

Lundi 18 Novembre 2013

DEVOIR COMMUN
PHYSIQUE-CHIMIE (SPECIALITE)

DUREE DE L'EPREUVE : 3h 30min

L'usage de la calculatrice EST autorisé.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

Le candidat doit obligatoirement composer jusqu'à 17 h. Aucune sortie définitive ne sera autorisée avant.

Exercice I- Son et lumière.

Exercice II- Dosage d'une eau polluée.

Exercice III- Imagerie médicale et supraconductivité

Spécialité

Exercice I : Son et lumière

Les parties I et II sont indépendantes.

I -Expérience historique de l'effet Doppler

- Afin de vérifier la théorie de *C.Doppler*, le scientifique *C.Buys-Ballot* a réalisé l'expérience suivante : Trois musiciens à bord d'un train jouent la même note de musique de fréquence f_E . D'autres musiciens postés le long
- de la voie ferrée observent la situation et tentent d'identifier la note entendue lors de l'approche du train (voir *doc.1*).
- Etudions les deux cas suivants : Dans le référentiel terrestre, le train est tout d'abord immobile (partie 1) ; Puis, il s'approche de la gare à vitesse



doc.1 Observateurs sur le quai à l'approche du train

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

Fréquence des notes de musique

constante (partie 2).

Données : Célérité du son dans l'air : $c = 340 \text{ m.s}^{-1}$

Partie 1-Train immobile

L'onde sonore produite par les musiciens est une onde, mécanique, audible, périodique et progressive.

2.1. Définir chacun des cinq mots soulignés.**0,5 pt**

Onde : perturbation se propageant, transfert d'énergie sans transfert de matière

Mécanique : il y a un milieu matériel de propagation

Périodique : La perturbation d'un point du milieu se répète identique à elle même au cours du temps

Progressive : l'onde se propage (la perturbation se transmet de proche en proche) depuis la source

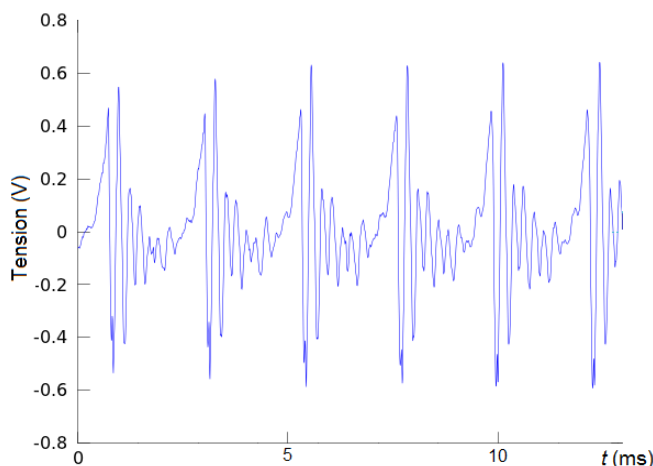
Audible : la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20000 Hz

Le train, immobile, est situé à la distance $d = 150 \text{ m}$ de la gare.

2.2. Calculer la durée mise par le son pour parvenir jusqu'aux observateurs ?**0,25 pt**

La durée vaut $\Delta t = d / c = 150 / 340 = 0,441 \text{ s}$

Dans le train, le voyageur réalise l'acquisition du son puis visualise le signal (**document 2**)



2.3. Ce son est-il pur ou complexe ? Justifier. **0,25 pt**

Le son n'est pas pur (le signal n'est pas sinusoïdal) il est complexe

2.4. Déterminer de façon précise la période temporelle T de ce signal. **0,5 pt**

On mesure d'abord la distance correspondant à une durée connue (10 ms) et on trouve 8,6 cm

On mesure ensuite la distance correspondant à 5T : 9,8 cm

On procède au calcul (basé sur une relation de proportionnalité : $5T = (10 \times 9,8) / 8,6 = 11,4$ ms

Soit T = 2,28 ms

2.5. En déduire la valeur de sa fréquence f_E . **0,5 pt**

$f_E = 1 / T = 438$ Hz (proche de 440 Hz)

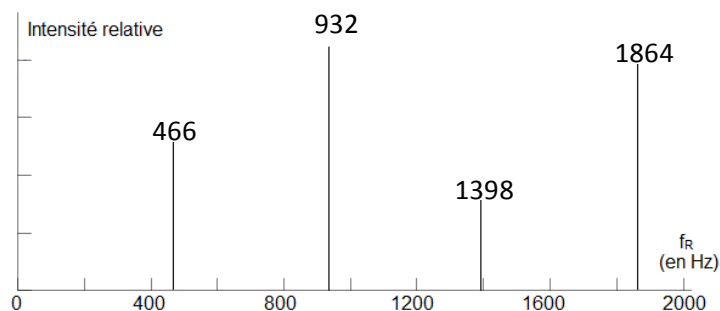
2.6. Quelle est la note jouée par les musiciens ? **C'est un La 0,25 pt**

2.7. Calculer la longueur d'onde λ de cette onde. **$\lambda = c \times T = 340 \times 2,28 \times 10^{-3} = 0,775$ m 0,5 pt**

Partie 2-Train en mouvement rectiligne uniforme

Lorsque le train s'approche de la gare, les observateurs réalisent à leur tour l'acquisition du son reçu. Puis, par transformée de Fourier, ils visualisent son spectre en fréquence (**document3**).

Document 3- Analyse spectrale du son



2.1. À partir de cette analyse spectrale, indiquer la valeur de la fréquence f_R de la note entendue par les observateurs. **0,25 pt : signal le plus à gauche du spectre correspondant à la fréquence**

fondamentale, $f_R = 466$ Hz, la note est La#

2.2. Le son perçu est-il plus aigu, le même ou plus grave que le son produit par les musiciens ? Justifier.

0,25 pt : le son est plus aigu, car $f_R > f_E$

2.3. Expliquer le phénomène à l'origine du décalage des fréquences entre l'onde émise et l'onde perçue.

0,25 pt : Les fronts d'ondes successifs sont séparés par une distance plus courte. Ils sont toujours émis à des dates que l'on peut noter T, 2T, 3T, mais comme en même temps la source se rapproche, il vont produire une succession d'ondes séparées d'une longueur d'onde apparente λ' plus petite. La célérité de l'onde étant inchangée (ne dépendant que du milieu de propagation), la fréquence avec laquelle sont reçus ces fronts d'onde va augmenter : c'est l'effet Doppler.

La relation permettant de calculer la vitesse v d'un émetteur sonore s'approchant d'un observateur immobile

$$\text{est : } f_R = f_E \times \left(1 + \frac{v}{c}\right)$$

2.4. Par analyse dimensionnelle, justifier que l'unité de la fréquence f_R est bien exprimée en hertz.

0,5 pt : v/c est sans unité, ainsi que $1 + v/c$. Le membre de droite a donc l'unité de f_E , le Hz, de même que le membre de gauche de l'égalité.

2.5. Exprimer la vitesse v de déplacement du train en fonction de f_R , f_E et c . Calculer v en m.s^{-1} .

0,5 pt : L'expression à trouver est : $v = c \times \left(\frac{f_R}{f_E} - 1\right) = 340 \times \left(\frac{466}{440} - 1\right) = 20,1 \text{ m.s}^{-1}$

II-La lumière, une onde.

- Le caractère ondulatoire de la lumière fut établi au XIXe siècle par des expériences d'interférences et de diffraction montrant, par analogie avec les ondes mécaniques, que la lumière peut être décrite comme une onde.

1. Diffraction de la lumière

1.1. Expérience de Fresnel

1.1.1 Fresnel a utilisé les rayons solaires pour réaliser son expérience. Une telle lumière est-elle

monochromatique ou polychromatique ? **0,25 pt : c'est la lumière blanche, polychromatique, constituée d'une infinité de radiations de longueurs d'ondes différentes correspondant au spectre visible allant du violet au rouge dans le vide.**

1.1.2 Fresnel exploite le phénomène de diffraction de la lumière par un fil de fer. Le phénomène est identique avec un fil et une fente de même largeur.

Quel doit être l'ordre de grandeur du diamètre du fil pour observer le phénomène de diffraction ? **0,25 pt : le diamètre du fil doit être du même ordre de grandeur que celui de la longueur d'onde de la lumière utilisée.**

1.2. Mesure de longueur d'onde par diffraction

- On réalise une expérience de diffraction à l'aide d'un laser vert émettant une lumière monochromatique de longueur d'onde λ .
- À quelques centimètres du laser, on place des fils verticaux de diamètres connus. On désigne par « a » le diamètre d'un fil.

- La figure de diffraction obtenue est observée sur un écran blanc situé à une distance $D = 1,60$ m des fils. Pour chacun des fils, on mesure la largeur L de la tache centrale. À partir de ces mesures et des données, il est possible de calculer la demi-ouverture angulaire θ du faisceau diffracté (**Figure 1**).

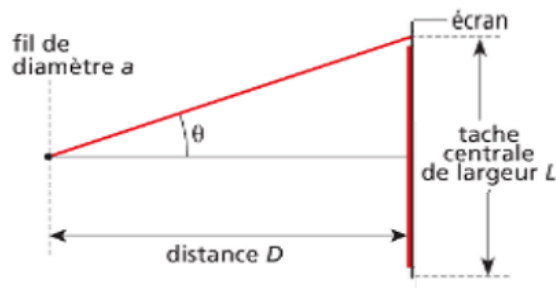


Figure. 1

1.2.1 Etablir la relation entre L et D qui a permis de calculer θ pour chacun des fils.

L'angle θ étant petit, on peut considérer que $\tan \theta \approx \theta$ (avec θ en radians).

0,5 pt : $\tan \theta = L / 2d$, soit $\theta = L / 2d$

1.2.2 Donner la relation liant θ , λ et a et leurs unités.

0,25 pt : relation exigée (cours) : $\theta = \lambda / a$ (θ en radian, λ et a en m)

1.2.3 On trace la courbe $\theta = f(1/a)$ (**Figure. 2**).

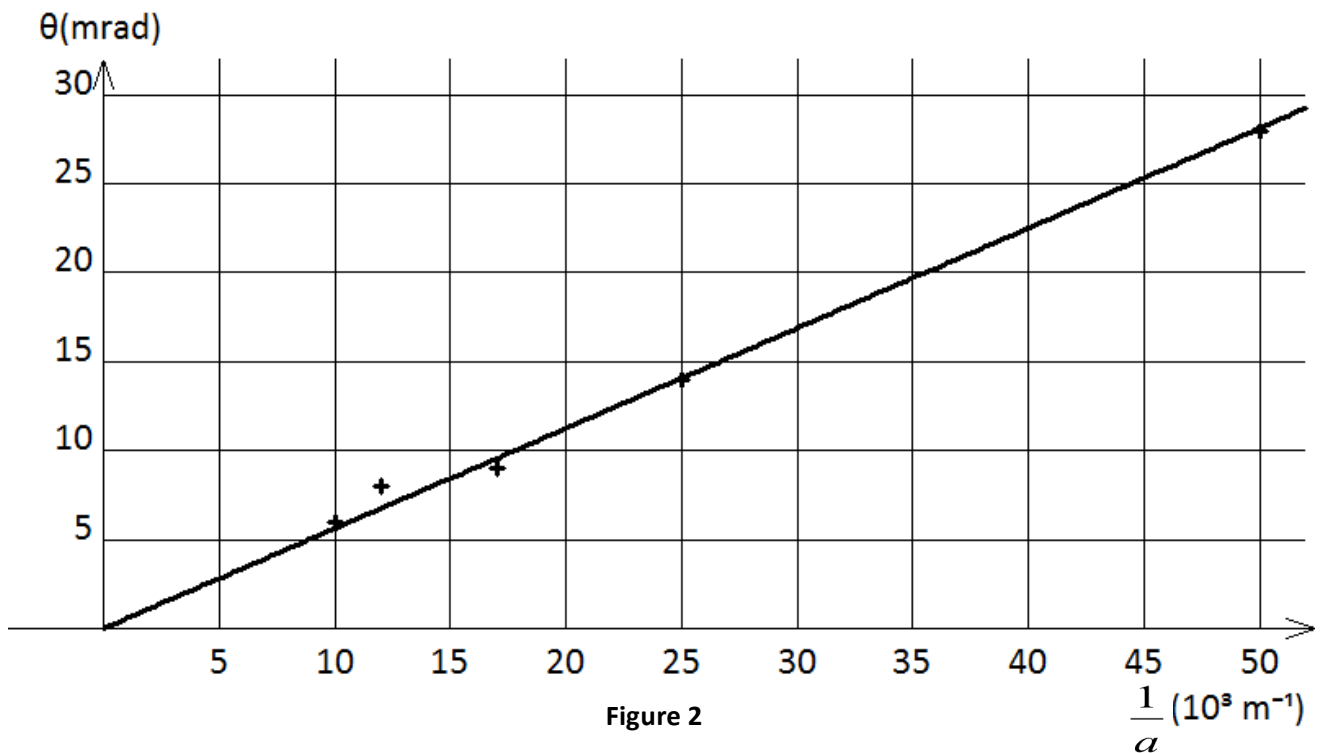


Figure 2

En utilisant la relation du 1.2.2 et la courbe de la **figure 2**, déterminer , en justifiant, la longueur d'onde λ de la lumière utilisée.

0,75 pt en tout : La courbe est une droite qui passe par l'origine traduisant donc une relation de proportionnalité entre θ et $1/a$: $\theta = k \times 1/a$

Si l'on fait le lien avec la relation de la question précédente, on attend $k = \lambda$

On mesure le coefficient directeur et on trouve $5,60 \cdot 10^{-7}$ m soit 560 nm.

2. Mesure de longueur d'onde par interférences

Page 4/10

Le fil ou la fente est remplacé par un écran percé de deux fentes distantes de b (Figure 3).

Des franges (Figure 4) sont observées sur un écran situé à $D = 3,0$ m.

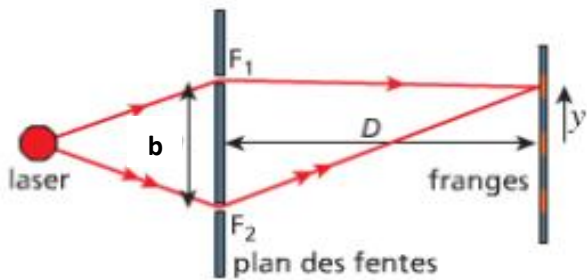


Figure 3

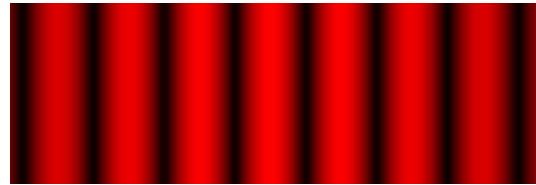


Figure 4

2.1. A quelle condition les interférences sont-elles constructives ? destructives ?

Qu'observe-t-on au centre de l'écran, en $y_i = 0$? Justifier. **0,5 pt**

Appelons δ la différence de marche, c'est à dire la différence de distance parcourue par les ondes venant de chaque source lorsqu'elles se réunissent (interfèrent) en un point de l'écran.

Si δ est un nombre entier de longueurs d'onde, les interférences sont constructives ($\delta = n\lambda$)

Si $\delta = (2n + 1)\lambda/2$, les interférences sont destructives

Au centre la distance est la même venant des deux sources :

$\delta = 0 = 0\lambda$: interférences constructives , Lumière !

2.2. La largeur sur l'écran entre le centre d'une première frange lumineuse et le centre de la septième frange lumineuse consécutive est de 25 mm. **0,5 pt**

$6i = 25$ mm, $i = 4,2$ mm

$\lambda = ib/D = 5,6 \cdot 10^{-7}$ m = 560 nm

Sachant que la distance entre les centres de deux franges consécutives de même nature (interfrange) est

constante et égale à $i = \frac{\lambda D}{b}$, et que l'écart entre les fentes est $b = 0,40$ mm, calculer la longueur d'onde λ .

2.3. Comparer la valeur de la longueur d'onde λ avec celle trouvée à la question 1.2.3.

Est-ce compatible avec la couleur verte du laser ?

0,25 pt : C'est la même ! C'est bien du vert !

2.4. Pourquoi a-t-on mesuré plusieurs interfranges au lieu d'un seul ?

La réponse « parce que c'est plus précis » sans justification est acceptée... : 0,25 pt

Exercice II : Dosage d'une eau polluée

Page 5/10

1.Choix de la méthode d'étalonnage.

1.1.Vérifier , par analyse dimensionnelle, que A est une grandeur sans unité.

0,5 pt

1.2.Dans quel domaine du spectre électromagnétique l'absorption des ions nitrate $\text{NO}_3^-(\text{aq})$ est-elle maximale ?

UV

0,25 pt

1.3.A l'aide de l'étoile des couleurs complémentaires, donner, en justifiant, la couleur de l'ion RNO_2^- en solution aqueuse.

Absorption à 526 nm dans le domaine du vert , nous voyons donc la couleur complémentaire : magenta

0, 5 pt

1.4.Sur l'annexe de l'exercice II page 11, sont représentées 2 droites d'étalonnage a et b.

En utilisant la loi de Beer-lambert, choisir, parmi les droites a et b , celle qui correspond à la droite d'étalonnage

$A_1 = f(c_{(\text{NO}_3^-)})$ mesurée à 271 nm et $A_2 = f(c_{(\text{RNO}_2^-)})$ mesurée à 526 nm. Justifier.

0,75 pt

D'après les valeurs des coefficients d'absorption molaire, c'est la droite A_2 qui doit avoir le plus fort coefficient directeur. On exprime chaque coefficient directeur (quotient des différences d'ordonnées sur des différences d'abscisses correspondantes) et on conclut : droite a pour A_1 , droite b pour A_2 .

1.5.Le spectrophotomètre peut engendrer sur la mesure de A une erreur de 5×10^{-3} soit une incertitude

$$\Delta A = 5 \times 10^{-3}. \text{ Ainsi } A_{\text{mesurée}} - \Delta A < A < A_{\text{mesurée}} + \Delta A.$$

En utilisant les droites figurant en annexe de l'exercice II, indiquer, en justifiant, la droite qui permet la

détermination la plus précise de la concentration c , c'est-à-dire une incertitude Δc sur la détermination de c, la plus petite possible. 0,5 pt

J'avais mal lu la courbe... c'est un peu petit mais faisable :

$\Delta c_1 = 1.10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ $\Delta c_2 = 1.10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$ $\Delta c_2 < \Delta c_1$ la méthode 2 engendre une erreur beaucoup plus petite, elle est la plus précise.

2. Dosage de l'eau polluée.

Pour effectuer le dosage des ions nitrate contenus dans l'eau polluée, on utilise la méthode 2 (voir document 1)

Pour cela, on réalise le protocole suivant :

- Un prélèvement de 100,0 mL d'eau polluée est mélangé à du cadmium métallique en excès afin de réduire tous les ions nitrate en ions nitrite.
- La solution est filtrée afin d'éliminer les restes de cadmium solide.
- Le filtrat est transvasé quantitativement dans une fiole jaugée de 200,0 mL et on complète jusqu'au trait de jauge avec une solution de réactif R. Le réactif R étant apporté en excès, tous les ions nitrites présents se retrouvent complexés sous la forme RNO_2^- (aq). La solution M est prête.
- L'absorbance A de la solution M est mesurée à 526 nm : $A = 0,57$

2.1. Quelle verrerie utilise-t-on pour effectuer le prélèvement de 100,0 mL d'eau polluée (nom et schéma exigés)?

Fiole jaugée + schéma raisonnable 0,5 pt

2.2. Calculer la concentration c_M en ions RNO_2^- (aq) dans la solution M . **0,75 pt**

Avec la droite b où avec la formule de A_2 , on arrive à $c_M = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

2.3. Justifier que la concentration molaire c en ions nitrate NO_3^- (aq) vaut $2 \times c_M$. **0,75 pt**

La quantité de matière d'eau polluée c a été prélevée dans 100 mL d'eau polluée et se retrouve à la concentration c_M dans une fiole jaugée ajustée à 200,0 mL.

On a donc : $c_M \cdot 200 = c \cdot 100$ $c = 2c_M = 3,0 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$

2.4. Calculer le titre massique en ions nitrate de l'eau polluée.

$t = c \cdot M = 3,0 \cdot 10^{-4} \cdot 62,0 = 1,9 \cdot 10^{-2} \text{ g.L}^{-1} = 19 \text{ mg.L}^{-1}$ 0,5 pt

2.5. Expliquer pourquoi cette eau ne peut pas être rejetée sans précaution particulière.

19 > 10, pas bon 0,5 pt

3. Evacuation de l'eau polluée.

Lors de l'évacuation, l'eau polluée va être diluée (avec de l'eau pure que nous appellerons eau de dilution). Afin de se donner une marge, on considère que l'eau polluée a une concentration massique en ions nitrate égale à 30 mg.L^{-1} . L'évacuation se fait avec un débit en eau polluée de 300 L.min^{-1} vers une canalisation prévue pour cet usage .

Quel doit être le débit minimal d'eau de dilution qui rejoint l'eau polluée dans la canalisation afin que l'ensemble {eau polluée + eau de dilution} ne soit pas nocif pour l'environnement ?

0,5 pt

On veut passer d'une eau à 30 mg/L à une eau à 10 mg/L .

Il faut donc diluer trois fois. On envoie 300 L de solution (par minute, mais ça n'a aucune incidence sur le raisonnement), on doit donc compléter à $3 \cdot 300 = 900 \text{ L}$ (par minute...) c'est à dire avec 600 L (par minute...) d'eau de dilution.

Exercice III Attention à vos oreilles

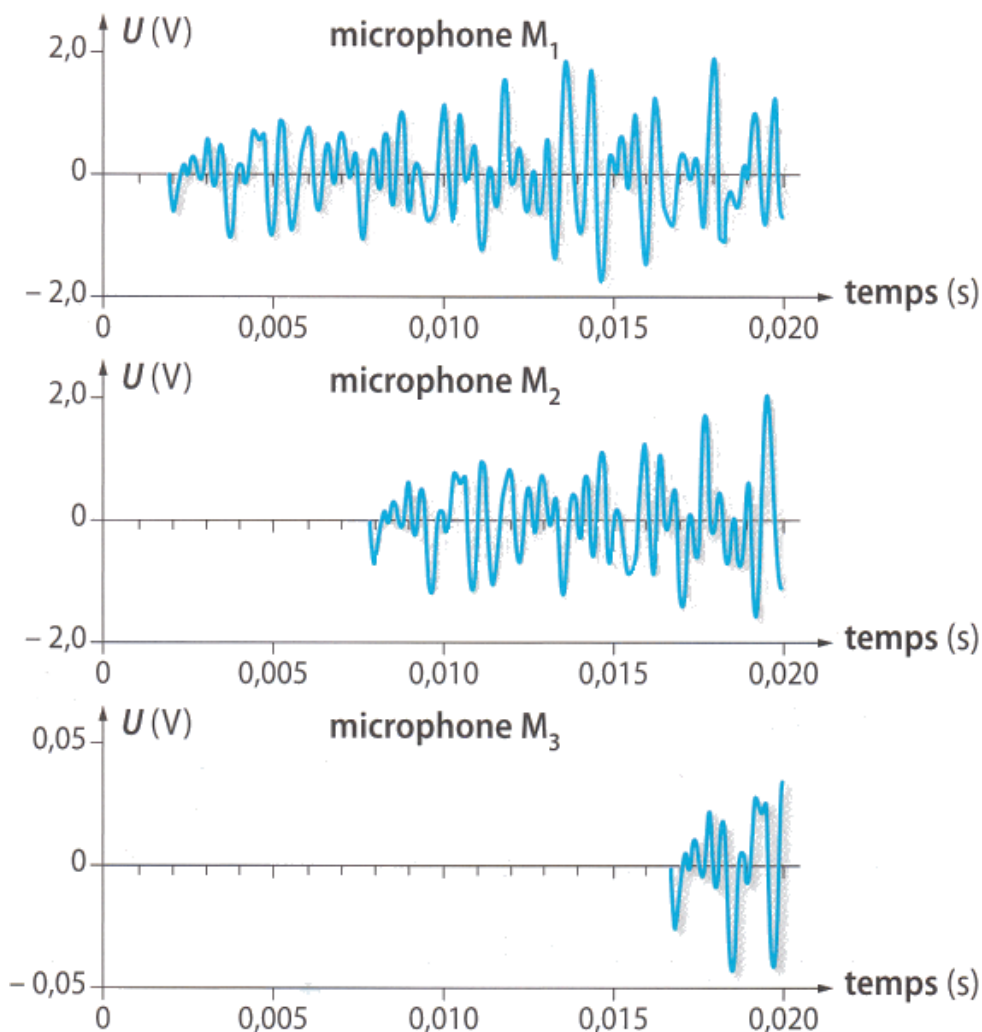
L'objectif de cet exercice est de déterminer la célérité du son dans l'air (**partie A**) et de comparer le comportement acoustique des bouchons en mousse et des bouchons moulés, lorsque l'auditeur qui les porte écoute le son émis (**partie B**).

Les parties A et B sont indépendantes.

A-Détermination de la célérité du son dans l'air.

Partie 1-Première méthode.

Pour déterminer la célérité du son dans l'air, un élève aligne trois microphones M_1 , M_2 et M_3 de telle manière que les distances M_1M_2 et M_2M_3 valent respectivement 2,00 m et 3,00 m. Les signaux électriques correspondant aux sons reçus par les microphones sont enregistrés grâce à un ordinateur. Il souffle dans une flûte devant le premier micro M_1 , puis lance immédiatement l'enregistrement. Les courbes obtenues sont représentées ci-après.

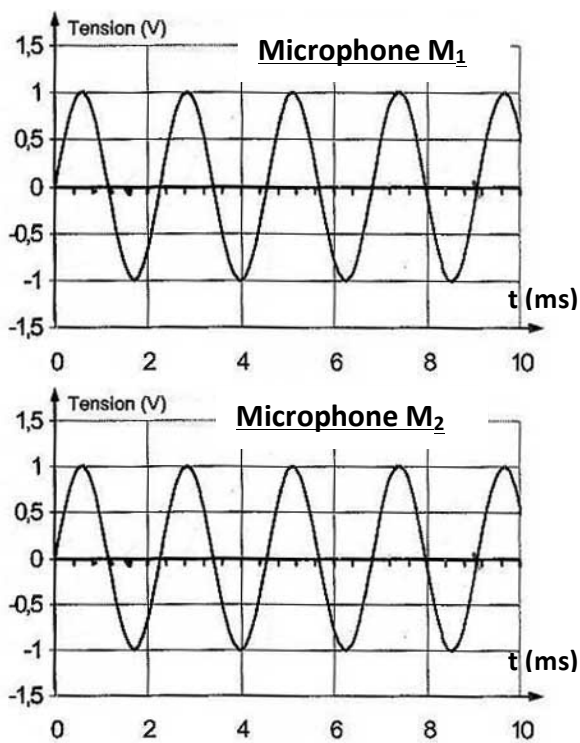


1.1. Calculer la célérité de l'onde sonore pour la distance M_1M_2 puis pour la distance M_2M_3 .

(0,25) pour la distance M_1M_2 : $v = M_1M_2 / t_{01} = (2,00) / (0,008 - 0,002) = 3,102 \text{ m/s}$

$v' = M_2M_3 / t_{01}' = 3,00 / (0,017 - 0,008) = 3,3,102 \text{ m/s}$

1.2. Les résultats obtenus sont-ils cohérents ? Justifier. (0,25) Les deux calculs sont du même ordre de grandeur, ils sont donc cohérents.



Partie 2-Deuxième méthode.

L'élève dispose maintenant les deux microphones M₁ et M₂ à la même distance d d'un diapason. Il obtient les courbes représentées ci-après. On remarque que les signaux sont en phase.

L'élève éloigne le microphone M₂ peu à peu jusqu'à ce que les courbes soient de nouveau en phase. Il réitère l'opération jusqu'à compter cinq positions pour lesquelles les courbes sont à nouveau en phase. La distance D entre les deux microphones est alors égale à 3,86 m.

2.1. Déterminer la période du son émis par le diapason.

(0,25) sur l'enregistrement on lit 4. $T=9,2\text{ms}$ soit $T=9,2/4=2,3\text{ ms}$.

2.2. Pourquoi compte-t-on plusieurs retours de phase plutôt

qu'un seul ? **(0,25) compter plusieurs retours de phase permet de diminuer l'incertitude relative sur la mesure de la longueur d'onde. La précision de la mesure est meilleure qu'avec un seul retour de phase.**

2.3. Définir la longueur d'onde. Dédurre sa valeur numérique

de l'expérience précédente. **(0,25+0,25) la longueur est la distance parcourue par l'onde en une période (ou la longueur d'onde est la plus petite distance séparant deux points du milieu dans le même état vibratoire). D'après l'expérience précédente $5.\lambda=3,86\text{ m}$ soit $\lambda=3,86/5=7,72.10^{-1}\text{ m}$.**

2.4. Calculer alors la célérité de l'onde. **(0,25) $v=\lambda/T= 7,72.10^{-1}/2,3.10^{-3}=3,4.10^2\text{ m/s}$**

B-Attention à vos oreilles.

Document 1 -Nos oreilles sont fragiles.

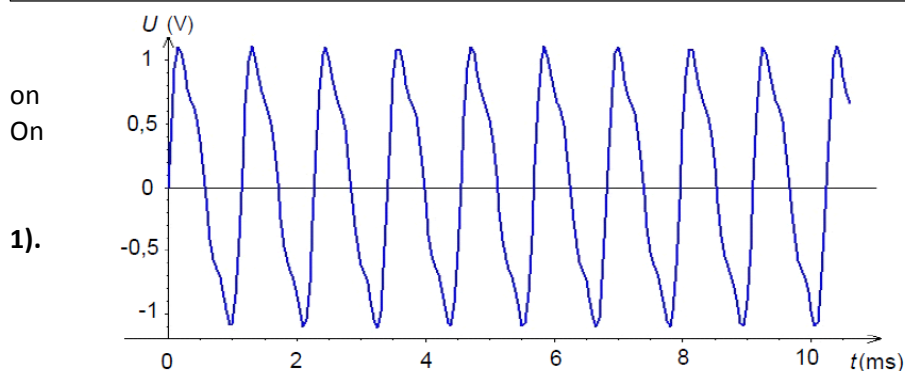
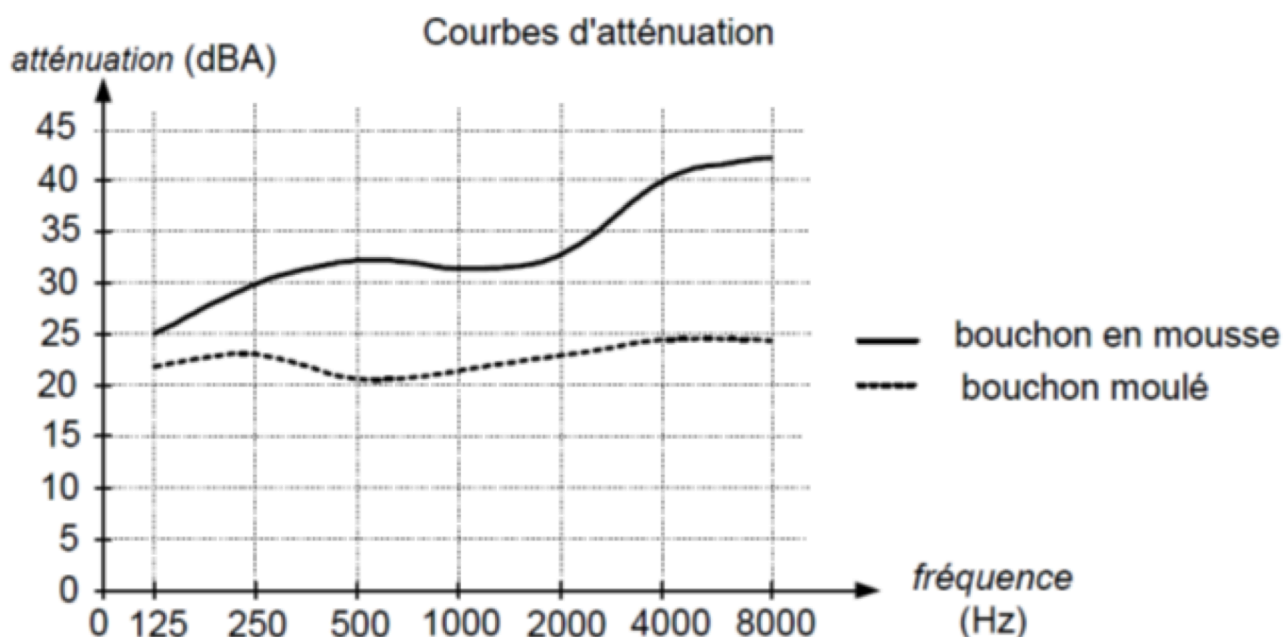
Une trop grande intensité sonore peut les endommager de façon irréversible. Pour prévenir ce risque, il existe des protections auditives de natures différentes selon leur type d'utilisation.

On peut distinguer, par exemple, deux catégories de bouchons d'oreilles :

- Les bouchons en mousse (ou les boules en cire), à usage domestique. Ce sont largement les plus courants. Ils sont généralement jetables, de faible coût et permettent de s'isoler du bruit. Ils restituent un son sourd et fortement atténué.
- Les bouchons moulés en silicone, utilisés par les musiciens. Ils sont fabriqués sur mesure et nécessitent la prise d'empreinte du conduit auditif. Ils sont lavables à l'eau et se conservent plusieurs années. Ils conservent la qualité du son. Leur prix est relativement élevé.

Document 2 : Document publicitaire

Sur un document publicitaire, un fabricant fournit les courbes d'atténuation correspondant aux deux types de bouchons. On représente ainsi la diminution du niveau sonore due au bouchon en fonction de la fréquence de l'onde qui le traverse. On remarquera que plus l'atténuation est grande plus l'intensité sonore est faible.



1. Un musicien joue la note Ré_4 . À l'aide d'un système d'acquisition, on enregistre le son émis par la flûte.

On obtient l'enregistrement du signal électrique correspondant (figure 1).

Figure 1

1.1. Quel capteur utilise-t-on pour obtenir l'enregistrement de la figure 1. (0,25) on utilise un microphone

1.2. En utilisant la **figure 1**, on a déterminé la fréquence du son émis : $f = 8,8 \times 10^2$ Hz.

Expliquer la démarche suivie pour obtenir cette valeur avec la plus grande précision possible.

(0,5) sur l'enregistrement on mesure la durée d'un grand nombre de périodes afin d'obtenir une mesure de période accompagnée de la plus petite incertitude relative. On divise le résultat obtenu par le nombre de périodes utilisées. L'inverse de la valeur trouvée donne la fréquence : $9.T = 10,2$ ms donc $T = 10,2/9 = 1,13$ ms et $f = 1/T = 1/(1,13 \cdot 10^{-3}) = 8,8 \cdot 10^2$ Hz.

2. A partir d'un document publicitaire (**document 2**), on s'intéresse à la qualité du son perçu par un auditeur ou

un musicien muni de protections auditives.

2.1. Indiquer qualitativement, pour chacun des bouchons, comment évolue le niveau sonore reçu en fonction de

la fréquence du son émis.

(0,25) Pour le bouchon en mousse, l'atténuation augmente avec la fréquence du son émis ainsi le niveau sonore reçu diminue avec la fréquence du son émis. Pour le bouchon moulé, l'atténuation due au bouchon et donc le niveau sonore gardent sensiblement la même valeur lorsque la fréquence varie.

2.2. Une pratique musicale régulière d'instruments tels que la batterie ou la guitare électrique nécessite une atténuation du niveau sonore. Cependant, cette atténuation ne doit pas être trop importante afin que le musicien entende suffisamment ; elle ne doit donc pas dépasser 25 dB.

2.1. Indiquer pour chaque bouchon si le critère précédent a été respecté. (0,25) L'atténuation du au bouchon en mousse dépasse la valeur 25 dB, celle due au bouchon moulé non. Le bouchon moulé respecte le critère d'atténuation mais pas le bouchon en mousse.

2.2. En utilisant la courbe d'atténuation, indiquer, en justifiant la réponse, si un bouchon en mousse atténue

davantage les sons aigus ou les sons graves. (0,25) Un bouchon en mousse atténue davantage les sons de fréquences élevées c'est-à-dire les sons aigus.

2.3. Expliquer la phrase du texte du document 1 : *"Ils (les bouchons en mousse) restituent un son sourd"*.

(0,25) Le bouchon en mousse atténue davantage les sons aigus que les sons graves. Le son restitué à l'oreille après passage par le bouchon en mousse ne possède presque plus de composantes aigües, c'est un son "sourd".

3. Un dispositif adapté permet d'enregistrer le son émis par la flûte et ceux restitués par les deux types de bouchons lorsqu'un musicien joue la note la_4 . Les spectres en fréquence de ces sons sont représentés **figure 2**, **figure 3** et **figure 4**.

3.1. Définir la hauteur d'un son.

(0,25) La hauteur d'un son correspond à la valeur de la fréquence fondamentale du son, plus cette valeur est grande et plus le son est aigu.

3.2. De quoi dépend le timbre d'un son ? Le timbre d'un son est défini par la répartition des fréquences harmoniques, Il dépend donc du nombre d'harmoniques présentes dans le son et de leurs intensités relatives.

3.3. En justifiant, indiquer si le port de bouchon en mousse modifie la hauteur du son ? le timbre du son ? (0,25+0,25) La figure 3 montre que la fréquence fondamentale n'est pas modifiée après passage à travers le bouchon en mousse, la hauteur du son n'est donc pas modifiée. La figure 3 montre qu'après passage à travers le bouchon en mousse l'harmonique de rang 2 a disparu. Le timbre du son est donc modifié.

3.4. Même question que 3.3 pour le bouchon moulé en silicone. (0,25+0,25) La figure 4 montre que la fréquence fondamentale n'est pas modifiée après passage à travers le bouchon en silicone, la hauteur du son n'est donc pas modifiée. La figure 4 montre qu'après passage à travers le bouchon moulé en silicone la composante fondamentale et les harmoniques du son sont toujours présentes et présentent les mêmes amplitudes relatives que le son initial : le timbre du son n'est donc pas modifié.

3.5. En rédigeant un texte de 10 lignes maximum, expliquer la phrase du document 1 : *"Ils (les bouchons moulés) conservent la qualité du son"*. (0,5) Chaque son est une superposition de composantes sinusoïdales dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale. Lorsqu'un son traverse un bouchon moulé en silicone, le document 2 montre que l'atténuation du son ne dépend pas de la fréquence. Ainsi, chaque composante du son subira la même atténuation. L'analyse du son restitué par le bouchon moulé donné par la figure 4 montre bien que la composante fondamentale et toutes les harmoniques du son ont été restituées avec des amplitudes relatives qui restent dans les mêmes proportions que dans le son initial. L'intensité sonore est donc diminuée mais le timbre du son, c'est-à-dire la "qualité" du son, est conservé.

4. Une exposition prolongée à 85 dBA est nocive pour l'oreille humaine. Durant un concert de rock, un batteur est soumis en moyenne à une intensité sonore $I = 1,0 \times 10^{-2} \text{ W.m}^{-2}$.

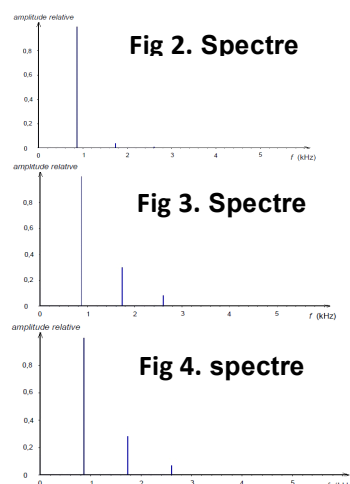
4.1. Calculer le niveau sonore auquel correspond l'intensité sonore I .

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

(0,25) $L = 10 \cdot \log(I/I_0) = 10 \cdot \log(1,0 \cdot 10^{-2} / 1,0 \cdot 10^{-12}) = 100 \text{ dB}$.

4.2. Le batteur est porteur de bouchons moulés en silicone correspondant au document publicitaire. Les facultés auditives peuvent-elles être altérées au cours du concert ? Justifier.

(0,25) Le niveau sonore perçu est atténué d'une valeur comprise entre 20 et 25 dB, ainsi le niveau sonore perçu est inférieur à $100 - 20 = 80 \text{ dB}$. Cette valeur étant inférieure à 85 dB, les facultés auditives ne seront pas altérées.



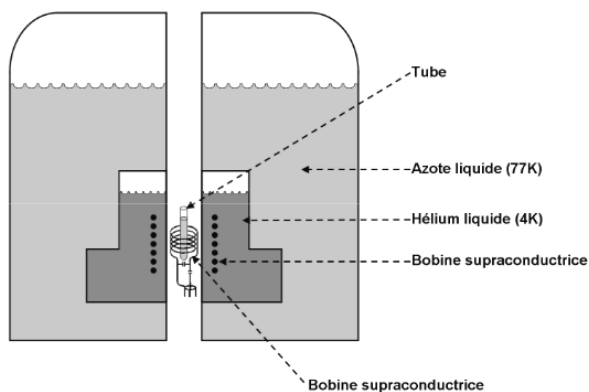
Spécialité : Imagerie médicale et supraconductivité

Document 1 : IRM et supraconducteur.



L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique d'imagerie médicale permettant d'obtenir des vues 2D ou 3D de l'intérieur du corps de façon non invasive avec une résolution en contraste relativement élevée. L'IRM repose sur le principe de la résonance magnétique nucléaire (RMN) des noyaux d'atomes nécessitant l'utilisation d'un champ magnétique B . La sensibilité d'une expérience RMN est d'autant plus grande que la valeur de B est élevée, celui-ci doit donc être le plus grand possible : la valeur des appareils actuels est $B = 11,2$ teslas. Pour produire un champ magnétique aussi intense on doit créer un courant électrique très important dans une bobine dont le fil est constitué d'un alliage supraconducteur de niobium titane NbTi. L'utilisation d'un simple conducteur comme le cuivre entraînerait rapidement la

fusion de ce dernier !



Le NbTi est supraconducteur pour une température inférieure à 9,5 K. La bobine est donc immergée dans un bain d'hélium liquide ($-269\text{ °C} = 4,2\text{ K}$). A ces températures, la résistance électrique est nulle (supraconductivité), donc le courant électrique injecté dans la bobine (30 à 90 A) circule sans effet joule.

Le réservoir contenant l'hélium liquide est entouré d'un second réservoir contenant de l'azote liquide (-196 °C) pour réduire le contraste thermique.

Document 2 : La supraconductivité

Kamerlingh Onnes fut à l'origine de deux découvertes majeures : la liquéfaction de l'hélium, et la supraconductivité.

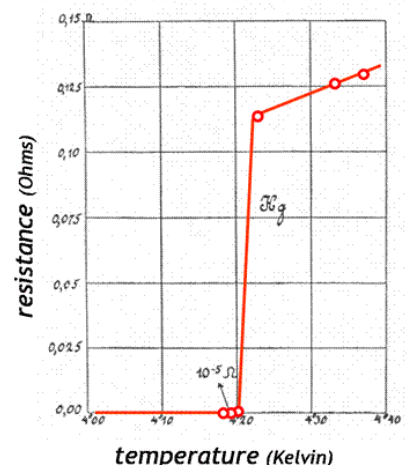
Elève d'un autre grand physicien, J.D. Van der Waals, il devint titulaire de la chaire de physique de l'université de Leyde, en 1882. Il avait alors un objectif, un seul : parvenir à liquéfier du gaz d'hélium. Il développa pour cela le premier laboratoire industriel digne de ce nom. En 1908, Onnes et son chef mécanicien Flim réussirent finalement à atteindre une température supérieure d'un degré seulement au zéro absolu, limite infranchissable où tout se fige ($0\text{ K} = -273\text{ °C}$).

Aussitôt après sa découverte, Onnes entreprit de refroidir et d'étudier les propriétés de nombreux matériaux. Il se posait en particulier une question simple : que devient le courant électrique d'un métal dont la température se rapproche du zéro absolu ? Les électrons continuent-ils de se déplacer comme à température ordinaire ? Ou bien, victimes du froid, préfèrent-ils s'accrocher à leurs atomes, provoquant une augmentation brutale de la résistance électrique ? En 1911, Onnes mesura donc la résistance électrique du mercure refroidi par de l'hélium liquide, avec l'aide de son assistant Gilles Holst. Et il fit alors une des découvertes expérimentales les plus stupéfiantes du XX^e siècle : non seulement la résistance n'augmentait pas, mais au contraire, elle chutait très brutalement à zéro (voir courbe) ! Kamerlingh Onnes venait de mettre en évidence un nouveau phénomène qui passionne les physiciens depuis : la supraconductivité.

Actuellement, les supraconducteurs "hautes températures" sont obtenus à une température de -135 °C .



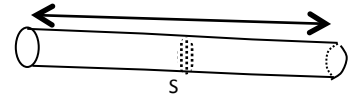
Heike Kamerlingh Onnes
(1853-1926)



Document 3 : Grandeurs physiques d'un matériau conducteur

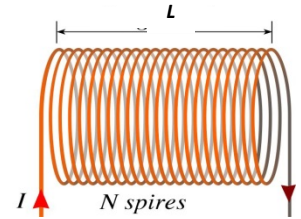
- ☞ Un fil conducteur résistif est assimilé à un cylindre de longueur ℓ et de section S (aire de la coupe transversale). La résistance électrique R (en ohm noté Ω) dépend de ℓ en m, de S en m^2 et de la résistivité ρ , constante caractéristique du matériau à une température donnée. On a :

$$R = \rho \frac{\ell}{S}$$



- ☞ Le passage du courant dans un conducteur occasionne une perte d'énergie E (en joule noté J) sous forme d'échauffement du matériau appelé "effet Joule" valant $E = R \times I^2 \times \Delta t$ avec I l'intensité du courant (en ampère A) et Δt (en seconde) la durée pendant laquelle il y a circulation du courant.
- ☞ Le passage du courant électrique d'intensité I (en A) dans une bobine longue ou solénoïde de longueur L (en m) contenant N spires crée, à l'intérieur de la bobine, un champ magnétique B (en tesla T) de formule :

$$B = 4 \pi \times 10^{-7} \times \frac{N}{L} \times I$$



- ☞ L'énergie thermique E (en joule J) échangée par un corps de masse m (en kg) d'un matériau de capacité thermique c et subissant une variation de température ΔT (en degré Celsius) est donnée par :

$$E = m \times c \times \Delta T$$

Document 4 : Valeur utiles pour le cuivre

- ☞ La résistivité du cuivre à 20 °C vaut : $\rho = 1,70 \cdot 10^{-8} \text{ SI}$
- ☞ La capacité thermique du cuivre vaut : $c = 390 \text{ J.kg}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$
- ☞ La température de fusion du cuivre vaut : $T_f = 1\,083 \text{ } ^\circ\text{C}$

I-Questions sur les documents

Les questions suivantes sont indépendantes les unes des autres

- Comment crée-t-on un champ magnétique dans une bobine de fil ? **A cause du courant électrique circulant dans la bobine (0,25 pt)**
En se basant sur la formule proposée de B, citer un moyen d'augmenter la valeur du champ magnétique B. **En augmentant l'intensité I du courant (0,25 pt)**
- Comment varie l'effet joule dans un conducteur lorsque l'intensité du courant I devient très importante ? Justifier.
L'effet Joule, caractérisé par la valeur d'énergie $E = R \times I^2 \times \Delta t$ augmente lorsque I augmente (0,5 pt)
- Pourquoi ne peut-on pas utiliser un conducteur classique comme le cuivre pour créer un champ magnétique important ? **L'énergie importante produite par effet Joule se transmet au conducteur et provoque une augmentation de sa température... On risque peut être d'atteindre la température de fusion du cuivre. (0,5pt)**
- Comment varie la résistance d'un conducteur quand la température décroît ? **Elle diminue (0,5 pt)**
- Qu'est-ce qu'un supraconducteur ? à quelle condition un matériau peut-il devenir supraconducteur ? **Matériau de résistance électrique nulle. Obtenu en général à très basse température. (0,5 pt)**
- Quel intérêt présente l'utilisation d'un supraconducteur pour l'imagerie à résonance magnétique nucléaire ? **Permet le passage d'un courant de très haute intensité (permettant l'obtention d'un champ B très fort) sans effet Joule ($R = 0$) et sans augmentation de température dans le fil supraconducteur constituant la bobine**

II- Problème

Énoncé :

On désire déterminer dans quelle mesure il serait possible de produire un champ magnétique $B = 11,2 \text{ T}$ avec une bobine de fil de cuivre.

Une bobine de longueur $L = 1,0 \text{ m}$ est constituée d'un fil de cuivre comportant $N = 1000$ spires.

Sa longueur totale vaut $\ell = 3,0 \text{ km}$ et sa section $S = 8,0 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2$.

La masse totale du fil de cuivre utilisé pour fabriquer la bobine est $m = 30 \text{ kg}$.

La température initiale de la bobine est égale à 20°C.

On considérera que les caractéristiques physiques données dans le document 4 restent constantes dans l'intervalle de température utilisé.

1. Calculer l'intensité du courant I qu'il faut créer dans la bobine pour obtenir le champ B désiré.

$$\frac{B.L}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot N} = \frac{11,2 \cdot 1,0}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1000} = 8,9 \cdot 10^3 \text{ A} \quad 0,5 \text{ pt}$$

Comparer avec la valeur indiquée dans le texte.

Largement supérieur aux 90 A du texte... 0,5 pt

2. Calculer la résistance électrique R du fil de cuivre.

$$R = \rho \frac{\ell}{S} = 1,70 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{3,0 \cdot 10^3}{8,0 \cdot 10^{-7}} = 64 \, \Omega \quad 0,5 \text{ pt}$$

3. Montrer par calcul que le fil de cuivre va fondre au bout d'une durée Δt valant moins de 3 ms.

L'énergie produite par effet Joule est reçue par le conducteur pour s'échauffer. Considérons qu'il atteigne sa température de fusion $1083 \, ^\circ\text{C}$ (depuis $20 \, ^\circ\text{C}$) : $RI^2\Delta t = mc(T_f - T_i)$

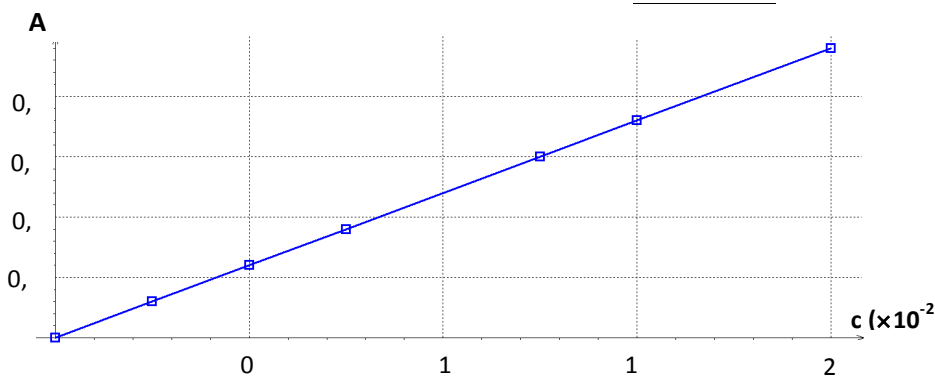
$$\Delta t = \frac{mc(T_f - T_i)}{RI^2} = \frac{30 \cdot 390 \cdot (1083 - 20)}{64 \cdot (8,9 \cdot 10^3)^2} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 2,4 \text{ ms} \quad 1 \text{ pt}$$

rédaction 0,5 pt

ANNEXE DE L'EXERCICE II

Les échelles des axes horizontaux des deux graphes ne sont pas identiques.

Droite a



Droite b

