
















Terminale Spécialité Physique- Chimie	Thème : Ondes et signaux	M.KUNST-MEDICA	
Chapitre 17 : Sons et effet Doppler		Cours livre p 351 à 352	
Nom : Prénom : Classe :			
Mon livret « Parcours d'exercices ». A remettre au professeur le jour du DS avec les feuilles d'exercices Site internet : http://www.lasallesciences.com			

Les « attendus » du chapitre

Bilan	Mon opinion après avoir réalisé les exercices	Avis du professeur après le DS
Cours sur le niveau d'intensité sonore		
Définir intensité sonore, intensité sonore de référence, niveau d'intensité sonore.		
Exploiter l'expression donnant le niveau d'intensité sonore d'un signal.		
<i>Capacité mathématique : Utiliser la fonction logarithme décimal et sa fonction réciproque.</i>		
AE 17.1 : Atténuation sonore		
Illustrer l'atténuation géométrique et l'atténuation par absorption		
AE 17.2 : Effet Doppler		
Décrire et interpréter qualitativement les observations correspondant à une manifestation de l'effet Doppler.		
Établir l'expression du décalage Doppler dans des situations variées utilisant des ondes acoustiques ou des ondes électromagnétiques.		
Exploiter l'expression du décalage Doppler en acoustique pour déterminer une vitesse.		

Les bons réflexes

Si l'énoncé demande de...	Il est nécessaire de...	
Calculer une intensité sonore ou un niveau d'intensité sonore à partir de l'autre grandeur.	<p>Réflexe 1</p> <ul style="list-style-type: none"> Rappeler la relation $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$. Isoler la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités. 	→ Ex. 5 p. 358
Calculer une atténuation ou montrer son existence.	<p>Réflexe 2</p> <ul style="list-style-type: none"> Pour calculer une atténuation, soustraire le niveau d'intensité sonore mesuré après atténuation de celui mesuré avant atténuation. 	→ Ex. 6 p. 358
Décrire et interpréter qualitativement des observations au sujet de l'effet Doppler.	<p>Réflexe 3</p> <ul style="list-style-type: none"> Comparer la fréquence (ou la période ou la longueur d'onde) de l'onde reçue à celle de l'onde émise. En déduire le sens du mouvement relatif du récepteur par rapport à l'émetteur. 	<p>ou</p> <p>→ Ex. 10 p. 359</p> <ul style="list-style-type: none"> Observer le sens du mouvement relatif du récepteur par rapport à l'émetteur. Comparer la fréquence (ou la période ou la longueur d'onde) de l'onde reçue à celle de l'onde émise.
Exploiter l'expression du décalage Doppler.	<p>Réflexe 4</p> <ul style="list-style-type: none"> Relever l'expression du décalage fournie ou démontrée précédemment. Isoler la grandeur recherchée et effectuer le calcul en faisant attention aux unités. 	→ Ex. 14 p. 359

Côté maths

Côté maths

1. En arrondissant au centième, montrer que, pour tout $a > 0$:

$$\log(2a) \approx \log a + 0,30$$

2. Montrer que, pour $b \neq 0$ et $c > 0$:

$$a = b \times \log c \Leftrightarrow c = 10^{\frac{a}{b}}$$

Méthode

1. Vérification de $\log(2a) \approx \log a + 0,30$

• J'utilise la propriété du log pour $a > 0$ et $b > 0$:

$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$

En remplaçant b par 2, il vient :

$$\log(a \times 2) = \log a + \log 2$$

• J'utilise la calculatrice en arrondissant au centième :

$$\log 2 \approx 0,30$$

Donc $\log(2a) \approx \log a + 0,30$.

2. Vérification de $a = b \times \log c \Leftrightarrow c = 10^{\frac{a}{b}}$

• Je divise la première équation par b (pour $b \neq 0$ et $c > 0$) :

$$\log c = \frac{a}{b}$$

• J'utilise la propriété $\log c = d \Leftrightarrow c = 10^d$.

Comme $\log c = \frac{a}{b}$, alors il vient $c = 10^{\frac{a}{b}}$.

Donc $a = b \times \log c \Leftrightarrow c = 10^{\frac{a}{b}}$.

Côté physique & chimie

1. Montrer que lorsque l'intensité sonore est multipliée par 2, alors le niveau d'intensité sonore augmente de 3 dB.

2. Calculer l'intensité sonore correspondant à un niveau d'intensité sonore de 75 dB.

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Méthode

1. Le niveau d'intensité sonore est : $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$.

• En utilisant la propriété du log pour $a > 0$ et $b > 0$:

$$\log(a \times b) = \log a + \log b$$

En notant L' le niveau d'intensité sonore obtenu, il vient :

$$L' = 10 \log\left(\frac{I \times 2}{I_0}\right) = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right) + 10 \log 2 = L + 10 \log 2$$

• Or $10 \log 2 \approx 3$. Donc $L' = L + 3$.

2. La relation $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$ s'écrit aussi $\log\left(\frac{I}{I_0}\right) = \frac{L}{10}$.

• En utilisant la propriété du log pour $c > 0$:





$$\log c = d \Leftrightarrow c = 10^d, \text{ il vient } \frac{I}{I_0} = 10^{\frac{L}{10}} \text{ et donc } I = I_0 \times 10^{\frac{L}{10}}.$$

$$\bullet I = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \times 10^{\frac{75 \text{ dB}}{10}} = 3,2 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}.$$

À retenir !

- Pour tous réels a et b strictement positifs, on a : $\log(a \times b) = \log a + \log b$ et $\log\left(\frac{a}{b}\right) = \log a - \log b$.
- Pour tous réels c et d avec c strictement positif, on a : $\log c = d \Leftrightarrow c = 10^d$.

Les vidéos du chapitre

			
https://youtu.be/O_LR_tIgfzA	https://www.youtube.com/watch?v=-jbfQuOFTdw	https://www.youtube.com/watch?v=XOGXbmQefH8	https://youtu.be/4fDHDtCeHpl
Rappels : double périodicité et grandeurs associées	Ondes sonores	Effet Doppler	Autre cours : le décalage Doppler

Les exercices du plan de travail

A faire après le cours sur le niveau d'intensité sonore

Étudier « I » du cours.

Exercices d'application : 3-4-5 p 358

3 CORRIGÉ **Calculer un niveau d'intensité sonore**
 | Effectuer des calculs.

Calculer le niveau d'intensité sonore correspondant à chacune des intensités sonores suivantes.

1. $1,2 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$ 2. $7,3 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
 3. $2,3 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Données
 • $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$. • $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

4 **Relier L et I**
 | Mobiliser ses connaissances.

1. Sans calcul, relier chaque niveau d'intensité sonore à l'intensité sonore correspondante.

$3,2 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	•		•	48 dB
$6,3 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	•		•	85 dB
$6,5 \times 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	•		•	98 dB

2. Par le calcul, retrouver L pour $I = 3,2 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Données
 • $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$. • $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

5 CORRIGÉ **Utiliser le logarithme décimal**

1. Établir l'expression de l'intensité sonore en fonction du niveau d'intensité sonore.

2. Recopier et compléter sans calculatrice ce tableau.

$I (\text{W} \cdot \text{m}^{-2})$	L (dB)
1×10^{-5}	
2×10^{-5}	
	60

Utiliser le réflexe 1

Données
 • $L = 10 \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$. • $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. • $\log(2) = 0,3$.

A faire après l'AE 17.1 : Atténuation sonore

Lire la correction de l'AE 17.1.

Étudier le « II » du cours. Visionner la vidéo « ondes sonores »

Exercices d'application : 6-7-16-17-18-19 p 359-360

6 Mettre en évidence une atténuation

6 CORRIGÉ | Mobiliser ses connaissances.

Un niveau d'intensité sonore moyen de 78 dB est enregistré dans un jardin bordant une route. Après construction d'un mur anti-bruit, le niveau d'intensité sonore moyen dans ce jardin est 67 dB.

1. Quel phénomène est mis en évidence ?
2. Calculer la grandeur correspondante.

Utiliser le réflexe 2

7 Exploiter une atténuation

| Rédiger une explication.

Casque antibruit
A = 33 dB
DELTAPLUS®



Bouchons d'oreilles
A = 26 dB

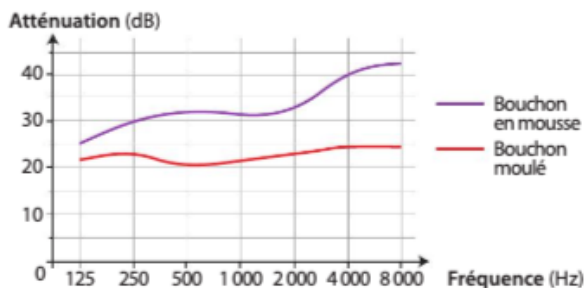


- Quel sera le niveau d'intensité sonore ressenti par un utilisateur de chacun de ces dispositifs si le niveau d'intensité sonore ambiant est 95 dB ?

18 Le petit bouchon en mousse

| Exploiter des informations.

Les bouchons anti-bruit sont utilisés pour limiter le niveau d'intensité sonore tout en gardant la qualité du son. Le graphique ci-dessous représente les courbes d'atténuation d'un bouchon en mousse et d'un bouchon moulé.



1. Pour quel type de bouchon la fréquence a-t-elle le plus d'influence sur l'atténuation ?
2. a. Pourquoi dit-on qu'avec des bouchons en mousse, le son perçu est plus grave que le son émis ?
b. Cet effet est-il aussi marqué pour un bouchon moulé ?
3. Indiquer, pour les deux situations suivantes, le type de bouchon antibruit le mieux adapté.
 - a. Le son d'un avion au décollage est perçu avec un niveau d'intensité sonore de 140 dB.
 - b. Lors d'un concert, le niveau d'intensité sonore perçu est égal à 100 dB.

16 Avant le spectacle

| Effectuer des calculs.

Des mesures réalisées pendant un concert de trois guitaristes sont rassemblées ci-dessous :

	Intensité sonore I ($W \cdot m^{-2}$)	Niveau sonore L (dB)
Guitariste 1	$1,0 \times 10^{-4}$	
Guitariste 2		70
Guitariste 3		
Guitaristes 1 et 3		83

1. Compléter le tableau.
2. Que deviennent l'intensité sonore et le niveau d'intensité sonore si les trois guitaristes jouent en même temps ?

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} W \cdot m^{-2}$.

19 Connaître les critères de réussite

Au son de la corne de brume

| Effectuer des calculs.

Les cornes de brume sont utilisées dans le domaine maritime pour signaler un obstacle ou un danger.



Elles peuvent produire un son dont le niveau d'intensité sonore peut atteindre 115 dB.

1. Déterminer l'intensité sonore maximale du son émis par une corne de brume.
2. À 50 m de la corne de brume, l'intensité sonore est égale à $1,0 \times 10^{-4} W \cdot m^{-2}$.
 - a. Déterminer le niveau d'intensité sonore correspondant.
 - b. En déduire l'atténuation géométrique du signal.

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} W \cdot m^{-2}$.

A faire après l'AE 17.2 : Effet Doppler

Lire la correction de l'AE 17.2.

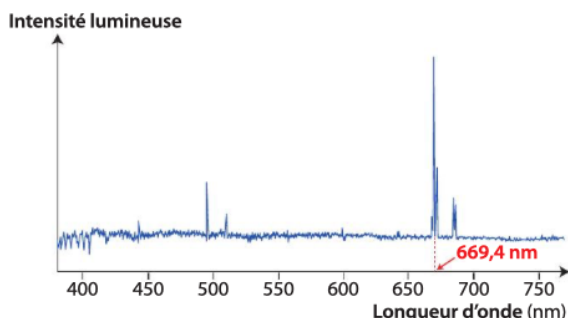
Étudier le « III » du cours. Visionner les vidéos « effet Doppler »

Exercices d'application : 8-9-10-11-12-13-14-15-22-27 p 358 à 361

10 Exploiter qualitativement l'effet Doppler

CORRIGÉ | Interpréter des observations.

Le spectre de la lumière d'une étoile montre une raie de longueur d'onde égale à 669,4 nm.



Avec une source et un capteur immobiles sur Terre, cette raie a une longueur d'onde égale à 656,3 nm.

- Interpréter cette observation. Utiliser le réflexe 3

11 Connaître l'effet Doppler

CORRIGÉ | Restituer ses connaissances.

• Associer chaque élément de la colonne de gauche à un élément de la colonne de droite pour comparer les caractéristiques des ondes émises par un émetteur (E) et reçues par un récepteur (R) en mouvement l'un par rapport à l'autre à une vitesse de valeur inférieure à celle de propagation des ondes.

L'émetteur et le récepteur se rapprochent l'un de l'autre.	•	$f_R > f_E$
	•	$f_R < f_E$
	•	$T_R > T_E$
	•	$T_R < T_E$
L'émetteur et le récepteur s'éloignent l'un de l'autre.	•	$\lambda_R > \lambda_E$
	•	$\lambda_R < \lambda_E$

12 Identifier une expression (1)

CORRIGÉ | Faire preuve d'esprit critique.

Un émetteur d'ondes sonores s'éloigne d'un récepteur avec une vitesse de valeur $v < v_{\text{son}}$. On note f_E la fréquence des ondes émises et f_R la fréquence des ondes reçues.

1. Rappeler l'unité et le signe du décalage Doppler $\Delta f = f_R - f_E$ dans le cas où l'émetteur et le récepteur s'éloignent l'un de l'autre.

2. Parmi les relations suivantes, identifier celle qui donne le décalage Doppler en expliquant pourquoi les trois autres sont incorrectes.

- a $\Delta f = -f_E \times \frac{v}{v_{\text{son}} + v}$ b $\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{\text{son}} - v}$
- c $\Delta f = \frac{v - v_{\text{son}}}{f_E}$ d $\Delta f = \frac{f_E}{f_R} (v - v_{\text{son}})$

13 Identifier une expression (2)

CORRIGÉ | Discuter une formule.

Une étoile s'approche de la Terre avec une vitesse de valeur v telle que $0 < v < c$. Le spectre de la lumière de cette étoile comporte une raie de longueur d'onde λ . La même raie obtenue avec une source et un capteur immobiles sur Terre a une longueur d'onde λ_0 .

• Parmi les relations ci-dessous, identifier celle qui donne la valeur de la vitesse de l'étoile par rapport à la Terre en expliquant pourquoi les deux autres sont incorrectes.

- a $v = c \times \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0 - \lambda}$ b $v = c \times \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0}$ c $v = c \times \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda_0}$

14 Calculer une valeur de vitesse

CORRIGÉ | Effectuer des calculs.

A Fonctionnement d'un radar

1 Le radar a émis une onde de fréquence $f_E = 3,40 \times 10^{10}$ Hz.

2 Après réflexion sur le véhicule, l'onde est revenue vers le radar.

3 Le radar a mesuré la fréquence f_R de l'onde réfléchie et a exploité le décalage Doppler $\Delta f = f_R - f_E$ pour déterminer la valeur de la vitesse du véhicule.

Lors du passage d'une voiture, le radar a mesuré un décalage Doppler $\Delta f = 6,451 \times 10^3$ Hz. Pour ce radar, le décalage Doppler est :

$$\Delta f = \frac{2v \times \cos \alpha}{c} \times f_E$$

Dans cette expression, α est l'angle entre la direction de déplacement du véhicule et l'axe de visée du radar.

- Calculer la valeur de la vitesse du véhicule.

Utiliser le réflexe 4

Données

- Célérité de la lumière : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- $\alpha = 20^\circ$.

15 Calculer un décalage Doppler

CORRIGÉ | Utiliser un modèle pour prévoir.

Une voiture passe en klaxonnant. Le son produit a une fréquence $f_E = 435$ Hz. Elle s'éloigne d'un piéton avec une vitesse de valeur $v = 80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$.

Dans une telle situation, la valeur du décalage Doppler est donnée par :

$$\Delta f = -f_E \times \frac{v}{v_{\text{son}} + v}$$

- Calculer le décalage Doppler perçu par le piéton.

Donnée

Célérité du son : $v_{\text{son}} = 345 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

8 Reconnaître l'effet Doppler

CORRIGÉ

| Décrire des phénomènes.

- Parmi les situations suivantes, repérer celles qui sont la conséquence de l'effet Doppler.
- a) Fréquence d'une note de musique modifiée lorsqu'un musicien accorde son instrument.
- b) Niveau sonore de la sirène d'un camion de pompier qui augmente lorsque ce camion se rapproche.
- c) Fréquence du son de la sirène modifiée lors du passage d'une ambulance.

9 Illustrer l'effet Doppler

| Mobiliser et organiser ses connaissances.

- Citer deux situations mettant en jeu l'effet Doppler.

22 Expérience historique

| Exploiter des informations ; effectuer des calculs.

En 1845, afin de vérifier expérimentalement la théorie de Christian DOPPLER, le scientifique Christoph BUYS-BALLOT a réalisé l'expérience suivante : des musiciens à bord d'un train jouent un *La* de fréquence f_E . Des auditeurs, convenablement disposés le long de la voie ferrée, ont pu reconnaître la note jouée par les musiciens lors de l'approche du train.



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 f_R de la note entendue par les auditeurs situés au bord de la voie ferrée ?

2. Dans cette situation, on a :

$$\Delta f = f_E \times \frac{v}{v_{\text{onde}} - v}$$

$v_{\text{onde}} = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ étant la célérité du son dans les conditions de température du jour de l'observation.

Calculer la valeur de la vitesse de déplacement du train.

Données

Les définitions des notes de musique ont évolué depuis le XIX^e siècle. Les fréquences actuelles sont reportées dans le tableau ci-dessous.

Note	Fa	Fa [#]	Sol	La ^b	La	La [#]	Si
f (Hz)	349	370	393	415	440	464	494

27 Avion de chasse

| Tracer un graphique ; effectuer des calculs.

Un avion se déplace à basse altitude à la vitesse subsonique $v = 200 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, selon une trajectoire rectiligne horizontale. À chaque instant, il émet une onde sphérique acoustique qui se propage à la célérité $v_s = 340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.



À l'instant $t_0 = 0 \text{ s}$, un point de l'avion est à la position M_0 de sa trajectoire. À $t_1 = 0,1 \text{ s}$, il est en M_1 ; à $t_2 = 0,2 \text{ s}$, il est en M_2 , etc.

1. Placer le point M_0 au centre d'une feuille de papier millimétré. Porter, à l'échelle 1 cm pour 20 m, les positions successives de M_0 à M_6 de l'avion sur sa trajectoire.

2. On analyse le phénomène à la date $t_6 = 0,6 \text{ s}$: l'avion est en M_6 .

a. Si, aux positions M_5, M_4, \dots, M_0 ont été créées des ondes sphériques acoustiques, quelles distances d_5, d_4, \dots, d_0 ont été franchies par ces ondes à la date $t_6 = 0,6 \text{ s}$?

b. À cette date t_6 , tracer au compas les limites circulaires atteintes par ces ondes sphériques (placer chaque fois le centre du cercle à tracer sur la position M_i considérée).

3. Montrer que cette construction met en évidence, pour un observateur terrestre, deux séries d'ondes, une en avant et une autre en arrière de l'avion, dont on comparera les longueurs d'onde apparentes respectives λ' et λ'' .

4. En déduire qu'il en résulte deux sons, de fréquences f' et f'' , dont l'un est plus aigu que l'autre.

5. On note λ la longueur d'onde acoustique dans le référentiel du pilote et f la fréquence correspondante.

Calculer le rapport $\frac{f'}{f''}$.

Données

$$\lambda' = \lambda - \frac{v}{f} \text{ et } \lambda'' = \lambda + \frac{v}{f}.$$

Exercices résolus bilan de fin de chapitre

Sirène d'alarme

| Extraire et organiser l'information ; effectuer des calculs.

1. La notice d'une sirène d'alarme indique que l'intensité sonore à 20 m de la sirène est $1,5 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$. Calculer le niveau d'intensité sonore prévisible à 20 m de la sirène.

2. Un voisin constate qu'à 30 m de la sirène, le niveau d'intensité sonore est 78 dB. Calculer l'atténuation correspondante.

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.



Solution rédigée

• On utilise le Réflexe 1.

Rappel de la définition

Calcul

1. Le niveau d'intensité sonore est donné par $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$.

Donc $L = 10 \log \left(\frac{1,5 \times 10^{-4} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}}{1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}} \right) = 82 \text{ dB}$.

À 20 m de la sirène, le niveau d'intensité sonore sera 82 dB.

• On utilise le Réflexe 2.

Calcul de l'atténuation

2. En passant de 20 m à 30 m de la sirène, le niveau d'intensité sonore a diminué de 82 dB à 78 dB. L'atténuation est donc : $A = 82 \text{ dB} - 78 \text{ dB} = 4 \text{ dB}$.

1 Exercice résolu

Effet Doppler et astrophysique

| Exploiter des informations ; effectuer des calculs ; interpréter des résultats.

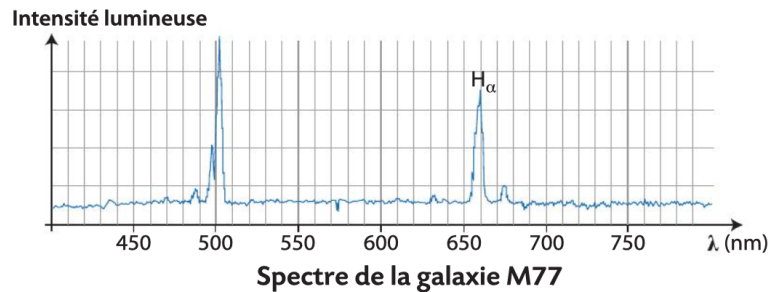
La valeur v de la vitesse d'un astre par rapport à la Terre est donnée par la formule de Doppler-Fizeau :

$$v = c \times \frac{|\lambda_{\text{spectre}} - \lambda_{\text{référence}}|}{\lambda_{\text{référence}}} \text{ avec } \begin{cases} c : \text{ célérité de la lumière dans le vide } (c = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}) \\ \lambda_{\text{spectre}} : \text{ longueur d'onde d'une raie du spectre de la lumière venant de l'astre} \\ \lambda_{\text{référence}} : \text{ longueur d'onde de la même raie dans un spectre de référence (spectre obtenu sur Terre)} \end{cases}$$

1. a. Sachant que la longueur d'onde de la raie H_{α} mesurée sur Terre pour une source au repos est 656,3 nm, calculer le décalage de longueur d'onde pour la raie H_{α} de la galaxie nommée M77.

b. Préciser si la galaxie M77 s'éloigne ou se rapproche de la Terre.

2. Calculer la valeur de la vitesse de la galaxie M77 par rapport à la Terre.



Solution rédigée

• On utilise le **Réflexe 3**.

Comparaison des longueurs d'onde

Déduction du sens du mouvement relatif

• On utilise le **Réflexe 4**.

Relevé de la formule de décalage fournie

Calcul de v

1. a. Le spectre de la galaxie M77 permet de trouver la longueur d'onde de la raie H_{α} . Elle vaut $\lambda_{\text{spectre}} = 660 \text{ nm}$.

Le décalage de longueur d'onde est donc :

$$\Delta\lambda = |\lambda_{\text{spectre}} - \lambda_{\text{référence}}| = 660 \text{ nm} - 656,3 \text{ nm} = 4 \text{ nm}.$$

b. Comme $\lambda_{\text{spectre}} > \lambda_{\text{référence}}$, la raie H_{α} est décalée vers les grandes longueurs d'onde. La galaxie s'éloigne de la Terre.

2. La valeur de la vitesse v de la galaxie M77 par rapport à la Terre est :

$$v = c \times \frac{|\lambda_{\text{spectre}} - \lambda_{\text{référence}}|}{\lambda_{\text{référence}}}$$

$$v = 3,00 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \times \frac{|660 \text{ nm} - 656,3 \text{ nm}|}{656,3 \text{ nm}} \text{ soit } v = 1,7 \times 10^6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}.$$

Le QCM de fin de chapitre

Donnée

Intensité sonore de référence : $I_0 = 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.



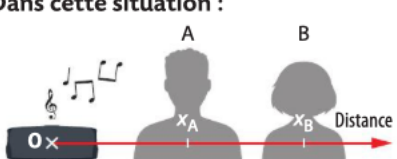
Pour chaque question, indiquer la (ou les) bonne(s) réponse(s), puis vérifier la correction p. 462.

A	B	C
----------	----------	----------

1 Le niveau d'intensité sonore



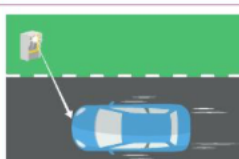

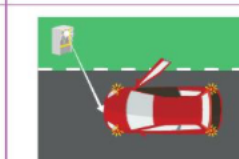
Si erreur, revoir § 1 p. 351

1. Le niveau d'intensité sonore se mesure en :	W	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	dB
2. Quel est le niveau d'intensité sonore correspondant à cette situation ?  $I = 1,0 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	50 dB	70 dB	77 dB
3. L'intensité sonore correspondant à l'affichage ci-dessous est : 	$1,0 \times 10^{43} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,2 \times 10^{-7} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,2 \times 10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
4. L'atténuation d'un son se mesure en :	m	$\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$	dB
5. Dans cette situation : 	$I_A > I_B$	$I_A < I_B$	$L_A > L_B$

2 L'effet Doppler



Si erreur, revoir § 2 p. 352

6. Lorsqu'un émetteur d'ondes est en mouvement par rapport à un récepteur :	la fréquence de l'onde reçue est égale à celle de l'onde émise.	la fréquence de l'onde reçue est différente de celle de l'onde émise.	la longueur d'onde de l'onde reçue est différente de celle de l'onde émise.
7. Un émetteur d'ondes se rapproche d'un récepteur fixe. La fréquence f_E de l'onde émise et celle f_R de l'onde reçue sont telles que :	$f_R < f_E$	$f_R > f_E$	$f_R = f_E$
8. Avec les notations de la question précédente, le décalage Doppler est :	$f_R - f_E$	$f_E - f_R$	$f_E + f_R$
9. L'effet Doppler est utilisé pour mesurer :	une durée.	une distance.	une valeur de vitesse.
10. Un radar installé sur le bord d'une route est utilisé pour mesurer la valeur de la vitesse des véhicules. Quelle situation correspond à un décalage Doppler positif ?			

Les exercices de fin de chapitre

Type Bac : L'oreille (~ 1 h)

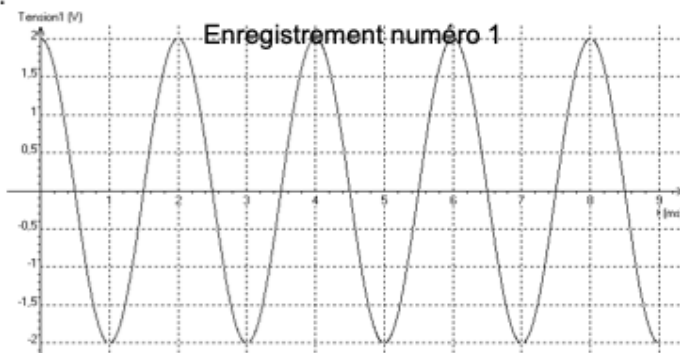
1. Quelques caractéristiques du son

L'oreille sert à détecter les sons. Pour le musicien, le son possède 4 qualités ou paramètres que sont la hauteur, l'intensité, le timbre et la durée. Dans toute la suite de l'exercice, on ne s'intéressera qu'aux trois premiers paramètres à savoir la hauteur, l'intensité et le timbre d'un son.

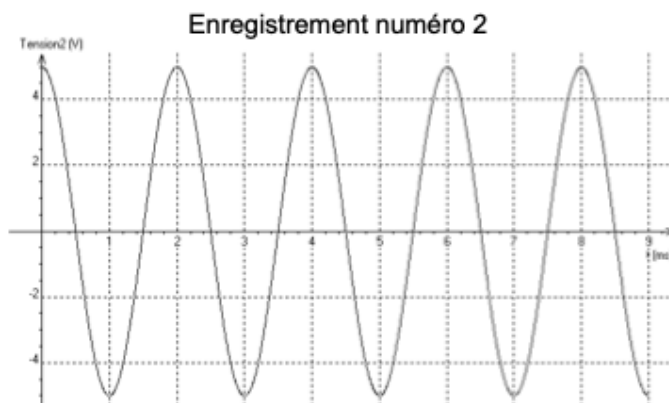
1.1. Donner la définition de la hauteur d'un son.

Le document qui suit présente l'enregistrement, à l'aide d'un logiciel d'acquisition adapté, du son produit par un haut-parleur alimenté par un générateur de fréquence.

1.2. Déterminer la hauteur du son enregistré.

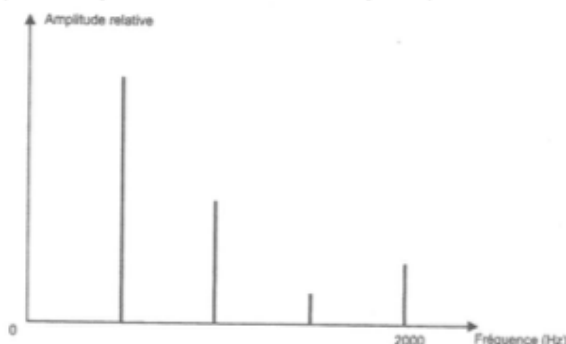


On effectue un autre enregistrement du son émis par le haut-parleur en modifiant un réglage au niveau du générateur de fréquences :



1.3. Quelle modification a effectué l'expérimentateur pour obtenir ce nouvel enregistrement ? Quel paramètre du son, parmi les trois proposés par l'énoncé, a varié dans ce nouvel enregistrement ? Justifier votre réponse.

Le document suivant présente l'enregistrement du son produit par un synthétiseur et son analyse spectrale :



1.4. En utilisant cette analyse spectrale et en justifiant la démarche, montrer que la valeur de la hauteur du son émis lors de cet enregistrement est identique à celle des enregistrements 1 et 2.

1.5. Quelle différence présente le son de l'enregistrement 3 par rapport aux enregistrements 1 et 2 ? Quel paramètre du son est ainsi mis en évidence ? Justifier votre réponse.

2. Le détecteur oreille

On s'intéresse maintenant aux caractéristiques de l'oreille quant à ses capacités à discerner la hauteur de deux sons, ainsi que la différence de niveau sonore entre deux sons.

On rappelle que l'intensité d'un son notée I est caractérisée par son niveau sonore noté L . la relation qui relie ces deux paramètres est la suivante : $L = 10 \log \left(\frac{I}{I_0} \right)$

Où I_0 est une intensité de référence à savoir l'intensité minimale que peut détecter une oreille humaine normale. On donne : $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$. Le niveau sonore L d'un son est donc en quelque sorte une comparaison par rapport à la référence I_0 .

On considère un son dont le niveau sonore $L = 50 \text{ dB}$.

- 2.1. Montrer en utilisant la définition du niveau sonore que l'intensité I du son correspondant vaut $I = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ W.m}^{-2}$.

Superposition des sources sonores

On considère maintenant une source sonore d'intensité sonore I_1 et de niveau sonore L_1 . Si l'on considère maintenant la superposition de deux sources sonores identiques à la précédente, il en résulte une intensité sonore I_2 double de la précédente soit $I_2 = 2 I_1$. On note L_2 le niveau sonore résultant de la superposition de ces deux sources sonores identiques.

- 2.2. En utilisant la définition du niveau sonore, montrer que la relation entre les deux niveaux sonores L_1 et L_2 est : $L_2 = L_1 + 3 \text{ dB}$.

2.3. La sensibilité de l'oreille

La sensibilité de l'oreille, c'est à dire sa capacité à entendre, ne sera pas la même selon la hauteur du son parvenant à l'oreille de l'auditeur. D'autre part, un son émis par une source avec un certain niveau sonore ne sera pas perçu par l'oreille avec ce même niveau sonore. Ces différentes caractéristiques sont résumées dans le diagramme suivant appelé diagramme de Fletcher et Munson.

Le diagramme en annexe montre des courbes d'isotonie (même niveau sonore perçu par l'oreille) en fonction de la hauteur du son. La courbe de niveau 0, nommée sur ce graphe « MINIMUM AUDIBLE » indique le niveau sonore minimal que doit posséder un son pour que celui-ci puisse être audible.

Si l'on considère par exemple un son de hauteur 50 Hz, l'oreille ne pourra le détecter que si son niveau sonore vaut environ 42 dB. (point A sur le diagramme)

De même, un son de niveau sonore 80 dB et de hauteur 50 Hz ne sera perçu au niveau de l'oreille qu'avec un niveau sonore de 60 dB. (point B sur le diagramme)

- 2.3.1. En analysant le diagramme de Fletcher et Munson, on constate à la lecture de l'axe des abscisses, que le domaine des fréquences audibles par l'oreille humaine se situe environ entre 20 Hz et 20 kHz. Où se situent ce qu'on appelle couramment les sons aigus ? Même question concernant les sons graves ?

- 2.3.2. Sur le diagramme joint en annexe à **rendre avec la copie**, placer le point sur la courbe de niveau 0, qui permette de justifier que la sensibilité maximale de l'oreille se situe autour de 4000 Hz.

On considère deux sons de même niveau sonore 60 dB. L'un de fréquence 50 Hz et l'autre de fréquence 100 Hz.

- 2.3.3. En utilisant le diagramme de Fletcher et Munson, déterminer avec quel niveau sonore sera perçu chacun de ces sons par l'oreille. On montrera par un tracé sur le diagramme de Fletcher et Munson **joint en annexe**, les points représentatifs de ces deux sons.

- 2.3.4. Parmi ces deux sons, lequel sera perçu avec le plus d'intensité par l'oreille ?

Type Bac : Nuisance sonore d'un drone (~ 1 h)

La nouvelle réglementation de 2021 concernant les drones indique que le niveau d'intensité sonore de la machine en vol ne doit pas excéder 85 dB. Les constructeurs cherchent donc à améliorer les hélices pour diminuer le niveau d'intensité sonore.

Lors d'un spectacle de drones, plusieurs centaines de drones défilent à seulement une trentaine de mètres des spectateurs.

Cet exercice porte sur une évaluation de la sécurité acoustique de ce spectacle.

Nouvelle réglementation européenne concernant les drones (1^{er} janvier 2021)

- altitude maximale en vol : 120 m ;
- niveau d'intensité sonore maximal en vol : 85 dB à 1 m de distance.

Échelle des décibels

Seuils	Niveau d'intensité sonore
Seuil d'audibilité	0 dB
Chambre à coucher	30 dB
Seuil de danger / de risque	85 dB
Seuil de douleur	120 dB

Données :

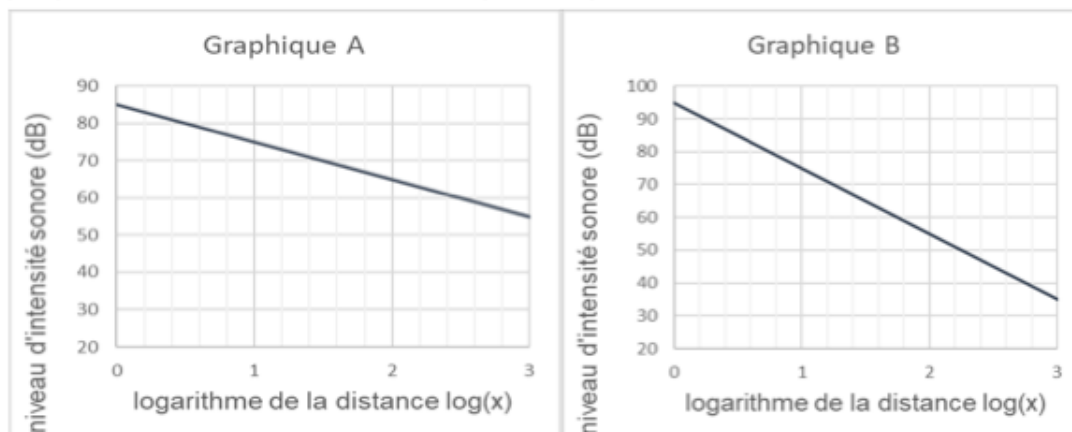
- intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- niveau d'intensité sonore : 85 dB à 1 m de distance ;
- modèle de l'atténuation géométrique pour une source ponctuelle :
l'intensité sonore I à une distance x de la source est liée à la puissance sonore P de cette source par la relation : $I = \frac{P}{4\pi x^2}$.

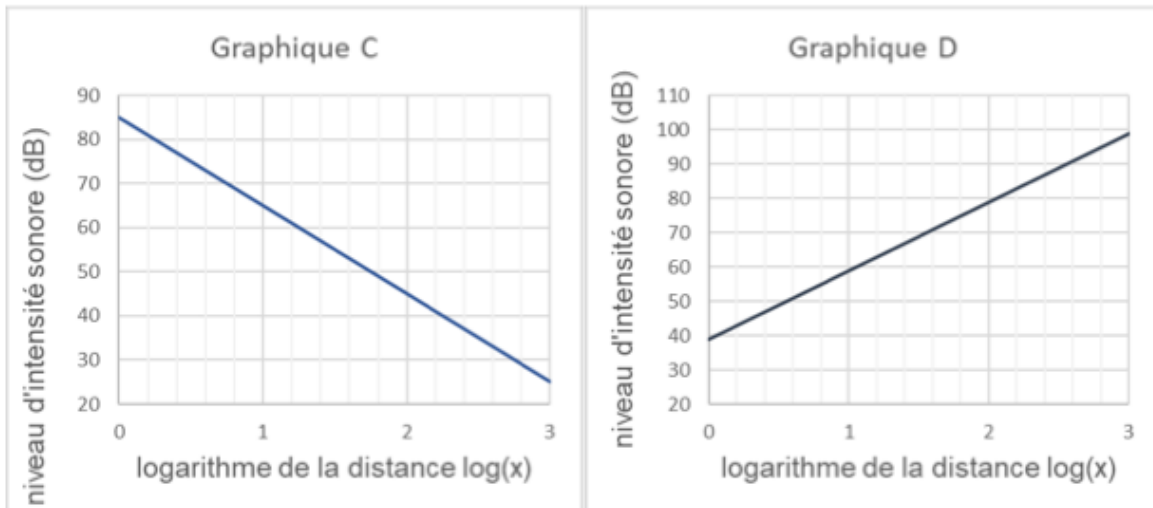
1. Démontrer que le niveau d'intensité sonore L (dB) est lié à la distance x (m) par la relation :

$$L = 10 \log\left(\frac{P}{4\pi \times I_0}\right) - 20 \log(x).$$

Dans cette relation, P s'exprime en watt (W) et I_0 en watt par mètre carré ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$).

2. Déterminer parmi les propositions graphiques ci-dessous celle qui correspond à la représentation graphique de la relation démontrée à la question précédente.





3. En s'appuyant sur le graphique ou sur la relation démontrée à la question 1, sélectionner, en justifiant la réponse, la proposition correcte pour chacune des questions suivantes.

Question 1

Si la distance au drone double, comment évolue le niveau d'intensité sonore ?

- Le niveau d'intensité sonore est augmenté de 20 dB.
- Le niveau d'intensité sonore est atténué de 3 dB.
- Le niveau d'intensité sonore est atténué de 6 dB.

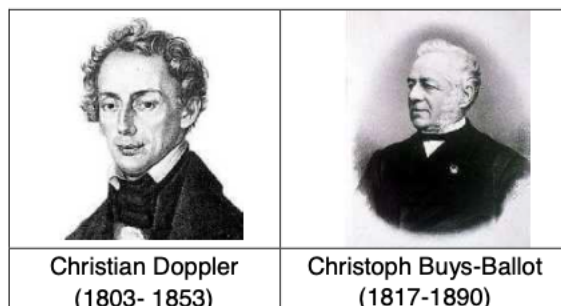
Question 2

Si la distance au drone est divisée par 10, comment évolue le niveau d'intensité sonore ?

- Le niveau d'intensité sonore est augmenté de 10 dB.
- Le niveau d'intensité sonore est atténué de 10 dB.
- Le niveau d'intensité sonore est augmenté de 20 dB.

- Montrer que la valeur de la puissance sonore d'un drone est voisine de 4 mW.
- Déterminer, à l'aide du graphique C, la distance au drone pour laquelle le niveau d'intensité sonore perçu par une personne au sol est équivalent à celui d'une chambre à coucher. Comparer cette distance à la hauteur imposée par la réglementation.
- Un spectacle utilise 500 drones volant en essaim à une distance moyenne des spectateurs de 30 m. Déterminer, dans ces conditions, si les spectateurs ont besoin de protections auditives durant le spectacle.

À partir de quel nombre de drones volant à 30 m des spectateurs, cela représente-t-il un risque ? Commenter.



Christian Doppler, savant autrichien, propose en 1842 une explication de la modification de la fréquence du son perçu par un observateur immobile lorsque la source sonore est en mouvement. Buys-Ballot, scientifique hollandais, vérifie expérimentalement la théorie de Doppler en 1845, en enregistrant le décalage en fréquence d'un son provenant d'un train en mouvement et perçu par un observateur immobile.

On se propose de présenter l'effet Doppler puis de l'illustrer au travers de deux applications.

1. Mouvement relatif d'une source sonore et d'un détecteur

Nous nous intéressons dans un premier temps au changement de fréquence associé au mouvement relatif d'une source sonore S et d'un détecteur placé au point M (figure 1). Le référentiel d'étude est le référentiel terrestre dans lequel le détecteur est immobile. Une source S émet des « bips » sonores à intervalles de temps réguliers dont la période d'émission est notée T_0 . Le signal sonore se propage à la célérité v_{son} par rapport au référentiel terrestre.

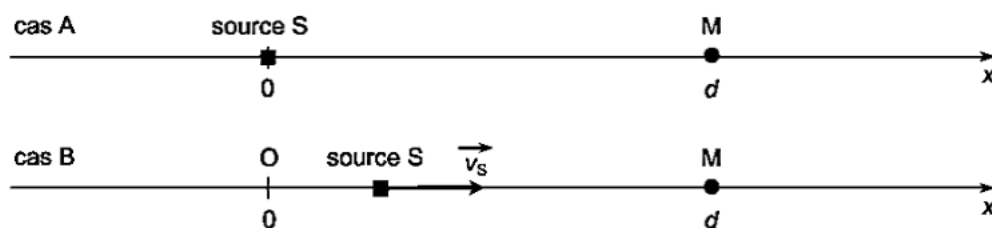


Figure 1. Schéma représentant une source sonore immobile (cas A), puis en mouvement (cas B).

1.1. Cas A : la source S est immobile en $x = 0$ et le détecteur M, situé à la distance d , perçoit chaque bip sonore avec un retard lié à la durée de propagation du signal.

- 1.1.1. Définir par une phrase, en utilisant l'expression « bips sonores », la fréquence f_0 de ce signal périodique.
- 1.1.2. Comparer la période temporelle T des bips sonores perçus par le détecteur à la période d'émission T_0 .

1.2. Cas B : la source S, initialement en $x = 0$, se déplace à une vitesse constante v_s suivant l'axe Ox en direction du détecteur immobile. La vitesse v_s est inférieure à la célérité v_{son} . On suppose que la source reste à gauche du détecteur.

Le détecteur perçoit alors les différents bips séparés d'une durée $T' = T_0 \left(1 - \frac{v_s}{v_{son}} \right)$

Indiquer si la fréquence f' des bips perçus par le détecteur est inférieure ou supérieure à la fréquence f_0 avec laquelle les bips sont émis par la source S. Justifier.

2. La vélocimétrie Doppler en médecine

La médecine fait appel à l'effet Doppler pour mesurer la vitesse d'écoulement du sang dans les vaisseaux sanguins (figure 2).

Un émetteur produit des ondes ultrasonores qui traversent la paroi d'un vaisseau sanguin. Pour simplifier, on suppose que lorsque le faisceau ultrasonore traverse des tissus biologiques, il rencontre :

- des cibles fixes sur lesquelles il se réfléchit sans modification de la fréquence ;
- des cibles mobiles, comme les globules rouges du sang, sur lesquelles il se réfléchit avec une modification de la fréquence ultrasonore par effet Doppler (figure 3).

différents
vaisseaux du
lit vasculaire

vitesse de
l'écoulement
sanguin
(cm/s)

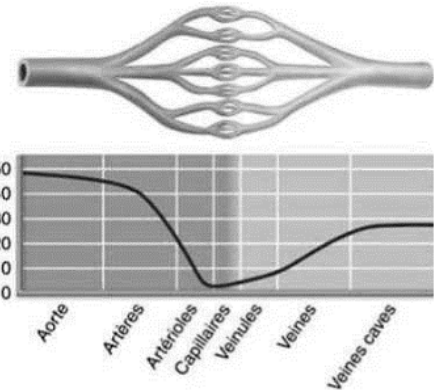


Figure 2. Vitesse moyenne du sang dans différents vaisseaux sanguins.

©2011 Pearson

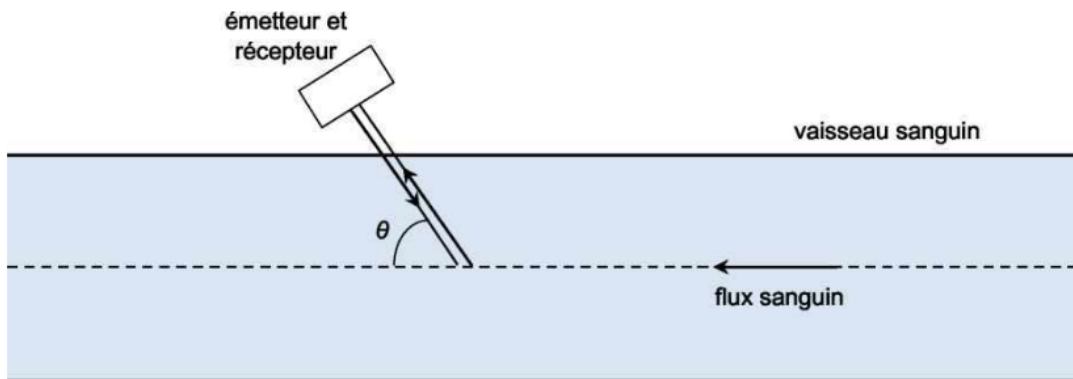


Figure 3. Principe de la mesure d'une vitesse d'écoulement sanguin par effet Doppler (échelle non respectée).

L'onde ultrasonore émise, de fréquence $f_E = 10$ MHz, se réfléchit sur les globules rouges qui sont animés d'une vitesse v . L'onde réfléchie est ensuite détectée par le récepteur.

La vitesse v des globules rouges dans le vaisseau sanguin est donnée par la relation $v = \frac{v_{ultrason} \cdot \Delta f}{2 \cos \theta \cdot f_E}$ où

Δf est le décalage en fréquence entre l'onde émise et l'onde réfléchie, $v_{ultrason}$ la célérité des ultrasons dans le sang et θ l'angle défini sur la figure 3.

On donne $v_{ultrason} = 1,57 \times 10^3$ m.s⁻¹ et $\theta = 45^\circ$.

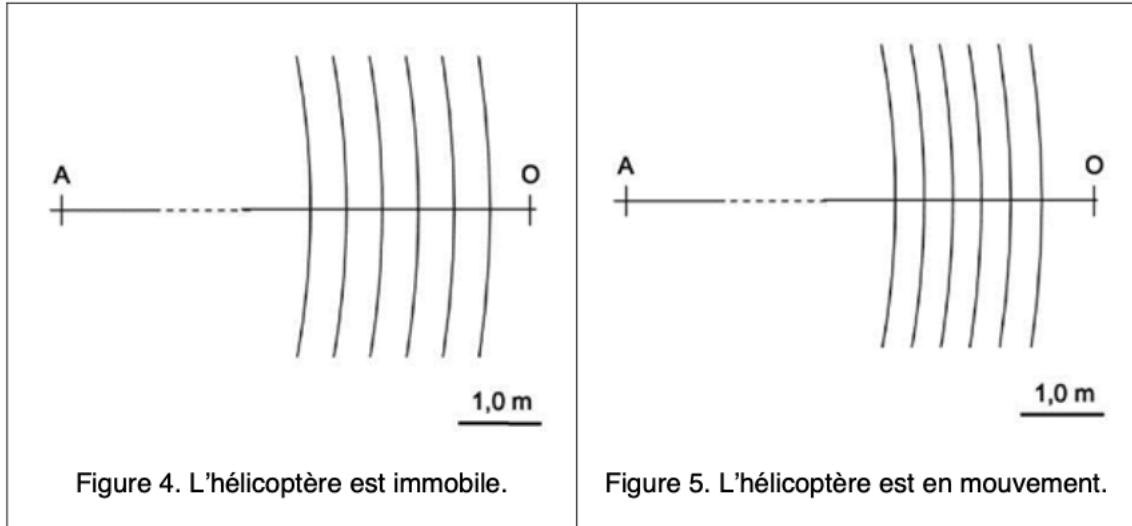
2.1. Le décalage en fréquence mesuré par le récepteur est de 1,5 kHz. Identifier le(s) type(s) de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.

2.2. Pour les mêmes vaisseaux sanguins et dans les mêmes conditions de mesure, on augmente la fréquence des ultrasons émis f_E . Indiquer comment évolue le décalage en fréquence Δf . Justifier.

3. Détermination de la vitesse d'un hélicoptère par effet Doppler

On s'intéresse à un son émis par un hélicoptère et perçu par un observateur immobile. La valeur de la fréquence de l'onde sonore émise par l'hélicoptère est $f_0 = 8,1 \times 10^2$ Hz. On se place dans le référentiel terrestre pour toute la suite de cette partie.

Les portions de cercles des figures 4 et 5 ci-dessous donnent les maxima d'amplitude de l'onde sonore à un instant donné. Le point A schématise l'hélicoptère. Dans le cas de la figure 4, l'hélicoptère est immobile. Dans le cas de la figure 5, il se déplace à vitesse constante le long de l'axe et vers l'observateur placé au point O. La célérité du son dans l'air est indépendante de sa fréquence.



3.1. Déterminer, avec un maximum de précision, la longueur d'onde λ_0 de l'onde sonore perçue par l'observateur lorsque l'hélicoptère est immobile, puis la longueur d'onde λ' lorsque l'hélicoptère est en mouvement rectiligne uniforme.

3.2. En déduire une estimation de la valeur de la célérité de l'onde sonore. Commenter la valeur obtenue.

3.3. Déterminer la fréquence du son perçu par l'observateur lorsque l'hélicoptère est en mouvement. Cette valeur est-elle en accord avec le résultat de la question 1.2. ? Comment la perception du son est-elle modifiée ?

3.4. En déduire la valeur de la vitesse de l'hélicoptère. Cette valeur vous paraît-elle réaliste.

Après mes révisions, je me sens dans l'état d'esprit suivant pour aborder le devoir surveillé :

