

# PS80 : Examen médian – Corrigé

## 1 Ondes acoustiques

### 1.1 Perception auditive (3pts)

a) Le niveau sonore du son indiqué par le point B est  $L_B = 80 \text{ dB}$ . Ce son est perçu à un niveau sonore  $L_{B,p} = 60 \text{ dB}$ .

b) La courbe “minimum audible” (comme les autres courbes) joint des points de même niveau sonore perçu, et de différents niveaux sonores “réels”, i.e. pour un même niveau sonore perçu les sons graves doivent être plus forts que les sons aigus (émis avec plus de puissance).

Ceci explique pourquoi les haut-parleurs basse fréquence doivent être plus grands que les haut-parleurs haute fréquence : ils doivent émettre avec plus de puissance pour obtenir un son de même niveau perçu.

c) Le point O est au minimum de la courbe “minimum audible” (cf. Fig. 1), à  $f = 4 \text{ kHz}$ , c’est donc la fréquence à laquelle l’oreille est la plus sensible.

d) Un bruit de niveau sonore uniforme 40 dB est audible entre 50 Hz et 20 kHz. En effet, à ce niveau sonore, les sons de fréquences inférieures à 50 Hz sont au-dessous de la courbe “minimum audible”, i.e. ils ne sont pas audibles.

e) D’après lecture du diagramme, le niveau sonore perçu d’un son de 60 dB et fréquence 50 Hz est  $L_1 = 30 \text{ dB}$ . De même, le niveau sonore perçu d’un son de 60 dB et fréquence 100 Hz est  $L_2 \gtrsim 50 \text{ dB}$ .

f) Le rapport des intensités sonores (perçues) des deux sons précédents s’écrit :

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{I_0 10^{L_1/10}}{I_0 10^{L_2/10}} = 10^{\frac{L_1-L_2}{10}}$$

par définition du niveau sonore. Application numérique :  $I_1/I_2 = 10^{-2}$ . Le son de fréquence 50 Hz est perçu 100 fois moins fort que le son de fréquence 100 Hz, émis avec la même puissance.

### 1.2 Pression acoustique (2pts)

L’intensité sonore  $I$  est liée à la variation de pression de l’air  $\Delta P$  (pression acoustique), par la relation :

$$I = \frac{(\Delta P)^2}{2 \rho c}$$

où  $\rho$  est la masse volumique du milieu de propagation et  $c$  la célérité du son dans ce milieu (air à 20°C).

a) L’équation aux dimensions de l’intensité sonore  $I$  s’écrit :

$$[I] = \frac{[\Delta P]^2}{[\rho] [c]}$$

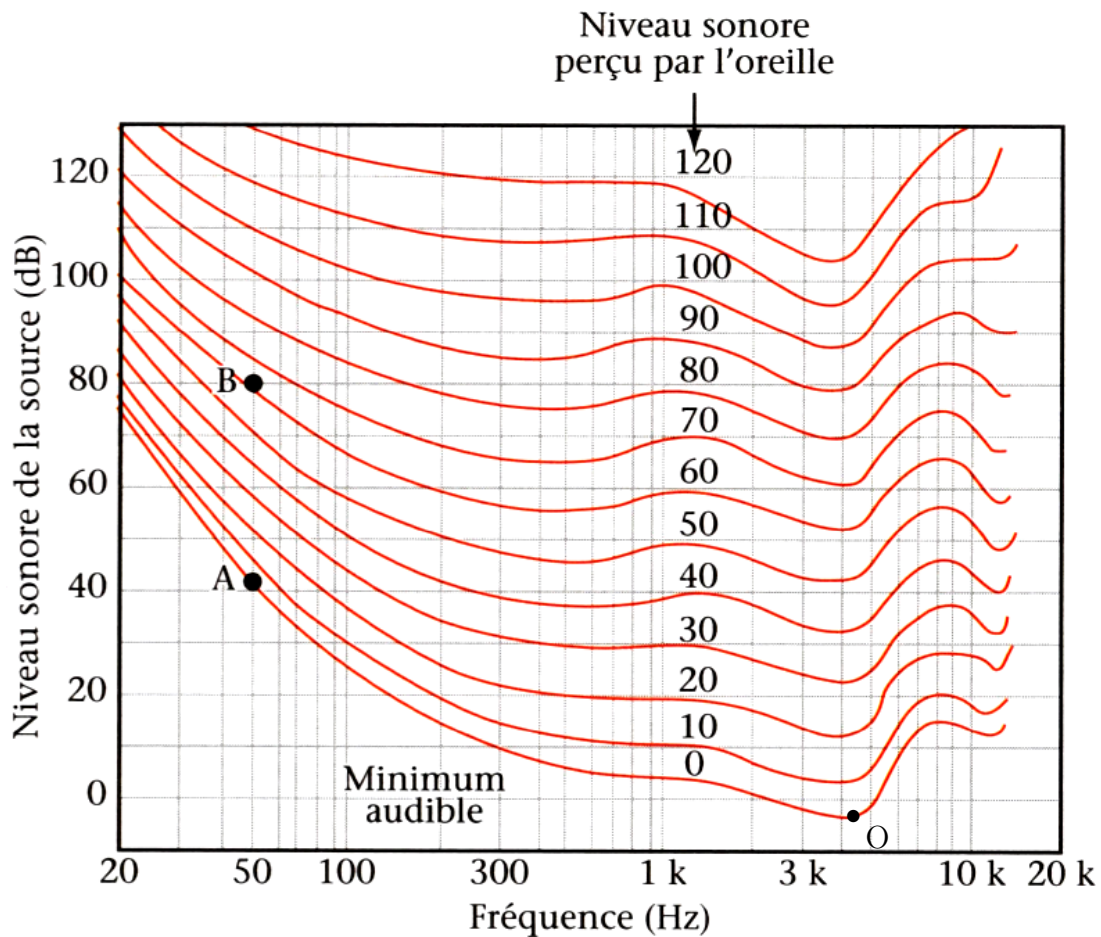


FIGURE 1 – Diagramme de Fletcher et Munson.

où  $[\Delta P] = (M.L.T^{-2}).L^{-2} = M.L^{-1}.T^{-2}$  (une pression est une force par unité de surface). Alors :

$$[I] = \frac{(M.L^{-1}.T^{-2})^2}{(M.L^{-3}).(L.T^{-1})} = M.T^{-3}$$

*Remarque* : ceci est cohérent avec l'unité de l'intensité sonore que nous connaissons :  $1 W.m^{-2} = 1 (N.m.s^{-1}).m^{-2} = 1 kg.s^{-3}$ .

b) L'intensité sonore  $I$  est liée au niveau sonore  $L$  par la relation :

$$L = 10 \log \left( \frac{I}{I_0} \right) \quad \text{ssi} \quad I = I_0 \times 10^{L/10}$$

où  $I_0 = 10^{-12} W.m^{-2}$ . L'intensité sonore au seuil d'audition vaut :  $I_0 = 10^{-12} W.m^{-2}$ , et l'intensité sonore au deuil de douleur aut :  $I_{120} = 1 W.m^{-2}$ .

c) La variation de pression correspondant à une intensité sonore  $I$  s'écrit :

$$\Delta P = \sqrt{2I\rho c}$$

La variation maximale de pression que peut supporter l'oreille humaine sans douleur est donnée par :  $\Delta P_{120} = \sqrt{2I_{120}\rho c} = 29 Pa$ .

Une variation de pression atmosphérique de l'ordre de  $\Delta P_{120}$  peuvent être observées sur un intervalle de quelques heures, ce qui laisse le temps à l'oreille de s'habituer aux nouvelles conditions. Des variations importantes (quelques hPa) sur une même journée (météo très changeante, typique d'un climat continental par exemple, ou de l'approche d'une forte tempête) tendent à donner des migraines ou autres sensations d'inconfort.

### 1.3 Étude du violon (7pts)

- a) & b) Les ondes mécaniques émises par le violon sont :
- une onde (transverse et stationnaire) correspondant à la vibration de la corde sous l'archet ;
  - une onde sonore (longitudinale et progressive) produite par l'amplification, par l'âme, de la vibration de la corde.
- c) Deux sons joués correspondant à la même note ont la même hauteur, i.e. la même fréquence fondamentale.
- d) Parmi les documents 1 à 4, ceux qui correspondent à la même note sont les sons numéros 1 et 3. Ils présentent la même période  $T_0 \simeq 0,0077\text{ s}$  et donc la même fréquence fondamentale  $f_0 \simeq 130\text{ Hz}$ .  
Les sons numéros 2 et 4 ont des périodes (donc hauteurs) différentes.
- e) L'allure du signal sur le document 1 est différente de celle du document 3, ce qui signifie que les spectres (timbres) de ces sons sont différents : ils sont donc joués par des instruments différents.
- f) Le document 5 montre un son de fréquence fondamentale  $f_0 = 260\text{ Hz}$  avec des harmoniques  $f_1 = 520\text{ Hz}$ ,  $f_2 = 780\text{ Hz}$ ,  $f_3 = 1040\text{ Hz}$ . Le rapport entre chaque harmonique est la fréquence fondamentale est un nombre entier :  $f_1/f_0 = 2$ ,  $f_2/f_0 = 3$ ,  $f_3/f_0 = 4$ .  
Le document 6 montre un son de fréquence fondamentale  $f_0 = 130\text{ Hz}$  avec des harmoniques  $f_1 = 260\text{ Hz}$ ,  $f_2 = 390\text{ Hz}$ ,  $f_3 = 520\text{ Hz}$ ,  $f_4 = 660\text{ Hz}$ ,  $f_5 = 790\text{ Hz}$  (à peine visible). Le rapport entre chaque harmonique est la fréquence fondamentale est un nombre entier :  $f_1/f_0 = 2$ ,  $f_2/f_0 = 3$ ,  $f_3/f_0 = 4$ ,  $f_4/f_0 = 5$ ,  $f_5/f_0 = 6$ .
- g) Le spectre du document est celui du son visualisé dans le document 2, c'est celui dont la période vaut  $T_0 \simeq 0,004\text{ s}$ , ce qui correspond à une fréquence fondamentale  $f_0 \simeq 260\text{ Hz}$ .  
Le spectre du document 6 peut correspondre aux sons visualisés dans les documents 1 ou 3, en effet ils ont tous deux une fréquence fondamentale  $f_0 = 130\text{ Hz}$ . Cependant, le spectre du document 6 montre un premier harmonique intense, ce qui correspond plus probablement au son du document 1.
- h) Le spectre du document e correspond à un son de fréquence fondamentale  $f_0 = 200\text{ Hz}$ , ce qui correspond à une période  $T_0 = 0,005\text{ s}$ , i.e. le son visualisé dans le document 4.
- i) Écrivons la célérité  $c$  de l'onde sur la corde tendue en fonction de la tension  $T$  de la corde et de sa masse linéique  $\mu$  :

$$c = k T^\alpha \mu^\beta \quad \text{avec } [k] = 1$$

Les équations aux dimensions de  $c$ ,  $T$  et  $\mu$  s'écrivent :

$$[c] = L.T^{-1} \quad ; \quad [T] = M.L.T^{-2} \quad ; \quad [\mu] = M.L^{-1}$$

On peut alors écrire l'analyse dimensionnelle :

$$[c] = [T]^\alpha [\mu]^\beta$$
$$\text{ssi } L.T^{-1} = (M.L.T^{-2})^\alpha (M.L^{-1})^\beta = M^{\alpha+\beta}.L^{\alpha-\beta}.T^{2\alpha}$$

$$\text{ssi } \begin{cases} -2\alpha = -1 \\ \alpha + \beta = 0 \\ \alpha - \beta = 1 \end{cases}$$

$$\text{ssi } \begin{cases} \alpha = 1/2 \\ \beta = -1/2 \end{cases}$$

On a donc :

$$c = k\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

j) La relation entre célérité  $c$ , fréquence  $f$  et longueur d'onde  $\lambda$  d'une onde s'écrit :

$$c = \lambda f$$

k) La tension  $T$  de la corde s'écrit :

$$T = \mu c^2 = \mu \lambda^2 f^2 = 4\mu L^2 f^2$$

comme  $\lambda = 2L$ . Application numérique au cas du son du document 7 (fréquence fondamentale  $f = 200 \text{ Hz}$ ) :  $T = 30 \text{ N}$ .

l) La fréquence du son s'écrit, en fonction de la tension  $T$  de la corde :

$$f = \frac{1}{2L}\sqrt{\frac{T}{\mu}}$$

Ainsi, quand la tension de la corde augmente, la fréquence du son augmente (le son devient plus aigu), et quand la tension de la corde diminue, la fréquence du son diminue (le son devient plus grave). Ceci est compatible avec ce qu'on observe en accordant un instrument à cordes.

## 2 Radioactivité

### 2.1 Uranium 238 (2pts)

a) La grandeur  $Z$  en abscisse est le numéro atomique (ou nombre de protons) de chaque noyau porté sur le graphique, et la grandeur  $A$  est le nombre de masse (ou nombre de nucléons).

b) Les flèches blanches représentent des désintégrations  $\alpha$  : l'émission d'un noyau d'hélium transforme un noyau  ${}^A_Z\text{X}$  en  ${}^{A-4}_{Z-2}\text{Y}$ . Les flèches noires représentent des désintégrations  $\beta^-$  : l'émission d'un électron (et d'un neutrino) transforme un noyau  ${}^A_Z\text{X}$  en  ${}^A_{Z+1}\text{Y}$ .

c) Les deuxième et troisième espèces dans la chaîne,  ${}^{234}\text{Th}$  et  ${}^{234}\text{Pa}$ , sont des espèces isobares. Les deuxième et cinquième espèces dans la chaîne  ${}^{234}\text{Th}$  et  ${}^{230}\text{Th}$ , sont des isotopes.

d) Des espèces dont les demi-vies sont indiquées, la plus stable est  ${}^{238}\text{U}$  ( $t_{1/2} = 4,5.10^9 \text{ ans}$ ) et la moins stable est  ${}^{214}\text{Po}$  ( $t_{1/2} = 200 \text{ ms}$ ).

*Remarque* : la réponse  ${}^{206}\text{Pb}$  est aussi acceptée pour l'espèce la plus stable.

## 2.2 Scintigraphie (6pts)

a) Voici l'équation de désintégration de l'iode 123 s'écrit :



b) Il s'agit d'une désintégration  $\beta^+$ .

c) Le photon émis par le  ${}^{123}\text{Te}$  a pour énergie :  $E = 2,50 \cdot 10^{-13} \text{ J} = 1,56 \text{ MeV}$ . Il s'agit bien d'un photon  $\gamma$ , comme indiqué dans l'encadré.

d) Les relations de De Borglie (et Planck) entre énergie  $E$ , fréquence  $\nu$  et longueur d'onde  $\lambda$  d'un photon s'écrivent :

$$E = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

La longueur d'onde (dans le vide) de l'émission observée vaut :  $\lambda_0 = 0,79 \text{ pm}$ .

e) Les rayons X sont moins énergétiques que les rayons  $\gamma$ ; leurs énergies se situent entre 100 eV et 100 keV environ.

f) Les membres du personnel médical qui manipulent des isotopes radioactifs portent des tenues de protection, par ex. des tabliers de plomb pour protéger leurs organes vitaux des rayonnements ionisants.

g) La demi-vie de l'iode 123 vaut  $t_{1/2} = 13,3 \text{ h}$ .

L'activité mesurée après  $26,6 \text{ h} = 2t_{1/2}$  vaut  $A(2t_{1/2}) = (1/2)^2 A_0 = A_0/4$ , où  $A_0$  est l'activité initiale de la source.

L'activité mesurée après  $39,9 \text{ h} = 3t_{1/2}$  vaut  $A(3t_{1/2}) = (1/2)^3 A_0 = A_0/8$ .

h) Au bout d'une journée d'éloignement, le patient est toujours radioactif, en effet  $1 \text{ jour} \lesssim 2t_{1/2} < 20t_{1/2}$ .