Journées du Bruit Environnemental – Montréal, 12 et 13 novembre 2019

ABC du son Le bruit environnemental à la portée de tous

Thomas DUPONT

Professeur Agrégé
Département de génie mécanique
École de Technologie Supérieure (ÉTS)









Plan de la présentation

I – Présentation $\acute{E}TS$ – GRAM – ICAR

II – Définition de l'Acoustique

(Pression acoustique, fréquences, niveaux sonores, pondérations)

III – Introduction à l'acoustique environnementale

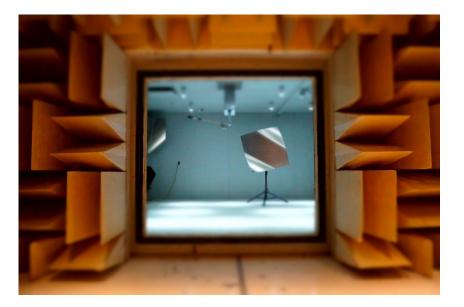
(Définition, transferts, propagation et conditions météorologiques, absorption et isolation, diffraction)

IV – Mesures et indicateurs

École de technologie supérieure L'ÉTS est une constituante du réseau de l'Université du Québec

ÉTS – GRAM – ICAR http://gram.etsmtl.ca/

- Sécurité et Santé au Travail (avec l'*IRSST*)
 - o Protections auditives
 - o Vibrations
- Acoustique des matériaux (métamatériaux, matériaux poreux et réactifs)
- Vibration et Vibro-acoustique des structures
- Localisation de sources acoustiques
- Acoustique environnementale







Groupe de Recherche en Acoustique à Montréal



• 3 professeurs *ÉTS* :

- T. Dupont
- O. Doutres
- J. Voix

• 3 chercheurs *IRSST*:

- F. Sgard
- H. Nelisse
- P. Marcotte

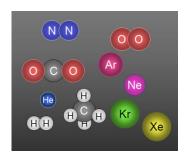
• 1 professeur *UQTR* :

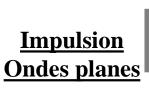
- M.A. Gaudreau

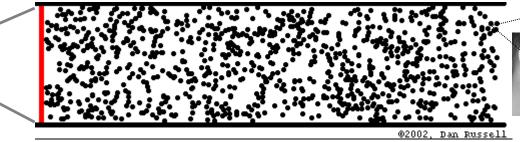
II – Définition de l'acoustique

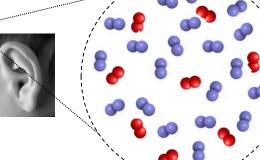
- L'acoustique (provenant du grec *akouo* « entendre ») est la science physique qui se rapporte à la production, à la propagation et à la perception des sons.
- Petite perturbation de la matière qui se propage (onde).
- Pression acoustique (Pa) \equiv Surpression

(seuil audition : $p_a \approx 10^{-5} \text{ Pa} \ll P_{atmosph\acute{e}rique} \approx 10^5 \text{ Pa}$)



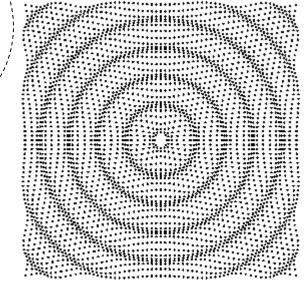






(Animation Dan Russell)
Kettering University

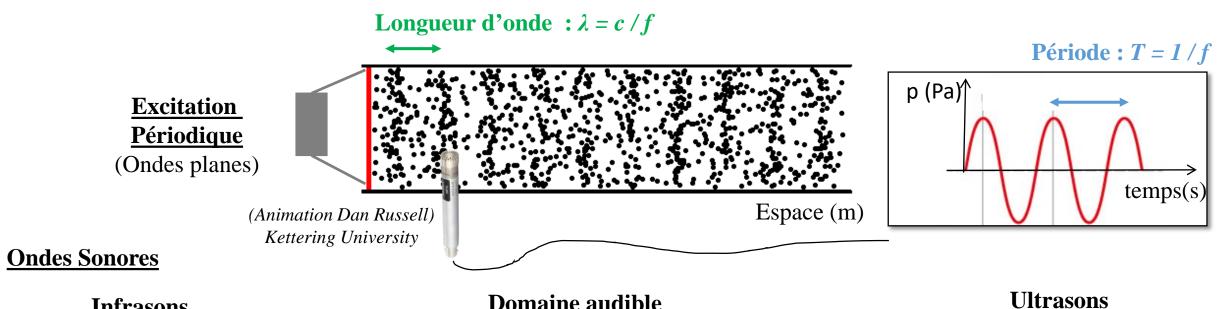
Ondes sphériques





Fréquences

f: Nombre de répétitions (cycles) par seconde, exprimé en Hertz (Hz).



Infrasons

20 Hz

Domaine audible

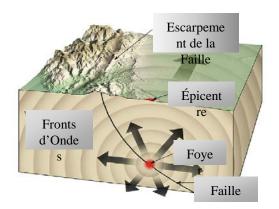
20 kHz

Moyennes fréquences Hautes fréquences

Sons aigus

Fréquences









Amplitudes – Niveaux sonores

École de technologie supérieure

- <u>Trois forces sonores différentes</u>: Pression acoustique physique (Pa)
 - Pression acoustique mesurée (valeur efficace) (Pa)
 - Ressentie (Sonie)

Système auditif humain:

- <u>Très grande sensibilité</u>: sensible à un déplacement particulaire de l'ordre de 10-11 m!
- <u>Très grande dynamique</u>: seuil d'audibilité (0 dB) \rightarrow seuil de douleur (120 dB): 10^6 Pa!



$$\rightarrow$$
 Les niveaux de pression (dB): $L_p(dB) = 10 \times \log_{10}$

$$L_p(dB) = 10 \times \log_{10} \left(\frac{p^2}{p_0^2}\right)$$

dB: **décibel**, $p_0 = 2.10^{-5}$ Pa

- L'échelle des dB permet de :
- Afficher des petites valeurs avec des très grandes
- Comparer le niveau de pression de deux sources

Doublement de sources (non corrélées)

Perception du niveau sonore

Doublement de sensation de force sonore



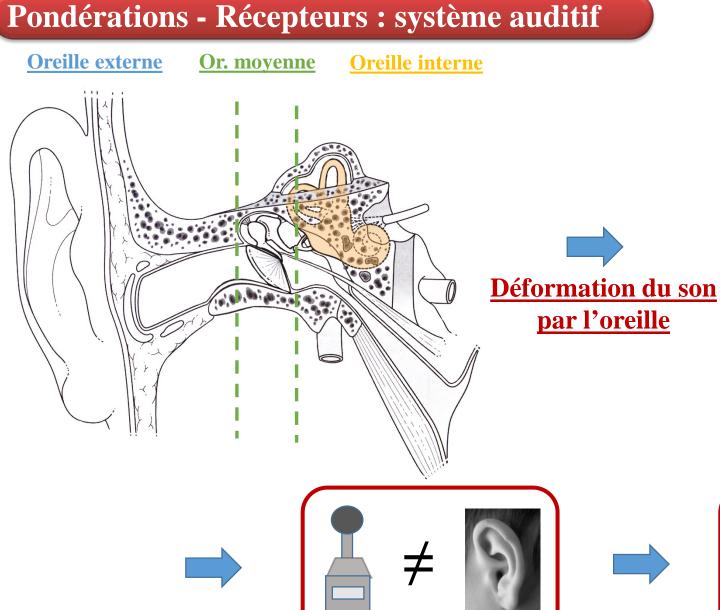
Masquage

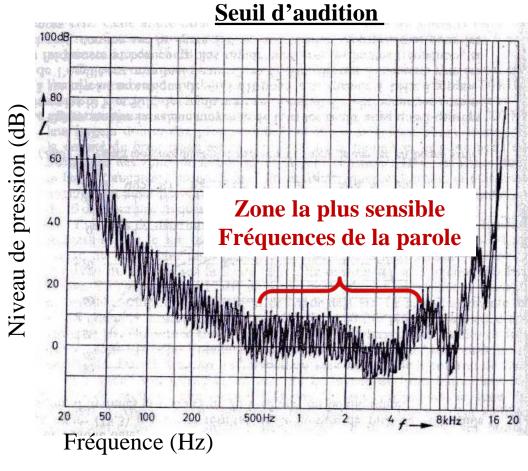


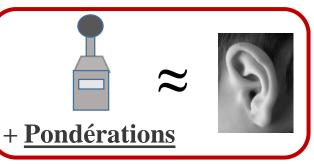
Ecole de technologie supérieure ÆTS est une constituante du réseau de l'Université du Québec

Ordres de grandeurs des niveaux sonores

- < 40 dB(A) Calme : zone résidentielle, salle de conférences, hôpital ...
 - $L_{\text{night,outside}} < 40 \text{ dB(A)}$: Valeur limite en extérieur pour la période de nuit (OMS)
- 40 à 60 dB(A) Modéré : circulation normale, bureau collectif, restaurant, électroménager ... $L_{Amax} > 42 \text{ dB(A)}$: interruption de sommeil (OMS)
- 60 à 80 dB(A) Bruyant: forte circulation, atelier, café...
 - $L_{Aeq}(24h) < 70 \text{ dB(A)}$: pour éviter tous les risques de perte auditive sur long terme (OMS)
- 80 à 110 dB(A) Intense : atelier très bruyant, discothèque ...
 - Risque de perte auditive pour un temps d'exposition entre long et modéré (OMS), Niveau d'exposition journalière au travail $L_{Aex,8h}$ < 85 dB(A) (Québec, France ...)
- > 110 dB(A) Dangereux: avion au décollage (120 dB(A)), armes à feu, certaines courses automobiles ... Niveaux dangereux pour l'audition même pour un temps d'exposition court (OMS)

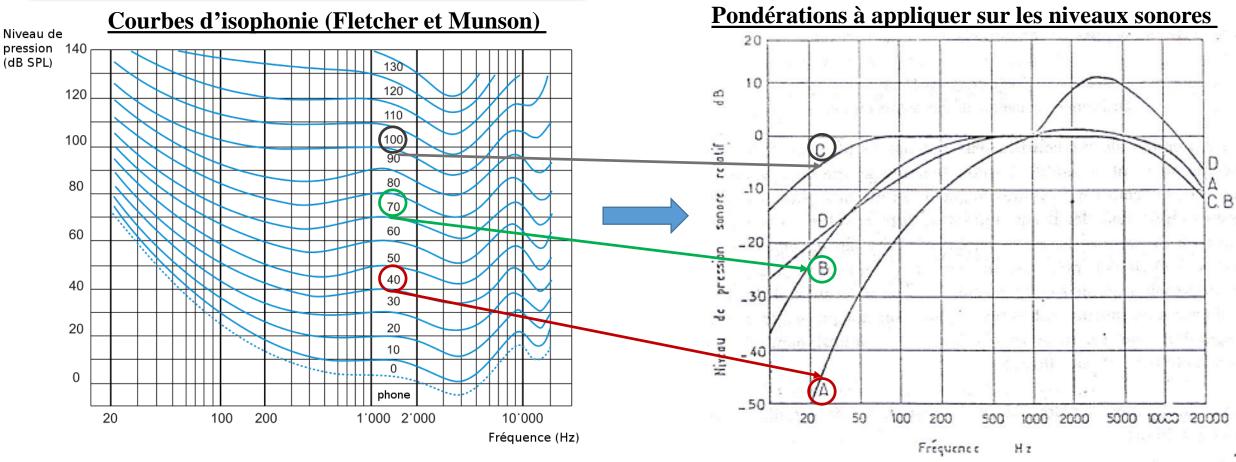








Pondérations A, B, C et Sonie



Pondérations : Filtres fréquentiels appliqués au signal mesuré

$$-L_p < 55 \text{ dB} \longrightarrow \text{pond\'eration A} \longrightarrow \text{dB(A)}$$

$$-55 < L_p < 85 \text{ dB} \longrightarrow \text{pond\'eration B} \longrightarrow \text{dB(B)}$$

$$-L_p > 85 \text{ dB} \longrightarrow \text{pond\'eration C} \longrightarrow \text{dB(C)}$$

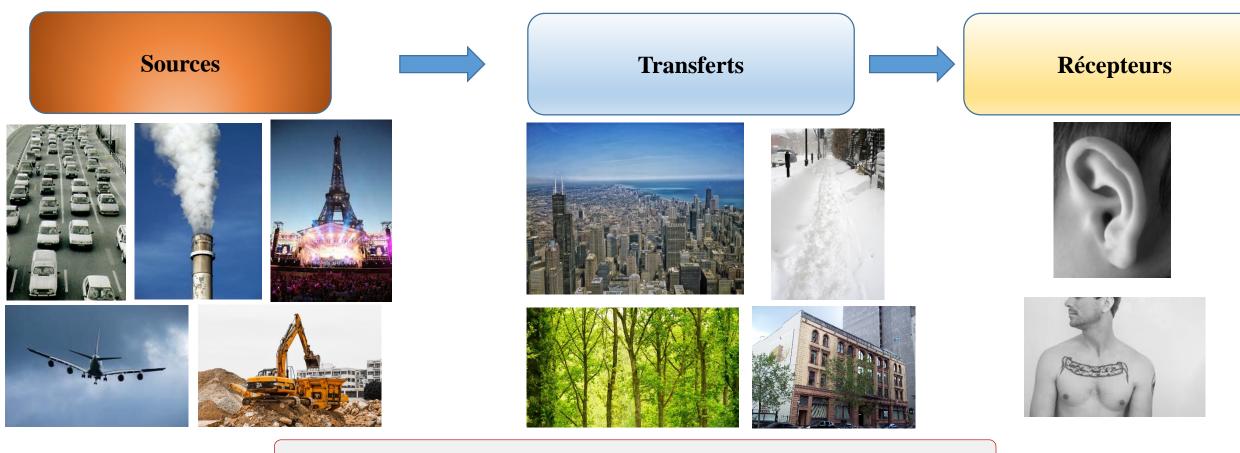
→ Calcul du critère sonie (sone) : plus complet, meilleure corrélation avec la force sonore ressentie



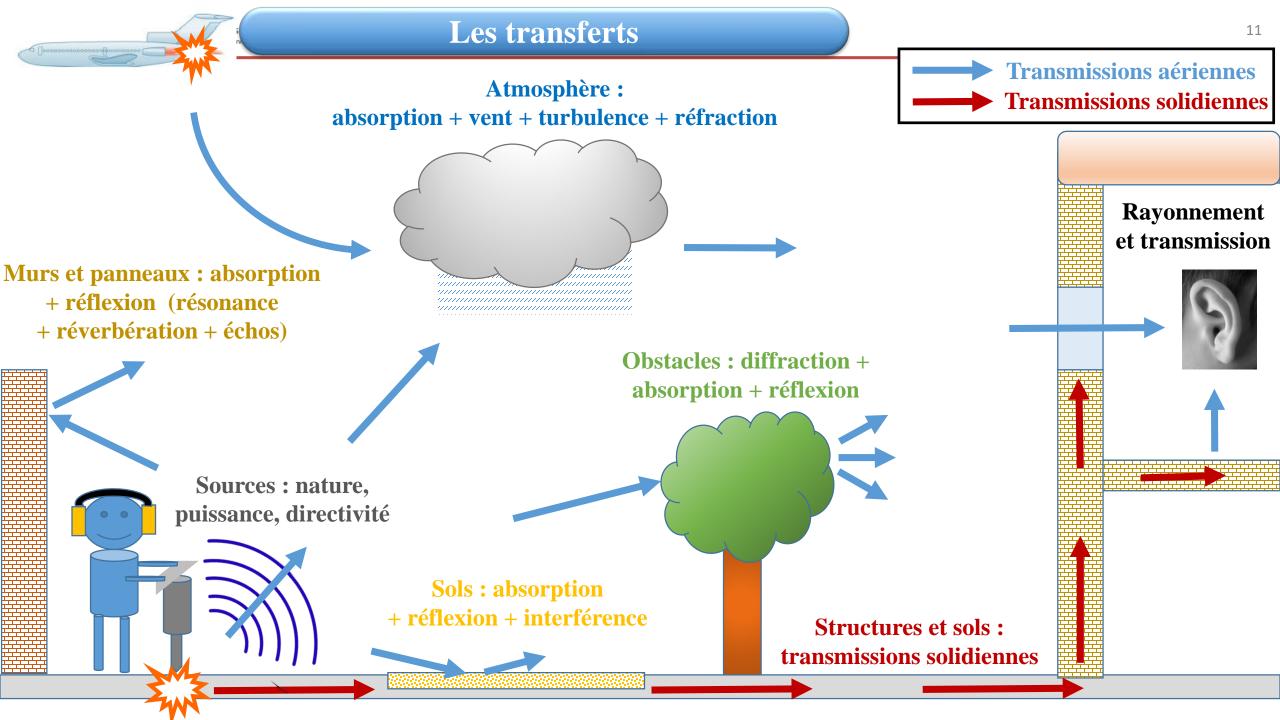
III - Introduction à l'acoustique environnementale

Bruit environnemental ≡ bruit émis par toutes les sources et perçu hors contexte professionnel par un individu en intérieur ou extérieur bâtiment.

Sources: Transports, Industries, Chantiers et constructions, Activités culturelles, Voisinage ...



→ **Réduire le bruit** : agir sur un (ou plusieurs) de ces domaines



Propagation du bruit en champ semi-libre

Sol réfléchissant, sans obstacle ≡ champ semi-libre

Source ponctuelle

La pression acoust. décroit en $1/r^2$

Doublement de distance source ponctuelle – récepteur

- 6 dB

Si $\Delta L_p = 6$ dB : champ libre ou semi-libre

Si $\Delta L_p = 0$ dB : champ diffus

Si $0 < \Delta L_p < 6$ dB : champ réverbéré



r

 L_{p1}

r

 $L_{p2} = L_{p1} - 6 \text{ dB}$





Source linéique

(ex : trafic de véhicule soutenu)



Doublement de distance source linéique—récepteur

- 3 dB

 $L_{p2} = L_{p1} - 3 \text{ dB}$

(dB)



Absorption et isolation acoustiques

1) Absorption par l'air

2) Absorption par les obstacles et par les sols

Arbres, panneaux, végétation, revêtement, sable, neige ...









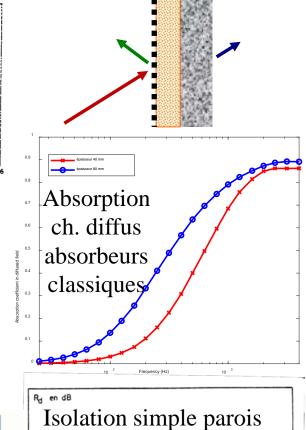


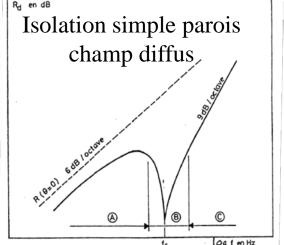
Simples et doubles parois, multicouches ...



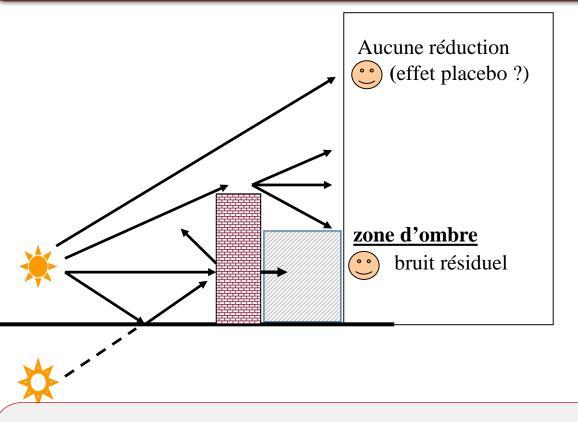
Fréquence (Hz)

→ Un bruit à composantes basses fréquences est moins absorbé et plus transmis qu'un bruit à composantes moyennes et hautes fréquences

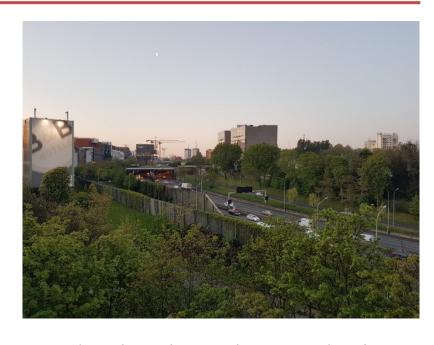




Diffraction acoustique – Les écrans acoustiques



- Efficace dans la zone d'ombre (limite : effet de diffraction)
- Efficace uniquement lorsque localisé proche des sources ou proche des récepteurs
- Matériaux avec propriétés en isolation et en absorption
- Moins efficace pour les bruits basses fréquences



Boulevard périphérique de Paris - wikipédia



pxhere



Effets des conditions météo sur la propagation du bruit Humidité ≡ ↑ propagation du bruit Propagation atmosphérique classique, réfraction Effet du vent Inversion gradient de température vent



IV – Mesures et indicateurs

Sonomètre

Mesure + post-traitement du signal + calcul indicateurs

Calibreur

Calibration avant et après chaque campagne de mesure + calibration si changement des conditions météorologiques





wikipédia

ÉTS

Représentation de la mesure

- En global,
- En temporel,
- Analyse par tiers d'octave ou octaves de fréquence (pour se rapprocher des filtres auditifs),
- En spectre fin,
- En sonagramme (amplitude-temps-fréquence),
- Par des indicateurs spécifiques,

Voir démonstration en salle annexe



École de technologie supérieure L'ÉTS est une constituante du réseau de l'Université du Québec

Indicateurs généraux

1) **Energétique** : Niveau de pression équivalent (dB(A))

$$L_{Aeq}(T) = 10 \times \log_{10} \left\{ \frac{1}{T} \int_{0}^{T} \frac{p_{A}^{2}(t)}{p_{0}^{2}} dt \right\}$$

$$L_{Aeq}(T) = 10 \times \log_{10} \left(\sum_{i=1}^{N} \frac{t_i}{T} 10^{L_{Aeq,ti}/10} \right)$$

2) **Statistique**

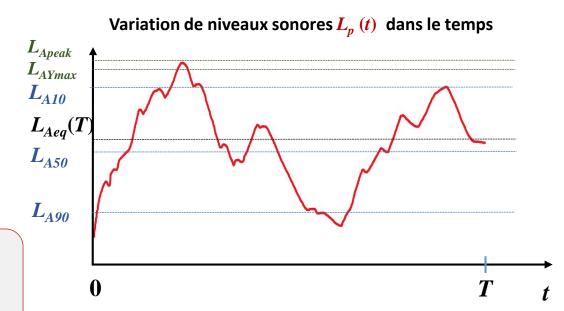
 L_{AX} : niveau dépassé pendant X % du temps de mesure T,

 L_{A10} ou L_{A1} : pics, L_{A50} : niveau médian, L_{A90} : bruit de fond

3) <u>Crête</u>

 L_{ASmax} , L_{AFmax} : niveau maximum de pression acoustique équivalent intégré sur un intervalle de temps S=1 s , F=125 ms

 L_{Cpeak} ou L_{Apeak} : niveau sonore maximal instantané.





Quelques indicateurs spécifiques pour le bruit environnemental

1) Indicateurs de niveau moyen sur l'ensemble de l'année: L_{den} , L_{dn} , L_{night} , $L_{eq,24h}$

$$L_{den}(dB) = 10\log_{10}\left\{\frac{1}{24h}\left(t_{day}.10^{0.1L_{day,12h}} + t_{even}.10^{0.1\left(L_{even,4h} + 5dB\right)} + t_{night}.10^{0.1\left(L_{night,8h} + 10dB\right)}\right)\right\} t_{day} + t_{even} + t_{night} = 24h$$

$$L_{dn}(dB) = 10\log_{10}\left\{\frac{1}{24h}\left(t_{day}.10^{0.1L_{day,12h}} + t_{night}.10^{0.1\left(L_{night,8h}+10dB\right)}\right)\right\}$$

$$t_{day} + t_{night} = 24h$$

2) Indicateur avec corrections L_r

$$L_r(T) = L_{Aeq}(T) + \sum_i C_i$$

 C_i : termes correctifs pour :

3) Indicateurs basses fréquences

- $L_{Zeq,T}$ sur les tiers d'octave 63 et 125 Hz
- $L_{Ceq,T}$ $L_{Aeq,T}$ < 20 dB
- Pondération G (5 100 Hz)

- caractère impulsif (+ 5-12 dB)
- tonalité marquée (+5-10 dB)
- type de sources (aéronautique + 5-8 dB),
- période (nuit : 10 dB, soir : 5 dB, we : 5 dB)

Références

Quelques références et références dont cette présentation est en partie tirée :

- Dupont T., cours *Confort acoustique et environnement, Méthodes expérimentales, Sources acoustiques et vibratoires*, groupe optionnel Vibration et Acoustique des Transports 5eme année ingénieur—ISAT, 2017.
- Leclaire P. et T. Dupont, Cours *Acoustique*, 4eme année ingénieur, ISAT, 2017.
- Josse R., Acoustique- Reef vol II- sciences du bâtiment. CSTB. 1985.
- Liénard, P. François P. Acoustique industrielle et environnement tome 1– acoustique physique et perceptive. 1983. Collection de la direction des études et recherches d'électricité de Françe. Editions Eyrolles.
- Levy S., Acoustique industrielle et aéroacoustique, Hermes science, 2001.
- Zwicker, E. and Fastl, H. (1990). Psychoacoustics: Facts and models. Berlin, Springer-Verlag.
- E.Zwicker, R. Feldtkeller, Psychoacoustique (1981), L'oreille, récepteur d'informations, éd. Masson.
- Bruneau M. Manuel d'acoustique fondamentale, Hèrmès science publications, 1998.
- Beranek, L. L., Ver I. L.. Noise and vibration control engineering second edition. 2006. John Wiley and sons, inc.
- Norme ISO 1996 1, 2, 3 Acoustique Description, mesurage et évaluation du bruit de l'environnement, 2003.
- Murphy E., E. King, Environmental Noise Pollution, 1^{er} édition, Elsiever, 2014.



Annexe : Classification des sons - bruits

Classification des sons selon la structure

Structure spectrale : tonale, harmonique, large bande, Infrasons, Très basses fréquences, Basses fréquences, Médium, Aigus, Stridents ou suraigus, Ultrasons,

Structure temporelle : Bruits continus stables (fluctuations ≈ 2 dB), Bruits fluctuants (fluctuations > 2 dB), Bruits de niveau variable, Bruits intermittents (pics de durée > 1 s), Bruits impulsifs (pics de durée < 1s), Bruits impulsifs quasi stables (impulsions successives de durée < 0.2 s et d'amplitude ≈ 2 dB).

Classification du bruit selon l'effet

Bruits gênants: Action psychologique ou psychique entraînant parfois des variations physiologiques,

Bruits stressants: Modifications de l'état d'équilibre physiologique. Effets auditifs et non auditifs réversibles,

Bruits traumatisants: Effets irréversibles. Lésions auditives, troubles physiologiques ou psychiques graves.