_g}{m_f}\,v_g = \frac{2{,}9 \times 10^3}{7{,}8 \times 10^5} \times 4{,}0 \times 10^3$$

$v_f = 15$ m · s^{-1}

PIÈGE
Mélanger tonnes et kilogrammes dans le rapport des masses : $7{,}8 \times 10^2$ t valent $7{,}8 \times 10^5$ kg. Convertir aussi v_g en m · s^{-1}.

COMPRENDRE
« Négligeable » se justifie par un rapport, pas par une simple différence : on compare la masse perdue à la masse totale. Le résultat garde deux chiffres significatifs, comme les données.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.9 \times 10^3}{7.8 \times 10^5} \approx 0.003717949$

$\dfrac{2.9 \times 10^3}{7.8 \times 10^5} \times 4.0 \times 10^3 \approx 14.87179$

2.1 En réalité la vitesse v_f est très inférieure à celle calculée à la question 1.2. En supposant le système {fusée + gaz} isolé, quelle force n'aurait-on pas dû négliger ?

Un système isolé n'est soumis à aucune force extérieure. Or le système {fusée + gaz} subit l'attraction de la Terre.

La force qu'il ne fallait pas négliger est le **poids** du système, vertical et dirigé vers le bas, qui s'oppose au décollage.

Les frottements de l'air interviennent aussi, mais beaucoup moins à cette faible vitesse.

COMPRENDRE
Avec une force extérieure non compensée, la quantité de mouvement du système ne se conserve plus : le raisonnement de la question 1.1 surestime donc la vitesse.

2.2.1 Montrer que le produit $D \cdot v_g$ est homogène à une force.

D s'exprime en $\mathrm{kg \cdot s^{-1}}$ et v_g en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$, donc $D\,v_g$ s'exprime en $\mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-2}}$.

D'après la deuxième loi de Newton, $F = m\,a$: une force est le produit d'une masse (kg) par une accélération ($\mathrm{m \cdot s^{-2}}$), donc $1\ \mathrm{N} = 1\ \mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-2}}$.

$D\,v_g$ s'exprime en $\mathrm{kg \cdot m \cdot s^{-2}}$, c'est-à-dire en newtons : ce produit est homogène à une force.

MÉTHODE
Pour une question d'homogénéité : écrire l'unité de chaque grandeur, former l'unité du produit, puis la comparer à celle obtenue par une relation connue ($F = m\,a$ ou $P = m\,g$).

2.2.2 Vérifier par une application numérique que la fusée peut effectivement décoller.

Données utiles $m_f = 7{,}8 \times 10^5$ kg ; $g = 9{,}78\ \mathrm{N \cdot kg^{-1}}$; $D = 2{,}9 \times 10^3\ \mathrm{kg \cdot s^{-1}}$; $v_g = 4{,}0 \times 10^3\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

La fusée décolle si la poussée, verticale vers le haut, a une valeur supérieure à celle du poids, vertical vers le bas.

Poids : $P = m_f\,g = 7{,}8 \times 10^5 \times 9{,}78 = 7{,}6 \times 10^6$ N

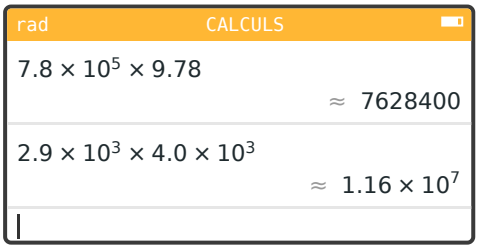
Poussée : $F = D\,v_g = 2{,}9 \times 10^3 \times 4{,}0 \times 10^3 = 1{,}2 \times 10^7$ N

$F = 1{,}2 \times 10^7\ \mathrm{N} > P = 7{,}6 \times 10^6\ \mathrm{N}$: la fusée peut décoller.

PIÈGE
Calculer le poids avec la masse en tonnes, ou la poussée avec v_g en $\mathrm{km \cdot s^{-1}}$: la comparaison n'a alors aucun sens.

COMPRENDRE
La poussée vaut environ 1,5 fois le poids. La résultante, dirigée vers le haut, vaut $F - P \approx 4 \times 10^6$ N : l'accélération au décollage est d'environ $5\ \mathrm{m \cdot s^{-2}}$.

À LA CALCULATRICE



Surfer sur la vague

Bac S 2013 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 3 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Pourquoi peut-on dire que la houle est une onde mécanique progressive ?

La houle est une déformation de la surface de l'eau (perturbation) qui se déplace de proche en proche dans un milieu matériel, l'eau : c'est une onde **mécanique**.

Elle se propage depuis le large jusqu'au rivage sans transport de matière, mais avec transport d'énergie : elle est **progressive**.

Perturbation qui se propage dans un milieu matériel, sans transport de matière : onde mécanique progressive.

PIÈGE
Oublier l'un des trois mots-clés attendus : perturbation, milieu matériel, absence de transport de matière. Un bouchon posé sur l'eau monte et descend, il n'avance pas avec la vague.

1.2 Déterminer, en expliquant la méthode utilisée, la vitesse de propagation v de l'onde sinusoïdale créée par le vibreur dans la cuve à ondes.

Données utiles $f = 23$ Hz ; document 1 : largeur de la photographie 14 cm

La longueur d'onde λ est la distance entre deux crêtes consécutives (lignes claires). Pour limiter l'incertitude de lecture, on mesure la distance entre la première et la dernière crête : 10 crêtes, soit $9\,\lambda$.

Échelle : la flèche de 14 cm réels mesure 5,9 cm sur le document, et les neuf intervalles 5,35 cm (ces longueurs dépendent de l'impression, leur rapport non).

$$9\,\lambda = 14 \times \frac{5{,}35}{5{,}9} = 12{,}7 \text{ cm} \quad \text{donc} \quad \lambda = \frac{12{,}7}{9} = 1{,}4 \text{ cm} = 1{,}4 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Relation entre célérité, longueur d'onde et fréquence : $v = \lambda\, f$.

$$v = 1{,}4 \times 10^{-2} \times 23$$

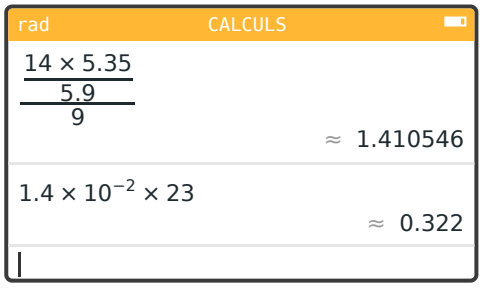
$v = 0{,}32 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

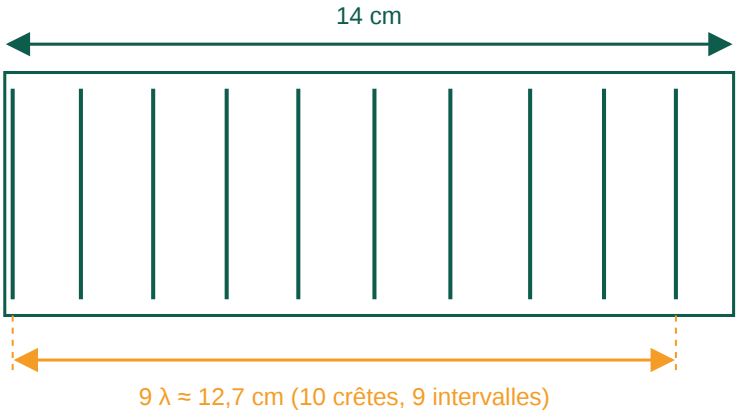
PIÈGE
Compter 10 longueurs d'onde pour 10 crêtes : il n'y a que 9 intervalles. Ne pas oublier non plus l'échelle du document, ni la conversion des centimètres en mètres.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme $f = 23$ Hz et la largeur de 14 cm : écrire 0,322 laisserait croire à une précision que la mesure à la règle n'a pas.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs longueurs d'onde d'un coup puis diviser : l'erreur de lecture à la règle est répartie sur neuf intervalles au lieu d'un seul.

À LA CALCULATRICE





1.2 · Document 1 schématisé : mesure de neuf longueurs d'onde entre la première et la dernière crête

1.3 Calculer la vitesse de propagation v_1 de la houle formée au large, puis en déduire sa période T.

Données utiles $\lambda = 60$ m ; $h = 3000$ m ; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; document 2

$0{,}5\,h = 1500$ m et $\lambda = 60$ m : on a $\lambda < 0{,}5\,h$, il s'agit d'une onde « courte » (eau profonde). D'après le document 2 :

$$v_1 = \sqrt{\frac{g\,\lambda}{2\pi}} = \sqrt{\frac{9{,}8 \times 60}{2\pi}} = 9{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

La longueur d'onde est la distance parcourue pendant une période : $\lambda = v_1\,T$, donc

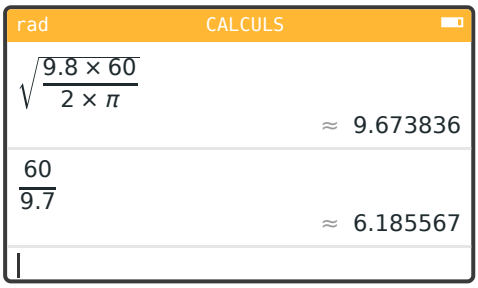
$$T = \frac{\lambda}{v_1} = \frac{60}{9{,}7} = 6{,}2\ \text{s}$$

$v_1 = 9{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $T = 6{,}2$ s

PIÈGE
Appliquer une formule du document 2 sans justifier le choix : la comparaison de λ à $0{,}5\,h$ fait partie de la réponse.

COMPRENDRE
Une période d'environ 6 s est du même ordre que les périodes des vagues annoncées dans le document 5 (4 à 8 s) : le résultat est réaliste.

À LA CALCULATRICE



1.4.1 Quel phénomène observe-t-on sur la photographie aérienne du document 3 ? Quelle est la condition nécessaire à son apparition ?

Avant la passe, les vagues sont rectilignes ; après l'ouverture, elles deviennent des arcs de cercle qui s'étalent dans toute la baie : l'onde change de direction de propagation en franchissant l'ouverture. C'est le phénomène de **diffraction**.

Condition : la largeur a de l'entrée de la baie doit être du même ordre de grandeur que la longueur d'onde λ de la houle, ou plus petite.

Diffraction de la houle ; elle apparaît si la largeur de l'ouverture est de l'ordre de la longueur d'onde ou inférieure.

COMPRENDRE
Plus l'ouverture est étroite devant λ, plus l'onde s'étale derrière elle. La diffraction ne modifie ni la fréquence ni la longueur d'onde.

1.4.2 Citer un autre type d'onde pour lequel on peut observer le même phénomène.

La diffraction est une propriété commune à toutes les ondes.

La lumière (onde électromagnétique), diffractée par une fente fine ou un fil ; le son (onde mécanique) se diffracte aussi, par exemple à travers une porte entrouverte.

2.1 Calculer la vitesse de propagation v_2 de la houle lorsque la profondeur vaut $4{,}0$ m, ainsi que sa nouvelle longueur d'onde λ_2. Les résultats sont-ils conformes au document 4 ?

Données utiles $h = 4{,}0$ m ; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $T = 6{,}2$ s et $v_1 = 9{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (1.3) ; $\lambda = 60$ m

La houle est une onde « longue » (eau peu profonde). D'après le document 2 :

$$v_2 = \sqrt{g\,h} = \sqrt{9{,}8 \times 4{,}0} = 6{,}3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$$

D'après le document 4, la période ne change pas à l'approche de la côte : $T = 6{,}2$ s.

$$\lambda_2 = v_2\,T = 6{,}3 \times 6{,}2 = 39\ \text{m}$$

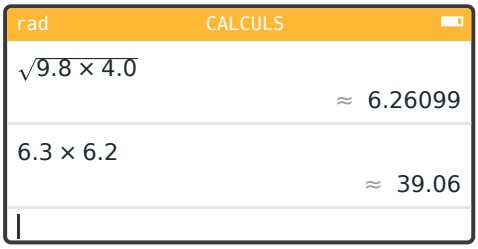
Comparaison : $v_2 < v_1$ ($6{,}3 < 9{,}7\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), la houle est ralentie ; $\lambda_2 < \lambda$ ($39 < 60$ m), la longueur d'onde diminue.

$v_2 = 6{,}3\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ et $\lambda_2 = 39$ m : résultats conformes au document 4 (houle ralentie, longueur d'onde plus courte).

PIÈGE
Recalculer une période avec la nouvelle vitesse et l'ancienne longueur d'onde. C'est T qui se conserve : λ change en même temps que v.

COMPRENDRE
La profondeur ($4{,}0$ m) est bien inférieure à la moitié de la longueur d'onde, condition du freinage citée par le document 4. Avec $\lambda_2 \approx 10\,h$, on est à la limite du domaine des ondes longues.

À LA CALCULATRICE



2.2 Proposer, en justifiant, un créneau favorable à la pratique du surf entre le jeudi 21 et le samedi 23 juin 2012.

Données utiles document 5 : prévisions de vent et tableau des marées ; configuration optimale : marée montante et vent venant du Sud-Ouest

Marée montante (de la basse mer à la pleine mer suivante), en journée : jeudi de 13 h 10 à 19 h 08 ; vendredi de 13 h 46 à 19 h 44 ; samedi de 14 h 24 à 20 h 22. Le matin, la mer monte aussi jusqu'à 6 h 54 jeudi, 7 h 31 vendredi et 8 h 08 samedi.

Vent venant du Sud-Ouest : la flèche doit pointer vers le Nord-Est. C'est le cas jeudi à 5 h et à 14 h, et samedi de 8 h à 14 h environ (ensuite le vent vient du Sud-Sud-Ouest). Vendredi, le vent vient de l'Ouest : journée écartée.

Les deux conditions sont réunies samedi après la basse mer de 14 h 24, avec un vent modéré (13 à 14 nœuds) et des vagues de $1{,}5$ m.

Créneau proposé : samedi 23 juin, de 14 h 24 à 17 h environ.

PIÈGE
Lire la flèche à l'envers : elle indique vers où souffle le vent. Un vent « venant du Sud-Ouest » est une flèche dirigée vers le Nord-Est.

COMPRENDRE
Jeudi de 13 h 10 à 15 h environ convient aussi pour la marée et la direction du vent, mais le vent y est fort (23 nœuds, rafales à 28 signalées en gras). Toute proposition justifiée par les deux critères est recevable.

MÉTHODE
Traiter un critère à la fois (marée, puis vent), noter les plages qui conviennent, puis chercher leur intersection.

2.3 Le mascaret passe à Arcins à 17 h 58. À quelle heure arrivera-t-il en un point situé à 13 km en amont ?

Données utiles $v = 5{,}1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $d = 13\ \text{km} = 13 \times 10^3\ \text{m}$

Le mascaret atteint le second point avec un retard τ tel que $v = \dfrac{d}{\tau}$, soit

$$\tau = \frac{d}{v} = \frac{13 \times 10^3}{5{,}1} = 2{,}5 \times 10^3\ \text{s}$$

soit $\dfrac{2{,}5 \times 10^3}{60} \approx 42$ min.

Heure d'arrivée : 17 h 58 min + 42 min = 18 h 40 min.

Le mascaret arrive vers 18 h 40.

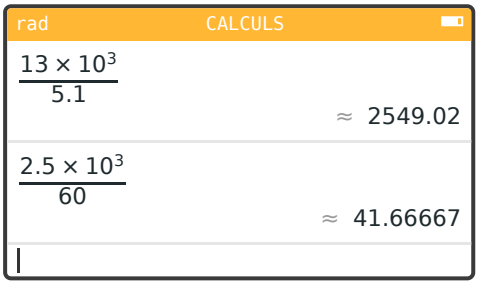
PIÈGE

Laisser d en kilomètres avec v en mètres par seconde, ou ajouter $0{,}71$ h à 17 h 58 comme s'il s'agissait de 71 minutes.

COMPRENDRE

La vitesse est donnée « de l'ordre de » $5{,}1\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ et d avec deux chiffres significatifs : l'heure d'arrivée est connue à quelques minutes près, pas à la minute.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Concert en sous sol

Bac S 2013 Amérique du Nord (ancien programme) · Exercice 4 **5 points** **Durée conseillée 50 min**

1.1 Quelle est la fréquence f de vibration du son émis par le diapason ?

Données utiles document 2 : enregistrement du son du diapason sur 10 ms

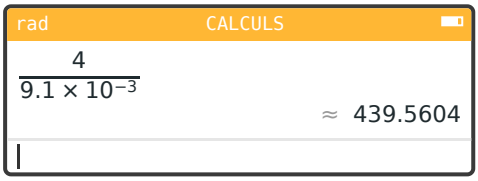
Sur le document 2, on mesure la durée de plusieurs périodes pour limiter l'erreur de lecture. Entre le premier maximum ($t \approx 0{,}55$ ms) et le cinquième ($t \approx 9{,}65$ ms), il y a 4 périodes :

$4T = 9{,}1$ ms, soit $T = \dfrac{9{,}1}{4} = 2{,}3$ ms environ.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{4}{9{,}1 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^{2} \text{ Hz}$$

$f \approx 4{,}4 \times 10^{2}$ Hz : le diapason émet le la3 à 440 Hz.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Mesurer une seule période : l'erreur de lecture pèse alors quatre fois plus. Penser aussi à convertir les millisecondes en secondes avant de calculer f.

COMPRENDRE
La lecture graphique donne deux chiffres significatifs. Le document 1 confirme la valeur : d'une octave à la suivante la fréquence double (110, 220, puis 880 Hz pour le la4), donc le la3 vaut $2 \times 220 = 440$ Hz.

1.2 Les trois musiciens jouent-ils une note de même hauteur ? Justifier.

Données utiles documents 3, 4 et 5 : enregistrements et spectres ; document 1 : la4 à 880 Hz ; $f = 440$ Hz (1.1)

La hauteur d'un son est fixée par la fréquence de son fondamental, c'est-à-dire le premier pic du spectre (fréquence la plus basse).

- Piano (document 3) : fondamental vers $0{,}44$ kHz. Vérification sur l'enregistrement : $6T = 13{,}6$ ms, d'où $f = \dfrac{6}{13{,}6 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^{2}$ Hz.
- Guitare (document 5) : fondamental vers $0{,}44$ kHz. Vérification : $7T = 15{,}9$ ms, d'où $f = \dfrac{7}{15{,}9 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^{2}$ Hz.
- Flûte (document 4) : fondamental vers $0{,}88$ kHz. Vérification : $8T = 9{,}1$ ms, d'où $f = \dfrac{8}{9{,}1 \times 10^{-3}} = 8{,}8 \times 10^{2}$ Hz.

Le piano et la guitare jouent le la3 du diapason (440 Hz, aux incertitudes de lecture près). La flûte joue une note de fréquence double : d'après le document 1, c'est le la4, une octave plus haut.

Non : piano et guitare jouent à la même hauteur (440 Hz), mais la flûte joue plus aigu (880 Hz).

PIÈGE
Comparer la forme des signaux ou le nombre de pics des spectres : cela renseigne sur le timbre, pas sur la hauteur. Seule la fréquence du fondamental compte ici.

COMPRENDRE
Les notions de hauteur, de timbre et d'harmoniques relevaient de l'ancien enseignement de spécialité ; elles ne figurent plus au programme actuel de la spécialité de Terminale.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{6}{13.6 \times 10^{-3}} \approx 441.1765$$

$$\frac{7}{15.9 \times 10^{-3}} \approx 440.2516$$

$$\frac{8}{9.1 \times 10^{-3}} \approx 879.1209$$

2.1 Quels phénomènes physiques interviennent au cours de la propagation du son dans une salle ? En citer au moins trois.

- La **réflexion** de l'onde sonore sur les murs, le sol et le plafond (document 6).
- L'**absorption** d'une partie de l'énergie sonore par les parois, qui atténue le son.
- La **diffraction** par les ouvertures et les obstacles (porte, mobilier, spectateurs).

On peut citer aussi les interférences entre le son direct et les sons réfléchis.

Réflexion, absorption et diffraction.

COMPRENDRE
La réverbération décrite au document 6 est la conséquence des réflexions successives : le son persiste tant que les parois n'ont pas absorbé son énergie.

2.2 Quelle est l'unité du coefficient de valeur 0,16 dans la formule de Sabine ?

Données utiles $T_R = \dfrac{0{,}16 \times V}{A}$ avec T_R en s, V en m^3, A en m^2

On isole le coefficient, noté k : $k = \dfrac{T_R \times A}{V}$

Son unité est donc celle du quotient : $\dfrac{\mathrm{s} \times \mathrm{m}^2}{\mathrm{m}^3} = \mathrm{s} \cdot \mathrm{m}^{-1}$

Le coefficient 0,16 s'exprime en $\mathrm{s} \cdot \mathrm{m}^{-1}$.

MÉTHODE
Pour trouver l'unité d'une constante : l'isoler dans la relation, remplacer chaque grandeur par son unité, puis simplifier.

2.3 En l'absence de spectateurs, la pièce du sous-sol est-elle une bonne salle de concert ? Justifier.

Données utiles $L = 10{,}0$ m ; $l = 5{,}0$ m ; $h = 3{,}0$ m ; $S_{\text{béton}} = 187\ \text{m}^2$, $\alpha_{\text{béton}} = 0{,}010$; $S_{\text{bois}} = 3{,}0\ \text{m}^2$, $\alpha_{\text{bois}} = 0{,}15$; bonne salle de musique : T_R de 1,0 à 2,5 s

Volume de la salle : $V = L \times l \times h = 10{,}0 \times 5{,}0 \times 3{,}0 = 1{,}5 \times 10^2\ \text{m}^3$

Aire absorbante équivalente (béton et porte en bois) :

$A = \alpha_{\text{béton}}\, S_{\text{béton}} + \alpha_{\text{bois}}\, S_{\text{bois}} = 0{,}010 \times 187 + 0{,}15 \times 3{,}0 = 1{,}87 + 0{,}45 = 2{,}32\ \text{m}^2$

Durée de réverbération :

$$T_R = \frac{0{,}16 \times V}{A} = \frac{0{,}16 \times 150}{2{,}32} = 10\ \text{s}$$

D'après le document 6, une bonne salle de musique a une durée de réverbération comprise entre 1,0 s et 2,5 s. Ici elle est environ quatre fois trop longue : les notes successives se superposent et la musique devient confuse.

$T_R \approx 10\ \text{s} > 2{,}5\ \text{s}$: la pièce vide n'est pas une bonne salle de concert.

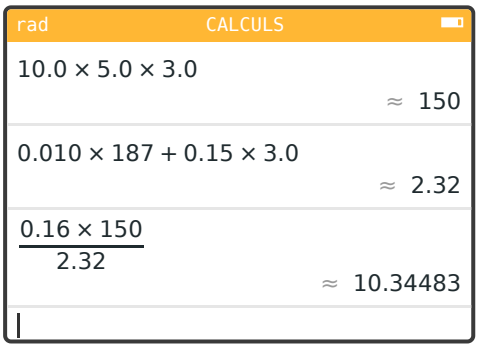
PIÈGE

Oublier la porte : avec 3,0 m² seulement, le bois apporte pourtant près de 20 % de l'absorption, car son coefficient est quinze fois celui du béton.

COMPRENDRE

Le béton réfléchit 99 % de l'énergie sonore qu'il reçoit : le son rebondit très longtemps avant de s'éteindre. Résultat donné avec deux chiffres significatifs, comme 0,16 et les dimensions.

À LA CALCULATRICE



2.4 Quelle surface de panneaux absorbants faut-il poser sur les murs pour obtenir une durée de réverbération de 2,0 s ?

Données utiles $T_R = 2{,}0$ s ; $\alpha_{\text{panneau}} = 0{,}50$; $V = 150\ \text{m}^3$ et $A = 2{,}32\ \text{m}^2$ sans panneau (2.3) ; $\alpha_{\text{béton}} = 0{,}010$

Aire absorbante équivalente nécessaire :

$$A' = \frac{0{,}16 \times V}{T_R} = \frac{0{,}16 \times 150}{2{,}0} = 12\ \text{m}^2$$

Les panneaux, de surface S_p, recouvrent une partie du béton des murs : la surface de béton apparente devient $S_{\text{béton}} - S_p$.

$$A' = \alpha_{\text{béton}}\,(S_{\text{béton}} - S_p) + \alpha_{\text{bois}}\,S_{\text{bois}} + \alpha_{\text{panneau}}\,S_p = A + (\alpha_{\text{panneau}} - \alpha_{\text{béton}})\,S_p$$

$$S_p = \frac{A' - A}{\alpha_{\text{panneau}} - \alpha_{\text{béton}}} = \frac{12 - 2{,}32}{0{,}50 - 0{,}010} = 20\ \text{m}^2$$

Il faut environ $S_p = 20\ \text{m}^2$ de panneaux absorbants.

PIÈGE
Raisonner comme si T_R était proportionnelle à la surface de panneaux. C'est l'aire équivalente A qui doit être multipliée par 5 environ, en passant de 2,32 à 12 m².

COMPRENDRE
Sans retrancher le béton masqué, on trouve $9{,}68 \div 0{,}50 \approx 19\ \text{m}^2$: l'écart est faible car le béton absorbe très peu. Les murs offrent 87 m² hors porte, la pose est donc possible.

À LA CALCULATRICE

