

Travail en Ambiance Sonore

polycopié

BENHASSINE Wissal

01/04/2017

Population cible :

- Résidents de médecine du travail
- Médecins du travail en Formation continue
- Étudiants du Master en Hygiène et Sécurité Industrielle

Objectifs :

- Comprendre le phénomène bruit
- Connaître les caractéristiques physiques utiles du bruit
- Identifier les paramètres à mesurer dans le cadre de la prévention contre les nuisances du bruit

Pré-requis : connaissances élémentaires en physiques (pression atmosphérique) et en mathématiques (fonction Log décimal)

Table des matières

| | | |
|-----|--|---|
| 1 | INTRODUCTION/GENERALITES | 3 |
| 2 | CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SON/DU BRUIT | 3 |
| 2.1 | L'intensité | 3 |
| 2.2 | La fréquence | 5 |
| 2.3 | Relation fréquence/pression acoustique | 6 |
| 3 | ACOUSTIQUE INDUSTRIELLE | 7 |
| 4 | METROLOGIE DU BRUIT | 8 |
| 5 | Bibliographie | 9 |

1 INTRODUCTION/GENERALITES

Le bruit est un **ensemble de sons** de fréquences et de pressions variées, réparti de façon aléatoire dans le temps. L'énergie y est transmise d'une façon multidirectionnelle à travers un milieu solide, liquide ou gazeux.

Le son se définit comme une variation de pression (dans l'air ou autre milieu) qui peut être détectée par l'oreille humaine.

C'est une variation de **pression atmosphérique** qui ne peut être perçue par l'oreille humaine que si elle se produit rapidement (au moins 20 fois/s)

L'oreille perçoit des variations de pression atmosphérique de 20 μPa .

Le bruit se transmet sous forme de vibrations mécaniques qui se traduisent par des variations de pression.

La vitesse de propagation du bruit dépend du milieu dans lequel il se propage. Elle est indépendante de la fréquence et de l'intensité du bruit.

Le bruit ne peut pas se propager dans le vide.

La vitesse de conduction aérienne est de 340M/s, à une température de l'air de 20°C.

La pression acoustique en un point donné d'un fluide est la différence entre la pression statique et la pression instantanée provoquée par le phénomène acoustique.

Le niveau de pression acoustique d'un bruit se mesure par la différence entre la pression acoustique de ce bruit (P en μPa) et la pression de référence $P_0 = 20 \mu\text{Pa}$ qui représente le niveau d'audition normale égal à 0.

Le niveau de pression acoustique : $L_p = 20 \text{ Log}_{10} P/P_0$

La puissance acoustique (W ou mW) ou flux acoustique en un point donné de la propagation de l'onde correspond à l'énergie sonore traversant une surface perpendiculaire à la direction de la propagation

Le niveau de puissance acoustique LWA exprimé en mW/m^2 . $LWA = 10^{(L/10)-9}$

2 CARACTERISTIQUES PHYSIQUES DU SON/DU BRUIT

Le bruit se définit par 2 paramètres, l'intensité et la fréquence

2.1 L'intensité

Elle correspond à l'amplitude de la fluctuation périodique des variations de pression acoustique

Elle est mesurée par un microphone.

Le niveau de pression acoustique s'exprime en décibel (dB) du nom de Graham Bell

Les niveaux de variation de pression acoustique varient de 1 Pa à 1012 Pa → gamme trop large d'où l'utilisation de l'échelle logarithmique.

Selon la Loi de Weber – Fechner, *lorsque l'intensité physique des sons croît comme les nombres 1-2-3-4-10-10²-10³-10⁴-10⁵-10⁶*; la sensation perçue par l'oreille (l'unité physiologique) croît comme le logarithme de ces nombres 0-0,5-0,6-1-2-3-4-5-6. Lorsque l'unité physique est multipliée par 10, l'intensité physiologique n'augmente que d'une unité.

La marge de pression audible pour l'oreille s'étend de 0 (seuil absolu) : la plus petite valeur perçue à 120 dB (seuil de la douleur). Entre ces deux seuils, l'oreille peut discerner des différences de niveaux de 1 à 3 dB (seuil relatif).

L'intensité sonore s'exprime en W/m². Elle caractérise la force du bruit. La force du bruit correspond à l'énergie vibratoire reçue chaque seconde sur la surface tympanique

Au seuil 0 dB nous avons :

- ☞ Une pression acoustique de 20μPa et
- ☞ Une intensité de 10⁻¹²W/m²,

L'intensité sonore en dB ne tient pas compte complètement de la perception de l'oreille. Pour tenir compte de cette sensibilité, le niveau sonore est pondéré de diverses manières par des appareils de mesure.

La pondération (A) conçue pour évaluer les faibles niveaux sonores, est la plus utilisée car elle répond approximativement à la sensation subjective de l'oreille (l'oreille est moins sensible aux sons graves qu'aux sons aigus)

La pondération (C) est conçue pour évaluer les niveaux sonores élevés, elle ne donne pas de bonnes corrélations avec les tests subjectifs

Lorsque l'on se trouve en présence de 2 sources sonores de même niveau mais de fréquences différentes, leur intensité s'ajoute l'une à l'autre et le niveau sonore résultant est augmenté de 3dB.

Si les 2 sources ont la même fréquence, ce sont les pressions acoustiques qui s'ajoutent et le bruit résultant est augmenté de 6dB

Subjectivement, une augmentation de 10db provoque une sensation de doublement de l'intensité sonore.

Les dB sont donc exprimés en niveau de pression acoustique SLP par rapport à :

- La pression acoustique de référence (20μPa)
- L'intensité (puissance) acoustique de référence (10⁻¹²W/M²)

Or, ces seuils dépendent de :

- La fréquence des sons émis
- La fatigue auditive
- La présence ou non d'autres sons (effet de masque)

Lors de mesurage de l'exposition d'un opérateur, seuls 2 indicateurs sont nécessaires :

- Le niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré (A) : LAeq,T
- Le niveau de pression acoustique crête : qui correspond à la valeur max de pression acoustique instantanée mesurée pendant l'intervalle de temps. Le niveau s'exprime en dB avec pondération (C) (indiqué sur sonomètre par MaxP) noté : L crête (dB).

2.2 La fréquence

La fréquence (hauteur) du son est exprimée en hertz (Hz) → cycles/s : unité qui caractérise le nombre de vibrations par seconde

Elle définit le ton

Elle permet de calculer sa longueur d'onde à partir du rapport entre la vitesse (v) et la fréquence (f); la longueur d'onde λ est la distance qui sépare 2 zones de même état vibratoire :

$$\lambda(m) = v(340m/s) / f (s^{-1})$$

L'oreille humaine d'un adulte perçoit les sons compris entre 20 et 20000 Hz.

Les fréquences conversationnelles se situent entre 350 et 2800 Hz.

Les infrasons ont une fréquence <20 Hz et les ultrasons >16KHz

La discrimination des sons est optimale entre 1000 et 3000 Hz.

Le son pur est défini par une seule fréquence bien précise

Le son complexe périodique est composé de plusieurs sons de fréquence et de pressions acoustiques différentes → spectre discret

Le son complexe non périodique présente la plupart des sons dans toute la gamme du spectre → spectre continu.

Dans la gamme spectrale audible on définit 3 zones :

- Basses fréquences : 20 à 355 Hz
- Moyennes fréquences : 355 à 1400 Hz
- Hautes fréquences : 1400 à 20 000 Hz

** La notion d'octave

En milieu industriel, le nombre de fréquences différentes est très important ce qui oblige à diviser les bandes de fréquences audibles par des filtres électroniques. Ces bandes sont définies par des largeurs de 1 octave ou de 1/3 d'octave.

- Un octave est une bande de fréquence dont la limite sup (f_2) est le double de la limite inf (f_1).
- La fréquence centrale (f_c) est définie par la moyenne géométrique :

$$f_c = \sqrt{f_1 \cdot f_2}$$

Les valeurs des fréquences centrales sont normalisées : 31.5 ; 63; 125; 1000; 2000; 4000; 8000 et 16000.

Exemple : un filtre d'octave de 1000 Hz de fréquence centrale 1000 Hz permet de mesurer des fréquences entre $f_1 = 1000/\sqrt{2} = 707$ Hz et $f_2 = 2f_1 = 1014$ Hz

Le 1/3 d'octave couvre une gamme où la fréquence la plus haute est égale 1.26 X la plus basse.

En 1/3 d'octave, la gamme audible est couverte par 30 filtres alors qu'en octave, il suffit d'un jeu de 10 filtres.

2.3 Relation fréquence/pression acoustique

Il existe une relation étroite non linéaire entre la pression acoustique et la fréquence des sons perçus par l'oreille.

Cette relation s'exprime par des courbes isosoniques exprimées en phone.

Le phone est une unité sans dimension qui caractérise le niveau d'isotonie d'un phénomène acoustique.

Le niveau d'isotonie se détermine à partir d'une comparaison subjective.

Chaque courbe représente les niveaux sonores de sons purs qui provoquent chez un sujet une sensation subjective équivalente.

Chaque courbe est référencée par rapport à une valeur exprimée en dB à 1000 Hz.

La relation niveau sonore / fréquence caractérise la réponse psycho-acoustique de l'oreille : il est possible d'accepter des bruits d'autant plus intenses que leur fréquence est petite.

Les lignes isosoniques sont utilisées pour pondérer les mesures des niveaux de bruit (à la sonométrie)

- La pondération A basée sur la ligne des 40 phones
- La pondération B basée sur la ligne des 70 phones
- La pondération C basée sur la ligne des 100 phones.

Le passage du dB linéaire (SPL) en dB (A) implique une correction basée sur la réponse psycho-acoustique de l'oreille :

Un son de fréquence 1000 Hz a son niveau identique à celui exprimé en dB (SPL) \forall la pondération A, B ou C.

Dans les fréquences basses, la pondération A est toujours plus importante que les pondérations B ou C.

En pratique, la différence entre les niveaux sonores d'un même bruit mesuré avec la pondération A et C permet de le situer sur l'échelle des fréquences. Plus cette différence est grande, plus le bruit est riche en basse fréquence.

Cette différence est appelée **indice harmonique**.

3 ACOUSTIQUE INDUSTRIELLE

En milieu industriel, on distingue plusieurs types de bruit :

- **Bruit continu** : les fluctuations temporelles de pression acoustique $< 1\text{dB}$
- **Bruit stable** : les fluctuations $< 5\text{dB}$
- **Bruit fluctuant** : les fluctuations $> 5\text{dB}$
 - . Bruit fluctuant répétitif : si elles se répètent
 - . Bruit fluctuant aléatoire : si elles ne se répètent pas
- **Bruit impulsionnel** :
 - . Le niveau croit de façon instantanée
 - . Durée des impulsions acoustiques $< 1\text{s}$
 - . Impulsions séparées de plus de 0.2s
 - . Niveau d'émergence par rapport au bruit de fond :
 - Soit il existe un bruit résiduel de l'ensemble des installations dans le local ou bien à l'extérieur,
 - Soit il y'a un fonctionnement normal des installations

La propagation du bruit va être modifiée par des obstacles d'où la notion de champ libre / champ réverbérant.

- **Champ libre** : le système d'ondes forme le champ sonore
- **Champ réverbérant** : dans un local, le sujet est soumis au champ sonore direct + champ de son réverbéré de 1^{ere}, 2^e ou n^{emme} réverbération \rightarrow champ sonore diffus

où l'énergie sonore est distribuée uniformément dans toute la pièce d'où la condition de la qualité du sonomètre **

En champ libre, la décroissance de la pression = 6dB lorsqu'on double la distance de l'éloignement de la source sonore de 1 à 2 m et de 3 dB en champ réverbérant.

Le champ sonore total a une pression acoustique égale à la somme des pressions directe et réfléchie.

En salle réverbérante, le niveau sonore du champ réverbéré est très important par rapport à celui du champ direct. En salle anéchoïque, le son réverbéré est négligeable.

La réverbération en 1 point se définit par la **Durée (s) mise par le niveau sonore pour chuter de 60dB**

- Si la Durée > 11 s → local très réverbérant
- Si la Durée < 1s → local anéchoïque.

Pour mesurer le bruit émis par une machine, on doit se placer dans le champ libre.

4 METROLOGIE DU BRUIT

Le but de l'évaluation des ambiances sonores est de mesurer la quantité de bruit reçu par l'opérateur, ce qui revient à :

- caractériser le bruit émis par la machine
- caractériser la propagation (aérienne / solidienne) du bruit.

En cas d'évaluation du bruit émis par une machine ; ce que l'on doit mesurer ;

- LpA : niveau de pression acoustique
- L_Ccrête : niveau acoustique de crête (valeur max de la pression acoustique instantanée)
- L_{WA} : niveau de puissance acoustique (indiquée par le constructeur)
- Évaluation de la (des) directions privilégiées de propagation du bruit
- Mesure du bruit de fond

Pour la LpA et L_Ccrête

- La mesure se fait au poste de travail ou à tout autre endroit où l'on souhaite mesurer la pression acoustique
- Lorsque le poste de travail n'est pas bien défini, les mesures sont réalisées à 1m de la surface de la machine et à une hauteur de 1.60m au dessus du sol.

Pour la L_{WA} : niveau de puissance acoustique (indiquée par le constructeur)

- Méthode de l'INRS reprise par AFNOR 1988
- Mesures en 9 points

Pour l'Évaluation de la (des) directions privilégiées de propagation du bruit

- Identifier l'élément de la machine générant le bruit : cartographie de la machine
- Modifier l'emplacement de la machine
- Modifier l'emplacement des salariés à proximité

La mesure sur site industriel est parasitée par :

- le bruit de fond généré par les autres sources sonores et activités
- La réflexion des ondes sonores sur les différentes surfaces : murs, plafond, sol
- Bruit de fond : correspond au bruit mesuré au poste lorsque la machine est arrêtée :
correction si la différence entre bruit de fond et (bruit machine + bruit de fond) < 10dB (Corrections normes ISO dont ISO3746).

5 Bibliographie

1. **DUCLOS J.C, BERGERET A, NORMAND JC, PROST G.** LE BRUIT. *Pathologie professionnelle et de l'environnement*. ELSEVIER MASSON, 1999, [16-502-A-10].
2. **Harichaux.P et Libert.JP.** *ERGONOMIE ET PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS - tome 1 - l'environnement physique du travail et ses contraintes*. Paris : CHIRON éditeur, 2003. ISBN : 2-7027-0791-2.
3. **Catilina P., Roure-Mariotti M.-C.** *Médecine et Risques au Travail. Guide du médecin en milieu de travail*. Paris : MASSON, 2002. ISBN : 2-225-83699-X.
4. **BROCA.A et MAURO.S.** CONCEPTION DU POSTE DE TRAVAIL ET AMBIANCES PHYSIQUES. [auteur du livre] CAZAMIAN.P, HUBAULT.F et NOULIN.M. *TRAITE D'ERGONOMIE*. TOULOUSE : OCTARES, AOUT 1996 (3e édition).