

### Exercice 1 : Interférence acoustique

La figure 1 représente un trombone de Kœnig. C'est un système interférentiel acoustique constitué d'une entrée ( $E$ ) et d'une sortie ( $S$ ) reliées par deux tubes en U dont l'un est muni d'une coulisse télescopique.

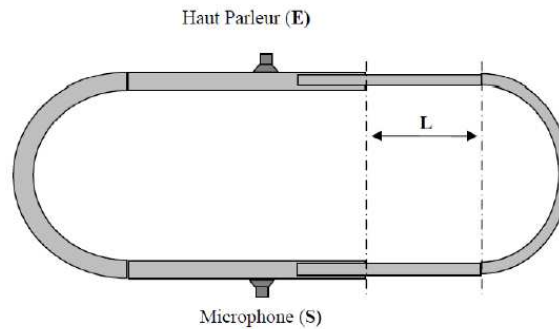


FIGURE 1 – Trombone de Kœnig

Un haut-parleur, placé à l'entrée, émet une onde sonore progressive sinusoïdale à la fréquence  $f$ . Un microphone, placé à la sortie, enregistre le son résultant de la superposition des ondes propagées dans les deux tubes. On suppose que les ondes ont la même amplitude dans les deux tubes et que leur propagation guidée a lieu sans amortissement.

1. On note  $d_1$  la distance parcourue par l'onde dans le tube fixe (à gauche) et  $d_2$  la distance parcourue par l'onde dans le tube à coulisse. Lorsque la coulisse est rentrée au maximum dans le tube fixe, les distances  $d_1$  et  $d_2$  sont égales. On note  $L$  le déplacement de la coulisse par rapport à cette situation.

1.a. Dans le cas où  $L = 0$ , le microphone enregistre-t-il un son ? Pourquoi ?

1.b. On considère à présent le cas où  $L > 0$ . Quelle est la relation entre  $d_1$ ,  $d_2$  et  $L$  ? En déduire les conditions d'interférences constructives et destructives vérifiées par  $L$ ,  $c$  et  $f$ .

1.c. Pourquoi n'est-il pas envisageable d'utiliser une conduite d'aération en forme de trombone de Kœnig pour atténuer le bruit de la ventilation ?

On conçoit des systèmes de contrôle actif du bruit, comme la gaine d'aération de la figure 2, équipée d'un microphone et d'un haut-parleur.

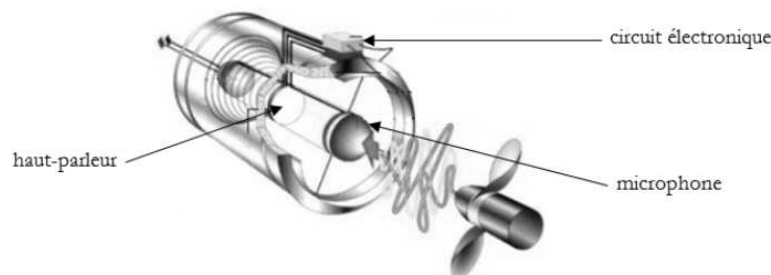


FIGURE 2 – Gaine d'aération, d'après le site Internet [www.technofirst.com](http://www.technofirst.com)

1.d. Quelles doivent être les caractéristiques du son produit par le haut-parleur pour que le bruit de la ventilation soit atténué ? Quel doit alors être le rôle joué par le circuit électronique ?

2. On souhaite utiliser le trombone de Kœnig pour étudier la célérité du son dans l'air. On réalise l'expérience décrite dans la partie précédente avec une onde sonore progressive sinusoïdale dont la fréquence est  $f = 500$  Hz. En déplaçant la coulisse, on constate que le microphone n'enregistre aucun son aux positions successives de la coulisse notées  $L_1$  et  $L_2$ .

2.a. Montrer, en utilisant les résultats de la partie précédente, que la célérité du son est  $c = 2f(L_2 - L_1)$ .

On réalise l'expérience pour plusieurs températures. Le tableau suivant donne les résultats des mesures.

$\theta$ en $^{\circ}\text{C}$	0,0	5,0	10,0	15,0	20,0	25,0	30,0
$L_1$ en cm	16,6	16,7	16,9	17,0	17,2	17,3	17,5
$L_2$ en cm	49,7	50,2	50,6	51,1	51,5	51,9	52,4

2.b. Dresser un tableau donnant les valeurs de la célérité du son pour les différentes températures de l'air.

La théorie des ondes sonores permet d'établir que la célérité  $c$  du son dans un gaz supposé parfait s'exprime par

$$c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$$

où  $\gamma$  est le rapport des capacités thermiques du gaz  $\left(\gamma = \frac{C_p}{C_v}\right)$ ,  $R = 8,31 \text{ J.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$  la constante des gaz parfaits,  $T$  la température (en kelvin) du gaz et  $M$  sa masse molaire (pour l'air  $M = 29,0 \text{ g.mol}^{-1}$ ).

2.c. Quelle est la courbe la plus judicieuse à tracer si on souhaite vérifier la dépendance théorique de la célérité avec la température dans l'air ?

2.d. Compléter le tableau de valeurs précédent et tracer la courbe sur la feuille de papier millimétré fournie.

2.e. Exploiter cette courbe afin d'en obtenir le maximum d'informations.

2.f. Sachant que les mesures de  $L_1$  et  $L_2$  sont réalisées à l'aide d'un mètre ruban gradué au millimètre, estimer l'incertitude sur la célérité du son dans l'air à  $20,0^{\circ}\text{C}$ . Commenter le résultat expérimental à cette température.



### Exercice 2 : Thermodynamique chimie

Le trioxyde de soufre  $\text{SO}_3$  est obtenu industriellement par oxydation du dioxyde de soufre  $\text{SO}_2$  par le dioxygène  $\text{O}_2$ . L'équilibre a lieu en phase gaz et l'expression numérique de la constante d'équilibre thermodynamique, ~~pour une mole de dioxygène~~, est donnée par :

$$\ln [K^0(T)] = 22\,610 \times T - 21,55$$

où  $T$  est la température en kelvin.

Pour un coefficient stœchiométrique unitaire en  $\text{O}_{2(g)}$

Les industriels travaillent à  $430\text{ °C}$  et sous 1 bar, avec un léger excès de dioxygène provenant de l'air (par rapport aux proportions stœchiométriques). On utilise un catalyseur à base de vanadium pour obtenir un rendement industriel acceptable.

Justifier les choix de l'industriel.

**Exercice 1 : Interférence acoustique**

1) La vibration acoustique totale en M est :

$$s(M, t) = S_0 (\cos(\omega t - kd_1) + \cos(\omega t - kd_2))$$

$$s(M, t) = S_0 (\cos(\omega t - \frac{k}{2}(d_1 - d_2) - \frac{k}{2}(d_1 + d_2)) + \cos(\omega t + \frac{k}{2}(d_1 - d_2) - \frac{k}{2}(d_1 + d_2)))$$

$$s(M, t) = S_0 (\cos(\omega t - \frac{k}{2}(d_1 + d_2) - \frac{k}{2}(d_1 - d_2)) + \cos(\omega t - \frac{k}{2}(d_1 + d_2) + \frac{k}{2}(d_1 - d_2)))$$

$$s(M, t) = 2S_0 \cos(\omega t - \frac{k}{2}(d_2 + d_1)) \times \cos(\frac{k}{2}(d_2 - d_1))$$

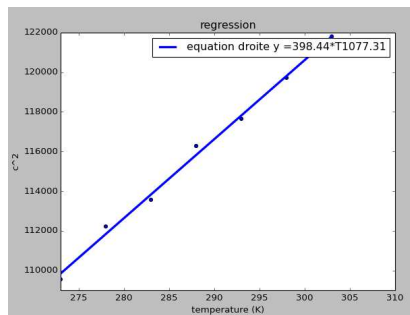
- a) Si  $d_2 = d_1$  alors on obtient une onde dont l'amplitude maximale est le double de celle d'une onde seule : ondes en phase
- b) D'après le graphe :  $d_2 - d_1 = 2L$ 
  - la situation d'interférences constructives est  $\frac{k}{2}(d_2 - d_1) = n\pi$  avec  $n \in \mathbb{N}$  et donc  $(d_2 - d_1) = n\lambda = \frac{nc}{f}$  soit  $2L = \frac{nc}{f}$
  - la situation d'interférences destructives est  $\frac{k}{2}(d_2 - d_1) = \frac{(2n+1)\pi}{2}$  avec  $n \in \mathbb{N}$  et donc  $2L = \frac{(2n+1)c}{2f}$
- c) Une conduite fermée sera le siège d'interférences constructives lorsqu'elle sera traversée par un flux d'air (analogue à une stimulation dont le spectre est large)
- d) Le circuit électronique doit être un déphaseur de  $\pi$  pour que le HP génère une onde en opposition de phase avec l'onde incidente

2)

- a) Pour ces deux positions d'interférence destructive on a  $c = 2f(L_2 - L_1)$
- b) On obtient :

0	5	10	15	20	25	30
16,6	16,7	16,9	17	17,2	17,3	17,5
49,7	50,2	50,6	51,1	51,5	51,9	52,4
331	335	337	341	343	346	349

- c) On peut tracer la fonction linéaire  $c^2(T)$
- d) On obtient sur Python :

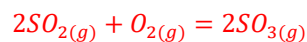


- e) On obtient par exemple  $\gamma = 1,39$

- f) Avec la méthode de la différentielle logarithmique (et en tenant compte de l'incertitude sur  $L_2$  et  $L_1$ ) on a :  $\frac{\Delta c}{c} = \frac{\sqrt{2}\Delta L}{L_2 - L_1}$  (et  $\Delta L = \frac{10^{-3}}{\sqrt{12}}$ ) donc typiquement à 20°C on a :  $\frac{\Delta c}{c} = 0,1\%$  ce qui un peu trop bon.....

### Exercice 2 : Thermodynamique chimie

La réaction à considérer est :



On rappelle la loi de van't Hoff :

$$\frac{d \ln K}{dT} = \frac{\Delta_r H^0}{RT^2}$$

Donc ici :  $\ln(K) = 22610T - 21.55$  conduit à  $\Delta_r H^0 = 22610RT^2 > 0$  (réaction endothermique favorisée à « haute température »)

A 430°C, on a  $K \gg 1$  : réaction quantitative

$$\text{Le quotient réactionnel est donné par : } Q = \frac{a_{SO_3(g)}^2}{a_{SO_2(g)}^2 a_{O_2(g)}} = \frac{x_{SO_3(g)}^2 p^0}{x_{SO_2(g)}^2 x_{O_2(g)}^1 P_{Tot}}$$

$$\text{Et la constante d'équilibre est } K = \left( \frac{x_{SO_3(g)}^2 p^0}{x_{SO_2(g)}^2 x_{O_2(g)}^1 P_{Tot}} \right)_{eq}$$

On peut retrouver la loi de Le Châtelier car, à température constante et en partant d'une situation d'équilibre, une augmentation de la pression totale (et donc une diminution de  $\left(\frac{p^0}{P_{Tot}}\right)_{eq}$ ) s'accompagne d'une augmentation de  $\left(\frac{x_{SO_3(g)}^2}{x_{SO_2(g)}^2 x_{O_2(g)}^1}\right)_{eq}$  : donc un déplacement d'équilibre dans le sens de la consommation de  $SO_2(g)$ .

On peut aussi vérifier l'effet d'un excès du dioxygène (à température, pression totale fixées et  $n_{tot} = Cte + n_{O_2(g)}^1$ ) :

$$\frac{dQ}{dn_{O_2}} = \alpha \frac{d}{dn_{O_2}} \left( \frac{(Cte + n_{O_2(g)}^1)^1}{n_{O_2(g)}^1} \right)$$

$$\frac{dQ}{dn_{O_2}} \propto n_{O_2(g)}^1 - (Cte + n_{O_2(g)}^1)^1 < 0$$

Ainsi on déplace l'équilibre tel que  $Q < K$  et on favorise le sens 1.

Donc :



- La constante d'équilibre ne justifie pas de travailler à si hautes températures
- La cinétique en revanche doit nécessiter l'utilisation d'un catalyseur et cette température de 430°C
- une « haute pression » avec un excès de dioxygène favorise la réaction