BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2011

PHYSIQUE-CHIMIE

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **8**

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré

Ce sujet comporte un exercice de CHIMIE, deux exercices de PHYSIQUE présentés sur 12 pages numérotées de 1 à 12, y compris celle-ci.

Les pages d'annexes (pages 11 et 12) SONT À RENDRE AVEC LA COPIE, même si elles n'ont pas été complétées.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I - DÉTARTRANT À BASE D'ACIDE LACTIQUE (6,5 points)

Ennemi numéro un des cafetières, le tartre s'y installe au quotidien. Il peut rendre ces machines inutilisables et altérer le goût du café. Pour préserver ces appareils, il est donc indispensable de les détartrer régulièrement. Plusieurs fabricants d'électroménager recommandent d'utiliser des détartrants à base d'acide lactique ; en plus d'être efficace contre le tartre, cet acide est biodégradable et non corrosif pour les pièces métalliques se trouvant à l'intérieur des cafetières.

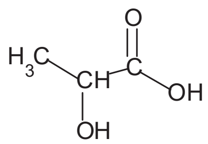
Après une étude de la réaction entre l'acide lactique et l'eau, on vérifiera par un titrage la teneur en acide lactique dans un détartrant et on s'intéressera à l'action de ce détartrant sur le tartre.

Les parties 1, 2 et 3 sont indépendantes.

1. L'acide lactique

Le détartrant à base d'acide lactique est conditionné sous forme liquide dans un petit flacon. La notice d'utilisation indique qu'il faut verser la totalité de son contenu dans le réservoir de la cafetière et qu'il faut ajouter de l'eau. On prépare ainsi un volume V = 0,60 L d'une solution aqueuse d'acide lactique de concentration molaire en soluté apporté c = 1 mol.L^{-1}. Après agitation, la valeur du pH mesuré est 1,9.

Données :

Formule de l'acide lactique	K_A à 25°C du couple acide lactique / ion lactate
	$1{,}3 \times 10^{-4}$

1.1. La molécule d'acide lactique

Recopier la formule de l'acide lactique puis entourer et nommer le groupe caractéristique responsable de l'acidité de la molécule.

1.2. Réaction de l'acide lactique avec l'eau

1.2.1. On note AH la molécule d'acide lactique. Écrire l'équation de la réaction de l'acide lactique avec l'eau.

1.2.2. Compléter en utilisant les notations de l'énoncé, le tableau descriptif de l'évolution du système, **TABLEAU A1 DE L'ANNEXE EN PAGE 11**.

1.2.3. Donner l'expression de l'avancement final x_f en fonction du pH de la solution et du volume V.

1.2.4. Calculer le taux d'avancement final τ de la transformation. La transformation est-elle totale ? Justifier.

1.3. Constante d'acidité de l'acide lactique

1.3.1. Donner l'expression de la constante d'acidité K_A du couple acide lactique / ion lactate.

1.3.2. À partir de l'expression de K_A, calculer le rapport $\dfrac{[A^-]_f}{[AH]_f}$.

1.3.3. En déduire l'espèce qui prédomine dans la solution de détartrant.

2. Titrage de l'acide lactique dans un détartrant

Sur l'étiquette de la solution commerciale de détartrant, on trouve les indications suivantes :
« contient de l'acide lactique, 45 % en masse ».

Données :

- masse molaire de l'acide lactique : $M = 90,0\ g.mol^{-1}$;
- masse volumique du détartrant : $\rho = 1,13\ kg.L^{-1}$.

Afin de déterminer la concentration molaire c en acide lactique apporté dans la solution de détartrant, on réalise un titrage acido-basique.
La solution de détartrant étant trop concentrée, on prépare par dilution une solution 10 fois moins concentrée (on note c_d la concentration de la solution diluée).

2.1. Dilution

On dispose des lots de verrerie A, B, C, D suivants :

Lot A	Lot B	Lot C	Lot D
Pipette jaugée de 5,0 mL Bécher de 50 mL Éprouvette de 50 mL	Pipette jaugée de 10,0 mL Fiole jaugée de 1,000 L	Pipette jaugée de 10,0 mL Fiole jaugée de 100,0 mL	Éprouvette graduée de 10 mL Fiole jaugée de 100,0 mL

Choisir le lot de verrerie permettant de réaliser la dilution le plus précisément. Justifier l'élimination des trois autres lots de verrerie.

2.2. Titrage acido-basique

On réalise le titrage pH-métrique d'un volume V_A = 5,0 mL de solution diluée par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium (Na^+(aq) + HO^-(aq)) de concentration molaire en soluté apporté $c_B = 0,20\ mol.L^{-1}$.
On obtient la courbe de **LA FIGURE A2 DE L'ANNEXE EN PAGE 11.**

2.2.1. Écrire l'équation de la réaction support du titrage (on note AH la molécule d'acide lactique).

2.2.2. Déterminer graphiquement **SUR LA FIGURE A2 DE L'ANNEXE EN PAGE 11**, le volume V_E de solution d'hydroxyde de sodium versé à l'équivalence.

2.2.3. En précisant la démarche suivie, calculer la concentration c_d en acide lactique dans la solution diluée.

2.2.4. En déduire la valeur de la concentration c en acide lactique dans le détartrant.

2.2.5. Calculer la masse d'acide lactique présente dans 1,00 L de détartrant.

2.2.6. Montrer que le pourcentage massique d'acide lactique présent dans le détartrant est cohérent avec l'indication de l'étiquette.

3. Action du détartrant sur le tartre

Dans cette partie, on cherche à évaluer le temps nécessaire à un détartrage efficace, en étudiant la cinétique d'une transformation réalisée au laboratoire.

Le tartre est essentiellement constitué d'un dépôt solide de carbonate de calcium de formule $CaCO_3$.
Lors du détartrage, l'acide lactique réagit avec le carbonate de calcium suivant la réaction d'équation :

$$CaCO_3\,(s) \;+\; 2\,AH\,(aq) \;=\; CO_2\,(g) \;+\; Ca^{2+}(aq) \;+\; 2\,A^-\,(aq) + H_2O\,(\ell)$$

Dans un ballon, on verse un volume V' = 10,0 mL de la solution diluée de détartrant précédemment dosée. On introduit rapidement une masse m = 0,20 g de carbonate de calcium. On ferme hermétiquement le ballon avec un bouchon muni d'un tube à dégagement relié à un capteur de pression. Ce capteur mesure la surpression due au dioxyde de carbone produit par la réaction qui se déroule à la température constante de 298 K. Cette surpression est équivalente à la pression du dioxyde de carbone seul dans le ballon.
Le tableau ci-dessous donne quelques valeurs de la pression du dioxyde de carbone au cours du temps.

t en s	0	10	20	30	40	50	60	80	90	100	130	150	190	270	330	420	600
$P(CO_2)$ en hPa	0	60	95	113	121	129	134	142	145	146	149	150	152	154	155	155	155

À chaque instant, l'avancement x de la réaction est égal à la quantité de matière $n(CO_2)$ de dioxyde de carbone formé. Un logiciel permet de calculer ses valeurs.

LA FIGURE A3 DE L'ANNEXE EN PAGE 12 représente l'évolution de l'avancement au cours du temps.

Données :

- loi des gaz parfaits : $P.V = n.R.T$;
  on rappelle que dans cette expression, la pression P est en pascals (Pa), le volume V en mètres cubes (m^3), la quantité de matière n en moles (mol) et la température T en kelvins (K) ;
- température lors de l'expérience : T = 298 K ;
- constante des gaz parfaits : R = 8,314 $J.mol^{-1}.K^{-1}$;
- volume occupé par le dioxyde de carbone à l'état final : V_g = 310 mL ;
- vitesse volumique de réaction : $v = \dfrac{1}{V'}.\dfrac{dx}{dt}$.

3.1. En considérant que le dioxyde de carbone se comporte comme un gaz parfait, donner l'expression de l'avancement x en fonction de la pression du dioxyde de carbone $P(CO_2)$ et du volume V_g.
3.2. Calculer la valeur de l'avancement à l'état final.
3.3. Vérifier que cette valeur est en accord avec **LA FIGURE A3 DE L'ANNEXE EN PAGE 12**.
3.4. Déterminer graphiquement le temps de demi-réaction $t_{1/2}$. La méthode doit apparaître **SUR LA FIGURE A3 DE L'ANNEXE EN PAGE 12**.
3.5. Comment évolue la vitesse volumique de réaction au cours du temps ? Justifier votre réponse à l'aide de **LA FIGURE A3 DE L'ANNEXE EN PAGE 12**.
3.6. Lors du détartrage d'une cafetière, le mode d'emploi proposé conduit à utiliser une solution un peu plus concentrée en acide lactique et à chauffer cette solution.
Quelle est en effet la conséquence sur la durée de détartrage ?

EXERCICE II - CHUTE VERTICALE D'UN BOULET (5,5 points)

Selon la légende, Galilée (1564-1642) aurait étudié la chute des corps en lâchant divers objets du sommet de la tour de Pise (Italie). Il y fait référence dans deux ouvrages : *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde* et *Discours concernant deux sciences nouvelles* dans lesquels il remet notamment en question les idées d'Aristote.

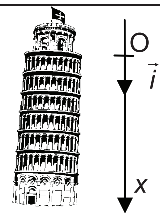


Figure 1. Représentation de la tour penchée de Pise.

Dans cet exercice, on présente trois courts extraits de ces deux livres.
Il s'agit de retrouver certains résultats avancés par Galilée concernant la chute verticale dans l'air d'un boulet sphérique en fer, lâché sans vitesse initiale.
Pour cette étude, on choisit le référentiel terrestre, supposé galiléen, auquel on adjoint un repère d'espace (Ox) vertical orienté vers le bas (**figure 1**).

Donnée :
- intensité du champ de pesanteur, supposé uniforme : $g = 9{,}8\ \text{m.s}^{-2}$.

1. Modélisation par une chute libre

1.1. Étude des hauteurs de chute

Extrait n°1 :
« Avant tout, il faut considérer que le mouvement des corps lourds n'est pas uniforme : partant du repos, ils accélèrent continuellement (…). Si on définit des temps égaux quelconques, aussi nombreux qu'on veut, et si on suppose que, dans le premier temps, le mobile, partant du repos, a parcouru tel espace, par exemple une aune*, pendant le second temps, il en parcourra trois, puis cinq pendant le troisième (…) et ainsi de suite, selon la suite des nombres impairs ».
* une aune = 1,14 m

Le boulet est lâché au point O, d'abscisse $x_0 = 0$ à la date $t_0 = 0$. On suppose l'action de l'air négligeable ; dans ce cas, l'équation horaire du mouvement du centre d'inertie G du boulet est : $x(t) = \frac{1}{2} g.t^2$.

1.1.1. Soient x_1 la distance parcourue au bout de la durée τ, x_2 la distance parcourue au bout de la durée 2τ et ainsi de suite, exprimer x_1, x_2, x_3 en fonction de g et de τ.

1.1.2. Exprimer la différence $h_1 = x_1 - x_0$ en fonction de g et de τ puis les différences $h_2 = x_2 - x_1$ et $h_3 = x_3 - x_2$ en fonction de h_1.

1.1.3. Retrouve-t-on la suite des hauteurs de chute annoncée par Galilée dans l'extrait n°1 ? Justifier.

1.2. Étude de la durée de la chute

Les points de vue d'Aristote et de Galilée, au sujet de l'influence de la masse m du boulet sur la durée totale Δt de sa chute, diffèrent.

Extrait n°2 :
« Cherchons à savoir combien de temps un boulet, de fer par exemple, met pour arriver sur la Terre d'une hauteur de cent coudées*.
Aristote dit qu'une « boule de fer de cent livres**, tombant de cent coudées, touche terre avant qu'une boule d'une livre ait parcouru une seule coudée », et je vous dis, moi, qu'elles arrivent en même temps.
Des expériences répétées montrent qu'un boulet de cent livres met cinq secondes pour descendre de cent coudées ».
* une coudée correspond à une distance de 57 cm ; ** une livre est une unité de masse

1.2.1. Parmi les propositions ci-dessous, attribuer celle qui correspond à la théorie d'Aristote et celle qui correspond à la théorie de Galilée :

a) La durée de chute augmente quand la masse du boulet augmente ;
b) La durée de chute diminue quand la masse du boulet augmente ;
c) La durée de chute est indépendante de la masse.

1.2.2. En utilisant l'expression $x(t) = \frac{1}{2} g.t^2$, calculer la durée Δt de la chute d'un boulet qui tombe d'une hauteur totale $H = 57$ m (100 coudées). Ce résultat est différent de la valeur annoncée dans l'extrait n°2. Proposer une explication à l'écart constaté.

2. Chute réelle

Galilée admet plus loin que les deux boules, de masses respectives une et cent livres, arrivent au sol avec un léger écart.

Extrait n°3 :
« Vous constatez, en faisant l'expérience, que la plus grande précède la plus petite de deux doigts, c'est à dire que quand celle-là frappe le sol, celle-ci s'en trouve encore à deux doigts. Or, derrière ces deux doigts, vous ne retrouverez pas les quatre-vingt-dix-neuf coudées d'Aristote. »

On considère que trois forces s'exercent sur un boulet pendant sa chute verticale : son poids $\vec{P}$, la poussée d'Archimède $\vec{\Pi}$ et la force de frottement $\vec{f}$.

La norme de la force de frottement a pour expression : $f = \frac{1}{2}\pi.R^2.\rho_{air}.C.v^2$

où v est la vitesse du centre d'inertie du boulet, R est le rayon du boulet et C est une constante sans unité.

Données :
- masse volumique de l'air : $\rho_{air} = 1{,}29$ kg.m^{-3} ;
- masse volumique du fer : $\rho_{fer} = 7{,}87\times10^3$ kg.m^{-3} ;
- volume d'une sphère : $V_S = \frac{4}{3}\pi.R^3$.

2.1. Lors de la chute, représenter ces trois forces sur un schéma sans souci d'échelle.
2.2. Le poids et la poussée d'Archimède sont constants pendant la chute d'un boulet. Établir le rapport de leurs expressions et en déduire que la poussée d'Archimède est négligeable.
2.3. Étude dynamique
2.3.1. Appliquer la deuxième loi de Newton. Projeter les forces sur l'axe (Ox) vertical orienté vers le bas (**figure 1**). Déterminer l'expression de la dérivée par rapport au temps de la vitesse $\frac{dv}{dt}$.
2.3.2. En déduire que l'expression de la vitesse limite v_ℓ est : $v_\ell = \sqrt{\frac{8\rho_{fer}R.g}{3\rho_{air}.C}}$.
2.3.3. Vérifier, en effectuant une analyse dimensionnelle, que l'expression de v_ℓ est bien homogène à une vitesse.
2.4. On considère deux boulets sphériques B_1 et B_2 en fer de masses respectives $m_1 = 1$ livre et $m_2 = 100$ livres et de rayons respectifs $R_1 = 2{,}2$ cm et $R_2 = 10{,}1$ cm. On note $v_{1\ell}$ et $v_{2\ell}$ les vitesses limites respectives des boulets B_1 et B_2. Exprimer le rapport $\frac{v_{2\ell}}{v_{1\ell}}$ en fonction des seuls rayons R_1 et R_2 et en déduire le boulet qui a la vitesse limite la plus élevée.
2.5. Un logiciel permet de simuler les évolutions de la vitesse $v(t)$ (**figure 2**) et de la position $x(t)$ du boulet pendant sa chute (**figure 3** et zoom de la figure 3 sur la **figure 4**). Ces courbes sont obtenues pour les trois situations suivantes :
- la chute du boulet B_1 dans l'air (**courbes c et c'**),
- la chute du boulet B_2 dans l'air (**courbes b et b'**),
- la chute libre (**courbes a et a'**).

2.5.1. Expliquer l'attribution des courbes b et c aux boulets B_1 et B_2.
2.5.2. La hauteur de chute est de 57 m. Déterminer graphiquement la date t_{sol} à laquelle le premier boulet touche le sol. S'agit-il de B_1 ou de B_2 ?
2.5.3. À quelle distance du sol se trouve l'autre boulet à cette date ? Ce résultat est-il en accord avec l'extrait n°3 ?

DOCUMENTS DE L'EXERCICE II

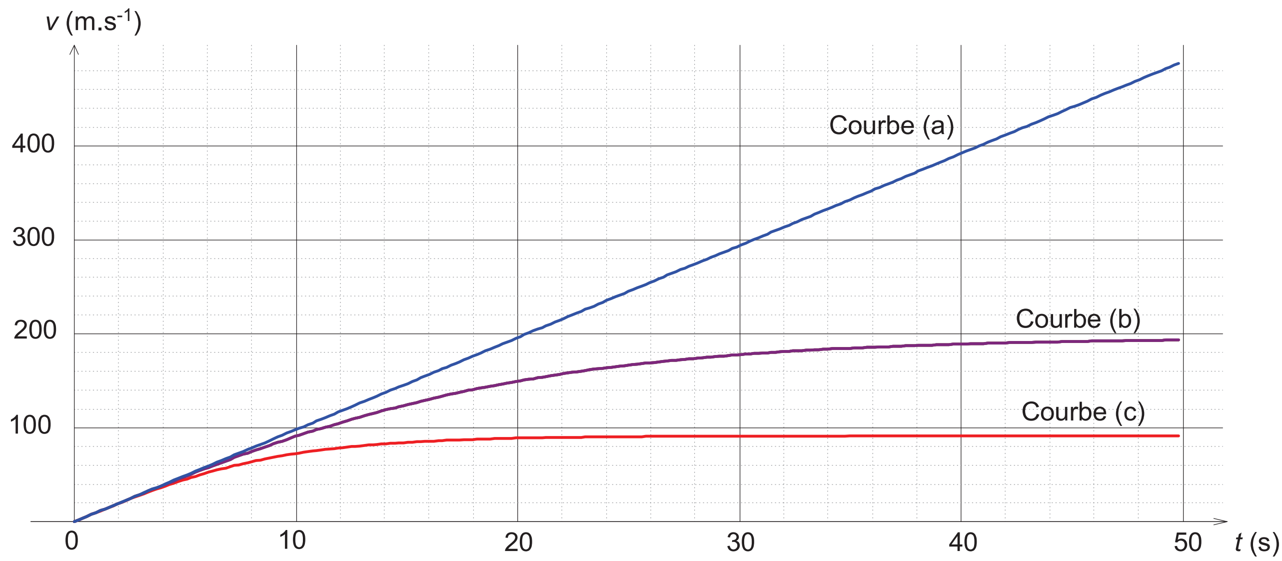


Figure 2. Évolution des vitesses

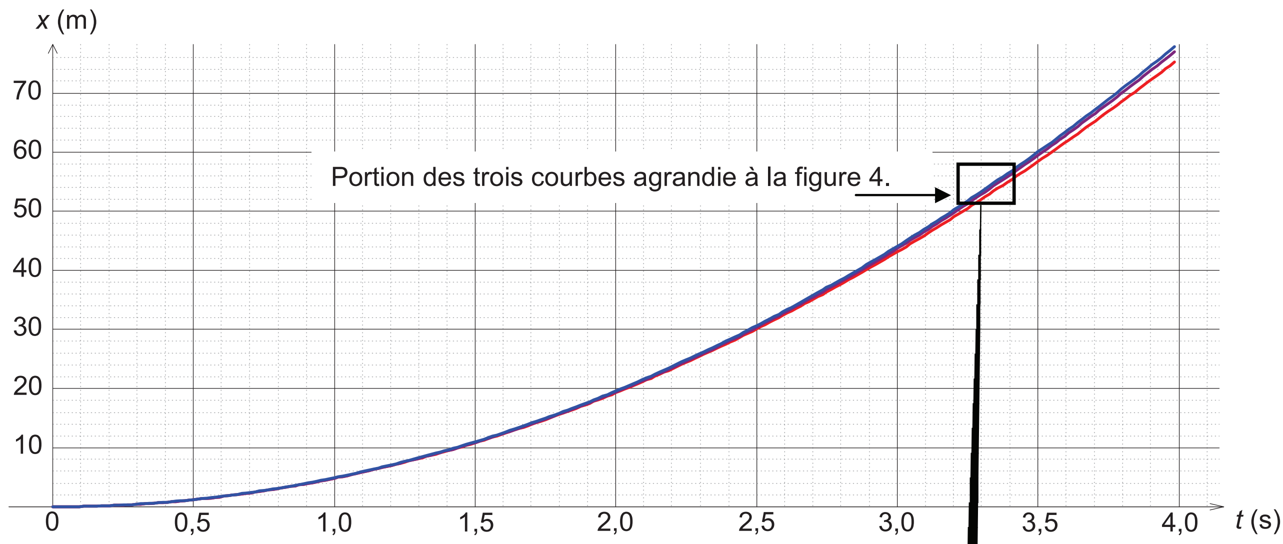


Figure 3. Évolution des positions

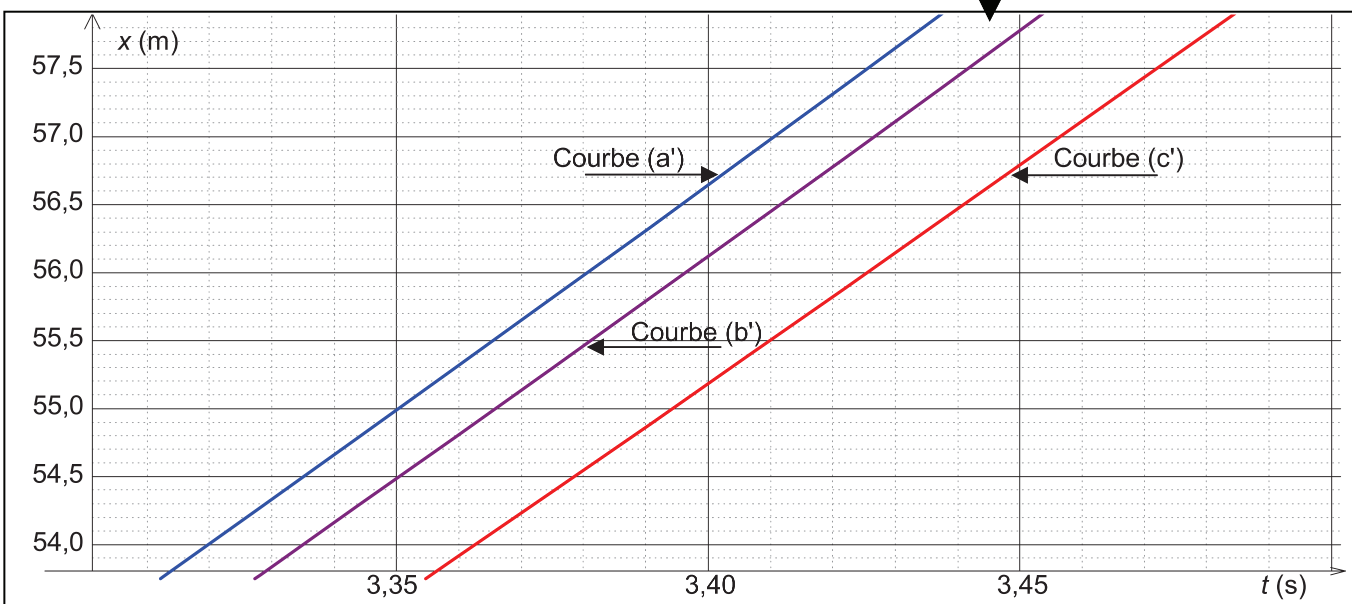


Figure 4. Zoom sur l'évolution des positions

EXERCICE III - CONCERT DE VIOLONS (4 points)

Avant de débuter un concert, les instrumentistes doivent accorder leurs instruments.
Le chef d'orchestre dispose de repères techniques simples mais efficaces pour vérifier la justesse des sons émis par l'orchestre

L'objet de cet exercice porte sur l'étude des sons émis par des violons, la vérification de l'accord entre deux violons et la participation du chef d'orchestre à ces réglages.

Pour tout l'exercice, on considère la célérité v du son dans l'air, à 20℃, égale à 340 m.s^{-1}.

Les trois parties de l'exercice sont indépendantes.

1. Le violon

La **figure 5** représente les enregistrements réalisés dans les mêmes conditions, de sons de fréquence f_1 = 440 Hz (la$_3$) émis par un violon d'une part et par un diapason d'autre part.

1.1. Parmi les caractéristiques physiques d'un son musical figurent la hauteur et le timbre. En analysant les deux oscillogrammes de la **figure 5**, préciser la caractéristique qui différencie les sons des deux émetteurs.

1.2. Quel nom donne-t-on à la fréquence f_1?

1.3. Calculer les valeurs des fréquences f_2 et f_3 présentes dans le spectre fréquentiel du violon.

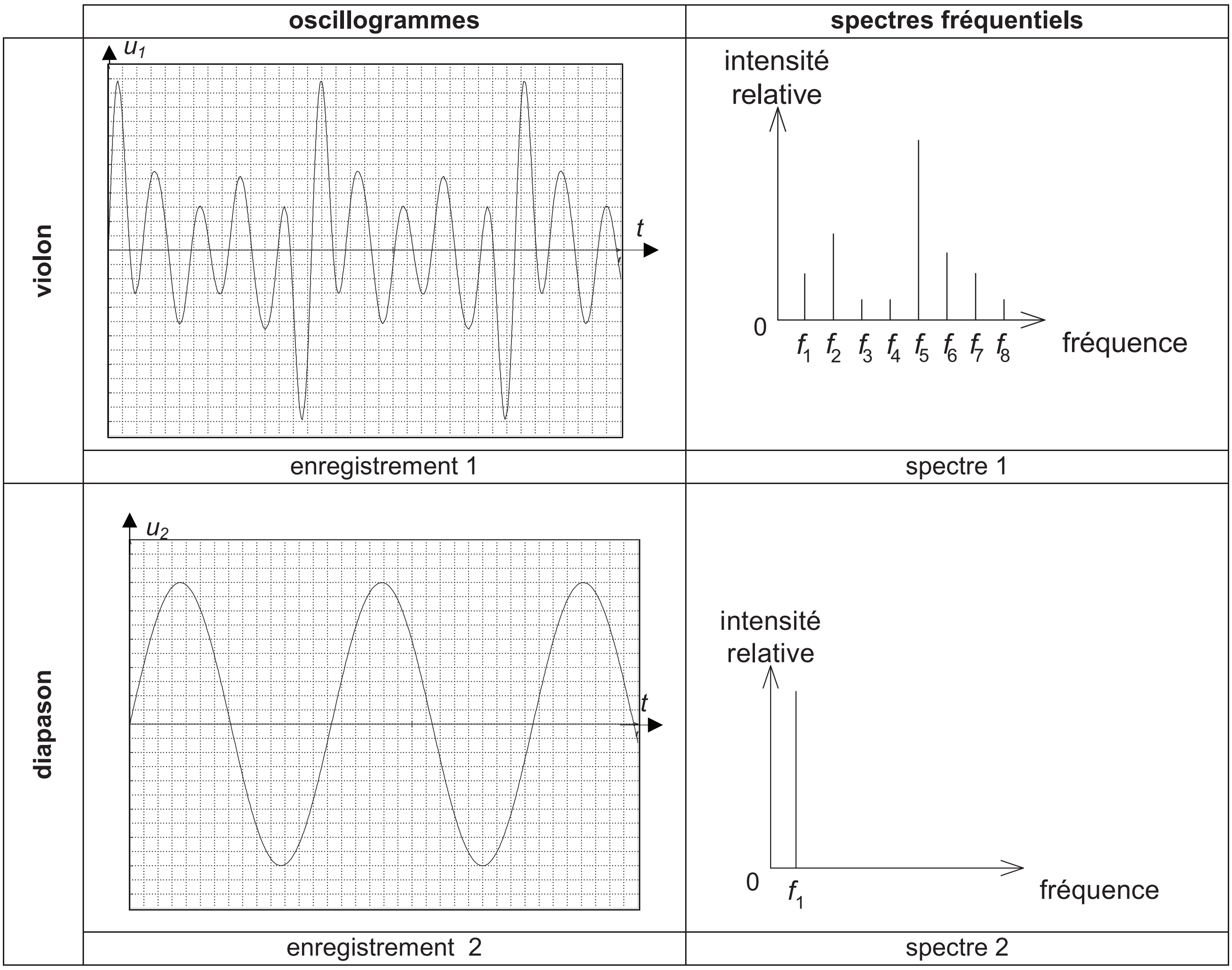


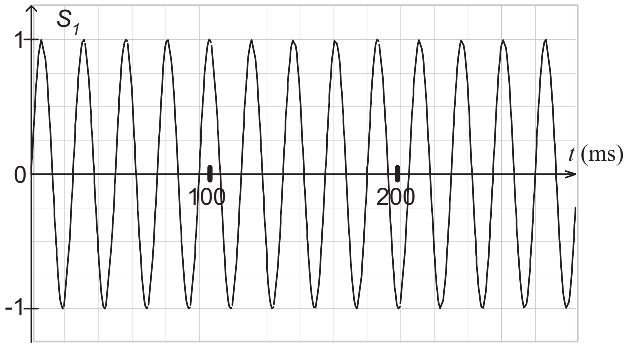
Figure 5. Enregistrements et spectres fréquentiels des deux émetteurs sonores

2. L'ensemble des violons

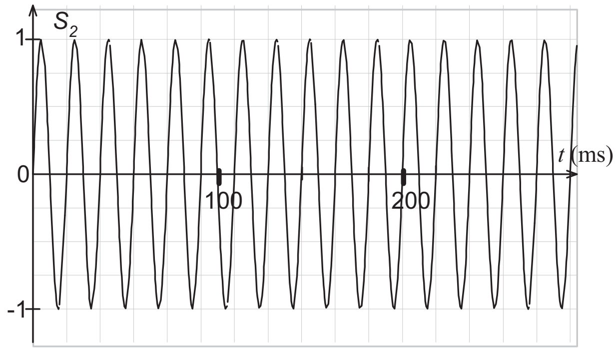
2.1. Les battements

Avant le concert, les violonistes cherchent à accorder leur instrument en jouant la note la_3 de fréquence égale à 440 Hz. La fréquence émise par chaque instrument n'étant pas rigoureusement égale à 440 Hz, le son résultant est alternativement plus ou moins intense : on entend des battements qui sont des variations périodiques de l'amplitude sonore.

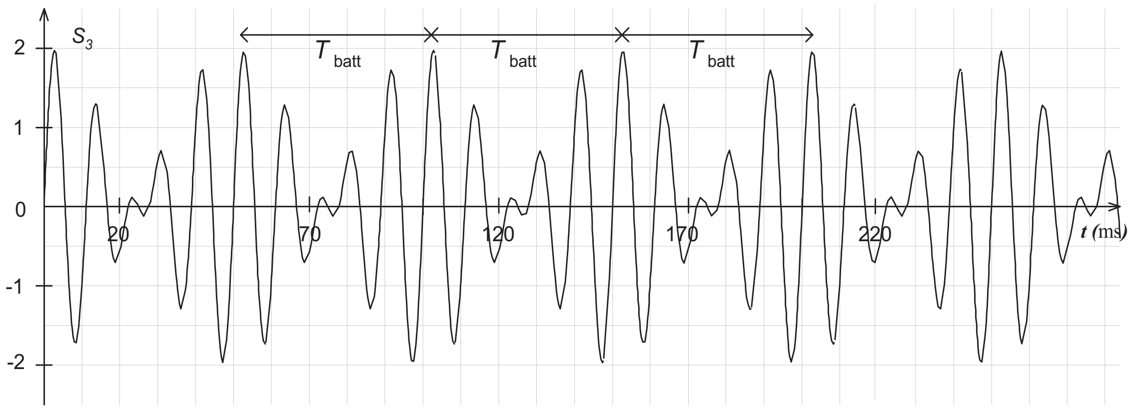
Pour rendre compte de ce phénomène, on simule à l'aide d'un ordinateur des signaux dont les fréquences f_a (courbe 1 de la **figure 6**) et f_b (courbe 2 de la **figure 6**) diffèrent légèrement : f_a = 420 Hz et f_b = 460 Hz.
Ensuite, on effectue l'addition de ces deux signaux (courbe 3 de la **figure 6**).
Les courbes obtenues sont rassemblées **figure 6** ci-dessous.



courbe 1



courbe 2



courbe 3

Figure 6. Courbes simulant les signaux sonores

2.1.1. La période des variations d'amplitude, encore appelées battements, est notée T_{batt} (voir courbe 3 de la **figure 6**). On souhaite vérifier que $f_{batt} = \frac{1}{T_{batt}} = \frac{f_b - f_a}{2}$. Pour cela, déterminer la valeur de f_{batt} à partir de la courbe 3 et la comparer à celle de $\frac{f_b - f_a}{2}$.

2.1.2. Lorsque le musicien constate l'arrêt des battements, que peut-il en conclure ?

2.2. Comment accorder les violons ?

2.2.1. On considère une corde de violon. On note L la distance entre les deux points d'attache sur l'instrument. Excitée dans son mode fondamental à la fréquence f_0, la corde est le siège d'ondes stationnaires, on observe un fuseau. Donner la relation entre L et la longueur d'onde λ.

2.2.2. Les ondes stationnaires résultent de la superposition d'ondes progressives de célérité v. Exprimer v en fonction de f_0 et L.

2.2.3. On donne $v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$ avec F la valeur de la tension de la corde et μ sa masse linéique. Vérifier l'homogénéité de cette équation.

2.2.4. Donner une expression de la fréquence f_0 en fonction de F, μ et L.

2.2.5. Si la corde d'un violon émet un son de fréquence 460 Hz, comment doit-on agir sur la corde pour retrouver la note la_3 de fréquence 440 Hz ?

2.3. Niveau sonore et intensité

Au début du concert, un groupe musical comportant dix violons se produit.

On rappelle que le niveau sonore, exprimé en décibels (dB) d'une source sonore est donné par la formule :

$$L_1 = 10 \times \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right)$$

Avec : I_0 : Intensité de référence correspondant à l'intensité minimale audible : $1{,}0 \times 10^{-12}$ W.m^{-2} ;

I_1 : Intensité sonore donnée par une source sonore en W.m^{-2}.

Soit pour n sources sonores : $L_n = 10 \times \log\left(\frac{n.I_1}{I_0}\right)$

On rappelle : log (a×b) = log a + log b

2.3.1. Vérifier que le niveau sonore minimal perceptible est de 0 dB.

2.3.2. On estime à 70 dB le niveau sonore produit par un seul violon à 5 m. Calculer le niveau sonore produit par le groupe musical. On considère que tous les violons sont à 5 m de l'auditeur.

2.3.3. L'exposition à une intensité sonore $I = 1{,}0 \times 10^{-1}$ W.m^{-2} peut endommager l'oreille de l'auditeur. Combien de violons doivent jouer pour atteindre cette intensité pour un auditeur situé à 5 m ? Conclure.

3. Conduite d'un orchestre à l'oreille

L'octave entre deux notes, obtenue historiquement en divisant la longueur d'une corde d'instrument par deux, pour obtenir ainsi une fréquence double, est devenue le support des gammes en musique.

Dans la gamme dite tempérée, l'octave est divisée en douze intervalles de fréquences appelés demi-tons tels que le rapport des fréquences de deux notes successives soit le même.

Si on note f_1, f_2, ...f_i, f_{i+1}... , f_{13} les fréquences séparées par un demi-ton, on obtient $\frac{f_{13}}{f_1} = 2$ par définition de l'octave.

3.1. Vérifier que pour deux fréquences successives f_i et f_{i+1} séparées par un demi-ton le rapport constant des deux fréquences $\frac{f_{i+1}}{f_i}$ est égal à $2^{\frac{1}{12}}$.

3.2. Un chef d'orchestre dispose de capacités auditives développées qui lui permettent de distinguer et reconnaître précisément et en particulier la note la_3 et la note si_3 située deux demi-tons au-dessus. Calculer la fréquence de la note si_3 sachant que celle du la_3 est égale à 440 Hz.

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

Équation chimique					
État du système	Avancement (mol)	Quantités de matière (mol)			
État initial	$x = 0$				
État final	x_f				

Tableau A1. Tableau descriptif de l'évolution du système

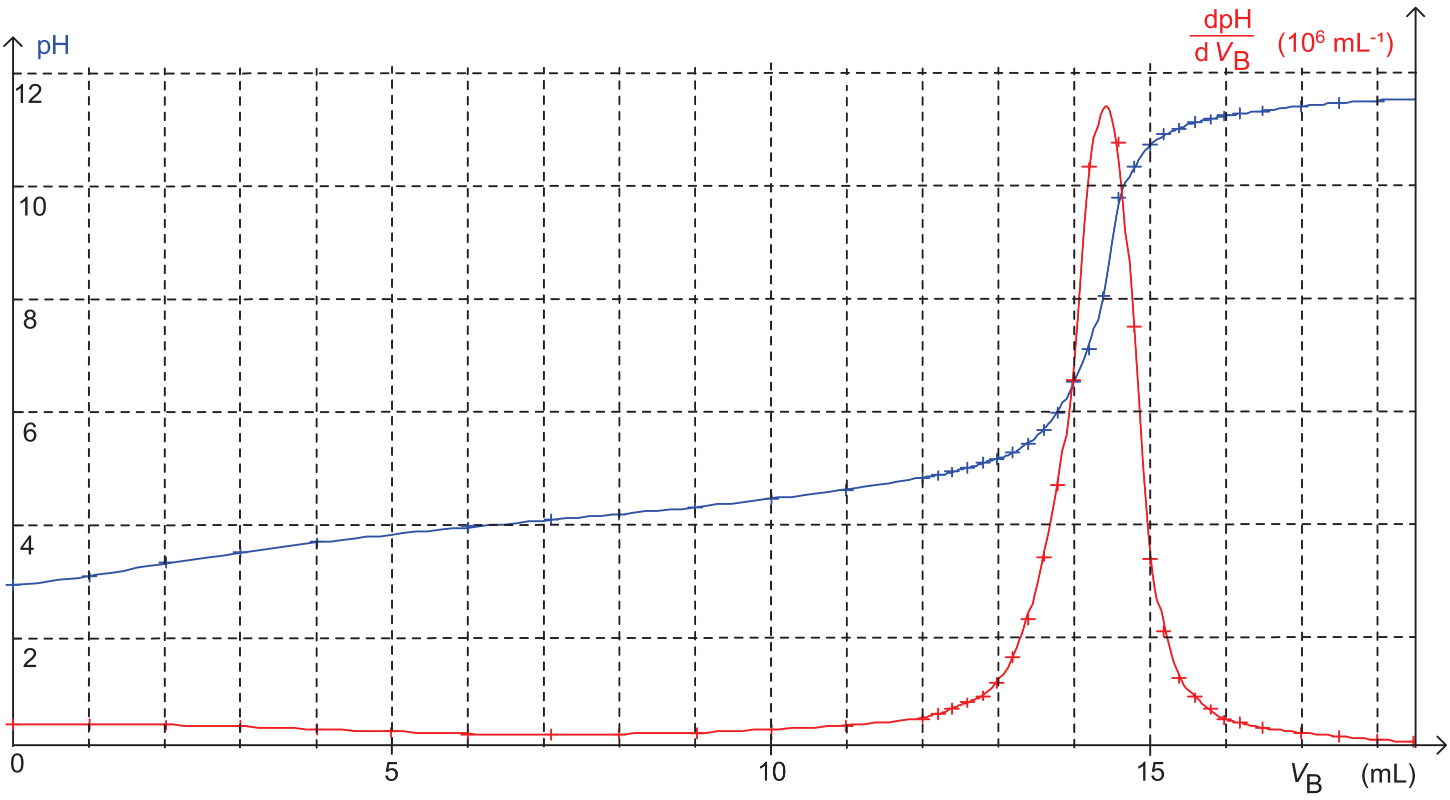


Figure A2. Courbes d'évolution de pH et de $\frac{dpH}{dV_B}$ en fonction du volume V_B de solution d'hydroxyde de sodium versé

ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE

ANNEXE DE L'EXERCICE I

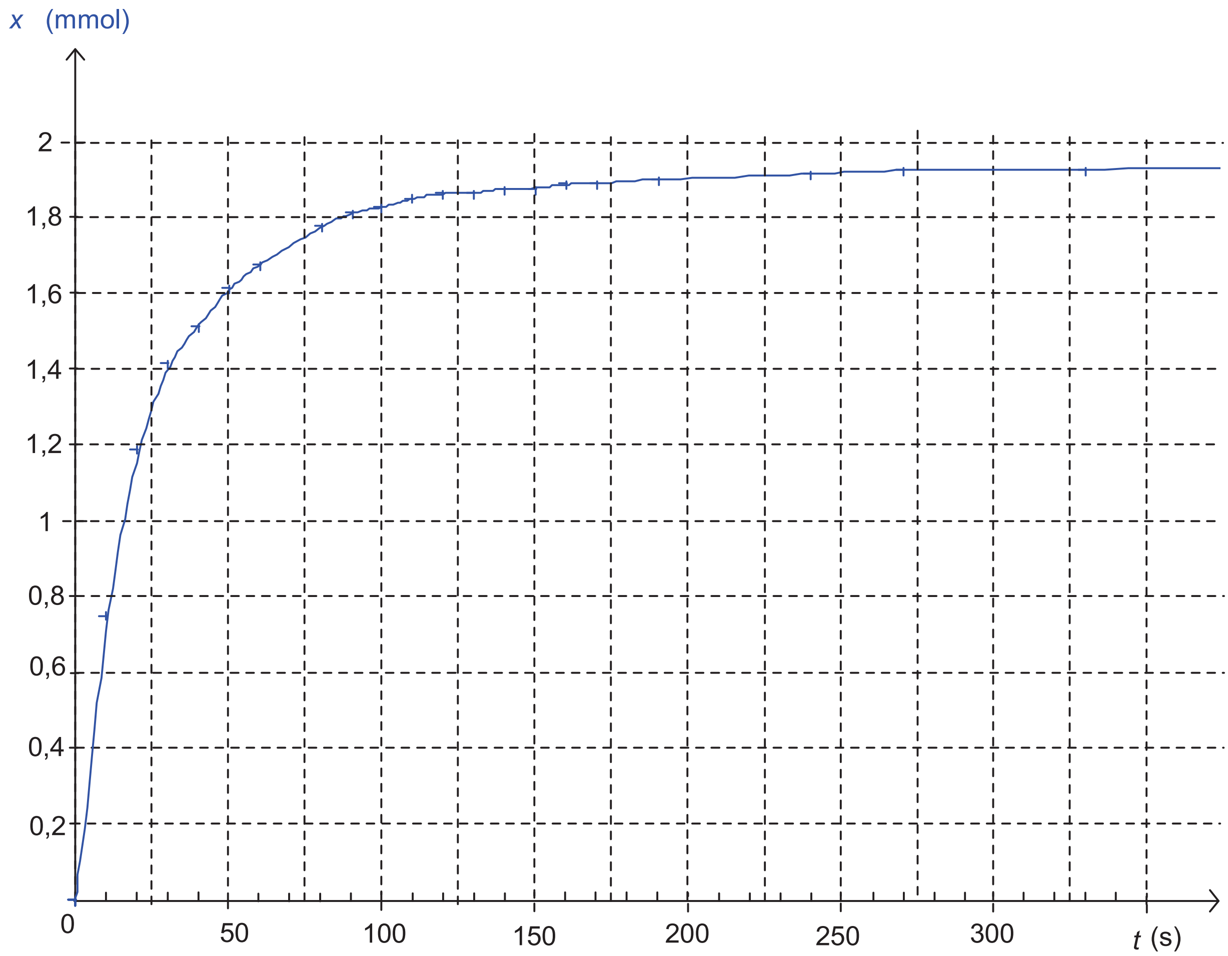


Figure A3. Courbe d'évolution de l'avancement au cours du temps