

## Phonie et sonie

### 1 Formulaire

- Célérité du son  $c$  dans un gaz de masse molaire  $M$ , à la température  $T$  :  $c = \sqrt{\frac{\gamma RT}{M}}$ .  
Pour l'air  $M = 29$  g et  $\gamma = 1,4$ . On rappelle que  $R = 8.314$  J.K<sup>-1</sup>.mol<sup>-1</sup>.
- Définition du décibel :  $10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$  où  $I$  est l'intensité sonore et  $I_0$  est une intensité de référence égale à  $10^{-12}$  W.m<sup>-2</sup>.

### 2 Questions

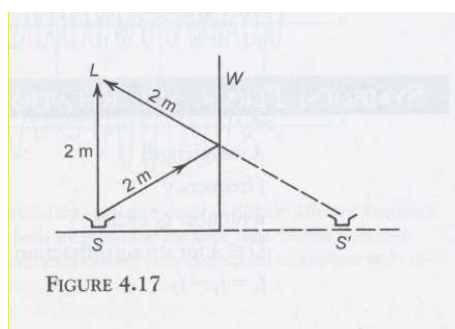
#### Le déplacement de l'air

Quelles sont les vitesses et les amplitudes des mouvements d'air pour une onde sonore sinusoïdale progressive d'intensité 120 dB, 70 dB et 20 dB ?

#### Trompette

Le diamètre du pavillon d'une trompette est large d'environ 10 cm. Quand la trompette joue un *do* à 262 Hz, est-ce que le son est émis dans toutes les directions ou seulement face à la trompette ? Quel est le phénomène physique intervenant ?

#### Enceinte



Une enceinte  $S$  envoie un signal sonore vers un auditeur  $L$  non seulement par une voie directe (en ligne droite) mais aussi par réflexion sur un mur réfléchissant  $W$  (voir dessin-ci dessus). Pour  $L$ , tout se passe comme si il y avait deux enceintes parfaitement synchronisées placées en  $S$  et  $S'$ . Discuter ce qu'entend  $L$  si le signal sonore a une fréquence de 172 Hz puis de 86 Hz. Quel est le phénomène physique intervenant ? Que se passe-t-il si  $L$  se déplace dans la pièce ? Pourquoi est-il plus intéressant de placer l'enceinte dans le coin ?

## Courbes isotoniques

On trouvera dans l'annexe un série de courbes isotoniques (recommandation ISO 226). Rappeler leur interprétation. On enregistre un concert « live ». Un moment donné, le spectre sonore ne contient que deux fréquences à 1000 Hz et à 50 Hz, d'intensités sonores respectives 90 dB et 102 dB. Quelle est l'intensité totale du signal ? Quel est le niveau équivalent en phones de chacune des fréquences ? Quel son nous paraît le plus fort ? Chez soi, on écoute ce passage en diminuant chacune des intensités par un facteur 10 000. Que se passe-t-il ? Quel son nous paraît le plus fort ? Justifier.

On améliore la mesure de l'impression subjective d'intensité en généralisant la notion de phone : elle s'appuie sur une exploration verticale des courbes isotoniques (c'est-à-dire en faisant varier les dB) qui va conduire à remplacer les phones par des sones (voir annexe) puis à admettre que cette nouvelle estimation du niveau d'isotonie s'applique non seulement à des sons sinusoïdaux mais encore à des sons complexes dans lesquels on inclut finalement les bruits. Par définition, 1 sone vaut 40 phones.

En pratique, pour estimer la sonie d'un son complexe, on somme les intensités par bandes de fréquences (c'est-à-dire en additionnant les intensités de fréquences proches, censées exciter la même zone de la membrane basilaire) puis les sones des bandes différentes.

Un son est composé de deux ondes sinusoïdales de fréquences 1000 Hz et 1050 Hz d'intensité respectives 70 phones et 65 phones. Quelles sont leurs sonies respectives lorsqu'elles sont jouées séparément ? Et ensemble ? Même question avec des ondes de fréquences 1000 Hz et 1500 Hz.

Considérons des ondes sonores d'intensité 50 dB, périodiques (de période 0.01s) mais de formes variées : sinusoïdale, créneau ou triangulaire (symétriques). Estimez la sonie de chacun de ces sons (on pensera à utiliser la décomposition de Fourier). Que constate-t-on ?

## Bibliographie

### Quelques sons à écouter

- <http://www.physics.mcgill.ca/~guymoore/ph224/lecture5/> (des sons en illustration au cours « Physics and Psychophysics of Music »)
- <http://www.phys.unsw.edu.au/~jw/hearing.html> (applet pour établir sa propre courbe isotonique)
- <http://webphysics.davidson.edu/faculty/dmb/soundRM/jnd/jnd.html> (applet pour des tests de JND)
- <http://www.radio.cbc.ca/programs/quirks/test/audill.htm> (quelques illusions auditives)

### Ouvrages

- *Le son musical*, J. R. Pierce, Belin (1984).
- *Musical Acoustics*, D. E. Hall, 2nd edition, Brooks/Cole Publishing (1991).

### 3 Annexes

