Corrigé complet — Bac S 2011 La Réunion (ancien programme)

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

Ex 1	**Les ondes** Ondes mécaniques progressives · Retard et célérité · Période, fréquence et longueur d'onde · Onde transversale ou longitudinale · Dispersion de la lumière · Diffraction par un fil	4 pts	52 min	12 questions	p. 2
Ex 2	**Des piles qui évoluent** Pile et polarité · Demi-équations d'oxydoréduction · Électrolyse · Transformation forcée · Quantité d'électricité · Bilan de matière	6,5 pts	1 h 18	16 questions	p. 6
Ex 3	**Le dauphin à flancs blancs** Deuxième loi de Newton · Mouvement dans un champ de pesanteur uniforme · Équations horaires · Construction des vecteurs vitesse et accélération · Conservation de l'énergie mécanique	5,5 pts	1 h 05	13 questions	p. 11
Ex 4	**Spécialité : La flûte traversière** Période et fréquence d'un signal · Analyse spectrale · Fondamental et harmoniques · Ondes stationnaires dans un tuyau sonore · Hauteur et timbre d'un son	4 pts	52 min	12 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.

Les ondes

Bac S 2011 La Réunion (ancien programme) · Exercice 1 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Vrai ou faux : les ondes ultrasonores sont des ondes mécaniques.

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

Les ultrasons ont besoin d'un milieu matériel (ici l'air) : ce sont des compressions et des dilatations de l'air qui se transmettent de proche en proche.

Affirmation 1 : **VRAI**.

COMPRENDRE
Les ultrasons sont de même nature que les sons audibles ; seule la fréquence change (supérieure à 20 kHz). Comme eux, ils ne se propagent pas dans le vide.

MÉTHODE
Pour chaque affirmation, la réponse VRAI ou FAUX seule ne rapporte rien : il faut une définition, un calcul ou une lecture d'écran, puis la conclusion.

2 Vrai ou faux : le retard Δt entre l'émission et la réception est de 2,0 ms.

Données utiles balayage $k = 1{,}0\ \text{ms/div}$

Sur l'écran, le début de la salve reçue est décalé de 2,0 divisions par rapport au début de la salve émise.

$\Delta t = 2{,}0 \times 1{,}0 = 2{,}0\ \text{ms}$

Affirmation 2 : **VRAI**, $\Delta t = 2{,}0\ \text{ms}$.

PIÈGE
Mesurer la durée de la salve (environ 5 divisions) au lieu du décalage entre les débuts des deux salves.

3 Vrai ou faux : l'émetteur et le récepteur sont placés à 34 cm de la paroi réfléchissante.

Données utiles $V = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $\Delta t = 2{,}0\ \text{ms}$ (affirmation 2)

Pendant la durée Δt, l'onde fait un aller-retour entre les appareils et la paroi, soit la distance $2d$:

$2d = V\,\Delta t$, donc $d = \dfrac{V\,\Delta t}{2}$

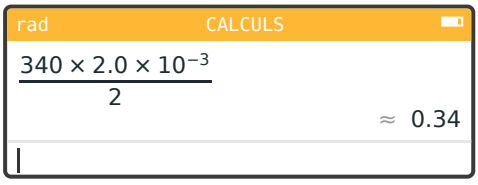
$d = \dfrac{340 \times 2{,}0 \times 10^{-3}}{2} = 0{,}34\ \text{m}$

Affirmation 3 : **VRAI**, $d = 34\ \text{cm}$.

PIÈGE
Oublier l'aller-retour : $V\,\Delta t = 68\ \text{cm}$ est la distance parcourue par l'onde, pas la distance à la paroi.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme Δt, la donnée la moins précise. C'est le principe du sonar et de l'écholocation des chauves-souris.

À LA CALCULATRICE



4 Vrai ou faux : la fréquence des signaux est de 40 kHz.

Données utiles balayage $k = 5{,}0\ \mu\text{s/div}$

Sur l'écran, une période occupe 4,0 divisions :

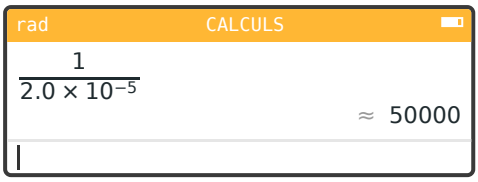
$T = 4{,}0 \times 5{,}0 = 20\ \mu\text{s} = 2{,}0 \times 10^{-5}\ \text{s}$

$f = \dfrac{1}{T} = \dfrac{1}{2{,}0 \times 10^{-5}} = 5{,}0 \times 10^{4}\ \text{Hz}$

Affirmation 4 : **FAUX**, $f = 50\ \text{kHz}$ et non 40 kHz.

MÉTHODE
Pour une lecture plus précise, mesurer plusieurs périodes : ici 2 périodes s'étalent sur 8 divisions entre deux maximums, soit 4 divisions par période.

À LA CALCULATRICE



5 Vrai ou faux : il faut éloigner le récepteur de 6,8 cm de l'émetteur pour que les signaux se retrouvent en phase pour la première fois.

Données utiles $V = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f = 5{,}0 \times 10^{4}\ \text{Hz}$ (affirmation 4)

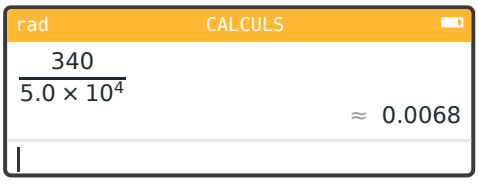
Deux points du milieu vibrent en phase s'ils sont séparés d'un nombre entier de longueurs d'onde. Les signaux se retrouvent donc en phase pour la première fois quand on recule le récepteur d'une longueur d'onde λ.

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{340}{5{,}0 \times 10^{4}} = 6{,}8 \times 10^{-3}\ \text{m}$$

Affirmation 5 : **FAUX**, il faut l'éloigner de $\lambda = 6{,}8\ \text{mm}$ et non de 6,8 cm.

PIÈGE
Les chiffres « 6,8 » sont les bons, seule l'unité est fausse. Dans un vrai-faux, convertir le résultat dans l'unité de l'affirmation avant de conclure.

À LA CALCULATRICE



6 Vrai ou faux : l'onde formée à la surface de l'eau est une onde périodique.

Le vibreur impose à la pointe S la même perturbation à intervalles de temps égaux (sa période T) : l'onde est périodique dans le temps.

Les relevés le confirment : les rides circulaires sont régulièrement espacées et la vue de profil montre un motif qui se répète. L'onde est aussi périodique dans l'espace (longueur d'onde λ).

Affirmation 6 : **VRAI**.

COMPRENDRE
Une onde progressive périodique a une double périodicité : temporelle (T) et spatiale (λ), liées par $\lambda = v\,T$.

7 Vrai ou faux : cette onde est longitudinale.

L'onde se propage horizontalement, à la surface de l'eau, alors que l'eau se déplace verticalement (vue de profil).

La direction de la perturbation est perpendiculaire à la direction de propagation : l'onde est transversale.

Affirmation 7 : **FAUX**, l'onde est transversale.

COMPRENDRE
Une onde longitudinale a une perturbation parallèle à la direction de propagation : c'est le cas du son et des ultrasons de la première partie.

8 Vrai ou faux : la longueur d'onde vaut 2,5 cm.

Données utiles relevés à l'échelle 1/2 (1 cm sur la figure pour 2 cm en réalité)

La longueur d'onde est la distance entre deux rides consécutives.

Sur la vue de dessus, entre la première et la quatrième ride, il y a 3 longueurs d'onde. On mesure environ 3,8 cm sur la figure, soit $2 \times 3{,}8 = 7{,}6$ cm en réalité.

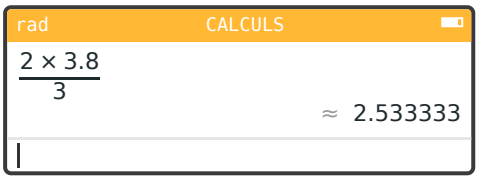
$$\lambda = \frac{7{,}6}{3} \approx 2{,}5 \text{ cm}$$

Affirmation 8 : **VRAI**, $\lambda \approx 2{,}5$ cm à la précision de la mesure.

PIÈGE
Oublier l'échelle 1/2 donne 1,3 cm. Mesurer aussi un rayon et non un diamètre : l'écart entre deux cercles se lit le long d'un rayon.

COMPRENDRE
Une mesure à la règle est précise à 1 mm près : trouver 2,5 ou 2,6 cm selon le tracé valide l'affirmation. Mesurer 3λ divise l'incertitude par trois.

À LA CALCULATRICE



9 Vrai ou faux : ce faisceau laser subit une dispersion quand il passe à travers un prisme en verre.

Données utiles laser de longueur d'onde 633 nm

La dispersion par un prisme sépare les radiations de fréquences différentes d'une lumière polychromatique.

Le faisceau laser est monochromatique : il ne contient qu'une seule radiation. Il est dévié par le prisme, mais il n'est pas dispersé.

Affirmation 9 : **FAUX**.

PIÈGE
Confondre déviation et dispersion. Le faisceau laser change de direction par réfraction sur chaque face, mais il ressort d'une seule couleur, sans s'étaler.

10 Vrai ou faux : la valeur de l'indice de réfraction n d'un milieu dispersif dépend de la fréquence f de la radiation lumineuse qui le traverse.

Dans un milieu dispersif, la célérité v de l'onde dépend de sa fréquence f.

L'indice de réfraction est $n = \frac{c}{v}$, où c, célérité de la lumière dans le vide, est une constante. Si v dépend de f, alors n en dépend aussi.

Affirmation 10 : **VRAI**.

COMPRENDRE
C'est pour cela qu'un prisme sépare les couleurs de la lumière blanche : chaque radiation a son indice, donc son angle de réfraction.

11 Vrai ou faux : le faisceau laser subit une diffraction quand il passe au centre d'une fente de largeur 3 mm.

Données utiles diamètre du faisceau : 1 mm

Il y a diffraction quand l'onde rencontre un obstacle ou les bords d'une ouverture.

Le faisceau a un diamètre de 1 mm et passe au centre d'une fente de 3 mm : il ne rencontre pas les bords de la fente et la traverse sans être modifié.

Affirmation 11 : **FAUX**.

COMPRENDRE
Même avec un faisceau plus large, la diffraction serait très peu visible : la fente est environ 5000 fois plus large que la longueur d'onde (633 nm).

12 Vrai ou faux : le diamètre du fil vaut environ 100 µm.

Données utiles $\lambda = 633\ \text{nm}$; $D = 2{,}0\ \text{m}$; $L = 1{,}3\ \text{cm}$; $\tan\theta \simeq \theta$

Écart angulaire de diffraction par un fil de diamètre a : $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$.

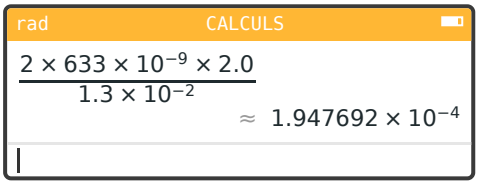
Sur le schéma, dans le triangle rectangle de côtés D et $\dfrac{L}{2}$: $\tan\theta = \dfrac{L}{2D}$, donc $\theta \simeq \dfrac{L}{2D}$.

En égalant : $\dfrac{\lambda}{a} = \dfrac{L}{2D}$, soit $a = \dfrac{2\lambda D}{L}$

$$a = \frac{2 \times 633 \times 10^{-9} \times 2{,}0}{1{,}3 \times 10^{-2}} = 1{,}9 \times 10^{-4}\ \text{m}$$

Affirmation 12 : **FAUX**, $a \approx 1{,}9 \times 10^{2}\ \mu\text{m}$, presque le double de 100 µm.

À LA CALCULATRICE



PIÈGE

L'angle θ correspond à la demi-largeur $\dfrac{L}{2}$ de la tache centrale. Écrire $\theta = \dfrac{L}{D}$ donne $a \approx 100\ \mu\text{m}$: c'est exactement l'erreur que l'affirmation cherche à provoquer.

MÉTHODE

Tout convertir en mètres avant le calcul : 633 nm $= 633 \times 10^{-9}$ m et 1,3 cm $= 1{,}3 \times 10^{-2}$ m.

Des piles qui évoluent

Bac S 2011 La Réunion (ancien programme) · Exercice 2 **6,5 points** **Durée conseillée 1 h 18**

I.1 Quelle propriété de l'eau salée Volta faisait-il intervenir en l'utilisant, plutôt que de l'eau « pure », pour imbiber le carton ?

L'eau salée contient beaucoup d'ions, $\mathrm{Na^+\,(aq)}$ et $\mathrm{Cl^-\,(aq)}$, alors que l'eau pure n'en contient presque pas.

L'eau salée est **conductrice** du courant électrique.

COMPRENDRE
Le carton imbibé joue le rôle de l'électrolyte : il ferme le circuit à l'intérieur de la pile. Avec de l'eau pure, le courant serait quasi nul.

I.2 Quelle est la nature des porteurs de charges qui peuvent se déplacer dans le disque de carton imbibé ?

Dans le carton imbibé, les porteurs de charges sont les **ions** de la solution (cations et anions).

PIÈGE
Répondre « les électrons ». Ils ne circulent que dans les métaux et les fils ; en solution, le courant est dû au déplacement des ions.

I.3.1 Sachant que l'une des demi-équations est $\mathrm{Zn\,(s) = Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^-}$, trouver l'autre demi-équation.

Données utiles équation de fonctionnement : $\mathrm{Zn\,(s) + 2\,H_2O\,(l) = Zn^{2+}\,(aq) + H_2\,(g) + 2\,HO^-\,(aq)}$

Le zinc cède deux électrons ; ils sont captés par l'eau, qui donne les produits restants de l'équation, $\mathrm{H_2}$ et $\mathrm{HO^-}$.

$\mathrm{2\,H_2O\,(l) + 2\,e^- = H_2\,(g) + 2\,HO^-\,(aq)}$

MÉTHODE
Retirer de l'équation de fonctionnement les espèces de la demi-équation connue, puis vérifier la conservation des éléments et des charges : ici $0 - 2 = 0 - 2$.

I.3.2 Rappeler la définition d'un réducteur, puis indiquer quel est le réactif réducteur dans cette pile.

Un réducteur est une espèce chimique capable de céder un ou plusieurs électrons.

Ici, $\mathrm{Zn\,(s)}$ cède deux électrons en devenant $\mathrm{Zn^{2+}\,(aq)}$.

Le réactif réducteur est le **zinc métallique** $\mathrm{Zn\,(s)}$.

PIÈGE
Confondre « réducteur » et « espèce réduite ». Le réducteur est oxydé ; c'est l'eau, oxydant de la réaction, qui est réduite.

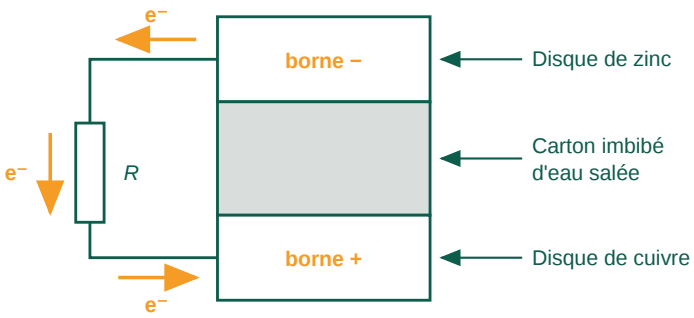
I.4.1 Compléter le schéma de l'annexe 1 en indiquant le sens de déplacement des électrons dans le circuit, la borne positive et la borne négative de la pile.

Le zinc est oxydé : il libère des électrons, qui quittent le disque de zinc par le fil, traversent le conducteur ohmique et arrivent au disque de cuivre.

Les électrons sortent de la pile par sa borne négative.

Borne $-$: disque de zinc ; borne $+$: disque de cuivre ; les électrons vont du zinc vers le cuivre dans le circuit extérieur.

COMPRENDRE
Le courant électrique circule en sens inverse des électrons : il sort par la borne $+$ (cuivre) et traverse R vers le zinc. Le cuivre ne réagit pas ; l'eau est réduite à sa surface.



I.4.1 · Annexe 1 complétée : sens des électrons et bornes de la pile

I.4.2 Quel appareil pourrait-on ajouter dans le montage pour mesurer l'intensité du courant dans le conducteur ohmique ? Comment le brancherait-on ?

Un **ampèremètre**, branché **en série** avec le conducteur ohmique.

MÉTHODE
Pour lire une intensité positive, le courant doit entrer par la borne mA (ou A) et sortir par la borne COM : la borne COM est donc du côté du zinc.

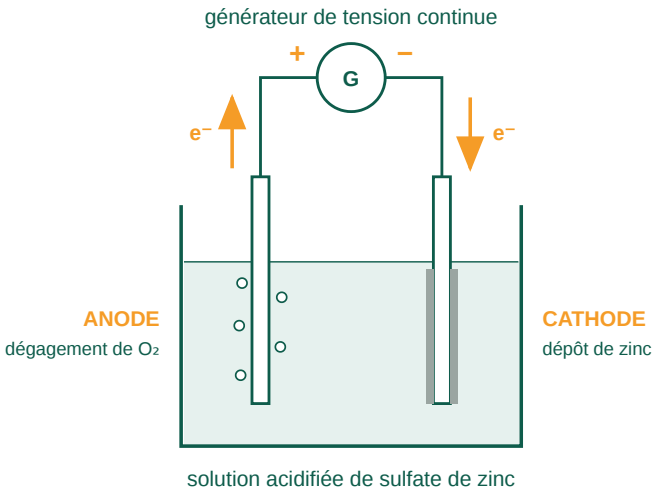
I.5.1 Faire le schéma de l'électrolyse d'une solution de sulfate de zinc réalisable au laboratoire. Préciser la nature et le sens de déplacement des porteurs de charges à l'extérieur de l'électrolyseur, ainsi que la polarité du générateur.

Montage : deux électrodes inertes plongent dans la solution et sont reliées aux bornes d'un générateur de tension continue (voir schéma).

Dans les fils, les porteurs de charges sont les **électrons**. Le zinc se dépose par réduction de Zn^{2+} : cette électrode reçoit des électrons, elle est donc reliée à la borne $-$ du générateur.

Les électrons partent de la borne $-$ du générateur vers l'électrode où se dépose le zinc, et reviennent de l'autre électrode vers la borne $+$.

PIÈGE
Oublier le générateur ou sa polarité. Sans générateur, il n'y a pas d'électrolyse ; un schéma de pile (conducteur ohmique entre les électrodes) ne rapporte aucun point.



I.5.1 · Électrolyse au laboratoire ; anode et cathode repérées (question I.5.4)

I.5.2 Indiquer les formules chimiques de toutes les espèces présentes à l'état initial dans la solution.

La solution de sulfate de zinc acidifiée à l'acide sulfurique contient :

- le solvant : $\mathrm{H_2O\,(l)}$;
- les ions zinc $\mathrm{Zn^{2+}\,(aq)}$ et les ions sulfate $\mathrm{SO_4^{2-}\,(aq)}$;
- les ions hydrogène $\mathrm{H^+\,(aq)}$ apportés par l'acide.

Espèces présentes : $\mathrm{H_2O\,(l)}$, $\mathrm{Zn^{2+}\,(aq)}$, $\mathrm{SO_4^{2-}\,(aq)}$, $\mathrm{H^+\,(aq)}$.

PIÈGE
Oublier l'eau. Le solvant est une espèce présente, et c'est justement lui qui réagit à l'anode.

I.5.3 Écrire les demi-équations des réactions susceptibles de se produire aux électrodes, compte tenu des observations et sachant que l'eau subit une oxydation à l'anode.

Données utiles couples $\mathrm{Zn^{2+}(aq)/Zn\,(s)}$, $\mathrm{H^+(aq)/H_2\,(g)}$, $\mathrm{O_2(g)/H_2O\,(l)}$; dépôt de zinc à la cathode, dégagement de dioxygène à l'anode

À la cathode (réduction), un dépôt de zinc est observé :

$$\mathrm{Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^- = Zn\,(s)}$$

La réduction $\mathrm{2\,H^+\,(aq) + 2\,e^- = H_2\,(g)}$ y est aussi envisageable, mais aucun dégagement de dihydrogène n'est signalé.

À l'anode (oxydation), l'eau donne du dioxygène :

Cathode : $\mathrm{Zn^{2+}\,(aq) + 2\,e^- = Zn\,(s)}$; anode : $\mathrm{2\,H_2O\,(l) = O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq) + 4\,e^-}$

MÉTHODE
Équilibrer une demi-équation en milieu acide : l'élément principal, puis O avec $\mathrm{H_2O}$, puis H avec $\mathrm{H^+}$, enfin les charges avec des électrons.

I.5.4 Indiquer l'anode et la cathode sur le schéma précédent.

L'anode est l'électrode où a lieu l'oxydation, la cathode celle où a lieu la réduction.

Anode : électrode reliée à la borne $+$ (dégagement de $\mathrm{O_2}$) ; cathode : électrode reliée à la borne $-$ (dépôt de zinc). Voir le schéma de la question I.5.1.

COMPRENDRE
Ces définitions valent pour une pile comme pour un électrolyseur, mais les signes s'inversent : dans une pile, l'anode est la borne $-$; dans un électrolyseur, elle est reliée à la borne $+$.

I.6 Écrire l'équation de la réaction de cette électrolyse.

L'anode libère 4 électrons quand la cathode n'en consomme que 2 : la demi-équation de la cathode est multipliée par 2, puis les deux sont additionnées.

$$\mathrm{2\,Zn^{2+}\,(aq) + 2\,H_2O\,(l) = 2\,Zn\,(s) + O_2\,(g) + 4\,H^+\,(aq)}$$

PIÈGE
Laisser des électrons dans l'équation finale, ou additionner sans multiplier : les charges ne seraient pas conservées. Ici : $+4$ de chaque côté.

I.7 S'agit-il d'une transformation spontanée ou forcée ? Justifier.

La réaction n'a lieu que si le générateur fournit de l'énergie électrique au système : c'est lui qui impose le sens de circulation des électrons, donc le sens de la réaction. Si on l'enlève, le dépôt de zinc et le dégagement gazeux cessent.

L'électrolyse est une transformation **forcée**.

COMPRENDRE
Une pile convertit de l'énergie chimique en énergie électrique lors d'une transformation spontanée ; un électrolyseur reçoit de l'énergie électrique et fait évoluer le système dans le sens inverse du sens spontané.

I.8.1 Calculer la quantité d'électricité Q qui traverse l'électrolyseur en 24 heures.

Données utiles $I = 4{,}3 \times 10^4$ A ; $\Delta t = 24$ h

Le courant est constant : $Q = I \times \Delta t$, avec $\Delta t = 24 \times 3600 = 86\,400$ s.

$$Q = 4{,}3 \times 10^4 \times 86\,400 = 3{,}7 \times 10^9 \text{ C}$$

$Q = 3{,}7 \times 10^9$ C

PIÈGE
Laisser la durée en heures : le coulomb est un ampère-seconde.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme I. Dans les calculs suivants, on reprend la valeur non arrondie $3{,}7152 \times 10^9$ C pour ne pas cumuler les arrondis.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$4.3 \times 10^4 \times 24 \times 3600$
$\approx 3.7152 \times 10^9$

I.8.2 Montrer que la quantité d'électrons qui circulent pendant cette même durée est $n_{e^-} = 3{,}9 \times 10^4$ mol.

Données utiles $Q = 3{,}7152 \times 10^9$ C (I.8.1) ; $N_A = 6{,}0 \times 10^{23}$ mol^{-1} ; $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C

Chaque électron porte la charge e en valeur absolue, et une mole d'électrons en contient N_A :

$$Q = n_{e^-} \times N_A \times e \quad \text{donc} \quad n_{e^-} = \frac{Q}{N_A \times e}$$

$$n_{e^-} = \frac{3{,}7152 \times 10^9}{6{,}0 \times 10^{23} \times 1{,}6 \times 10^{-19}} = 3{,}87 \times 10^4 \text{ mol}$$

$n_{e^-} \approx 3{,}9 \times 10^4$ mol : c'est bien la valeur annoncée.

COMPRENDRE
Le produit $N_A \times e$ est le faraday. Avec la valeur plus précise $9{,}65 \times 10^4$ C · mol^{-1} donnée aussi par l'énoncé, on obtient $3{,}85 \times 10^4$ mol, soit $3{,}8 \times 10^4$: l'écart vient seulement de l'arrondi des constantes.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS
$\frac{3.7152 \times 10^9}{6.0 \times 10^{23} \times 1.6 \times 10^{-19}}$
≈ 38700
$\frac{3.7152 \times 10^9}{9.65 \times 10^4}$
≈ 38499.48

I.8.3 Calculer $n(\text{Zn})_f$, la quantité de zinc formé, puis $m(\text{Zn})_f$, la masse de zinc produit en 24 heures.

Données utiles $n_{e^-} = 3{,}87 \times 10^4$ mol (I.8.2) ; $M(\text{Zn}) = 65{,}4$ g · mol^{-1}

D'après $\text{Zn}^{2+}\,(\text{aq}) + 2\,\text{e}^- = \text{Zn}\,(\text{s})$, il faut deux moles d'électrons pour déposer une mole de zinc :

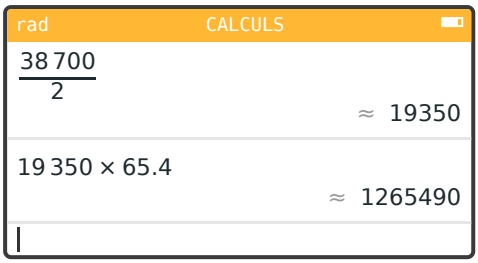
$$n(\text{Zn})_f = \frac{n_{e^-}}{2} = \frac{3{,}87 \times 10^4}{2} = 1{,}9 \times 10^4 \text{ mol}$$

$$m(\text{Zn})_f = n(\text{Zn})_f \times M(\text{Zn}) = 1{,}935 \times 10^4 \times 65{,}4 = 1{,}3 \times 10^6 \text{ g}$$

$n(\text{Zn})_f = 1{,}9 \times 10^4$ mol et $m(\text{Zn})_f = 1{,}3 \times 10^6$ g, soit environ 1,3 tonne par jour.

PIÈGE
Oublier le facteur 2 : la masse trouvée serait doublée. Le coefficient des électrons se lit dans la demi-équation de la cathode, pas dans l'équation bilan.

À LA CALCULATRICE



I.8.4 Vérifier que la concentration en ions zinc dans la solution au bout des 24 h est $[Zn^{2+}]_f = 6{,}1\ mol \cdot L^{-1}$.

Données utiles $[Zn^{2+}]_i = 10\ mol \cdot L^{-1}$; $V = 5{,}0\ m^3 = 5{,}0 \times 10^3$ L ; $n(Zn)_f = 1{,}935 \times 10^4$ mol (I.8.3)

Quantité initiale : $n(Zn^{2+})_i = [Zn^{2+}]_i \times V = 10 \times 5{,}0 \times 10^3 = 5{,}0 \times 10^4$ mol.

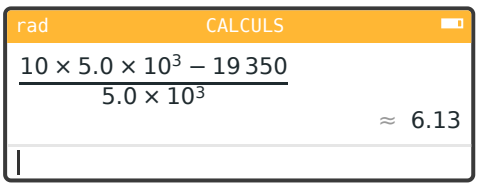
Chaque atome de zinc déposé provient d'un ion Zn^{2+} consommé, donc $n(Zn^{2+})_f = n(Zn^{2+})_i - n(Zn)_f$. Le volume étant supposé constant :

$$[Zn^{2+}]_f = \frac{n(Zn^{2+})_i - n(Zn)_f}{V} = \frac{5{,}0 \times 10^4 - 1{,}935 \times 10^4}{5{,}0 \times 10^3} = 6{,}1\ mol \cdot L^{-1}$$

$[Zn^{2+}]_f = 6{,}1\ mol \cdot L^{-1}$: la valeur de l'énoncé est vérifiée.

PIÈGE
Garder V en m^3 avec une concentration en $mol \cdot L^{-1}$: $1\ m^3 = 10^3$ L.

À LA CALCULATRICE



Le dauphin à flancs blancs

Bac S 2011 La Réunion (ancien programme) · Exercice 3 **5,5 points** **Durée conseillée 1 h 05**

1 En appliquant la deuxième loi de Newton, donner l'expression du vecteur accélération $\vec{a}_G$ du centre d'inertie du dauphin, puis ses coordonnées a_x et a_y.

Système {dauphin}, de masse m constante ; référentiel terrestre supposé galiléen ; seule force hors de l'eau : le poids $\vec{P} = m\,\vec{g}$.

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

Le vecteur $\vec{g}$ est vertical, dirigé vers le bas, et l'axe Oy est orienté vers le haut :

$\vec{a}_G = \vec{g}$, de coordonnées $a_x = 0$ et $a_y = -g$

PIÈGE
Oublier le signe : $\vec{g}$ pointe vers le bas alors que Oy pointe vers le haut, donc $a_y = -g$ et non $+g$.

MÉTHODE
Toujours dans cet ordre : système, référentiel galiléen, bilan des forces, deuxième loi de Newton, puis projection sur les axes du repère.

2.1 En déduire l'expression de la coordonnée $V_x(t)$ en fonction de V_0 et α, puis celle de $V_y(t)$ en fonction de V_0, α, g et t.

Comme $\vec{a}_G = \dfrac{\mathrm{d}\vec{V}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de $a_x = 0$ et de $a_y = -g$:

$V_x(t) = C_1$ et $V_y(t) = -g\,t + C_2$

Conditions initiales : à $t = 0$, $\vec{V} = \vec{V}_0$ de coordonnées $V_0\cos\alpha$ et $V_0\sin\alpha$, donc $C_1 = V_0\cos\alpha$ et $C_2 = V_0\sin\alpha$.

$V_x(t) = V_0\cos\alpha$ et $V_y(t) = -g\,t + V_0\sin\alpha$

COMPRENDRE
V_x ne dépend pas du temps : le mouvement horizontal est uniforme. Seule la vitesse verticale varie, et elle s'annule au sommet de la trajectoire.

2.2 Établir les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement du centre d'inertie.

Comme $\vec{V} = \dfrac{\mathrm{d}\overrightarrow{OG}}{\mathrm{d}t}$, on cherche les primitives de V_x et de V_y :

$x(t) = V_0\cos\alpha\;t + C_3$ et $y(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + V_0\sin\alpha\;t + C_4$

Conditions initiales : à $t = 0$, G est en O, donc $x(0) = 0$ et $y(0) = 0$, d'où $C_3 = 0$ et $C_4 = 0$.

$x(t) = V_0\cos\alpha\;t$ et $y(t) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t^2 + V_0\sin\alpha\;t$

PIÈGE
Les constantes d'intégration ne sont pas nulles par principe. Il faut les justifier par la position initiale, ici G confondu avec O à $t = 0$.

3 Il faut 0,87 s au dauphin pour atteindre le sommet S de sa trajectoire. Le saut est-il réellement d'au moins 3 mètres de haut ?

Données utiles $V_0 = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; $\alpha = 60^\circ$; $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$; $t_S = 0{,}87$ s

La hauteur du saut est l'ordonnée du sommet : $y_S = y(t_S) = -\dfrac{1}{2}\,g\,t_S^2 + V_0\sin\alpha\;t_S$

$$y_S = -\frac{1}{2}\times 10\times 0{,}87^2 + 10\times\sin(60^\circ)\times 0{,}87 = 3{,}7\ \text{m}$$

$y_S = 3{,}7\ \text{m} > 3\ \text{m}$: le centre d'inertie du dauphin s'élève bien de plus de 3 mètres.

PIÈGE
Calculatrice en radians : $\sin(60)$ donne alors $-0{,}30$ et une hauteur négative. Vérifier le mode degré.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme V_0, g et t_S. La date 0,87 s se retrouve en écrivant $V_y(t_S) = 0$: $t_S = V_0\sin\alpha/g$.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$(-0.5) \times 10 \times 0.87^2 + 10 \times \sin(60°) \times 0.87$

$\approx$ 3.749921

4.1 À partir du document de l'annexe 2, déterminer la valeur de la vitesse du centre d'inertie aux points 4 et 6, notées V_4 et V_6 .

Données utiles échelle du document : 1 cm pour 0,50 m ; $\Delta t = 0{,}10$ s

La vitesse en un point est assimilée à la vitesse moyenne entre les deux positions qui l'encadrent : $V_4 = \dfrac{G_3G_5}{2\,\Delta t}$ et $V_6 = \dfrac{G_5G_7}{2\,\Delta t}$.

Sur le document : $G_3G_5 = 2{,}5$ cm, soit $2{,}5 \times 0{,}50 = 1{,}25$ m en réalité ; $G_5G_7 = 2{,}0$ cm, soit $1{,}0$ m.

$V_4 = \dfrac{1{,}25}{2 \times 0{,}10} = 6{,}3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $\qquad$ $V_6 = \dfrac{1{,}0}{2 \times 0{,}10} = 5{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

$V_4 \approx 6{,}3 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $V_6 \approx 5{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

PIÈGE
Diviser par Δt au lieu de $2\,\Delta t$: entre les positions 3 et 5, il s'écoule deux intervalles de temps. Ne pas oublier non plus de convertir la longueur mesurée avec l'échelle.

COMPRENDRE
Un millimètre d'écart à la règle modifie la vitesse de $0{,}25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$: des valeurs voisines sont acceptées. On mesure le segment droit, pas l'arc de trajectoire.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{2.5 \times 0.50}{2 \times 0.10}$

$\approx$ 6.25

$\dfrac{2.0 \times 0.50}{2 \times 0.10}$

$\approx$ 5

4.2 Tracer les vecteurs $\vec{V}_4$ et $\vec{V}_6$ sur le document de l'annexe 2, à l'échelle 1 cm pour $2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Données utiles $V_4 = 6{,}25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ et $V_6 = 5{,}0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (II.4.1)

Longueurs des flèches : $\dfrac{6{,}25}{2} = 3{,}1$ cm pour $\vec{V}_4$ et $\dfrac{5{,}0}{2} = 2{,}5$ cm pour $\vec{V}_6$.

$\vec{V}_4$ part du point 4, il est tangent à la trajectoire, donc parallèle à la droite (G_3G_5), dans le sens du mouvement. De même, $\vec{V}_6$ part du point 6 et il est parallèle à (G_5G_7).

$\vec{V}_4$: flèche de 3,1 cm au point 4 ; $\vec{V}_6$: flèche de 2,5 cm au point 6 (voir l'annexe complétée).

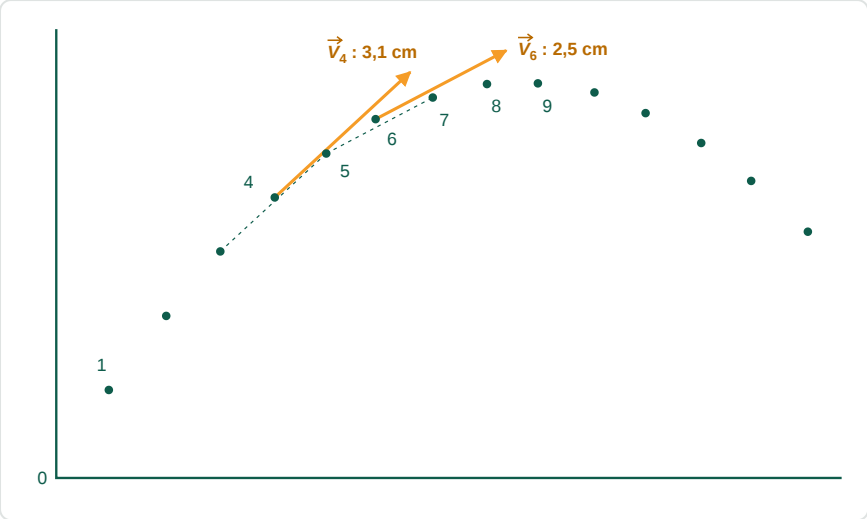
MÉTHODE
Un vecteur vitesse se trace avec trois informations : son origine (le point), sa direction et son sens (la tangente, dans le sens du parcours), sa longueur (valeur divisée par l'échelle).

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$\dfrac{6.25}{2}$

$\approx$ 3.125



4.2 · Annexe 2 complétée : vecteurs vitesse aux points 4 et 6 (échelle : 1 cm pour 2 m·s^{-1} ; longueurs à tracer sur le document)

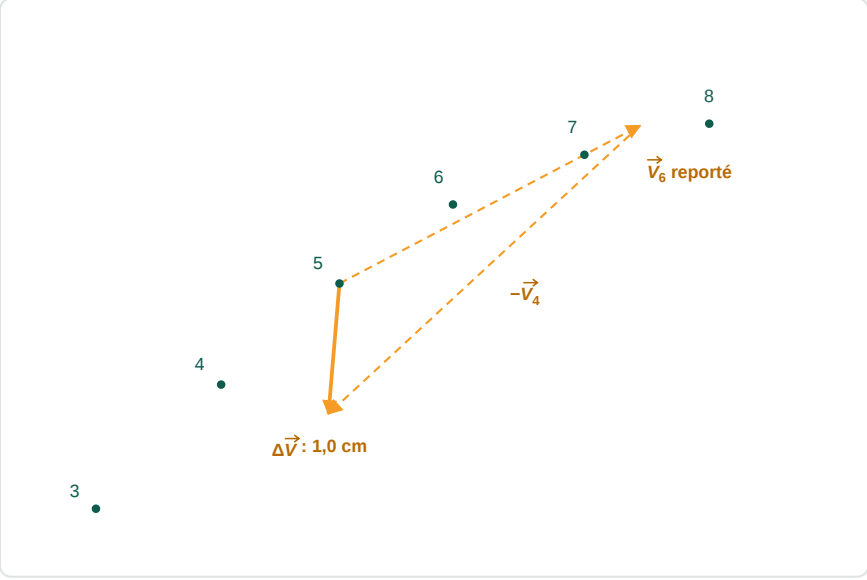
4.3 Construire sur l'annexe 2 le vecteur $\Delta\vec{V} = \vec{V}_6 - \vec{V}_4$ au point 5 et déterminer sa valeur en $\mathrm{m \cdot s^{-1}}$ avec l'échelle précédente.

On écrit $\Delta\vec{V} = \vec{V}_6 + (-\vec{V}_4)$. À partir du point 5, on reporte $\vec{V}_6$; à l'extrémité de ce vecteur, on place $-\vec{V}_4$ (même direction et même longueur que $\vec{V}_4$, sens opposé). $\Delta\vec{V}$ relie le point 5 à l'extrémité de $-\vec{V}_4$.

Le vecteur obtenu est vertical, dirigé vers le bas, et mesure $1{,}0$ cm. Avec l'échelle 1 cm pour $2\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$:

$$\Delta V = 1{,}0 \times 2 = 2{,}0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$$

PIÈGE
Calculer $V_6 - V_4 = 5{,}0 - 6{,}3$: une différence de vecteurs n'est pas une différence de valeurs. Seule la construction graphique donne ΔV.



4.3 · Annexe 2 complétée : construction de $\Delta\vec{V}$ au point 5 (zoom sur les positions 3 à 8)

4.4 En déduire la valeur a_5 du vecteur accélération $\vec{a}_5$ au point 5. Le représenter sur l'annexe 2 à l'échelle 1 cm pour $2\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Données utiles $\Delta V = 2{,}0\ \text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ (II.4.3) ; $\Delta t = 0{,}10\ \text{s}$

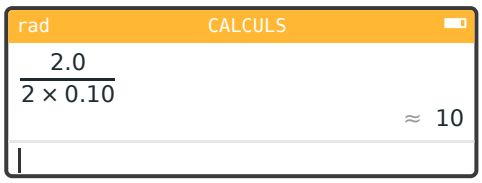
Entre les points 4 et 6, il s'écoule $2\,\Delta t$: $\vec{a}_5 = \dfrac{\Delta \vec{V}}{2\,\Delta t}$, donc

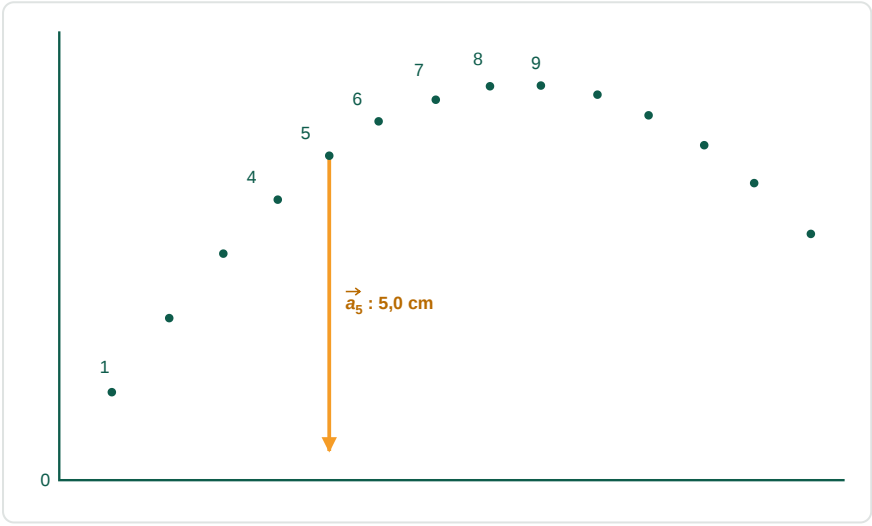
$$a_5 = \frac{\Delta V}{2\,\Delta t} = \frac{2{,}0}{2 \times 0{,}10} = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$$

$\vec{a}_5$ a la direction et le sens de $\Delta \vec{V}$: vertical, vers le bas. Sa longueur sur le document est $\dfrac{10}{2} = 5{,}0$ cm, à partir du point 5.

$a_5 = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$, représenté par une flèche verticale de 5,0 cm dirigée vers le bas.

À LA CALCULATRICE





4.4 · Annexe 2 complétée : vecteur accélération au point 5 (échelle : 1 cm pour 2 m·s⁻²)

4.5 Les résultats de la question II.4.4 sont-ils en accord avec ceux de la question II.1 ?

D'après II.1, $\vec{a}_G = \vec{g}$: le vecteur accélération est vertical, dirigé vers le bas, de valeur $g = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

Le vecteur $\vec{a}_5$ construit en II.4.4 est lui aussi vertical, dirigé vers le bas, et sa valeur est $a_5 = 10\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

$\vec{a}_5 = \vec{g}$: même direction, même sens, même valeur. Les résultats sont en accord.

MÉTHODE
Comparer deux vecteurs, c'est comparer trois caractéristiques : direction, sens et valeur. Citer seulement la valeur ne suffit pas.

5 Exprimer l'énergie cinétique $E_C(G)$ du dauphin en fonction de m, V_x et V_y.

$E_C(G) = \dfrac{1}{2}\,m\,V^2$ et, dans le repère orthonormé, $V^2 = V_x^2 + V_y^2$.

$$E_C(G) = \frac{1}{2}\,m\,\left(V_x^2 + V_y^2\right)$$

PIÈGE
Écrire $V = V_x + V_y$: les coordonnées ne s'ajoutent pas, c'est le théorème de Pythagore qui donne V^2.

6 Exprimer l'énergie potentielle de pesanteur $E_P(G)$ du dauphin en fonction de y, m et g, en la choisissant nulle pour $y = 0$.

L'axe Oy est vertical et orienté vers le haut, et l'origine de l'énergie potentielle est prise en $y = 0$:

$$E_P(G) = m\,g\,y$$

7 Montrer que l'énergie mécanique du dauphin a pour valeur $9{,}0 \times 10^3$ J à la date $t = 0$.

Données utiles $m = 180$ kg ; $V_0 = 10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

$$E_m = E_C(G) + E_P(G) = \frac{1}{2} m V^2 + m g y$$

À $t = 0$, G est en O : $y = 0$ donc $E_P = 0$, et $V = V_0$.

$$E_m(0) = \frac{1}{2} m V_0^2 = \frac{1}{2} \times 180 \times 10^2 = 9{,}0 \times 10^3 \text{ J}$$

$E_m(0) = 9{,}0 \times 10^3$ J : c'est la valeur attendue.

À LA CALCULATRICE

rad CALCULS

$0.5 \times 180 \times 10^2$

$\approx$ 9000

8 Par une étude énergétique, retrouver l'ordonnée y_S du sommet S de la trajectoire.

Données utiles $E_m(0) = \frac{1}{2} m V_0^2$ (II.7) ; $V_x = V_0 \cos\alpha$ (II.2.1) ; $\alpha = 60^\circ$; $g = 10\ \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Hors de l'eau, la seule force exercée est le poids, qui est une force conservative : l'énergie mécanique se conserve, $E_m(S) = E_m(0)$.

Au sommet S, $V_y = 0$ et $V_x = V_0 \cos\alpha$:

$$\frac{1}{2} m V_0^2 \cos^2\alpha + m g y_S = \frac{1}{2} m V_0^2$$

$$y_S = \frac{V_0^2 (1 - \cos^2\alpha)}{2g} = \frac{10^2 \times (1 - \cos^2(60^\circ))}{2 \times 10} = 3{,}75 \text{ m}$$

$y_S \approx 3{,}8$ m, en accord avec la valeur trouvée en II.3 (3,7 m).

PIÈGE

Écrire $E_C = 0$ au sommet. Le dauphin y avance encore horizontalement : seule V_y s'annule, et $V_x = V_0 \cos\alpha = 5{,}0\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$.

COMPRENDRE

Le calcul exact donne 3,75 m. En II.3, la date 0,87 s est déjà arrondie, d'où 3,7 m : les deux méthodes s'accordent à l'arrondi près. La masse se simplifie.

À LA CALCULATRICE

deg CALCULS

$\dfrac{10^2 \times \left(1 - \cos(60^\circ)^2\right)}{2 \times 10}$

$\approx$ 3.75

Spécialité : La flûte traversière

Bac S 2011 La Réunion (ancien programme) · Exercice 4 **4 points** **Durée conseillée 52 min**

1 Comment un instrument de musique produit-il un son ?

Un instrument de musique doit remplir deux fonctions : **vibrer** (ici, la colonne d'air du tuyau est mise en vibration par le filet d'air soufflé sur l'embouchure) et **émettre**, c'est-à-dire transmettre cette vibration à l'air environnant, dans lequel le son se propage.

Un instrument produit un son en vibrant puis en émettant cette vibration dans l'air.

2.1 À l'aide du document 1, déterminer la période T_1 puis calculer la fréquence f_1 du mode fondamental.

Données utiles document 1 : tension $u_f(t)$, axe des temps gradué en ms

On mesure plusieurs périodes pour gagner en précision. Entre le premier grand maximum ($t \approx 1{,}10$ ms) et le cinquième ($t \approx 5{,}65$ ms), il y a 4 périodes :

$4\,T_1 \approx 5{,}65 - 1{,}10 = 4{,}55$ ms, donc $T_1 = \dfrac{4{,}55}{4} \approx 1{,}14$ ms.

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{1{,}14 \times 10^{-3}} = 8{,}8 \times 10^2 \text{ Hz}$$

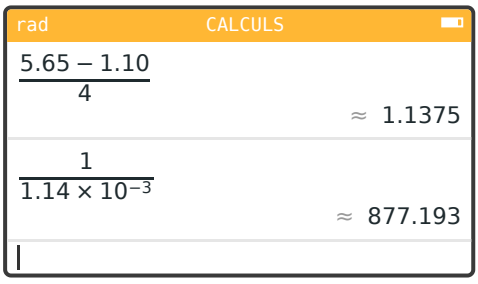
$T_1 \approx 1{,}14$ ms et $f_1 \approx 8{,}8 \times 10^2$ Hz

PIÈGE
Laisser T_1 en millisecondes dans $f_1 = 1/T_1$: on obtiendrait $0{,}88$, qui est une fréquence en kHz et non en Hz.

COMPRENDRE
La lecture graphique est précise à quelques centièmes de milliseconde près : deux chiffres significatifs suffisent pour f_1. La période du signal est celle du mode fondamental.

MÉTHODE
Repérer un motif net (ici le plus haut maximum), compter le plus grand nombre de périodes entières visibles, puis diviser la durée lue par ce nombre.

À LA CALCULATRICE



2.2.1 À l'aide du document 2, donner un encadrement de la fréquence du mode fondamental. La valeur trouvée à la question 2.1 est-elle cohérente avec cet encadrement ?

Données utiles document 2 : spectre en fréquence, axe gradué tous les 0,1 kHz ; $f_1 \approx 8{,}8 \times 10^2$ Hz (2.1)

Le fondamental est le pic de plus basse fréquence du spectre. Il est situé entre les graduations 0,8 kHz et 0,9 kHz :

$0{,}8 \text{ kHz} < f_1 < 0{,}9 \text{ kHz}$

La valeur de la question 2.1, $f_1 \approx 0{,}88$ kHz, appartient à cet intervalle.

$0{,}8 \text{ kHz} < f_1 < 0{,}9 \text{ kHz}$: la valeur $8{,}8 \times 10^2$ Hz est cohérente.

2.2.2 Déterminer les valeurs approchées des fréquences f_2 et f_3 des deux premières harmoniques.

Données utiles document 2

On lit l'abscisse des deux pics qui suivent le fondamental : le deuxième pic est un peu avant 1,8 kHz, le troisième un peu après 2,6 kHz.

$f_2 \approx 1{,}8$ kHz et $f_3 \approx 2{,}6$ kHz

PIÈGE
Confondre hauteur du pic et fréquence. L'amplitude se lit en ordonnée ; la fréquence d'un harmonique se lit en abscisse, même si le pic est très petit comme celui de f_2.

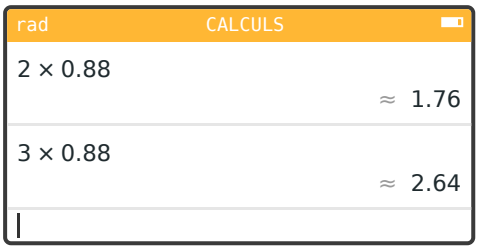
2.3 Écrire les relations théoriques existant entre f_2 et f_1 d'une part, puis entre f_3 et f_1 d'autre part.

Les fréquences des harmoniques sont des multiples entiers de la fréquence du fondamental : $f_n = n\,f_1$.

$f_2 = 2\,f_1$ et $f_3 = 3\,f_1$

COMPRENDRE
Les lectures le confirment : $2 \times 0{,}88 \approx 1{,}8$ kHz et $3 \times 0{,}88 \approx 2{,}6$ kHz. Les notions d'harmoniques, de hauteur et de timbre ne figurent plus au programme actuel de la spécialité.

À LA CALCULATRICE



3.1 À quel type d'ondes appartient le mode de vibration de la colonne d'air ?

La colonne d'air présente des nœuds et des ventres de vibration dont la position est fixe : il n'y a pas de propagation apparente.

Il s'agit d'une onde stationnaire.

COMPRENDRE
Elle résulte de la superposition de l'onde incidente et de l'onde réfléchie aux extrémités du tuyau, qui ont la même fréquence et se propagent en sens opposés.

3.2 Définir les termes nœud et ventre de vibration.

Nœud de vibration : point de la colonne d'air où l'amplitude de vibration est nulle à tout instant (l'air y reste immobile).

Ventre de vibration : point où l'amplitude de vibration est maximale.

Nœud : amplitude de vibration nulle ; ventre : amplitude de vibration maximale.

3.3.1 Comment le joueur peut-il modifier la longueur de la colonne d'air ?

En ouvrant ou en fermant les trous du tuyau à l'aide des clés : la colonne d'air qui vibre s'arrête au premier trou ouvert.

Le joueur modifie L en bouchant ou en débouchant les trous avec les clés.

3.3.2 Comment varie la longueur de la colonne d'air lorsque l'on passe à l'octave inférieure ? Justifier sans calcul.

Données utiles $f_1 = \dfrac{V}{4L}$; octave inférieure : fréquence divisée par 2

D'après $f_1 = \dfrac{V}{4L}$, la célérité V étant constante, la fréquence du fondamental est inversement proportionnelle à la longueur L.

Passer à l'octave inférieure revient à diviser f_1 par 2 : il faut donc multiplier L par 2.

La longueur de la colonne d'air est doublée : $L' = 2L$.

PIÈGE
Répondre « la longueur est divisée par 2 » parce que la fréquence l'est. Un son plus grave demande un tuyau plus long.

3.3.3 Déterminer la longueur L' de la colonne d'air pour cette octave inférieure.

Données utiles $V = 340\ \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$; $f_1 \approx 8{,}8 \times 10^2$ Hz (2.1)

La fréquence du fondamental à l'octave inférieure est $f_1' = \dfrac{f_1}{2}$, et $f_1' = \dfrac{V}{4L'}$. Donc :

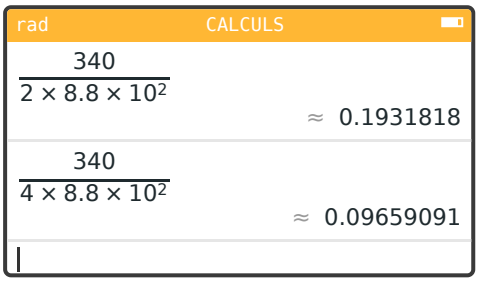
$$L' = \frac{V}{4\,f_1'} = \frac{V}{2\,f_1} = \frac{340}{2 \times 8{,}8 \times 10^2} = 0{,}19\ \text{m}$$

$L' \approx 0{,}19$ m, soit environ 19 cm

PIÈGE
Calculer $\dfrac{V}{4f_1}$ avec la fréquence de départ : on obtient L et non L'. Il faut utiliser la fréquence divisée par 2.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs, comme f_1. C'est bien le double de la longueur initiale $L = \dfrac{V}{4f_1} \approx 9{,}7$ cm.

À LA CALCULATRICE



4 Quelle grandeur physique est commune aux deux cas ? À quelle caractéristique du son cela correspond-il ?

Données utiles documents 2 et 4 : spectres de la flûte et du synthétiseur

Sur les documents 2 et 4, le pic du fondamental est à la même abscisse, un peu avant 0,9 kHz. Les deux sons ont donc la même fréquence fondamentale (les deux signaux ont d'ailleurs la même période, voisine de 1,1 ms).

La fréquence du fondamental fixe la hauteur du son.

Grandeur commune : la fréquence du fondamental ($\approx 0{,}88$ kHz) ; les deux sons ont la même hauteur.

5 Qu'est-ce qui permet de distinguer ces deux sons ? Justifier.

Données utiles documents 1 à 4

Les deux sons n'ont pas le même timbre.

Justification : les spectres contiennent les mêmes fréquences, mais les amplitudes relatives des harmoniques diffèrent. Pour la flûte, l'harmonique de fréquence f_3 atteint presque la moitié de l'amplitude du fondamental (environ 12 mV contre 27 mV) ; pour le synthétiseur, elle n'en représente qu'environ un dixième.

En conséquence, les tensions $u_f(t)$ et $u_s(t)$ ont la même période mais des formes différentes.

Le timbre distingue les deux sons : mêmes fréquences, mais harmoniques d'amplitudes relatives différentes.

PIÈGE
Comparer les amplitudes absolues (mV pour la flûte, V pour le synthétiseur) : elles renseignent sur le niveau sonore capté, pas sur le timbre. Ce sont les proportions entre harmoniques qui comptent.

À LA CALCULATRICE

