Transmission d'un son provenant de l'extérieur

Un train se déplace sur une voie ferrée dans la direction y à une vitesse de 200 km/h. il émet un son à la fréquence f_t = 400 Hz lorsqu'il se trouve au point $(x, y) = (500, 1000)$ m. Le niveau d'intensité sonore de ce signal, mesuré à 1 m de la source, est de 10 dB. Un microphone situé dans un appartement et localisé tout près de la porte (position $(x, y) = (0, 0)$ m) est utilisé pour enregistrer le signal.

Tableau 1 : Vitesse du son et masse volumique de l'air en fonction de la température.

T (C)	c (m/s)	ρ(kg/m^3)
-10	325.4	1.341
-5	328.5	1.316
0	331.5	1.293
+5	334.5	1.296
+10	337.5	1.247
+15	340.5	1.225
+20	343.4	1.204
+25	346.3	1.184
+30	349.2	1.164

L'information présentée au tableau 1 ainsi que le fait qu'une atténuation de $\alpha = 0.0025$ dB/m est observée pour des sons de fréquence autour de 400 Hz qui se déplacent dans l'air à -10 °C pourraient être utiles.

(a) Déterminer le niveau d'intensité sonore à la position du microphone si la pièce et le train sont tous deux à la température extérieure ($\theta_e = -10\ ^oC$).

(b) Déterminer la baisse additionnelle de l'intensité sonore à la position du microphone si l'appartement est à une température de $\theta_a = 20\ ^oC$ (la température extérieure demeure à $\theta_e = -10\ ^oC$).

(c) Quelle sera la fréquence perçue par le microphone?

Solution :

(a) *Déterminer le niveau d'intensité sonore à la position du microphone si la pièce et le train sont tous deux à la température extérieure ($\theta_e = -10\ ^oC$).*

Le niveau d'intensité sonore d'un signal acoustique diminue en fonction de la distance à cause de deux effets : la dispersion du son et son atténuation dans l'air. On peut donc écrire

$$L_i(r) = L_i(r_0) - 20\log\left(\frac{r}{r_0}\right) - \alpha(r - r_0)$$

où $r_0 = 1$ *m est le point où l'intensité du signal de référence est mesuré, r est la distance parcourue par le signal sonore en m. En utilisant les données du problème, on peut évaluer* $r = \sqrt{500^2 + 1000^2} = 1118$ *m. On obtient alors*

$$L_i(r) = 150 - 20\log(1118) - 0.0025(1117) = 86.24\ \ dB.$$

(b) *Déterminer la baisse additionnelle de l'intensité sonore à la position du microphone si l'appartement est à une température de* $\theta_a = 20\ ^oC$ *(la température extérieure demeure à* $\theta_e = -10\ ^oC$*).*

À l'interface de deux milieux d'impédance acoustique différente (deux températures différentes), le coefficient de transmission en puissance est donné par

$$T = \frac{4Z(\theta_e)Z(\theta_a)}{(Z(\theta_e) + Z(\theta_a))^2}$$

avec $Z(\theta) = \rho c$ *l'impédance d'un milieu de masse volumique* ρ *où la vitesse du son est* c *à la température* θ*. L'atténuation résultante de l'intensité sonore est alors*

$$\Delta L(dB) = 10\log(T)$$

En utilisant les données du tableau 1, on obtient $Z(-10\ ^oC) = 436.36$ *et* $Z(20\ ^oC) = 413.45$ *et la baisse additionnelle d'intensité sonore est de 0.0032 db.*

(c) *Quelle sera la fréquence perçue par le microphone?*

Ici nous évaluerons le changement de fréquence du son dû à l'effet Doppler. Pour ce faire, nous devons premièrement déterminer la direction du son qui atteindra le microphone qui est donnée par

$$\hat{u} = \frac{\vec{r}_r - \vec{r}_s}{|\vec{r}_r - \vec{r}_s|} = \frac{1}{1118}(500, 1000, 0)$$

Ensuite nous évaluons le rapport entre la composante de la vitesse de la source ou du microphone dans la direction $\hat{u}$ *et la vitesse du son dans l'air à la température* $\theta_e = -10°$ *qui est c=325.4 m/s. Nous obtenons*

$$\beta_s = \frac{\hat{u}.\vec{v}_t}{c} = \frac{1000}{1118 \times 325.4}\frac{200}{3.6} = 0.1527$$

$$\beta_r = \frac{\hat{u}.\vec{v}_t}{c} = 0$$

La fréquence perçue par le microphone sera alors

$$f_m = (1 - \beta_s)f_t = 338.89 \text{ Hz.}$$