

- DST n°1 Spécialité Physique-Chimie -

Durée de l'épreuve : 1h30

L'usage de la calculatrice est autorisé.

Le sujet comporte 3 exercices présentés sur 4 pages. Le candidat doit traiter tous les exercices qui sont indépendants les uns des autres et soigner la rédaction et la présentation.

Exercice 1 : Diffraction et interférences (7 points) _____ 30 minutes conseillées

L'étude de l'acoustique d'une salle de spectacle nécessite notamment de prendre en compte les différents phénomènes liés à la propagation des ondes sonores : interférences, diffraction, atténuation.

Données :

- fréquences f audibles par l'oreille humaine : $20 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$
- vitesse de propagation dans l'air d'une onde sonore ou ultrasonore $v = 343 \text{ m.s}^{-1}$ à 20°C
- largeur de la porte de l'auditorium : $a = 1,0 \text{ m}$

Une salle de concert est généralement un espace clos. Cependant, si sa porte est ouverte, le concert peut être entendu par une personne située à l'extérieur, même lorsque l'orchestre reste hors de sa vue. En se plaçant devant la porte, cette personne peut entendre toute la gamme des sons. Cependant, si elle se place sur le côté, elle entend surtout les sons graves, et très peu les sons aigus.

Dans les questions suivantes on s'intéresse au phénomène de diffraction des ondes sonores.

On peut modéliser la situation décrite dans le document par le schéma suivant :

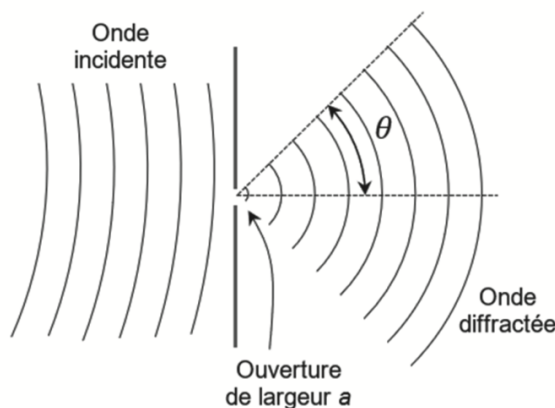


Figure 1. Diffraction d'une onde sonore par une ouverture de largeur a

Q1. Trouver la relation reliant l'angle d'ouverture θ , la largeur de l'ouverture a , la fréquence f de l'onde émise par la source et la vitesse de propagation v de l'onde.

Deux ondes sonores sont produites par un orchestre. Elles sont caractérisées par deux fréquences typiques : $f_1 = 440 \text{ Hz}$ et $f_2 = 4 \times f_1 = 1\,760 \text{ Hz}$.

Q2. Calculer les valeurs de θ_1 et θ_2 correspondant respectivement aux valeurs de fréquences f_1 et f_2 , en rad puis en degrés.

Q3. Schématiser de façon cohérente la situation, en représentant les angles d'ouverture correspondants θ_1 et θ_2 après passage du son par l'ouverture. Commenter la phrase : « Cependant, si elle se place sur le côté, elle entend surtout les sons graves, et très peu les sons aigus ».

Dans les questions suivantes, on s'intéresse au phénomène d'interférences susceptible d'intervenir à la suite des réflexions d'une onde sonore dans une salle de spectacle. On transpose l'étude dans le domaine des ondes ultrasonores.

On utilise le dispositif ci-dessous dans lequel les deux émetteurs d'ultrasons sont reliés à un même générateur (figure 2).

La distance latérale entre les deux émetteurs E1 et E2 a pour valeur $e = 15 \text{ cm}$.

La distance commune entre les émetteurs et l'axe (Ox) sur lequel se déplace le récepteur a pour valeur $D = 50 \text{ cm}$.

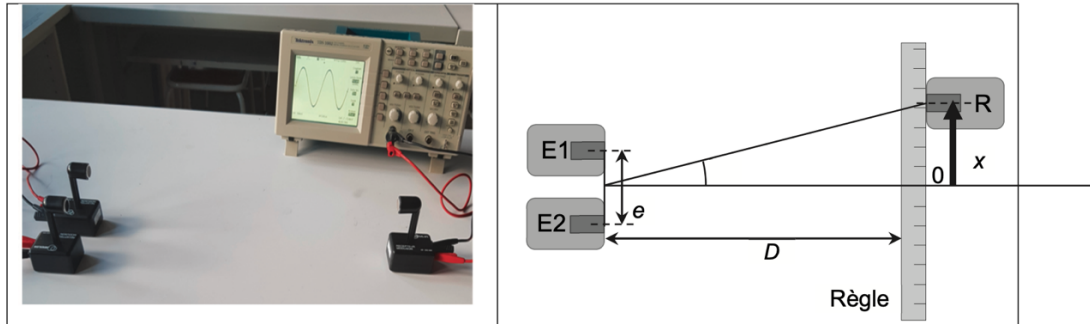


Figure 2. Dispositif expérimental d'étude des interférences d'ondes ultrasonores

On relève l'amplitude de la tension délivrée par le récepteur en fonction de la position du récepteur repérée par son abscisse x et on repère la position des maxima d'amplitude (figure 3).

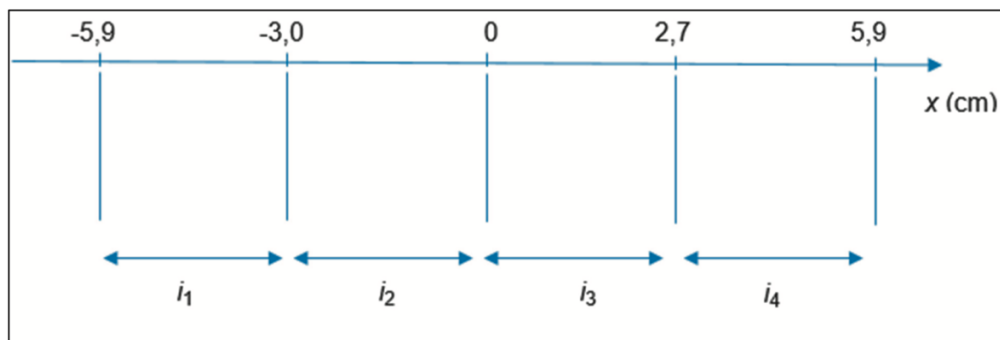


Figure 3. Position expérimentale des maxima d'amplitude ; définition des interfranges i_1 à i_4

Q4. Relever les valeurs des interfranges mesurées expérimentalement et calculer leur moyenne i .

On admet que la différence des distances entre chaque émetteur et le récepteur est :

$$E2R - E1R = \frac{e \times x}{D}$$

Q5. Établir la condition d'interférences constructives portant sur x ; on appellera k l'ordre d'interférences

On admet que la distance entre deux maxima d'amplitude consécutifs (interfrange) s'écrit :

$$i = \frac{\lambda \times D}{e}$$

avec λ la longueur d'onde des deux ondes incidentes.

Q6. Dédurre la valeur de la fréquence des signaux délivrés par les émetteurs. Commenter la valeur obtenue.

Exercice 2 : Les ondes sonores (5,5 points) _____ 30 minutes conseillées

Le 9 juillet 2024, la fusée Ariane 6 a décollé avec succès depuis le Centre spatial guyanais de Kourou. Au moment du décollage, 800 000 litres d'eau sont déversés sur le pas de tir (au pied de la fusée) en quelques dizaines de secondes, c'est ce que l'on appelle le déluge.



Figure 1. Système de déluge de la zone de lancement d'Ariane 6 (vidéo du CNES)



Figure 2. Niveaux d'intensité sonores et dangers pour l'oreille, d'après inrs.fr

En plus de l'atténuation des effets thermiques du décollage, l'objectif principal du déluge est de faire comme un mur d'eau qui absorbe en partie l'onde acoustique produite par le décollage et atténue le niveau sonore qui aurait pu atteindre, sinon, 180 dB.

Données :

- Intensité sonore de référence : $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$
- L'atténuation $A_{d_1 d_2}$ lorsqu'on passe d'une distance d_1 à une distance d_2 de la source sonore s'exprime par les relations :

$$A_{d_1 d_2} = L_2 - L_1 = 10 \log \left(\frac{d_2}{d_1} \right)$$

L'atténuation est comptée toujours positive dans cet exercice.

Un observateur se place dans un premier temps à une distance $d_1 = 1,0 \text{ m}$ du pas de tir. Sans déluge d'eau, le niveau d'intensité sonore perçu à la distance d_1 vaut $L_{1, \text{sans}} = 180 \text{ dB}$. Avec le déluge, l'intensité sonore vaut $I_1 = 0,10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$.

Q1. Montrer que le niveau d'intensité sonore $L_{1, \text{avec}}$ du son produit au décollage à la distance $d_1 = 1,0 \text{ m}$ après son passage à travers le mur d'eau vaut $L_{1, \text{avec}} = 110 \text{ dB}$.

Q2. En exploitant la figure 2, indiquer si cet observateur encourt un risque auditif au moment du décollage en présence du déluge d'eau.

Q3. Calculer l'atténuation $A_{\text{avec}} = L_{1, \text{sans}} - L_{1, \text{avec}}$ en décibels qui a alors lieu grâce au déluge d'eau.

L'observateur se trouve désormais à une distance d_2 du pas de tir.

Q4. En l'absence du déluge d'eau, estimer la valeur de la distance d_2 de sorte que le niveau sonore ne dépasse pas $L_{2, \text{sans}} = 95 \text{ dB}$.

Les fusées Ariane sont lancées depuis Kourou, en Guyane française. Le site d'observation est situé à Carapa à 18 km du pas de tir.

Q5. Commenter l'intérêt acoustique du déluge d'eau pour un observateur situé à Carapa.

Exercice 3 : L'effet Doppler (7,5 points) _____ 30 minutes conseillées

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 $300 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Donnée : célérité de la lumière dans le vide : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

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.

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.

Lorsque 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 est donnée par la relation suivante :

$$f_{\text{reçue}} = \frac{f_{\text{émise}}}{1 - \frac{v}{c}}$$

Q2. Vérifier que cette relation est homogène, puis, en l'analysant, comparer $f_{\text{reçue}}$ et $f_{\text{émise}}$.

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

Vérifier que cette approximation 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 δf 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.