Corrigé complet — Bac S 2008 Nouvelle-Calédonie (ancien programme)

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

Ex 1	**Chimie à usage domestique** Titrage acido-basique avec indicateur coloré · Constante d'équilibre et constante d'acidité · Diagramme de prédominance · Titrage pH-métrique d'un mélange de deux bases · Chauffage à reflux et saponification · Caractère hydrophile ou hydrophobe	6,5 pts	1 h 18	17 questions	p. 2
Ex 2	**Un jour d'orage** Décharge d'un condensateur · Circuit RC et constante de temps · Énergie d'un condensateur · Onde mécanique progressive · Longueur d'onde et célérité	4 pts	52 min	12 questions	p. 9
Ex 3	**A propos des sous-marins** Poussée d'Archimède · Deuxième loi de Newton · Chute verticale avec frottement · Vitesse limite · Fission nucléaire · Équivalence masse-énergie	5,5 pts	1 h 05	13 questions	p. 13
Ex 4	**Spécialité : Voyage d'une note** Modulation d'amplitude · Longueur d'onde · Fréquence fondamentale et harmoniques · Hauteur et timbre · Circuit LC d'accord · Bande passante	4 pts	52 min	11 questions	p. 19

Comment s'en servir. Fais d'abord le sujet en temps limité, puis corrige-toi exercice par exercice. À gauche de chaque question, sur les carreaux : ce qu'il faut écrire sur ta copie. À droite : les pièges, ce qu'il faut comprendre et les méthodes.

Chimie à usage domestique

Bac S 2008 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 1 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

1.1.1 Écrire l'équation de la réaction associée à la transformation chimique qui se produit lors du titrage.

Les ions hydroxyde de la solution S (base du couple H_2O/HO^-) réagissent avec les ions oxonium versés (acide du couple H_3O^+/H_2O).

$$H_3O^+(aq) + HO^-(aq) \longrightarrow 2\,H_2O(l)$$

COMPRENDRE
Les ions Na^+ et Cl^- sont spectateurs : ils ne figurent pas dans l'équation.

1.1.2 Donner l'expression littérale de la constante d'équilibre K_1 associée à cette réaction, puis calculer sa valeur.

Données utiles $K_e = 1{,}0 \times 10^{-14}$ à 25 °C

L'eau est le solvant : elle n'apparaît pas dans l'expression.

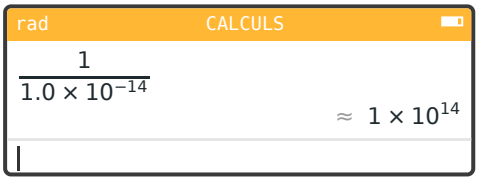
$$K_1 = \frac{1}{[H_3O^+]_{éq} \times [HO^-]_{éq}} = \frac{1}{K_e}$$

$$K_1 = \frac{1}{1{,}0 \times 10^{-14}}$$

$$K_1 = 1{,}0 \times 10^{14}$$

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme K_e. La valeur est très supérieure à 10^4 : la transformation est quasi totale, condition nécessaire pour qu'une réaction serve de support à un titrage.

À LA CALCULATRICE



1.1.3 Définir l'équivalence, établir l'expression de la concentration c de la solution diluée S, puis calculer c.

Données utiles $V = 50{,}0$ mL ; $c_a = 0{,}20$ mol · L^{-1} ; $V_E = 15{,}0$ mL

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

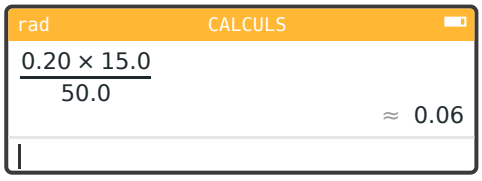
Les nombres stœchiométriques valent 1 : $n(HO^-)_{\text{initial}} = n(H_3O^+)_{\text{versé}}$, soit $c\,V = c_a\,V_E$.

$$c = \frac{c_a\,V_E}{V} = \frac{0{,}20 \times 15{,}0}{50{,}0}$$

$$c = 6{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

PIÈGE
Diviser par le volume total $V + V_E$: la quantité d'ions hydroxyde titrée est celle des $50{,}0$ mL prélevés. Les volumes peuvent rester en mL car seul leur rapport intervient.

À LA CALCULATRICE



1.1.4 Comment repère-t-on expérimentalement le passage à l'équivalence ?

Données utiles B.B.T. : jaune en milieu acide, bleu en milieu basique, vert pour $6 \leq \text{pH} \leq 7{,}6$

La solution S est basique : le B.B.T. lui donne au départ une teinte bleue. À l'équivalence, le pH chute brutalement et traverse la zone de virage de l'indicateur.

L'équivalence est repérée par le changement de couleur de la solution, qui passe du **bleu au vert** (puis au jaune dès la goutte suivante).

MÉTHODE
Verser l'acide goutte à goutte à l'approche du virage, en agitant, et relever le volume à la première goutte qui fait disparaître la teinte bleue de façon persistante.

1.1.5 À partir des indications de l'étiquette et des données, calculer la concentration c_c de la solution commerciale S_c. Comparer avec le résultat du dosage.

Données utiles 20 % en masse d'hydroxyde de sodium ; $M = 40{,}0\ \text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $\rho = 1{,}20\ \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$; dilution au centième ; c (1.1.3)

Un volume V_c de solution commerciale a pour masse $\rho\, V_c$ et contient une masse $m = 0{,}20\, \rho\, V_c$ d'hydroxyde de sodium, soit $n = \dfrac{m}{M}$.

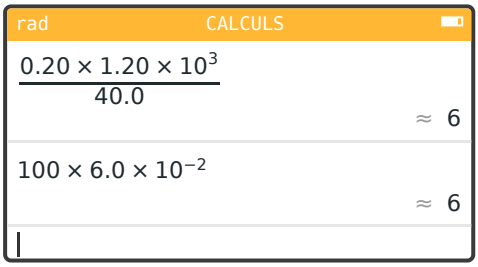
$$c_c = \frac{n}{V_c} = \frac{0{,}20\,\rho}{M} = \frac{0{,}20 \times 1{,}20 \times 10^3}{40{,}0} = 6{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

D'après le dosage, la solution S étant 100 fois moins concentrée que S_c : $c_c = 100\, c = 100 \times 6{,}0 \times 10^{-2} = 6{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$.

$c_c = 6{,}0\ \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$: le dosage confirme l'indication de l'étiquette.

PIÈGE
Laisser ρ en $\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$: on obtiendrait une concentration en $\text{mol} \cdot \text{mL}^{-1}$, mille fois trop petite. Il faut écrire $\rho = 1{,}20 \times 10^3\ \text{g} \cdot \text{L}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Écrire l'équation de la réaction entre l'ammoniac NH_3 et les ions oxonium H_3O^+ apportés par l'acide chlorhydrique.

L'ammoniac, base du couple $\text{NH}_4^+/\text{NH}_3$, capte l'ion H^+ cédé par l'ion oxonium.

$$\text{NH}_3\,(\text{aq}) + \text{H}_3\text{O}^+\,(\text{aq}) \longrightarrow \text{NH}_4^+\,(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O}\,(\text{l})$$

1.2.2 Donner l'expression littérale de la constante d'équilibre K_2 associée à l'équation précédente, puis calculer sa valeur.

Données utiles $K_A = 6{,}3 \times 10^{-10}$

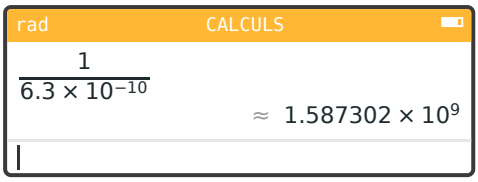
$$K_2 = \frac{[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}}}{[\text{NH}_3]_{\text{éq}} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}$$

Or $K_A = \dfrac{[\text{NH}_3]_{\text{éq}} \times [\text{H}_3\text{O}^+]_{\text{éq}}}{[\text{NH}_4^+]_{\text{éq}}}$, donc $K_2 = \dfrac{1}{K_A} = \dfrac{1}{6{,}3 \times 10^{-10}}$.

$K_2 = 1{,}6 \times 10^9$

COMPRENDRE
La réaction écrite est l'inverse de celle qui définit K_A : sa constante est l'inverse de K_A. Elle est quasi totale elle aussi, mais K_2 est 10^5 fois plus petite que K_1.

À LA CALCULATRICE



1.2.3 Tracer le diagramme de prédominance du couple $NH_4^+(aq)/NH_3(aq)$.

Données utiles $pK_A = 9{,}2$

Pour $pH < pK_A$, la forme acide NH_4^+ prédomine ; pour $pH > pK_A$, c'est la forme basique NH_3. À $pH = pK_A$, les deux concentrations sont égales.

Frontière à $pH = 9{,}2$: NH_4^+ prédomine en dessous, NH_3 au-dessus.

MÉTHODE
Sur un axe de pH, l'acide du couple se place toujours du côté des pH faibles et la base du côté des pH élevés ; la frontière est le pK_A.



1.2.3 · Diagramme de prédominance du couple ion ammonium / ammoniac

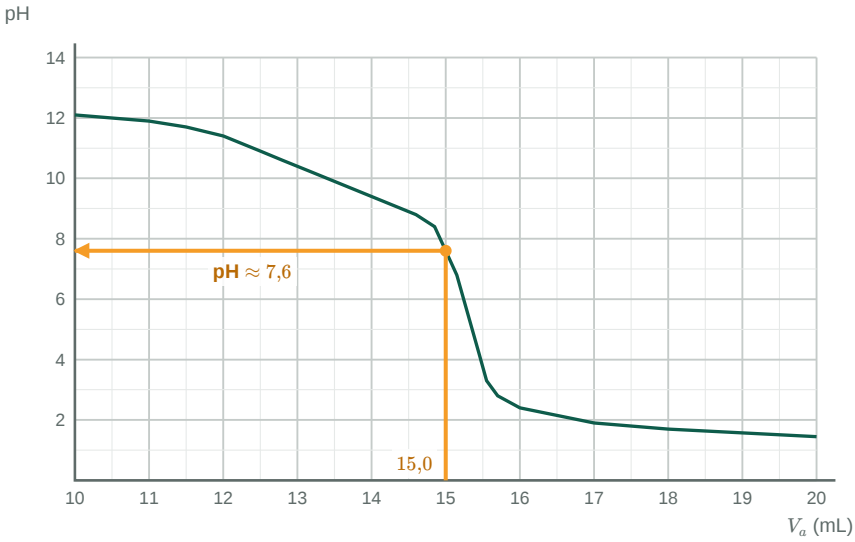
1.3.1 Justifier, à l'aide de la figure 1, que l'indicateur coloré de l'expérience précédente a changé de couleur pour un volume $V_a = 15{,}0$ mL.

Données utiles zone de virage du B.B.T. : $6 \leq pH \leq 7{,}6$

Pour $V_a = 15{,}0$ mL, la courbe $pH = f(V_a)$ est dans sa partie presque verticale et on lit $pH \approx 7{,}6$: c'est la limite supérieure de la zone de virage du B.B.T.

À $V_a = 15{,}0$ mL, le pH entre dans la zone de virage ($pH \approx 7{,}6$) : la solution passe du bleu au vert.

COMPRENDRE
La courbe est si raide à cet endroit que la lecture du pH est peu précise ; ce qui compte est que le pH traverse tout l'intervalle 6 - 7,6 en quelques gouttes autour de 15 mL.



1.3.1 · Figure 1 (agrandie entre 10 et 20 mL) : lecture du pH pour $V_a = 15{,}0$ mL

1.3.2 Quelle est la valeur du pH au premier point d'équivalence E_1 ? En déduire, à l'aide du diagramme de la question 1.2.3, que l'ammoniac est toujours présent dans le mélange à la première équivalence.

Données utiles $\mathrm{p}K_A = 9{,}2$

On lit l'ordonnée du point E_1 sur la courbe $\mathrm{pH} = f(V_a)$: $\mathrm{pH}_{E1} \approx 10{,}6$.

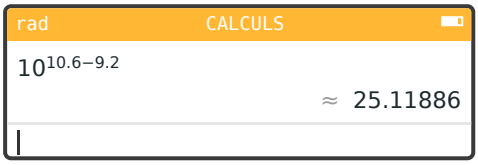
$\mathrm{pH}_{E1} > \mathrm{p}K_A$: le mélange se trouve dans le domaine de prédominance de $\mathrm{NH_3}$.

$\mathrm{pH}_{E1} \approx 10{,}6 > 9{,}2$: l'ammoniac prédomine sur l'ion ammonium, il est donc toujours présent en E_1.

COMPRENDRE

Plus précisément, $\dfrac{[\mathrm{NH_3}]}{[\mathrm{NH_4^+}]} = 10^{\mathrm{pH}-\mathrm{p}K_A} \approx 25$: seule une petite fraction de l'ammoniac (environ 4 %) a déjà réagi en E_1.

À LA CALCULATRICE



1.3.3 Déterminer graphiquement le volume équivalent V_{E1} et en déduire la concentration en ions hydroxyde dans la solution diluée.

Données utiles $c_a = 0{,}20\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$; $V = 50{,}0\ \mathrm{mL}$

V_{E1} est l'abscisse du premier extremum de la courbe dérivée $\dfrac{\mathrm{dpH}}{\mathrm{d}V_a} = g(V_a)$: $V_{E1} = 12{,}8$ mL.

À la première équivalence, seuls les ions hydroxyde ont réagi : $n(\mathrm{HO^-})_{\text{initial}} = n(\mathrm{H_3O^+})_{\text{versé}}$, soit $[\mathrm{HO^-}]\,V = c_a\,V_{E1}$.

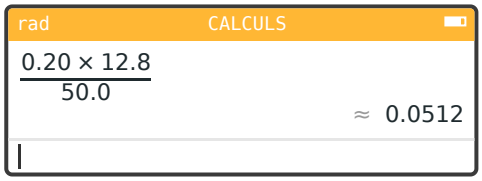
$$[\mathrm{HO^-}] = \frac{c_a\,V_{E1}}{V} = \frac{0{,}20 \times 12{,}8}{50{,}0}$$

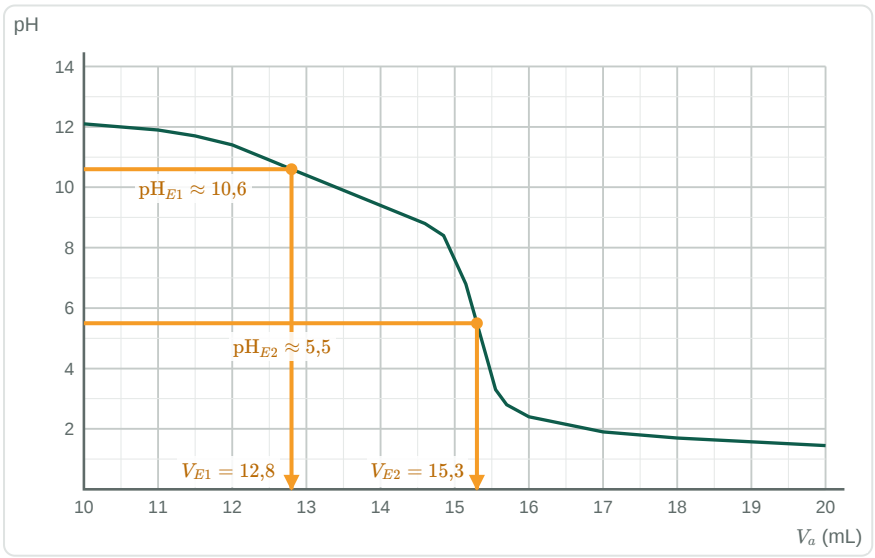
$V_{E1} = 12{,}8$ mL et $[\mathrm{HO^-}] = 5{,}1 \times 10^{-2}\ \mathrm{mol \cdot L^{-1}}$

MÉTHODE

Un saut de pH correspond à un extremum de la dérivée. La dérivée est ici négative car le pH diminue : on repère ses deux minimums (ses deux « pics » vers le bas).

À LA CALCULATRICE





1.3.3 · Figure 1 (agrandie entre 10 et 20 mL) : les deux points d'équivalence

1.3.4 En raisonnant comme à la question 1.3.2, montrer que tout l'ammoniac a réagi à la seconde équivalence E_2.

Données utiles $pK_A = 9{,}2$

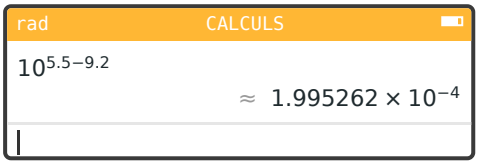
On lit l'ordonnée du point E_2 : $\text{pH}_{E2} \approx 5{,}5$.

$\text{pH}_{E2} < pK_A$, avec un écart de près de 4 unités : le mélange est très loin dans le domaine de prédominance de NH_4^+, la concentration en NH_3 est négligeable.

$\text{pH}_{E2} \approx 5{,}5 < 9{,}2$: l'ammoniac a été entièrement transformé en ion ammonium.

COMPRENDRE
$\frac{[NH_3]}{[NH_4^+]} = 10^{\text{pH}-pK_A} \approx 2 \times 10^{-4}$: il reste moins d'une molécule d'ammoniac pour mille ions ammonium.

À LA CALCULATRICE



1.3.5 En déduire le volume V'_a d'acide chlorhydrique qui a servi à doser l'ammoniac.

Données utiles $V_{E1} = 12{,}8$ mL (1.3.3)

Le second extremum de la courbe dérivée, le plus marqué, donne $V_{E2} = 15{,}3$ mL.

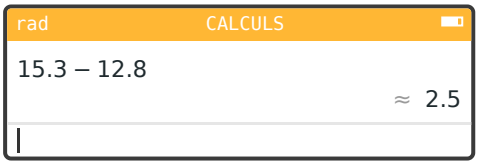
L'acide versé jusqu'à V_{E1} a réagi avec les ions hydroxyde ; celui versé entre V_{E1} et V_{E2} a réagi avec l'ammoniac.

$V'_a = V_{E2} - V_{E1} = 15{,}3 - 12{,}8$

$V'_a = 2{,}5$ mL

PIÈGE
Prendre V_{E2} comme volume ayant dosé l'ammoniac : la burette indique le volume versé depuis le début, dont 12,8 mL ont été consommés par les ions hydroxyde.

À LA CALCULATRICE



1.3.6 Calculer la concentration en ammoniac dans la solution diluée de DesTop®.

Données utiles $c_a = 0{,}20\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$; $V = 50{,}0$ mL ; $V'_a = 2{,}5$ mL (1.3.5)

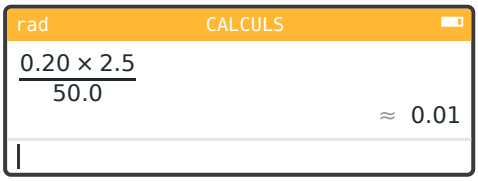
D'après l'équation de la question 1.2.1, à la seconde équivalence : $n(NH_3)_{\text{initial}} = n(H_3O^+)_{\text{versé entre } E_1 \text{ et } E_2}$, soit $[NH_3]\,V = c_a\,V'_a$.

$$[NH_3] = \frac{c_a\,V'_a}{V} = \frac{0{,}20 \times 2{,}5}{50{,}0}$$

$[NH_3] = 1{,}0 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$

COMPRENDRE
La somme $5{,}1 \times 10^{-2} + 1{,}0 \times 10^{-2} = 6{,}1 \times 10^{-2}\ \text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$ redonne la valeur de la question 1.1.3 : le B.B.T. vire près de E_2, le premier titrage dosait donc les deux bases ensemble.

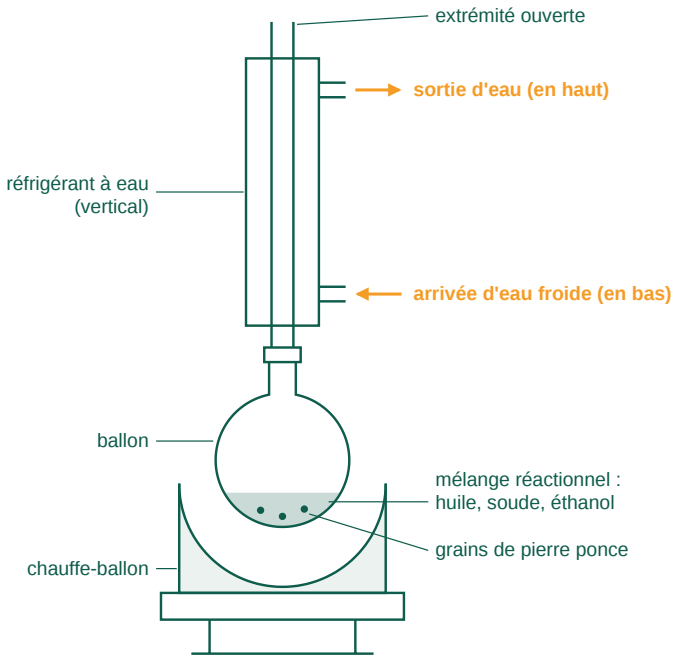
À LA CALCULATRICE



2.1.1 Faire un schéma annoté du montage utilisé pour fabriquer le savon.

Le ballon, qui contient le mélange réactionnel et la pierre ponce, est placé dans un chauffe-ballon. Il est surmonté d'un réfrigérant à eau vertical, ouvert à son sommet ; l'eau froide entre par le bas du réfrigérant et sort par le haut.

Il s'agit d'un montage de **chauffage à reflux**.



2.1.1 · Montage de chauffage à reflux ; circulation de l'eau en orange

PIÈGE
Boucher le haut du réfrigérant (surpression dangereuse) ou faire entrer l'eau par le haut (le manchon se remplit mal).

COMPRENDRE
Chauffer accélère la transformation. Les vapeurs se condensent dans le réfrigérant et retombent dans le ballon : aucune perte de matière. La pierre ponce régularise l'ébullition.

2.1.2 Écrire l'équation chimique de la réaction de synthèse du savon.

Chacun des trois groupes ester de l'oléine réagit avec un ion hydroxyde : il se forme du glycérol et trois ions carboxylate (ions oléate).

$$C_3H_5(O{-}CO{-}C_{17}H_{33})_3 + 3\,(Na^+ + HO^-) \longrightarrow$$
$$CH_2OH{-}CHOH{-}CH_2OH + 3\,(C_{17}H_{33}{-}COO^- + Na^+)$$

oléine + 3 (ions sodium + ions hydroxyde) $\longrightarrow$ glycérol + 3 (ions oléate + ions sodium) ; le savon est l'oléate de sodium $C_{17}H_{33}COONa$.

PIÈGE
Oublier le coefficient 3 devant les ions hydroxyde et devant le carboxylate, ou écrire un acide carboxylique : en milieu basique, on obtient l'ion carboxylate.

COMPRENDRE
Cette réaction, la saponification, est lente mais totale. Le savon est très peu soluble dans l'eau salée : il précipite lorsqu'on y verse le mélange (relargage).

2.2.1 Donner la définition des mots hydrophile et hydrophobe. Puis (2.2.2.a) légender le schéma de l'ion carboxylate et (2.2.2.b) choisir, en justifiant, le schéma de la figure 2 qui montre la disposition de ces ions à la surface d'une goutte d'huile dans l'eau.

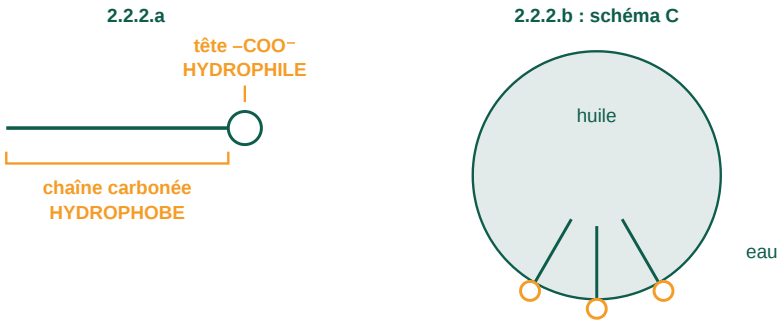
Hydrophile : qui a de l'affinité pour l'eau ; une espèce ou une partie de molécule hydrophile se lie facilement aux molécules d'eau.
Hydrophobe : qui n'a pas d'affinité pour l'eau et ne s'y dissout pas ; une partie hydrophobe a en général de l'affinité pour les corps gras.

2.2.2.a La tête est le groupe carboxylate $-COO^-$, chargé : c'est la partie hydrophile. La chaîne est la longue chaîne carbonée $C_{17}H_{33}{}^-$: c'est la partie hydrophobe.

2.2.2.b La chaîne hydrophobe pénètre dans l'huile, tandis que la tête hydrophile reste dans l'eau, à la surface de la goutte. Seul le schéma C place les chaînes dans l'huile et les têtes dans l'eau.

Tête hydrophile, chaîne hydrophobe ; le schéma correct est le **schéma C**.

COMPRENDRE
Schéma A : têtes dans l'huile. Schéma B : chaînes dans l'eau. Schéma D : les têtes sont dessinées à l'intérieur de la goutte, donc dans l'huile.



2.2.1 · Ion carboxylate légendé, et disposition autour d'une goutte d'huile : chaînes dans l'huile, têtes dans l'eau

Un jour d'orage

Bac S 2008 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 2 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1 À partir du schéma électrique équivalent, montrer que la tension $u_C(t)$ vérifie pendant la décharge l'équation $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \dfrac{1}{\tau}u_C = 0$ (1), avec $\tau = rC$.

Loi des mailles, interrupteur fermé (les flèches u_C et u_r sont de sens opposés dans la maille) : $u_C + u_r = 0$.

Loi d'Ohm pour le conducteur ohmique, fléché en convention récepteur : $u_r = r\,i$.

Le courant i arrive sur l'armature qui porte la charge $+q$: $i = \dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$, avec $q = C\,u_C$ et C constante, donc $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$.

On remplace : $u_C + rC\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = 0$. En divisant par rC :

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau}u_C = 0 \text{ avec } \tau = rC$$

PIÈGE

Écrire $i = -\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$ « parce que c'est une décharge ». Le signe dépend seulement de l'orientation : ici la flèche i pointe vers l'armature $+q$, donc $i = +\dfrac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t}$.

MÉTHODE

Équation d'un circuit RC en trois lignes : loi des mailles, loi d'Ohm, relation $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$. On substitue ensuite pour ne garder que u_C.

1.2 Vérifier par une analyse dimensionnelle que la constante de temps τ est homogène à un temps.

D'après $u_r = r\,i$: $[r] = \dfrac{[U]}{[I]}$.

D'après $i = C\,\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t}$: $[I] = [C]\,\dfrac{[U]}{[T]}$, donc $[C] = \dfrac{[I]\,[T]}{[U]}$.

$$[\tau] = [r]\,[C] = \frac{[U]}{[I]} \times \frac{[I]\,[T]}{[U]} = [T]$$

$[\tau] = [T]$: $\tau = rC$ est homogène à un temps.

COMPRENDRE

Avec les unités, cela revient à dire qu'un ohm multiplié par un farad donne une seconde : $\Omega \cdot \mathrm{F} = \dfrac{\mathrm{V}}{\mathrm{A}} \times \dfrac{\mathrm{A}\cdot\mathrm{s}}{\mathrm{V}} = \mathrm{s}$.

1.3 Vérifier que l'expression $u_C(t) = U\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ est solution de l'équation différentielle (1).

On dérive : $\dfrac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = -\dfrac{U}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$.

On reporte dans le premier membre de (1) :

$$\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} + \frac{1}{\tau}u_C = -\frac{U}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau} + \frac{U}{\tau}\,\mathrm{e}^{-t/\tau} = 0$$

L'égalité est vraie à toute date t : $u_C(t) = U\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ est solution de (1).

COMPRENDRE

Cette expression respecte aussi la condition initiale : $u_C(0) = U\,\mathrm{e}^{0} = U$, tension du condensateur chargé à la fermeture de K.

2.1 Retrouver l'expression $i(t) = -I\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ à partir de celle de $u_C(t)$ et exprimer I en fonction de U et r.

$$i = C\,\frac{\mathrm{d}u_C}{\mathrm{d}t} = C \times \left(-\frac{U}{\tau}\right)\mathrm{e}^{-t/\tau}.$$

Comme $\tau = rC$: $\dfrac{C}{\tau} = \dfrac{1}{r}$, d'où $i(t) = -\dfrac{U}{r}\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$.

$i(t) = -I\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ avec $I = \dfrac{U}{r}$, constante positive.

COMPRENDRE

Autre chemin, plus court : $u_r = -u_C$ donc $i = \dfrac{u_r}{r} = -\dfrac{u_C}{r}$. Le signe « $-$ » indique que le courant réel circule dans le sens opposé à la flèche i du schéma.

2.2 Choisir, parmi les courbes A et B de l'annexe, celle qui représente l'intensité du courant pendant la décharge. Justifier.

D'après 2.1, $i(t) = -I\,\mathrm{e}^{-t/\tau}$ avec $I > 0$: l'intensité est négative à toute date.

À $t = 0$: $i(0) = -I$. Quand t devient grand, $\mathrm{e}^{-t/\tau}$ tend vers 0 : i tend vers 0 par valeurs négatives.

C'est la **courbe A** : i part de -30 kA et augmente vers 0 en restant négative.

PIÈGE
Choisir la courbe B parce que le texte annonce « 30 kiloampères ». Le texte donne la valeur absolue ; le signe vient de l'orientation choisie sur le schéma.

2.3 Déterminer la valeur de τ par une méthode au choix, puis en déduire la durée approximative de la décharge parmi : a) 30 µs ; b) 150 µs ; c) 6 µs.

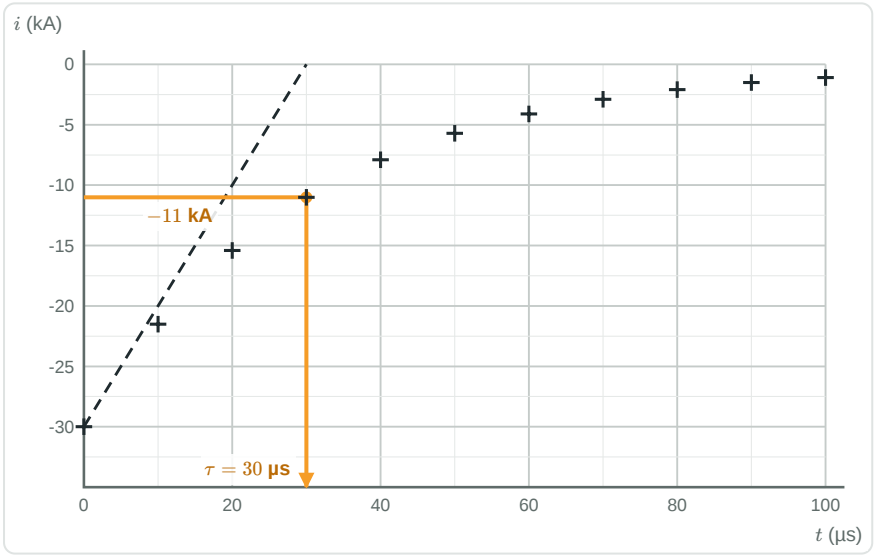
Données utiles courbe A : $i(0) = -I = -30$ kA ; décharge quasi terminée au bout de 5τ

À la date $t = \tau$: $i(\tau) = -I\,\mathrm{e}^{-1} = -0{,}37 \times I = -0{,}37 \times 30 = -11$ kA.

Sur la courbe A, le point d'ordonnée -11 kA a pour abscisse $t = 30$ µs, donc $\tau = 30$ µs.

Durée de la décharge : $\Delta t \approx 5\tau = 5 \times 30 = 150$ µs.

$\tau = 30$ µs ; la décharge dure environ 150 µs : réponse **b**.

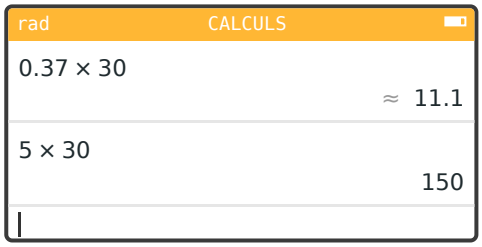


2.3 · Courbe A de l'annexe : lecture de τ à 37 % de la valeur initiale, et tangente à l'origine

PIÈGE
Répondre 30 µs (réponse a) : c'est τ, pas la durée de la décharge. À $t = \tau$, l'intensité vaut encore 37 % de sa valeur initiale.

MÉTHODE
Autre méthode : la tangente à l'origine (en tirets) coupe l'asymptote $i = 0$ à la date $t = \tau$. Avec des points isolés, la lecture à 37 % de la valeur initiale est plus sûre.

À LA CALCULATRICE



2.4 Donner l'expression littérale de la capacité C du condensateur géant en fonction de U et $E_{\text{él}}$, puis calculer sa valeur approchée en nanofarads.

Données utiles $E_{\text{él}} = 5{,}0 \times 10^{7}$ J ; U de l'ordre de 100 millions de volts, soit $U = 1{,}0 \times 10^{8}$ V

Avant la décharge, le condensateur chargé sous la tension U stocke l'énergie $E_{\text{él}} = \dfrac{1}{2} C U^2$, entièrement mise en jeu lors de la décharge.

Donc :

$$C = \frac{2\,E_{\text{él}}}{U^2} = \frac{2 \times 5{,}0 \times 10^{7}}{(1{,}0 \times 10^{8})^2} = 1{,}0 \times 10^{-8}\ \text{F}$$

$$C = \frac{2\,E_{\text{él}}}{U^2} \approx 10\ \text{nF}$$

PIÈGE
Oublier le carré sur U, ou mal convertir : $1\ \text{nF} = 10^{-9}$ F, donc $1{,}0 \times 10^{-8}$ F $= 10$ nF.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs au plus, comme $E_{\text{él}}$; U n'est qu'un ordre de grandeur. Contrôle : $r = \dfrac{U}{I} \approx 3{,}3\ \text{k}\Omega$ donne $rC \approx 33$ µs, cohérent avec le τ lu en 2.3.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{2 \times 5.0 \times 10^{7}}{(1.0 \times 10^{8})^{2}} \approx 1 \times 10^{-8}$$

3.1 Donner la définition d'une onde mécanique progressive.

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

PIÈGE
Oublier « milieu matériel » ou « sans transport de matière » : ce sont les deux éléments attendus dans la définition.

3.2 Le tonnerre est-il une onde longitudinale ou une onde transversale ? Justifier.

Le tonnerre est une onde sonore : une succession de compressions et de dilatations des couches d'air. Ces déformations se font dans la direction même de la propagation de l'onde.

Le tonnerre est une onde **longitudinale**.

COMPRENDRE
Une onde est transversale quand la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation, comme sur une corde secouée ou à la surface de l'eau.

3.3 Quelles sont les longueurs d'onde correspondant aux fréquences limites du domaine audible ?

Données utiles $f_1 = 20$ Hz ; $f_2 = 20$ kHz ; $v_{\text{son}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Longueur d'onde : $\lambda = \dfrac{v_{\text{son}}}{f}$, avec f en hertz.

$$\lambda_1 = \frac{340}{20} = 17 \text{ m} \qquad \lambda_2 = \frac{340}{20 \times 10^{3}} = 1{,}7 \times 10^{-2} \text{ m}$$

Les sons audibles ont une longueur d'onde comprise entre $1{,}7$ cm (20 kHz) et 17 m (20 Hz).

PIÈGE
Laisser 20 kHz en kilohertz : on trouverait 17 m dans les deux cas. Plus la fréquence est élevée, plus la longueur d'onde est courte.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{340}{20} \approx 17$$

$$\frac{340}{20 \times 10^{3}} \approx 0.017$$

4.1 Montrer que la durée entre l'éclair et le tonnerre s'écrit $\Delta t = d\left(\frac{1}{v_{\text{son}}} - \frac{1}{c}\right)$.

L'éclair et le tonnerre sont émis au même instant, à la distance d de l'observateur.

Durée du trajet de la lumière : $t_{\text{lum}} = \frac{d}{c}$. Durée du trajet du son : $t_{\text{son}} = \frac{d}{v_{\text{son}}}$.

Le son arrive après la lumière : $\Delta t = t_{\text{son}} - t_{\text{lum}} = \frac{d}{v_{\text{son}}} - \frac{d}{c}$.

$$\Delta t = d\left(\frac{1}{v_{\text{son}}} - \frac{1}{c}\right)$$

MÉTHODE
Deux signaux partis ensemble, à des célérités différentes : on écrit la durée de trajet de chacun, puis on soustrait la plus courte à la plus longue.

4.2 Justifier le calcul proposé dans l'encadré (compter les secondes puis diviser par trois) pour obtenir la distance de l'orage en kilomètres.

Données utiles $v_{\text{son}} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $c = 3\times10^{8}\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$

c est environ un million de fois plus grande que v_{son} : $\frac{1}{c}$ est négligeable devant $\frac{1}{v_{\text{son}}}$.

Alors $\Delta t \approx \frac{d}{v_{\text{son}}}$, soit $d \approx v_{\text{son}} \times \Delta t$.

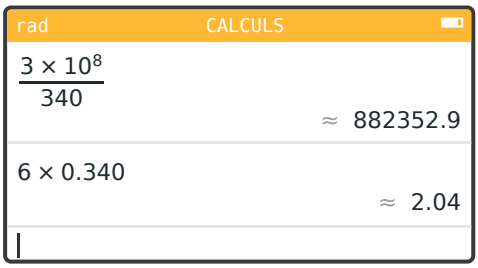
Avec $v_{\text{son}} = 0{,}340\ \text{km}\cdot\text{s}^{-1}$, d en km et Δt en s : $d \approx 0{,}340 \times \Delta t$. Or $0{,}340 \approx \frac{1}{3}$.

Pour $\Delta t = 6$ s : $d \approx 6 \times 0{,}340 = 2{,}0$ km, comme annoncé.

$$d\,(\text{km}) \approx \frac{\Delta t\,(\text{s})}{3}$$: la règle de l'encadré est justifiée.

COMPRENDRE
La règle revient à considérer que l'éclair est vu instantanément et que le son parcourt un kilomètre en trois secondes environ ($1 \div 0{,}340 = 2{,}9$ s).

À LA CALCULATRICE



A propos des sous-marins

Bac S 2008 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1.1.1 Donner l'expression littérale de la valeur F_A de la poussée d'Archimède exercée sur le bathyscaphe complètement immergé, puis la calculer.

Données utiles $V = 194\ \text{m}^3$; $\rho_E = 1{,}03 \times 10^3\ \text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

La poussée d'Archimède a pour valeur le poids du volume d'eau de mer déplacé. Le bathyscaphe étant entièrement immergé, ce volume est V :

$$F_A = \rho_E\, V\, g$$

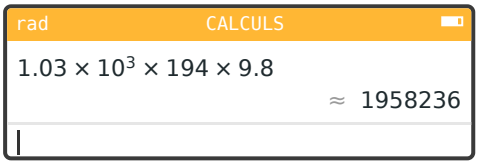
$$F_A = 1{,}03 \times 10^3 \times 194 \times 9{,}8 = 1{,}96 \times 10^6\ \text{N}$$

$F_A = \rho_E\, V\, g \approx 2{,}0 \times 10^6\ \text{N}$

PIÈGE
Utiliser ρ_L ou V_L : la poussée dépend du fluide déplacé (l'eau de mer) et du volume total immergé, pas de ce que contient le flotteur.

COMPRENDRE
g n'est donné qu'avec deux chiffres significatifs : le résultat s'écrit $2{,}0 \times 10^6$ N. On garde $1{,}96 \times 10^6$ N comme valeur intermédiaire pour la comparaison qui suit.

À LA CALCULATRICE



1.1.2 Comparer les valeurs du poids du bathyscaphe et de la poussée d'Archimède qu'il subit. Que peut-on en conclure ?

Données utiles $M = 200\ \text{t}$; $g = 9{,}8\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$; F_A (1.1.1)

Poids : $P = M\, g = 200 \times 10^3 \times 9{,}8 = 1{,}96 \times 10^6\ \text{N} \approx 2{,}0 \times 10^6\ \text{N}$.

Les deux forces sont verticales, de sens opposés et de même valeur : $\overrightarrow{P} + \overrightarrow{F_A} = \vec{0}$.

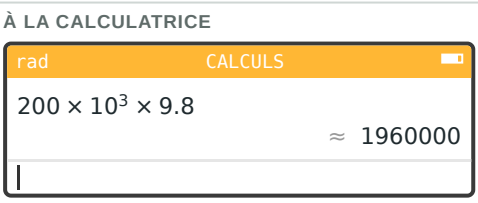
D'après le principe d'inertie, le bathyscaphe, initialement au repos dans le référentiel terrestre, y reste.

$P = F_A \approx 2{,}0 \times 10^6\ \text{N}$: les forces se compensent, le bathyscaphe reste immobile entre deux eaux.

PIÈGE
Laisser la masse en tonnes : $200\ \text{t} = 200 \times 10^3\ \text{kg}$. Sans conversion, le poids est mille fois trop petit et la comparaison n'a plus de sens.

COMPRENDRE
Des forces qui se compensent autorisent aussi un mouvement rectiligne uniforme. C'est l'énoncé (« ne plonge pas encore ») qui permet de retenir l'immobilité.

À LA CALCULATRICE



1.2.1 Le bathyscaphe remplace un volume V_L' de liquide « L » par le même volume d'eau de mer. La valeur F_A de la poussée d'Archimède varie-t-elle ?

$F_A = \rho_E\, V\, g$ ne dépend que de la masse volumique de l'eau de mer, du volume extérieur du bathyscaphe et de g. L'échange de liquide se fait à l'intérieur du flotteur : aucune de ces trois grandeurs n'est modifiée.

F_A ne varie pas : elle vaut toujours $\rho_E\, V\, g$.

COMPRENDRE
La poussée d'Archimède ignore la masse de l'objet et ce qu'il contient. Seul son volume immergé compte.

1.2.2 Déterminer l'expression littérale de la variation de masse ΔM du bathyscaphe (comptée positivement), puis la calculer.

Données utiles $V'_E = V'_L = 2{,}0\ \text{m}^3$; $\rho_E = 1{,}03 \times 10^3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\rho_L = 0{,}66 \times 10^3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Le bathyscaphe gagne la masse d'eau de mer $\rho_E\, V'_E$ et perd la masse de liquide « L » $\rho_L\, V'_L$. Comme $V'_E = V'_L$:

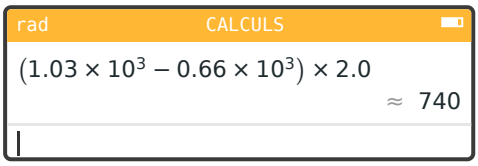
$$\Delta M = \rho_E\, V'_E - \rho_L\, V'_L = (\rho_E - \rho_L)\, V'_L$$

$$\Delta M = (1{,}03 \times 10^3 - 0{,}66 \times 10^3) \times 2{,}0$$

$$\boxed{\Delta M = (\rho_E - \rho_L)\, V'_L = 7{,}4 \times 10^2\ \text{kg}}$$

COMPRENDRE
Cette valeur redonne la masse annoncée ensuite par l'énoncé : $200\ \text{t} + 0{,}74\ \text{t} = 200{,}74\ \text{t}$.

À LA CALCULATRICE



1.2.3 Expliquer pourquoi le bathyscaphe se met à descendre.

La masse augmente de ΔM, donc le poids augmente : $P' = (M + \Delta M)\, g > P$. La poussée d'Archimède, elle, est inchangée (1.2.1) et valait P.

Donc $P' > F_A$: la somme des forces n'est plus nulle, elle est verticale et dirigée vers le bas. D'après la deuxième loi de Newton, l'accélération a ce même sens ; le bathyscaphe, parti du repos, se met en mouvement vers le bas.

$\boxed{P' > F_A \text{ : la résultante des forces est dirigée vers le bas, le bathyscaphe descend.}}$

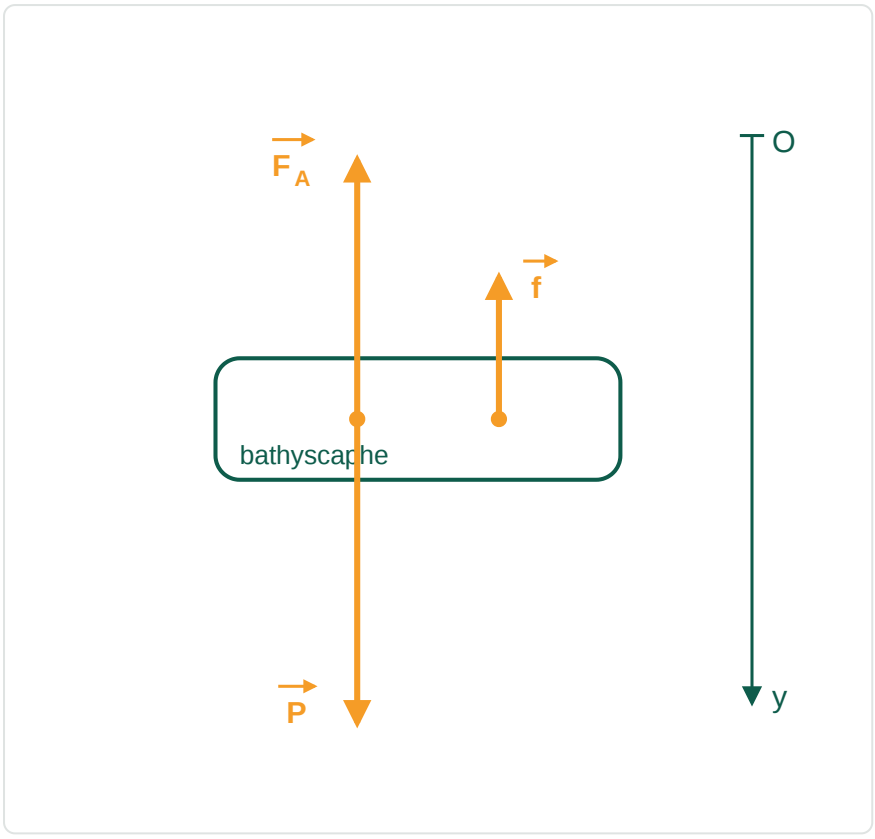
1.3.1 Faire le bilan des forces exercées sur le bathyscaphe quand il descend et les représenter, sans échelle, sur un schéma.

Système {bathyscaphe}, référentiel terrestre supposé galiléen. Trois forces, toutes verticales :

- le poids $\overrightarrow{P}$, vers le bas ;
- la poussée d'Archimède $\overrightarrow{F_A}$, vers le haut ;
- la force de frottement $\overrightarrow{f}$ exercée par l'eau de mer, opposée au mouvement, donc vers le haut.

Trois forces : $\overrightarrow{P}$ vers le bas, $\overrightarrow{F_A}$ et $\overrightarrow{f}$ vers le haut (schéma ci-contre).

PIÈGE
Orienter $\overrightarrow{f}$ vers le bas « comme le mouvement ». Un frottement fluide s'oppose toujours à la vitesse : le bathyscaphe descend, $\overrightarrow{f}$ est vers le haut.



1.3.1 · Forces exercées sur le bathyscaphe pendant la descente (sans échelle)

1.3.2 La force de frottement a pour valeur $f = k\,v^2$. Établir l'équation différentielle du mouvement selon un axe vertical descendant (Oy).

Données utiles masse du bathyscaphe M' ; $F_A = \rho_E\,V\,g$ (1.1.1)

Deuxième loi de Newton appliquée au bathyscaphe de masse M' constante, dans le référentiel terrestre galiléen :

$$\vec{P} + \vec{F_A} + \vec{f} = M'\,\vec{a}$$

En projection sur l'axe (Oy) orienté vers le bas, avec $a_y = \dfrac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$:

$$M'\,g - \rho_E\,V\,g - k\,v^2 = M'\,\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$$

En divisant par M' :

$$\boxed{\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t} = g\left(1 - \frac{\rho_E\,V}{M'}\right) - \frac{k}{M'}\,v^2}$$

PIÈGE
L'axe est orienté vers le bas : le poids est compté positivement, la poussée et le frottement négativement. Une erreur de signe ici fausse toute la fin de la partie 1.

MÉTHODE
1) système et référentiel ; 2) bilan des forces ; 3) deuxième loi de Newton en vecteurs ; 4) projection sur l'axe en soignant les signes ; 5) division par la masse pour isoler la dérivée.

1.3.3 La vitesse limite atteinte est v_{lim}. a. Déterminer son expression littérale. b. En déduire la valeur de k et justifier son unité par une analyse dimensionnelle.

Données utiles $v_{lim} = 1{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $M' = 200{,}74\ \text{t}$; $\rho_E = 1{,}03\times10^3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $V = 194\ \text{m}^3$; $g = 9{,}8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$

a. Quand la vitesse limite est atteinte, v ne varie plus : $\dfrac{\text{d}v}{\text{d}t} = 0$.
L'équation différentielle devient :

$$g\left(1-\frac{\rho_E V}{M'}\right) - \frac{k}{M'}v_{lim}^2 = 0 \quad \text{soit} \quad v_{lim} = \sqrt{\frac{(M'-\rho_E V)\,g}{k}}$$

b. On en tire $k = \dfrac{(M'-\rho_E V)\,g}{v_{lim}^2}$:

$$k = \frac{(200{,}74\times10^3 - 1{,}03\times10^3\times194)\times 9{,}8}{1{,}0^2} = 9{,}0\times10^3$$

Unité : $k = \dfrac{f}{v^2}$. Une force est une masse multipliée par une accélération : $[f] = \text{M}\cdot\text{L}\cdot\text{T}^{-2}$, et $[v^2] = \text{L}^2\cdot\text{T}^{-2}$.

$$[k] = \frac{\text{M}\cdot\text{L}\cdot\text{T}^{-2}}{\text{L}^2\cdot\text{T}^{-2}} = \text{M}\cdot\text{L}^{-1}$$

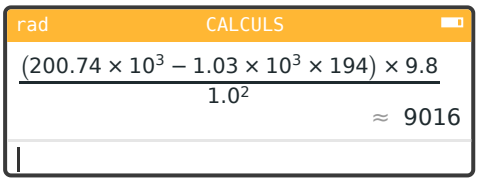
$v_{lim} = \sqrt{\dfrac{(M'-\rho_E V)\,g}{k}}$ et $k = 9{,}0\times10^3\ \text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$

PIÈGE
Arrondir M' à 200 t ou $\rho_E V$ à $2{,}0\times10^5$ kg : k dépend de leur différence, 920 kg seulement. Il faut garder tous les chiffres de l'énoncé dans le calcul.

COMPRENDRE
À la vitesse limite, les forces se compensent de nouveau : $P = F_A + f$. Le mouvement devient rectiligne uniforme.

MÉTHODE
Analyse dimensionnelle : isoler la grandeur, remplacer chaque terme par sa dimension (M, L, T), simplifier, puis traduire en unités SI : $\text{M}\cdot\text{L}^{-1}$ donne $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}$.

À LA CALCULATRICE



2.1 Donner la structure du noyau noté $^{235}_{92}\text{U}$.

$Z = 92$: le noyau contient 92 protons. $A = 235$ nucléons, donc $A - Z = 235 - 92 = 143$ neutrons.

Noyau d'uranium 235 : 92 protons et 143 neutrons.

PIÈGE
Annoncer 235 neutrons, ou ajouter 92 électrons : A compte les nucléons (protons et neutrons), et un noyau ne contient pas d'électrons.

2.2.1 Dans l'équation de fission $^{235}_{92}\text{U} + {}^{1}_{0}\text{n} \longrightarrow {}^{94}_{38}\text{Sr} + {}^{140}_{54}\text{Xe} + \text{x}\ {}^{1}_{0}\text{n}$, montrer que $x = 2$.

Lors d'une réaction nucléaire, le nombre de nucléons se conserve (loi de Soddy) :

$$235 + 1 = 94 + 140 + x\times1 \quad \text{donc} \quad x = 236 - 234 = 2$$

Vérification par la conservation de la charge : $92 + 0 = 38 + 54 + x\times0$, soit $92 = 92$.

$x = 2$: la fission libère deux neutrons.

COMPRENDRE
La conservation de la charge ne permet pas de trouver x puisque le neutron a une charge nulle : elle sert seulement de contrôle.

2.2.2 Montrer que l'énergie libérée par la fission d'un noyau d'uranium 235 vaut $E_{lib} = 2{,}91 \times 10^{-11}$ J.

Données utiles $m(\mathrm{U}) = 235{,}0439$ u ; $m(\mathrm{Sr}) = 93{,}9154$ u ; $m(\mathrm{Xe}) = 139{,}9252$ u ; $m(\mathrm{n}) = 1{,}0087$ u ; $1\ \mathrm{u} = 1{,}66 \times 10^{-27}$ kg ; $c = 3{,}00 \times 10^{8}\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$

Variation de masse au cours de la réaction (produits moins réactifs) :

$$\Delta m = m(\mathrm{Sr}) + m(\mathrm{Xe}) + 2\,m(\mathrm{n}) - m(\mathrm{U}) - m(\mathrm{n}) = m(\mathrm{Sr}) + m(\mathrm{Xe}) + m(\mathrm{n}) - m(\mathrm{U})$$

$$\Delta m = 93{,}9154 + 139{,}9252 + 1{,}0087 - 235{,}0439 = -0{,}1946\ \mathrm{u}$$

La masse diminue : l'énergie libérée est $E_{lib} = |\Delta m|\, c^2$.

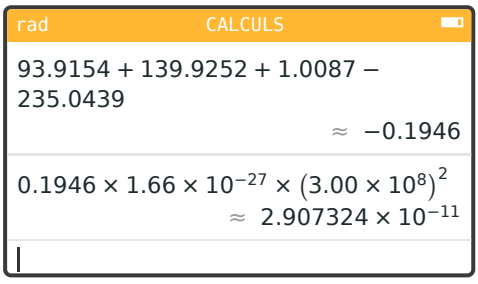
$$E_{lib} = 0{,}1946 \times 1{,}66 \times 10^{-27} \times (3{,}00 \times 10^{8})^2$$

$E_{lib} = 2{,}91 \times 10^{-11}$ J, valeur attendue.

PIÈGE
Oublier de convertir Δm en kilogrammes, ou oublier le neutron incident dans le bilan : il reste un seul neutron de plus du côté des produits.

COMPRENDRE
Le signe négatif de Δm traduit une perte de masse : le système cède de l'énergie à l'extérieur. L'énergie libérée est la valeur positive correspondante.

À LA CALCULATRICE



2.2.3 Le réacteur fournit une puissance moyenne de 150 MW. a. Montrer qu'il se produit $5{,}15 \times 10^{18}$ fissions par seconde. b. En déduire que la masse d'uranium consommée en 1 s vaut $2{,}01 \times 10^{-3}$ g.

Données utiles $\mathcal{P} = 150$ MW ; $E_{lib} = 2{,}91 \times 10^{-11}$ J (2.2.2) ; $N_A = 6{,}02 \times 10^{23}\ \mathrm{mol^{-1}}$; $M(\mathrm{U}) = 235\ \mathrm{g \cdot mol^{-1}}$

a. En une durée $\Delta t = 1$ s, le réacteur fournit l'énergie $E = \mathcal{P}\,\Delta t$. Cette énergie provient de N fissions : $E = N\,E_{lib}$.

$$N = \frac{\mathcal{P}\,\Delta t}{E_{lib}} = \frac{150 \times 10^{6} \times 1}{2{,}91 \times 10^{-11}} = 5{,}15 \times 10^{18}$$

b. Chaque fission consomme un noyau d'uranium 235 : en 1 s, N noyaux disparaissent, soit une quantité de matière $n = \dfrac{N}{N_A}$.

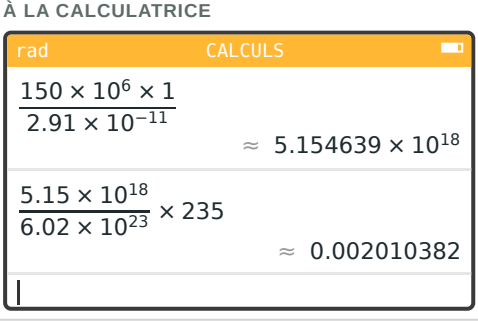
$$m = n\,M(\mathrm{U}) = \frac{N}{N_A}\,M(\mathrm{U}) = \frac{5{,}15 \times 10^{18}}{6{,}02 \times 10^{23}} \times 235 = 2{,}01 \times 10^{-3}\ \mathrm{g}$$

$N = 5{,}15 \times 10^{18}$ fissions par seconde et $m = 2{,}01 \times 10^{-3}$ g par seconde, valeurs attendues.

PIÈGE
Laisser la puissance en mégawatts : $150\ \mathrm{MW} = 150 \times 10^{6}$ W, c'est-à-dire 150×10^{6} joules chaque seconde.

COMPRENDRE
Autre chemin pour b : $m = N \times m(\mathrm{U})$ avec $m(\mathrm{U}) = 235{,}0439 \times 1{,}66 \times 10^{-27}$ kg. On retrouve $2{,}01 \times 10^{-6}$ kg, soit la même valeur.

À LA CALCULATRICE



2.2.4 Le sous-marin doit naviguer 2 mois. Quelle masse minimale d'uranium 235 doit-il embarquer ?

Données utiles $m = 2{,}01 \times 10^{-3}$ g par seconde (2.2.3) ; $1 \text{ mois} = 2{,}6 \times 10^{6}$ s

Durée de navigation : $\Delta t = 2 \times 2{,}6 \times 10^{6} = 5{,}2 \times 10^{6}$ s.

La consommation est de $2{,}01 \times 10^{-3}$ g chaque seconde :

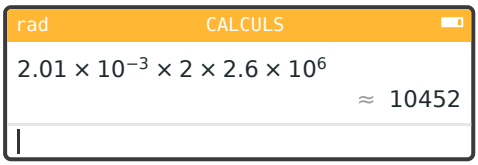
$$m_{min} = 2{,}01 \times 10^{-3} \times 5{,}2 \times 10^{6} = 1{,}0 \times 10^{4} \text{ g}$$

$m_{min} \approx 1{,}0 \times 10^{4}$ g $= 10$ kg d'uranium 235.

COMPRENDRE

Deux chiffres significatifs, comme la durée d'un mois. C'est un minimum : tous les noyaux embarqués ne fissionnent pas et l'uranium enrichi contient surtout de l'uranium 238.

À LA CALCULATRICE



Spécialité : Voyage d'une note

Bac S 2008 Nouvelle-Calédonie (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1.1.1 Compléter : « L'onde porteuse utilisée en radio est une onde … » (sonore, lumineuse, mécanique, électromagnétique).

L'onde porteuse utilisée en radio est une onde **électromagnétique**.

COMPRENDRE
La porteuse se propage de l'antenne émettrice au récepteur à la célérité c, sans support matériel : ce n'est donc ni une onde sonore ni une onde mécanique.

1.1.2 Compléter : « En modulation d'amplitude, l'amplitude du signal modulé est une fonction … de la tension modulante » (linéaire, exponentielle, constante, affine, sinusoïdale).

L'amplitude du signal modulé est une fonction **affine** de la tension modulante.

COMPRENDRE
L'amplitude s'écrit $A\left(1+\dfrac{u(t)}{U_0}\right)$: un terme constant plus un terme proportionnel à $u(t)$, donc affine et non linéaire. La modulation n'est plus au programme actuel de spécialité.

1.2 Calculer la longueur d'onde λ de la station émettrice.

Données utiles $c = 3{,}00 \times 10^8\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $F = 162\ \text{kHz}$

$\lambda = \dfrac{c}{F}$ avec $F = 162 \times 10^3$ Hz.

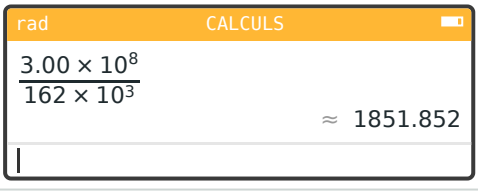
$$\lambda = \frac{3{,}00 \times 10^8}{162 \times 10^3} = 1{,}85 \times 10^3\ \text{m}$$

$\lambda = 1{,}85 \times 10^3\ \text{m} = 1{,}85\ \text{km}$

PIÈGE
Utiliser $v_{son} = 340\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$: l'onde émise par l'antenne est électromagnétique, sa célérité est c. Penser aussi à convertir les kilohertz en hertz.

COMPRENDRE
Trois chiffres significatifs, comme c et F. Une longueur d'onde de l'ordre du kilomètre justifie le nom « ondes longues ».

À LA CALCULATRICE



2.1 Déterminer la fréquence fondamentale f_1 de la note captée (figure 3) et montrer que cette note est le la_3.

Données utiles figure 3 ; tableau des notes : la_3 à 440 Hz, sol_3 à 392 Hz, si_3 à 494 Hz

La fréquence fondamentale est l'inverse de la période T_1 du signal. Pour gagner en précision, on mesure trois périodes entre deux maxima principaux : le premier à $t = 0{,}3006$ s, le quatrième à $t = 0{,}3074$ s.

$3\,T_1 = 0{,}3074 - 0{,}3006 = 6{,}8 \times 10^{-3}$ s

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{3}{6{,}8 \times 10^{-3}} = 4{,}4 \times 10^2\ \text{Hz}$$

Dans le tableau, la note dont la fréquence est la plus proche est le la_3 (440 Hz).

$f_1 \approx 441$ Hz, soit $4{,}4 \times 10^2$ Hz : la note captée est bien le la_3 (440 Hz).

PIÈGE
Prendre pour période l'écart entre deux pics voisins à l'intérieur d'un même motif. La période est la durée du motif complet qui se répète, environ 2,3 ms.

MÉTHODE
Mesurer plusieurs périodes entre deux points identiques du motif (ici deux grands maxima), puis diviser : l'incertitude de lecture est répartie sur le nombre de périodes.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$\frac{3}{0.3074 - 0.3006} \approx 441.1765$$

2.2 Calculer les fréquences des harmoniques de rang 2 et de rang 13 de cette note.

Données utiles $f_1 = 440$ Hz (la_3, Q2.1)

La fréquence de l'harmonique de rang n est un multiple entier de la fréquence fondamentale : $f_n = n\,f_1$.

$f_2 = 2 \times 440 = 880$ Hz

$f_{13} = 13 \times 440 = 5{,}72 \times 10^3$ Hz

$f_2 = 880$ Hz et $f_{13} = 5{,}72 \times 10^3$ Hz

COMPRENDRE
Sur la figure 4, ces valeurs correspondent au deuxième pic et au treizième, qui est le dernier. Harmoniques, hauteur et timbre ne figurent plus au programme actuel de spécialité.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$$13 \times 440 = 5\,720$$

3.1 Calculer les trois fréquences présentes dans le signal modulé $s_1(t)$ lorsque France Inter transmet le son pur d'un diapason (la_3).

Données utiles $F = 162$ kHz ; $f = 440$ Hz $= 0{,}440$ kHz

L'expression de $s_1(t)$ est une somme de trois termes sinusoïdaux, de fréquences F, $F - f$ et $F + f$.

$F = 162$ kHz

$F - f = 162 - 0{,}440 = 161{,}56$ kHz

$F + f = 162 + 0{,}440 = 162{,}44$ kHz

$F - f = 161{,}56$ kHz ; $F = 162$ kHz ; $F + f = 162{,}44$ kHz

PIÈGE
Additionner 162 et 440 sans convertir : F est en kilohertz, f en hertz.

COMPRENDRE
La fréquence 440 Hz n'apparaît pas dans le signal émis : l'information sonore est portée par l'écart entre la porteuse et les deux fréquences latérales.

3.2 Quelles fréquences du spectre de la note jouée par le violon ne peuvent pas être transmises par France Inter ?

Données utiles fréquence maximale transmise : 4,5 kHz ; $f_n = n \times 440$ Hz (Q2.2)

Un harmonique de fréquence f_n occupe dans le canal les fréquences $F - f_n$ et $F + f_n$: il n'est transmis que si $f_n \leqslant 4{,}5$ kHz.

Les harmoniques non transmis vérifient $n \times 440 > 4{,}5 \times 10^3$, soit $n > \dfrac{4{,}5 \times 10^3}{440} = 10{,}2$, donc $n \geqslant 11$.

Le spectre s'arrête au rang 13 : $f_{11} = 4{,}84$ kHz, $f_{12} = 5{,}28$ kHz, $f_{13} = 5{,}72$ kHz.

Les harmoniques de rang 11, 12 et 13 (4,84 kHz ; 5,28 kHz ; 5,72 kHz) ne sont pas transmis.

MÉTHODE
Vérifier sur la figure 4 : trois pics se trouvent à droite de 4 500 Hz, le pic de rang 10 (4,40 kHz) est juste en dessous de la limite.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{4.5 \times 10^3}{440}$ ≈ 10.22727

11 × 440 = 4 840

12 × 440 = 5 280

4.1.1 Nommer les composants (1), (2) et (3) du circuit d'accord (figure 5).

(1) : antenne réceptrice ; (2) : bobine, d'inductance L réglable et de résistance R ; (3) : condensateur, de capacité C.

COMPRENDRE
La bobine et le circuit LC ne sont plus au programme actuel de spécialité ; le condensateur y figure toujours, avec le circuit RC.

4.1.2 Calculer la valeur de l'inductance L qui permet de capter France Inter.

Données utiles $C = 0{,}47\ \text{nF} = 0{,}47 \times 10^{-9}\ \text{F}$; $F = 162 \times 10^3\ \text{Hz}$

Le circuit est accordé lorsque sa fréquence propre est égale à la fréquence de la porteuse : $F = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

On élève au carré : $F^2 = \dfrac{1}{4\pi^2 LC}$, d'où $L = \dfrac{1}{4\pi^2 F^2 C}$.

$$L = \frac{1}{4\pi^2 \times (162 \times 10^3)^2 \times 0{,}47 \times 10^{-9}} = 2{,}1 \times 10^{-3}\ \text{H}$$

$L = 2{,}1 \times 10^{-3}\ \text{H} = 2{,}1\ \text{mH}$

PIÈGE
Oublier le carré sur F ou sur 2π, ou laisser C en nanofarads et F en kilohertz.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs seulement, comme la capacité C, qui est la donnée la moins précise.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{1}{4 \times \pi^2 \times (162 \times 10^3)^2 \times 0.47 \times 10^{-9}}$ ≈ 0.002053584

4.2.1 Préciser, en justifiant, les fréquences présentes dans le spectre de la note restituée par le haut-parleur.

Données utiles fréquences transmises au démodulateur : de 160 kHz à 164 kHz ; $F = 162\ \text{kHz}$; $f_n = n \times 440\ \text{Hz}$

L'harmonique de rang n est porté par les fréquences $F - f_n$ et $F + f_n$. Il atteint le démodulateur si ces deux fréquences sont dans l'intervalle $[160\ \text{kHz}; 164\ \text{kHz}]$:

$F + f_n \leqslant 164\ \text{kHz}$ et $F - f_n \geqslant 160\ \text{kHz}$, soit $f_n \leqslant 164 - 162 = 2\ \text{kHz}$.

Alors $n \times 440 \leqslant 2 \times 10^3$, soit $n \leqslant \dfrac{2 \times 10^3}{440} = 4{,}5$, donc $n \leqslant 4$.

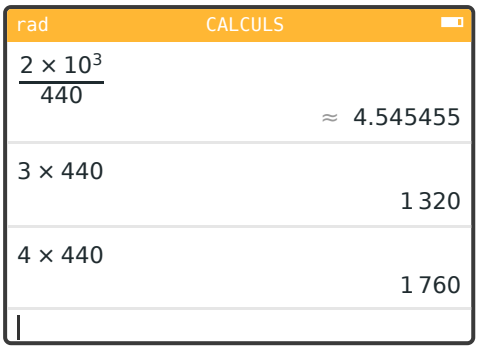
Les autres modules étant parfaits, le haut-parleur restitue seulement les quatre premiers harmoniques.

Fréquences restituées : $f_1 = 440\ \text{Hz}$; $f_2 = 880\ \text{Hz}$; $f_3 = 1{,}32\ \text{kHz}$; $f_4 = 1{,}76\ \text{kHz}$

PIÈGE
Répondre « de 160 kHz à 164 kHz » : ce sont les fréquences du signal modulé. Après démodulation, le haut-parleur restitue les fréquences sonores f_n, limitées ici à 2 kHz.

COMPRENDRE
Le récepteur est plus restrictif que l'émetteur : le canal laissait passer les sons jusqu'à 4,5 kHz, le circuit d'accord, très sélectif, les coupe au-delà de 2 kHz.

À LA CALCULATRICE



4.2.2 Comparer, en justifiant, la hauteur et le timbre de la note restituée par le haut-parleur à ceux de la note émise par le violon.

La hauteur d'une note est fixée par sa fréquence fondamentale. Le fondamental $f_1 = 440\ \text{Hz}$ est présent dans le son restitué comme dans le son du violon : la hauteur est la même, on entend toujours un la_3.

Le timbre dépend du nombre d'harmoniques et de leurs amplitudes relatives. Le son restitué ne contient plus que les rangs 1 à 4, alors que le violon en émet 13 : le timbre est différent.

Même hauteur (même fondamental, 440 Hz), mais timbre modifié (harmoniques de rang 5 à 13 absents).

COMPRENDRE

Privé de ses harmoniques aigus, dont celui de rang 5, le plus intense après le fondamental, le violon paraît plus sourd à la radio : c'est une limite de la réception en grandes ondes.