BACCALAURÉAT GÉNÉRAL BLANC

PHYSIQUE-CHIMIE

Epreuve de spécialité

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30**

L'usage d'une calculatrice EST autorisé

SUJET 1

Exercice 1 : **LE MIEL ET LES ABEILLES** (9 POINTS)

Exercice 2 : **LA MASSE DE LA TERRE** (6 POINTS)

Exercice 3 : **ACOUSTIQUE D´UNE SALLE** (5 POINTS)

EXERCICE 1 : LE MIEL ET LES ABEILLES (9 POINTS)

Partie A : Du nectar au miel
L'équation de la réaction d'hydrolyse est la suivante :

$C_{12}H_{22}O_{11}$	+	H_2O	$\rightarrow$	$C_6H_{12}O_6$	+	$C_6H_{12}O_6$
saccharose (S)		eau		glucose (G)		fructose (F)

La température à l'intérieur de la ruche reste égale à 35 °C.

À température constante, à *pH* = 5 constant, on mélange du saccharose avec de l'eau (sans invertase) et on suit l'évolution de la concentration du saccharose en fonction du temps. On obtient le graphique représenté sur la **figure 1**. [S] désigne la concentration en saccharose à l'instant *t* :

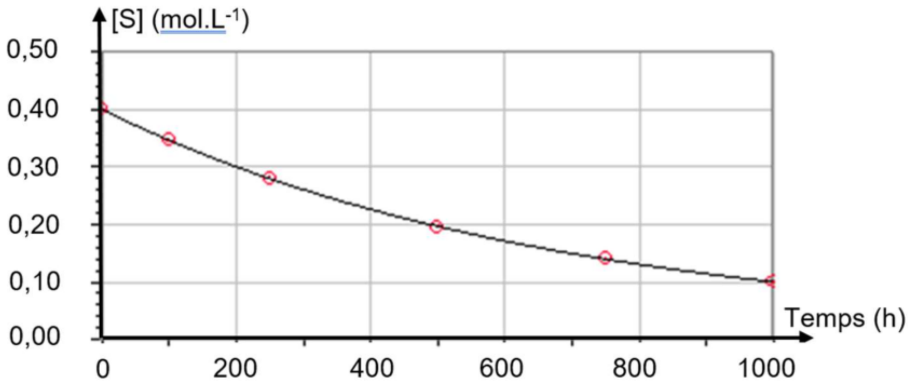


Figure 1 : Graphique représentant l'évolution de la concentration [S] en fonction du temps.

Source : dlecorgnechimie.fr

A.1. Justifier en quoi la transformation chimique peut être considérée comme lente.

La figure 1 montre que la concentration en saccharose [S] diminue lentement. Au bout de 1000 h, la concentration [S] continue encore de diminuer. C'est bien une transformation lente.

A.2. En utilisant la figure 1, déterminer la concentration initiale en saccharose $[S]_0$?

On lit à la date *t* = 0 h, $[S]_0$ = 0,40 mol.L^{-1}.

A.3. Estimer, en expliquant la démarche, la valeur du temps de demi-réaction $t_{½}$.

Au bout d'une durée égale au temps de demi-réaction, l'avancement a atteint la moitié de sa valeur finale. Le réactif limitant est donc à moitié consommé.
On cherche la date pour laquelle $[S] = [S]_0/2$.
On lit $t_{1/2}$ = 500 h.

A.4. Définir la vitesse volumique de disparition v_{disp} du saccharose en fonction de la concentration en saccharose [S].

$$v_{disp} = -\frac{d[S]}{dt}$$

La vitesse de disparition est égale à l'opposé de la dérivée de la concentration en réactif [S] par rapport au temps.

A.5. Indiquer, en justifiant qualitativement, comment varie la vitesse de disparition du saccharose au cours du temps.

La dérivée de [S] par rapport au temps est égale au coefficient directeur de la tangente à la courbe représentative de [S].

La tangente est initialement très inclinée, la dérivée est très négative donc la vitesse qui lui est opposée est positive et très élevée.

Au cours du temps, la tangente devient moins pentue, la dérivée est moins négative, la vitesse diminue.

On fait l'hypothèse que l'hydrolyse du saccharose suit une loi
Dans ce cas, on montre que la concentration en saccharose [
$- k \times t$ + ln[S]$_0$ avec t le temps (en h), k la constante de vitesse
l'expérience (en h^{-1}) et ln[S]$_0$ le logarithme népérien de la con
saccharose (sans unité).

Les valeurs de ln[S] ont été calculées puis modélisées par la fonction ln[S] = $- k \times t$ + ln[S]$_0$ à l'aide d'un programme Python. On obtient alors le graphique représenté sur la **figure 2**.

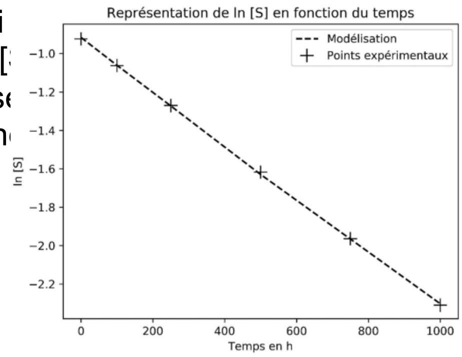


Figure 2 : Graphique représentant les données expérimentales et la modélisation

A.6. À partir de la modélisation représentée sur la figure 2, justifier que l'hypothèse de la cinétique d'ordre 1 est validée.

Dans l'hypothèse d'une cinétique d'ordre 1, on nous indique que ln[S] = $- k \times t$ + ln[S]$_0$.
ln[S] est donc modélisée par une fonction affine du temps.

La représentation graphique de la figure 2 montre une droite de coefficient directeur négatif ce qui est bien accord avec ce modèle où le coefficient directeur est négatif et égal à $-k$.

Partie B : Mesure de l'acidité libre d'un miel de châtaignier

La teneur en acidité libre d'un miel s'exprime en milli-équivalents d'acide par kg de miel (mEq/kg) Elle correspond à la quantité de matière en mmol d'acide gluconique présent dans 1,0 kg de miel. Pour respecter la règlementation européenne, l'acidité libre d'un miel ne doit pas dépasser 50 mEq/kg.

Données :

- Couple acido-basique acide gluconique / ion gluconate :
  $C_5H_{11}O_5COOH(aq)$ / $C_5H_{11}O_5COO^-(aq)$

Protocole pour mesurer l'acidité libre du miel :

– Préparer un bécher avec 50,0 mL de solution aqueuse contenant 5,00 g de miel.
– Remplir la burette graduée avec la solution titrante d'hydroxyde de sodium ($Na^+(aq)$ + $HO^-(aq)$) de concentration $C_B = 1,00 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1}.
– Placer la sonde pH-métrique dans le bécher et mettre en marche l'agitateur magnétique.
– Tracer la courbe représentant le pH en fonction du volume de la solution titrante.

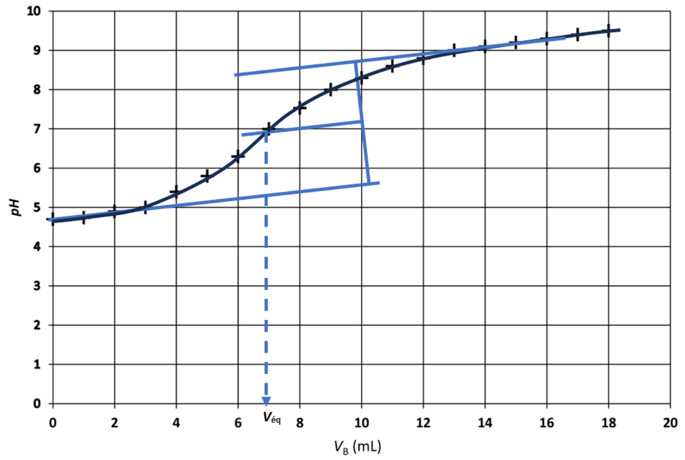


Figure 3 : Graphique représentant l'évolution du pH de la solution titrée en fonction du volume V_B de solution titrante versé.

B.1. Donner la définition d'un acide selon Brönsted.
Selon Bronsted, un acide est une espèce chimique capable de céder un proton H^+.
B.2. Si on considère que l'acide gluconique est le seul acide présent dans le miel, écrire l'équation de la réaction support du titrage.
$C_5H_{11}O_5COOH(aq) + HO^-(aq) \rightarrow C_5H_{11}O_5COO^-(aq) + H_2O(\ell)$
B.3. Définir l'équivalence d'un titrage.
À l'équivalence, il y a changement de réactif limitant.
B.4. Déterminer si le miel de châtaignier respecte la règlementation européenne.
Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter sa démarche. Toute démarche, même non aboutie, sera valorisée.
Pour respecter la règlementation européenne, l'acidité libre d'un miel ne doit pas dépasser 50 mEq/kg.
Elle correspond à la quantité de matière en mmol d'acide gluconique présent dans 1,0 kg de miel.
À l'aide du titrage déterminons la quantité de matière présente dans 5,0 g de miel.
À l'équivalence les réactifs ont été introduits dans les proportions stœchiométriques
$n_{acide} initiale = n_{HO^-} versée$.
$n_{acide} initiale = C_B.V_{éq}$
À l'aide de la méthode des tangentes, on lit le volume équivalent $V_{éq}$ = 7,0 mL.

$n_{acide} initiale = C_B.V_{éq}$
$n_{acide} initiale = 1,00 \times 10^{-2}$ mol · L^{-1} × $7,0 \times 10^{-3}$ L = $7,0 \times 10^{-5}$ mol = 0,070 mmol dans 5,0 g de miel
Par proportionnalité, dans 1,0 kg, on aura 200 fois plus d'acide.
n_{acide} = 200×0,070 = 14 mmol
L'acidité libre de ce miel vaut donc 14 mEq/kg < 50 mEq/kg donc ce miel respecte la législation européenne.

<u>Partie C :</u> Phéromone d'attaque de l'abeille

$C_5H_{12}O$	+	$C_4H_6O_3$	$\rightarrow$	$C_7H_{14}O_2$	+	$C_2H_4O_2$
3-méthylbutan-1-ol		**Anhydride éthanoïque**		**Éthanoate de 3-méthylbutyle**		**acide éthanoïque**

<u>Protocole :</u> Pour obtenir l'éthanoate de 3-méthylbutyle, on chauffe à reflux un volume V_1 = 9,9 mL de 3-méthylbutan-1-ol avec un volume V_2 = 8,6 mL d'anhydride éthanoïque, en présence d'acide sulfurique. Après séparation et rinçage, on obtient une quantité de matière finale d'éthanoate de 3-méthylbutyle $n_f = 7,4 \times 10^{-2}$ mol.

<u>Données :</u>

Espèces chimiques	**Masse molaire** (g · mol^{-1})	**Masse volumique ρ** (g · mL^{-1})	**Température d'ébullition** (°C)	**Solubilité dans l'eau**
3-méthylbutan-1-ol	88,1	0,81	128	Très peu soluble
Anhydride éthanoïque	102,1	1,08	139	Très soluble
Éthanoate de 3-méthylbutyle	130,2	0,87	142	Très peu soluble

C.1. Justifier le double intérêt du chauffage à reflux.
Le chauffage à reflux permet d'augmenter la température qui est un facteur cinétique. Ainsi cela permet d'augmenter la vitesse de disparition des réactifs.
Par ailleurs, il empêche la perte de matière par vaporisation, car le réfrigérant permet de liquéfier les vapeurs qui retombent dans le milieu réactionnel.

C.2. À l'aide du protocole et des données, vérifier que la quantité de matière initiale du 3-méthylbutan-1-ol est n_1 = 9,1 × 10^{-2} mol et que la quantité de matière initiale d'anhydride éthanoïque est n_2 = 9,1 × 10^{-2} mol.

Quantité de matière initiale du 3-méthylbutan-1-ol :

$$n_1 = \frac{m_1}{M_1} = \frac{\rho . V_1}{M_1}$$

$$n_1 = \frac{0{,}81\ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 9{,}9\ \text{mL}}{88{,}1\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 9{,}1 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

Quantité de matière initiale d'anhydride éthanoïque

$$n_2 = \frac{m_2}{M_2} = \frac{\rho . V_2}{M_2}$$

$$n_2 = \frac{1{,}08\ \frac{\text{g}}{\text{mL}} \times 8{,}6\ \text{mL}}{102{,}1\ \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 9{,}1 \times 10^{-2}\ \text{mol}$$

C.3. Montrer que le rendement de la synthèse est d'environ 81 %.

$$\eta = \frac{n_{\text{ester expérimentale}}}{n_{\text{ester théorique}}}$$

D'après l'équation de la transformation, il se forme autant d'ester que l'on a consommé d'alcool.

$$\eta = \frac{n_f}{n_1}$$

$$\eta = \frac{7{,}4 \times 10^{-2}}{9{,}1 \times 10^{-2}} = 0{,}81 = 81\%$$

C.4. Proposer une méthode permettant d'améliorer ce rendement.

On peut mettre un des deux réactifs en excès.

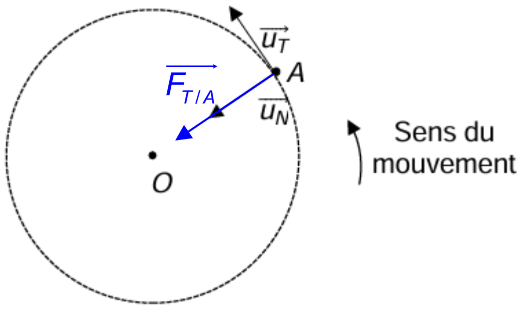
EXERCICE 2 : LA MASSE DE LA TERRE (6 POINTS)

Mesure de la masse de la Terre à l'aide d'un satellite

1. Reproduire la figure 1 sur votre copie et représenter sans souci d'échelle, la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{T/A}}$ exercée par la Terre sur le satellite.

2. Donner l'expression vectorielle de la force gravitationnelle $\overrightarrow{F_{T/A}}$ en fonction du vecteur unitaire $\overrightarrow{u_N}$, de G, M_T, m et r.

$$\overrightarrow{F_{T/A}} = G.\frac{M_T.m}{r^2}.\overrightarrow{u_N}$$



3. En appliquant la deuxième loi de Newton au centre de masse A du satellite, établir que sa vitesse a pour expression $v = \sqrt{\frac{G.M_T}{r}}$.

Système : satellite Référentiel géocentrique

Inventaire des forces : le satellite n'est soumis qu'à l'attraction gravitationnelle de la Terre.

Deuxième loi de Newton : $\Sigma\overrightarrow{F_{ext}} = \overrightarrow{F_{T/A}} = m.\vec{a}$

$$m.\vec{a} = G.\frac{M_T.m}{r^2}.\overrightarrow{u_N}$$

$$\vec{a} = G.\frac{M_T}{r^2}.\overrightarrow{u_N}$$

Dans le cas d'un mouvement circulaire et uniforme, l'accélération est également définie par

$$\vec{a} = \frac{v^2}{r}.\overrightarrow{u_N}.$$

Ainsi $\frac{v^2}{r}.\overrightarrow{u_N} = G.\frac{M_T}{r^2}.\overrightarrow{u_N}$

Donc $v^2 = G.\frac{M_T}{r}$ et finalement on retrouve $v = \sqrt{\frac{G.M_T}{r}}$.

4. À l'aide de l'expression littérale de la vitesse *v* du satellite et de la définition de la période de révolution *T* du satellite autour de la Terre, vérifier que l'expression de la troisième loi de Kepler est : $\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_T}$.

Pendant une période de révolution T, le satellite parcourt l'orbite circulaire de périmètre $2\pi r$ à la vitesse v.

$$v = \frac{d}{\Delta t} = \frac{2\pi r}{T}$$

$$v^2 = \frac{4\pi^2 r^2}{T^2} = \frac{GM_T}{r}$$

$$4\pi^2 r^2.r = T^2.G.M_T$$

$$\frac{T^2}{r^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_T}$$

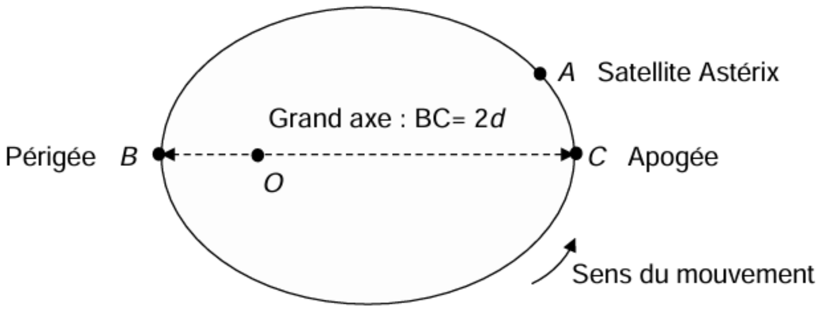


Figure 2. Trajectoire elliptique du satellite Astérix.

Données :
- Grand axe : $BC = 2d$;
- Distance entre le périgée et le centre de la Terre : $D_{OB} = 6{,}89\times10^{6}$ m ;
- Distance entre l'apogée et le centre de la Terre : $D_{OC} = 8{,}07\times10^{6}$ m ;
- Constante de gravitationnelle universelle : $G = 6{,}67\times10^{-11}$ $m^3\cdot kg^{-1}\cdot s^{-2}$.

5. En vous aidant de la figure 2 et des données, calculer la valeur du demi-grand axe *d* de l'ellipse de la trajectoire du satellite Astérix.

$BC = 2d = D_{OB} + D_{OC}$

$$d = \frac{D_{OB} + D_{OC}}{2}$$

$$d = \frac{6{,}89\times10^{6} + 8{,}07\times10^{6}}{2} = 7{,}48\times10^{6}\ \text{m}$$

Le satellite Astérix effectue 1400 révolutions autour de la Terre en une durée Δt d'une valeur égale à $9{,}03\times10^{6}$ s.

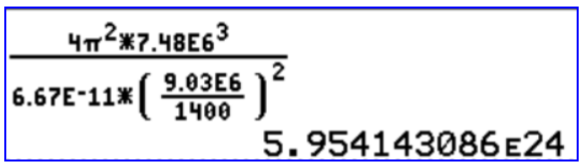
6. En exploitant l'expression de la période *T* de révolution d'un satellite en orbite elliptique, calculer la masse M_T de la Terre.

$$\frac{T^2}{d^3} = \frac{4\pi^2}{G.M_T}$$

donc $M_T = \dfrac{4\pi^2.d^3}{G.T^2}$

Avec $T = \dfrac{\Delta t}{n}$, on a alors $M_T = \dfrac{4\pi^2.d^3}{G.\left(\dfrac{\Delta t}{n}\right)^2}$

$$M_T = \frac{4\pi^2 \times \left(7{,}48\times10^{6}\right)^3}{6{,}67\times10^{-11}\times\left(\dfrac{9{,}03\times10^{6}}{1400}\right)^2} = 5{,}95\times10^{24}\ \text{kg}$$



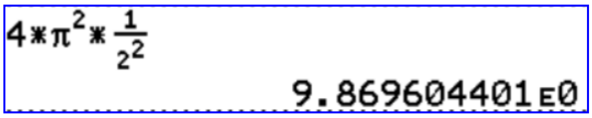
Mesure de la masse de la Terre à l'aide d'un pendule.
On représente les variations de l'angle θ en fonction du temps pour un pendule de longueur ℓ = 1,0 m sur la figure 3.

7. Exploiter la figure 3 pour déterminer, le plus précisément possible, la valeur de la période T des oscillations du pendule.
Entre 0,5 s et 8,5 s, il s'écoule 4 périodes.
Donc $T = (8{,}5 - 0{,}5) / 4 = 2{,}0$ s.

On admet que l'expression de la période des oscillations du pendule est $T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ avec ℓ la longueur du pendule, en mètres, et T la période des oscillations, en secondes.

8. Calculer la valeur de l'intensité de pesanteur g.

$T = 2\pi\sqrt{\frac{\ell}{g}}$ donc $T^2 = 4\pi^2.\frac{\ell}{g}$ ainsi $g = 4\pi^2.\frac{\ell}{T^2}$



$g = 4\pi^2 \times \frac{1{,}0}{2{,}0^2}$ = 9,9 m.s^{-2} en ne conservant que deux chiffres significatifs.

Donnée : Distance entre le pendule et le centre de la Terre : R_T = 6,37×10^3 km.

9. En considérant que le poids P du pendule est de valeur égale à la force d'interaction gravitationnelle F exercée par la Terre sur le pendule, déterminer la valeur M_T de la masse de la Terre.

$F = P$

$$G.\frac{M_T.m}{R_T^2} = m.g$$

$$G.\frac{M_T}{R_T^2} = g$$

$$M_T = \frac{g.R_T^2}{G}$$

$$M_T = \frac{9{,}86904401 \times \left(6{,}37 \times 10^3 \times 10^3\right)^2}{6{,}67 \times 10^{-11}} = 6{,}0 \times 10^{24} \text{ kg}$$

On représente les variations de l'angle θ en fonction du temps pour un pendule de longueur ℓ = 1,0 m sur la figure 3.

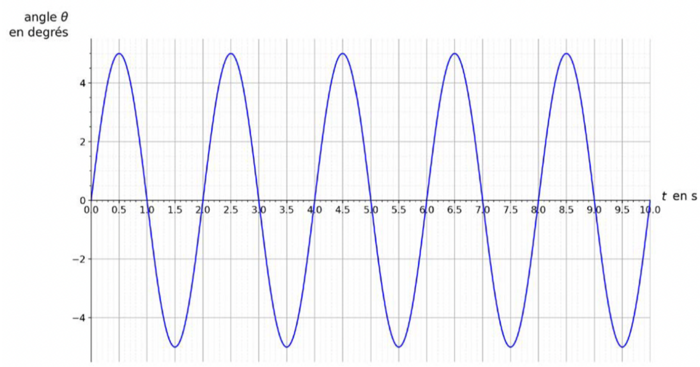


Figure 3. Variations de l'angle θ en fonction du temps.

EXERCICE 3 : ACOUSTIQUE D´UNE SALLE (5 POINTS)

1. En utilisant le schéma : $\tan\theta = \dfrac{L/2}{D} = \dfrac{L}{2.D}$

En utilisant l'approximation des petits angles : $\tan\theta \approx \theta$ donc $\theta = \dfrac{L}{2.D}$ (avec θ en radians)

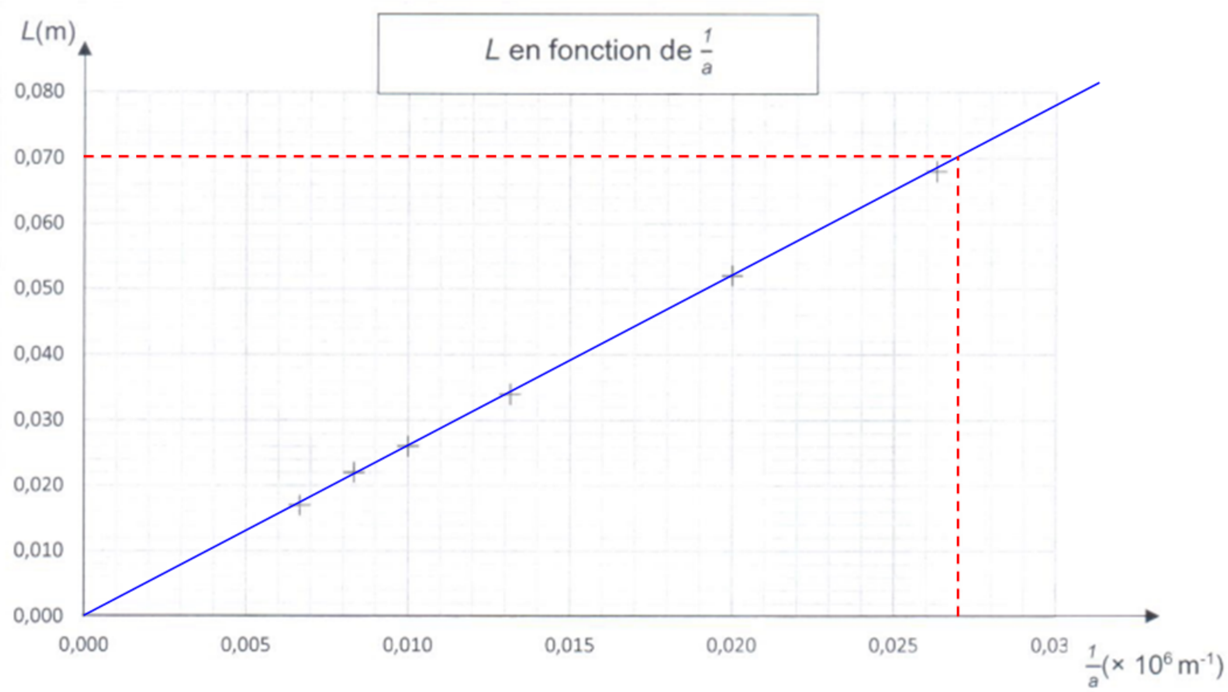
Or, $\theta = \dfrac{\lambda}{a}$ donc $\dfrac{L}{2.D} = \dfrac{\lambda}{a} \Leftrightarrow L = \dfrac{2.\lambda.D}{a}$.

2. Dans la figure 2, la courbe représentative de $L = f\left(\dfrac{1}{a}\right)$ est une droite passant par l'origine : elle peut être modélisée par une fonction linéaire, soit $L = k \times \dfrac{1}{a}$ où k est le coefficient directeur de la droite.

3. D'après la question **1.** : $L = \dfrac{2.\lambda.D}{a}$, or $L = k \times \dfrac{1}{a}$ donc par identification $k = 2 \times D \times \lambda$.

4. $k = 2 \times D \times \lambda$ donc $\lambda = \dfrac{k}{2.D}$ (avec D = 2,00 m)

Déterminons k (coefficient directeur) : $k = \dfrac{\Delta L}{\Delta\left(1/a\right)} = \dfrac{0{,}070 - 0}{0{,}027 \times 10^{6} - 0} = 2{,}6 \times 10^{-6}\ \text{m}^2$



Ainsi $\lambda = \dfrac{2{,}6 \times 10^{-6}}{2 \times 2{,}00} = 6{,}5 \times 10^{-7}\,\text{m}$.

5. $\theta_2 = \dfrac{\lambda}{a_2}$

$\theta_2 = \dfrac{6{,}5 \times 10^{-7}}{150 \times 10^{-6}} = 4{,}3 \times 10^{-3}\ \text{rad}$.

6. Ainsi, $\theta_1 > \theta_2$ donc la diffraction est plus marquée pour la fente 1 *(plus une ouverture est petite et plus le phénomène de diffraction est marqué)*.

Étude de la diffraction des ondes sonores

7. La longueur d'onde étant la distance parcourue par l'onde sonore à la célérité v_{son} durant une période T :

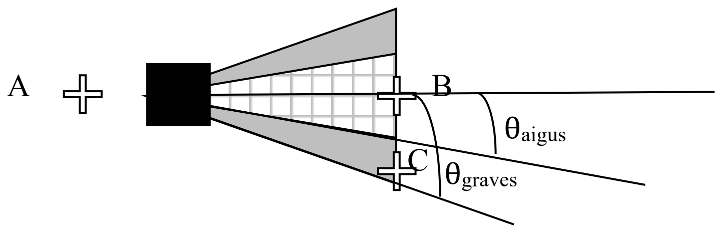
$$\lambda = v_{son}.T = \frac{v_{son}}{f}$$

8. $\lambda_1 = \frac{v_{son}}{f_1} = \frac{340}{200} = 1{,}70\text{ m}$ et $\lambda_2 = \frac{v_{son}}{f_2} = \frac{340}{1{,}00 \times 10^3} = 0{,}340\text{ m}$

9. Si l'élève perçoit mieux les sons graves de fréquence f_1 que les sons aigus de fréquence f_2, c'est parce que les sons subissent plus ou moins le phénomène de diffraction dû à l'obstacle qu'est le pilier de dimension 0,70 m.

En utilisant la relation $\theta = \frac{\lambda}{a}$, on en déduit que pour une même largeur a du pilier, plus λ est grande et plus l'écart angulaire θ est grand alors le phénomène de diffraction est davantage perceptible.

$\lambda_1 > \lambda_2$ donc les sons graves sont plus diffractés que les sons aigus. Les sons graves sont donc entendus sur une plus large étendue que les sons aigus.
Au point C, on entend mieux les sons graves que les sons aigus.
Au point A, il n'y a pas de diffraction ; on y entend aussi bien les graves que les aigus.
Au point B, la diffraction ne permet pas de séparer graves et aigus.



***Remarque** : pour la même raison, lorsqu'on entend la musique qui s'échappe d'une fête à travers une porte ou une fenêtre ouverte, on reçoit davantage de sons graves que de sons aigus car ils sont moins diffractés à travers l'ouverture.*