Mastère Sciences et Génie de l'Environnement

M1

Plan du cours de Stéphane Alfaro* sur les

'Nuisances sonores'

http://www.lisa.u-pec.fr/~alfaro/

* alfaro@lisa.u-pec.fr

Introduction : La notion de gêne sonore est très subjective. Il faut donc définir des critères objectifs permettant de quantifier cette gêne. Ceux-ci ne peuvent reposer initialement que sur la mesure d'une grandeur physique par un capteur adapté (en général, un capteur de pression). Ensuite, la mesure réalisée doit être pondérée afin de prendre en compte les différences entre la sensibilité du capteur 'physique' utilisé et celle du capteur 'physiologique' constitué par la chaîne auditive humaine (oreille, nerf auditif, cerveau).
Le plan de ce cours comprend trois parties. La première est consacrée, notamment, à la définition de l'intensité d'un son à partir des grandeurs physiques qui le caractérisent. La seconde est plus spécialement dédiée à la perception des sons par l'homme. C'est dans cette partie que sera également présenté l'instrument (le sonomètre) utilisé en pratique pour mesurer les niveaux sonores auxquels peuvent être exposées des personnes. Enfin, la troisième partie consistera en une réflexion rapide sur la manière dont les sons se propagent dans différents environnements (milieux extérieur ou intérieur) et donc sur les différentes façons d'envisager la réduction de la gêne sonore dans le cas où celle-ci serait trop forte.

Chapitre I : notions d'acoustique physique

I. Qu'est-ce qu'un son ? Exemples de sons simples

D'une manière générale, l'état d'une masse d'air peut être caractérisé par la donnée de paramètres (d'état) tels que sa pression, sa masse volumique sa température… Le passage d'une onde sonore en un point, M, de l'atmosphère va s'y traduire par l'apparition de fluctuations de la pression (p) et de la masse volumique (ρ) autour de leurs valeurs moyennes (p_0 et ρ_0, respectivement). On a donc les expressions suivantes pour les valeurs instantanées de la pression et de la masse volumique totales :

$$P_{tot} = p_0 + p \tag{I.1}$$

$$\rho_{tot} = \rho_0 + \rho \tag{I.2.}$$

De plus, le passage de l'onde sonore en M se traduit par une mise en mouvement de la masse d'air qui l'entoure. La vitesse acquise sera notée u par la suite.
Si l'on considère que l'apparition de cette vitesse est le résultat de la fluctuation locale de pression p, on peut quantifier l'opposition que présente l'air à sa propre mise en mouvement sous l'effet d'une fluctuation de pression, au moyen du rapport suivant :

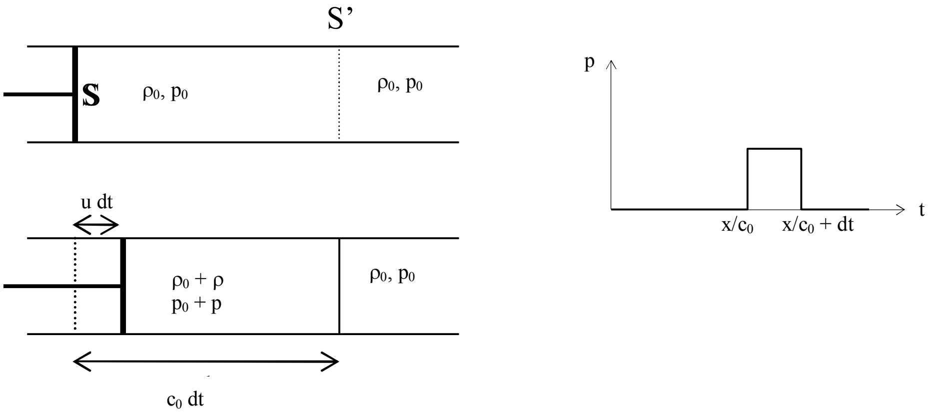
$$\boxed{Z = \frac{p}{u}} \tag{I.3}$$

Par analogie avec l'impédance d'un circuit électrique qui caractérise son opposition au passage d'un courant d'intensité I lorsqu'il est soumis à une tension U, Z est appelée 'impédance acoustique'.

Exemple de l'impulsion sonore
Afin de définir et de quantifier certaines grandeurs physiques associées aux ondes sonores se propageant dans l'air, il est commode d'utiliser un modèle très simple d'onde, tel que celui de l'impulsion sonore.
Définition et exemple de système utilisé pour sa génération
Célérité du son dans l'air, définition
Détermination des expressions de l'impédance acoustique et de la célérité du son dans l'air

Par application de la conservation de la masse à la portion de fluide initialement comprise entre le piston et S' (voir figure ci-dessous), on obtient :

$$u = \rho/\rho_0\ c_0 \tag{I.4}$$



L’application de la conservation de la quantité de mouvement à cette même masse de fluide donne ensuite :

$$pS = d(mu)/dt$$

et $$p = \rho_0 c_0\, u \qquad \text{(I.5)}$$

On voit alors que l’impédance acoustique de l’air vaut :

$$Z = \rho_0 c_0 \qquad \text{(I.6)}$$

Remarque : pour faire l’application numérique, il manque encore la valeur de c_0 que l’on va déterminer à partir de son expression obtenue en combinant les équations I.4 et I.5 :

$$c_0^2 = p/\rho \qquad \text{(I.7)}$$

Etant donné la vitesse de propagation de l’onde acoustique, on peut considérer que les transformations subies par les masses d’air affectées par le passage de l’onde sont trop rapides pour qu’elles aient le temps d’échanger de la chaleur avec le milieu environnant, et que par conséquent ces transformations sont adiabatiques.
Si on suppose qu’elles sont, au moins en première approximation, réversibles, on peut écrire que :

$$pv^{\gamma} = \text{cste} \qquad \text{(I.8)}$$

ce qui, compte tenu du fait que :

$$v = m\rho^{-1}, \qquad \text{(I.9)}$$

peut aussi s’écrire :

$$p\rho^{-\gamma} = \text{cste} \qquad \text{(I.10)}$$

Appliquée entre t = 0 et dt, cette relation donne après calcul :

$$p/\rho = \gamma\, p_0/\rho_0 \qquad \text{(I.11)}$$

et comme, d’après l’équation d’état du gaz parfait :

$$p_0/\rho_0 = RT \qquad \text{(I.12)}$$

on obtient :

$p/\rho = \gamma RT$ (I.13)

La combinaison de cette dernière équation avec l'équation I.7, fournit finalement :

$$\boxed{c_0 = \sqrt{\gamma RT}} \tag{I.14}$$

Application numérique : avec les valeurs correspondant à l'air ($\gamma = 1.4$, R = 290 SI) et à la température de 20°C (T = 293K), on trouve que :

$c_0 = 343$ m/s

cette valeur reportée dans l'équation I. fournit également l'ordre de grandeur de l'impédance acoustique de l'air dans les mêmes conditions :

$Z = 413$ kg.m^{-2}.s^{-1}

Remarque : pour l'eau, avec une autre équation, on aurait trouvé Z=1.5 10^6 kg.m^{-2}.s^{-1} (la différence d'ordre de grandeur est, bien sûr, due au fait que l'inertie de l'eau est très grande par rapport à celle de l'air).

Ondes sonores planes, équation de propagation

Contrairement au cas que l'on vient d'étudier précédemment, les émissions par les sources sonores ne sont généralement pas de durée infinitésimale. Dans le cas de sources de petites dimensions (sources ponctuelles) les ondes émises peuvent, dans un milieu homogène, être considérées comme sphériques. Si l'on se trouve très loin de la source, les surfaces d'onde (sphériques) sont assimilables au moins localement à leur plan tangent. Dans ce cas, on dit que l'on est dans le cadre de l'approximation des ondes planes. L'avantage de ce modèle d'onde est que sa représentation spatiale ne nécessite plus qu'un seul paramètre d'espace, à savoir l'abscisse mesurée selon la direction de propagation. En d'autres termes, les caractéristiques de l'onde sont les mêmes dans tout plan perpendiculaire à cette direction de propagation et la donnée de l'abscisse de ce plan suffit à la représentation de l'onde.

Par analogie avec l'électromagnétisme, on admettra que l'équation de propagation de ce type d'onde dans un milieu homogène est la suivante :

$$\Delta p - \frac{1}{c_0^2}\frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = 0 \tag{I.15}$$

On démontre également en mathématique que la forme générale des solutions de cette équation est constituée de la somme de deux termes :

$$p(x,t) = p_+(t-x/c_0) + p_-(t+x/c_0) \tag{I.16}$$

Le terme p_+ correspond à une onde progressive (se propageant à la vitesse c_0 selon, et dans le sens de, l'axe des x), alors que le terme p_- correspond à une onde qualifiée de rétrograde se propageant à la vitesse c_0 dans le sens inverse de l'axe des x.

Remarque : on néglige souvent l'onde rétrograde dans l'étude de la propagation des ondes, mais sa prise en compte devient parfois indispensable, par exemple lorsque l'on étudie la réflexion des ondes sonores sur un obstacle.

Ondes sonores planes, progressives et harmoniques. Bruit

Si l'on se place en un point fixe de l'espace caractérisé par son abscisse x_0, la représentation graphique de $p_+(x_0,t)$ a en général une allure quelconque (voir figure ci-dessous). On a alors à faire à un 'bruit'. On démontre en théorie du signal que cette fonction peut être reconstruite en additionnant un certain nombre (éventuellement infini) de fonctions sinusoïdales de fréquences différentes. L'ensemble de ces fréquences (compris entre f_1 et f_2 sur l'exemple graphique proposé ci-dessous) constitue le 'spectre' de la fonction $p(x_0, t)$. Ceci met en évidence l'intérêt qu'il y a à privilégier l'étude des ondes sinusoïdales (aussi appelées harmoniques) puisque toute onde sonore, y compris les 'bruits', peuvent être considérés comme le résultat de la superposition de telles ondes. La forme générale de l'expression d'une onde sinusoïdale est la suivante.

$$p(x,t) = A\cos[w(t-x/c_0) - \varphi] \tag{I.17},$$

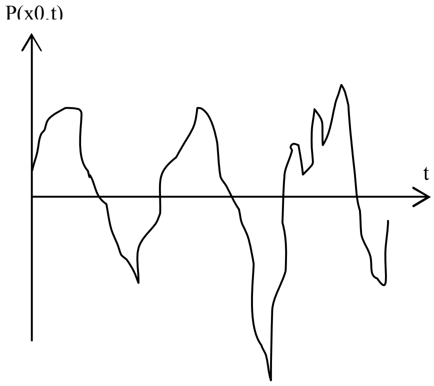
ou en posant $k = w/c_0$,

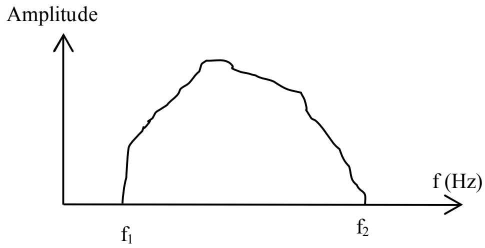
$$p(x,t) = A\cos[wt-kx-\varphi] \tag{I.18}$$

Pour simplifier les calculs, on est parfois aussi amené à définir et utiliser une grandeur complexe associée à p. Celle-ci est notée de la façon suivante :

$$\overline{p} = Ae^{j(wt-kx-\varphi)} \tag{I.19}$$

On peut noter que p est simplement la partie réelle de $\overline{p}$.





II. Intensité logarithmique ; niveau de pression sonore

Définition

On a vu que, physiquement, une onde sonore correspondait à une perturbation de pression ou de masse volumique. Pratiquement, de très nombreux types de capteurs de pression étant proposés sur le marché c'est la mesure de cette grandeur que l'on privilégie lorsqu'on souhaite définir (puis mesurer) l'intensité d'une onde sonore.

Comme, par définition la valeur moyenne temporelle de p (notée $<p>$) est nulle, on utilise la moyenne temporelle du carré de p (c'est-à-dire le carré de la variance de p) pour définir le niveau d'intensité sonore. Soit p_{rms} la variance de p, on a :

$$p_{rms}^2 = <p^2> \tag{I.20}$$

Le niveau de pression sonore est alors défini de la façon suivante :

$$\boxed{L_p = 10\log_{10}\left(\frac{p_{rms}^2}{p_{ref}^2}\right)} \tag{I.21}$$

Compte tenu de sa définition, le résultat obtenu devrait être exprimé sans unité, il est cependant donné en décibels (dB) qui est une pseudo-unité.

Dans l'équation I.21, la pression de référence p_{ref} a été choisie arbitrairement comme correspondant au seuil d'audition d'un individu moyen pour un son pur (harmonique) de fréquence 1000 Hz. Ce seuil est le suivant :

$$P_{ref} = 20\ \mu Pa \tag{I.22}$$

Exemples de niveaux sonores

Echelle des niveaux sonores

Niveau	Impression ressentie	Effets	Exemples
140dB	Très douloureuse	Lésions irréversibles du système auditif	Banc d'essais de réacteur
130dB			
120dB	Douloureuse		Burin pneumatique
110dB	Insupportable	Perte d'audition après une exposition brève	Atelier de presse
100dB	Difficilement supportable		Atelier de tolerie
90dB	Très bruyant	Perte d'audition après une exposition longue	Poids lourd à 3 mètres
80dB	Bruyant		Réfectoire scolaire
60dB	Bruit courant		Rue bruyante
50dB			Bureau
40dB	Faible		Radio à faible niveau
30dB	Calme		Zone résidentielle calme
20dB	Très calme		Pièce très protégée
10dB	Silence	L'observateur entend le bruit de son organisme	Ne peut être obtenu qu'en laboratoire
0dB	Silence absolu		

Remarque : Influence de la durée d'intégration (Δt) sur la valeur de L_p

La valeur de p^2 fluctue rapidement, et en général de manière très irrégulière, au cours du temps. Le calcul de sa valeur moyenne (il s'agit d'une moyenne temporelle), et donc celui de p_{rms}, nécessite le choix une durée d'intégration Δt. Si l'on choisit une durée d'intégration courte, on va suivre assez fidèlement l'évolution temporelle 'fine' de p_{rms} et donc de L_p. En revanche, si l'on choisit une durée Δt plus importante, on va lisser les pics de L_p et 'relever' ses valeurs les plus basses. En pratique, il faut bien être conscient, lorsque l'on fait une mesure de niveau sonore, de l'influence du choix de la durée d'intégration sur le résultat obtenu.

Addition de deux ondes sonores planes, harmoniques, de même fréquence

Addition des pressions sonores complexes

On se place en un point de l'espace (M) où se superposent deux ondes sonores planes et sinusoïdales dont les expressions complexes ont la forme donnée par l'équation I.19.

$$\overline{p}_1 = Ae^{j(wt-kx)} \text{ et } \overline{p}_2 = Be^{j(wt-kx-\varphi)} \qquad \text{(I.23)}$$

Les amplitudes A et B sont en général différentes. Le déphasage (φ) de la deuxième onde par rapport à la première dépend, dans le cas le plus général, du temps et varie de manière aléatoire (on dit alors que les deux ondes sont incohérentes). La surpression résultante en M a l'expression complexe suivante :

$$\overline{p} = Ae^{j(wt-kx)} + Be^{j(wt-kx-\varphi)} \qquad \text{(I.24)}$$

En omettant le terme en $e^{j(wt-kx)}$ qui est commun aux deux termes, on obtient :

$$\overline{p}^2 = [(A + B\cos\varphi) - jB\sin\varphi]^2 \qquad \text{(I.25)}$$

et donc, en développant puis en repassant à la valeur réelle :

$$p^2 = (A+B\cos\varphi)^2 + B^2\sin^2\varphi \qquad \text{(I.26)}$$

La moyenne temporelle de cette expression, qui est égale au carré de p_{rms} devient alors:

$$\boxed{p_{rms}^2 = A^2[1 + 2B/A\langle\cos\varphi\rangle + (B/A)^2]} \qquad \text{(I.27)}$$

d'où l'expression finale du niveau total de pression sonore:

$$L_{p,tot} = L_{p,1} + 10\log[1 + 2B/A<\cos\varphi> + (B/A)^2] \quad (I.28)$$

Cas d'un déphasage quelconque

Si les deux ondes sonores sont incohérentes, $<\cos\varphi>$ est nul, et I.27 montre que les carrés des p_{rms} sont additifs :

$$p_{rms}^2 = p_{rms,1}^2 + p_{rms,2}^2 \quad (I.29)$$

Remarque importante : les niveaux de pression sonores (L_p) ne sont, en revanche, PAS additifs.

Exercice : Déterminer à partir de I.29 et de la définition de L_p, l'expression du niveau d'intensité sonore pour la somme de trois ondes incohérentes d'intensités $L_{p,1}$, $L_{p,2}$, $L_{p,3}$

AN: Quel niveau d'intensité obtient-on si on additionne en un point deux ondes :
- de même intensité individuelle L_p ?
- d'intensités très différentes? (on prendra par exemple $L_{p,2} = 0.1\ L_{p,1}$)

Cas d'un déphasage constant

On note alors que l'expression de p_{rms}^2 donnée par l'équation I.27 devient :

$$p_{rms}^2 = A^2[1 + 2\cos\varphi\ B/A + (B/A)^2] \quad (I.27bis),$$

ce qui permet d'envisager la suppression d'un bruit par addition d'un autre bruit de même amplitude (B=A) et constamment en opposition de phase ($\varphi = \pi$) avec le précédent. Cette possibilité est utilisée dans certains casques anti-bruit.

III. Aspects énergétiques

Intensité acoustique (en $W.m^{-2}$)

Lorsqu'elle est affectée par le passage d'une onde sonore, une certaine masse de fluide gagne une vitesse u et subit une fluctuation de pression p. L'énergie (cinétique) gagnée par unité de volume est alors :

$$\varepsilon = 1/2\rho_0 u^2 \qquad (\text{en } J.m^{-3}) \quad (I.30)$$

Comme on a de plus $u = p/Z$ (avec $Z = \rho_0 c_o$, dans le cas de l'air considéré comme un gaz parfait), on obtient

$$\varepsilon = 1/2p^2/\rho_0 c_0^2 \quad (I.31)$$

On appelle intensité acoustique instantanée, notée i(t), le flux de puissance à travers la surface délimitant la particule fluide. Ce flux s'exprime en $W.m^{-2}$.

D'après cette définition, i(t) s'exprime ainsi :

$$i(t) = -1/S\ d(\varepsilon V)/dt, \quad (I.32)$$

où V est le volume de la particule et S la surface fermée la délimitant. L'intensité ainsi définie peut être considérée comme l'analogue acoustique du vecteur de Poynting que l'on introduit en électromagnétisme pour caractériser le transport d'énergie par les ondes.

Par analogie avec ce dernier cas, nous admettrons sans démonstration que dans le cas d'une onde plane, i(t) peut s'exprimer sous les deux formes suivantes :

$$i(t) = c_0\varepsilon \quad (I.33)$$

et

$$i(t) = p(r,t)u(r,t) \quad (I.34)$$

Une conséquence directe de cette dernière expression est que la moyenne temporelle de i(t) s'écrit :

$$< i >= I = \frac{1}{T}\int_{t}^{t+T} p(r,t)u(r,t)dt \qquad (I.35)$$

En utilisant la définition de l'impédance acoustique (u=p/Z) et de sa valeur pour l'air, on obtient immédiatement :

$$I = p_{rms}^2/\rho_0 c_0 \qquad (I.36)$$

Comme on l'a fait à partir de la pression sonore, on peut définir une nouvelle intensité sonore, L_I, à partir de l'intensité acoustique moyenne :

$$L_I = 10\log I/I_{ref} \qquad (I.37)$$

La valeur de I_{ref} a été arbitrairement fixée à :

$$I_{ref} = 10^{-12}\ \text{W.m}^{-2}.$$

En utilisant leurs définitions, on peut facilement lier les expressions de L_p et de L_I.

$$L_p = 10\ \log(p_{rms}^2/p_{ref}^2) = 10\ \log(I\rho_0 c_0/I_{ref}\ I_{ref}/p_{ref}^2) \qquad (I.38)$$

$$L_p = L_I + 10\ \log\ (\rho_0 c_0 I_{ref}/p_{ref}^2) \qquad (I.39)$$

$$L_p = L_I + 0.14 \qquad (I.40)$$

Puissance acoustique (en W)

Définition

En intégrant l'intensité acoustique sur la surface d'une particule fluide, on obtient la puissance (notée W) traversant cette surface. Si l'on néglige l'amortissement de l'onde lié à l'inélasticité du milieu propagateur, on peut considérer W comme une grandeur conservative, et donc caractéristique de la source. Elle peut servir à définir une nouvelle intensité sonore :

$$L_W = 10\log W/W_{ref} \qquad (I.41)$$

Ici, $W_{ref} = 10^{-12}$ W

Application: importance de la distance à la source lors de la mesure de l'intensité sonore d'une source ponctuelle.

Dans le cas d'une source ponctuelle, la puissance émise par la source se répartit sur des surfaces d'ondes sphériques de plus en plus grandes au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source. L'intensité sonore décroît donc en fonction de la distance selon :

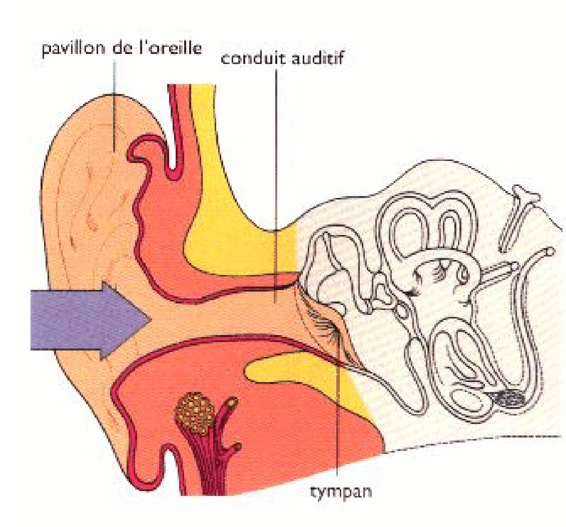
$$I(r) = W/4\pi r^2 \qquad (I.42)$$

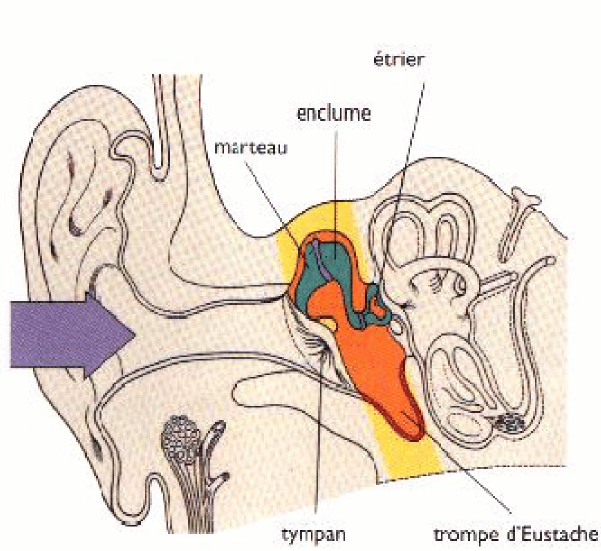
Ex1 : Dans le cas d'un doublement de la distance, vérifiez que L_I doit théoriquement chuter de 6dB.

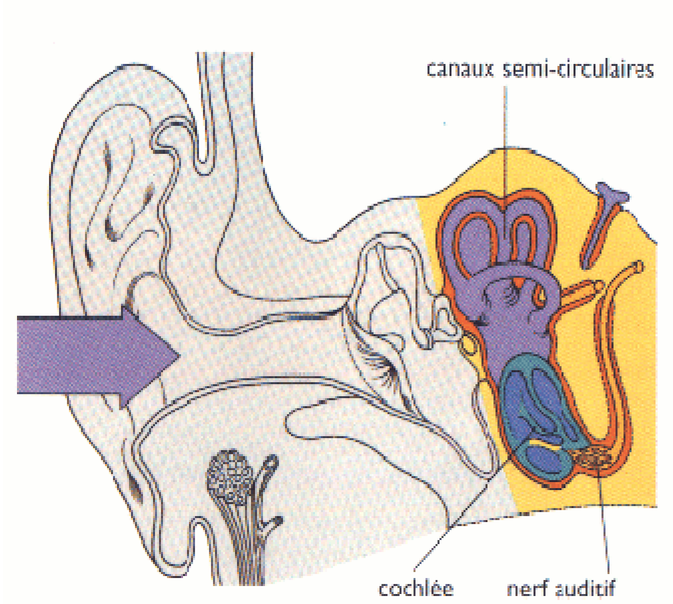
Ex2 : Quelle est, dans le cas d'une source linéaire, l'effet d'un doublement de la distance ?

Chapitre II : perception humaine du bruit

I Aperçu sur le système auditif







II La sensibilité du système auditif humain

1) Décomposition spectrale d'un son ou d'un bruit, spectre de fréquence

Sons sinusoïdaux (ou harmoniques), sons périodiques, bruit

On a déjà mentionné plus haut que le spectre de fréquence d'un son 'pur' (onde sinusoïdale) ne comporte qu'une seule valeur. Pour un son simplement périodique, s'ajoutent à la valeur précédente (appelée fréquence fondamentale, ou f1) des harmoniques (ondes sinusoïdales dont la fréquence est un multiple entier de f1). Les 'poids' respectifs de ces harmoniques définissent le 'timbre'. Le spectre de fréquence d'un son périodique est donc un spectre discret. Enfin un 'bruit' n'est pas périodique. Son spectre est le plus souvent continu entre deux valeurs limites f_1 et f_2. Ce spectre est souvent découpé en bandes de fréquence d'égales largeurs logarithmiques. C'est par exemple le cas de la décomposition en 'bandes d'octaves' dont les limites sont obtenues en divisant ou multipliant plusieurs fois par 2 une fréquence arbitraire de départ (en général 1000Hz). Ceci donne donc les bandes suivantes :

…	125-250	250-500	500-1000	1000-2000	2000-4000	4000-8000	…

2) Courbes d'isosonie

Remarque préliminaire: loi de Weber-Fletchner

L'expérience montre que l'impression sonore est proportionnelle au logarithme de p_{rms}^2. Ceci montre que les niveaux définis en dB sont a priori bien adaptés à la définition de critères de gène sonore.

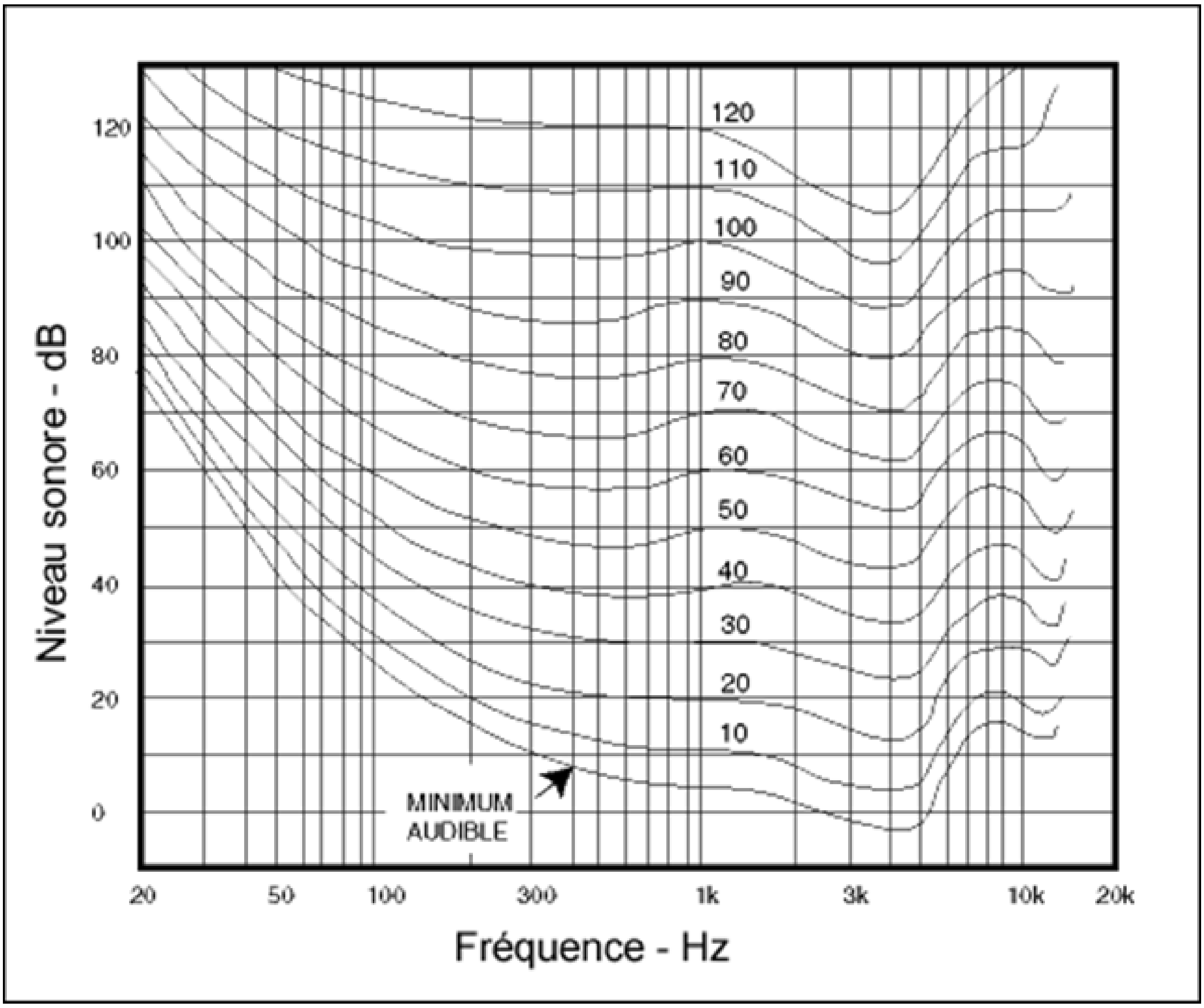
Courbes d'isosonie :

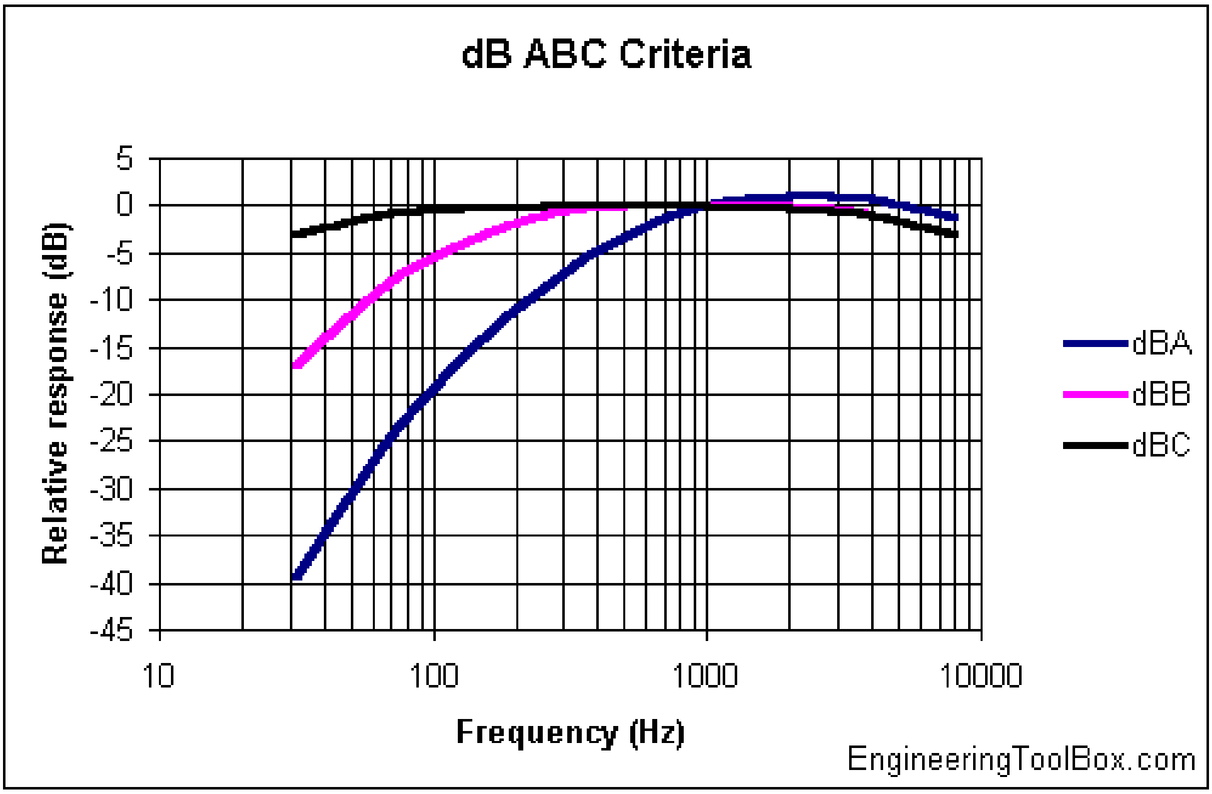
Il est connu que certains animaux (chiens, chauve-souris …) sont capables d'entendre des sons de haute fréquence (ultrasons) que l'oreille humaine ne peut percevoir. Ceci met en évidence le fait que la perception des sons par l'oreille humaine dépend de leur fréquence. Si l'on veut être capable de quantifier la gène réellement subie par une personne exposée au bruit il faudra tenir compte de cette dépendance spectrale de la sensibilité de l'oreille humaine. Les courbes d'isosonie sont des abaques permettant de représenter cette sensibilité. Le principe de leur obtention est le suivant :
Grâce à un générateur de sons sinusoïdaux, on produit un son pur de fréquence 1000 Hz auquel on soumet une personne 'moyenne'. La fréquence de 1000 hz est choisie parce qu'elle correspond à peu près au maximum de sensibilité du système auditif humain. Le niveau de pression (L_p) est mesuré au moyen d'un microphone (par exemple 50 dB). On modifie ensuite la fréquence sans changer L_p. Malgré ceci, la personne exposée au son a l'impression que l'on a baissé le niveau sonore puisque l'on se retrouve à une fréquence où la sensibilité de l'oreille est moins bonne. On augmente alors le niveau jusqu'à ce que le témoin déclare entendre à nouveau percevoir le même niveau sonore qu'à 1000 Hz. On peut donc reporter sur un graphe un premier point de la courbe d'iso-sonie à 50 *phones*. On complète ensuite cette courbe en répétant les mesures à d'autres fréquences. Si l'on modifie ensuite le niveau de pression sonore de départ, on obtient finalement le réseau d'abaques fourni.

Commentaires

- On s'aperçoit que la sensibilité de l'oreille ne dépend pas que de la fréquence. Elle dépend également de l'intensité sonore.
- Si l'on fait une mesure de niveau sonore au moyen d'un instrument physique 'parfait' (un microphone), il faudra corriger cette mesure pour avoir une idée de la façon dont une personne va réellement percevoir le son. La correction à apporter est fonction à la fois de la fréquence et de l'intensité sonore. En pratique, on définit trois courbes de pondération (A, B, C) en fonction de la fréquence. Le choix de l'une ou l'autre de ces courbes dépend du domaine d'intensité sonore dans lequel on se trouve (voir photocopie fournie).

Remarque : dans le domaine de l'environnement, la norme recommande d'utiliser la courbe de pondération A. Ceci peut conduire à sous-estimer les risques liés à l'exposition aux sons graves et très intenses.


Niveau sonore - dB
120
100
80
60
40
20
0
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
MINIMUM
AUDIBLE
20
50
100
300
1k
3k
10k
20k
Fréquence - Hz


dB ABC Criteria
Relative response (dB)
5
0
-5
-10
-15
-20
-25
-30
-35
-40
-45
10
100
1000
10000
Frequency (Hz)
dBA
dBB
dBC
EngineeringToolBox.com

III La mesure d'un niveau de bruit : le sonomètre

1) Rôle de l'instrument

Le sonomètre est l'instrument utilisé pour mesurer de manière objective le niveau de 'gêne' sonore auquel une personne peut être soumise.
La réponse de l'instrument ne peut donc être une simple mesure physique du niveau de pression acoustique. Elle doit prendre également en compte la sensibilité, variable selon la fréquence et le niveau sonore, du capteur particulier que constitue l'oreille humaine couplée au cerveau via le nerf auditif.

2) Principe de fonctionnement

Le premier élément de la chaîne constituant l'instrument est un capteur de pression (microphone) sensible aux fluctuations de cette grandeur que provoque le passage d'un son (phénomène périodique) ou d'un bruit (phénomène apériodique). Ce microphone est suivi d'un 'analyseur de spectre' qui découpe le spectre de fréquence du bruit en bandes d'octave, voire de tiers d'octave pour les instruments les plus précis. Après cette séparation, une mesure du niveau de pression acoustique est effectuée sur chaque bande de fréquence, ce qui fournit une série de valeurs $L_{p,f}$. Ces mesures nécessitent le choix préalable d'un intervalle (temporel) d'intégration. Ce choix est important puisque, comme on l'a vu au début du cours, une durée d'intégration importante aura tendance à fournir un résultat 'lissé', alors qu'une durée courte permettra de suivre plus fidèlement les variations instantanées de $L_{p,f}$.
Chacune des valeurs de $L_{p,f}$. doit ensuite être pondérée de façon à prendre en compte l'effet réel sur une personne humaine. La pondération utilisée devrait théoriquement dépendre à la fois de la fréquence et du niveau de pression sonore mais, pour simplifier, on définit trois bandes de L_p sur lesquelles la pondération est supposée ne plus dépendre que de la fréquence (bande A pour L_p < 55dB, bande B pour L_p compris entre 55 et 85 dB, bande C pour les niveaux supérieurs à 85 dB). On définit donc sur chacune de ces bandes une courbe dite 'de pondération' fonction de la fréquence uniquement (on a vu que ces trois courbes sont déduites des courbes d'isosonie). Sauf cas très particulier, c'est la pondération A qui est retenue par les normes relatives au domaine de l'environnement.
Une fois la pondération appliquée à chaque bande de fréquence, on fait une 'addition' (qui n'est PAS une simple sommation) des niveaux de pression corrigés pour obtenir le niveau sonore global. C'est ce niveau qui est représentatif de la gêne auditive réelle subie par une personne.
Exercice (voir TD) : Perception d'un bruit 'blanc'.

3) Précautions d'utilisation

D'une manière générale, tout phénomène (réflexion sur le corps de l'opérateur, sur le sol ou sur un mur trop proche,…) susceptible de fausser le résultat de la mesure doit être évité. On disposera donc l'appareil sur un support et à au moins un mètre du sol. Il est également important de noter toutes les conditions opératoires affectant le résultat de cette mesure. Outre la durée d'intégration (voir ci-dessus) et le type de courbe de pondération employé, il faut par exemple mentionner la distance à la source quand celle-ci est bien identifiée (ce qui n'est pas toujours le cas).

4) Critères de gêne

Le niveau de bruit considéré comme 'acceptable' est très subjectif mais cela ne peut être pris en compte dans les normes. En revanche, ce niveau 'acceptable' dépend aussi de l'activité

dans laquelle on est engagé. Par exemple, on ne tolérera pas le même niveau sonore dans une salle de travail de bibliothèque, dans un bureau, ou dans un centre commercial…
On peut donc définir pour chaque type d'ambiance un niveau maximal (critère de gêne) qui ne devrait, idélament, pas être dépassé (voir exemple de valeurs sur les polys).

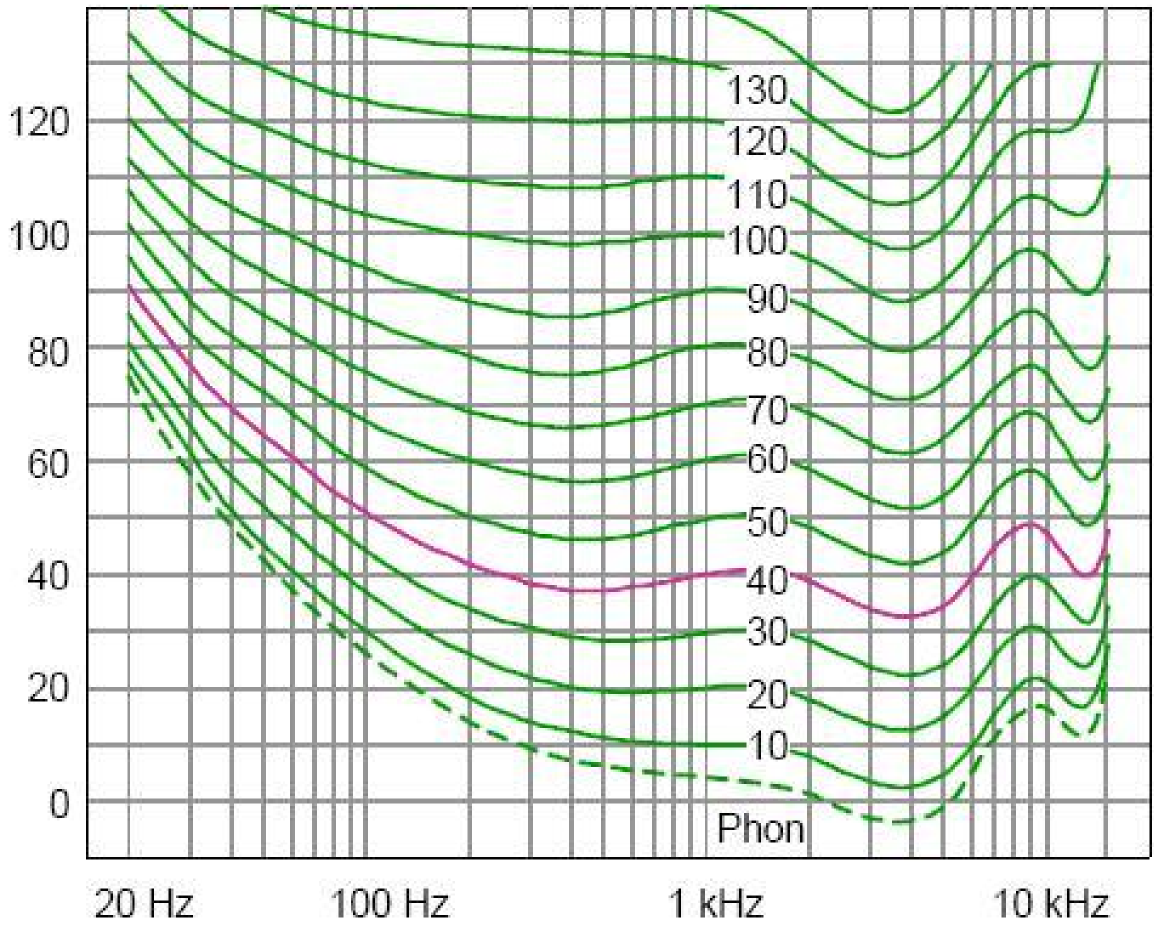
Chapitre III : notions sur la propagation et la réduction du bruit

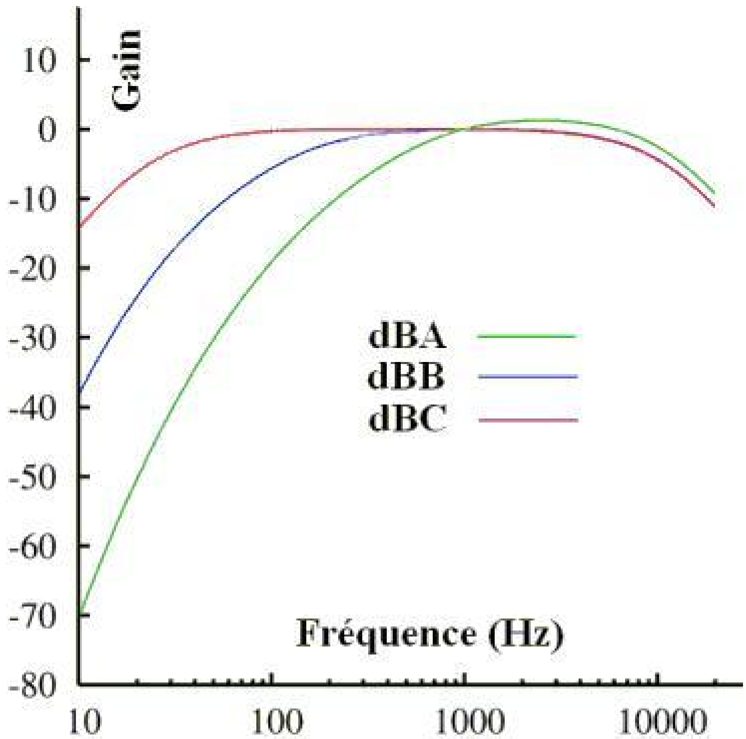
I En milieu extérieur

1) En absence d'obstacle
   - Propagation rectiligne (sauf en cas de vent)
   - Atténuation : essentiellement due à la répartition de la puissance sur des surfaces croissantes (absorption par l'air négligeable)
2) Effet d'un obstacle
   - Possibilité de diffraction (application : zone de pénombre d'un mur anti-bruit)

II En milieu intérieur

1) Les différentes voies de transmission du son (voir schéma de la maison)
2) Conséquences : méthodes de réduction de la transmission
   - Eviter la mise en vibration des parois rigides: joints d'isolation
   - Limiter la transmission : résistance acoustique d'une paroi
     - Définition
     - Applications (TD): mur à point faible, mur creux, …





- Pondération A dB(A) : pour des niveaux de 25 à 55 dB
- Pondération B dB(B) : pour des niveaux de 55 à 85 dB
- Pondération C dB(C) : pour des niveaux supérieurs à 85 dB