Casque audio à réduction de bruit

Bac S 2014 Métropole rattrapage (ancien programme) · Exercice 2 **10 points** **Durée conseillée 1 h 40**

1 La « réponse en fréquence » du casque est-elle adaptée à l'audition humaine ?

Données utiles document 1 : réponse en fréquence 10 – 25 000 Hz

L'oreille humaine perçoit les sons dont la fréquence est comprise entre 20 Hz et 20 kHz environ.

Le casque restitue les sons de 10 Hz à 25 kHz : cet intervalle contient tout le domaine audible.

Oui : le domaine audible (20 Hz – 20 kHz) est entièrement inclus dans la réponse en fréquence du casque (10 Hz – 25 kHz).

PIÈGE
Répondre « oui » sans citer les bornes du domaine audible. Ce sont elles, connaissance de cours, qui justifient la réponse.

2.1 Identifier approximativement les domaines de fréquence pour lesquels seules les oreillettes sont efficaces, seul le dispositif actif est efficace, les deux dispositifs participent à la réduction du bruit.

On note L_1, L_2 et L_3 les niveaux d'intensité sonore des cas n°1, n°2 et n°3.

- Les oreillettes atténuent le bruit quand $L_2 < L_1$: c'est le cas au-delà de 170 Hz environ.
- Le dispositif actif atténue le bruit quand $L_3 < L_2$: c'est le cas en dessous de 700 Hz environ.

De 50 Hz à 170 Hz environ : $L_2 \approx L_1$ et $L_3 < L_1$. Seul le dispositif actif est efficace.

De 170 Hz à 700 Hz environ : $L_2 < L_1$ et $L_3 < L_2$. Les deux dispositifs participent à la réduction.

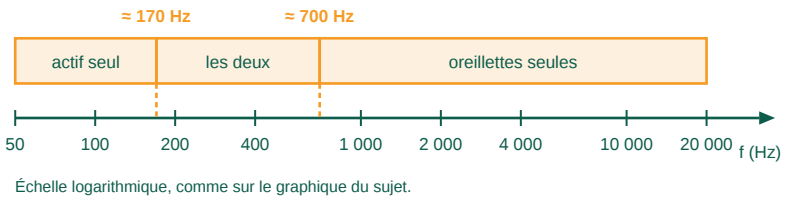
De 700 Hz à 20 kHz environ : $L_2 < L_1$ mais $L_3 \geqslant L_2$. Seules les oreillettes sont efficaces.

Dispositif actif seul : 50 Hz – 170 Hz ; les deux : 170 Hz – 700 Hz ; oreillettes seules : 700 Hz – 20 kHz (valeurs approchées).

PIÈGE
L'axe des fréquences est logarithmique : après 100 Hz, les traits verticaux valent 200, 300, 400 Hz… et après 1 000 Hz, 2 000, 3 000 Hz… Une lecture « à la règle » entre deux traits donne une fréquence fausse.

COMPRENDRE
Entre 700 Hz et 3 kHz environ, la courbe du cas 3 passe même au-dessus de celle du cas 2 : le dispositif actif ajoute un peu de bruit au lieu d'en retirer.

MÉTHODE
Traduire chaque phrase en comparaison de courbes : écart entre les cas 1 et 2 pour l'effet des oreillettes, écart entre les cas 2 et 3 pour l'effet du dispositif actif. Les frontières sont les points où deux courbes se séparent ou se croisent.



Échelle logarithmique, comme sur le graphique du sujet.

2.1 · Les trois domaines de fréquence lus sur le graphique

2.2 Les mesures sont-elles conformes à la performance de réduction de bruit annoncée dans la notice ? Justifier.

Données utiles document 1 : fonction réduction de bruit active « jusqu'à 20 dB »

La réduction due au seul dispositif actif est l'écart $L_2 - L_3$ entre les courbes des cas n°2 et n°3.

Cet écart est le plus grand vers 200 Hz : $L_2 \approx 69$ dB et $L_3 \approx 47$ dB, soit $L_2 - L_3 \approx 22$ dB.

Aux autres fréquences l'écart est plus faible : environ 10 dB à 50 Hz, 16 dB à 100 Hz, nul vers 700 Hz.

Oui : la réduction active atteint environ 20 dB vers 200 Hz, ce qui correspond au « jusqu'à 20 dB » de la notice. C'est une valeur maximale, pas la réduction obtenue à toutes les fréquences.

COMPRENDRE
« Jusqu'à 20 dB » annonce un maximum. Une lecture à 1 ou 2 dB près sur ce graphique suffit : 22 dB lus et 20 dB annoncés sont compatibles.

2.3 Exploiter les trois graphes pour prévoir dans lequel des deux environnements sonores (train Corail ou discussion) le dispositif actif intervient le plus efficacement. Justifier.

Données utiles dispositif actif efficace de 50 Hz à 700 Hz environ, surtout vers 200 Hz (Q2.1 et Q2.2)

Train Corail (document 2) : les amplitudes les plus fortes se situent entre 50 Hz et 400 Hz environ, avec un maximum vers 200 Hz. C'est exactement le domaine où le dispositif actif réduit le plus le bruit (10 à 22 dB).

Discussion (document 3) : le maximum se situe vers 600 – 700 Hz et une part importante du spectre s'étend de 700 Hz à 3 kHz, domaine où le dispositif actif n'apporte plus rien.

Le dispositif actif est le plus efficace dans le train Corail, dont le bruit est surtout formé de basses fréquences (autour de 200 Hz).

MÉTHODE
Pour « exploiter des graphes », superposer mentalement les domaines : où le bruit est-il intense (spectre), où le dispositif agit-il (courbes de niveau). L'efficacité est grande si les deux domaines coïncident.

3.1 Les intervalles de confiance des niveaux d'intensité sonore mesurés dans les expériences 1, 2 et 3 permettent-ils de conclure que les valeurs sont significativement différentes ? Justifier.

Données utiles $L_1 = 53 \pm 1$ dB ; $L_2 = 56 \pm 1$ dB ; $L_3 = 44 \pm 1$ dB (niveau de confiance 95 %)

Intervalles de confiance :

- expérience 1 : $52 \text{ dB} \leqslant L \leqslant 54 \text{ dB}$;
- expérience 2 : $55 \text{ dB} \leqslant L \leqslant 57 \text{ dB}$;
- expérience 3 : $43 \text{ dB} \leqslant L \leqslant 45 \text{ dB}$.

Ces trois intervalles n'ont aucune valeur commune.

Oui : les intervalles $[43; 45]$, $[52; 54]$ et $[55; 57]$ (en dB) ne se recouvrent pas, les trois valeurs mesurées sont significativement différentes.

MÉTHODE
Deux mesures sont jugées différentes si leurs intervalles de confiance sont disjoints. S'ils se chevauchent, on ne peut pas conclure à une différence.

3.2 Pour quelle expérience l'intensité I du son est-elle la somme des intensités des sons issus de chaque enceinte prise séparément ? Justifier par un calcul.

Données utiles $L_A = L_B = 50$ dB

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

Les deux enceintes donnent le même niveau, donc la même intensité : $I_A = I_B$. Si les intensités s'ajoutent, $I = I_A + I_B = 2\,I_A$ et

$$L = 10\log\left(\frac{2\,I_A}{I_0}\right) = 10\log\left(\frac{I_A}{I_0}\right) + 10\log 2 = L_A + 10\log 2$$

$$L = 50 + 3{,}0 = 53 \text{ dB}$$

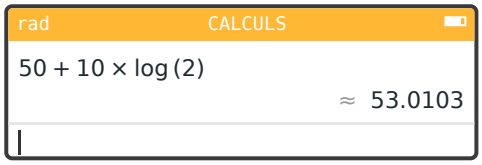
Cette valeur est celle mesurée dans l'expérience 1 (53 ± 1 dB) ; elle est hors des intervalles des expériences 2 et 3.

$L = L_A + 10\log 2 = 53$ dB : les intensités s'ajoutent dans l'expérience 1.

PIÈGE
Ajouter les niveaux : $50 + 50 = 100$ dB est faux. Ce sont les intensités I (en $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$) qui s'additionnent, jamais les niveaux en décibels.

COMPRENDRE
Doubler l'intensité ajoute toujours 3 dB, quelle que soit la valeur de départ. Le calcul se fait sans connaître I_0. Résultat donné à l'unité, comme les niveaux du tableau.

À LA CALCULATRICE



3.3.1 Par comparaison avec les ondes électromagnétiques monochromatiques, indiquer quel phénomène physique explique la variation du niveau d'intensité sonore d'une expérience à l'autre, en justifiant l'évolution observée.

Données utiles $L = 53$ dB si les intensités s'ajoutent (Q3.2)

Le phénomène est celui des **interférences**. Comme pour la lumière, il s'observe quand deux ondes de même fréquence, de déphasage constant, se superposent.

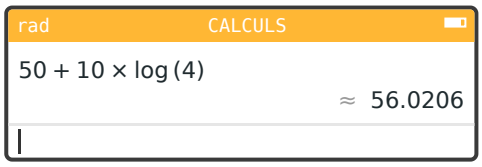
- Expérience 1 : $f_A \neq f_B$. Il n'y a pas d'interférences stables, les intensités s'ajoutent simplement : $L = 53$ dB.
- Expérience 2 : même fréquence, signaux en phase. Face aux enceintes accolées, les deux ondes parcourent la même distance et arrivent en phase : les interférences sont **constructives**, l'amplitude résultante est maximale et $L = 56$ dB > 53 dB.
- Expérience 3 : même fréquence, signaux en opposition de phase. Les ondes arrivent en opposition de phase : les interférences sont **destructives**, l'amplitude résultante est minimale et $L = 44$ dB < 53 dB.

Interférences entre deux ondes sonores de même fréquence : constructives en phase (56 dB), destructives en opposition de phase (44 dB).

PIÈGE
Citer les interférences sans condition. Il faut préciser : même fréquence (expériences 2 et 3 seulement), puis lier l'état de phase au caractère constructif ou destructif.

COMPRENDRE
En phase, l'amplitude double, donc l'intensité est multipliée par 4 : $L = 50 + 10\log 4 = 56$ dB, valeur mesurée. En opposition parfaite le son devrait s'annuler ; les 44 dB restants viennent des imperfections (enceintes non confondues, réflexions).

À LA CALCULATRICE



3.3.2 Quelle expérience modélise le dispositif actif de réduction de bruit ? Justifier.

Le dispositif actif doit diminuer le niveau d'intensité sonore du bruit. Seule l'expérience 3 donne un niveau (44 dB) inférieur à celui du bruit seul (50 dB).

Le signal anti-bruit a donc la même fréquence que le bruit et il est émis en opposition de phase avec lui : les deux ondes interfèrent de façon destructive.

L'expérience 3 : un signal anti-bruit de même fréquence que le bruit, en opposition de phase, produit des interférences destructives (44 dB au lieu de 50 dB).

COMPRENDRE
La comparaison utile se fait avec le bruit seul (50 dB) : dans les expériences 1 et 2, ajouter un second son augmente le niveau, le « remède » aggrave le bruit.

4.1 À l'aide des graphiques du document 5, calculer la fréquence d'échantillonnage f_e et estimer la valeur du pas p de la quantification.

Fréquence d'échantillonnage. Sur le second graphique, on compte 10 échantillons (10 points) entre 0,005 s et 0,010 s. La période d'échantillonnage est

$$T_e = \frac{0{,}010 - 0{,}005}{10} = 5{,}0 \times 10^{-4}\ \text{s}$$

$$f_e = \frac{1}{T_e} = \frac{1}{5{,}0 \times 10^{-4}} = 2{,}0 \times 10^{3}\ \text{Hz}$$

Pas de quantification. C'est le plus petit écart entre deux valeurs de la tension numérisée. Les paliers les plus proches sont séparés d'un peu moins d'une petite division verticale (0,01 V) ; de 0,00 V à environ 0,03 V on compte 4 pas, soit $p \approx 0{,}008$ V.

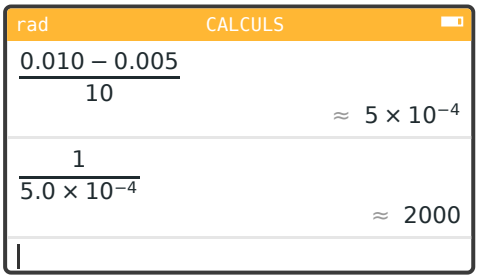
$f_e = 2{,}0 \times 10^{3}$ Hz $= 2{,}0$ kHz ; $p \approx 0{,}008$ V, soit environ $0{,}01$ V.

PIÈGE
Lire T_e sur le premier graphique : c'est le signal analogique, il n'a pas d'échantillons. Seul le second graphique (points et paliers) montre l'échantillonnage et la quantification.

COMPRENDRE
Deux chiffres significatifs pour f_e, la lecture graphique ne permet pas mieux. Pour p, l'énoncé demande une estimation : l'ordre de grandeur, 0,01 V, suffit.

MÉTHODE
Compter les échantillons sur plusieurs millisecondes, puis diviser : la lecture de T_e est plus précise que sur un seul intervalle. Même idée pour p : mesurer plusieurs pas d'un coup.

À LA CALCULATRICE



4.2 Connaissant la plage de conversion, dire s'il s'agit d'un codage sur 8 ou sur 16 bits.

Données utiles $\Delta U = 2$ V ; $p = \frac{\Delta U}{2^n}$; $p \approx 0{,}008$ V (Q4.1)

On calcule le pas pour chaque codage :

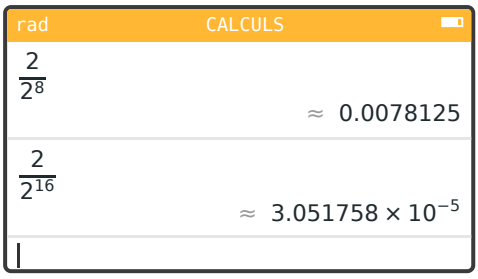
- sur 8 bits : $p = \frac{2}{2^8} = \frac{2}{256} = 7{,}8 \times 10^{-3}$ V ;
- sur 16 bits : $p = \frac{2}{2^{16}} = \frac{2}{65\,536} = 3{,}1 \times 10^{-5}$ V.

Le pas estimé sur le document 5 ($p \approx 0{,}008$ V) correspond à la première valeur.

Codage sur 8 bits : $p = \frac{2}{2^8} = 7{,}8 \times 10^{-3}$ V, en accord avec le pas lu ($\approx 0{,}008$ V).

COMPRENDRE
Les deux pas possibles diffèrent d'un facteur 256 : une estimation grossière de p suffit à trancher. Avec 16 bits, les paliers seraient invisibles à l'échelle du graphique.

À LA CALCULATRICE



4.3.1 Calculer, en bit ou en octet, la taille du fichier associé à la séquence numérisée.

Données utiles $\Delta t = 6{,}4$ ms ; $f_e = 20$ kHz ; codage sur 8 bits ; 1 octet = 8 bits

Nombre d'échantillons dans la séquence : $N = f_e \times \Delta t$

$$N = 20 \times 10^3 \times 6{,}4 \times 10^{-3} = 128 \text{ échantillons}$$

Chaque échantillon est codé sur 8 bits, c'est-à-dire 1 octet :

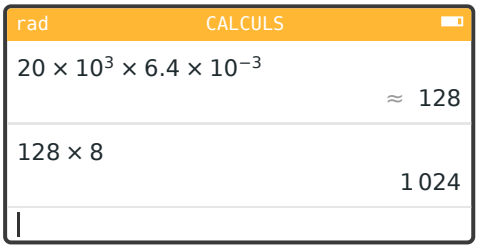
$$\text{taille} = N \times 8 = 128 \times 8 = 1\,024 \text{ bits}$$

Taille du fichier : 1 024 bits, soit 128 octets.

PIÈGE
Oublier les conversions : 20 kHz $= 20 \times 10^3$ Hz et 6,4 ms $= 6{,}4 \times 10^{-3}$ s. Ne pas confondre non plus bits et octets dans la réponse finale.

MÉTHODE
Taille (en bits) = fréquence d'échantillonnage × durée × nombre de bits par échantillon. La relation se retrouve en comptant les échantillons, sans formule à mémoriser.

À LA CALCULATRICE



4.3.2 La fréquence d'échantillonnage choisie remplit-elle la condition de Shannon pour le traitement des bruits des documents 2 et 3 ? Justifier.

Données utiles $f_e = 20$ kHz ; condition de Shannon : $f_e \geqslant 2\,f_{\max}$

Fréquence maximale des signaux à numériser, lue sur les spectres :

- train Corail (document 2) : le spectre s'annule vers $f_{\max} \approx 8$ kHz ;
- discussion (document 3) : le spectre s'annule vers $f_{\max} \approx 5$ kHz.

Dans le cas le plus exigeant : $2\,f_{\max} \approx 2 \times 8 = 16$ kHz, valeur inférieure à $f_e = 20$ kHz.

Oui : $f_e = 20$ kHz $\geqslant 2\,f_{\max} \approx 16$ kHz, la condition de Shannon est remplie pour les deux bruits.

PIÈGE
Comparer f_e à la fréquence du maximum du spectre (200 Hz ou 700 Hz). La condition porte sur la fréquence la plus élevée présente dans le signal.

COMPRENDRE
Autre lecture : avec $f_e = 20$ kHz, on numérise correctement jusqu'à $f_e/2 = 10$ kHz. Les deux spectres s'arrêtent avant 10 kHz.