A. Questions

1. Campagne : 30 < L < 40 dB(A)
   Circulation : 60 < L < 90 dB(A)
   Passage d'un train en gare : 80 < L < 100 dB(A)

2. La variation de niveau sonore de 3 dB correspond à un rapport du double de l'intensité :

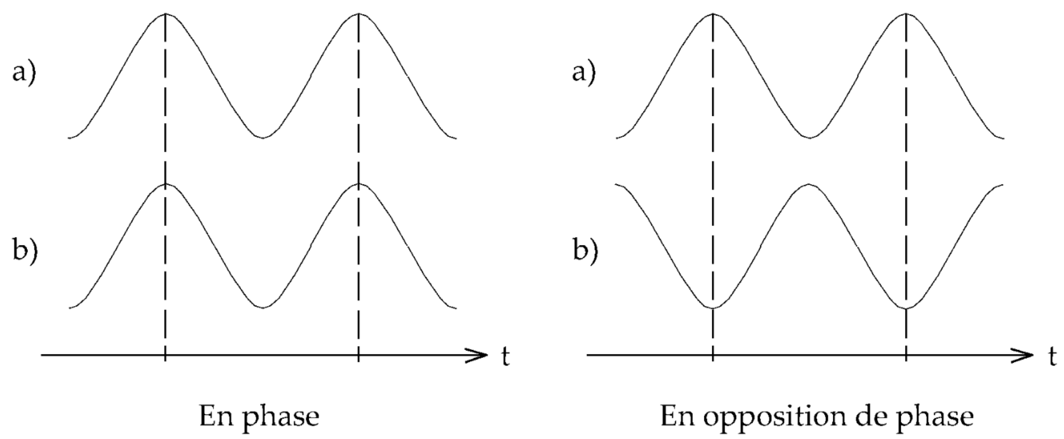
$$10\log 2 = 3.0103\text{dB}$$

De même : $\Delta L = 6\text{dB} \Rightarrow I'/I \approx 4$
$\Delta L = 9\text{dB} \Rightarrow I'/I \approx 8$
$\Delta L = 10\text{dB} \Rightarrow I'/I = 10$

3. Lorsque 2 ondes sonores (incohérentes) s'additionnent, l'intensité résultante est égale à la somme des intensités respectives des deux sources. Lorsque ces intensités sont très différentes, le niveau sonore résultant est pratiquement égal au niveau sonore de la source la plus intense. C'est l'effet de masque : bien que la source la plus faible soit en général parfaitement perceptible à l'oreille, elle ne contribue pratiquement pas à l'augmentation du niveau sonore résultant.

4. Ceci permet au système auditif de fonctionner aussi bien à très faible ($I_o = 10^{-12}$ W/m^2) qu'à très forte intensité ($I_{dol} = 1$ W/m^2), c'est-à-dire de supporter une très grande dynamique (120 dB).

5. La réduction du niveau sonore par superposition de deux ondes sonores est possible à condition que ces deux ondes soient cohérentes (liées par une relation de phase stable) et de même fréquence (ou de même forme). La réduction de niveau sonore s'observe lorsque les ondes sont en opposition de phase :



B. Problèmes

Problème 1 :

Le niveau sonore L est défini comme suit :

$$L = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)[\mathrm{dB}]$$

avec $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2 = seuil d'audition.

On trouve donc pour $I = 10^{-6}$ W/m^2 :

$$L = 10\log_{10}\left(\frac{10^{-6}}{10^{-12}}\right) = 60[\mathrm{dB}]$$

Si on multiplie par 2 l'intensité : $2 \cdot I = 2 \cdot 10^{-6}$ W/m^2

$$L = 10\log_{10}\left(\frac{2 \cdot 10^{-6}}{10^{-12}}\right) = 63[\mathrm{dB}]$$

on ajoute 3 dB au niveau sonore.

Si on multiplie par 4 l'intensité : $4 \cdot I = 4 \cdot 10^{-6}$ W/m^2

$$L = 10\log_{10}\left(\frac{4 \cdot 10^{-6}}{10^{-12}}\right) = 66[\mathrm{dB}]$$

on ajoute 6 dB au niveau sonore.

Si on multiplie par 10 l'intensité : $10 \cdot I = 10^{-5}$ W/m^2

$$L = 10\log_{10}\left(\frac{10^{-5}}{10^{-12}}\right) = 70[\mathrm{dB}]$$

on ajoute 10 dB au niveau sonore.

Problème 2 :

On connaît le niveau sonore : L = 70 dB. D'après la définition du niveau sonore, on a :

$$L = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)[\mathrm{dB}]$$

avec $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2 = l'intensité correspondant au seuil d'audibilité p_0. Pour résoudre ce problème, il faut exprimer I en fonction de L.

On part de : $\frac{L}{10} = \log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)$

On peut aussi écrire : $10^{L/10} = 10^{\log_{10}(I/I_0)} = \frac{I}{I_0}$

car par définition on a $10^{\log x} = x, \forall\, x > 0$.

Ainsi on trouve donc : $I = I_0 \cdot 10^{L/10}$

Avec L = 70 dB, on a : $I = 10^{-12} \cdot 10^{7} = 10^{-5}\ W/m^2$

Problème 3 :

On sait que $L = 10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)$. On cherche maintenant $L' = 10\log_{10}\left(2 \cdot \frac{I}{I_0}\right)$ (niveau sonore lorsque l'intensité double).

On calcule facilement :

$$L' = 10\log_{10}\left(2 \cdot \frac{I}{I_0}\right) = 10\log_{10}(\frac{I}{I_0}) + 10\log_{10}(2) \approx L + 3\ [dB]$$

Il faut se souvenir que : Log (x · y) = Log x + Log y.

Ainsi, quelle que soit l'intensité sonore I, si cette intensité double, le niveau sonore L augmente de 3 dB (3 dB = 0,3 Bell).

Si l'intensité sonore I est triplée, alors que le niveau sonore L augmente de :

$$10 \cdot \log_{10}(3) \approx 4.8\ \text{dB} = 0.48\ \text{Bell}.$$

Problème 4 :

Calculons les niveaux sonores max. et min. de la voix humaine (à 1 mètre) à partir de la formule.

On a : $p_{\min} = 2 \cdot 10^{-3}\text{Pa}, p_{\max} = 2 \cdot 10^{-1}\text{Pa}, p_0 = 20 \cdot 10^{-6}\text{Pa}$

D'où

$$L_{\min} = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{p_{min}}{p_0}\right) = 40\text{dB}$$

$$L_{\max} = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{p_{max}}{p_0}\right) = 80\text{dB}$$

La dynamique de la voix humaine vaut donc $L_{max} - L_{min}$ = 40 dB.

Remarque :

On peut calculer la dynamique directement :

$$L_{\max} - L_{\min} = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{p_{max}}{p_0}\right) - 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{p_{min}}{p_0}\right) = 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{p_{max}}{p_{min}}\right)$$

car, pour tout couple de réels positifs x et y, on a :

$$\log_{10}(x) - \log_{10}(y) = \log_{10}\left(\frac{x}{y}\right)$$

Problème 5 :

Pour résoudre ce problème, on utilise la règle d'addition d'ondes sonores incohérentes (cf. annexe A 6.4).

a) Les trois premières machines ont respectivement des niveaux sonores de 82 dB, 80 dB et 77 dB.

On calcule d'abord le niveau sonore résultant des deux premières machines :

$$L_{1,2} = 82 \text{ dB} + 2 \text{ dB} = 84 \text{ dB}$$

avec 82 dB = niveau sonore maximum des machines 1 et 2, et 2 dB = niveau à ajouter selon la règle, car les niveaux sonores des machines 1 et 2 diffèrent de 2 dB.

En second lieu, on calcule le niveau sonore résultant des machines 1 et 2 ($L_{1,2}$) et de la machine 3 (L_3).

$$L_{\text{tot}} = 84\text{dB} + 1\text{dB} = 85\text{dB}$$

avec 84 dB = maximum entre $L_{1,2}$ et L_3 (= 77 dB), et 1 dB = niveau sonore à ajouter selon la règle, car $L_{1,2}$ et L_3 diffèrent de 7 dB.

b) Le niveau résultant des six machines se calcule comme avant, selon une démarche successive illustrée ci-dessous :

$L_1 = 82\text{dB}$; $L_2 = 80\text{dB} \Rightarrow L_{1,2} = 82 + 2 = 84\text{dB}$

$L_{1,2} = 84\text{dB}$; $L_3 = 77\text{dB} \Rightarrow L_{1,2,3} = 84 + 1 = 85\text{dB}$

$L_{1,2,3} = 85\text{dB}$; $L_4 = 72\text{dB} \Rightarrow L_{1,2,3,4} = 85 + 0 = 85\text{dB}$

$L_{1,2,3,4} = 85\text{dB}$; $L_5 = 65\text{dB} \Rightarrow L_{1,2,3,4,5} = 85 + 0 = 85\text{dB}$

$L_{1,2,3,4,5} = 85\text{dB}$; $L_6 = 54\text{dB} \Rightarrow L_{1,2,3,4,5,6} = 85 + 0 = 85\text{dB}$

Remarque : les machines 4, 5 et 6 n'augmentent pas le niveau sonore, car elles ont des niveaux inférieurs de 11 dB ou plus par rapport au niveau sonore résultant des trois premières machines ($L_{1,2,3}$).