



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider-Biskra Faculté des Sciences et de la technologie Département : Architecture



Laboratoire
LACOMOFA

Année universitaire : 2019—2020

1^{ère} année master en Architecture

Matière : Equipement 2 Acoustique du bâtiment

Enseignant : Dr MEZERDI Toufik

Cour N° 04: Caractéristiques énergétique des sons



Caractéristiques énergétique des sons

1.5. Intensité et densité d'énergie acoustique

Intensité acoustique

La propagation d'une onde sonore est associée à un transfert d'énergie. On appelle intensité acoustique I la puissance sonore moyenne (dans le temps) transmise à travers une surface unité dans la direction de propagation.

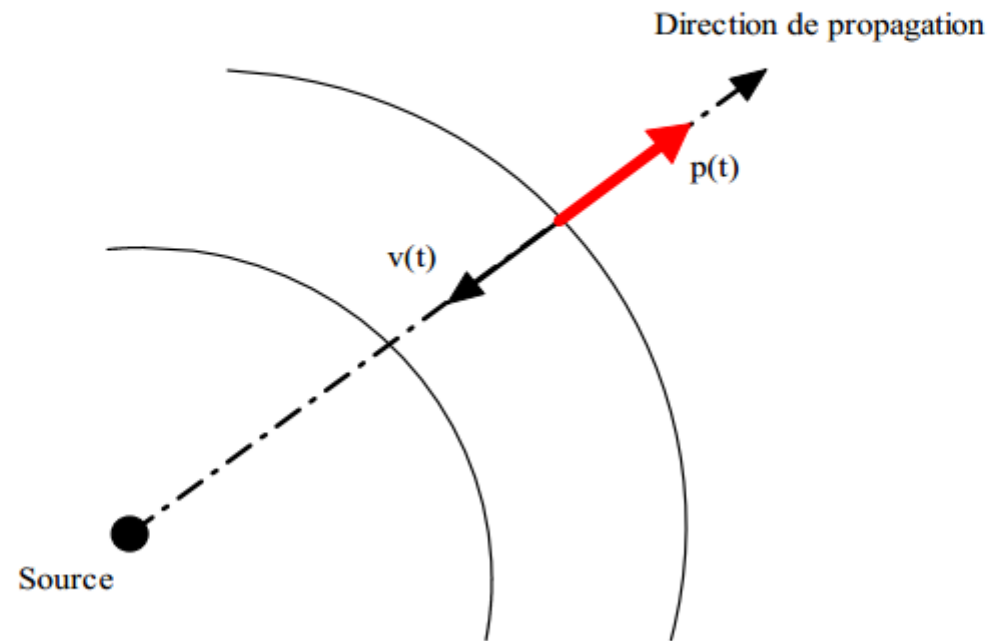


Figure 1.10



Caractéristiques énergétique des sons

Si $p(t)$ et $v(t)$ sont la pression et la vitesse en un point R, l'intensité acoustique s'écrit

$$I = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p(t) \vec{n} \cdot \vec{v}(t) dt \quad (\text{W/m}^2)$$

Compte tenu de la relation (1.13)
L'intensité s'exprime comme

$$I = \frac{p_e^2}{\rho_0 c} (\text{W/m}^2) \quad (1.17)$$

$$p_e^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt$$

Densité d'énergie

Cette grandeur représente l'énergie sonore contenue dans un volume d'air unitaire. C'est la somme de l'énergie potentielle D_p lié aux compressions et dépressions de l'air et de l'énergie cinétique D_c liée à la vitesse de vibration de l'air.

$$D_p(t) = \frac{-\int p dV}{V} \quad (\text{J/m}^3) \quad (1.18)$$

$$D_c(t) = \frac{1}{2} \rho_0 v^2 \quad (\text{J/m}^3) \quad (1.19)$$



Caractéristiques énergétique des sons

Compte tenu de la relation (1.7) reliant la variation de pression à la variation de volume la densité D_p devient

$$D_p = \frac{1}{2} \frac{p^2}{\rho_0 c^2} \quad D_c = \frac{1}{2} \frac{p^2}{\rho_0 c^2} \quad (1.20)$$

A tout moment il y a égalité entre énergies cinétique et potentielle.

La densité d'énergie totale moyenne D_m sur un intervalle de temps $[t_1-t_2]$ s'écrit :

$$D_m = \frac{P_e^2}{\rho_0 c^2} \quad (\text{J/m}^3) \quad (1.21)$$

1.6. Niveaux de pression et d'intensité

Un bruit se présente à notre oreille avec de multiples caractères. La sensation produite par un bruit dépend essentiellement de l'intensité acoustique I mais aussi de la hauteur du bruit, c'est à dire des fréquences qui le composent.

Loi de Weber - Fechner

En première approche, autour de 1000 Hz, la sensation sonore est proportionnelle au logarithme de l'intensité acoustique. On pourra donc caractériser la sensation par ce que l'on appelle le niveau d'intensité :

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad (\text{dB})$$



Caractéristiques énergétique des sons

Ce niveau s'exprime en décibels, d'abréviation dB.

I_0 est une intensité de référence représentant l'intensité minimale perceptible à 1000 Hz.

$$I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

La pression acoustique efficace étant plus facilement mesurable que l'intensité, on définit par ailleurs le niveau de pression L_p :

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p_e^2}{p_0^2} \text{ (dB)}$$

p_0 est une pression de référence qui correspond sensiblement à la plus faible pression que l'oreille est capable de déceler à 1000 Hz

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

Compte tenu de la relation $I = \frac{p_e^2}{\rho_0 c}$ et pour des conditions normales de température et de pression atmosphérique, on a égalité entre L_I et L_p .

Remarque :

La pression acoustique varie dans un domaine très étendu (de $2 \cdot 10^{-5}$ Pa qui correspond au seuil d'audibilité à 1000 Hz à 20 Pa défini comme étant le seuil de la douleur). A ce domaine de pression correspond une plage d'intensité de 10^{-12} W/m² à 1 W/m². Pour ces deux domaines de pression ou d'intensité les niveaux L_p ou L_I se situeront entre 0 et 120 dB.

Le tableau ci dessous donne un aperçu de l'échelle des bruits les plus courants.



Caractéristiques énergétique des sons



Conver sation	Impression Subjective	dB	Transport	Intérieur	Extérieur
Impossible	Bruit sup- portables pendant un court instant seulement. Destruction de l'oreille.	140		Turboréacteur au banc d'essais ; sortie de la Tuyère	
		130		Marteau-pilon	
		120	Place du pilote d'avion de combat à 400 Km/h		
		110	Avion combat 350 Km/h	Moteur d'avion Atelier de chaudronnerie (ambiance)	
En criant	Bruits très pénibles à écouter	100	Motocyclette sans silencieux à 2m. Klaxon de route. Wagon train	Scie à bois à 1m. Presse à découper. Atelier de tissage.	Marteau pneumatique à 3 m.
		95	Avion de transport à 400 Km/h	Forges	
Difficile	Supportable mais bruyant	80	Intérieur d'auto à 100 Km/h	Atelier de tournage. Escalier du métro quand il y a influence Radio pleine puissance	Circulation intense à 1m.



_ Caractéristiques énergétique des sons

A voix forte	Niveau de bruits courants	70	Wagons-lits Pullman modernes		
		65	Automobile.		
		60		Grands magasins. bureau avec dactylographe. Conversation normale	Rue résidentielle tranquille.
A voix normale	Jugé calme si on est actif	55	Bateau à moteur		
		50	Auto silencieuse	Robinet d'eau ouvert à grand débit. Appartement donnant sur rue active fenêtres ouvertes	Rue très tranquille
		45	Transatlantique le classe	Appartement bruyant	Bruit minimum dans la rue le jour.
		40		Bureau tranquille	
A voix chuchotée		30		Appartement tranquille	
		25		Conversation à voix basse à 1.5 m	
		20		Studio de radiodiffusion	Jardin calme.
	Silence inhabituel	10		Studio d'enregistrement	
		0	Seuil d'audibilité.	Laboratoire d'acoustique	

Tableau 1.1 : Echelle des niveaux de pression



Caractéristiques énergétique des sons



1.7. Analyse des bruits "Stables"

Un bruit est "stable" si son spectre n'évolue au cours du temps et donc si son niveau de pression ou d'intensité est indépendant du temps.

Analyser un bruit consiste à rechercher la distribution du niveau L_p en dB en fonction de la fréquence des sons qui le compose.

Analyse fréquentielle

Pour reconstituer le spectre d'un bruit on a recours à la transformation de Fourier. Ainsi toute fonction continue du temps est décomposable en une sommation infinie de fonctions harmoniques (sinus ou cosinus) représentée par l'intégrale (1.3).

Pour des signaux périodiques de période T cette intégrale devient une sommation discrète de fonctions sinus ou cosinus dont les fréquences sont des multiples de la fréquence fondamentale $f=1/T$.

Numérisation (où échantillonnage)

Dans un 1^{er} temps le signal continu (analogique) est transformé en une série de valeurs échantillonnées (numérique). Cette première opération est appelée conversion analogique-numérique et est réalisée à l'aide de cartes d'acquisition spécialisées implantées sur PC.

Cette acquisition s'effectue selon une fréquence d'échantillonnage F_e représentant le nombre d'échantillons saisis par seconde.

Le contenu fréquentiel du signal est dépendant de la fréquence d'échantillonnage utilisée.

Ainsi les 2 signaux représentés sur la figure 1.11 numérisés avec une même fréquence F_e seront vus comme ayant le même contenu spectrale



Caractéristiques énergétique des sons

Echantillonnage

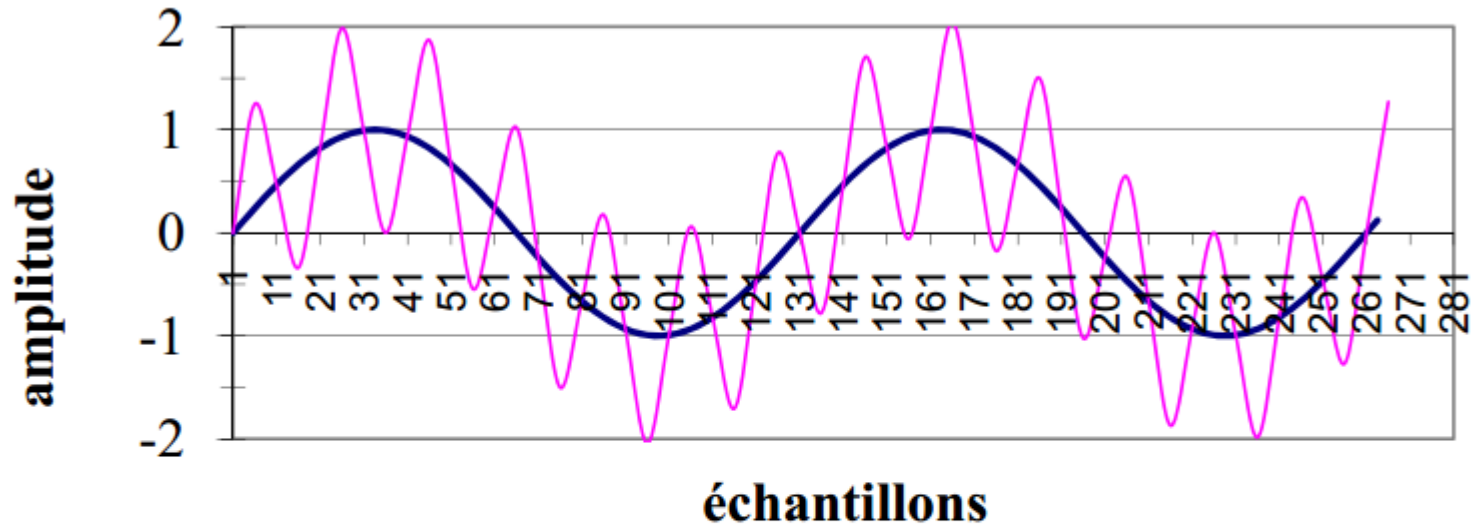


Figure 1.11 : Echantillonnage

Seuls les signaux dont les fréquences sont strictement inférieures à $F_e/2$ pourront être analysés correctement (théorème d'échantillonnage de Nyquist-Shannon).

Filtrage numérique

L'analyse fréquentielle s'effectue soit à largeur de bande constante ($\Delta f = \text{cte}$), soit à largeur de bande relative constante ($\Delta f/f = \text{constante}$).

L'analyse à Δf constante n'est utilisée que dans le cas d'une description fine de l'énergie contenue dans chacune des bandes couvrant l'échelle des fréquences audibles (17-17000Hz).



Caractéristiques énergétique des sons

Ces analyses sont pénalisantes en temps calcul.

En pratique on utilise plutôt les analyses à $\Delta f/f = \text{constante}$ dont les plus utilisées sont les analyses 1/3 d'octave et 1/1 d'octave qui correspondent mieux à la résolution fréquentiel de l'oreille humaine. Cette notion de bande d'octave est souvent utilisée dans le domaine musical .

1.7.1. Analyse d'octave.

Une bande d'octave est un intervalle de fréquence $[f_1 - f_2]$ tel que le rapport

$$\frac{f_2}{f_1} = 2$$

L'ensemble des fréquences audibles est couvert par les 10 bandes d'octave normalisées suivantes:

[22,5 - 45] , [45 - 90] , [90 - 180] , [180 - 350] , [350 - 700] , [700 - 1400] , [1400 - 2800] , [2800 - 5600] , [5600- 11200] , [11200 - 22400].

Chacune de ces bandes d'octave est caractérisée par sa fréquence médiane :

$$f_m = \sqrt{f_1 f_2}$$

Elles sont respectivement :

31,5 - 63 - 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000- 16000.



Caractéristiques énergétique des sons

Remarque : L'analyse d'octave est encore appelée analyse à 70%

$$\Delta f / f_m = 0,707, \Delta f = \frac{f_m}{\sqrt{2}}, \quad \Delta f = f_2 - f_1$$

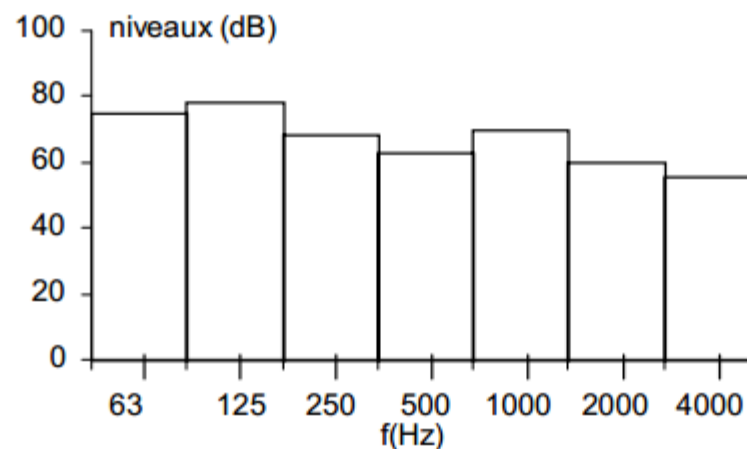


Figure 1.12 : Spectre bande d'octave d'un bruit.

1.7.2. Analyse de tiers d'octave

Une bande de tiers d'octave est un intervalle de fréquence $[f_1 - f_2]$ tel que le rapport :

$$\frac{f_2}{f_1} = \sqrt[3]{2}$$

De cette définition on montre aisément que 3 bandes tiers d'octave successives constituent une bande d'octave.



Caractéristiques énergétique des sons

Elles font l'objet d'une normalisation dont les fréquences médianes $f_m = \sqrt{f_1 f_2}$ sont :

10 - 12,5 - 16 - 20 - 31,5 - 40 - 50 - 63 - 80 - 100 - 125 - 157 - 200 - 250 - 315 - 400 - 500 - 630 - 800 - 1000 - 1250 - 1600 - 2000 - 2500 - 3150 - 4000 - 5000 - 6300 - 8000 - 10000 - 12500 - 16000 - 20000.

Remarque : L'analyse 1/3 d'octave est encore appelée analyse à $\frac{\Delta f}{f_m} = 0,233$

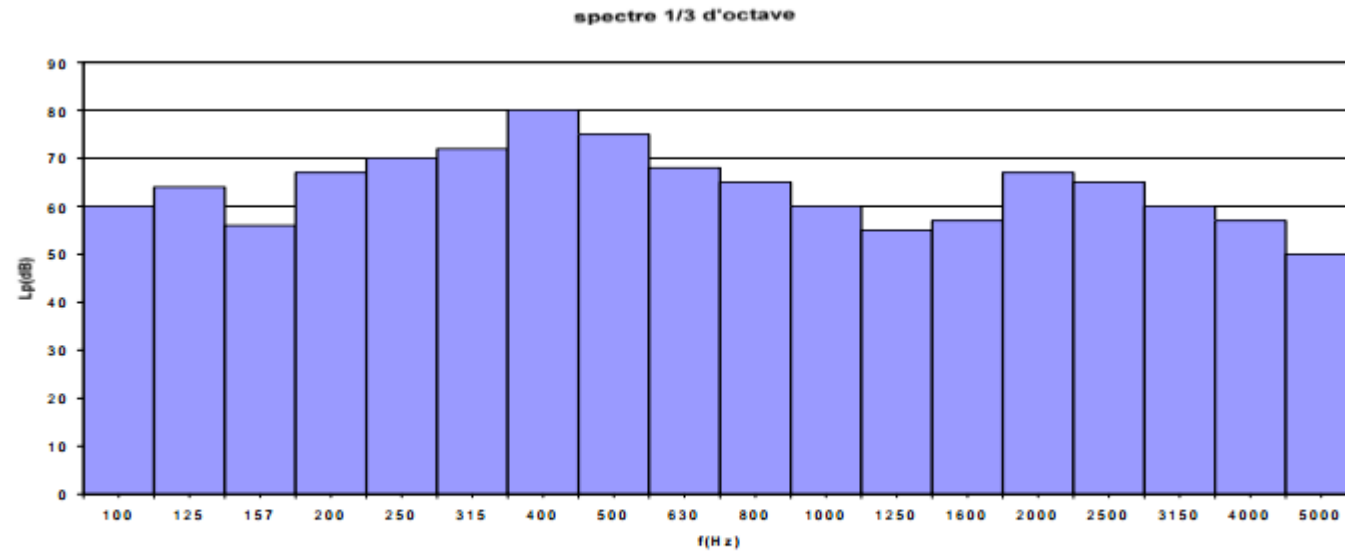


Figure 1.13 : Spectre 1/3 d'octave



Caractéristiques énergétique des sons

Bruit blanc et bruit rose

Un bruit est dit "blanc" lorsque son énergie est uniformément répartie sur toute l'étendue des fréquences audibles correspondant à une énergie fréquentielle constante. ($I(f)=A$)

L'énergie contenue dans une bande d'octave de largeur $\Delta f = f_2 - f_1 = \frac{fm}{\sqrt{2}}$ est

$$I(\Delta f) = A \frac{fm}{\sqrt{2}}$$

Le niveau d'intensité $L_I = 10 \log \frac{I(\Delta f)}{I_0}$ croit à raison de 3dB/oct (Figure 1.14)

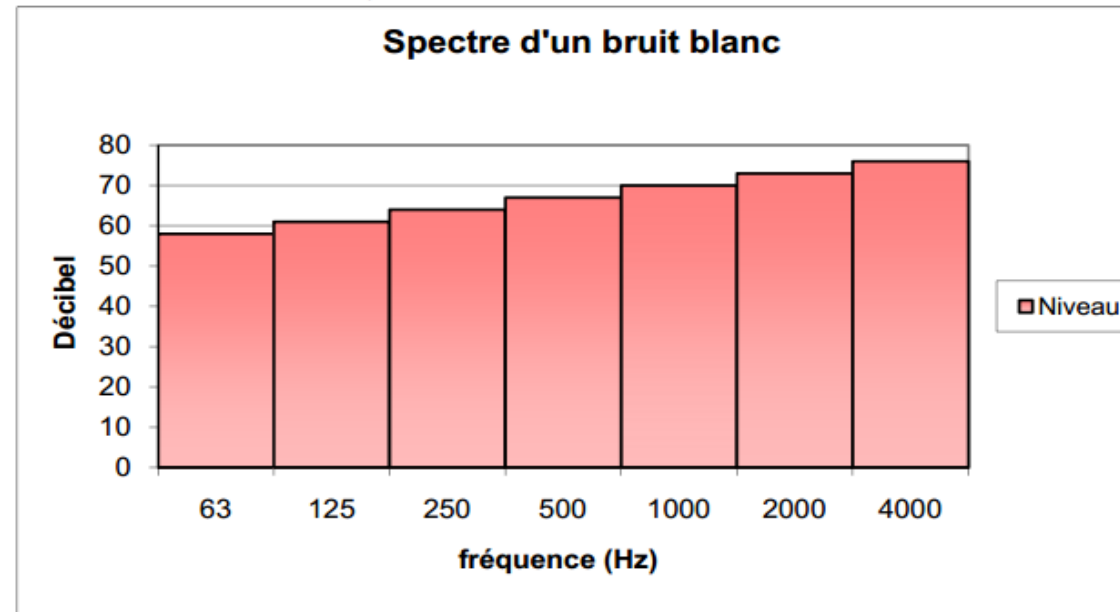


Figure 1.14 : Spectre bandes d'octave d'un bruit blanc



Caractéristiques énergétique des sons

Le bruit « rose » a une énergie fréquentielle inversement proportionnelle à la fréquence $I(f)=A/f$. De sorte que l'énergie d'une bande d'octave ou de tiers d'octave est la même qu'elle que soit la bande considérée. Le niveau énergétique est par conséquent indépendant de l'octave (figure 1.15).

$$I(\text{oct}) = \int_{f_1}^{f_2} \frac{A}{f} df = A \ln \frac{f_2}{f_1} \quad \text{avec } f_2/f_1=2$$

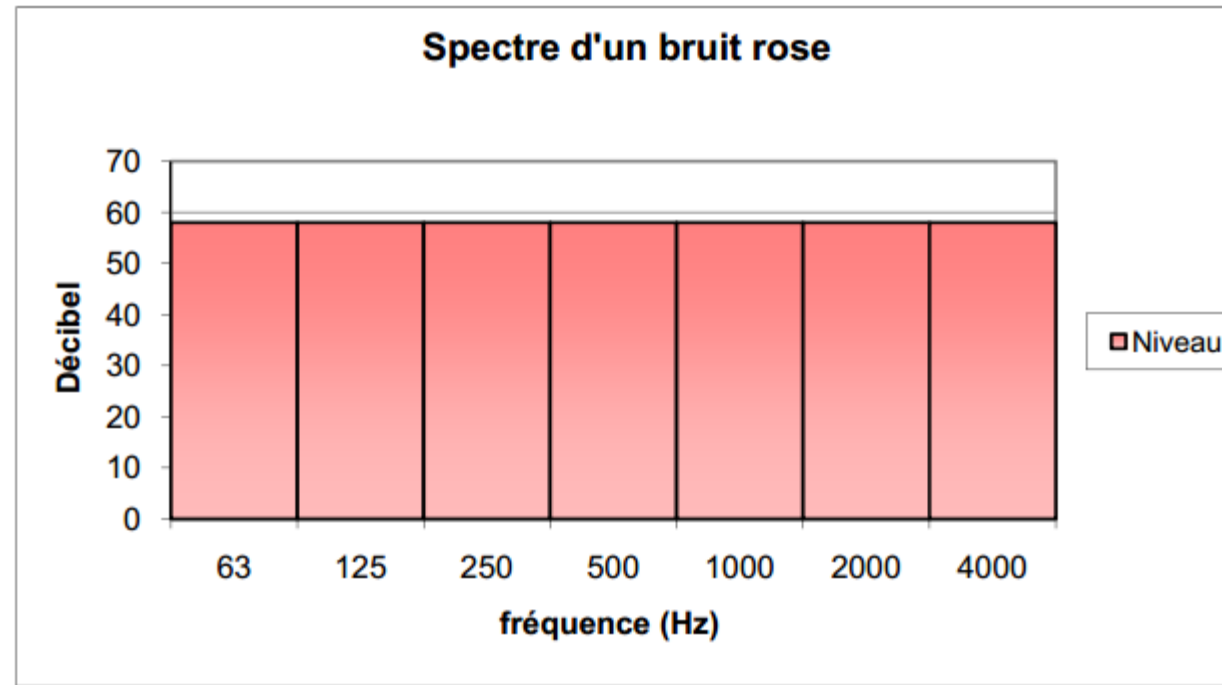


Figure 1.15 : Spectre bandes d'octave d'un bruit rose



Caractéristiques énergétique des sons

L'appellation "blanc" ou "rose" vient de l'analogie faite avec la lumière. La lumière blanche contient toutes les longueurs d'ondes visibles avec une énergie égale. La lumière rose est plus riche en énergie aux grandes longueurs d'ondes.

1.8. Composition de deux niveaux de bruit

1.8.1 Addition de deux niveaux

Si plusieurs sources de bruit engendrent en un point les pressions $p_i(t)$ la pression résultante est égale à la somme algébrique des pressions :

$$p(t) = \sum_{i=1}^n p_i(t)$$

Si les sources ne sont pas corrélées entre elles, en d'autres termes si les fréquences des ondes émises par les sources sont indépendantes la pression efficace résultante est :

$$pe^2 = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} p^2(t) dt = \sum_{i=1}^n pe_i^2$$

$t_1 - t_2$ étant un intervalle d'intégration.
 n , nombre de sources.

La pression résultante au carré est égale à la somme des pressions partielles au carré. On dit encore que la composition des bruits se fait de manière énergétique, car l'énergie acoustique est proportionnelle au carré de la pression efficace.



Caractéristiques énergétique des sons

Exemple : Si l'on veut composer deux niveaux de bruit L_{p1} et L_{p2} le niveau résultant L_p est :

$$L_p = 10 \log \frac{p_{e1}^2 + p_{e2}^2}{p_0^2} = 10 \log \frac{p_{e1}^2}{p_{e0}^2} \left(1 + \frac{p_{e2}^2}{p_{e1}^2}\right)$$

$$L_p = L_{p1} + 10 \log \left(1 + 10^{\frac{L_{p2} - L_{p1}}{10}}\right)$$

Ainsi le niveau résultant ne dépend que de l'un des niveaux à composer (L_{p1}) auquel on ajoute un terme fonction uniquement de la différence entre les deux niveaux à composer. L'abaque de la figure 1.12 permet de calculer le terme qu'il faudra ajouter au niveau le plus élevé pour obtenir le niveau résultant.

Exemple : $L_{p1} = 80$ dB
 $L_{p2} = 75$ dB

} différence 5 dB

valeur à ajouter au niveau le plus élevé : 1,2 dB d'où niveau résultant $L_p = 81,2$ dB.

Remarque : Deux bruits de même niveau ont un niveau résultant plus élevé de 3 dB.

Deux niveaux différents de plus de 15 dB auront un niveau global égal au niveau le plus élevé. Le niveau résultant de la composition de n niveaux L_{p1} identiques est : $L_p = L_{p1} + 10 \log n$.



Caractéristiques énergétique des sons



composition de 2 niveaux

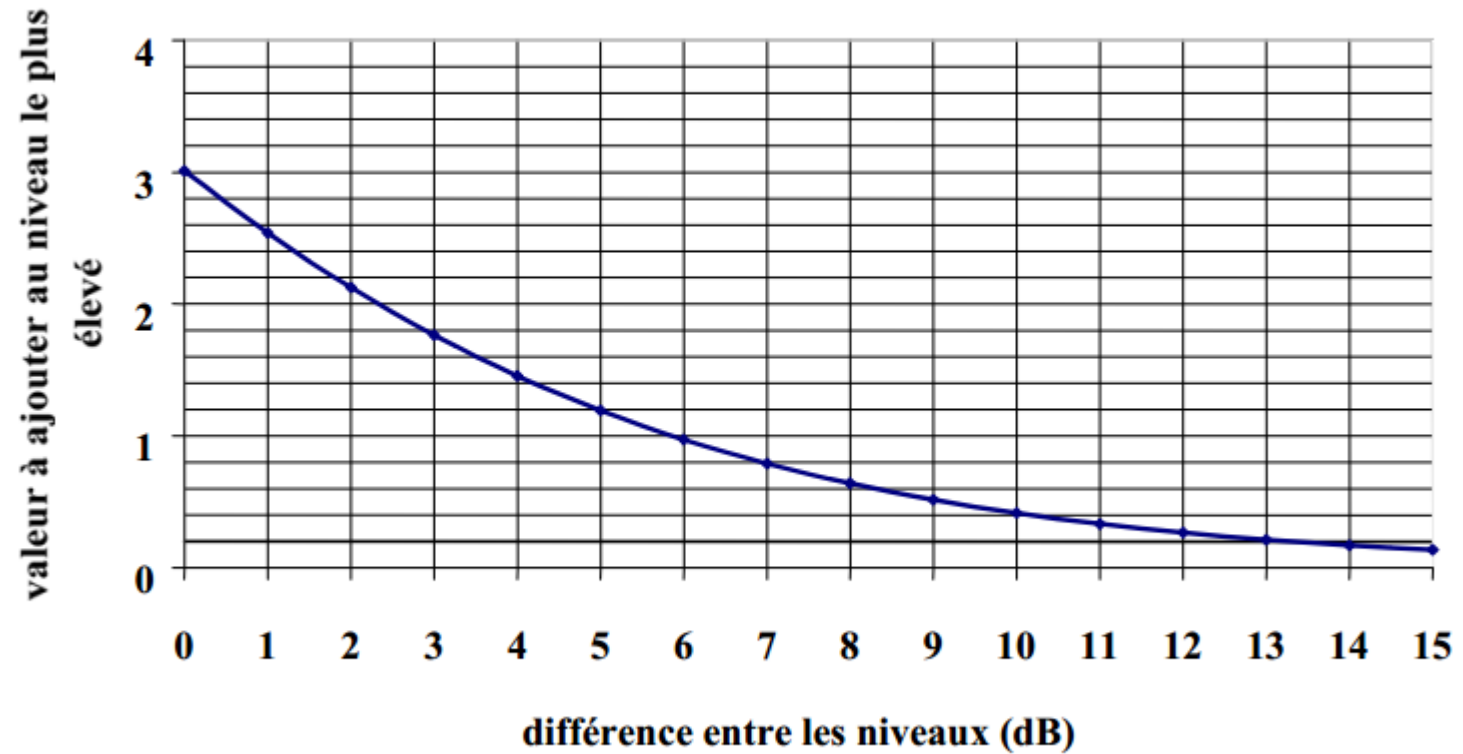


Figure 1.16 : Abaque d'addition de 2 niveaux sonores.



Caractéristiques énergétique des sons



1.8.2. Soustraction de 2 niveaux de bruit

Cette situation correspond à la mesure d'un bruit de niveau L_{p1} en présence d'un bruit de fond L_{p0} que l'on ne peut éliminer. On procède à la mesure du bruit de fond seul puis à la mesure du bruit total L_p .

Nous avons :

$$L_{p0} = 10 \log \frac{P_{e0}^2}{P_0^2} \rightarrow \frac{P_{e0}^2}{P_0^2} = 10^{\frac{L_{p0}}{10}}$$

$$L_{p1} = 10 \log \frac{P_{e1}^2}{P_0^2} \rightarrow \frac{P_{e1}^2}{P_0^2} = 10^{\frac{L_{p1}}{10}}$$

La pression résultante de la superposition du bruit de fond et du bruit inconnu est telle que :

$$\frac{P_e^2}{P_0^2} = \frac{P_{e0}^2 + P_{e1}^2}{P_0^2} \rightarrow 10^{\frac{L_p}{10}} = 10^{\frac{L_{p0}}{10}} + 10^{\frac{L_{p1}}{10}}$$

$$\text{où } 10^{\frac{L_{p1}}{10}} = 10^{\frac{L_p}{10}} - 10^{\frac{L_{p0}}{10}}$$

$$\text{soit } \rightarrow L_{p1} = L_p + 10 \log(1 - 10^{\frac{L_{p0} - L_p}{10}})$$



Caractéristiques énergétique des sons

Ainsi le niveau inconnu L_{p1} est égal au niveau résultant L_p auquel on retranche un terme fonction de la différence qui existe entre niveau résultant et niveau de bruit de fond (voir abaque figure 1.17)

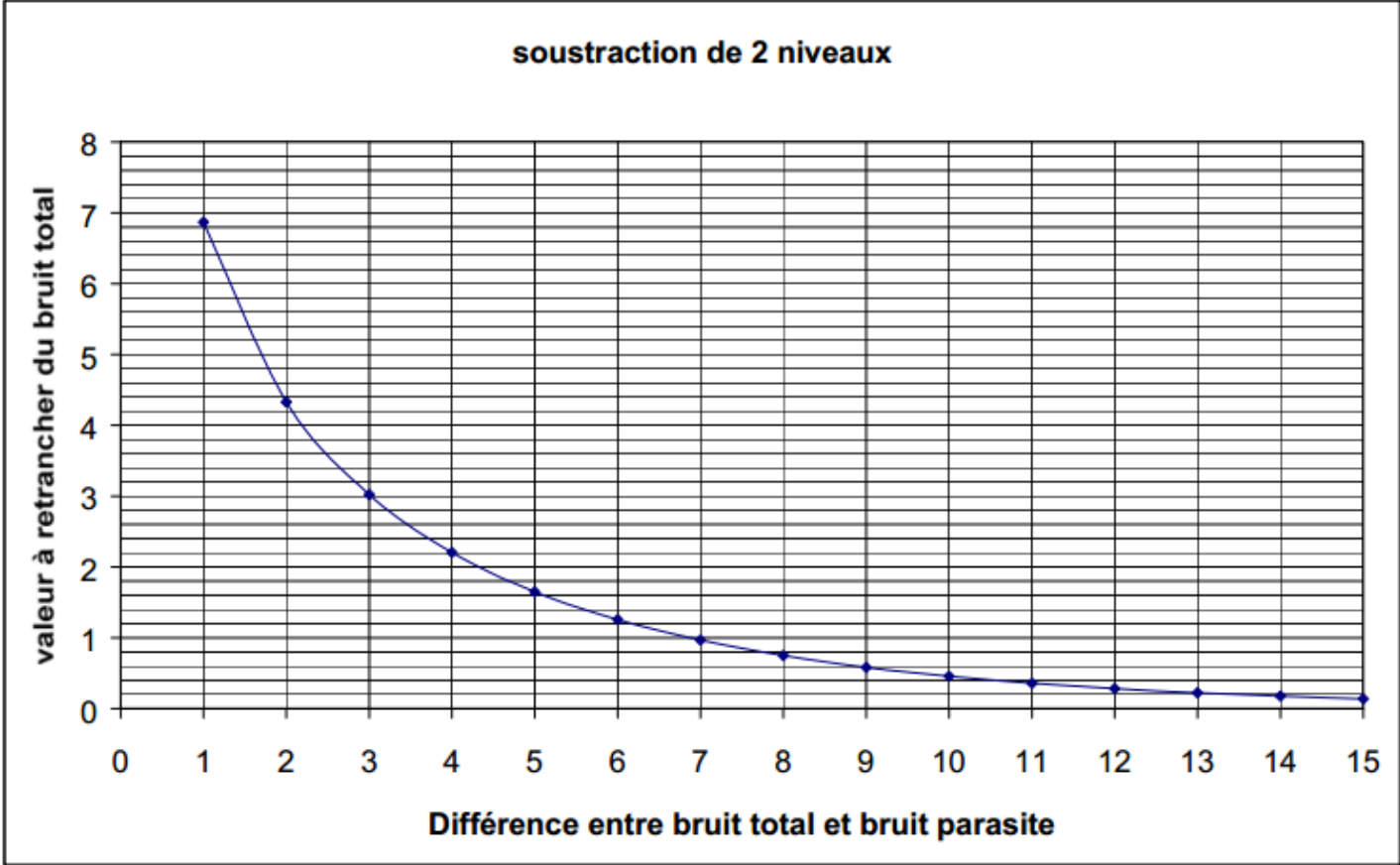


Figure 1.17 : Abaque de soustraction de 2 niveaux sonores.



Caractéristiques énergétique des sons



1.9. Analyse statistique des bruits instables.

Par opposition au bruit stable, un bruit est instable lorsque son niveau et son spectre évoluent au cours du temps. C'est le cas notamment d'un bruit de circulation routière, dont le spectre dépendra de la nature du trafic (proportion entre véhicules légers et poids lourds).

Il est important de pouvoir caractériser, de manière précise, ce type de bruits pour deux raisons:

- d'une part pour évaluer les doses de bruit que subissent les personnes touchées,
- d'autre part pour rechercher leur influence sur la gêne des individus, et trouver les seuils tolérables.

On définit l'étendue des variations du niveau d'intensité sur une période d'observation T donnée grâce à ce que l'on appelle la statistique des niveaux de bruit. On procède de la manière suivante :

Soit un bruit de niveau L_p variable au cours du temps (figure 1.18), L'analyse statistique consiste à découper l'étendue de variation du niveau en classes de niveau (généralement de 5 en 5 dB). On détermine alors le pourcentage de temps pendant lequel le niveau s'est situé dans chacune de ces classes.



Caractéristiques énergétique des sons

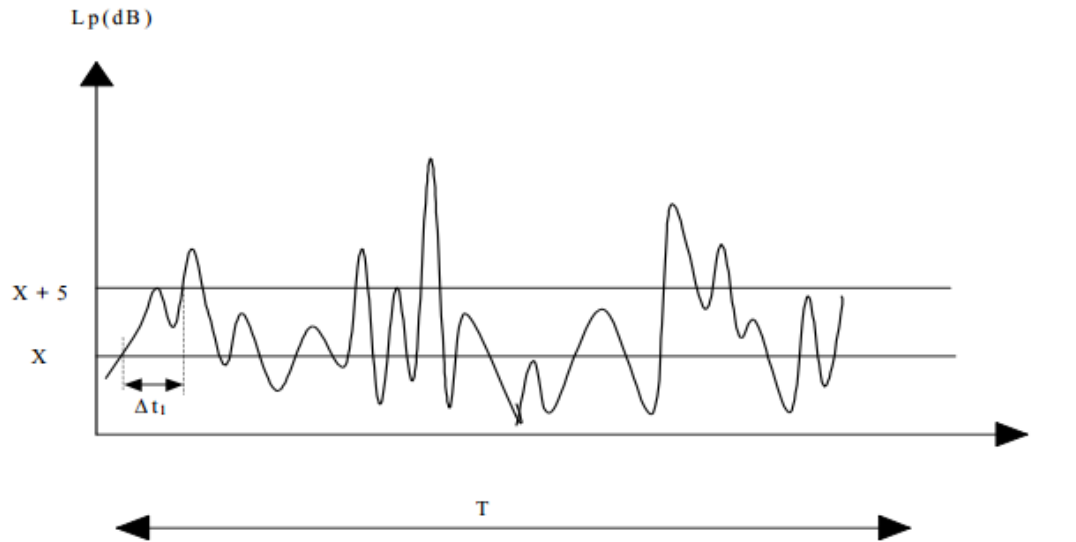


Figure 1.18 : Bruits instables

Ainsi, à titre d'exemple (figure 1.18) le niveau s'est situé entre X et X + 5 dB pendant un pourcentage de temps égal à :

$$P = \frac{\Delta t_1 + \Delta t_2 + \dots + \Delta t_n}{T}$$

Ceci permet alors de constituer l'histogramme du bruit (répartition du niveau au cours du temps) (figure 1.19)



Caractéristiques énergétique des sons

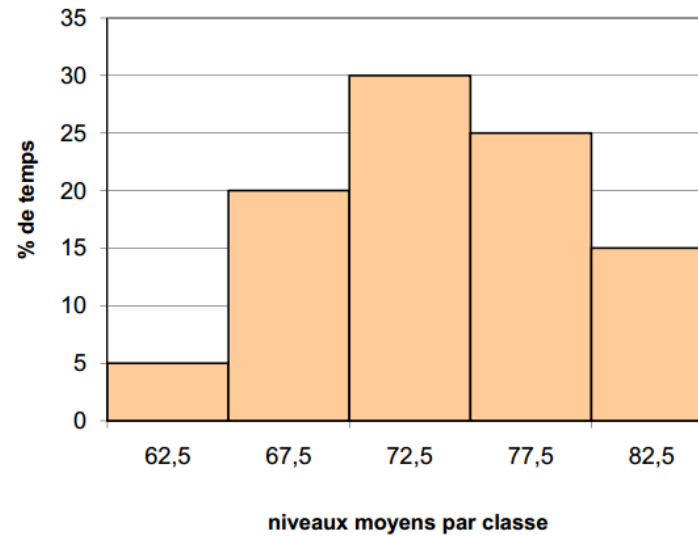


Figure 1.19 : Répartition temporelle d'un bruit

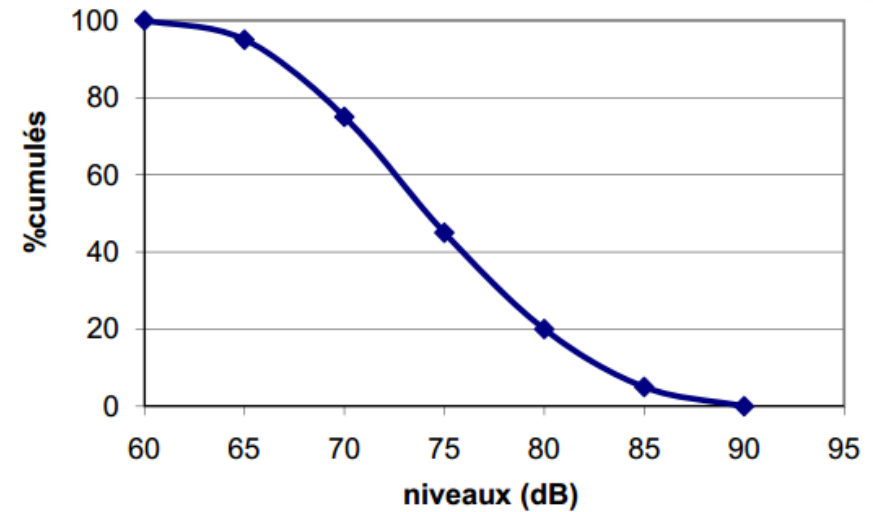


Figure 1.20 : Fonction cumulée

On déduit de cet histogramme une fonction cumulée représentant le % de temps pendant lequel un niveau donné a été dépassé (figure 1.20)

De cette dernière, on définit 3 niveau caractéristiques du bruit instable :

- L_{10} : niveau dépassé 10 % du temps (niveau de crête)
- L_{90} : niveau dépassé 90 % du temps (niveau de bruit de fond)
- L_{50} : niveau dépassé 50 % du temps (niveau moyen)



Caractéristiques énergétique des sons

La gêne engendrée par un bruit instable dépendra à la fois de son niveau moyen ainsi que de son caractère plus ou moins impulsif représenté par l'écart entre niveau de crête et niveau de bruit de fond ($L_{10} - L_{90}$).

Niveau équivalent L_{eq}

Pour les bruits à caractère impulsif, c'est à dire des bruits dont le niveau varie très rapidement dans le temps (figure 1.21), il est préférable d'en calculer l'énergie moyenne sur un temps d'observation T donné.

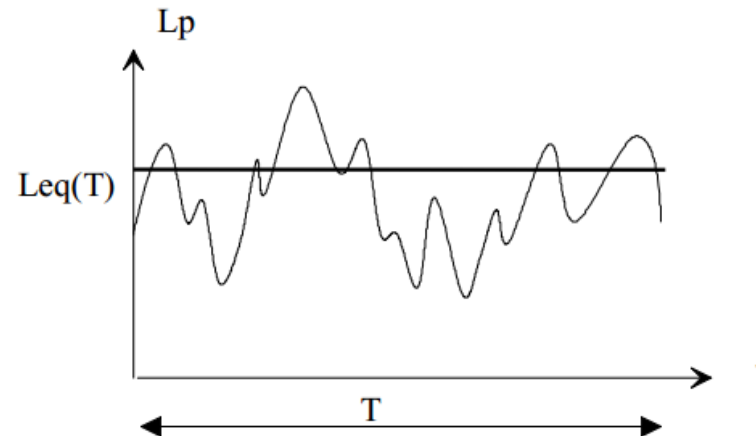


Figure 1.21 : Bruit instationnaire



Caractéristiques énergétique des sons

On définit le niveau équivalent L_{eq} d'un bruit instationnaire, comme étant le niveau d'un bruit stable qui développerait la même énergie que le bruit instable pendant le même temps T

$$L_{eq}(T) = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T \frac{I(t)}{I_0} dt \right) = 10 \log \left(\frac{1}{T} \int_0^T 10^{\frac{L_p(t)}{10}} dt \right)$$

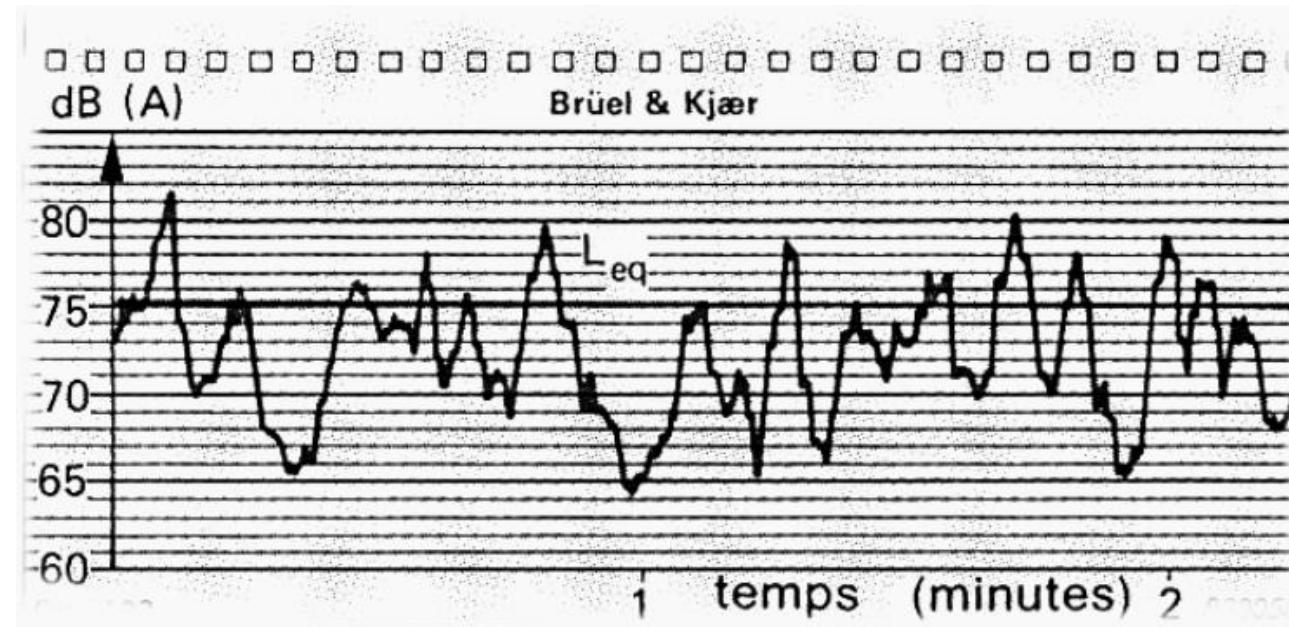


Figure 1.22 : Enregistrement d'un bruit instationnaire



Caractéristiques énergétique des sons

Exemple :

Un bruit instable est tel que son niveau est compris entre :

70 et 75 dB pendant 10 % du temps

75 et 80 dB pendant 40 % du temps

80 et 85 dB pendant 30 % du temps

85 et 90 dB pendant 20 % du temps

Il a pour niveau équivalent : $Leq = 10 \log \left(\sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi}}{10}} \cdot \frac{\Delta t_i}{T} \right)$

L_{pi} est le niveau moyen de la classe (i)

Pour la classe (1) $L_{p1} = \frac{75 + 70}{2} = 72,5 \text{ dB}$

$$Leq = 10 \log (10^{7,25} \times 0,1 + 10^{7,75} \times 0,4 + 10^{8,25} \times 0,3 + 10^{8,75} \times 0,2)$$

$$Leq = 82,8 \text{ dB}$$

1.10. Sensation des bruits



Caractéristiques énergétique des sons



1.10.2. Perception sonore

L'oreille est sensible à une multitude d'ondes acoustiques dès lors que les fréquences sont comprises entre 20 et 17000 Hz et que la pression engendrée est supérieure à $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (pression minimale audible à 1000 Hz) . Une pression acoustique de 20 pascals est considérée comme le seuil de la douleur .

En première approche la sensation à la fréquence de référence de 1000Hz est proportionnelle au logarithme de la pression efficace (loi de Weber-Fetchner) et sera corrélée au niveau de pression ou d'intensité.

Toutefois à niveau sonore donné la sensation dépendra de la fréquence, l'oreille étant plus sensible à certaines fréquences qu'à d'autres.

1.10.3. Courbes d'égale sensation.

Fletcher et Munson (1933) ont établi des relations d'égale sensation entre les sons purs en recherchant quelle intensité il fallait à un son de fréquence donnée pour qu'il engendre la même impression de force sonore qu'un autre son pris comme référence. Le son de référence est un son pur de fréquence 1000 Hz. Ce choix résulte du fait qu'à cette fréquence un doublement de force sonore correspond à un décuplement de l'intensité. De sorte qu'un son de référence 1000 Hz paraît deux fois plus fort qu'un autre de même fréquence si son niveau est de 10 dB plus élevé.



Caractéristiques énergétique des sons

La variation de sensation en fonction du niveau sonore et de la fréquence est montrée sur la figures 1.25 et 1.26.

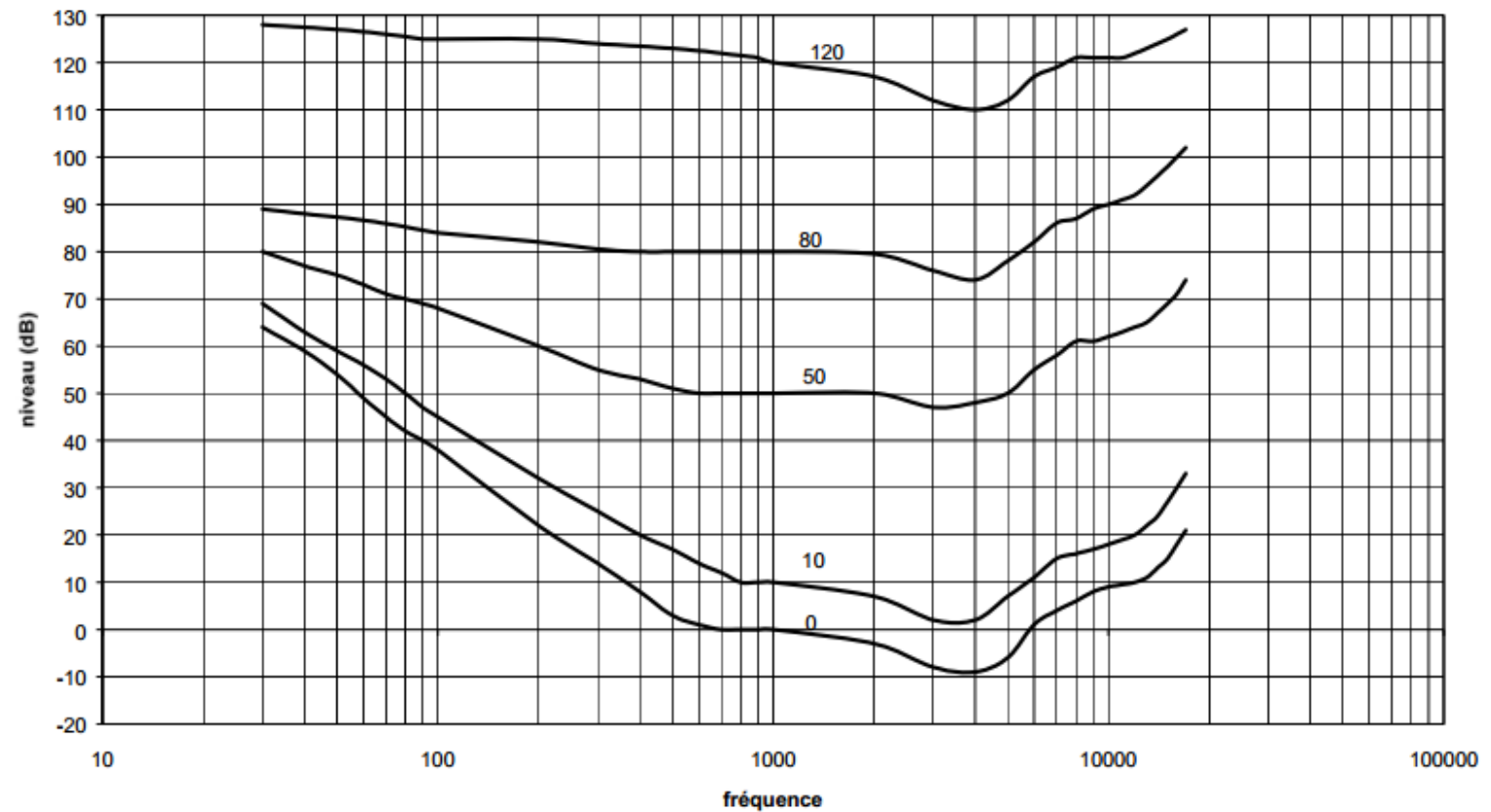


Figure 1.25 : Courbes d'égale sensation



Caractéristiques énergétique des sons

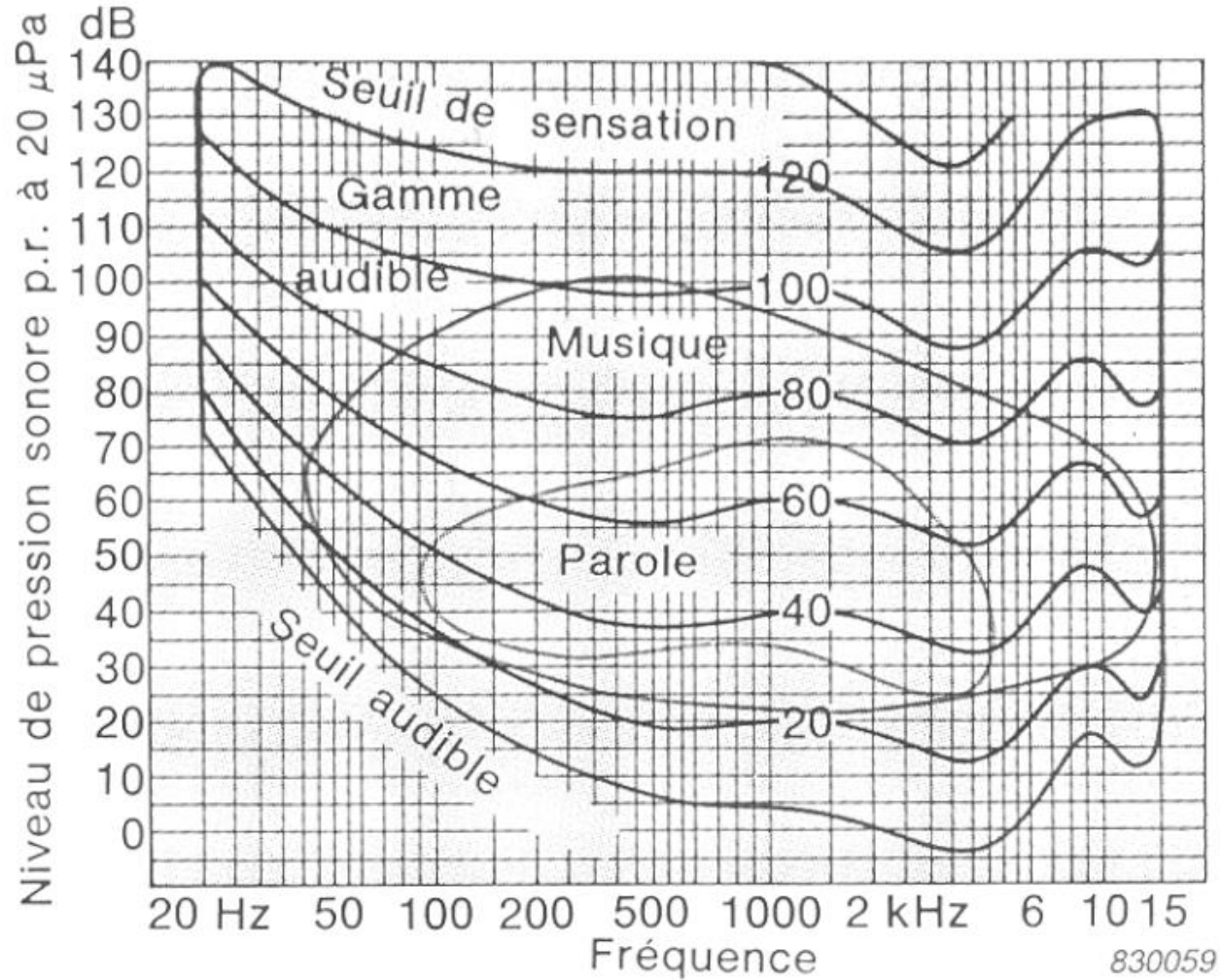


Figure 1.26 : Courbes d'égale sensation



Caractéristiques énergétique des sons

De ce réseau de courbes on définit le niveau d'isophonie (ou d'égale sensation) d'un son de fréquence donnée par le niveau d'un son qui serait ressenti de façon identique à 1000 Hz. Ce niveau étant exprimé en « phones ».

Par exemple les 3 sons 70dB à 100Hz, 55dB à 1000Hz, et 53 dB à 4000Hz issus de la même courbe d'égale sensation auront le même niveau d'isophonie de 55 phones.

A sensation égale c'est donc à 4000 Hz que le niveau physique en dB sera le plus faible. La sensation est donc maximale autour de 4000 Hz.

A l'inverse l'oreille a une sensibilité qui diminue dans les basses et hautes fréquences .

1.10.4. Evaluation de la sensation en dB pondérés

Les appareils de mesure des niveaux de bruit sont aujourd'hui équipés de filtres dits de pondération dont la fonction est de corriger les niveaux physiques suivant la fréquence.

Ainsi ces filtres vont atténuer les niveaux dans les basses et hautes fréquences par rapport à la fréquence 1000Hz considérée comme référence.

L'appareil compose alors ces niveaux pondérés et affiche le niveau global perçu.

Il existe trois filtres de pondération notés (A) (B) et (C).(voir figure 1.19)

Le filtre de pondération (A) permet d'évaluer la sensation de bruits dont les niveaux physiques sont inférieurs à 55 dB. La sensation est exprimée dans ce cas en dB (A).

Le filtre (B) permet d'évaluer la sensation des bruits dont les niveaux sont compris entre 55 dB et 85 dB. La sensation s'exprime en dB (B).

Le filtre (C) permet d'évaluer la sensation des bruits dont les niveaux sont compris entre 85 et 120 dB. La sensation s'exprime alors en dB (C).

Remarque : *En France, les seuils de gêne sont exprimés en dB(A) quelque soit le niveau global physique des bruits.*



Caractéristiques énergétique des sons

REPONSE EN FREQUENCE EN CHAMP LIBRE DES SONOMETRES DE PRECISION, EN dB PAR RAPPORT A UNE REPONSE A 1000 Hz, LORSQUE LES CIRCUITS DE PONDERATION SONT INSERES.

Fréquence Hz	Pondération (A) dB	Pondération (B) dB	Pondération (C) DB
10	-70.4	-38.2	-14.3
12.5	-63.4	-33.2	-11.2
16	-56.7	-28.5	-8.5
20	-50.5	-24.2	-6.2
25	-44.7	-20.2	-4.4
31.5	-39.4	-17.1	-3.0
40	-34.6	-14.2	-2.0
50	-30.2	-11.6	-1.3
63	-26.2	-9.3	-0.8
80	-22.5	-7.4	-0.5
100	-19.1	-5.6	-0.3
125	-16.1	-4.2	-0.2
160	-13.4	-3.0	-0.1



Caractéristiques énergétique des sons



200	-10.9	-2.0	0
250	-8.6	-1.3	0
315	-6.6	-0.8	0
400	-4.8	-0.5	0
500	-3.2	-0.3	0
630	-1.9	-0.1	0
800	-0.8	0	0
1000	0	0	0
1250	0.6	0	0
1600	1.0	0	-0.1
2000	1.2	-0.1	-0.2
2500	1.3	-0.2	-0.3
3150	1.2	-0.4	-0.5
4000	1.0	-0.7	-0.8
5000	0.5	-1.2	-1.3
6300	0.1	-1.9	-2.0
8000	-1.1	-2.9	-3.0
10000	-2.5	-4.3	-4.4
12500	-4.3	-6.1	-6.2

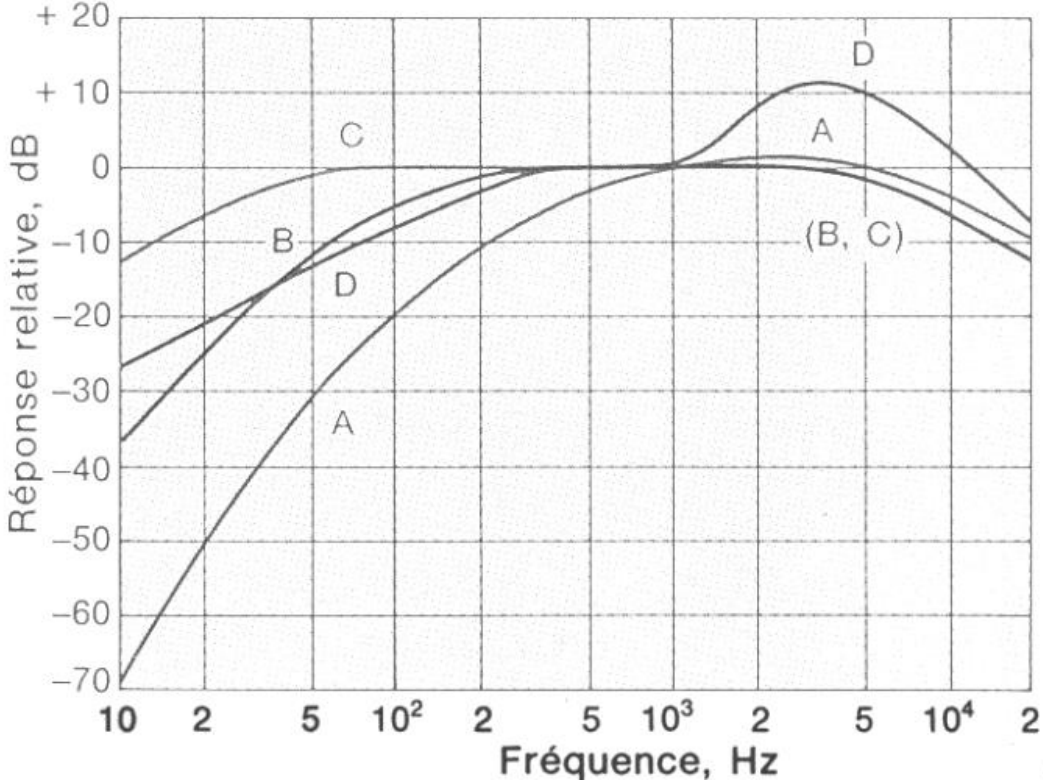


Caractéristiques énergétique des sons

16000	-6.6	-8.4	-8.5
20000	-9.3	-11.1	-11.2

(documents B&K)

Tableau 1.2



Courbes de pondérations normalisées pour sonomètres. On retrouve l'allure inversée des courbes de sensation auditive constante

Figure 1.27



Caractéristiques énergétique des sons



1.10.5. Courbes NR (Noise Rating)

Courbes d'équibruyance

Nous avons vu (paragraphe 1.8.2) la façon de comparer la sensation engendrée par des sons purs par référence à un autre de fréquence 1000 Hz. Il est en fait exceptionnel d'avoir à faire à de tels sons, la plupart des bruits étant à bande large.

On a pu établir de façon analogue aux courbes de Fletcher et Munson, des courbes d'égale bruyance en comparant les sensations produites par des bandes de bruit de largeur plus ou moins étroite à la sensation engendrée par une bande de bruit de même largeur centrée sur la fréquence 1000 Hz. (figure 1.28).

Les courbes d'égale impression de bruit sont appelées courbes NR (de l'anglais Noise Rating) (voir Figure 1.27).

On constate alors une sensibilité beaucoup plus faible aux fréquences basses qu'aux fréquences aiguës.

Chacune des courbes porte un numéro correspondant au niveau sonore de la bande d'octave de fréquence centrale $f = 1000$ Hz.

L'évaluation de la sensation d'un bruit s'opère alors de la manière suivante :

De la connaissance de l'analyse du bruit en bandes d'octave, on reproduit le spectre sur le réseau de courbes de la Figure 1.27. Le numéro de la courbe immédiatement au-dessus du spectre donne l'indice NR du bruit.

Remarque :

Si l'on connaît l'analyse du bruit en tiers d'octave, il faut combiner les niveaux de trois bandes 1/3 d'octave pour retrouver le résultat de l'analyse d'octave. La démarche est ensuite la même que celle indiquée ci-dessus.



Caractéristiques énergétique des sons

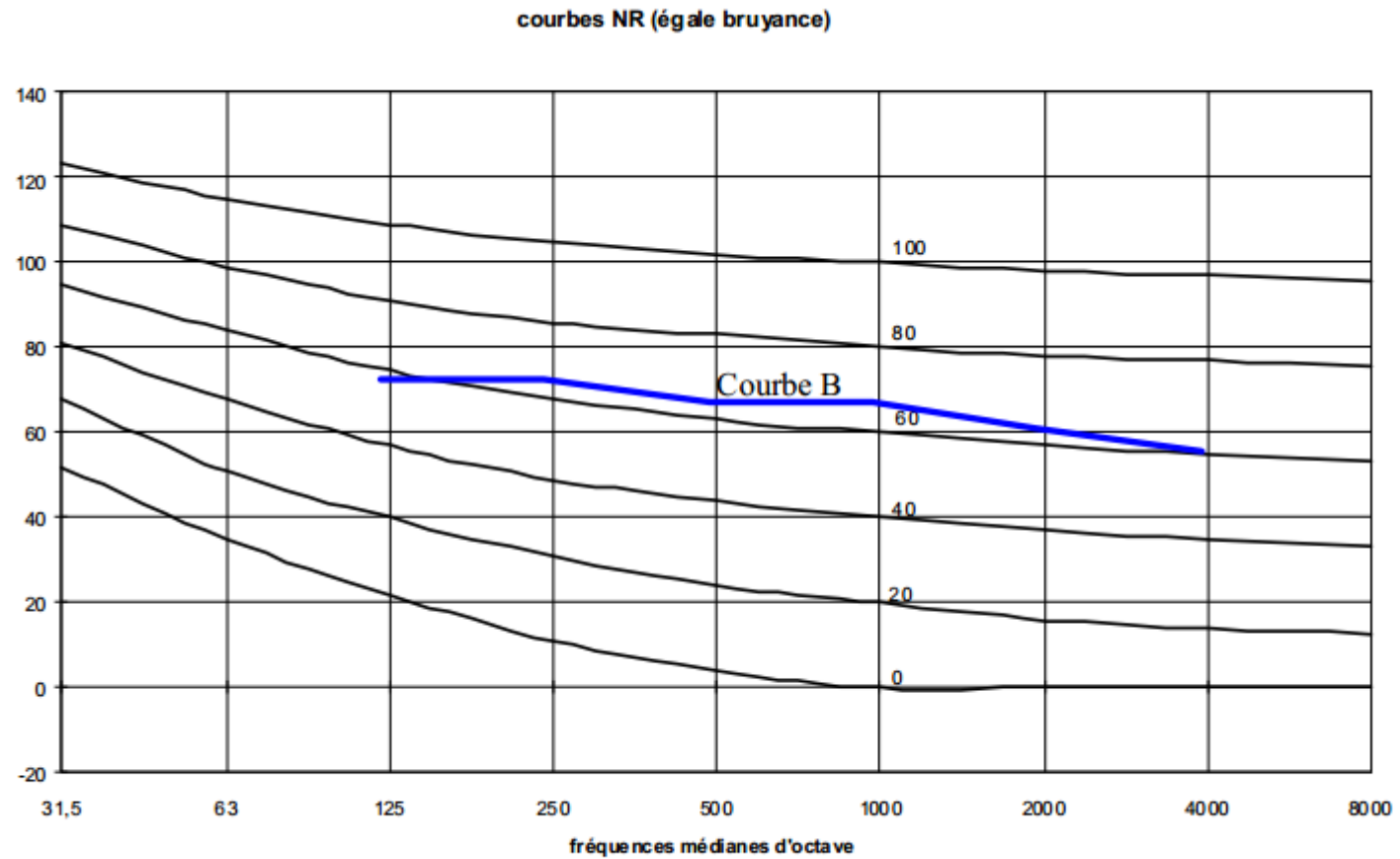


Figure 1.28 : Courbes NR (égale bruyance) (Norme NF S 30-010)



Caractéristiques énergétique des sons



Exemple de calcul : soit le spectre tiers d'octave d'un bruit de trafic routier dont on veut calculer son niveau d'intensité pondéré (A), ainsi que son indice NR.

F (Hz)	Niveaux (dB)	Pondération (A)	Niveaux pondérés (A)
100	66	-19.1	46.5
125	66	-16.1	45.9
157	66	-13.4	52.6
200	65	-10.9	54.1
250	65	-8.6	56.4
315	63	-6.6	56.4
400	62	-4.3	57.2
500	61	-3.2	57.8
630	61	-1.9	59.1
800	61	-0.8	60.2
1000	60	0	60
1250	59	+0.6	59.6
1600	59	+1.0	60
2000	58	+1.2	59.2
2500	56	+1.3	57.3
3150	54	+1.2	55.2
4000	52	+1	53.0
5000	50	+0.5	50.5



Caractéristiques énergétique des sons

La composition des niveaux pondérés conduit au niveau global de 70 dB (A).

Reportons ce spectre en bandes d'octave sur le réseau de courbes NR (courbe B de la Figure 1.27), le numéro de la courbe tangente au spectre est sensiblement de 66.

Il ne faut pas confondre les valeurs trouvées par ces deux types d'évaluation. En général, le niveau d'intensité pondérée (A) est supérieur de 5 à 10 dB à l'indice NR. Si le bruit avait un spectre en bandes d'octave qui suive exactement une courbe NR, son niveau d'intensité pondérée (A) serait supérieur au numéro de la courbe correspondante d'une valeur notée à son côté.

Si on limite l'évaluation du niveau pondéré (A) aux bandes 125 à 4000 Hz, ce niveau est supérieur de 6 à 8 dB par rapport au niveau de la courbe NR correspondante. Ecart reproduit entre parenthèses sur la figure 1.20.

En pratique on admet pour la plupart des bruits que la différence entre le niveau pondéré (A) et l'indice NR est de 5.

$$L_p \text{ [dB (A)]} - \text{NR} = 5$$

On spécifiera par exemple qu'un bruit de ventilateur ne devra pas dépasser soit 35 dB (A), ou que les valeurs des niveaux en bandes d'octave devront se situés en dessous de la courbe NR 30.



Caractéristiques énergétique des sons

1.11. Les appareils de mesure : le sonomètre

Le sonomètre est un appareil portatif utilisé pour mesurer des niveaux sonores soit physique en dB, soit pondérés (dB(A), dB(B) ou dB(C)) qui représentent des niveaux réellement perçus par l'individu.

Il est composé (Figure 1.23)

- d'un microphone qui convertit les variations de pression de l'air produites par un bruit en un signal électrique proportionnel.
- d'un préamplificateur monté près du microphone qui convertit la haute impédance de ce dernier en une basse impédance de façon à pouvoir utiliser des longs câbles pour appliquer le signal à l'entrée de l'amplificateur sans altérer la sensibilité globale de l'ensemble de mesure.
- Après amplification et pondération ou filtrage approprié, le signal est appliqué à un redresseur spécial. Celui-ci comprend des constantes de temps bien définies pour l'intégration des



Caractéristiques énergétique des sons

fluctuations du niveau alternatif du signal afin d'obtenir un signal continu proportionnel à son niveau efficace qui est ensuite appliqué à l'indicateur pour donner une lecture directe du niveau.

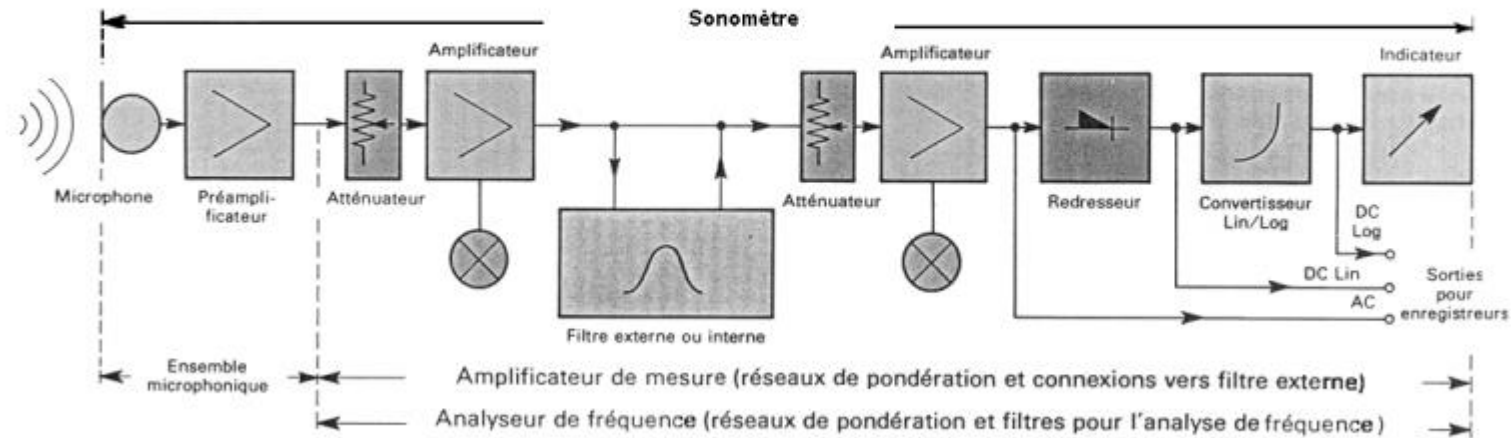


Figure 1.29 : Schéma fonctionnel du sonomètre.



Caractéristiques énergétique des sons



1.12. Seuils à ne pas dépasser

Le risque de détérioration permanente du système auditif est lié, non seulement à l'exposition à un bruit, mais plus encore aux conditions d'exposition. Il faudra en effet tenir compte :

- du niveau global du bruit
- de la durée totale d'exposition au cours d'une journée de travail
- de la composition et de la nature du bruit :
 - exposition continue à un bruit à large bande (bruit contenant toutes les fréquences)
 - exposition intermittente : atelier d'usinage
 - exposition à un bruit à fréquences pures : toupie à bois
 - exposition à des bruits de chocs : presse

Bruits industriels

- $L_{eq}(8h/j)$ ou $L_{eq}(40h/semaine) < 80$ dB(A) : aucun risque
- $L_{eq}(8h/j)$ ou $L_{eq}(40h/semaine) = 85$ dB(A) : Cote d'alerte, surveillance du niveau de bruit et mesures éventuelles de protection des individus.
- $L_{eq}(8h/j)$ ou $L_{eq}(40h/semaine) = 90$ dB(A) : Cote danger, contrôle audiométrique périodique, entreprendre des actions pour réduire le bruit

Logements

Les critères du bruit tolérable dans les habitations font entrer en ligne de compte les particularités d'environnement et le mode de vie des habitants. Ils seront donc définis à partir d'un critère de base modulé par des termes correctifs tenant compte des périodes d'activités ou de repos et du type de zone résidentielle.



Caractéristiques énergétique des sons

On estime généralement que le critère de base doit se situer entre 35 et 45 dB (A) à l'intérieur des logements affectés des corrections suivantes :

a) pour les périodes d'activités ou de repos

de jour	:	entre 6 h et 18 h	0 dB (A)
en soirée	:	entre 18 h et 22 h	-5 dB (A)
de nuit	:	entre 22 h et 6 h	-10 dB (A)

b) pour le type de zone résidentielle.

Zone rurale, zone d'habitation	0 dB (A)
Zone urbaine	+ 10 dB (A)
Zone à prédominance industrielle	+ 25 dB (A)

A l'intérieur des habitations le critère de base retenu est de 35 dB (A) de jour et de 25 dB (A) de nuit. Toutes ces définitions sont assez imprécises. Cela tient à ce que la nature des bruits est très diverse et que la gêne qu'ils provoquent est variable d'un individu à un autre.

Devant la diversité des bruits que l'on est susceptible de rencontrer on a tenté de rechercher un "indice de pollution" prenant en compte à la fois l'énergie moyenne des bruits et les variations de leurs niveaux pendant une période d'écoute donnée.



Caractéristiques énergétique des sons



D.W. ROBINSON propose un indice de pollution L_{np} faisant apparaître le niveau équivalent L_{eq} et l'écart quadratique moyen.

$$L_{NP} = L_{eq} + k \sigma$$

$$K = 2,56$$

$$\sigma = \left[\frac{1}{T} \int_0^T (L - L_{50})^2 dt \right]^{\frac{1}{2}}$$

D'autres méthodes d'évaluation de la gêne ont été proposées. En France on a retenu d'exprimer la gêne par le niveau d'intensité pondéré (A). C'est cette valeur qui est prise en compte dans les diverses réglementations.



Références

Thivant, M. (2003). *Modélisation de la propagation acoustique par la méthode du potentiel d'intensité* (Doctoral dissertation).

Baron, P. (1956). Dispositif d'intégration de l'intensité acoustique; application à la mesure du bruit des machines. *Acta Acustica united with Acustica*, 6(5), 412-420.

Castor, K. (2001). *Caractérisation des sources acoustiques associées aux décharges couronnes négatives* (Doctoral dissertation, Le Mans).

Magnan, P. (1995). *Etude de la propagation et de la dissipation du signal acoustique au niveau de l'oreille interne du cobaye* (Doctoral dissertation, Montpellier 2).

Hétu, R. (1985). Analyse des critères d'impulsionnalité des bruits dans le contexte des limites réglementaires d'exposition en milieu de travail. *Canadian Acoustics*, 13, 4.

Rilling, G., Flandrin, P., & Gonçalves, P. (2007). Une extension bivariée pour la Décomposition Modale Empirique: Application à des bruits blancs complexes. In *21^e Colloque GRETSI, Troyes, FRA, 11-14 septembre 2007*. GRETSI, Groupe d'Etudes du Traitement du Signal et des Images.

Champelovier, P., Cremezi, C., & Lambert, J. (2001). Evaluation de la gêne due à l'exposition combinée aux bruits routier et ferroviaire.

MEUNIER, S. (2001). Critères psychoacoustiques des nuisances sonores: Evaluation perceptive de bruits de circulation routière et ferroviaire. *Acoustique & techniques (Neuilly-sur-Seine)*, (26), 30-35.