



2. NOTIONS ACOUSTIQUES ET INDICES DE GÊNE

1. Définition du son

Du point de vue physique, un son peut être défini comme une variation de pression qui peut être détectée par l'oreille humaine. Les variations de pression se propagent de proche en proche dans le milieu (l'air par exemple). La variation de pression est appelée pression acoustique, elle est exprimée en Pascal ($1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$).

2. Caractéristiques physiques du son

2.1. La fréquence

Le nombre de variations de pression par seconde est appelé fréquence, elle est exprimée en Hertz (Hz). La fréquence d'un son définit son « ton », qu'on appelle aussi sa « hauteur ». Ainsi, plus la fréquence est haute, plus le son est aigu (sifflement) ; plus la fréquence est basse, plus le son est grave (grondement). Un son composé d'une seule fréquence est appelé « son pur ». Généralement un son est la résultante de nombreux sons purs, de fréquences et d'amplitudes différentes. L'oreille humaine perçoit les sons dans une plage de fréquences qui s'échelonne de 20 à 20.000 Hz.

2.2. L'amplitude

La variation de pression maximale atteinte par rapport à une pression de référence s'appelle l'amplitude du son et correspond, dans le langage courant, au « volume » sonore. Elle se calcule comme le rapport entre le niveau de pression acoustique mesuré (P) et le niveau de pression acoustique de référence (Po). Le niveau de pression de référence correspond approximativement au seuil de perception de l'oreille humaine ; il est égal à une pression acoustique de $2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$, ou $20 \mu\text{Pa}$. Le seuil de douleur, par contre, se situe à environ 20 Pa, soit une pression acoustique un million de fois plus élevée.

2.3. La durée

Le dernier paramètre qui caractérise un son est sa durée d'apparition. On distingue trois types de sons en fonction de leur durée :

- sons continus (ex : fontaine, chute d'eau) ;
- sons intermittents (ex. : passages successifs de trains) ;
- sons impulsionnels (ex. : coup de fusil).

3. Caractérisation et mesure du son

3.1. Le décibel et l'oreille humaine

Si l'oreille humaine est capable de supporter des variations de pression allant de $20 \mu\text{Pa}$ à 20 Pa, elle ne perçoit pas un doublement de pression acoustique comme un doublement de niveau de bruit. Pour faciliter la manipulation des valeurs caractérisant l'amplitude d'un bruit, cette large plage de pressions a été transposée en utilisant une fonction logarithmique qui a eu pour effet de « dilater » les valeurs les plus faibles et de « comprimer » les valeurs les plus élevées. Les résultats de cette fonction s'expriment en décibel. L'échelle ainsi obtenue s'échelonne entre 0 dB, seuil de perception ($20 \mu\text{Pa}$) et 120 dB, seuil de douleur (20 Pa).



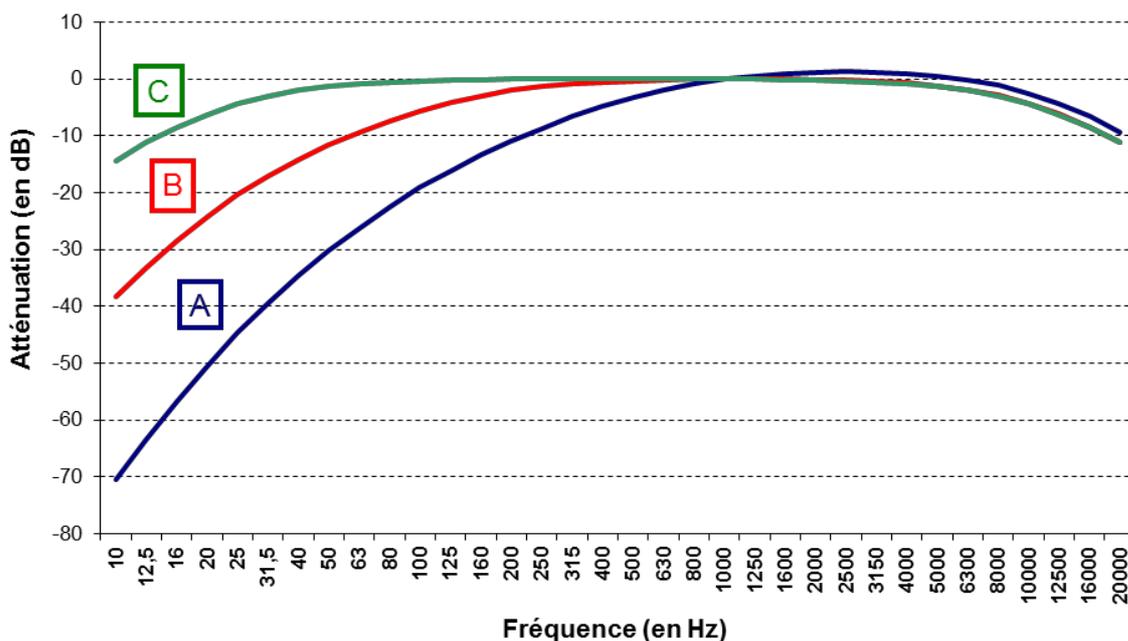
Tableau 2.1 :

| Illustration de l'échelle des décibels | | | |
|--|---------------|-----------------------------------|----------------------|
| SENSATION AUDITIVE | NIVEAU SONORE | AMBIANCE EXTERIEURE | CONVERSATION |
| Très bruyant | 80 dB(A) | Bordure d'autoroute | En criant |
| Bruyant | 75 dB(A) | Rue animée, grand boulevard | En parlant très fort |
| | 65 dB(A) | | |
| Relativement bruyant | 60 dB(A) | Centre ville | En parlant fort |
| | 55 dB(A) | | |
| Relativement calme | 50 dB(A) | Quartier résidentiel | A voix normale |
| | 45 dB(A) | | |
| Calme | 40 dB(A) | Cour intérieur | A voix basse |
| Très calme | 30 dB(A) | Ambiance nocturne en milieu rural | |
| Silence | 20 dB(A) | Désert | |

Outre la large gamme de perception en amplitude, l'oreille humaine se caractérise par une très large capacité d'audition en fréquence (de 20 à 20.000 Hz). Sa sensibilité varie en fonction de ces deux grandeurs. Notre ouïe est relativement plus sensible aux fréquences comprises entre 800 et 4.000 Hz, fréquences correspondant à la gamme de fréquences de la voix.

Afin de tenir compte de la sensibilité différenciée de l'oreille humaine selon les fréquences, les instruments de mesure doivent « filtrer » le son et fournir une donnée reflétant ces différences physiologiques de perception. Des « filtres de pondération fréquentielle » ont été établis à cet effet. Ces filtres consistent en l'application, à chaque bande de fréquence considérée, d'un facteur correctif au niveau de pression acoustique (exprimée en décibels) afin d'obtenir un spectre fréquentiel qui corresponde à la sensibilité réelle de l'oreille. Il existe plusieurs filtres de pondération, dont notamment ceux dénommés A, B et C. Les mesures effectuées avec ces filtres sont exprimées, suivant le cas, en dB(A), dB(B) et dB(C).

Figure 2.2 : Pondérations fréquentielles A, B et C





Le dB(A) est le plus couramment utilisé pour les mesures de bruit dans l'environnement et en milieu industriel. Il offre, en général, une bonne corrélation entre le phénomène physique qu'est le bruit et la sensation ressentie par une personne. Il est en outre représentatif de la perception humaine au niveau conversationnel.

Pour des niveaux sonores plus importants (supérieurs à 85 dB), l'utilisation du filtre de pondération C doit être privilégiée. Ce filtre prend en compte la sensibilité de l'oreille humaine qui augmente pour les basses fréquences au fur et à mesure que le niveau sonore global s'élève.

3.2. L'addition de sons

Une règle simple d'addition des niveaux sonores consiste à ajouter au niveau sonore occasionné par la source la plus bruyante une valeur comprise entre 0 et 3 dB, cette valeur dépendant de la différence entre les 2 niveaux acoustiques en jeu. Lorsque deux sources engendrent le même niveau sonore en un endroit, il suffit d'y ajouter 3 décibels à la valeur du niveau sonore d'une source pour obtenir le niveau sonore total, résultant de l'addition des deux sons. Par exemple, le niveau de bruit total de deux sources sonores identiques produisant chacune 60 décibels est de 63 décibels (60 dB + 60 dB = 63 dB).

On parle par contre d'« effet de masque » lorsque la différence des niveaux sonores des deux sources est, au niveau de l'auditeur, plus grande ou égale à 10 dB. Dans ce cas, le niveau sonore total, résultant de l'addition des deux sons, est égal au niveau sonore engendré par la source la plus bruyante.

3.3. La mesure du son

La mesure physique la plus simple consiste à déterminer à l'aide d'un sonomètre le niveau de pression acoustique. La pression acoustique est ainsi transformée en un signal électrique, comparable en amplitude et en fréquence au phénomène acoustique. Le signal électrique peut être conditionné, échantillonné et traité de manière à caractériser le bruit mesuré. On peut ainsi par exemple déterminer des valeurs acoustiques exprimées en dB(A), effectuer des analyses fréquentielles, des analyses statistiques, intégrer le signal sur une durée déterminée, ...

4. Les indices de gêne

4.1. Introduction

Les mesures de bruit permettent de caractériser les sons. Il existe un grand nombre de méthodes d'analyse scientifique, de paramètres et d'indicateurs pour caractériser ceux-ci. Cette diversité s'explique par la complexité du phénomène physique et par la difficulté d'objectiver la gêne ressentie par l'individu (voir fiche documentée n°3).

Comme explicité ci-dessus, un bruit est un phénomène physique caractérisé notamment par son niveau de pression acoustique et par sa composition fréquentielle. Ces paramètres constituent les composantes objectives du bruit.

Pour tenir compte de la sensibilité de l'oreille humaine, ces paramètres physiques sont pondérés par un « filtre fréquentiel », introduisant une première approche de la notion de gêne subie par l'individu (voir point 3.1).

Mais un indicateur performant ne doit pas se limiter à caractériser la gêne à partir du niveau de pression acoustique et d'un spectre de fréquences. D'autres caractéristiques constituent des paramètres qu'il est essentiel d'intégrer dans un indice de gêne. Par exemple, un individu exposé pendant un certain temps à une source de bruit « absorbe » une « dose » de bruit caractérisée par un temps d'exposition. Un indice de gêne peut dès lors intégrer cette caractéristique.

Un indice de gêne est toujours défini en liaison avec des seuils de gêne. A chaque seuil correspond un niveau de gêne spécifique : gênant, très gênant, insupportable, etc.

L'indice de gêne doit intégrer, en plus des composantes objectives, trois critères importants :

- une évaluation correcte des effets du bruit sur la santé ;
- une facilité d'utilisation et de manipulation ;
- une simplicité suffisante pour être accessible au public.



On distingue deux grandes catégories d'indicateurs de bruit, à savoir :

- les indicateurs « globaux », introduisant une notion d'exposition « moyenne » sur une période de temps déterminée ;
- les indicateurs « événementiels » représentatifs d'événements acoustiques à caractère ponctuel.

4.2. Les indices de gêne globaux

4.2.1. Les niveaux acoustiques équivalents $L_{eq,t}$

Le « niveau acoustique équivalent » ($L_{eq,t}$ exprimé en dB) d'un bruit stable ou fluctuant est équivalent, d'un point de vue énergétique, à un bruit permanent et continu qui aurait été observé au même point de mesure et durant la même période. Le niveau acoustique équivalent correspond donc à une « dose de bruit » reçue pendant une durée de temps déterminée.

Il est le résultat du calcul de l'intégrale des niveaux sonores relevés à intervalles réguliers (échantillonnage de 1,2,...n fois par seconde) et pour une période donnée, t (10 min, 1 heure, 24 h, ...). Si l'échantillonnage a été effectué avec une pondération fréquentielle (A par exemple), le niveau équivalent, sera alors exprimé en dB(A) et symbolisé par $L_{Aeq,t}$.

Ce niveau est très régulièrement utilisé comme indicateur de gêne. On observe en effet, dans la pratique, une bonne corrélation entre cette valeur et la gêne auditive ressentie par un individu exposé au bruit (voir fiche documentée n°3). Cependant, l'indicateur $L_{Aeq,t}$ gomme les pics d'amplitude de courte durée observés durant la période considérée. C'est pourquoi, d'autres indicateurs de type « événementiels » sont également utilisés (voir point 4.3).

4.2.2. Les niveaux fractiles L_x

Le « niveau fractile » est exprimé en dB et est symbolisé par le paramètre L_x , où x est compris entre 0 et 100 (par exemple: L_{10} , ..., L_{90} , L_{95} , ...). Il exprime le niveau sonore dépassé pendant le pourcentage de temps x (10%, ..., 90%, 95%, ...) par rapport à la durée totale de la mesure.

Comme pour les niveaux équivalents, les niveaux fractiles sont déterminés sur base de niveaux sonores relevés à intervalles réguliers (échantillonnage) et pendant une période donnée. L'analyse statistique consiste à classer l'ensemble des échantillons ainsi récoltés en fonction de leur niveau et à calculer la durée, exprimée en %, où un niveau de bruit donné a été dépassé. Les valeurs L_1 et L_5 caractérisent généralement les niveaux de pointes et permettent de prendre en compte la caractéristique d'émergence forte de certains bruits tandis que les valeurs L_{90} et L_{95} caractérisent les niveaux de bruit de fond.

Si l'échantillonnage a été effectué avec une pondération (A par exemple), les niveaux fractiles seront alors exprimés en dB(A) et symbolisés par L_{Ax} .

4.2.3. Les indicateurs de gêne globaux définis par la « directive bruit »

Au niveau européen, la directive 2002/49/CE relative à l'évaluation et à la gestion du bruit ambiant (voir fiche documentée n°41) a défini différents indicateurs globaux, en particulier :

- L_{day}

L_{day} correspond au niveau de bruit moyen représentatif d'une journée (L_{Aeq} (7h-19h)), déterminé sur une année. Il constitue un indicateur de bruit associé à la gêne pendant la période diurne.

- $L_{evening}$

$L_{evening}$ correspond au niveau de bruit moyen représentatif d'une soirée (L_{Aeq} (19h-23h)), déterminé sur une année. Il constitue un indicateur de bruit associé à la gêne en soirée.

- L_{night}

L_{night} correspond au niveau de bruit moyen annuel représentatif d'une nuit (L_{Aeq} (23h-7h)). Il constitue un indicateur de bruit associé aux perturbations du sommeil.

- L_{den}

L'indicateur pondéré L_{den} (day-evening-night) représente le niveau annuel moyen sur 24h évalué à partir des niveaux moyens de journée (07h-19h), de soirée (19h-23h) et de nuit (23h-07h). Dans son calcul, les



niveaux moyens de soirée et de nuit sont augmentés respectivement de 5 et 10 dB(A). En d'autres termes, cet indicateur de bruit est associé à la gêne acoustique globale liée à une exposition au bruit de longue durée et tient compte du fait que le bruit subi en soirée et durant la nuit est ressenti comme plus gênant. Il est utilisé notamment pour l'établissement de cartes de bruit stratégiques. Il est calculé selon la formule :

$$L_{DEN} = 10 * \log \frac{1}{24} \left[12 * 10^{\left(\frac{L_{Aeq,7-19}}{10}\right)} + 4 * 10^{\left(\frac{(L_{Aeq,19-23})+5}{10}\right)} + 8 * 10^{\left(\frac{(L_{Aeq,23-7})+10}{10}\right)} \right]$$

Ces indicateurs sont particulièrement indiqués dans le cadre de sources de bruit continu comme le bruit du trafic routier. Par contre, pour des sources de bruit intermittent comme le bruit du trafic ferroviaire ou le bruit du trafic aérien, il est indispensable d'utiliser en complément des indicateurs représentatifs d'événements acoustiques (passages de train, passages d'avion...).

4.3. Les indicateurs événementiels

Parmi les indicateurs événementiels, on peut citer les indicateurs suivants :

- L_{Amax} (ou « niveau instantané maximum »)

Le L_{Amax} est le niveau maximum de bruit mesuré (avec une pondération fréquentielle A) durant une période de temps donnée. Il correspond à un niveau sonore qui n'est jamais dépassé et est donc égal au niveau fractile L_{A0} .

- SEL (Sound Exposure Level)

Le SEL (ou L_{EA}) est le niveau d'exposition acoustique. Il intègre à la fois le niveau de bruit et la durée durant laquelle le bruit est présent. Le SEL est défini comme étant le niveau constant pendant une seconde ayant la même énergie acoustique que le son original perçu pendant une durée donnée. Cet indicateur acoustique est souvent utilisé pour quantifier l'énergie sonore d'un événement simple (passage d'un véhicule) et pour comparer entre eux les événements sonores issus d'une même source. Le SEL se calcule suivant la formule :

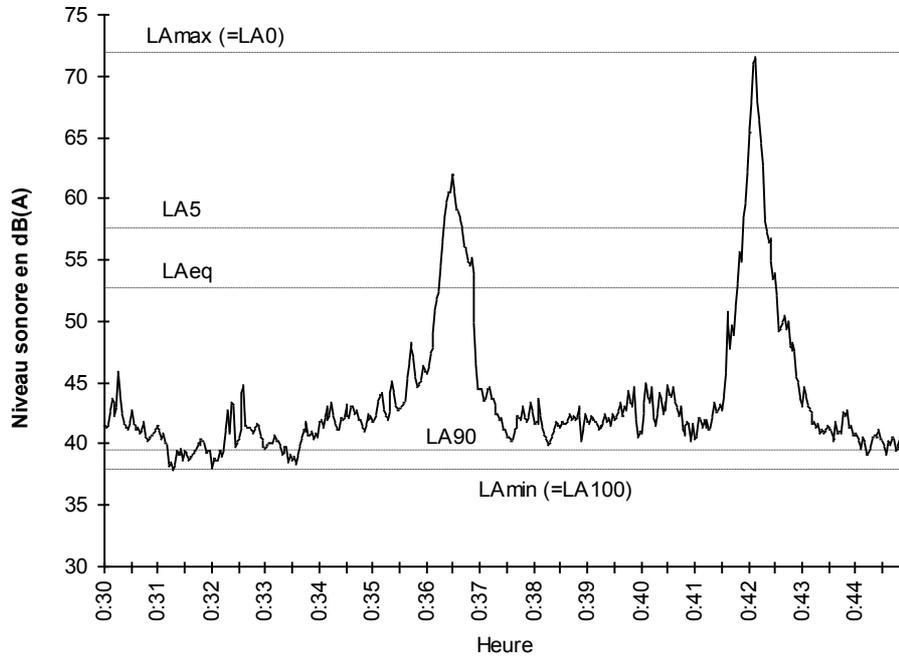
$$SEL = L_{Aeq,t} + 10 * \log(t)$$

avec t = durée de l'événement exprimée en secondes

Le graphique 2.3 ci-dessous constitue un exemple de mesure et d'enregistrement des niveaux sonores. Il représente également les niveaux L_{Amin} et L_{Amax} , les indicateurs fractiles L_{A90} et L_{A5} ainsi que le niveau acoustique équivalent relatif à la période de mesure. La figure 2.4 illustre quant à elle le niveau d'exposition SEL.

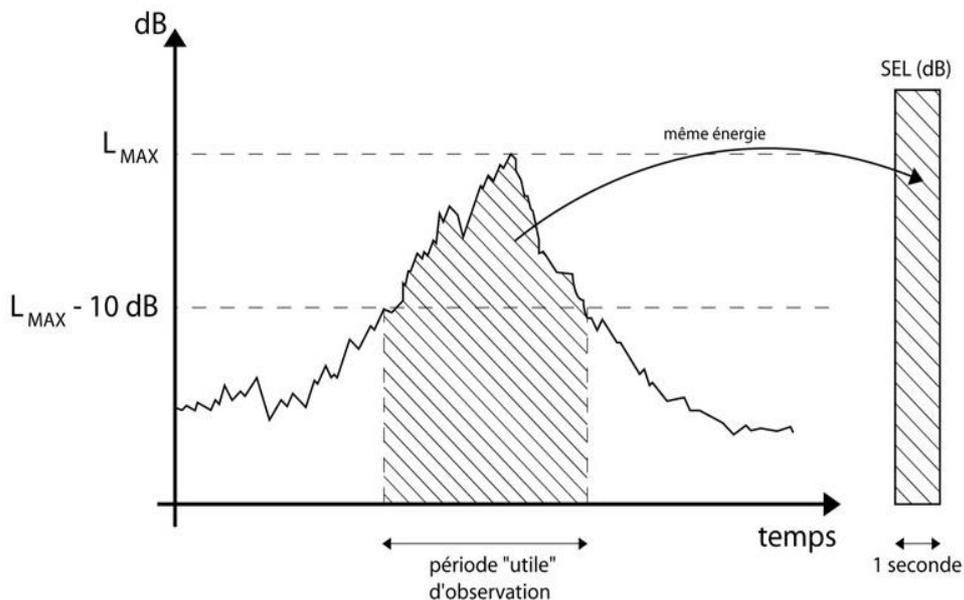


Figure 2.3 : Exemple de bruit, détermination des niveaux fractiles et du niveau équivalent (L_{Amax} , L_{A5} , L_{A90} , L_{Amin} et $L_{Aeq,t}$)



Les indicateurs L_{A5} et L_{A90} correspondent aux niveaux sonores atteints ou dépassés durant respectivement 5 et 90% du temps de mesure (15 minutes dans l'exemple du graphique). L_{A0} (ou L_{Amax}) correspond au niveau sonore maximum et L_{A100} (ou L_{Amin}) correspond au niveau sonore minimum. Les indicateurs L_{A1} et L_{A5} sont souvent utilisés pour représenter des bruits de courte durée et intermittents (bruits industriels, bruit des trains, bruit des avions, etc.). Inversement, les indicateurs L_{A90} et L_{A99} caractérisent les moments les plus silencieux de la période de mesure et sont représentatifs du bruit de fond.

Figure 2.4 : Exemple de bruit, détermination du niveau SEL





Au stade actuel, il n'existe pas encore de consensus international sur le choix et l'utilisation des indicateurs de gêne. Les seuils de gêne sont définis par chaque pays de façon extrêmement diversifiée. Les indicateurs de bruit ainsi que les normes et valeurs guides utilisés en Région bruxelloise sont décrits dans la fiche documentée n°37.

Sources

1. DIRECTIVE 2002/49/CE DU PARLEMENT EUROPÉEN ET DU CONSEIL du 25 juin 2002, relative à l'évaluation et à la gestion du bruit dans l'environnement. JO L 189 du 18.07.2002. 14 pp. p.12-25. Disponible sur : <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2002:189:0012:0025:FR:PDF>
2. BRUEL & KJAER, 1984. « Mesures acoustiques ».
3. BRUEL & KJAER, 2000. « Bruit de l'environnement ».
4. MIGNERON J.G., 1980. « Acoustique urbaine », Ed. Masson, 427 pp.

Autres fiches à consulter

Thématique « Bruit »

- 3. Impact du bruit sur la gêne, la qualité de vie et la santé
- 37. Les valeurs acoustiques et vibratoires utilisées en Région bruxelloise
- 41. Cadre légal bruxellois en matière de bruit

Auteur(s) de la fiche

BOULAND Catherine, DELLISSE Georges, DE VILLERS Juliette

Mise à jour : POUPÉ Marie

Date de mise à jour : Mars 2018