

1 Radar anti-bruit

Les motos et scooters sont une cause de nuisances sonores. Il existe deux types de contrôles des nuisances sonores : un contrôle statique et un contrôle dynamique. Ce dernier est en cours d'expérimentation et se base sur un dispositif appelé « méduse » qui permet de mesurer le niveau d'intensité sonore d'un cyclomoteur en circulation.

L'objectif de l'exercice est d'exploiter des mesures de niveaux d'intensité sonore obtenues à l'aide du dispositif « méduse » et de mettre en évidence ses limites de fonctionnement.

Données :

- Seuil d'audibilité de l'oreille humaine : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$;
- L'intensité sonore I mesurée à une distance d d'une source sonore ponctuelle est donnée par la relation suivante : $I = k \times \frac{1}{d^2}$ où k est une constante qui dépend notamment de la puissance de la source ;
- Le niveau d'intensité sonore maximal toléré selon la législation française est de 85 décibels.

Première approche : le contrôle statique

La valeur **U.1** sur la carte grise d'un cyclomoteur (voir figure 1) correspond à la valeur du niveau d'intensité sonore en décibels (dB) en statique, c'est-à-dire lorsqu'un sonomètre est placé à 50 cm du pot d'échappement du cyclomoteur immobile.

P.1	1900	P.2	90	P.3	60	P.6	6
Q	0,06	S.1	5	S.2		U.1	77
U.2	3000	V.7	155	V.9			

Figure 1. Extrait d'une carte grise d'un cyclomoteur

- Q1.** Montrer que la valeur, notée I_{50} , de l'intensité sonore I à 50 cm du pot d'échappement du cyclomoteur immobile est : $I_{50} = 5,0 \times 10^{-5} \text{ W.m}^{-2}$.
- Q2.** Choisir en justifiant, parmi les propositions ci-dessous, celle traduisant l'évolution de l'intensité sonore lorsque l'on double la distance au pot d'échappement ; sa valeur sera notée I_{100} .
- | | | | |
|----------------|------------------------|----------------|-----------------------------|
| Proposition a. | $I_{100} = I_{50}$ | Proposition d. | $I_{100} = I_{50} \times 2$ |
| Proposition b. | $I_{100} = I_{50} / 2$ | Proposition e. | $I_{100} = I_{50} \times 4$ |
| Proposition c. | $I_{100} = I_{50} / 4$ | | |
- Q3.** Montrer alors que si l'on place un sonomètre à 1 m de distance du pot d'échappement, la valeur du niveau d'intensité sonore est réduite de 6,0 dB.

Deuxième approche : le contrôle dynamique

- Q4.** En utilisant les figures 1 et 2 page suivante, indiquer le nombre de véhicules en infraction en donnant pour chacun d'eux une estimation de l'heure de passage.

Un groupe de motards traverse une commune équipé d'un dispositif « méduse ». Ils disposent du même modèle de moto et roulent tous à 50 km.h^{-1} . Une première moto passe devant le dispositif « méduse » qui mesure un niveau d'intensité sonore $L_m = 78 \text{ dB}$. Quelques instants plus tard, un groupe de motards s'approche du dispositif « méduse ».

- Q5.** Déterminer le nombre de motos qui peuvent passer simultanément devant le dispositif sans dépasser le niveau d'intensité sonore maximal toléré.
- Q6.** Émettre une critique quant à la fiabilité du dispositif « méduse ». Justifier l'intérêt de la caméra embarquée pour confirmer la réponse à la question 4.

Comment la « méduse » capte les sons et leur position



LE CAPTEUR « MÉDUSE » DE BRUITPARIF

Ce dispositif d'analyse sonore doit son surnom à sa forme. Il se compose de :

- 4 micros disposés en tétraèdre
- 1 caméra à 360 degrés

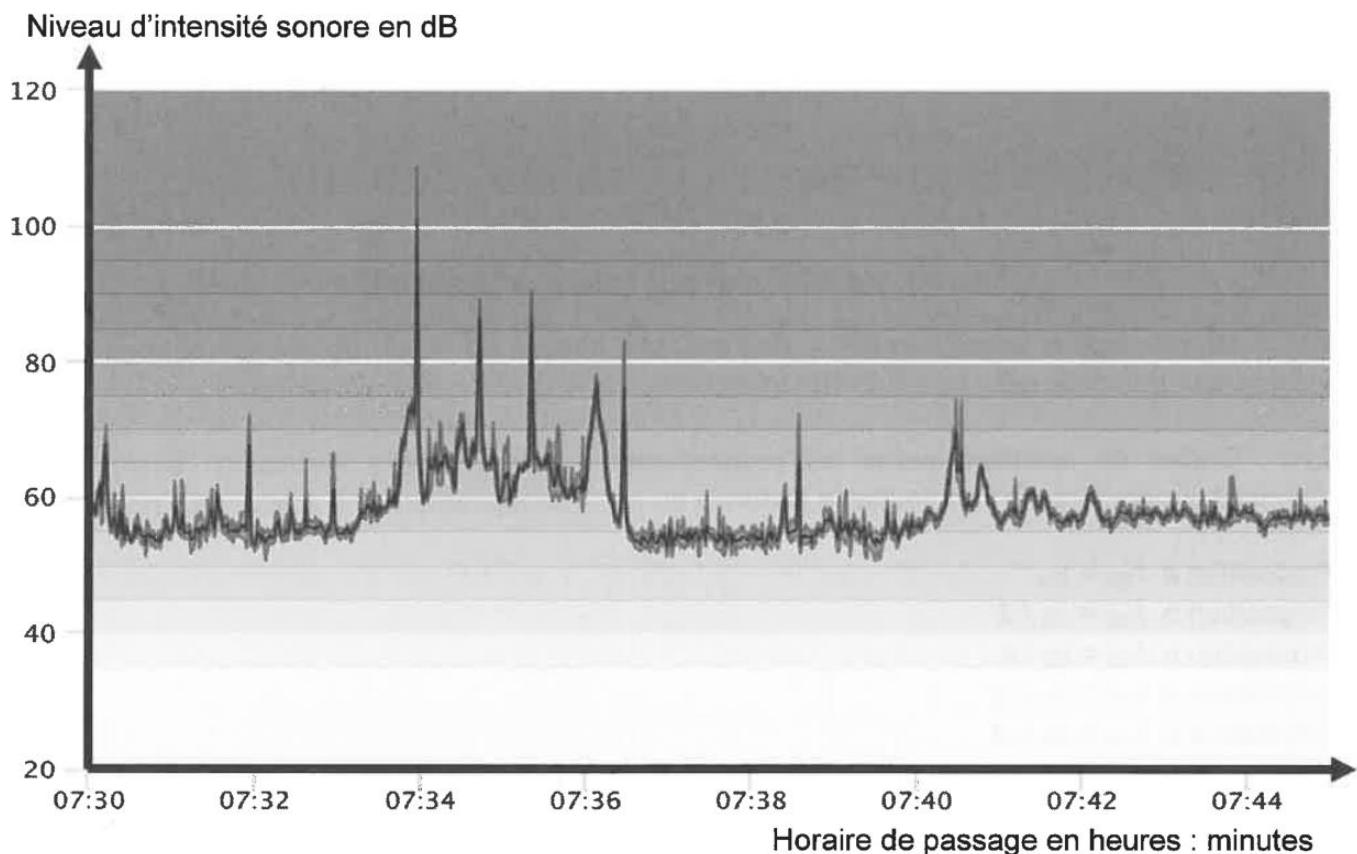


Figure 3. Niveau d'intensité sonore enregistré par un dispositif « méduse », rue de l'Espérance à Paris en matinée (22 février 2022). <https://monquartier.bruitparif.fr/hebdoscope>

2 Résolution de problème : le cor des Alpes

Chaque année, au mois de juillet, se déroule le festival international du cor des Alpes à Haute Nendaz, en Suisse. Cet instrument, jadis utilisé par les bergers pour communiquer entre deux vallées, est fait d'une seule pièce de bois, un tube recourbé à son extrémité. Pour en jouer, le musicien souffle dans une embouchure.



Doc. 1 Hypothèses de travail

- L'amortissement de l'onde n'est pas pris en compte : la dissipation d'énergie au cours de la propagation est négligeable.
- Le rayonnement de la source est supposé isotrope, c'est-à-dire que le son est émis de la même façon dans toutes les directions de l'espace.

Doc. 2 Célérité du son

On donne ci-dessous quelques valeurs de la célérité du son dans l'air à différentes températures.

Température (en °C)	10	20	30	40
Célérité (en m·s ⁻¹)	337	343	349	355

Doc. 3 Intensité sonore d'une source isotrope

Pour une source isotrope de puissance P constante, l'intensité sonore I au point M dépend de la distance d à la source et s'exprime de la façon suivante :

$$I = \frac{P}{4\pi d^2}$$

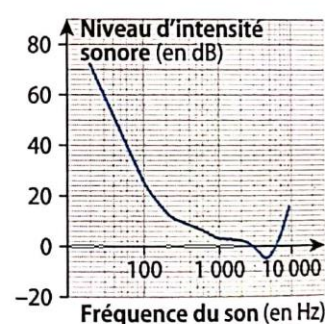
I en watts par mètre carré ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$)
 P en watts (W)
 d en mètres (m)

Doc. 4 Note la plus grave jouée par un cor des Alpes

La note la plus grave est atteinte lorsque la longueur d'onde de l'onde sonore associée à la note est égale à deux fois la longueur du cor.

Doc. 5 Seuil d'audibilité humaine

Le graphique ci-contre donne le niveau d'intensité sonore minimal d'un son perçu par l'oreille humaine en fonction de la fréquence du son : pour une fréquence donnée, c'est le seuil d'audibilité d'un son de cette fréquence.



PROBLÈME

Un berger, situé au sommet d'une colline à 8,8 km de Haute Nendaz joue, à puissance constante, la note la plus grave de son cor des Alpes. Son instrument a une longueur de 3,4 m. Pourra-t-on l'entendre à Haute Nendaz si le niveau d'intensité sonore vaut 100 dB à un mètre de l'instrument ?

Données

- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$
- Altitude de Haute Nendaz : 1 252 m
- Température moyenne en juillet à Haute Nendaz : 15 °C.

3 Expérience historique

Afin de vérifier la théorie de C. DOPPLER, le scientifique C. BUYS-BALLOT a réalisé l'expérience suivante : Des musiciens à bord d'un train jouent un « La » de fréquence f_E . D'autres musiciens postés le long de la voie ferrée identifient la note entendue lors de l'approche du train, comme le montre le document ci-dessous :



Donnée : tableau de fréquences de notes de musique :

Note	Fa	Fa#	Sol	La ^b	La	La#	Si
f (Hz)	349	370	392	415	440	466	494

La vitesse du son dans l'air est $V_S = 340 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

- a. Quel est le phénomène à l'origine du décalage des fréquences entre l'onde émise et l'onde perçue ?
b. Quelle est la fréquence de la note f_R entendue par les musiciens situés au bord de la voie ferrée ?
- La relation permettant de calculer la vitesse V_E d'un émetteur sonore s'approchant d'un observateur immobile est :

$$V_E = V_S \cdot \left(1 - \frac{f_E}{f_R}\right)$$

Calculer la valeur de la vitesse de déplacement du train.

4 Galaxie d'Andromède

Notre galaxie, la Voie lactée, est membre d'un groupe d'une cinquantaine de galaxies appelé Groupe local et dont la taille atteint dix millions d'années-lumière. Ce groupe est dominé par deux galaxies spirales massives : la Voie lactée et la galaxie d'Andromède (qui contient 2 à 5 fois plus d'étoiles que la Voie lactée) séparées d'environ 2,5 millions d'années-lumière.

Dans le bulletin n° 58 de l'observatoire de Lowell (USA) de 1913, l'analyse des spectres de la lumière émise par Andromède amène Vesto Slipher à conclure que cette galaxie se rapproche de la Voie lactée à une vitesse radiale d'environ $300 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

La mesure par analyse du décalage de fréquence (effet Doppler) indique que la galaxie d'Andromède se rapproche de la Voie lactée. On se base pour effectuer cette mesure sur plusieurs raies spectrales, mais plus particulièrement sur la raie H_α caractéristique de l'atome d'hydrogène de longueur d'onde dans le vide égale à $\lambda_0 = 656,3 \text{ nm}$ dans le référentiel de l'atome.

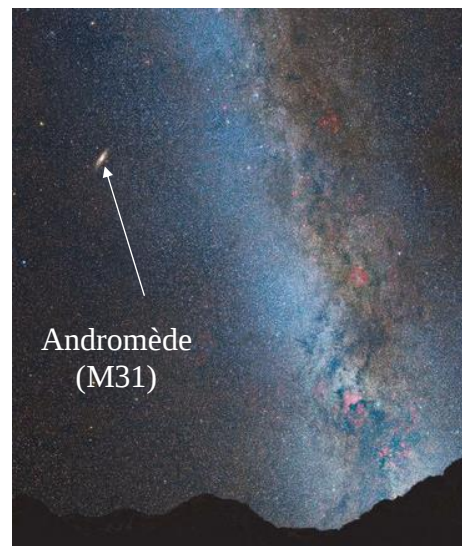


Figure 1. Galaxie d'Andromède vue depuis le sol. Source : NASA, ESA, STSc

Q1. Décrire qualitativement ce qu'est l'effet Doppler.

On se limite dans cet exercice à une configuration à une dimension dans le cas d'un observateur considéré fixe et situé dans la Voie lactée et d'un émetteur mobile, la galaxie d'Andromède. Dans cette configuration, la vitesse d'Andromède est uniquement radiale.

Q2. Montrer que dans le cas où la source d'une onde lumineuse de fréquence $f_{\text{émise}}$ se rapproche d'un récepteur fixe à une vitesse v , la fréquence $f_{\text{reçue}}$ de l'onde de célérité c mesurée par le

récepteur s'écrit sous la forme suivante :
$$f_{\text{reçue}} = \frac{f_{\text{émise}}}{1 - \frac{v}{c}}$$

Q3 Une approximation mathématique classique est $\frac{1}{1-x} \approx 1+x$ pour $|x|$ très petit devant 1.

Vérifier qu'elle convient pour $x = \frac{v}{c}$ dans le cas de la vitesse d'Andromède.

Q4 Montrer que, dans ce cas, on peut écrire l'expression du décalage Doppler $\delta f = f_{\text{reçue}} - f_{\text{émise}}$ sous la forme suivante :
$$\delta f \approx f_{\text{émise}} \times \frac{v}{c}$$

Q5 Calculer le décalage Doppler δf dans le cas de la mesure de Vesto Slipher en 1913 pour la raie H_α de l'hydrogène.

Q6 En déduire la valeur de la longueur d'onde λ mesurée sur Terre pour cette raie. Comparer avec λ_0 .

Vesto Slipher poursuit sa campagne de mesures et publie en 1917 un article montrant que sur 25 galaxies qui nous environnent, 21 s'éloignent de nous. Ces observations sont à l'origine de la découverte de l'expansion de l'Univers : les galaxies s'éloignent souvent les unes des autres.

Q7. Indiquer le signe du décalage Doppler dans le cas d'une source émettrice qui s'éloigne d'un observateur fixe. Justifier alors qualitativement l'appellation « décalage vers le rouge » utilisée par les astrophysiciens dans le cadre de l'expansion de l'Univers.



Figure 2. Vesto Melvin Slipher 1905
Crédit : AIP Emilio Segrè Visual Archives