

Phénomène ondulatoire – Exercices - Devoirs

Exercice 1 corrigé disponible

D'après l'institut national de recherche et de sécurité (INRS), un niveau sonore de 80dB correspondant au seuil de « nocivité » : cela signifie qu'être exposé à un son de ce niveau 8 heures par jour au moins entraîne des problèmes de santé. Un son de 130dB provoque immédiatement une sensation douloureuse.

Donnée : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$

- a- Lors d'un contrôle dans un concert de rock, une intensité sonore de $0,10 \text{ W.m}^{-2}$ a été mesurée dans la zone réservée au public. Le seuil de nocivité a-t-il été dépassé ?

.....

.....

.....

.....

- b- Une tondeuse à gazon émet un bruit à 80dB. Combien de tondeuse doivent fonctionner simultanément pour atteindre le niveau sonore du concert de rock ?

.....

.....

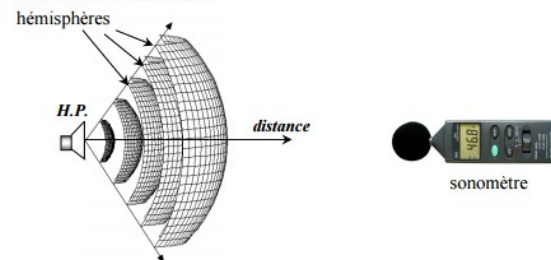
.....

.....

Exercice 2 corrigé disponible

III. Mesure par un sonomètre (4 points)

- Un haut parleur (H.P.) émet un son d'amplitude constante. On mesure le niveau sonore à différentes distances du H.P. à l'aide d'un sonomètre.



- L'intensité sonore I est la puissance P (en W) de la vibration sonore reçue par unité de surface S (en m^2) : $I = \frac{P}{S}$
- On admettra ici que la puissance sonore émise par le H.P. garde une valeur totale constante lors de sa progression dans l'air et qu'elle se répartit équitablement sur un hémisphère de rayon R et de surface $S = 2\pi \times R^2$.

➤ Données : Seuil d'audibilité : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$; Niveau sonore : $L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$;

La fonction réciproque de $\log(x)$ est la fonction 10^x .

- Montrer que lorsque la distance entre le récepteur (sonomètre) et l'émetteur (H.P.) double, l'intensité sonore est alors réduite d'un facteur 4.
- Déterminer l'intensité sonore I à 5,0m du H.P. si le niveau sonore mesuré est $L=84\text{dB}$
- En déduire le niveau sonore L' mesuré par le sonomètre à 10m du H.P.

Exercice 3 corrigé disponible

On considère un son de niveau sonore $L = 50 \text{ dB}$

2.1. Déterminer l'intensité du son correspondant

Superposition des sources sonores

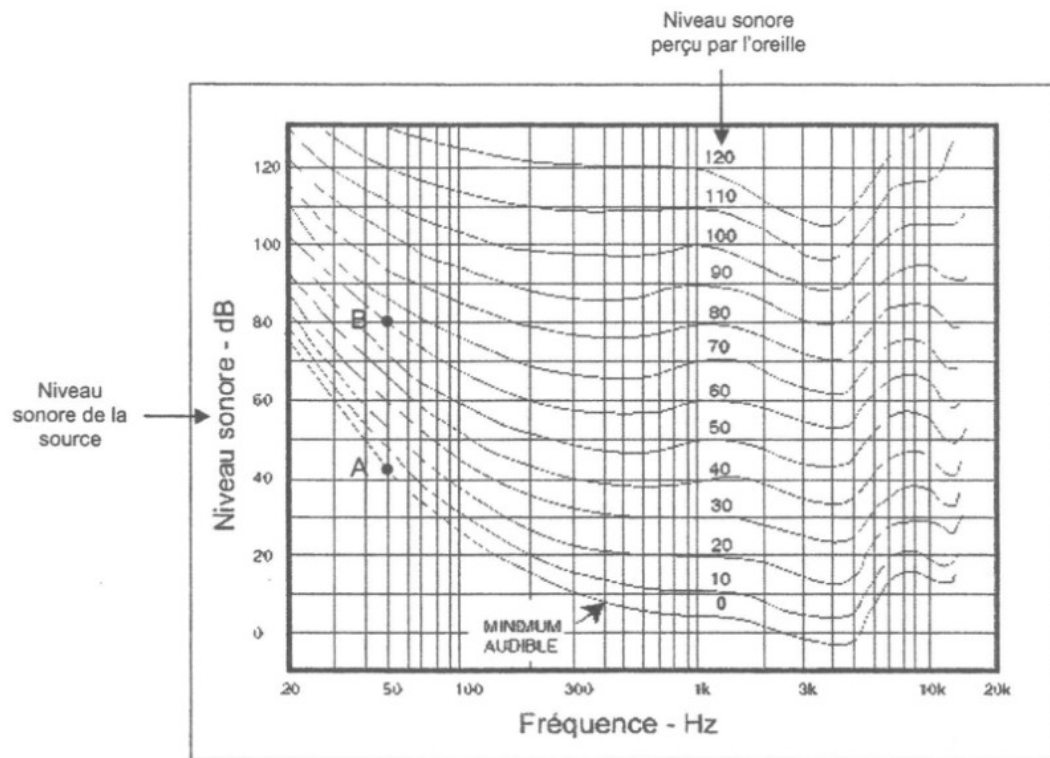
On considère maintenant une source sonore d'intensité sonore I_1 et de niveau sonore L_1 . Si l'on considère maintenant la superposition de deux sources sonores identiques à la précédente, il en résulte une intensité sonore I_2 double de la précédente soit $I_2 = 2 I_1$. On note L_2 le niveau sonore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

Diagramme de Fletcher et Munson



Ce diagramme 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. Qu'appelle-t-on un son aigu ? Même question pour un son grave.

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

2.3.2. En utilisant le diagramme de Fletcher et Munson, déterminer avec quel niveau sonore sera perçu chacun de ces sons par l'oreille.

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

Exercice 4 corrigé disponible



Christian Doppler
(1803 - 1853)



Christoph Buys-Ballot
(1817 - 1890)

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.

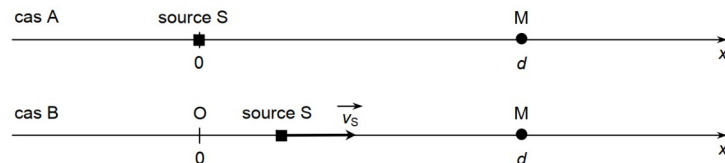


Figure 1. Schéma représentant une source sonore immobile (cas A), puis en mouvement (cas B).

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 et 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).

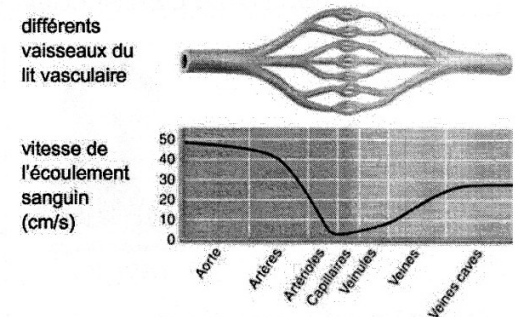


Figure 2. Vitesse moyenne du sang dans différents vaisseaux sanguins.

©2011 Pearson

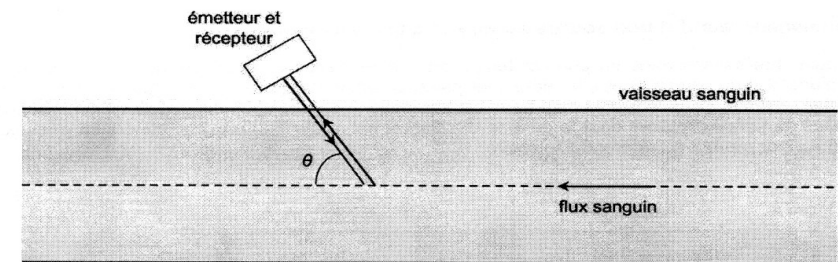


Figure 3. Principe de la mesure d'une vitesse d'écoulement sanguin par effet Doppler (échelle non respectée).

L'onde ultrasonore émise, de fréquence $f_E = 10 \text{ MHz}$, 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 $v = \frac{v_{\text{ultrason}}}{2 \cos \theta} \cdot \frac{\Delta f}{f_E}$ 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 $v_{\text{ultrason}} = 1,57 \times 10^3 \text{ m.s}^{-1}$ et $\theta = 45^\circ$.

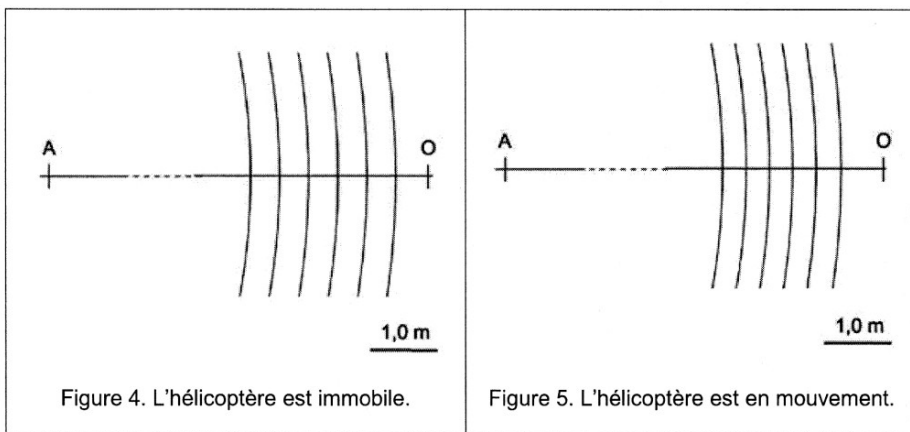
2.1. Le décalage en fréquence mesuré par le récepteur est de 1,5 kHz. Identifier le(s) type(s) de vaisseaux sanguins dont il pourrait s'agir.

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 $f_0 = 8,1 \times 10^2 \text{ Hz}$. 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.

Exercice 5 corrigé disponible

On attribue la découverte de la diffraction à Francesco Grimaldi (1618-1663). Le but de l'exercice est d'étudier une application pratique de la diffraction : la détermination de la taille moyenne de poudre de cacao par granulométrie.

Les deux parties de l'exercice sont indépendantes.

Document 1 : Granulométrie laser de la poudre de cacao



L'appareil ci-contre permet de mesurer la taille de particules allant de 40 nm à 2500 μm tout en occupant un encombrement extrêmement réduit.

Le fabricant de l'appareil indique que deux diodes laser de longueurs d'onde 635 nm et 830 nm sont utilisées dans cet instrument de mesure.

Document 2 : Différents types de chocolat

Le succès du chocolat, auprès des consommateurs, est lié à des caractéristiques gustatives bien identifiées mais aussi à la granulométrie de chacun des constituants.

Cette dernière propriété représente un enjeu important du procédé de fabrication puisque des particules trop finement broyées rendront le chocolat collant alors que de trop grosses particules lui donneront un aspect granuleux à l'œil et en bouche.

La mesure de la taille des particules, par diffraction laser, est une technique simple et rapide, adaptée à la détermination de la distribution granulométrique de tous les types de chocolat comme les chocolats de couverture utilisés pour le nappage, les chocolats au lait ou les chocolats agglomérés utilisés pour les recettes instantanées.

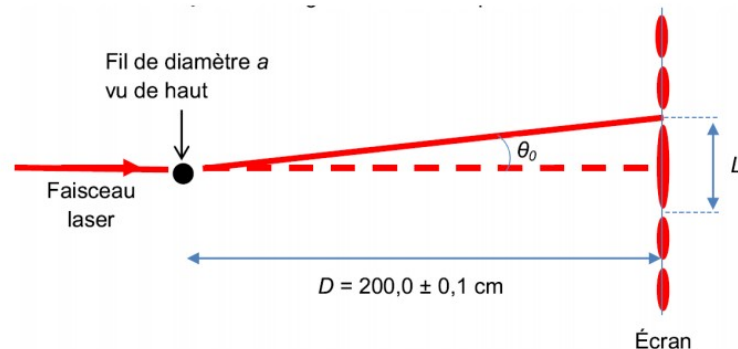
Type de chocolat	De couverture	Au lait	Aggloméré
$a(*)$ en μm	10	30	300

(*) a représente le diamètre moyen recommandé de la poudre de cacao pour un type de chocolat.

D'après <http://www.es-France.com/pdf/010-Cacao.pdf>

Partie 1 : Vérification de la longueur d'onde d'une des diodes laser utilisées

L'objectif de cette partie est de vérifier la valeur de la longueur d'onde λ d'une des diodes laser utilisées dans l'appareil de granulométrie. Sur le trajet du faisceau laser, on intercale des fils de différents diamètres. Sur un écran placé à une distance D , on observe une figure de diffraction. L représente la largeur de la tache centrale et θ_0 le demi-angle au sommet exprimé en radian.



1.1. Rappeler les trois principales propriétés du faisceau d'un laser.

1.2. Pour une longueur d'onde donnée, décrire l'évolution du demi-angle θ_0 en fonction du diamètre a du fil. Donner la relation qui lie λ , θ_0 et a .

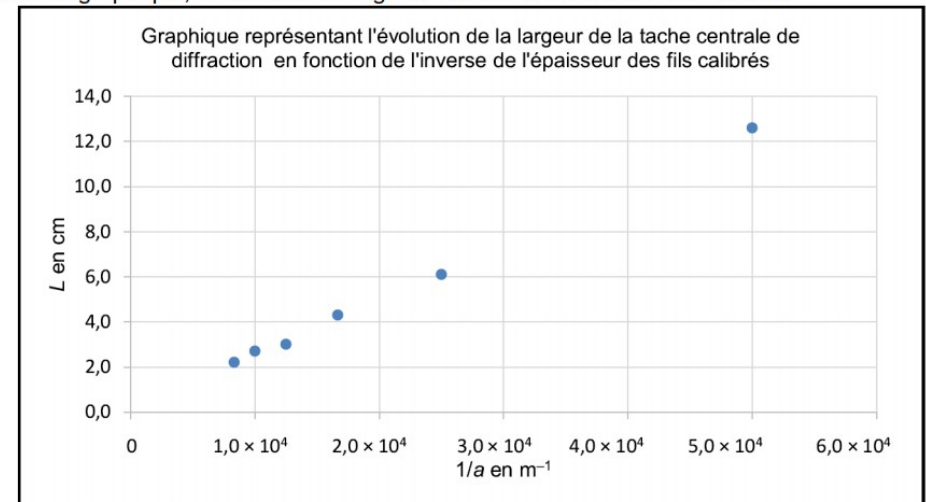
1.3. On fait l'hypothèse que l'angle θ_0 est petit. Dans ce cas, on peut écrire $\tan \theta_0 \approx \theta_0$ avec θ_0 en radian.

À l'aide du schéma, démontrer que la largeur de la tache centrale est donnée par l'expression :

$$L = k \cdot \frac{1}{a} \text{ avec } k = 2\lambda \cdot D$$

1.4. Expérimentalement, on mesure la largeur de la tache centrale L pour des fils calibrés de différentes valeurs de diamètre a . on porte les valeurs obtenues sur le graphique ci-dessous.

À partir du graphique, déterminer la longueur d'onde λ de la diode laser utilisée.



1.5. L'incertitude absolue sur la longueur d'onde λ , notée $\Delta\lambda$, peut être déterminée à partir de la relation suivante :

$$\Delta\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta D}{D}\right)^2 + \left(\frac{\Delta k}{k}\right)^2}$$

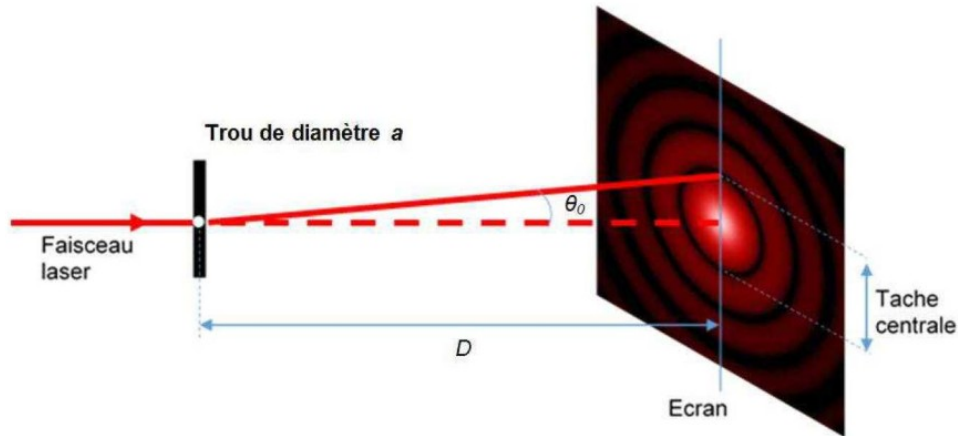
L'incertitude absolue sur la valeur du coefficient directeur est $\Delta k = 1,2 \times 10^{-7} \text{ m}^2$.

Exprimer la valeur de la longueur d'onde λ avec son incertitude. Confronter aux valeurs données par le fabricant de l'appareil ; conclure.

Partie 2 : Étude de la diffraction par la poudre de cacao

Dans cette partie, on considère que l'on peut déterminer le diamètre moyen des grains de cacao d'une poudre donnée en utilisant une figure de diffraction réalisée avec la diode laser de longueur d'onde $\lambda = 635 \text{ nm}$.

Donnée : Expérience de diffraction par un trou circulaire :

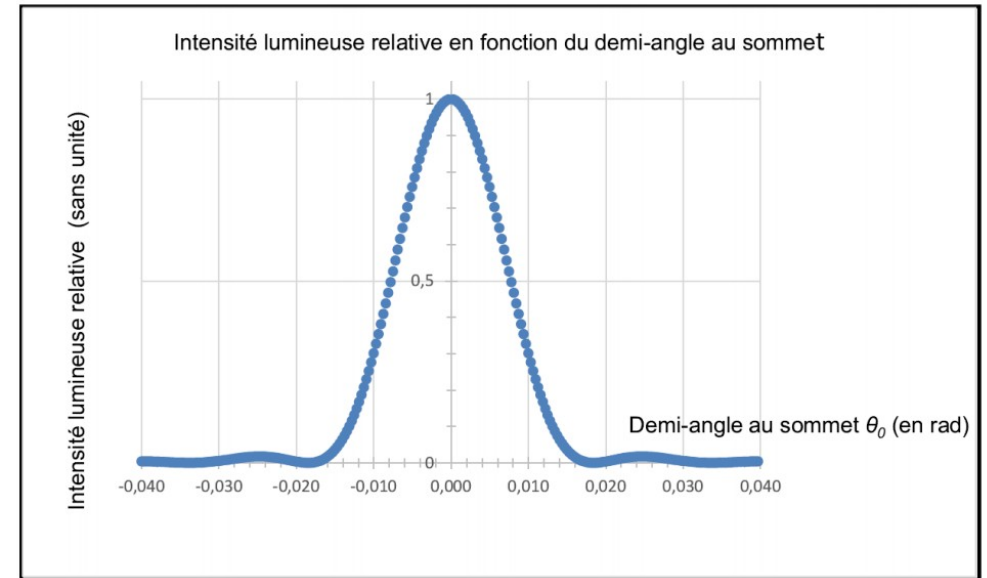


La figure de diffraction obtenue par un trou circulaire est constituée de cercles concentriques alternativement brillants et sombres avec :

$$\sin \theta_0 = \frac{1,22 \cdot \lambda}{a}$$

λ : longueur d'onde du faisceau laser, exprimée en mètre
 a : diamètre du trou, exprimée en mètre
 θ_0 : demi-angle au sommet, exprimée en radian

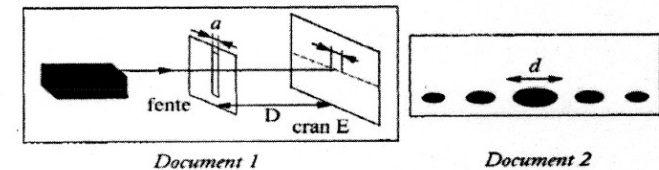
- 2.1. En utilisant un montage proche de celui donné ci-dessus, on réalise l'expérience sur un échantillon de poudre de cacao. Sachant que les grains de cacao sont assimilés à des sphères, justifier le fait qu'on observe une figure de diffraction identique à celle obtenue avec un trou circulaire.
- 2.2. Après traitement informatique des résultats expérimentaux lors du contrôle d'un échantillon de poudre de cacao, on obtient le graphe ci-dessous donnant l'intensité lumineuse relative sur l'écran en fonction du demi-angle θ_0 . Peut-on utiliser cet échantillon pour un chocolat de couverture ?



Exercice 6 corrigé disponible

1. Observation d'un phénomène lié au laser

On utilise un laser produisant une lumière de longueur d'onde λ placée devant une fente de largeur « a » (voir schéma suivant, document 1). On observe la figure suivante (document 2), constituée de tâches lumineuses, sur un écran E placé à la distance « D » de la fente.



- 1.1. Quel est le nom du phénomène observé ?

La largeur de la tache centrale d sur l'écran varie lorsque l'on fait varier la distance D entre la fente et l'écran, la longueur d'onde λ de la lumière, ou la largeur a de la fente. Une série d'expériences effectuées montrent que d est proportionnelle à la longueur d'onde de la lumière.

- 1.2. k étant une constante sans dimension, on propose les formules (1), (2), (3), (4) et (5) ci-dessous. Laquelle peut-on éliminer ? Justifier la réponse.

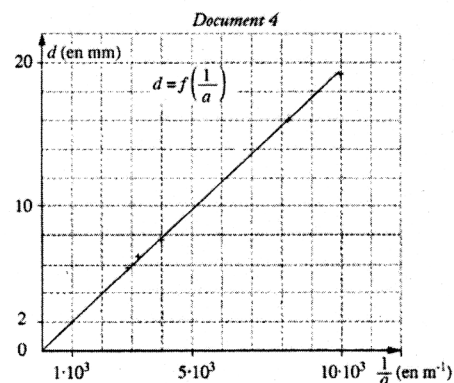
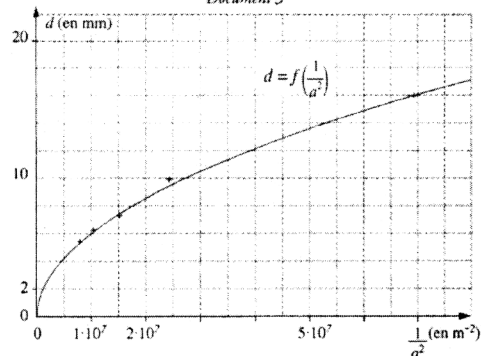
$$(1) d = \frac{k \lambda D}{a} \quad (2) d = \frac{k \lambda D}{a^2} \quad (3) d = \frac{k a D}{\lambda} \quad (4) d = \frac{k \lambda D^2}{a^2} \quad (5) d = k a \lambda D$$

2. Influence de la largeur de la fente

Tous les autres paramètres restant inchangés pendant les mesures, on fait varier la largeur a de la fente et on mesure les valeurs de d correspondantes. Les résultats sont consignés dans le tableau suivant.

a (en μm)	100	120	200	250	300	340
d (en mm)	19	16	10	7,5	6,5	5,5

Tableau n° 1
Grâce à ces résultats, on obtient les courbes suivantes :
Document 3



Préciser laquelle (ou lesquelles) des formules proposées à la question 1.2 est (sont) encore possible(s). Justifier la réponse.

3. Influence de la distance D entre la fente et l'écran

On fixe λ et a . On déplace l'écran et on obtient les résultats suivants :

D (en m)	1,70	1,50	1,20	1,00
d (en mm)	21	19	15	13

- 3.1. Quelle courbe est-il judicieux de tracer pour vérifier la réponse à la question précédente ? Justifier.
- 3.2. Tracer cette représentation graphique sur l'ANNEXE (à rendre avec la copie).
- 3.3. Calculer le coefficient directeur p de la droite obtenue.
- 3.4. En déduire la valeur de k , sachant que c'est un entier, et que l'on a fait les mesures pour : $\lambda = 633 \text{ nm}$ et $a = 100 \mu\text{m}$

4. Détermination d'une petite dimension par application du phénomène

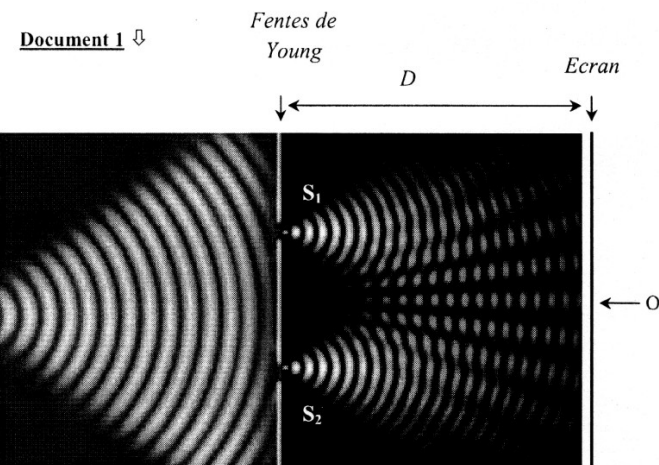
Un fil placé à la position exacte de la fente du dispositif précédent produit exactement la même figure sur l'écran. Des élèves disposant d'une diode laser ($\lambda = 633 \text{ nm}$) décident de mettre en œuvre cette expérience pour mesurer le diamètre a d'un cheveu qu'ils ont placé sur un support. Ils obtiennent une tâche centrale de largeur $d = 22 \text{ mm}$ lorsque l'écran est à $D = 1,50 \text{ m}$ du cheveu.

- 4.1. Calculer le diamètre du cheveu (le cheveu joue un rôle analogue à celui de la fente).
- 4.2. Quelle aurait été approximativement la largeur de la tâche centrale si un laser vert avait été utilisé à la place du laser rouge ? Justifier.

Exercice 7 corrigé disponible

2. Utilisation des fentes de Young sur le chemin du faisceau laser

- Le même faisceau laser de longueur d'onde $\lambda = 650 \text{ nm}$ pénètre dans un système de fentes de Young dont les fentes sont espacées d'une distance $b = 0,21 \text{ mm}$. La distance D entre les fentes et l'écran est $D = 80,0 \text{ cm}$
- La droite en pointillés représente la médiatrice du segment S_1S_2 .

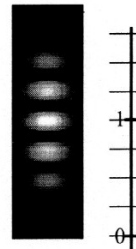


- 2.1. Quel phénomène est ici mis en évidence ?
- 2.2. Peut-on observer le même phénomène en utilisant 2 lasers identiques placés respectivement devant la fente S_1 et devant la fente S_2 ? Justifier votre réponse.
- 2.3. Le point O sur l'écran est-il sombre ou lumineux ? Justifier votre réponse.
- On observe sur l'écran la figure visible sur le document 2 ci-contre avec une graduation en cm.
- 2.4. Déterminer graphiquement la valeur de l'interfrange i .
- 2.5. En déduire la longueur d'onde λ_{exp2} à partir de cette expérience.

Donnée : Valeur de l'interfrange : $i = \frac{\lambda \times D}{b}$

Le résultat est-il acceptable si on admet au maximum 5% d'erreur ?

Document 2



Exercice 8 corrigé disponible

Les artémies (voir photo ci-contre) sont des crustacés élevés pour nourrir les poissons des aquariums. Leur taille doit être adaptée à l'espèce de poisson à nourrir. On utilise des tamis calibrés pour les sélectionner.

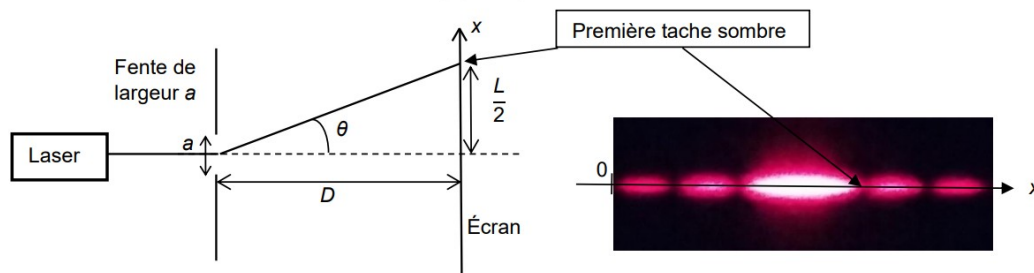


Source : <https://fr.m.wikipedia.org>

On se propose dans cet exercice de déterminer la taille des mailles d'un tamis en utilisant une diode laser de longueur d'onde $\lambda = (650 \pm 10) \text{ nm}$.

1. Vérification de la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée

Pour vérifier la valeur de la longueur d'onde de la diode laser annoncée par le constructeur, on réalise une expérience dont le schéma est donné ci-dessous (figure 1).



Distance fente – écran : $D = 56 \text{ cm}$
Largeur de la fente calibrée : $a = 80 \mu\text{m}$

Figure 2. Figure observée sur l'écran

Figure 1. Schéma de l'expérience (échelle non respectée)

- 1.1. Nommer le phénomène physique responsable des taches lumineuses observées sur l'écran. Discuter qualitativement de l'influence de la largeur de la fente et de la longueur d'onde de l'onde incidente sur le phénomène observé.

- 1.2. On rappelle que l'angle θ est donné par la relation $\theta = \frac{\lambda}{a}$ et on considère que $\tan \theta \approx \theta$ pour les petits angles ($\theta \ll 1 \text{ rad}$). Déterminer l'expression de l'angle θ en fonction de la largeur L de la tache centrale et de D . En déduire l'expression de la longueur d'onde λ en fonction de L , a et D .

Pour faire une mesure précise, on remplace l'écran par une caméra qui permet d'obtenir l'intensité lumineuse relative* en fonction de la position x , repérée selon l'axe indiqué sur la photo de la figure 2. L'origine $x = 0 \text{ m}$ est prise sur le bord du capteur de la caméra. On obtient alors la figure 3.

* L'intensité lumineuse relative est le rapport de l'intensité lumineuse reçue par le capteur sur l'intensité maximale reçue.

- 1.3. Déterminer la valeur de la longueur d'onde de la diode laser utilisée en exploitant la courbe obtenue sur la figure 3. La comparer à la valeur indiquée par le constructeur.

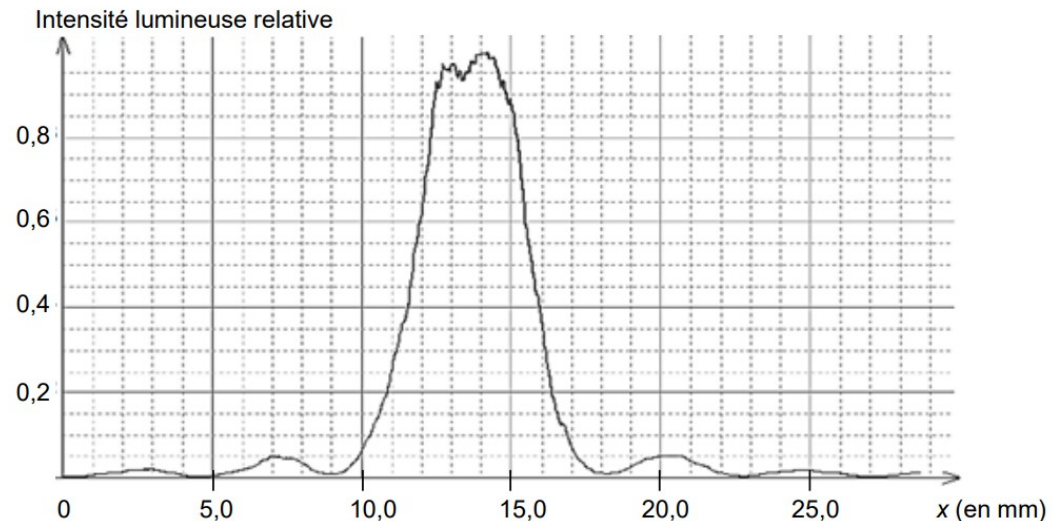


Figure 3. Intensité lumineuse relative en fonction de la position sur l'écran

2. Calibrage du tamis de récupération

L'expérience d'interférences est décrite ci-dessous :

- le montage utilisé est donné sur la figure 4 ;
- on utilise la diode laser de longueur d'onde $\lambda = (650 \pm 10) \text{ nm}$. La distance entre le tamis et l'écran vaut $D = (7,75 \pm 0,03) \text{ m}$;
- on note b la distance entre les centres de deux trous consécutifs du maillage du tamis ;
- la figure d'interférences obtenue est donnée sur les figures 6 et 7.

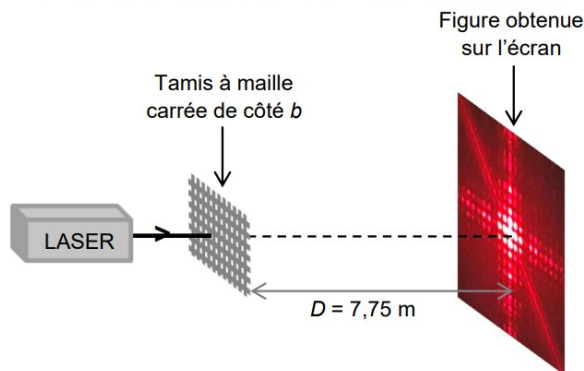


Figure 4. Montage utilisé (échelle non respectée)

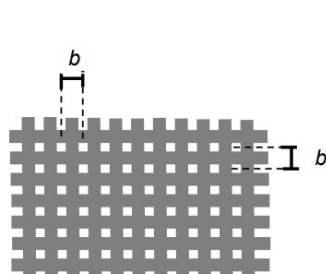


Figure 5. Schéma du maillage du tamis

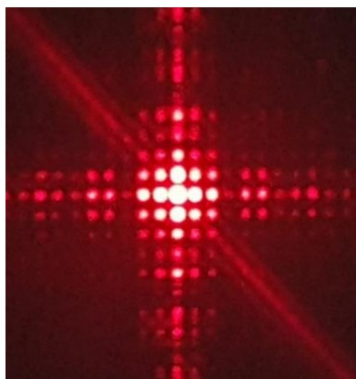


Figure 6. Figure d'interférences obtenue

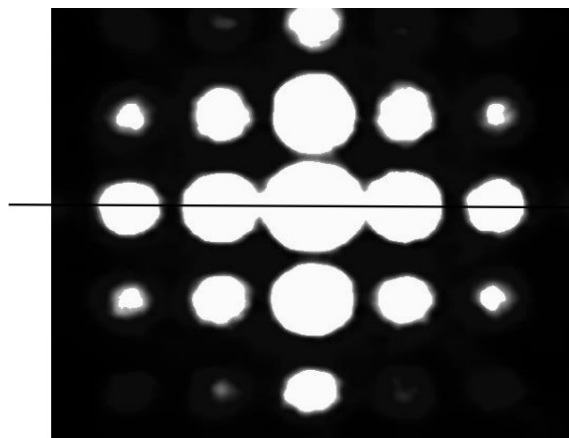


Figure 7. Tache centrale de la figure

- 2.1. Expliquer brièvement, sans calcul, l'origine de la présence de zones sombres et de zones brillantes dans une figure d'interférences lumineuses.

Le centre de la figure d'interférences de la figure 6 est représenté sur la figure 7 ci-dessus à l'échelle 1/1. L'interfrange, noté i , est défini comme la distance entre les centres de deux taches lumineuses successives selon l'axe identifié sur la figure 7.

L'expression de l'interfrange est donnée par la relation : $i = \frac{\lambda \times D}{b}$.

L'incertitude-type $u(b)$ sur la grandeur b peut se calculer à partir de la relation :

$$\frac{u(b)}{b} = \sqrt{\left(\frac{u(D)}{D}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(\lambda)}{\lambda}\right)^2}$$

où $u(x)$ désigne l'incertitude-type associée à la grandeur x

- 2.2. Évaluer la valeur de l'interfrange i en explicitant la méthode suivie pour obtenir la meilleure précision. Évaluer l'incertitude-type $u(i)$ sur la mesure de l'interfrange i .

- 2.3. Calculer b puis évaluer $u(b)$.

Exercice 9 corrigé disponible

Données :

- intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- modèle de l'atténuation géométrique pour une source ponctuelle : l'intensité sonore I ($\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$) en à une distance x de la source est reliée à la puissance sonore P de cette source par la relation :

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

- si l'écart de niveau d'intensité sonore entre deux sons est supérieur à 6 dB, le son le plus faible n'est pas entendu par l'oreille humaine ;
- la célérité c des ondes sonores dans l'air est prise égale à 340 m/s.

Première partie

Un musicien s'entraîne sur sa guitare électrique. Il se trouve à une distance $d_1 = 1,0$ m du haut-parleur, considéré comme une source de puissance constante émettant de façon équivalente dans toutes les directions. Soucieux de protéger son audition, il utilise un sonomètre et mesure un niveau d'intensité sonore $L_1 = 85$ dB. Il aimerait réduire son exposition au bruit.

1. Citer les deux options qui s'offrent à lui. Justifier en utilisant le vocabulaire associé à l'atténuation d'une onde.

Il décide de se reculer du haut-parleur.

2. Calculer l'intensité sonore I_1 associée au niveau d'intensité sonore L_1 .
3. Déterminer à quelle distance du haut-parleur il doit se placer afin d'être exposé à un niveau d'intensité sonore $L_2 = 75$ dB.

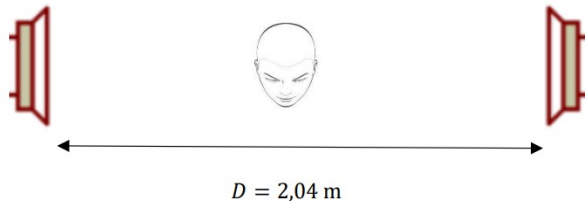
Deuxième partie

Le musicien fait l'acquisition d'un casque antibruit actif. Le casque détecte les ondes sonores entrant dans le casque et émet une autre onde sonore en même temps. Dans certaines conditions, le porteur entend un son atténué.

Une simulation de l'enregistrement du son au niveau de l'oreille du musicien est proposée en **ANNEXE à rendre avec la copie**.

4. Justifier que le son est audible par l'homme.
5. Sur le document-réponse 3 en **ANNEXE à rendre avec la copie**, tracer la représentation du signal que devrait émettre le casque pour que le porteur n'entende pas de son. Nommer précisément le phénomène mis en jeu entre les deux ondes sonores.

Cette « annulation » du son rappelle une expérience à notre guitariste : en se plaçant entre deux haut-parleurs, le son entendu peut-être très fortement atténué pour certaines positions de l'auditeur. Les haut-parleurs étant branchés à la même source, ils émettent en phase. La situation est modélisée par le schéma ci-dessous :

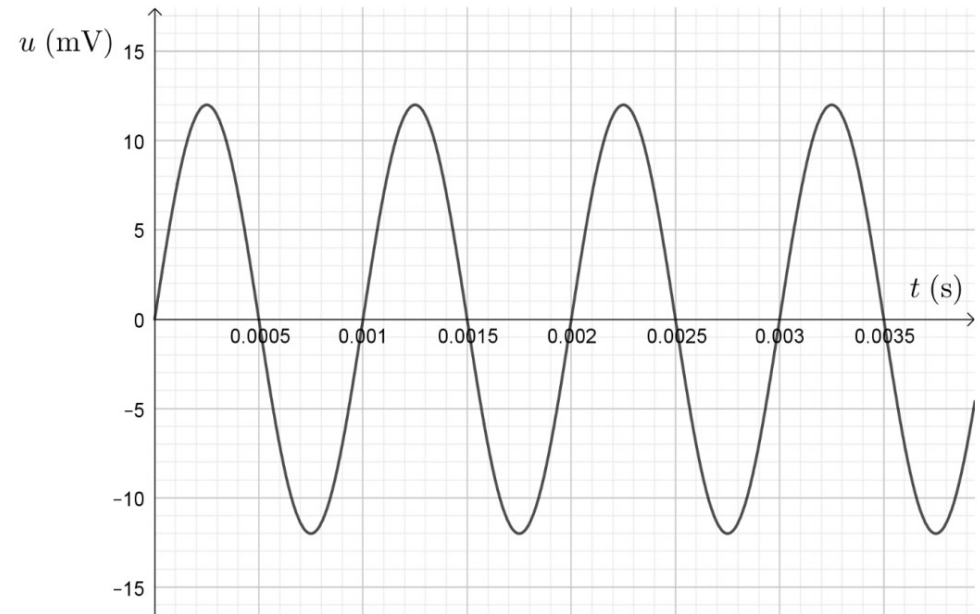


Le musicien se place initialement à égale distance des haut-parleurs. La taille de sa tête n'est pas prise en compte et la fréquence des deux signaux émis est de 1 000 Hz.

6. Justifier que le son qu'il entend à cet endroit a une intensité maximale.
7. Déterminer de quelle distance minimale doit se déplacer le musicien pour que le son entendu ait une intensité minimale.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti.

Simulation de l'enregistrement d'un son (tension électrique aux bornes du microphone)



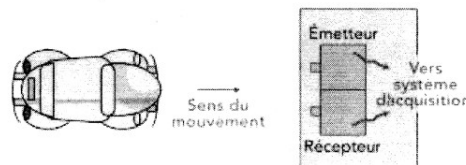
Exercice 10 corrigé disponible

Les radars de contrôle routier émettent des ondes centimétriques de fréquence $f_0 = 24,125$ GHz. Celles-ci se réfléchissent sur le véhicule de vitesse v se rapprochant du radar, qui la renvoie alors vers l'appareil. Une photographie du véhicule est prise en cas de vitesse excessive.

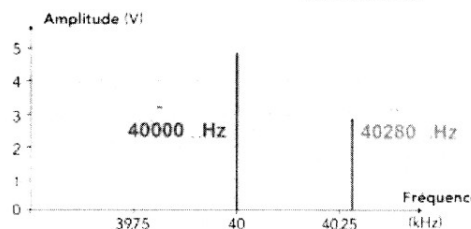


1. Qu'appelle-t-on effet Doppler ? Illustrer cet effet par un exemple de la vie courante.
2. Le radar E émet une onde de fréquence f_0 . La fréquence f'_0 reçue par la voiture en mouvement est-elle supérieure ou inférieure à f_0 ? Justifier.

Un groupe d'élèves décide de modéliser le principe de cette mesure en utilisant des ultra-sons. Ils placent ainsi un émetteur et un récepteur côte à côte en face d'une voiture jouet en mouvement (figure ci-contre).



3. On note f_E la fréquence de l'onde émise par l'émetteur ultrasonore et f_R la fréquence de l'onde récupérée par le récepteur ultrasonore après réflexion sur la voiture. Une analyse de Fourier des signaux donne les représentations spectrales ci-contre. Identifier les deux fréquences.



Exercice 11 corrigé disponible

3. Cinémomètre Doppler

- Les dispositifs de mesure de vitesse sont généralement appelés cinémomètres. Les cinémomètres les plus courants peuvent être classés en deux catégories : les « cinémomètres Doppler » et les « cinémomètres laser ».
- On s'intéresse à certains aspects du fonctionnement et de l'utilisation d'un des deux types d'appareils pour mesurer la valeur de la vitesse d'une « cible » dont la nature dépend du domaine d'application.
- Le cinémomètre Doppler utilise une onde électromagnétique monochromatique. Il comprend essentiellement : un émetteur qui génère une onde de fréquence $f_0 = 24,125$ GHz, un récepteur qui reçoit cette onde après réflexion sur la « cible » et une chaîne de traitement électronique qui compare le signal émis et le signal reçu.
- Si la « cible » visée a une vitesse non nulle par rapport au cinémomètre, l'appareil produit un signal périodique dont la fréquence, appelée « fréquence Doppler », est proportionnelle à la vitesse de la « cible ».

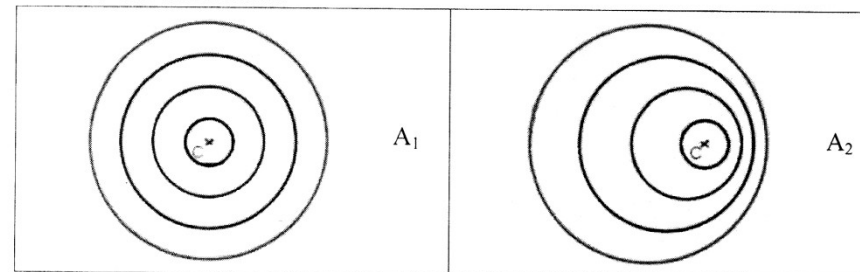
➤ Données :

- Relation, en première approximation, entre la « fréquence Doppler » et la vitesse de la « cible » :

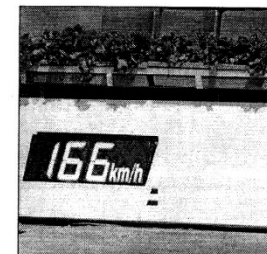
$$f_D = \frac{2 \times f_0 \times v_r}{c} \text{ avec } \begin{cases} f_D : \text{fréquence Doppler} \\ f_0 : \text{fréquence de l'émetteur} \\ v_r : \text{vitesse relative à la « cible » par rapport à l'émetteur} \\ c : \text{vitesse de la lumière dans le vide} \end{cases}$$

- Célérité des ondes électromagnétiques dans le vide ou dans l'air : $c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$

- 3.1. Les cinémomètres Doppler utilisent l'effet Doppler. Expliquer, en 5 lignes maximum et sans formules mathématiques, en quoi consiste ce phénomène.
- Un cinémomètre Doppler immobile est utilisé pour mesurer la vitesse d'une « cible » qui s'approche de lui. Les ondes électromagnétiques émises sont réfléchies par la « cible » avant de revenir au cinémomètre.
- 3.2. La figure ci-contre modélise de manière très simplifiée l'allure des ondes réfléchies par cette « cible », notée C dans deux situations.



- 3.2.1 Quel est le rôle (émetteur ou récepteur) joué par la cible ?
- 3.2.2 Dans quelle situation la cible est immobile ? Justifier.
- 3.2.3 Comparer la fréquence en A_1 à celle reçue en A_2 . Justifier.
- 3.3. Un cinémomètre Doppler est utilisé pour mesurer la vitesse des balles de tennis lors des principaux tournois internationaux comme celui de Roland Garros. Au cours de ce tournoi, lors d'un service, l'appareil mesure une fréquence Doppler de valeur $f_D = 7416$ Hz.
- 3.3.1 Calculer la valeur de la vitesse v_r de cette balle.
- 3.3.2 Ce résultat est-il cohérent avec celui affiché sur la photographie ci-contre prise lors de ce service ?



Exercice 12 corrigé disponible

La valeur de la vitesse de la lumière dans le vide est supposée connue par le candidat.

Aviation et dangers météorologiques

Les rafales descendantes et la grêle constituent les principaux dangers des orages pour l'aviation.

Les rafales descendantes sont des vents violents pouvant être causés par des précipitations abondantes. Elles sont particulièrement redoutées par les avions en phase d'atterrissage.

Si ces rafales ne présentent pas particulièrement de dangerosité lorsqu'elles soufflent face à l'avion (position 2 sur la figure 1), elles peuvent être responsables d'une perte de portance conduisant au crash lorsqu'elles soufflent en vent arrière (position 4 sur la figure 1).

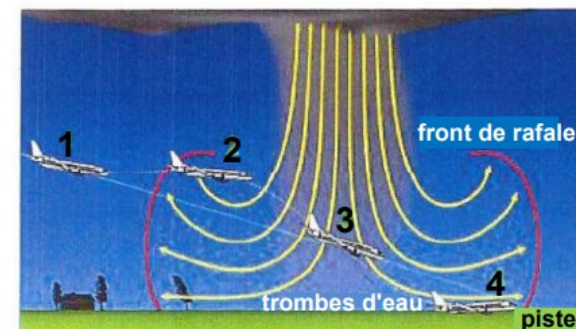


Figure 1. Les rafales descendantes.
d'après mmeteo.info

Les rafales descendantes porteuses de grêle peuvent être détectées grâce aux radars météorologiques qui permettent de donner l'alerte lorsque les directions et/ou sens du vent observés entre les deux extrémités d'une piste sont très différents.

Les précipitations peuvent elles aussi présenter un danger pour l'atterrissage. Des précipitations dont l'intensité dépasse 50 mm.h^{-1} correspondent à de forts orages. La grêle constitue un autre danger pour l'aviation. Lorsque le diamètre des grêlons dépasse 4 cm, ils peuvent causer d'importants dommages à la carlingue ainsi qu'aux réacteurs des avions.

Les radars météorologiques

Les radars météorologiques permettent de localiser les précipitations et de mesurer leur intensité en temps réel. En exploitant l'effet Doppler (figure 2), ils fournissent aussi des informations sur le vent dans les zones de précipitations.

L'onde électromagnétique émise par le radar a une fréquence $f_{\text{émise}} = 3,0 \times 10^9 \text{ Hz}$ et se propage à la vitesse de la lumière dans le vide.

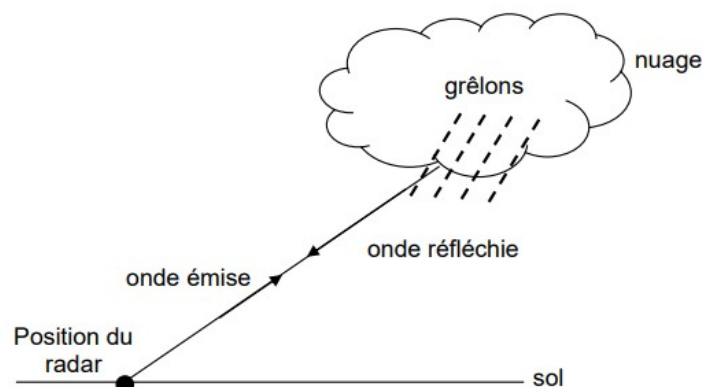


Figure 2. Radar météorologique

Nature des précipitations

L'onde électromagnétique est émise par le radar à une fréquence $f_{\text{émise}}$. La fréquence $f_{\text{reçue}}$ de l'onde réfléchie vers l'émetteur dépend de la vitesse de chute des hydrométéores (goutte de pluie, grêlon...). Lorsque l'angle entre la direction dans laquelle le radar émet l'onde et la direction de chute des hydrométéores vaut θ (figure 5), le décalage en fréquence Δf s'exprime par la relation suivante :

$$\Delta f = f_{\text{reçue}} - f_{\text{émise}} = \frac{2v \cos \theta}{c} \times f_{\text{émise}}$$

avec v vitesse des hydrométéores par rapport au radar et c la célérité de l'onde électromagnétique.

Pour $\theta = 60^\circ$, le radar mesure un décalage Doppler $\Delta f = +200 \text{ Hz}$ en bord de piste.

La vitesse d'un grêlon (supposé sphérique) dépend de son diamètre d selon la relation :

$$v = \sqrt{k \times \frac{d}{2}} \text{ avec } k = 3,8 \times 10^4 \text{ m.s}^{-2}.$$

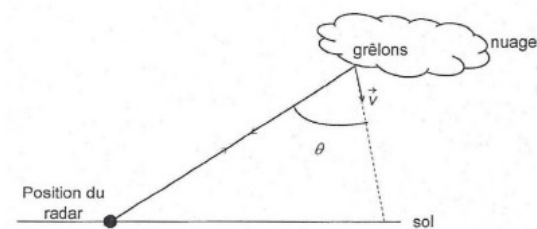


Figure 5. Orientation du radar météorologique.

2.2. Calculer le diamètre des grêlons.

Rafales descendantes

Le radar météorologique permet aussi de mesurer la vitesse du vent au niveau de la piste.

Le radar détecte un décalage Doppler entre la fréquence reçue et la fréquence émise. Ce décalage est : positif en début de piste (position n°1 sur la figure B présente sur l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE) et négatif en bout de piste (position n°2).

2.3. Représenter sur la figure B de l'ANNEXE À RENDRE AVEC LA COPIE, sans souci d'échelle, à l'aide de vecteurs, la direction et le sens du vent au niveau des positions n°1 et n°2. Justifier.

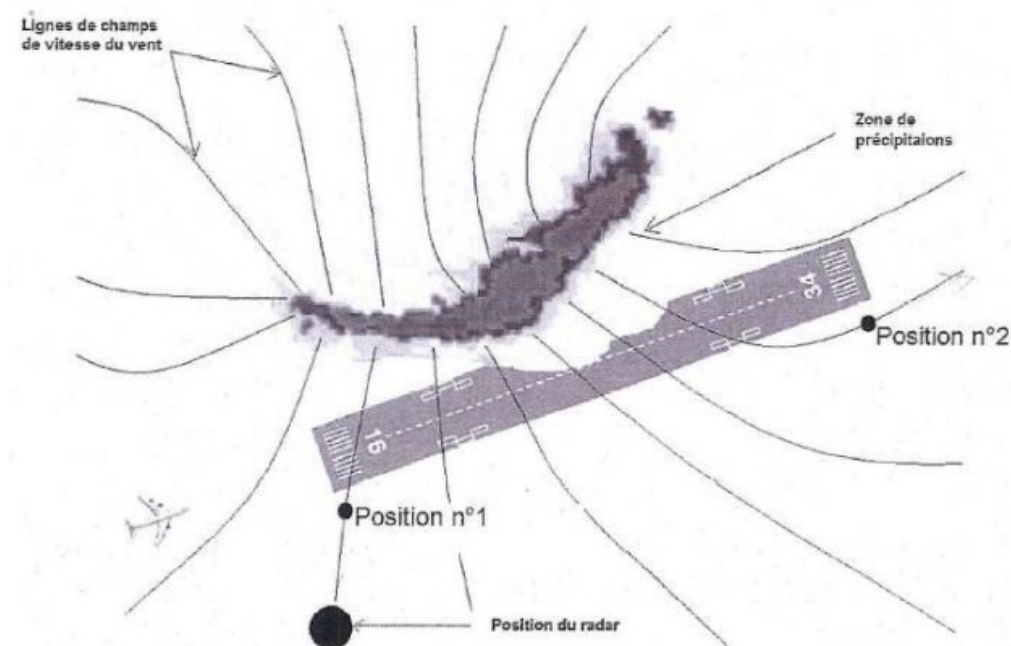


Figure B. Vue aérienne du plan de la piste au niveau du sol.

Exercice 13 corrigé disponible

Une source E se déplace à une vitesse v vers un récepteur R fixe.

E émet une onde sonore de fréquence $f_E = \frac{1}{T_E}$. La célérité du son dans

l'air vaut $C = 340 \text{ m.s}^{-1}$; on assimile l'onde sonore à une succession de bips.

A $t_1 = 0$ un premier bip est émis ; l'émetteur est situé à la distance D du récepteur.

1. Exprimer t_2 la date de réception du bip par l'observateur en fonction de D et c

2. A $t_3 = T_E$ un nouveau bip est émis par la source. Exprimer la distance d à laquelle se trouve à présent l'émetteur E par rapport à R, en fonction de D, T_E et de v .

3. Exprimer t_4 la date de réception du deuxième bip par l'observateur.

4. En posant $T_R = t_4 - t_2$, trouver une relation entre T_R et T_E puis entre f_R et f_E

5. Une voiture émet un son de fréquence $f_E = 392 \text{ Hz}$. Elle se déplace vers un récepteur qui enregistre le son de fréquence $f_R = 440 \text{ Hz}$.

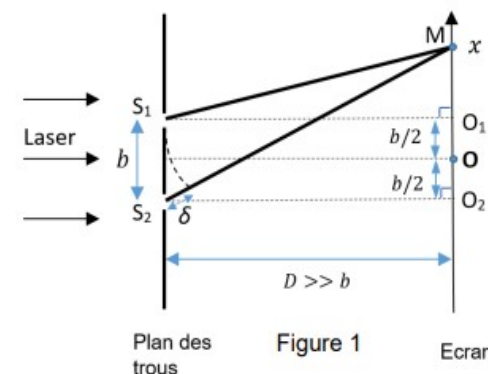
Calculer la vitesse v du véhicule.

Sachant que la vitesse maximale est de 130 km.h^{-1} (avec une tolérance de 5%), l'automobiliste est-il en infraction ?

Exercice 14 corrigé disponible

La figure 1 ci-dessous décrit le trajet des ondes lumineuses issues des deux trous d'Young. Chaque trou se comporte comme une source ponctuelle d'ondes lumineuses.

- S_1 et S_2 les trous d'Young
- b est la distance entre les deux trous d'Young
- D est la distance entre le plan de deux trous d'Young et l'écran
- M est le point de l'écran où l'on observe les interférences
- La distance D est très supérieure à la distance b ($D \gg b$).



On note S_1M la distance qui sépare S_1 de M et S_2M la distance qui sépare S_2 de M.

Données :

- La différence de chemin optique, ou différence de marche, δ des deux ondes au point M de coordonnée x s'exprime sous la forme :

$$\delta = n_{\text{milieu}} \cdot (S_2M - S_1M)$$

avec n_{milieu} l'indice de réfraction du milieu traversé.

- La valeur de la vitesse de la lumière dans l'air v_{air} est égale à $c = 3,0 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$.

- L'indice de réfraction d'un milieu est par définition $n_{\text{milieu}} = \frac{c}{v_{\text{milieu}}}$

avec v_{milieu} la vitesse de propagation de la lumière dans le milieu étudié.

Relation entre l'interfrange et la longueur d'onde

1. Justifier que la différence de marche δ peut être assimilée à $(S_2M - S_1M)$ dans le cas où le milieu traversé par les ondes lumineuses est l'air.
2. En appliquant le théorème de Pythagore dans les triangles S_1O_1M et S_2O_2M de la figure 1, donner les expressions de $(S_1M)^2$ et $(S_2M)^2$ en fonction de D, x et $\frac{b}{2}$.

La distance D entre les trous d'Young et l'écran étant très supérieure à b , on peut montrer que $(S_2M)^2 - (S_1M)^2 = 2 D \delta$

3. En s'appuyant sur les résultats de la question précédente, en déduire que la différence de marche s'écrit : $\delta = \frac{x \cdot b}{D}$

La figure 2 ci-après représente la figure d'interférences obtenue avec deux trous d'Young.

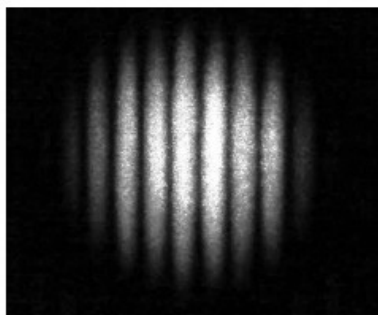


Figure 2 : Figure d'interférences de l'expérience de Young

Données :

- Les interférences de deux ondes de même longueur d'onde λ et synchrones en un point sont :
 - constructives en tout point où $\delta = k \cdot \lambda$ (avec k un entier relatif),
 - destructives en tout point où $\delta = (k + \frac{1}{2}) \cdot \lambda$ (avec k un entier relatif).
- La distance entre les trous d'Young est $b = 2,0 \cdot 10^{-4} \pm 0,1 \cdot 10^{-4} \text{ m}$;
- La distance D entre le plan des trous et l'écran a pour valeur $D = 119,0 \pm 0,5 \text{ cm}$.

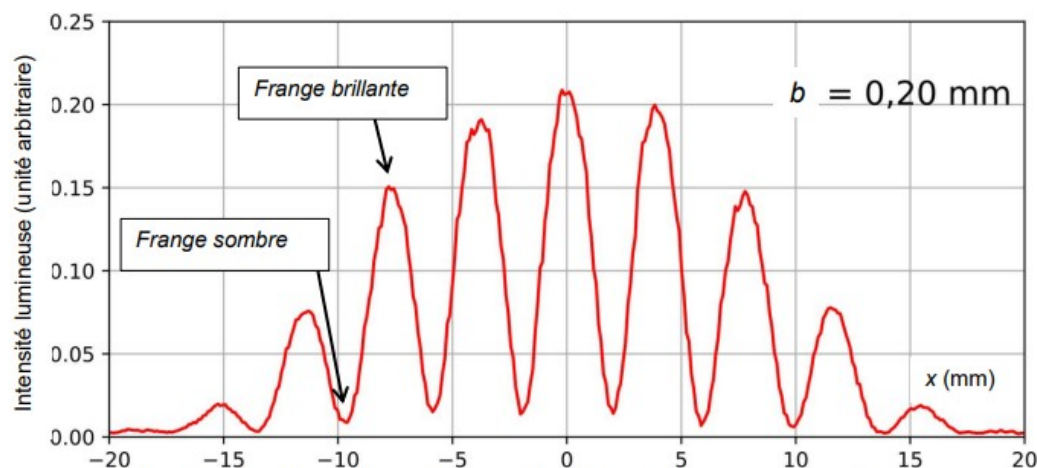


Figure 3 : Courbe représentant les variations d'intensité lumineuse pour la figure d'interférences de l'expérience de Young

4. À l'aide des données et en admettant que $\delta = \frac{x \cdot b}{D}$, montrer que $x = \frac{k \cdot \lambda \cdot D}{b}$ pour un point M situé au maximum d'intensité d'une frange brillante.

L'interfrange, notée i , est par définition la distance entre deux franges de même nature consécutives.

5. Établir l'expression de l'interfrange i en fonction de λ , b et D .
6. À l'aide de la figure 3 déterminer précisément la valeur de l'interfrange i .
7. En déduire la valeur de la longueur d'onde de la lumière utilisée dans cette expérience.

Identification du laser utilisé

Plusieurs lasers ont pu être utilisés dans cette expérience :

Laser	bleu	vert	Rouge A	Rouge B	Rouge C
Longueur d'onde	473 nm	532 nm	632 nm	650 nm	694 nm

On admet que l'incertitude-type sur la longueur d'onde λ , notée $u(\lambda)$, est donnée par la relation :

$$u(\lambda) = \lambda \times \sqrt{\left(\frac{u(b)}{b}\right)^2 + \left(\frac{u(i)}{i}\right)^2 + \left(\frac{u(D)}{D}\right)^2}$$

$u(\lambda)$, $u(b)$, $u(i)$ et $u(D)$ sont les incertitudes-types associées respectivement aux valeurs de λ , b , i et D .

On considère que l'incertitude sur i est $u(i) = 0,1 \text{ mm}$.

8. Parmi les lasers cités, identifier le (ou les) laser(s) qui ont pu être utilisé(s) pour réaliser l'expérience. On effectuera un calcul de z-score

Exercice 15

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 : $I_0 = 1,0 \times 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$;
- relation entre le niveau d'intensité sonore L et intensité sonore I : $L = 10 \times \log\left(\frac{I}{I_0}\right)$;
- 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 : $I_{50} = 5,0 \times 10^{-5} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

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 b. $I_{100} = I_{50} / 2$

Proposition c. $I_{100} = I_{50} / 4$

Proposition d. $I_{100} = I_{50} \times 2$

Proposition e. $I_{100} = I_{50} \times 4$

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



Figure 2. Fonctionnement du dispositif « méduse ». <https://www.leparisien.fr/>

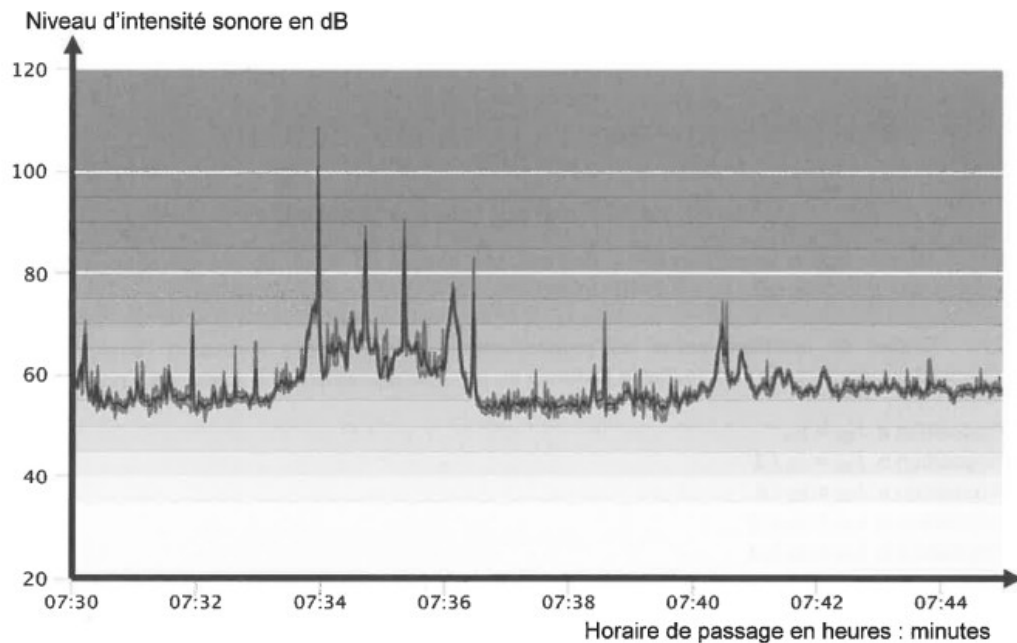


Figure 3. Niveau d'intensité sonore enregistré par un dispositif « méduse », rue de l'Espérance à Paris en matinée (22 février 2022). <https://monquartier.bruitparif.fr/hebdoscope>

Q4. 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 équipée d'un dispositif « méduse ». Ils disposent du même modèle de moto et roulent tous à $50 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$. 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.