

Application 1 : l'effet Doppler acoustique

On s'intéresse à un point matériel M qui émet un "bip" avec une période T_0 dans son référentiel propre. Un observateur fixe dans le référentiel d'étude, en O , reçoit le "bip" émis par $M(t_1)$ à la date t'_1 et celui émis par $M(t_2)$ à la date t'_2 . M se déplace en ligne droite avec la vitesse $\vec{v}$ constante, et l'onde sonore a la célérité c_s .

1. Exprimer la période T séparant les deux "bips" reçus par l'observateur, en fonction de T_0 , c_s , $OM(t_1)$ et $OM(t_2)$.
2. En supposant le mobile suffisamment loin ($OM(t_1) \gg M(t_1)M(t_2)$), exprimer $OM(t_2) - OM(t_1)$ en fonction de T_0 et v_x , la projection de la vitesse de l'émetteur suivant le vecteur $\vec{OM}(t_1)$.
3. Dans le cas où $v \ll c_s$, montrer que ν , la fréquence de l'onde dans le référentiel du récepteur vérifie

$$\nu = \nu_0 \left(1 - \frac{v_x}{c_s}\right)$$

où ν_0 est la fréquence dans le référentiel de l'émetteur.

4. Expliquer brièvement l'effet Doppler. Quand rencontre-t-on ce phénomène, dans la vie de tous les jours?
5. En utilisant les résultats ci-dessus, expliquer le bang supersonique entendu lorsqu'un avion "passe le mur du son".

Instruments à vent à anches

Dans cet exercice, nous allons étudier les instruments à vent qui possèdent à une extrémité de leur tuyau une anche, c'est-à-dire une lamelle libre ou battante, ou deux lamelles vibrant l'une contre l'autre, pour produire un son. Cela concerne de nombreux instruments : saxophone, clarinette, hautbois, cornemuse, biniou, accordéon, etc. Ces anches peuvent être en métal, en plastique ou en roseau, et elles sont mises en vibration de différente façon : en soufflant dessus, en vidant une poche d'air remplie par le musicien, par action mécanique d'un soufflet. Le point commun de tous ces instruments est qu'ils peuvent être modélisés par un tuyau dont une ouverture est fermée et l'autre ouverte. On notera Z l'impédance acoustique de l'air dans le tuyau.

On supposera par la suite que la vitesse du fluide dans le tuyau s'exprime sous la forme d'une onde stationnaire :

$$v_x = \vec{v} \cdot \vec{u}_x = v_0 \cos(kx + \phi) \cdot \cos(\omega t + \phi')$$

1. Retrouver l'expression de la surpression.
2. Quelles sont les conditions aux limites associées au problème physique décrit ?
3. Trouver les modes propres de la cavité. Où sont les nœuds et ventres de la surpression et de la vitesse ?
4. Si on prend $L=50$ cm, quelle est la fréquence du mode fondamental, sachant que la célérité des ondes sonores dans l'air vaut $c_s = 346 \text{ m.s}^{-1}$?

Nous venons de voir ici le principe de génération d'une note fondamentale et de ses harmoniques. Comment peut-on changer de note ?

5. On peut utiliser un système à piston, comme dans le cas de la trompette. Elle est construite pour produire un son fondamental de fréquence 87 Hz (c'est le Fa_1 , en réalité injouable).
 - (a) Quelle est la longueur ℓ_0 du tuyau sonore théorique correspondant.
 - (b) La trompette est munie de 3 pistons numérotés 1, 2, 3, qui baissent les notes respectivement d'un ton, d'un demi-ton et de un ton et demi. Calculer les longueurs ℓ_1 , ℓ_2 et ℓ_3 des trois rallonges qui viennent s'ajouter au tuyau ℓ_0 , sachant qu'il existe 12 demi-tons par octave.
 - (c) Combien obtient-on de notes possibles par le seul jeu des pistons ?