Corrigé complet — Bac S 2009 Métropole rattrapage (ancien programme)

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

Ex 1	**Le Monoï de Tahiti** Saponification d'un triglycéride · Tableau d'avancement et rendement · Propriétés d'un savon · Hydrolyse d'un ester et déplacement d'équilibre · Spectrophotométrie UV · Temps de demi-réaction	6,5 pts	1 h 18	20 questions	p. 2
Ex 2	**De la Terre à la Lune** Deuxième loi de Newton · Force gravitationnelle · Mouvement circulaire uniforme · Vitesse orbitale · Décroissance radioactive · Datation par demi-vie	5,5 pts	1 h 05	12 questions	p. 7
Ex 3	**L'échographie: comment ça marche?** Onde mécanique progressive · Onde longitudinale · Célérité des ultrasons · Écho et réflexion partielle · Lecture d'un oscillogramme	4 pts	52 min	15 questions	p. 12
Ex 4	**Spécialité : Attention à vos oreilles** Instrument à vent : excitateur et résonateur · Modes propres de vibration · Période et fréquence · Hauteur et timbre d'un son · Spectre en fréquence · Niveau d'intensité sonore	4 pts	52 min	11 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 Monoï de Tahiti

Bac S 2009 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 Quel est le nom de la réaction chimique qui met en jeu une huile et l'alcali ?

Un corps gras (triester) réagit à chaud avec une base forte pour donner un savon.

C'est une réaction de **saponification** (hydrolyse basique d'un ester).

1.1.2 Écrire l'équation de la réaction entre un triglycéride et l'hydroxyde de sodium en solution aqueuse.

Chacun des trois groupes ester réagit avec un ion hydroxyde :

$$\mathrm{CH_2(OCOR)-CH(OCOR)-CH_2(OCOR)} + 3\,(\mathrm{Na^+ + HO^-})$$
$$\longrightarrow 3\,(\mathrm{RCOO^- + Na^+}) + \mathrm{CH_2OH-CHOH-CH_2OH}$$

triglycéride + 3 hydroxyde de sodium ⟶ 3 carboxylate de sodium (savon) + glycérol

PIÈGE
Oublier le coefficient 3 devant $\mathrm{HO^-}$ et devant le carboxylate : la molécule porte trois groupes ester, chacun consomme un ion hydroxyde.

COMPRENDRE
Le sujet écrit ses équations avec le signe « = » (usage de l'époque). La saponification est totale : on l'écrit aujourd'hui avec une flèche simple.

1.1.3 Donner la formule semi-développée du savon obtenu, le laurate de sodium.

Le savon est le carboxylate de sodium associé à l'acide laurique : ici R est $\mathrm{CH_3-(CH_2)_{10}-}$.

$\mathrm{CH_3-(CH_2)_{10}-COO^-} + \mathrm{Na^+}$

COMPRENDRE
Vérification avec la formule brute du tableau de données : 12 C, 23 H, 2 O et un ion sodium, soit $\mathrm{C_{12}H_{23}O_2Na}$.

1.1.4 Compléter le tableau d'avancement de l'annexe puis calculer les valeurs de n_1 et de n_0.

Données utiles $m_1 = 1{,}3\ \mathrm{t} = 1{,}3 \times 10^6\ \mathrm{g}$; $M_1 = 638\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$; $V_0 = 2{,}0\ \mathrm{m^3} = 2{,}0 \times 10^3\ \mathrm{L}$; $c_0 = 6{,}0\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

Tableau : voir l'annexe complétée ci-dessous.

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{1{,}3 \times 10^6}{638} = 2{,}0 \times 10^3\ \mathrm{mol}$$

$$n_0 = c_0 \times V_0 = 6{,}0 \times 2{,}0 \times 10^3 = 1{,}2 \times 10^4\ \mathrm{mol}$$

$n_1 = 2{,}0 \times 10^3$ mol et $n_0 = 1{,}2 \times 10^4$ mol

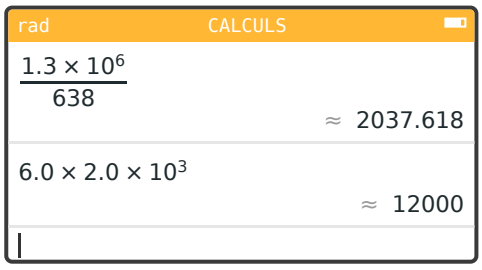
PIÈGE
Les unités : $1\ \mathrm{t} = 10^6$ g (et non 10^3 g) et $1\ \mathrm{m^3} = 10^3$ L. Le sujet rappelle $1{,}3 \times 10^3$ kg : il faut encore convertir en grammes.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs (1,3 ; 2,0 ; 6,0) : les résultats en gardent deux.

État	x (mol)	$C_{39}H_{74}O_6$	+ 3 Na^+	+ 3 HO^-	= 3 ($C_{12}H_{23}O_2^- + Na^+$)	+ $C_3H_8O_3$
initial	0	n_1	n_0	n_0	0	0
en cours	x	$n_1 - x$	$n_0 - 3x$	$n_0 - 3x$	3x	x
final	x_{max}	$n_1 - x_{max}$	$n_0 - 3x_{max}$	$n_0 - 3x_{max}$	$3x_{max}$	x_{max}

1.1.4 · Tableau d'avancement de l'annexe (quantités en mol) ; en orange, ce que l'on complète

À LA CALCULATRICE



1.1.5 Montrer que l'avancement maximal est $x_{max} = 2{,}0 \times 10^3$ mol.

Données utiles $n_1 = 2{,}0 \times 10^3$ mol et $n_0 = 1{,}2 \times 10^4$ mol (1.1.4)

Si le laurate de glycéryle est limitant : $n_1 - x_{max} = 0$, soit $x_{max} = n_1 = 2{,}0 \times 10^3$ mol.

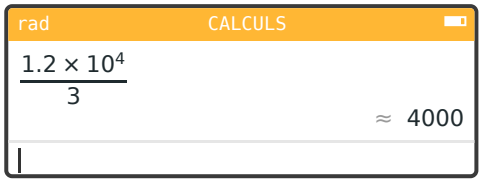
Si l'hydroxyde de sodium est limitant : $n_0 - 3\,x_{max} = 0$, soit $x_{max} = \dfrac{n_0}{3} = \dfrac{1{,}2 \times 10^4}{3} = 4{,}0 \times 10^3$ mol.

On retient la plus petite valeur : le laurate de glycéryle est le réactif limitant.

$x_{max} = n_1 = 2{,}0 \times 10^3$ mol, valeur attendue.

PIÈGE
Comparer directement n_1 et n_0 sans diviser n_0 par le nombre stœchiométrique 3.

À LA CALCULATRICE



1.1.6 En déduire la masse maximale m_2 de laurate de sodium attendue.

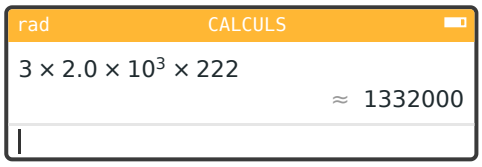
Données utiles $x_{max} = 2{,}0 \times 10^3$ mol (1.1.5) ; $M_2 = 222$ g · mol^{-1}

D'après le tableau, la quantité maximale de savon est $n_2 = 3\,x_{max}$.

$m_2 = n_2 \times M_2 = 3\,x_{max} \times M_2 = 3 \times 2{,}0 \times 10^3 \times 222 = 1{,}33 \times 10^6$ g

$m_2 \approx 1{,}3 \times 10^6$ g, soit 1,3 t de laurate de sodium.

À LA CALCULATRICE



1.1.7 Définir le rendement de la synthèse du savon puis le calculer.

Données utiles masse de savon obtenue $m = 1{,}0$ t ; $m_2 = 1{,}33$ t (1.1.6)

Le rendement est le rapport de la masse de savon réellement obtenue à la masse maximale attendue si la transformation était totale et sans perte :

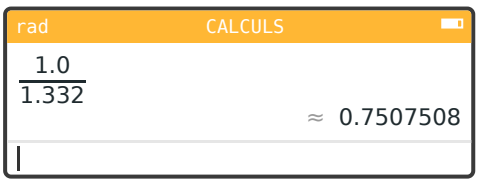
$$\eta = \frac{m}{m_2} = \frac{1{,}0}{1{,}33} = 0{,}75$$

$\eta \approx 75\ \%$

COMPRENDRE
Le calcul utilise la valeur non arrondie de m_2 (1,33 t). Avec la valeur arrondie 1,3 t on trouve 77 % : à deux chiffres significatifs, les deux réponses sont du même ordre et acceptables.

MÉTHODE
Les deux masses doivent être dans la même unité (ici la tonne) : un rendement est sans unité et toujours inférieur ou égal à 1.

À LA CALCULATRICE

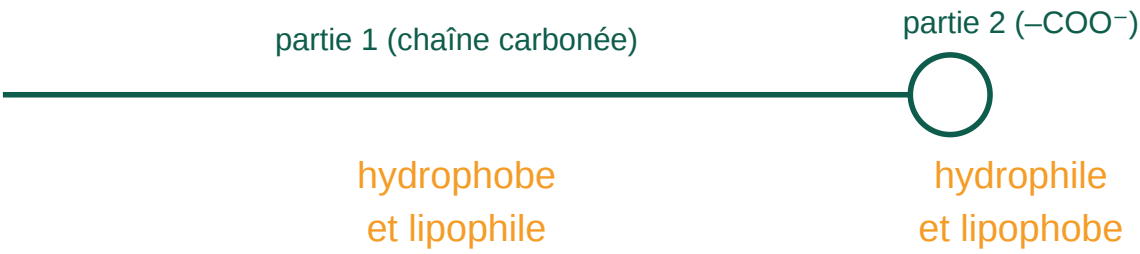


1.2.1 Reproduire le schéma simplifié de l'ion actif du savon et légender chaque partie avec : hydrophile, hydrophobe, lipophile, lipophobe.

La partie 1 est la longue chaîne carbonée, apolaire : elle n'a pas d'affinité pour l'eau mais en a pour les graisses.

La partie 2 est le groupe carboxylate $-COO-$, chargé : il a une forte affinité pour l'eau et aucune pour les graisses.

Partie 1 : **hydrophobe et lipophile** ; partie 2 : **hydrophile et lipophobe**.



1.2.1 · Schéma simplifié de l'ion laurate, légendé

1.2.2 Choisir en justifiant, parmi les schémas 1.a et 1.b de la figure 1, celui qui peut expliquer le mode d'action d'un savon.

La chaîne lipophile de chaque ion pénètre dans la tache de graisse, tandis que la tête hydrophile reste au contact de l'eau. Les traits doivent donc être dans la graisse et les ronds dans l'eau.

La graisse, ainsi entourée d'ions, se détache du tissu et est entraînée par l'eau de lavage.

Le bon schéma est le **schéma 1.a**.

PIÈGE
Sur le schéma 1.b, les têtes chargées plongent dans la graisse et les chaînes carbonées dans l'eau : c'est l'inverse des affinités.

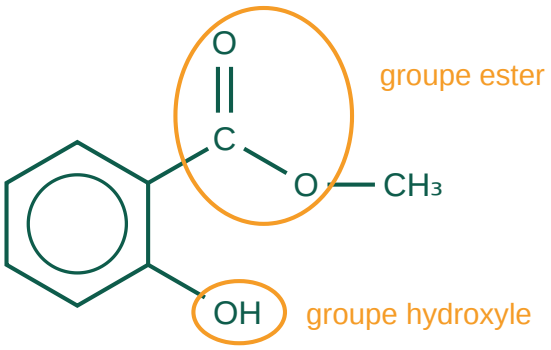
2.1.1 Recopier la formule du salicylate de méthyle, entourer et nommer les groupes caractéristiques de la molécule.

La molécule porte deux groupes caractéristiques (voir la formule ci-dessous) :

- le groupe $-\mathrm{COO}-\mathrm{C}$: groupe **ester** ;
- le groupe $-\mathrm{OH}$: groupe **hydroxyle**.

Un groupe ester et un groupe hydroxyle.

PIÈGE
Entourer seulement $\mathrm{C}=\mathrm{O}$ et parler de groupe carbonyle : l'ester comprend aussi l'atome d'oxygène relié au groupe méthyle.



2.1.1 · Salicylate de méthyle : les deux groupes caractéristiques entourés

2.1.2 Citer une propriété caractéristique de la réaction d'hydrolyse du salicylate de méthyle.

L'hydrolyse d'un ester conduit à un état d'équilibre : elle est limitée par la réaction inverse, l'estérification.

La réaction est **lente** et **limitée** (non totale).

COMPRENDRE
Ne pas confondre avec l'hydrolyse basique de la partie 1 (saponification), qui est, elle, totale.

2.1.3 Citer un procédé permettant d'augmenter la vitesse de réaction.

La température est un facteur cinétique ; un catalyseur accélère aussi la réaction.

Chauffer le mélange réactionnel, ou ajouter un catalyseur (par exemple des ions H^+ apportés par un acide).

COMPRENDRE
Un catalyseur ou un chauffage permet d'atteindre plus vite l'état final, sans changer la composition de cet état : le rendement n'augmente pas.

2.1.4 Citer un procédé permettant d'obtenir davantage de produit par déplacement d'équilibre.

Données utiles températures d'ébullition : acide salicylique 211 °C ; méthanol 65 °C ; salicylate de méthyle 223 °C

Le méthanol est de loin l'espèce la plus volatile du mélange (65 °C, contre 100 °C pour l'eau et plus de 200 °C pour les deux autres). Par distillation, on peut l'éliminer au fur et à mesure de sa formation.

La réaction inverse est alors empêchée et le système évolue dans le sens direct.

Éliminer le méthanol par distillation au cours de la transformation.

COMPRENDRE
Autre procédé possible : mettre un réactif en large excès, ici l'eau. Les températures d'ébullition du tableau orientent toutefois vers la distillation.

2.2.1 Quelle est la longueur d'onde optimale pour l'étude de l'absorbance du film ? Justifier.

On se place au maximum d'absorbance du salicylate de méthyle : les mesures y sont les plus sensibles et les plus précises. Sur la figure 2, le maximum des courbes est situé un peu avant 310 nm.

$\lambda \approx 306$ nm (maximum d'absorbance).

2.2.2 Dans quel domaine du spectre électromagnétique cette longueur d'onde se situe-t-elle ?

Le domaine visible s'étend de 400 nm à 800 nm environ. Or $306\ \text{nm} < 400\ \text{nm}$.

Cette radiation appartient au domaine **ultraviolet**.

2.2.3 D'après la figure 2, comment expliquer la différence d'absorbance du film avant et après irradiation ?

Après irradiation, l'absorbance est plus faible à toutes les longueurs d'onde (maximum voisin de 0,8 au lieu de 1,3). L'absorbance est proportionnelle à la quantité de l'espèce absorbante : une partie du salicylate de méthyle a donc disparu.

Le salicylate de méthyle a été en partie dégradé par la lumière : il en reste moins, l'absorbance diminue.

2.2.4 D'après la courbe de la figure 3, comment évolue la valeur de la vitesse de cette réaction au cours du temps ? Justifier.

V étant constant, la vitesse $v = \dfrac{1}{V}\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$ est proportionnelle à $\dfrac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$, coefficient directeur de la tangente à la courbe $x(t)$ à la date considérée.

La tangente est de moins en moins inclinée lorsque t augmente ; elle devient presque horizontale vers 400 h.

La vitesse de réaction **diminue** au cours du temps et tend vers zéro.

COMPRENDRE
Cette diminution s'explique par un facteur cinétique : la quantité de réactif diminue au fil de la transformation.

2.2.5 Donner la définition du temps de demi-réaction d'une transformation chimique.

Le temps de demi-réaction $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle l'avancement vaut la moitié de l'avancement final : $x(t_{1/2}) = \dfrac{x_f}{2}$.

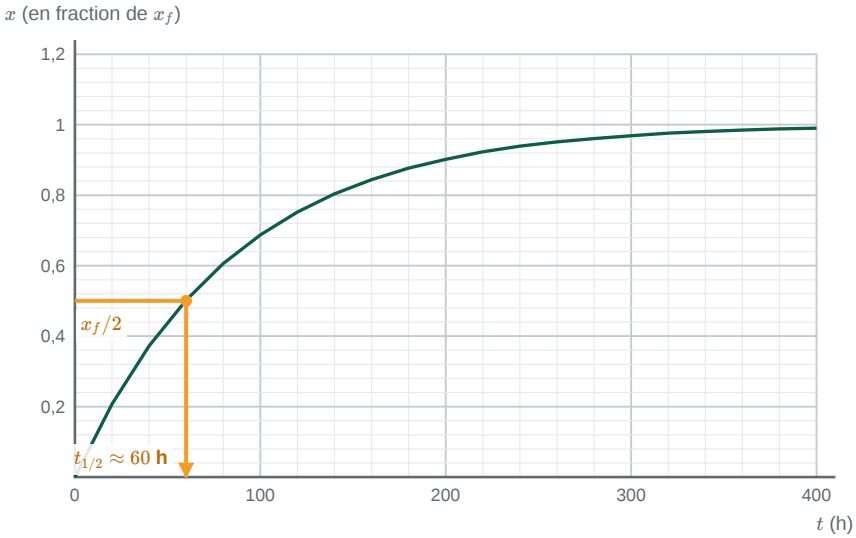
PIÈGE
Écrire que $t_{1/2}$ est « la moitié de la durée de la réaction » : c'est faux, la courbe n'est pas une droite.

2.2.6 Déterminer le temps de demi-réaction pour la dégradation du salicylate de méthyle en expliquant la méthode utilisée, avec le tracé sur la figure 3.

On repère x_f sur l'axe des ordonnées, puis on place $x_f/2$ (cinquième graduation sur dix). On trace l'horizontale d'ordonnée $x_f/2$ jusqu'à la courbe, puis on descend verticalement jusqu'à l'axe des temps où on lit $t_{1/2}$.

$t_{1/2} \approx 60$ h

COMPRENDRE
L'échelle de l'axe des temps est de 20 h par graduation : la lecture est faite à une dizaine d'heures près.



2.2.6 · Figure 3 de l'annexe, avec le tracé donnant le temps de demi-réaction

2.2.7 D'après le résultat de la question 2.2.6, est-il envisageable d'utiliser le salicylate de méthyle dans une crème solaire pour une durée d'exposition d'une demi-journée ?

Données utiles $t_{1/2} \approx 60$ h (2.2.6) ; irradiation environ 6 fois plus puissante que l'irradiation solaire maximale, à 60 °C

Dans les conditions de l'expérience, bien plus sévères qu'une exposition réelle (puissance reçue environ six fois plus grande, température de 60 °C), il faut environ 60 h pour dégrader la moitié du salicylate de méthyle.

Une demi-journée représente environ 6 h, soit dix fois moins : la quantité dégradée reste faible et le produit continue d'absorber les ultraviolets.

Oui, cette utilisation est envisageable : la dégradation est négligeable en une demi-journée.

De la Terre à la Lune

Bac S 2009 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1 Quel référentiel supposé galiléen peut-on choisir pour étudier le début du lancement ?

Le décollage se décrit par rapport au sol, sur une durée brève.

On choisit le **référentiel terrestre**, supposé galiléen pendant la durée de l'étude.

COMPRENDRE
Le référentiel géocentrique servira plus loin, pour le mouvement en orbite. Près du sol et pendant quelques secondes, la rotation de la Terre est sans effet mesurable : le référentiel terrestre suffit.

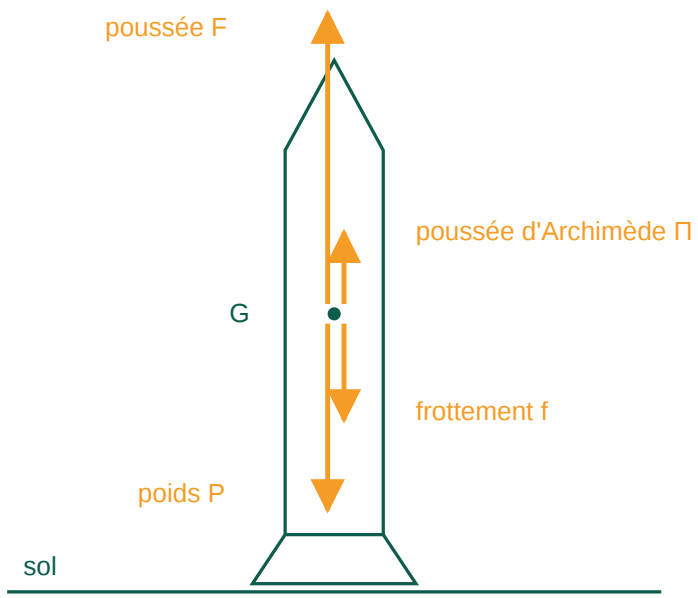
1.2 Faire l'inventaire des forces extérieures appliquées à la fusée, en tenant compte de l'interaction de l'air avec la fusée, et les représenter au centre d'inertie sur un schéma sans souci d'échelle (décollage vertical).

Système : {fusée}. Forces extérieures :

- le poids $\vec{P}$, vertical, vers le bas ;
- la poussée des réacteurs $\vec{F}$, verticale, vers le haut ;
- la force de frottement de l'air $\vec{f}$, verticale, opposée au mouvement donc vers le bas ;
- la poussée d'Archimède de l'air $\vec{\Pi}$, verticale, vers le haut.

Quatre forces verticales : $\vec{F}$ et $\vec{\Pi}$ vers le haut, $\vec{P}$ et $\vec{f}$ vers le bas (schéma ci-dessous).

PIÈGE
« Interaction de l'air » recouvre deux actions : le frottement et la poussée d'Archimède. N'en citer qu'une fait perdre une partie des points, même si la seconde est très faible devant le poids.



1.2 · Forces extérieures appliquées à la fusée au décollage (sans souci d'échelle)

1.3 Pourquoi ne peut-on pas appliquer la seconde loi de Newton, telle qu'elle est énoncée, à la fusée lors de son ascension ? Quelle hypothèse permet cependant de l'appliquer au tout début du lancement ?

L'énoncé de la loi suppose un solide de masse m **constante**. Or la fusée brûle et éjecte son carburant : le premier étage en consomme environ 2 000 tonnes en 180 s, sur une masse totale de $2{,}9 \times 10^3$ tonnes. Sa masse diminue fortement pendant l'ascension, la loi ainsi énoncée ne s'applique pas.

Hypothèse : sur une durée très courte au tout début du lancement, la masse éjectée est négligeable devant M ; on considère la masse de la fusée constante, égale à M.

COMPRENDRE
Pour un système de masse variable, il faut la forme générale de la loi, écrite avec la quantité de mouvement. Cette notion ne figure plus au programme actuel de spécialité.

1.4 En ne considérant que le poids et la poussée, montrer que l'accélération de la fusée à l'instant initial du lancement vaut $1{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Données utiles $F = 3{,}3 \times 10^7$ N ; $M = 2{,}9 \times 10^3$ t $= 2{,}9 \times 10^6$ kg ; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

Système {fusée} de masse M supposée constante, référentiel terrestre supposé galiléen. Seconde loi de Newton :

$$\vec{P} + \vec{F} = M\,\vec{a}$$

Projection sur un axe vertical (Oz) orienté vers le haut : $-M\,g + F = M\,a$, donc

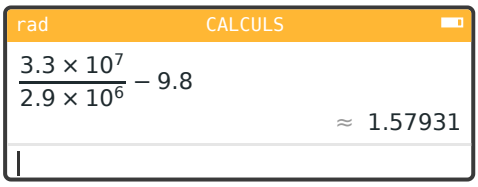
$$a = \frac{F}{M} - g = \frac{3{,}3 \times 10^7}{2{,}9 \times 10^6} - 9{,}8$$

$a = 1{,}6\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, valeur attendue.

PIÈGE
La masse est donnée en tonnes : $1\ \text{t} = 10^3$ kg. Avec $M = 2{,}9 \times 10^3$ kg, on trouverait une accélération mille fois trop grande.

COMPRENDRE
Les données ont deux chiffres significatifs : le résultat en garde deux. L'accélération est faible car la poussée dépasse à peine le poids ($Mg = 2{,}8 \times 10^7$ N) ; elle augmente ensuite, la masse diminuant.

À LA CALCULATRICE

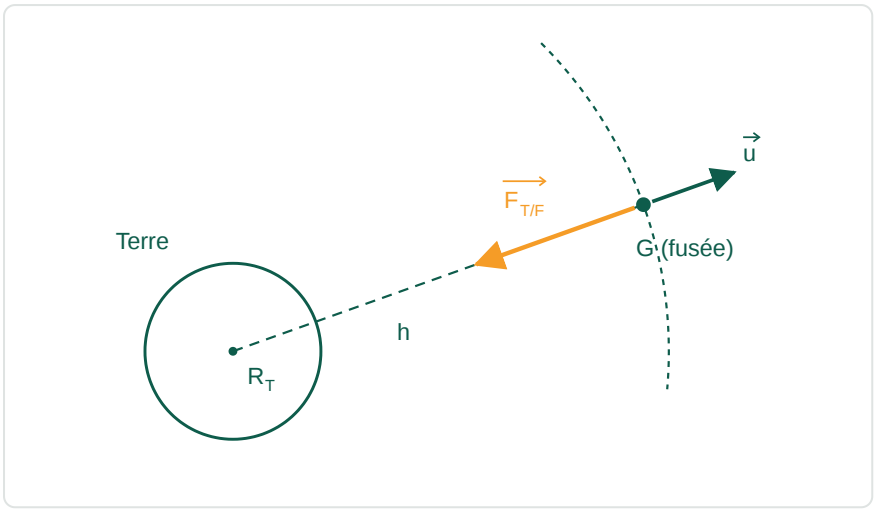


2.1 Donner l'expression vectorielle de la force $\overrightarrow{F}_{T/F}$ exercée par la Terre sur le système {fusée} à l'aide du vecteur unitaire $\vec{u}$ de la figure 6. Reproduire la figure et représenter cette force.

La distance entre le centre de la Terre et le point G est $R_T + h$. La force est attractive, dirigée de la fusée vers le centre de la Terre, donc de sens opposé à $\vec{u}$.

$$\overrightarrow{F}_{T/F} = -\frac{G\,M_T\,m}{(R_T + h)^2}\,\vec{u}$$

PIÈGE
Deux erreurs classiques : écrire h^2 au dénominateur (la distance se compte depuis le centre de la Terre) et oublier le signe « $-$ », alors que $\vec{u}$ pointe à l'opposé de la Terre.



2.1 · Figure 6 reproduite, avec la force exercée par la Terre (en orange)

2.2 Établir l'expression vectorielle de l'accélération du centre d'inertie du système {fusée}. Le mouvement étant supposé circulaire, montrer que le vecteur accélération est centripète, puis en déduire que le mouvement est uniforme.

Système {fusée} de masse m, référentiel géocentrique supposé galiléen, seule force $\vec{F}_{T/F}$. Deuxième loi de Newton : $\vec{F}_{T/F} = m\,\vec{a}$, soit

$$\vec{a} = -\frac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}\,\vec{u}$$

Le vecteur $\vec{a}$ est colinéaire à $\vec{u}$ et de sens opposé : il est porté par le rayon de la trajectoire circulaire et dirigé vers son centre, le centre de la Terre. Il est donc **centripète**.

Pour un mouvement circulaire, la composante de $\vec{a}$ tangente à la trajectoire vaut $\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$. Ici $\vec{a}$ est radial, cette composante est nulle.

$\dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = 0$: la valeur de la vitesse est constante, le mouvement circulaire est **uniforme**.

PIÈGE
Dire « $\vec{a}$ est constant » est faux : sa direction change à chaque instant. Seule sa valeur est constante, et l'argument qui prouve l'uniformité est l'absence de composante tangentielle.

MÉTHODE
Schéma à retenir pour tout satellite en orbite circulaire : deuxième loi de Newton, accélération radiale, donc $\mathrm{d}v/\mathrm{d}t = 0$ (uniforme) et $a = v^2/r$ (vitesse).

2.3 Montrer que la valeur de la vitesse du centre d'inertie du système {fusée} est $v = \sqrt{\dfrac{G\,M_T}{R_T+h}}$, puis calculer sa valeur.

Données utiles $G = 6{,}67\times10^{-11}\ \mathrm{m^3\cdot s^{-2}\cdot kg^{-1}}$; $M_T = 5{,}98\times10^{24}$ kg ; $R_T = 6{,}37\times10^{6}$ m ; $h = 1{,}85\times10^{5}$ m

Pour un mouvement circulaire uniforme de rayon $R_T + h$, l'accélération centripète a pour valeur $a = \dfrac{v^2}{R_T+h}$.

D'après 2.2, $a = \dfrac{G\,M_T}{(R_T+h)^2}$. En égalant les deux expressions :

$$\frac{v^2}{R_T+h} = \frac{G\,M_T}{(R_T+h)^2} \quad \text{soit} \quad v = \sqrt{\frac{G\,M_T}{R_T+h}}$$

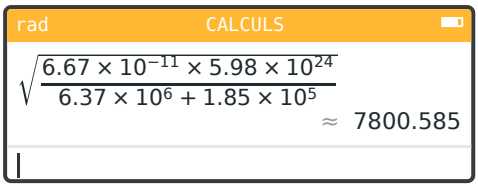
$$v = \sqrt{\frac{6{,}67\times10^{-11}\times5{,}98\times10^{24}}{6{,}37\times10^{6}+1{,}85\times10^{5}}}$$

$v = 7{,}80\times10^{3}\ \mathrm{m\cdot s^{-1}}$, soit $7{,}80\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$.

PIÈGE
R_T et h sont donnés en kilomètres : il faut les convertir en mètres avant de les additionner, sinon la vitesse obtenue est fausse d'un facteur $\sqrt{1000}$.

COMPRENDRE
La vitesse ne dépend pas de la masse m du système : à 185 km d'altitude, tout satellite en orbite circulaire va à $7{,}80\ \mathrm{km\cdot s^{-1}}$, soit environ 28 000 km/h.

À LA CALCULATRICE



3.1 Parmi l'iode 131, le plutonium 238 et le potassium 40, indiquer en justifiant le radioélément qui pourrait servir à mesurer l'âge de la Lune.

Données utiles demi-vies : iode 131, une dizaine de jours ; plutonium 238, une centaine d'années ; potassium 40, un milliard d'années

Un radioélément convient si sa demi-vie est de l'ordre de grandeur de l'âge à mesurer. La Lune, comme la Terre, est âgée de quelques milliards d'années.

Le **potassium 40** convient : sa demi-vie, de l'ordre du milliard d'années, est comparable à l'âge de la Lune.

COMPRENDRE
Avec l'iode 131 ou le plutonium 238, il se serait écoulé des millions de demi-vies : il ne resterait plus aucun noyau à compter dans la roche.

3.2 Écrire l'équation de désintégration nucléaire d'un noyau de potassium 40, qui produit de l'argon 40.

On note ${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$ la particule émise. Conservation du nombre de nucléons : $40 = 40 + A$, donc $A = 0$. Conservation de la charge : $19 = 18 + Z$, donc $Z = 1$. La particule est un positon ${}^{0}_{1}\mathrm{e}$.

${}^{40}_{19}\mathrm{K} \longrightarrow {}^{40}_{18}\mathrm{Ar} + {}^{0}_{1}\mathrm{e}$ (radioactivité β^+)

PIÈGE
Le numéro atomique diminue d'une unité : la particule émise porte une charge positive. Écrire un électron ${}^{0}_{-1}\mathrm{e}$ ne respecte pas la conservation de la charge.

3.3 Donner l'expression du nombre $N_K(t)$ de noyaux de potassium 40 présents dans l'échantillon à la date t en fonction du nombre initial $N_K(0)$.

Loi de décroissance radioactive, avec λ la constante de désintégration radioactive du potassium 40 :

$$N_K(t) = N_K(0)\,\mathrm{e}^{-\lambda t}$$

3.4 Définir le temps de demi-vie d'un échantillon radioactif, établir la relation entre λ et $t_{1/2}$, puis montrer que $\lambda = 5{,}50 \times 10^{-10}\ \mathrm{an}^{-1}$ pour le potassium 40.

Données utiles $t_{1/2} = 1{,}26 \times 10^{9}$ ans

Le temps de demi-vie $t_{1/2}$ est la durée au bout de laquelle la moitié des noyaux radioactifs initialement présents dans l'échantillon se sont désintégrés.

Donc $N_K(t_{1/2}) = \dfrac{N_K(0)}{2}$, soit $N_K(0)\,\mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} = \dfrac{N_K(0)}{2}$.

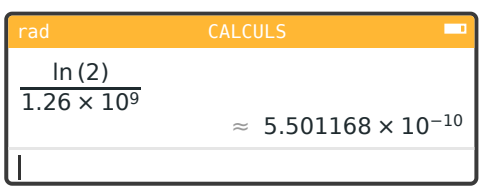
On simplifie : $\mathrm{e}^{-\lambda t_{1/2}} = \dfrac{1}{2}$, d'où $-\lambda\, t_{1/2} = -\ln 2$ et

$$\lambda = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} = \frac{\ln 2}{1{,}26 \times 10^{9}}$$

$\lambda = 5{,}50 \times 10^{-10}\ \mathrm{an}^{-1}$, valeur attendue.

COMPRENDRE
Il est inutile de convertir en secondes : avec $t_{1/2}$ en années, λ sort en an^{-1}, unité demandée et commode pour la question suivante.

À LA CALCULATRICE



3.5 Sachant que $N_K(0) = N_K(t) + N_{Ar}(t)$, évaluer l'âge de la roche lunaire analysée.

Données utiles $N_{Ar}(t) = 2{,}3 \times 10^{17}$; $N_K(t) = 2{,}4 \times 10^{16}$; $\lambda = 5{,}50 \times 10^{-10}\ \text{an}^{-1}$ (3.4)

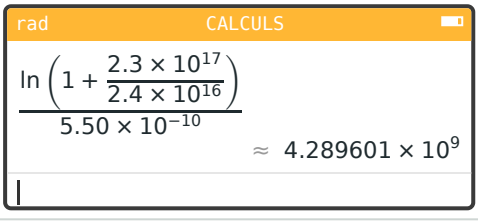
D'après 3.3 : $\dfrac{N_K(0)}{N_K(t)} = \text{e}^{\lambda t}$, donc $t = \dfrac{1}{\lambda}\ln\left(\dfrac{N_K(0)}{N_K(t)}\right)$.

Avec $N_K(0) = N_K(t) + N_{Ar}(t)$:

$$t = \frac{1}{\lambda}\ln\left(1 + \frac{N_{Ar}(t)}{N_K(t)}\right) = \frac{1}{5{,}50 \times 10^{-10}} \times \ln\left(1 + \frac{2{,}3 \times 10^{17}}{2{,}4 \times 10^{16}}\right)$$

$t = 4{,}3 \times 10^9$ ans : la roche lunaire est âgée d'environ 4,3 milliards d'années.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE
Les deux nombres de noyaux n'ont pas la même puissance de dix (10^{17} et 10^{16}) : le rapport vaut 9,6 et non 0,96.

COMPRENDRE
Chaque noyau d'argon 40 provient d'un noyau de potassium 40 désintégré, d'où la relation admise. Le résultat est cohérent : un peu plus de trois demi-vies, et un âge voisin de celui du système solaire.

L'échographie: comment ça marche?

Bac S 2009 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 3 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Définir ce qu'on appelle une onde mécanique.

Une onde mécanique est le phénomène de propagation d'une perturbation dans un milieu matériel, sans transport de matière mais avec transport d'énergie.

PIÈGE
Oublier « milieu matériel » ou « sans transport de matière » : ce sont les deux mots-clés attendus. Une onde mécanique ne se propage pas dans le vide.

1.2 Donner la définition d'une onde longitudinale.

Une onde est longitudinale lorsque la perturbation du milieu s'effectue dans la même direction que celle de la propagation de l'onde.

COMPRENDRE
Pour les ultrasons, les tranches de fluide sont comprimées puis dilatées le long de la direction de propagation. À l'inverse, une onde le long d'une corde est transversale.

2.1 Sans faire de calcul, expliquer à l'aide des graphiques dans quel milieu la propagation des ultrasons est la plus rapide.

L'émission a lieu à $t = 0$ et la distance ℓ entre émetteur et récepteur est la même dans les deux expériences.

Le signal commence à être reçu vers $140\ \mu s$ dans l'eau (figure 7) et vers $580\ \mu s$ dans l'air (figure 8).

Pour une même distance, la durée du trajet est plus courte dans l'eau.

Les ultrasons se propagent plus vite dans l'eau que dans l'air.

PIÈGE
Repérer le maximum du signal au lieu de son début. Le retard de l'onde se lit à l'instant où le récepteur commence à osciller.

2.2 Calculer la vitesse de propagation des ultrasons dans l'eau.

Données utiles $\ell = 20{,}0\ \text{cm} = 0{,}200\ \text{m}$; début de la réception dans l'eau : $\Delta t \approx 140\ \mu\text{s} = 1{,}4 \times 10^{-4}\ \text{s}$ (figure 7)

L'onde parcourt la distance ℓ pendant la durée Δt :

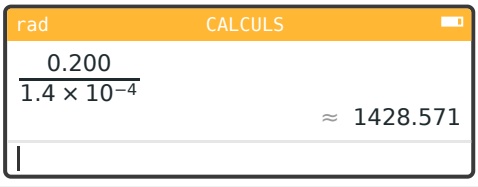
$$v_{\text{eau}} = \frac{\ell}{\Delta t} = \frac{0{,}200}{1{,}4 \times 10^{-4}}$$

$v_{\text{eau}} = 1{,}4 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Laisser ℓ en centimètres ou Δt en microsecondes. Ici le trajet est un aller simple : pas de facteur 2.

COMPRENDRE
La lecture graphique de Δt n'a que deux chiffres significatifs : le résultat aussi. Il est cohérent avec la valeur $1{,}43 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ donnée plus loin.

À LA CALCULATRICE



3.1.1 À l'aide de l'oscillogramme de la figure 10, déterminer la date t_R.

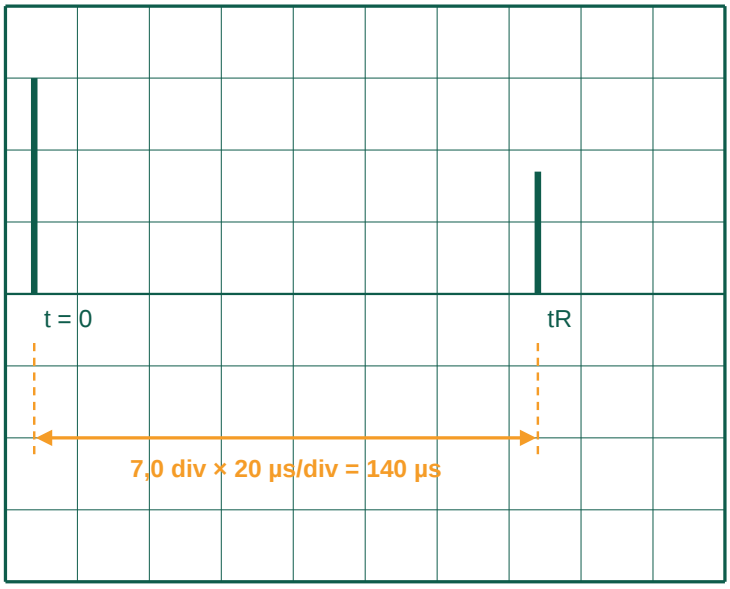
Données utiles balayage : $20\ \mu\text{s} \cdot \text{div}^{-1}$

Entre le pic d'émission ($t = 0$) et le pic de l'écho, on compte 7,0 divisions.

$t_R = 7{,}0 \times 20 = 140\ \mu s$

$t_R = 1{,}4 \times 10^{-4}\ \text{s}$

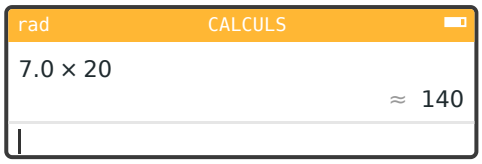
PIÈGE
Le pic d'émission n'est pas sur le bord gauche de l'écran : compter les divisions entre les deux pics. Une petite graduation vaut $0{,}2$ division, et non $0{,}1$.



Balayage : 20 µs par division

3.1.1 · Figure 10 du sujet : lecture de la date de l'écho de référence

À LA CALCULATRICE



3.1.2 Établir que $t_R = \dfrac{2D}{v}$, où D est la distance sonde-réflecteur et v la célérité des ultrasons dans l'eau.

Le signal va de la sonde S au réflecteur R, puis revient à la sonde : il parcourt la distance $2D$ dans l'eau, à la célérité v, pendant la durée t_R.

$v = \dfrac{2D}{t_R}$, d'où :

$$t_R = \frac{2D}{v}$$

MÉTHODE

Pour tout écho : durée = distance aller-retour divisée par la célérité. Si plusieurs milieux sont traversés, on additionne les durées de chaque tronçon.

3.2.1 Les ultrasons se propagent-ils plus vite dans l'eau ou dans le Plexiglas ? Justifier en comparant les figures 10 et 11.

Sur la figure 11, l'écho de référence arrive à $6{,}0$ divisions du pic d'émission, soit $t'_R = 120\ \mu s$, contre $t_R = 140\ \mu s$ sans la plaque : $t'_R < t_R$.

La distance parcourue, $2D$, est inchangée ; seule une épaisseur e d'eau a été remplacée par du Plexiglas. Le trajet est plus court en durée, donc cette épaisseur est traversée plus rapidement.

Les ultrasons se propagent plus vite dans le Plexiglas que dans l'eau.

3.2.2 a. Montrer que la longueur du trajet total aller-retour du signal dans l'eau uniquement est $L = 2\,(D - e)$. b. En déduire l'expression de t'_R en fonction de D, e, v et v'.

a. À l'aller, entre S et R, le signal traverse la plaque d'épaisseur e : il parcourt donc $D - e$ dans l'eau. Il en va de même au retour.

a. $L = (D - e) + (D - e) = 2\,(D - e)$

b. Durées des trajets dans l'eau, puis dans le Plexiglas (deux fois) :

$$\frac{L}{v} = \frac{2\,(D - e)}{v} \quad \text{et} \quad \frac{2e}{v'}$$

b. $t'_R = \dfrac{2\,(D - e)}{v} + \dfrac{2e}{v'}$

COMPRENDRE
Vérification rapide : pour $e = 0$ (pas de plaque), on retrouve $t_R = \dfrac{2D}{v}$.

3.2.3 Donner l'expression de la date t_A de réception de l'écho dû à la réflexion partielle en A, en fonction de d et v.

Le signal parcourt l'aller-retour S–A, soit $2d$, dans l'eau.

$t_A = \dfrac{2d}{v}$

3.2.4 Donner l'expression de la date t_B de réception de l'écho dû à la réflexion partielle en B, en fonction de d, e, v et v'.

Le signal parcourt $2d$ dans l'eau, puis l'aller-retour A–B, soit $2e$, dans le Plexiglas.

$t_B = \dfrac{2d}{v} + \dfrac{2e}{v'}$

PIÈGE
Écrire $\dfrac{2\,(d + e)}{v}$: entre A et B, l'onde se propage à la célérité v', pas v.

3.3.1 En utilisant les relations 1 et 2, montrer que $e = \dfrac{v}{2}\,(t_R - t'_R + t_B - t_A)$.

On additionne membre à membre les relations 1 et 2 :

$$(t_R - t'_R) + (t_B - t_A) = \frac{2e}{v} - \frac{2e}{v'} + \frac{2e}{v'} = \frac{2e}{v}$$

$e = \dfrac{v}{2}\,(t_R - t'_R + t_B - t_A)$

COMPRENDRE
La somme élimine v' : on mesure l'épaisseur de la plaque sans connaître la célérité des ultrasons dans le matériau.

3.3.2 Calculer la valeur de l'épaisseur e de la plaque.

Données utiles $t_R = 1{,}4 \times 10^{-4}$ s (3.1.1) ; $t'_R = 1{,}2 \times 10^{-4}$ s ; $t_A = 6{,}2 \times 10^{-5}$ s ; $t_B = 7{,}2 \times 10^{-5}$ s ; $v = 1{,}43 \times 10^{3}$ m · s^{-1}

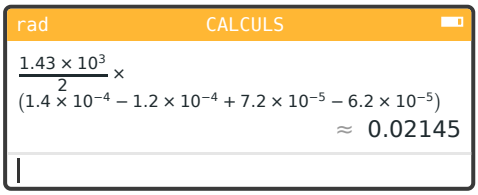
$$e = \frac{1{,}43 \times 10^{3}}{2} \times \left(1{,}4 \times 10^{-4} - 1{,}2 \times 10^{-4} + 7{,}2 \times 10^{-5} - 6{,}2 \times 10^{-5}\right)$$

$e = 2{,}145 \times 10^{-2}$ m, à arrondir à deux chiffres significatifs comme les dates.

$e = 2{,}1 \times 10^{-2}$ m $= 2{,}1$ cm

PIÈGE
Les dates n'ont pas toutes la même puissance de dix (10^{-4} et 10^{-5}) : la parenthèse vaut $3{,}0 \times 10^{-5}$ s.

À LA CALCULATRICE



3.3.3 À partir de la relation 2, exprimer v' en fonction de e, t_A et t_B, puis calculer sa valeur. Ce résultat est-il en accord avec la question 3.2.1 ?

Données utiles $e = 2{,}145 \times 10^{-2}$ m (3.3.2, valeur non arrondie) ; $t_A = 6{,}2 \times 10^{-5}$ s ; $t_B = 7{,}2 \times 10^{-5}$ s

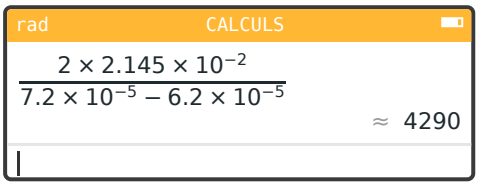
Relation 2 : $t_B - t_A = \dfrac{2e}{v'}$, donc $v' = \dfrac{2e}{t_B - t_A}$.

$$v' = \frac{2 \times 2{,}145 \times 10^{-2}}{7{,}2 \times 10^{-5} - 6{,}2 \times 10^{-5}}$$

$v' = 4{,}3 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $v' > v = 1{,}43 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$: en accord avec 3.2.1, les ultrasons vont plus vite dans le Plexiglas.

MÉTHODE
Dans un calcul enchaîné, reprendre la valeur non arrondie du résultat précédent. Avec $e = 2{,}1 \times 10^{-2}$ m, on trouverait $4{,}2 \times 10^{3}\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



3.4.1 Comment varie t'_R au fur et à mesure que la sonde descend ? Justifier.

D'après 3.2.2.b. : $t'_R = \dfrac{2D}{v} - 2e\left(\dfrac{1}{v} - \dfrac{1}{v'}\right)$, avec $\dfrac{1}{v} - \dfrac{1}{v'} > 0$ car $v' > v$.

Quand la sonde descend, l'épaisseur e de Plexiglas traversée augmente (figure 12), alors que D, v et v' ne changent pas : une part plus grande du trajet se fait dans le milieu le plus rapide.

t'_R diminue, par paliers, à chaque nouvelle marche de l'objet.

3.4.2 Comment varie l'écart $t_B - t_A$ entre l'écho réfléchi à l'entrée de l'objet et l'écho réfléchi à sa sortie lorsque la sonde descend ? Justifier.

D'après la relation 2 : $t_B - t_A = \dfrac{2e}{v'}$, avec v' constante. L'écart est proportionnel à l'épaisseur e, qui augmente quand la sonde descend.

L'écart $t_B - t_A$ augmente, par paliers.

COMPRENDRE
La face d'entrée reste à la distance d : t_A ne change pas, seul t_B recule. En mesurant cet écart pour chaque position de la sonde, on reconstitue le profil de l'objet : c'est le principe de l'image échographique.

Spécialité : Attention à vos oreilles

Bac S 2009 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 Dans la flûte à bec, quel est le rôle du biseau ?

Le biseau joue le rôle d'**excitateur** : le filet d'air soufflé vient se briser sur son arête et se met à osciller de part et d'autre.

Le biseau crée la vibration qui met en mouvement la colonne d'air du tuyau ; le tuyau, lui, sert de résonateur.

COMPRENDRE
Tout instrument associe un excitateur, qui produit la vibration, et un résonateur, qui sélectionne certaines fréquences et les rayonne. Cette description des instruments ne figure plus au programme actuel de spécialité.

1.2 Comment nomme-t-on les états vibratoires correspondant aux différentes excitations de la colonne d'air, sa longueur étant fixée ?

Ce sont les **modes propres de vibration** de la colonne d'air : le mode fondamental et les modes harmoniques.

COMPRENDRE
Pour une longueur donnée, la colonne d'air ne peut vibrer qu'à certaines fréquences, toutes multiples de la plus basse : elles sont quantifiées.

1.3 Quelle grandeur physique caractéristique de l'onde sonore est déterminée par la longueur de la colonne d'air excitée ?

La longueur de la colonne d'air fixe la **fréquence** du mode fondamental, donc la fréquence du son émis (sa hauteur).

COMPRENDRE
Plus la colonne d'air est courte, plus la fréquence est élevée : en débouchant des trous, le musicien raccourcit la colonne et joue une note plus aiguë.

2.1 Expliquer la démarche suivie pour obtenir, à partir de la figure 8, la fréquence $f = 8{,}8 \times 10^2$ Hz avec la plus grande précision possible.

Données utiles figure 8 : 8 périodes entre deux minimums lus à $t_1 = 1{,}0$ ms et $t_2 = 10{,}1$ ms

On mesure la durée Δt du plus grand nombre n de périodes visibles sur l'enregistrement, puis on en déduit la période $T = \dfrac{\Delta t}{n}$ et la fréquence :

$$f = \frac{1}{T} = \frac{n}{\Delta t}$$

Entre le minimum situé à 1,0 ms et celui situé à 10,1 ms, on compte $n = 8$ périodes : $\Delta t = 10{,}1 - 1{,}0 = 9{,}1$ ms.

$$f = \frac{8}{9{,}1 \times 10^{-3}} = 8{,}8 \times 10^2 \text{ Hz}$$

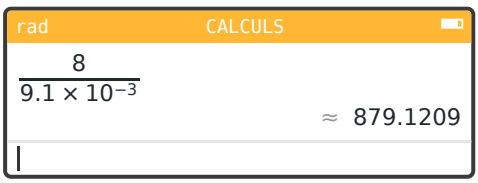
$f = \dfrac{n}{\Delta t} = 8{,}8 \times 10^2$ Hz : on retrouve la valeur annoncée.

PIÈGE
Oublier de convertir les millisecondes en secondes, ou compter les minimums (9) au lieu des intervalles entre eux (8).

COMPRENDRE
La durée lue, $9{,}1$ ms, a deux chiffres significatifs : la fréquence en garde deux. Le nombre de périodes, lui, est un entier exact.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes divise par n l'erreur de lecture sur le graphique. Repérer des points nets du signal (minimums, maximums) plutôt que les passages par zéro.

À LA CALCULATRICE



2.2 Cette fréquence étant celle du mode fondamental, quelles sont les fréquences des harmoniques de rangs 2 et 3 ?

Données utiles $f = 8{,}8 \times 10^2$ Hz

La fréquence de l'harmonique de rang n est un multiple entier de celle du fondamental : $f_n = n\,f$.

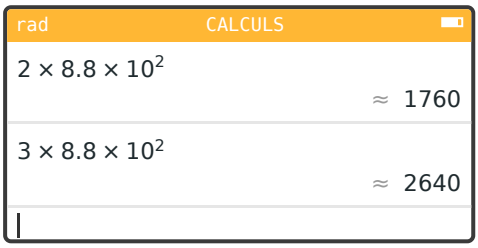
$f_2 = 2 \times 8{,}8 \times 10^2 = 1{,}8 \times 10^3$ Hz

$f_3 = 3 \times 8{,}8 \times 10^2 = 2{,}6 \times 10^3$ Hz

$f_2 = 1{,}8 \times 10^3$ Hz et $f_3 = 2{,}6 \times 10^3$ Hz

COMPRENDRE
Ces valeurs se retrouvent sur le spectre de la figure 10 : trois pics, vers $0{,}9$; $1{,}8$ et $2{,}6$ kHz. Harmoniques, hauteur et timbre ne sont plus au programme actuel de spécialité.

À LA CALCULATRICE



3.1 L'atténuation ne doit pas dépasser 25 dBA pour que le musicien entende suffisamment. Indiquer pour chaque bouchon si ce critère est respecté.

Données utiles figure 9 : courbes d'atténuation des deux bouchons entre 125 Hz et 8000 Hz

Bouchon en mousse : l'atténuation part de 25 dBA à 125 Hz puis augmente jusqu'à environ 42 dBA à 8000 Hz. Elle dépasse 25 dBA sur presque tout le domaine de fréquences.

Bouchon moulé : l'atténuation reste comprise entre 20 dBA et 25 dBA environ, quelle que soit la fréquence.

Le critère est respecté par le bouchon moulé, pas par le bouchon en mousse.

PIÈGE
Répondre sans valeurs lues sur la figure. Une réponse justifiée cite les atténuations extrêmes de chaque courbe et les compare au seuil de 25 dBA.

3.2 Indiquer si un bouchon en mousse atténue davantage les sons aigus ou les sons graves, puis commenter la phrase : « Ils restituent un son sourd ».

Données utiles figure 9, courbe du bouchon en mousse : environ 25 dBA à 125 Hz, 32 dBA à 500 Hz, 42 dBA à 8000 Hz

L'atténuation du bouchon en mousse augmente avec la fréquence : environ 25 dBA à 125 Hz contre 42 dBA à 8000 Hz. Les sons de fréquence élevée, c'est-à-dire les sons aigus, sont donc les plus atténués.

Le son qui traverse le bouchon est appauvri en aigus alors que les graves passent mieux : il paraît étouffé, ce que traduit l'adjectif « sourd ».

Le bouchon en mousse atténue davantage les sons aigus ; le son restitué, dominé par les graves, est sourd.

COMPRENDRE
Un son aigu a une fréquence élevée, un son grave une fréquence basse. L'axe des fréquences de la figure 9 n'est pas linéaire : la fréquence double à chaque graduation.

4.1 En justifiant, indiquer si le port du bouchon en mousse modifie la hauteur du son, puis son timbre. Même question pour le bouchon moulé en silicone.

Données utiles figures 10, 11 et 12 : fondamental à 0,88 kHz d'amplitude relative 1 ; harmoniques de rangs 2 et 3 d'amplitudes environ 0,30 et 0,08 (flûte), 0,04 et 0,01 (mousse), 0,28 et 0,07 (moulé)

La hauteur d'un son est liée à la fréquence de son fondamental ; son timbre dépend du nombre d'harmoniques et de leurs amplitudes relatives.

Bouchon en mousse (figures 10 et 11) : le fondamental reste à 0,88 kHz, la hauteur n'est pas modifiée. En revanche, les harmoniques de rangs 2 et 3 ont presque disparu (amplitudes relatives 0,04 et 0,01 au lieu de 0,30 et 0,08) : le timbre est modifié.

Bouchon moulé (figures 10 et 12) : le fondamental est toujours à 0,88 kHz et les harmoniques gardent pratiquement les mêmes amplitudes relatives (0,28 et 0,07). Les deux spectres sont quasiment identiques : ni la hauteur ni le timbre ne sont modifiés.

Mousse : hauteur conservée, timbre modifié. Moulé : hauteur et timbre conservés.

PIÈGE
Déduire de ces spectres que le bouchon n'atténue pas le fondamental. Les amplitudes sont relatives : chaque spectre est rapporté à son propre pic le plus haut, on ne peut comparer que les proportions entre pics.

COMPRENDRE
Ce résultat s'accorde avec la figure 9 : la mousse atténue plus fortement les harmoniques, de fréquences plus élevées que le fondamental ; le bouchon moulé atténue toutes les fréquences à peu près de la même façon.

4.2 Commenter la phrase du texte introductif : « Ils (les bouchons moulés) conservent la qualité du son ».

Un son musical est caractérisé, en dehors de son niveau sonore, par sa hauteur et par son timbre. D'après la question 4.1, le bouchon moulé ne change ni l'une ni l'autre : le son est seulement moins fort.

La phrase est justifiée : le son de la flûte est atténué mais garde sa hauteur et son timbre, il n'est pas déformé.

5.1 Calculer le niveau sonore auquel correspond l'intensité sonore I reçue par le batteur.

Données utiles $I = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$; $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}\ \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$

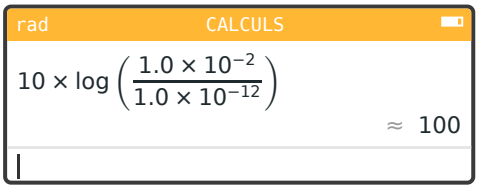
$$L = 10\ \log \frac{I}{I_0} = 10\ \log \frac{1{,}0 \times 10^{-2}}{1{,}0 \times 10^{-12}} = 10\ \log\left(1{,}0 \times 10^{10}\right)$$

$L = 1{,}0 \times 10^{2}$ dBA, soit 100 dBA

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

COMPRENDRE
Ce niveau dépasse de 15 dBA le seuil de nocivité de 85 dBA : sans protection, l'audition du batteur est en danger.

À LA CALCULATRICE



5.2 Le batteur porte des bouchons moulés en silicone. À l'aide de la figure 9, préciser si ses facultés auditives peuvent être altérées au cours du concert.

Données utiles $L = 100$ dBA (5.1) ; atténuation du bouchon moulé : entre 20 et 25 dBA (figure 9) ; seuil de nocivité : 85 dBA

Le niveau sonore perçu est le niveau reçu diminué de l'atténuation A du bouchon : $L' = L - A$.

Pour le bouchon moulé, A est comprise entre 20 dBA et 25 dBA selon la fréquence, donc :

$L'_{\text{max}} = 100 - 20 = 80$ dBA et $L'_{\text{min}} = 100 - 25 = 75$ dBA

Le batteur perçoit entre 75 et 80 dBA, niveau inférieur à 85 dBA : ses facultés auditives ne sont pas menacées.

PIÈGE

Diviser l'intensité ou le niveau par l'atténuation. Une atténuation en dBA se soustrait au niveau sonore ; elle ne s'applique pas à l'intensité en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$.

À LA CALCULATRICE

