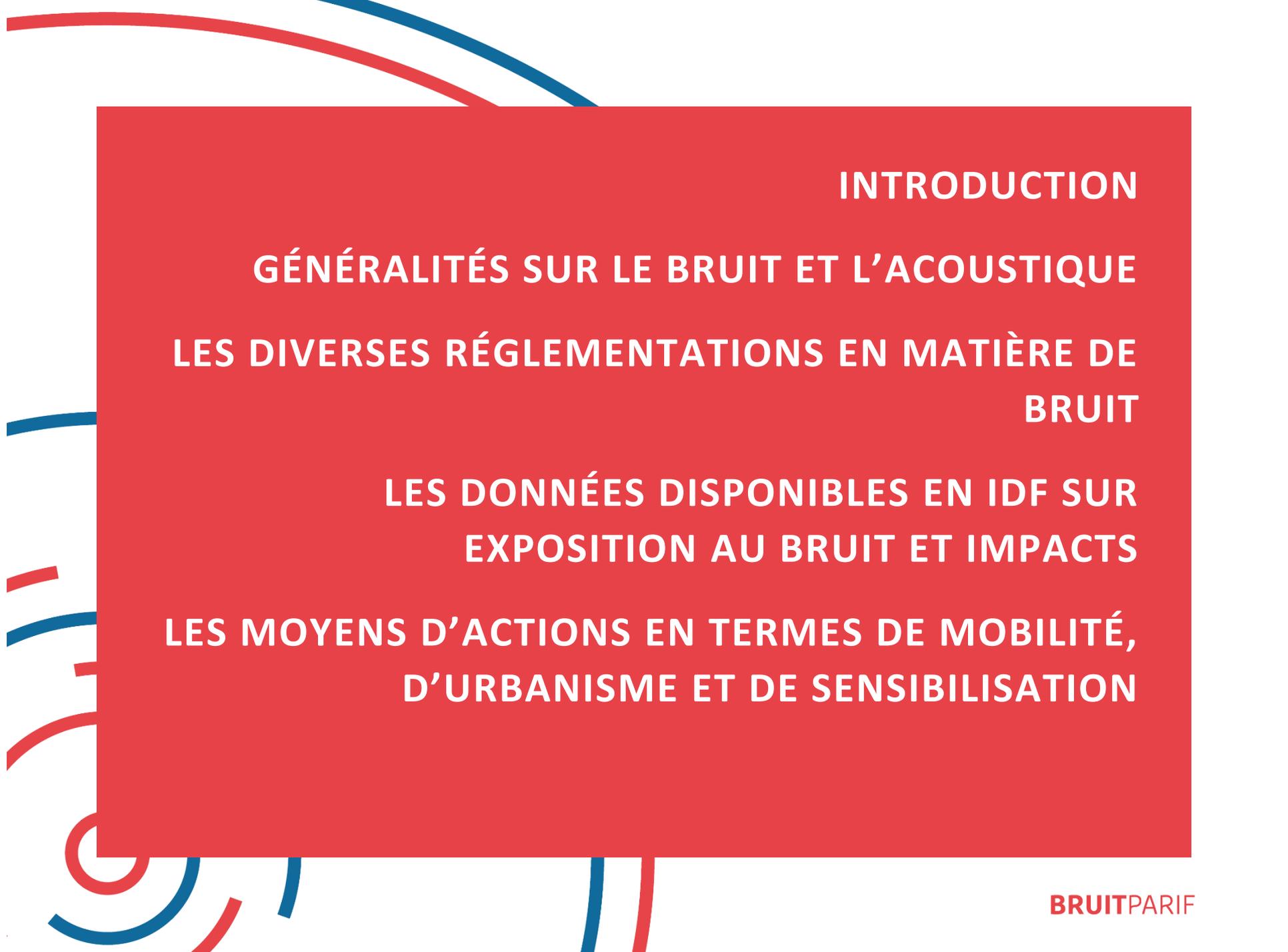




MÉTHODE DE MESURE DES EXPOSITIONS AU BRUIT UPC / EHESP / UPS

OCTOBRE 2023



INTRODUCTION

GÉNÉRALITÉS SUR LE BRUIT ET L'ACOUSTIQUE
LES DIVERSES RÉGLEMENTATIONS EN MATIÈRE DE
BRUIT

LES DONNÉES DISPONIBLES EN IDF SUR
EXPOSITION AU BRUIT ET IMPACTS

LES MOYENS D' ACTIONS EN TERMES DE MOBILITÉ,
D'URBANISME ET DE SENSIBILISATION

**BRUITPARIF
ET SES
ACTIVITÉS
EN QUELQUES
MOTS**

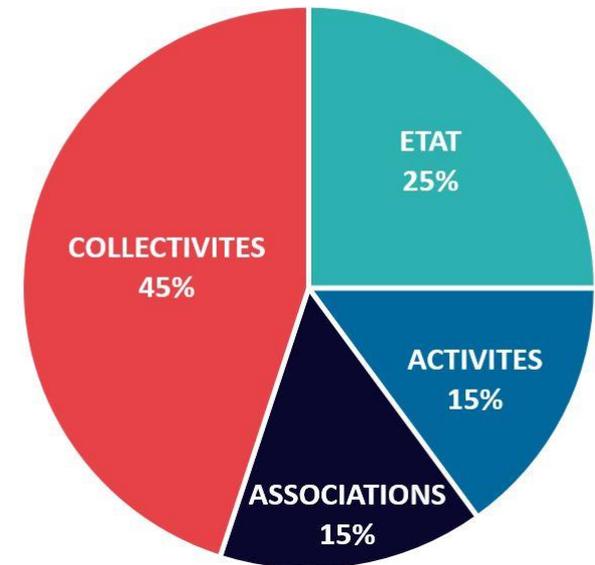


BRUITPARIF

BRUITPARIF, C'EST :

- Le centre d'évaluation technique de l'environnement sonore de la région Île-de-France
- Une association créée en 2004 à l'initiative du Conseil régional
- Une gouvernance quadripartite avec plus de 90 membres
- Une compétence régionale mais aussi une implication forte aux niveaux national et européen
- De nombreux partenariats

LES MEMBRES DE BRUITPARIF
RÉPARTITION DES VOIX PAR COLLÈGE



Etat



Associations



et des personnalités qualifiées

Collectivités territoriales



Métropole du Grand Paris



Des EPCI :



CA Paris Vallée de la Marne
CA Marne et Gondoire
CA Melun Val de Seine
CA Saint-Quentin-en-Yvelines
CA Versailles Grand Parc
CA St-Germain Boucles de Seine
Cœur d'Essonne Agglomération
Communauté Paris-Saclay
CA Grand Paris Sud
CA Val d'Yerres Val de Seine

CA Cergy-Pontoise
CA Plaine Vallée
CA Roissy Pays de France
CA Val Parisis
CC Haute Vallée de Chevreuse
CU Grand Paris Seine et Oise
EPT Paris Est Marne et Bois
EPT Grand Orly Seine Bièvre

25 communes

Activités économiques



3 MISSIONS D'INTÉRÊT GÉNÉRAL

De la mesure à l'information



1. OBSERVER et
ÉVALUER

Traitement et analyse

Le personnel analyse les données
collectées, produit des études
et des cartographies



2. ACCOMPAGNER

Diffusion des informations

Une fois les résultats produits, Bruitparif sensibilise
le grand public et accompagne les acteurs territoriaux



3. INFORMER et
MOBILISER

GÉNÉRALITÉS SUR LE BRUIT ET L'ACOUSTIQUE



BRUITPARIF

DÉFINITIONS DU BRUIT

« Son ou ensemble de sons qui se produisent en dehors de toute harmonie régulière ».

9^{ème} édition du dictionnaire de l'Académie française

« Tout phénomène acoustique produisant une sensation généralement considérée comme désagréable ou gênante ».

AFNOR

« Le bruit est un ensemble de sons perçus comme étant sans harmonie, par opposition à la musique »

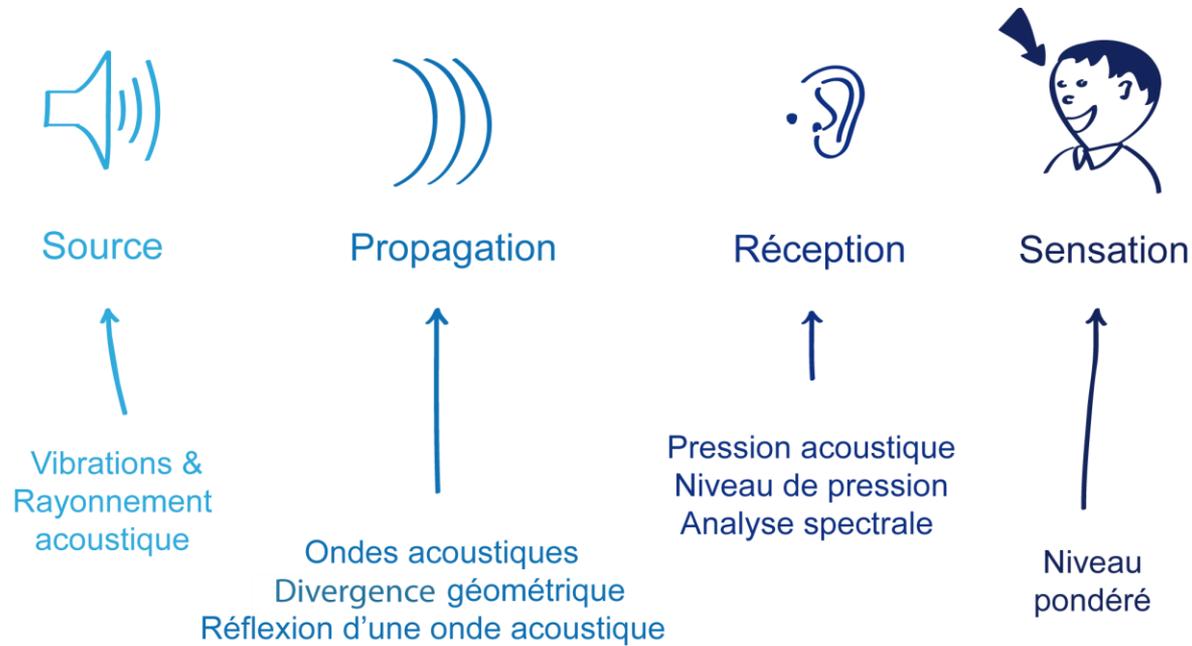
Larousse

Chaque individu possède sa propre perception du bruit

Le son devient un bruit lorsqu'il produit une sensation auditive considérée comme désagréable, gênante ou dangereuse pour la santé.

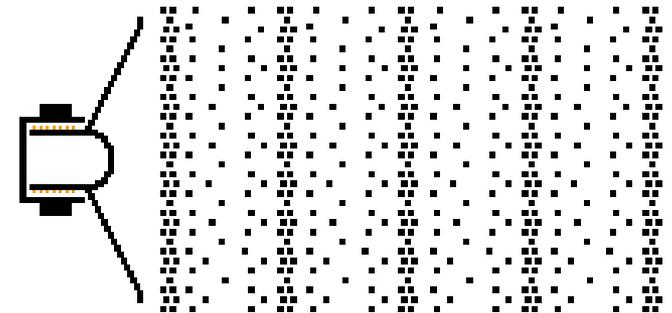


DE L'ÉMISSION À LA PERCEPTION



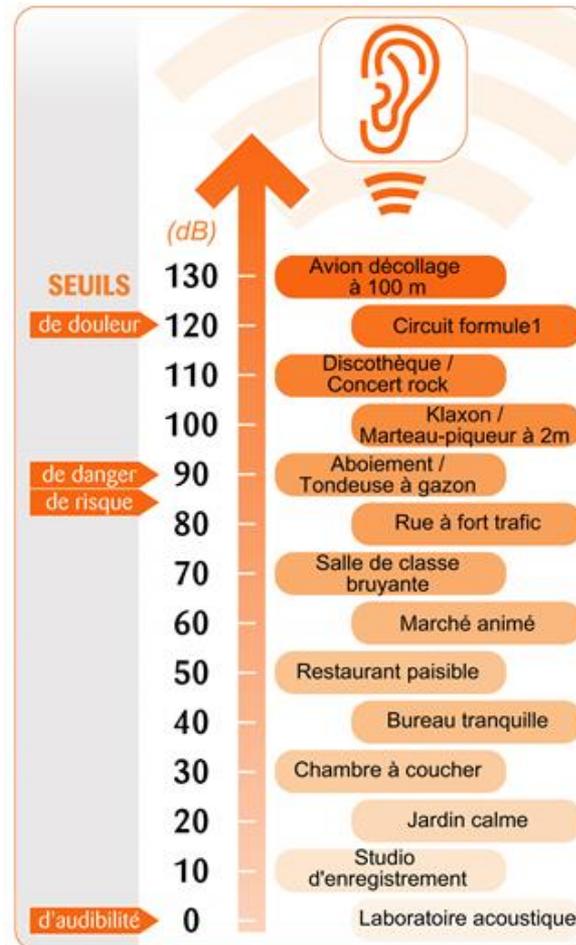
**... Mais les ondes acoustiques,
qu'est-ce que c'est ?**

Ce sont des vibrations d'un milieu qui se transmettent de proche en proche sous forme d'ondes de pression (succession de compressions / dilatations)



CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

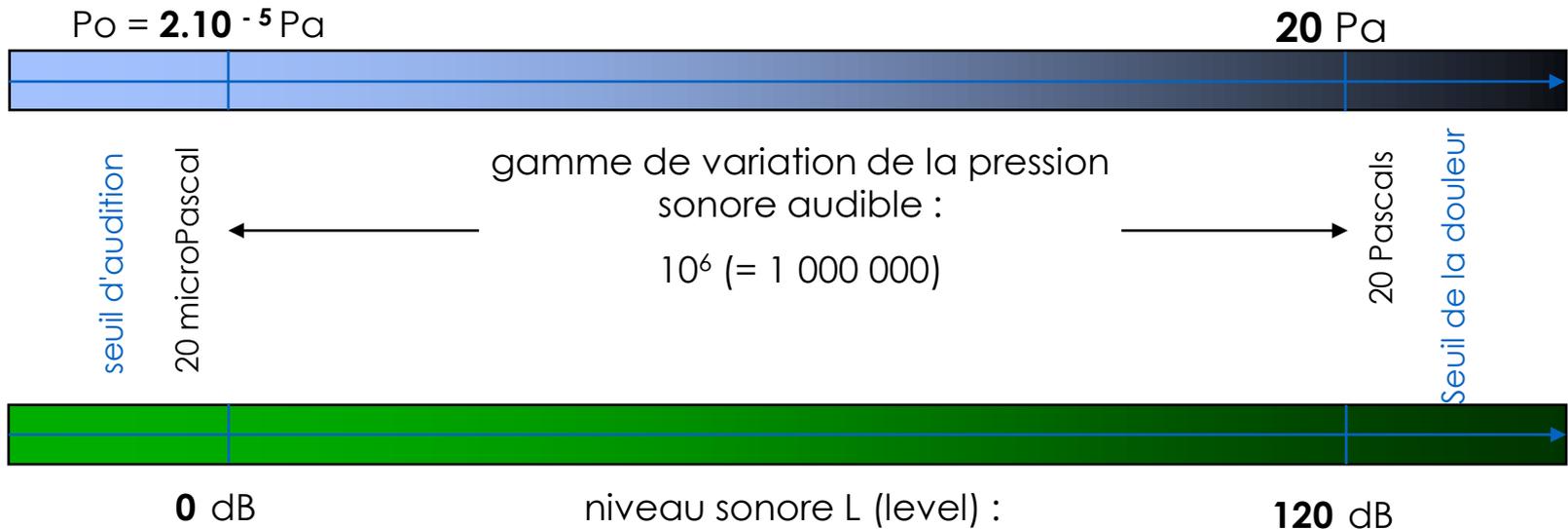
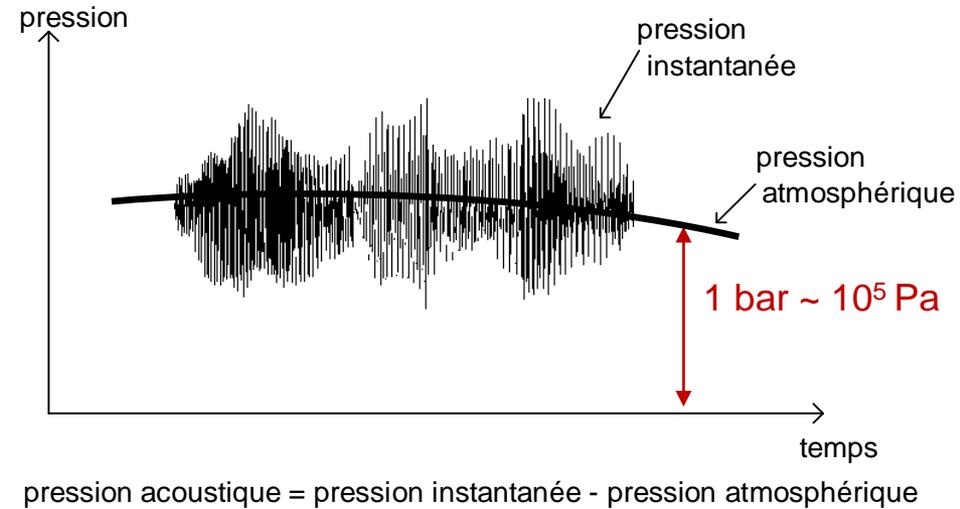
- **Intensité** (faible à fort) ou niveau sonore, désigne le niveau de pression acoustique en Pascals (Pa) mais est généralement exprimé en décibels (dB)



CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

La sensation auditive est due à la fluctuation de la *pression acoustique* (p)

$$L_{dB} = 10 \log \frac{p^2}{p_o^2} \longrightarrow L_{dB} = 20 \log \frac{p}{p_o}$$



PRINCIPE DE BASE DE LA MESURE DU BRUIT

Le microphone comme transducteur pour transformer les variations de pression en signal électrique

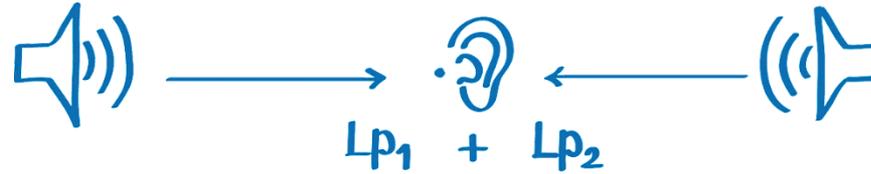
Le pré-amplificateur pour amplifier le signal électrique en sortie du microphone

Une unité de traitement pour afficher le niveau sonore correspondant, stocker et transmettre les données horodatées

Un sonomètre classique permet d'enregistrer l'évolution du niveau sonore au cours du temps. Il ne permet pas d'identifier automatiquement l'origine des différents bruits.

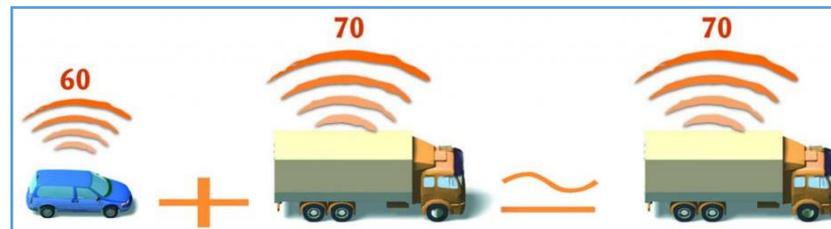
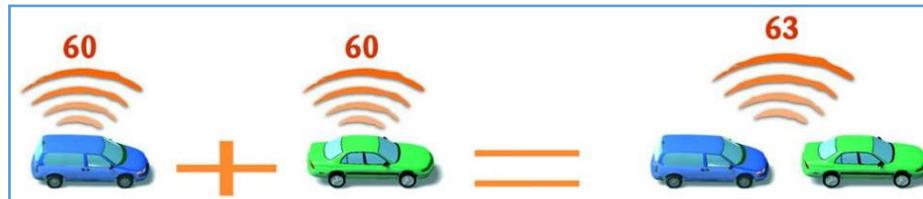


L'ADDITION DES DÉCIBELS



! Niveau global ?

$$L_p = 10 \log (10^{L_{p_1}/10} + 10^{L_{p_2}/10})$$



CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

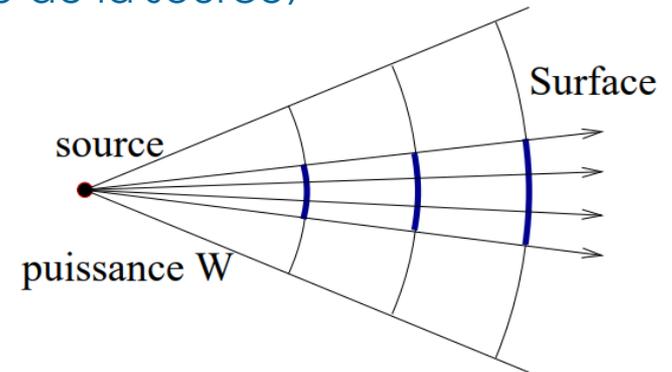
- **Puissance acoustique L_w**

Il s'agit de la capacité d'une source à générer des ondes sonores. La puissance acoustique est une caractéristique intrinsèque de la source, elle s'exprime en watts (W) :

$$L_w = 10\log(W/W_0)$$

Où $W_0 = 10^{-12}$ W

L_w = niveau de puissance acoustique en dB



Le niveau de pression acoustique L_p peut être déterminé à partir du L_w .
Par exemple pour une source rayonnant dans toutes les directions :

$$L_p = L_w - 10\log(4.\pi.d^2) + 10\log(Q=1)$$

Où d = distance source / récepteur

- **Intensité acoustique L_i**

Il s'agit de la puissance acoustique transmise par unité de surface, elle s'exprime en watts par m^2 (W/m^2) :

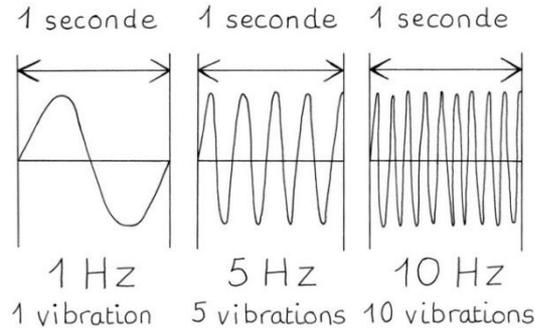
$$L_i = 10\log(I/I_0)$$

Où $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2

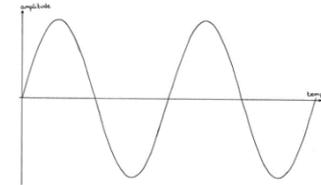
L_i = niveau d'intensité acoustique en dB

CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

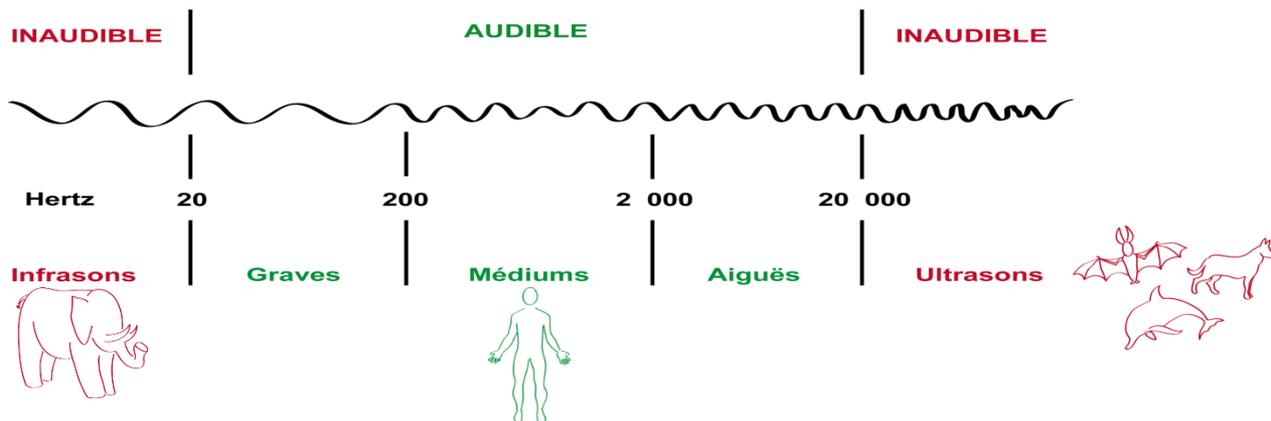
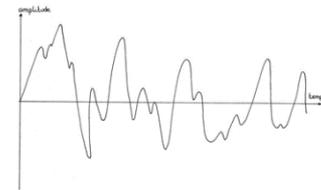
- Fréquence en Hz



Son pur :
son composé d'une seule fréquence

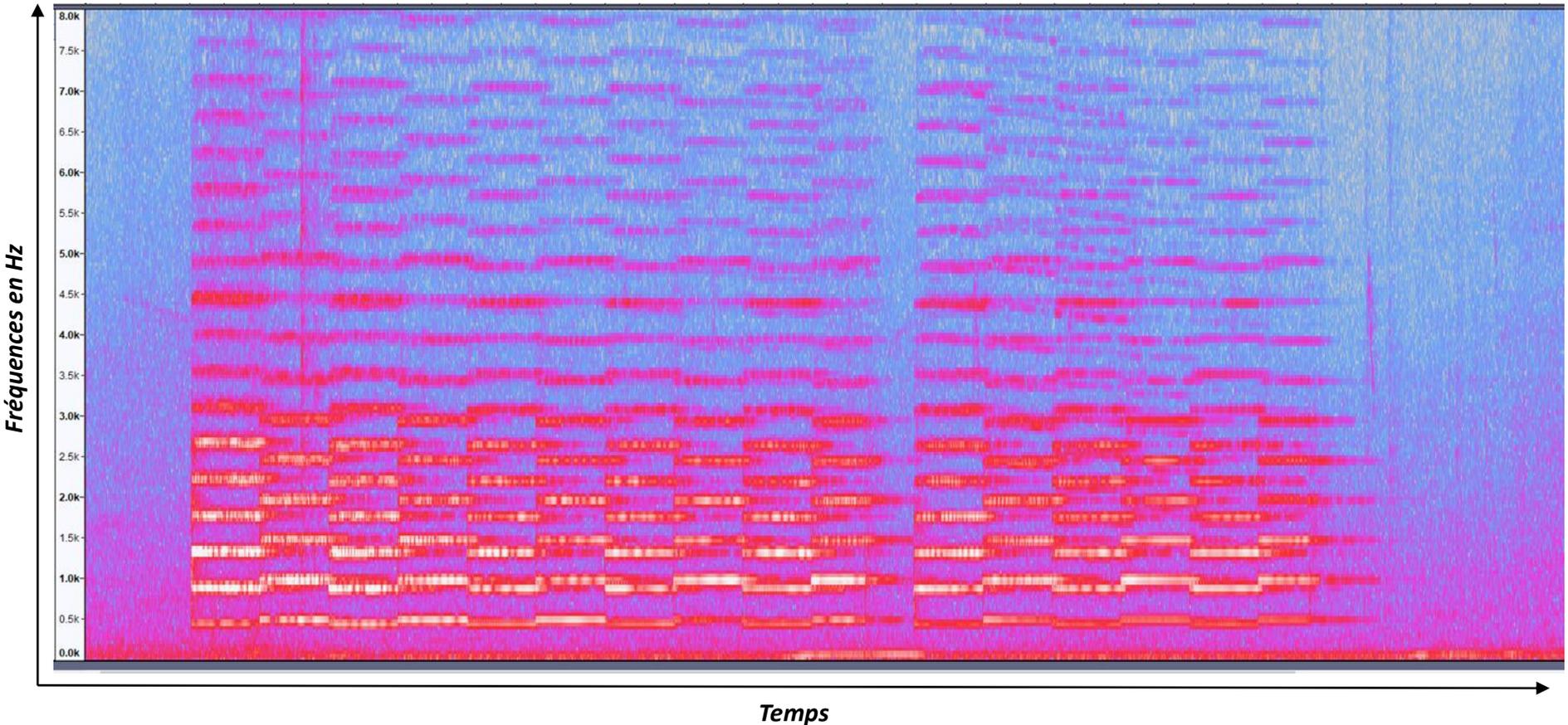


Son complexe :
superposition de sons purs de fréquences différentes



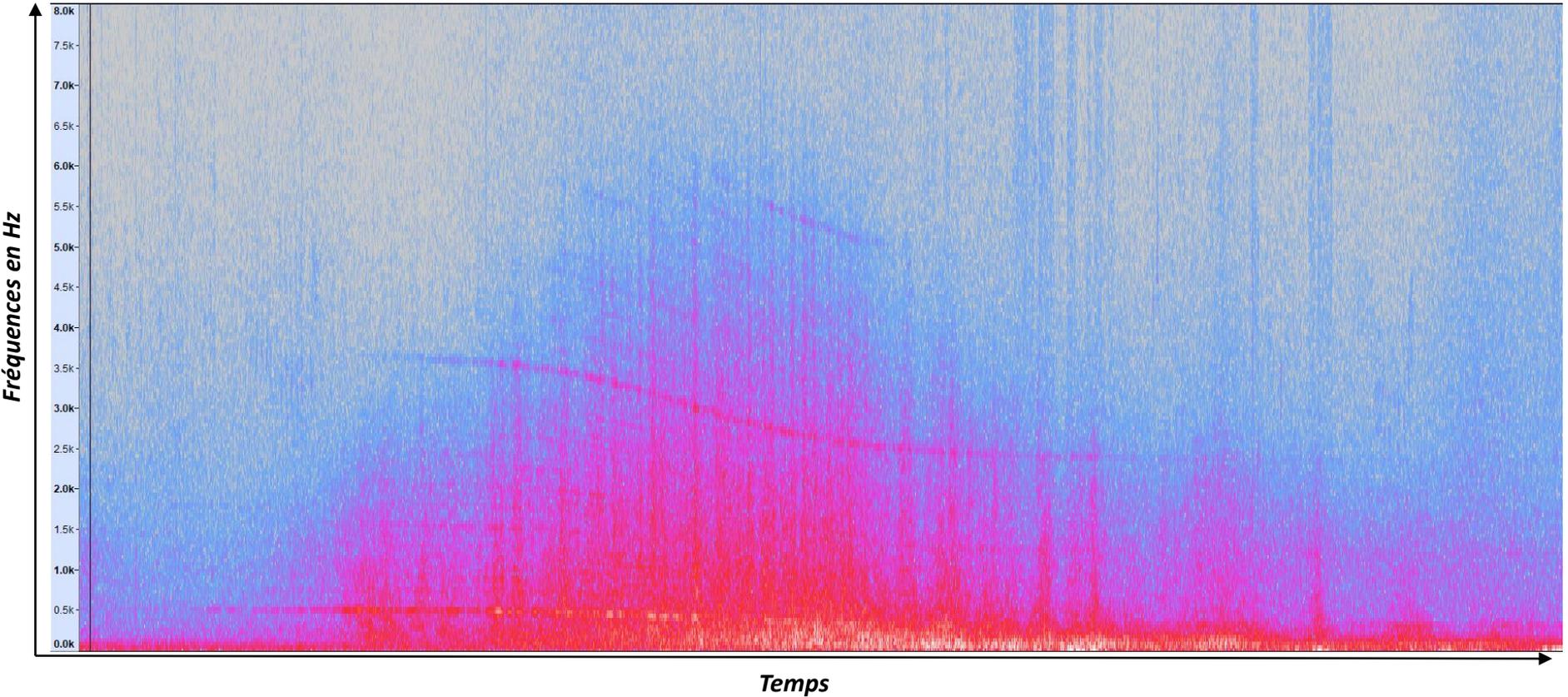
CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

Exemple spectrogramme (Temps / Fréquence) sirène de police



CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

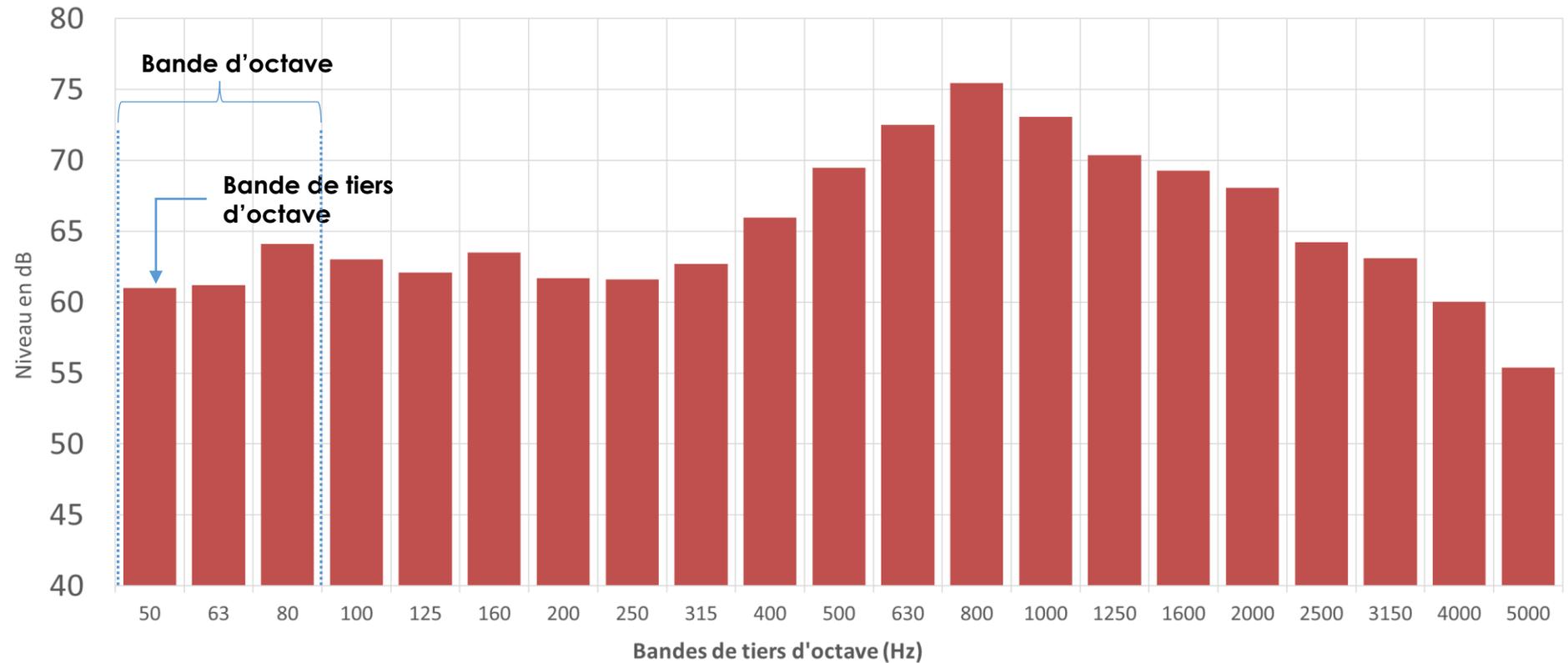
Exemple spectrogramme (Temps / Fréquence) d'un avion



CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

Exemple de spectre tiers d'octave d'un train

Specre tiers d'octave d'un train



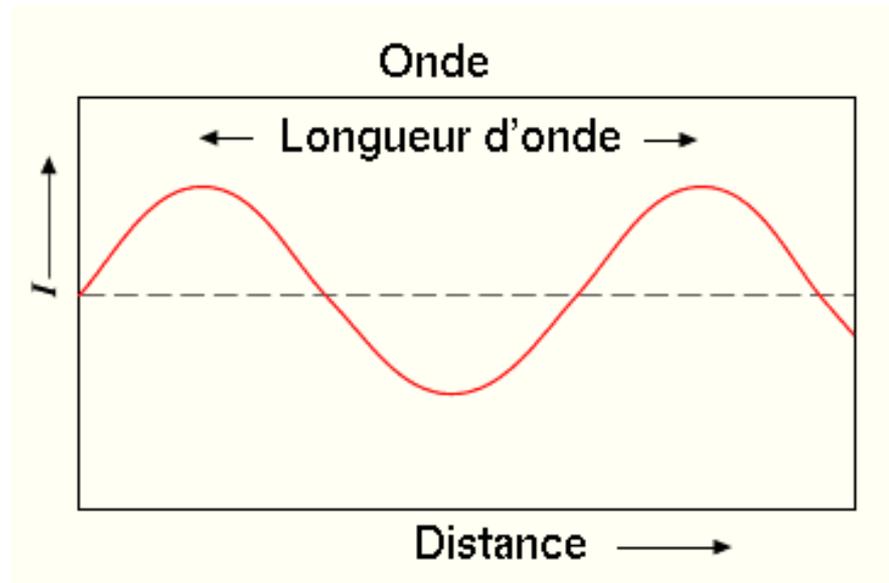
→ Une octave correspond à un doublement de la fréquence

CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

- La distance parcourue par une onde en une période correspond à la **longueur d'onde** exprimée en mètres

La longueur d'onde et la fréquence sont liées par la formule $\lambda = \frac{C}{F}$
où C représente la célérité (vitesse) du son et F la fréquence

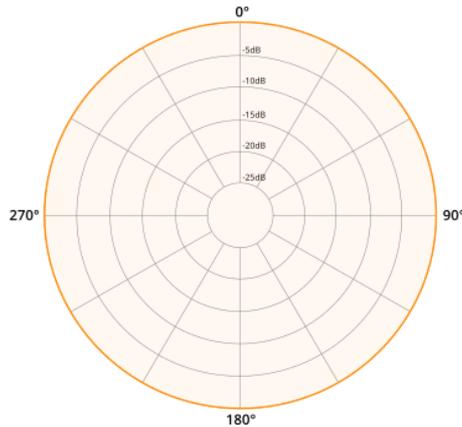
Ainsi à un son de 100 Hz
correspond une longueur
d'onde d'environ 3,4 mètres



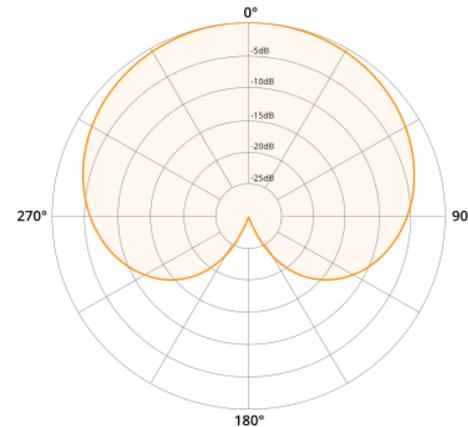
CARACTÉRISTIQUES D'UN SON

La directivité : désigne comment le son émis par une source se propage dans l'espace. Elle dépend de la fréquence du son. Cette notion est également fondamentale pour l'utilisation de microphones.

- Elle peut être omnidirectionnelle ou directionnelle



Directivité dite « omnidirectionnelle »



Directivité dite « cardioïde »

- La directivité d'une source sonore est caractérisée par un facteur Q

Illustration du rayonnement sonore	« Forme » du rayonnement	Facteur de directivité Q
	Sphère Source sonore en champ libre	1
	½ sphère Source sonore sur une surface plane	2

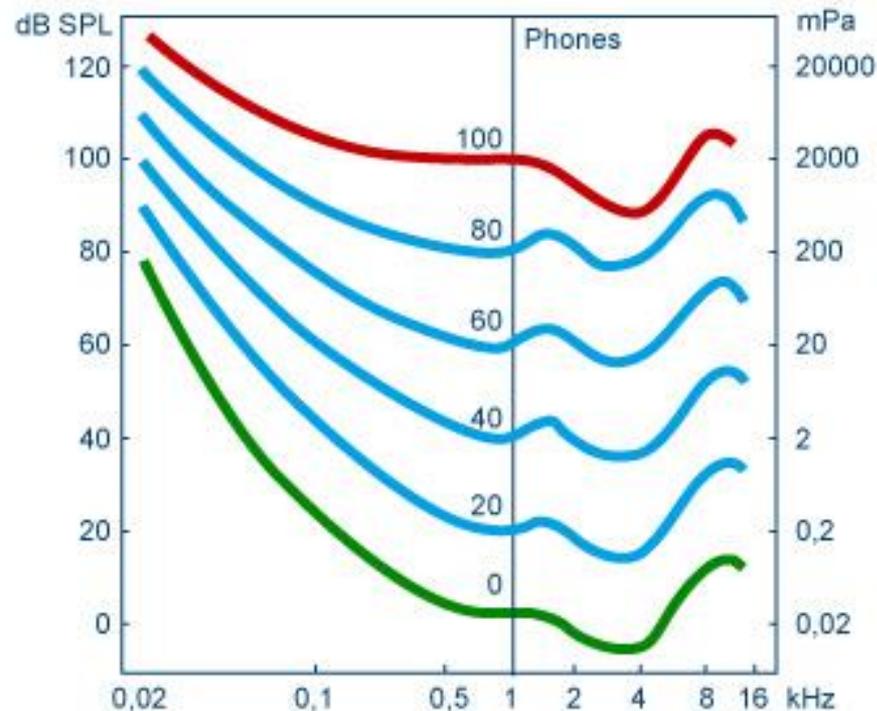
NIVEAU SONORE ET PERCEPTION AUDITIVE

La psychoacoustique s'occupe essentiellement des relations entre les caractéristiques du son et la sensation auditive qu'il provoque.

On appelle sonie la composante de la perception auditive subjective liée à l'intensité acoustique et qui nous permet de différencier un son fort d'un son faible.

Courbes d'égales intensités sonores ou courbes isosoniques

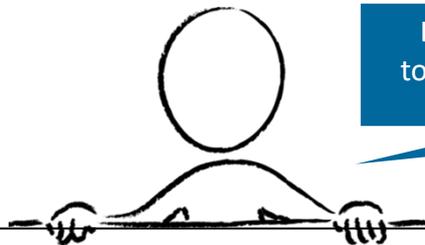
Une ligne isosonique représente l'ensemble des sons purs produisant la même sensation d'intensité, la même sonie, en fonction de la fréquence.



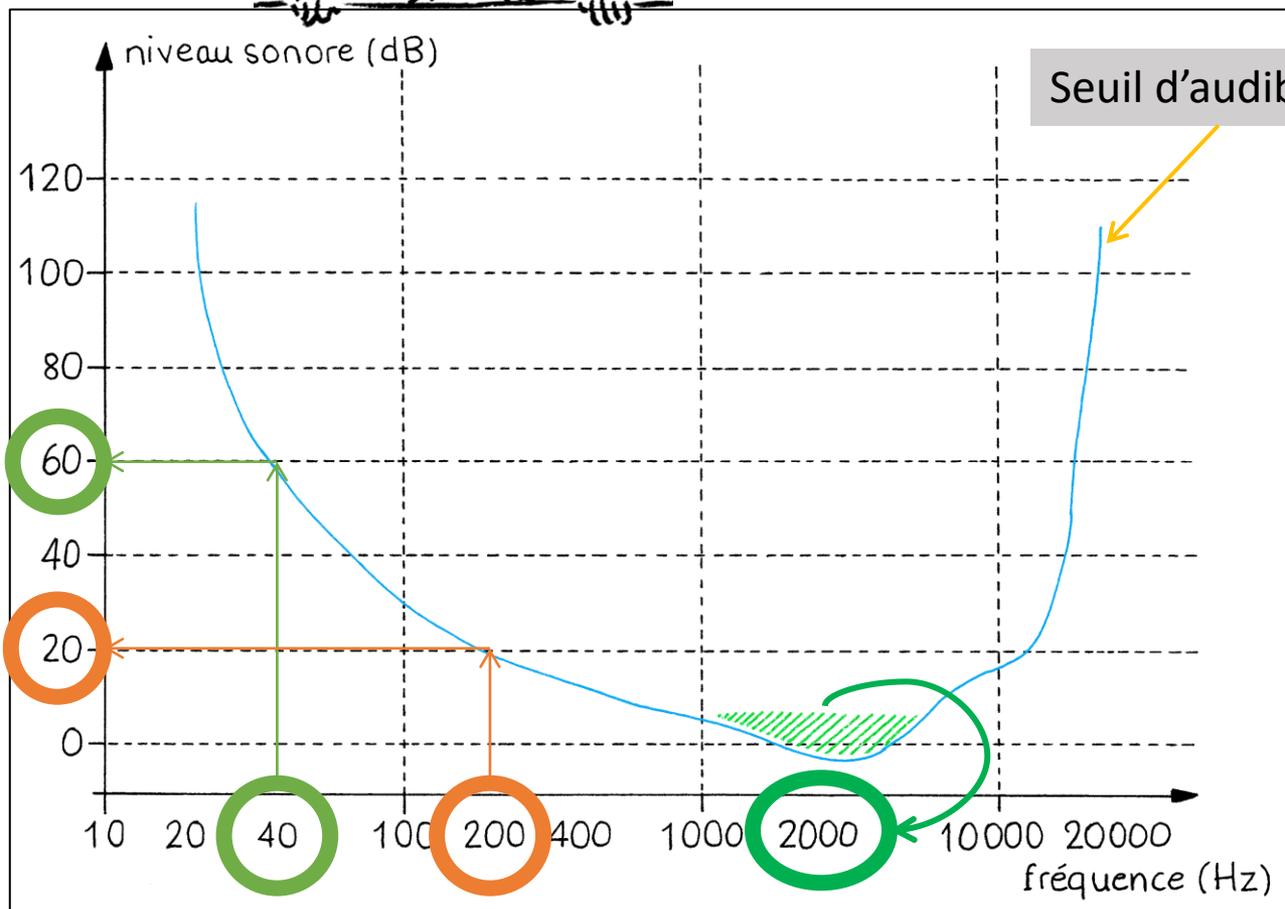
Ce graphe représente les courbes d'isosonies moyennes de 50 sujets (d'après Robinson et Dadson, 1956).

L'unité utilisée pour caractériser une courbe isosonique est le **phone**. Il correspond au niveau sonore exprimé en dB SPL à 1000 Hz.

NIVEAU SONORE ET PERCEPTION AUDITIVE



L'oreille humaine n'est pas sensible de la même manière à toutes les fréquences. A niveau équivalent, un son grave sera perçu moins fort qu'un son médium.



Seuil d'audibilité

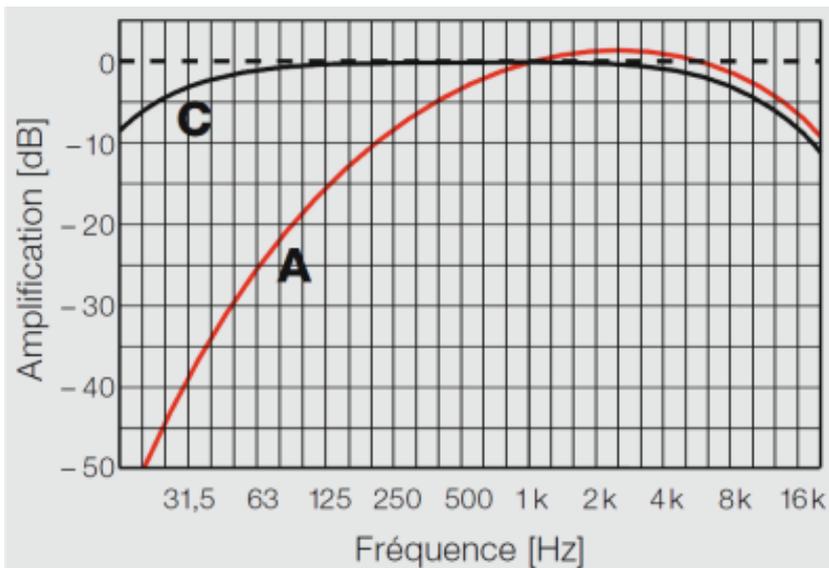
Un son pur à 40 Hz sera entendu seulement s'il fait plus de 60 dB

Mais à 200 Hz l'oreille humaine entendra des sons à partir de 20 dB

C'est autour de 2000 Hz, que l'oreille humaine entend le mieux les sons

La nature est bien faite, c'est la zone de fréquences de la voix humaine

NIVEAU SONORE ET PERCEPTION AUDITIVE



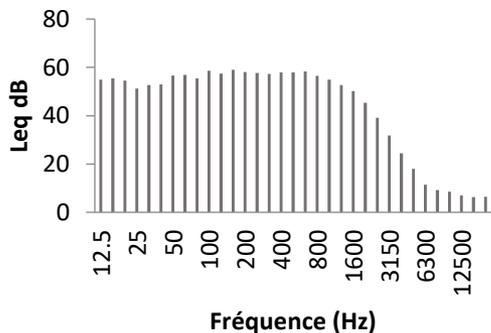
La courbe de pondération A est la plus utilisée, pour les bruits courants. On exprime ainsi le niveau d'un bruit en dB(A).



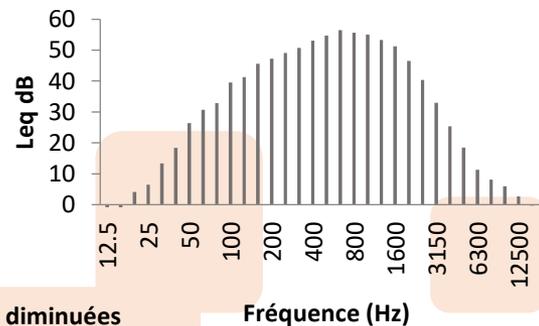
Exemple de pondération A pour la mesure du bruit d'un avion

Les avions produisent des sons avec beaucoup de basses fréquences

Niveau moyen = 76 dB



Niveau moyen = 64 dB(A)



Les fréquences graves et aigues sont diminuées

NIVEAU SONORE ET PERCEPTION AUDITIVE

Perception auditive	Niveau sonore	Nombre de sources de bruit	Energie acoustique divisée par :
Niveau de référence	Par. ex. 70 dB(A)		
A peine moins fort	- 1 dB(A)	 - 20 %	/ 1.25
	- 2 dB(A)		/ 1.6
Moins fort	- 3 dB(A)	 - 50 %	/ 2
	- 4 dB(A)		/ 2.5
	- 5 dB(A)		/ 3.15
Nettement moins fort	- 6 dB(A)	 - 75 %	/ 4
	- 7 dB(A)		/ 5
	- 8 dB(A)		/ 6.3
	- 9 dB(A)		/ 8
Deux fois moins fort	- 10 dB(A)	 - 90 %	/ 10

PROPAGATION

Vitesse de propagation d'une onde acoustique, à 20°C :

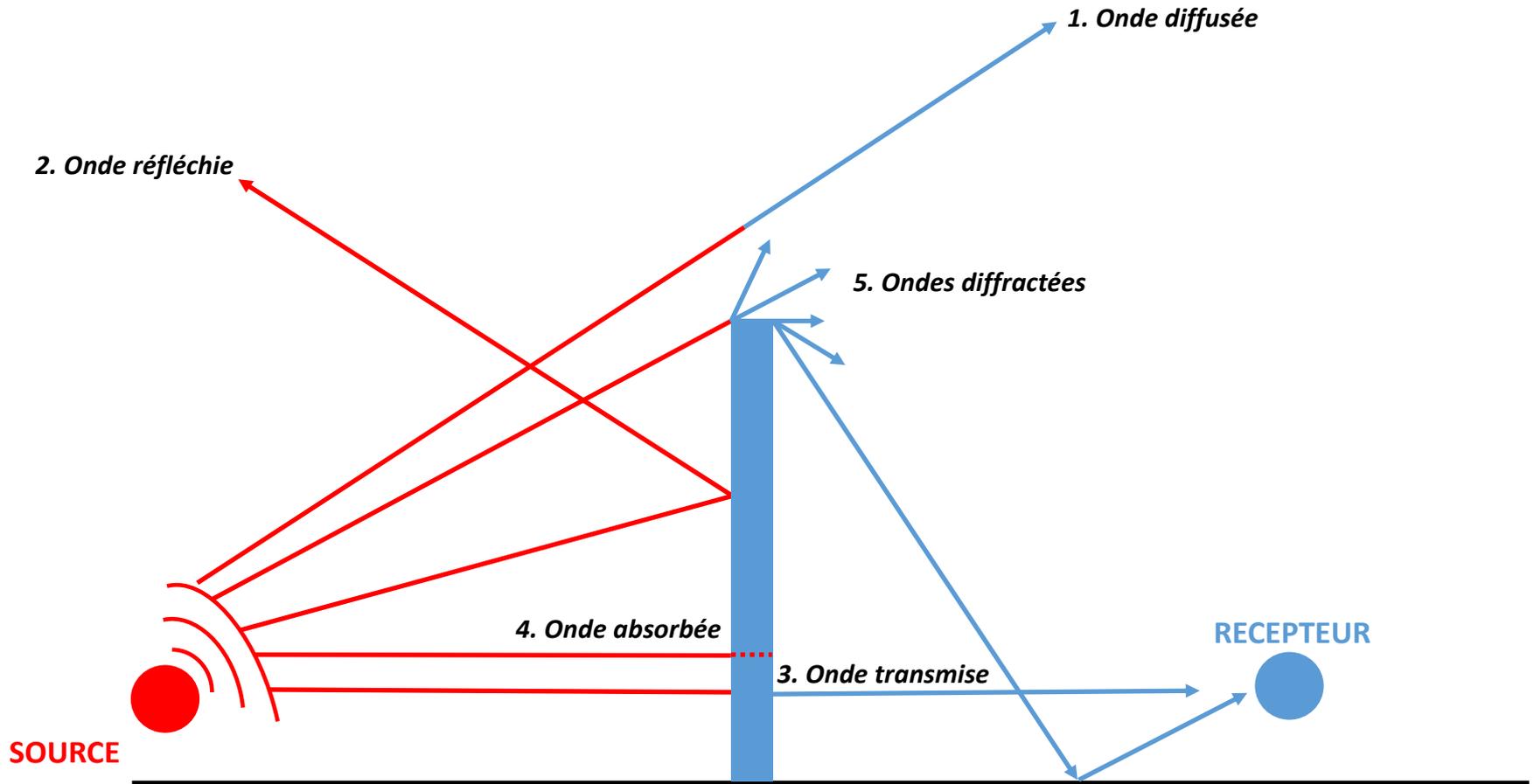
- dans l'air : 344 m/s
- dans l'eau : 1 500 m/s
- dans l'acier : 5 600 m/s

Phénomènes intervenant dans la propagation du bruit

- Atténuation avec la distance (divergence géométrique)
- Réflexion
- Absorption
- Diffraction
- Absorption atmosphérique
- Effets météorologiques (vent, couverture nuageuse, température...)
- Effets de sol

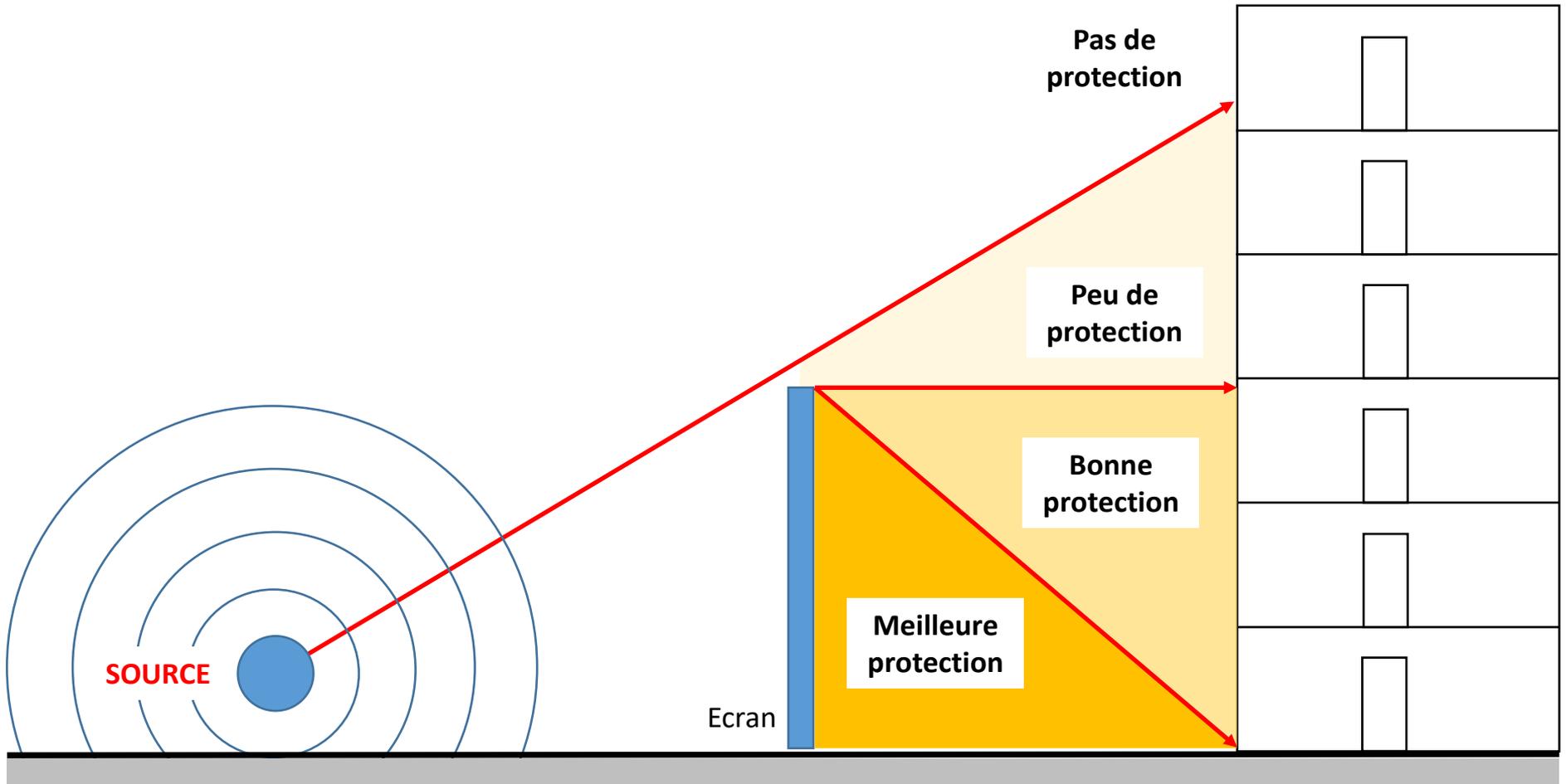
PROPAGATION

Phénomènes de propagation avec obstacle

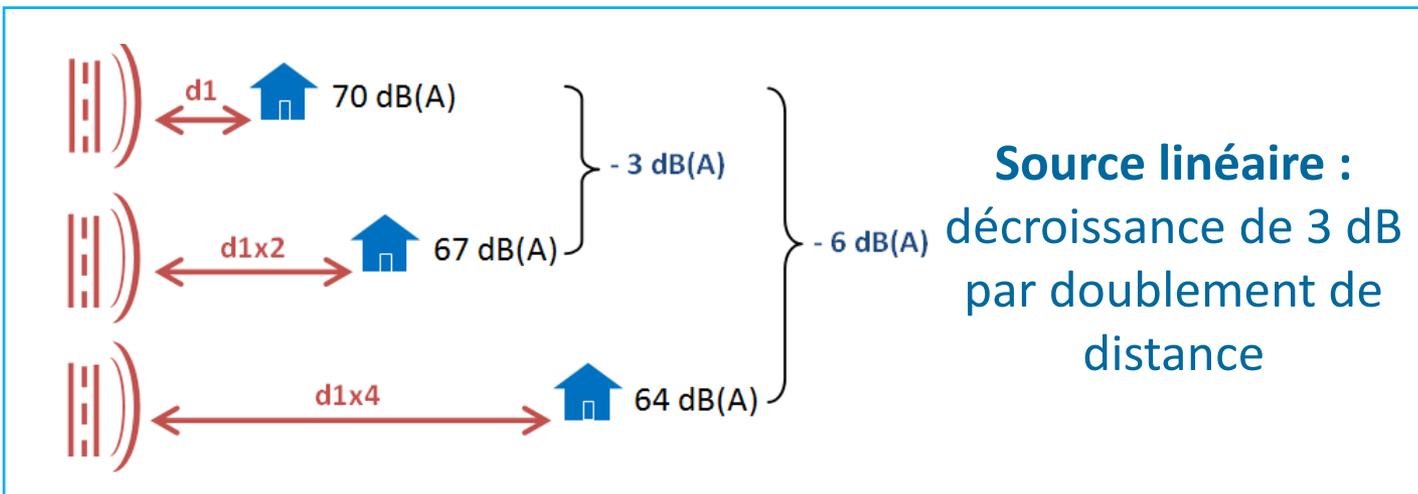
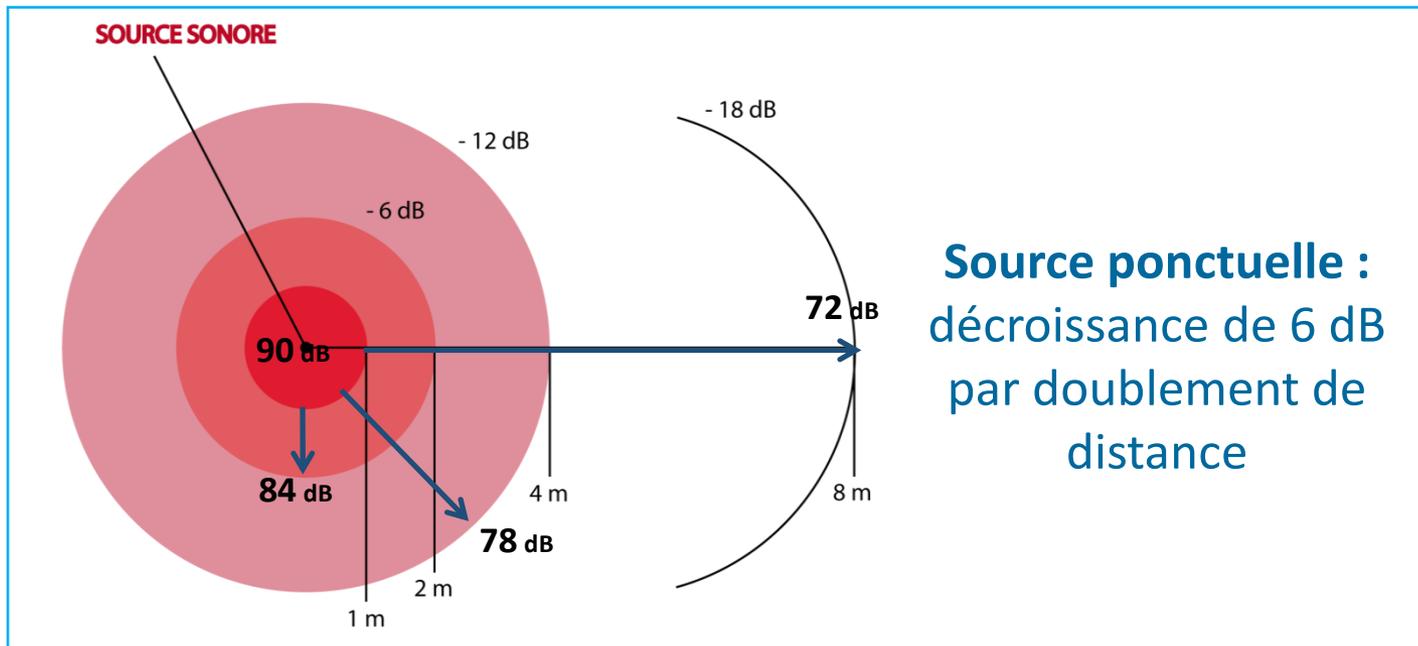


PROPAGATION

Ecrans acoustiques



ATTÉNUATION AVEC LA DISTANCE

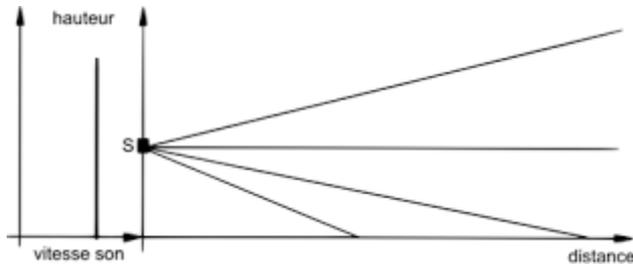


EFFETS ATMOSPHÉRIQUES

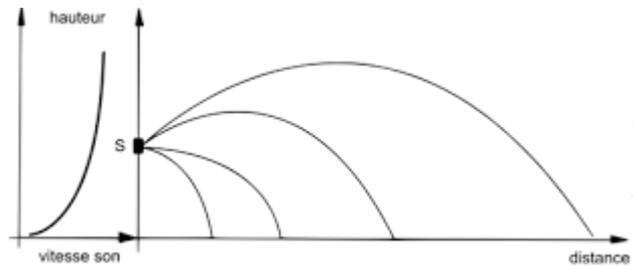
Absorption atmosphérique

- Les sons aigus s'atténuent plus vite que les sons graves
- Plus T et H augmentent et plus l'absorption diminue
- Ordre de grandeur : 1 dB/km à 200 Hz, 40 dB/km à 5 kHz pour $T=20^\circ$ et $H_r=50\%$

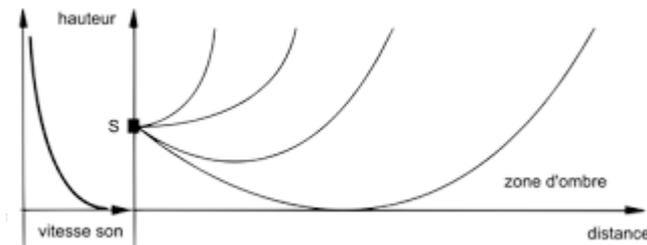
Conditions météorologiques (direction du vent, gradient thermique)



Conditions de propagation homogène



Conditions de propagation favorable



Conditions de propagation défavorable

IDÉES REÇUES SUR LA PROPAGATION DU BRUIT

Effet des arbres et de la végétation sur la propagation

- ⇒ Des effets perceptibles uniquement pour des tissus végétaux denses et pour des bandes larges, de plus d'une centaine de mètres.
- ⇒ Pas d'effet notable mesurable sur une simple rangée d'arbres

Le bruit « monte »

- ⇒ Le bruit se propage selon la directivité de la source et selon l'environnement entre la source et le récepteur
- ⇒ Des effets météorologiques peuvent favoriser la courbure des rayons sonores vers le haut mais ces phénomènes ne seront significatifs que pour des distances importantes (à partir de 100 m).

QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE DU BÂTIMENT

Affaiblissement acoustique : Désigne la capacité d'un élément (paroi, porte, fenêtre) à atténuer la transmission des bruits. Il se note R et s'exprime en dB. Pondéré il devient **$R_w(C ; C_{tr})$** .

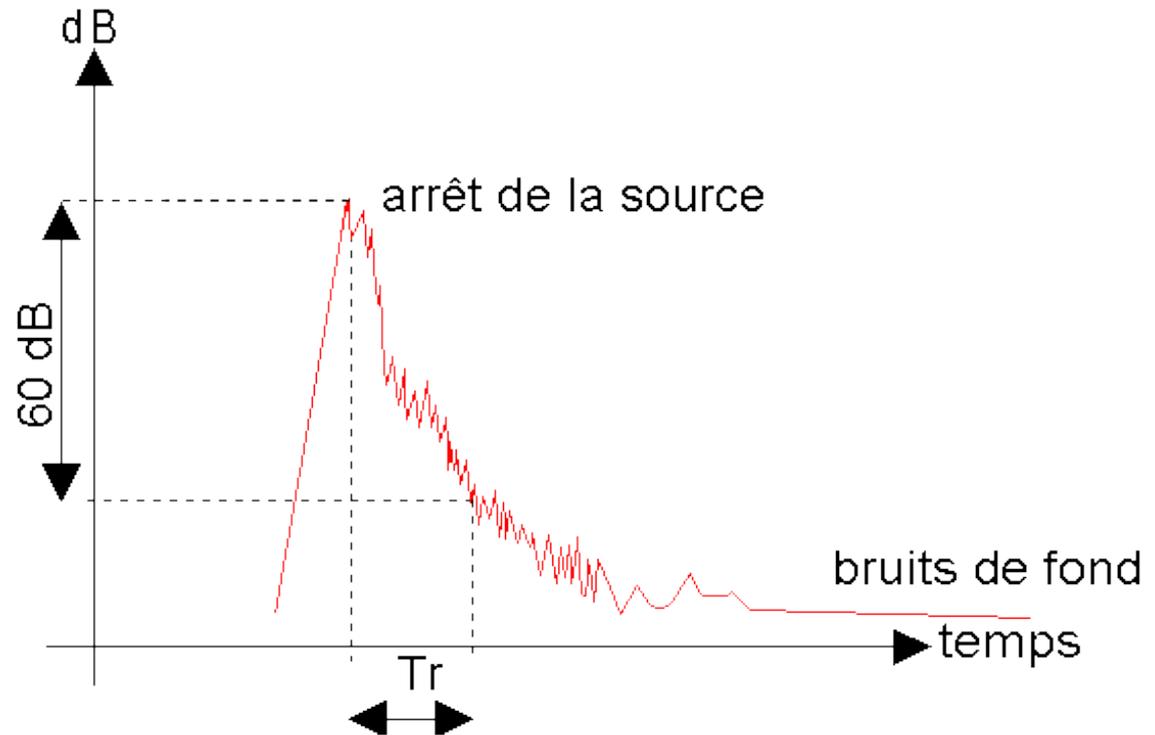
Isolement acoustique : Correspond à la différence entre le niveau de bruit dans un local d'émission et un local de réception ou bien entre l'extérieur et un local de réception. Dépend de la capacité de l'enveloppe à atténuer les bruits. Il se note **$D_{nT,A}$ et $D_{nT,A,tr}$**

Absorption acoustique : Capacité d'un matériau à absorber l'énergie sonore. L'utilisation de matériaux absorbants dans un local permet de diminuer la réverbération.

Le **coefficient d'absorption alpha** d'un matériau est compris entre 0 et 1, 1 correspondant à un matériau parfaitement absorbant

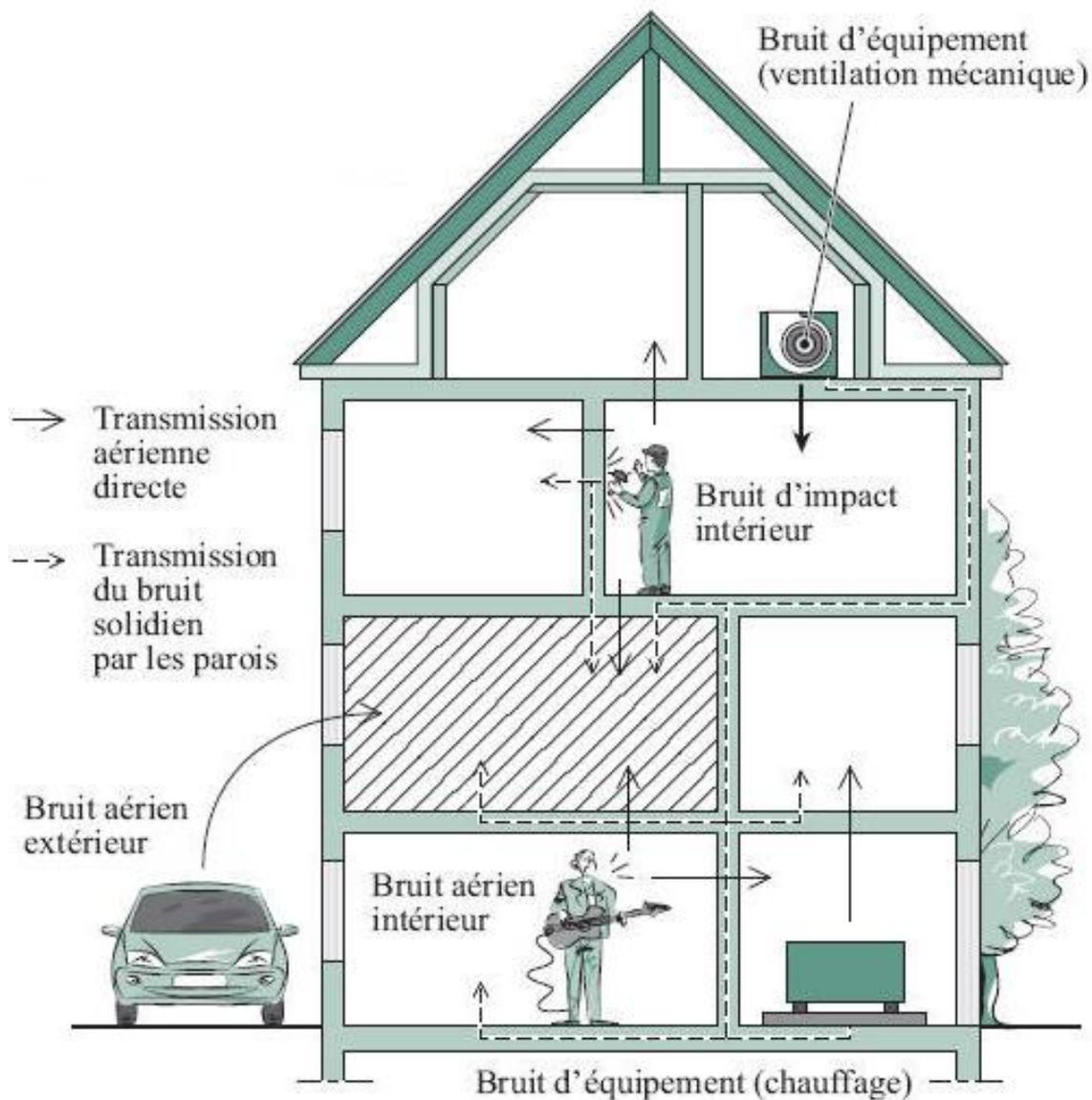
QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE DU BÂTIMENT

Durée ou temps de réverbération : Désigne le temps en secondes que met le son pour diminuer de 60 dB après interruption de la source sonore



QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE DU BÂTIMENT

On parlera également d'isolement au bruit extérieur et au bruit intérieur, de bruits d'équipements, de transmissions par voie aérienne ou par voie solidienne,



QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE DU BÂTIMENT

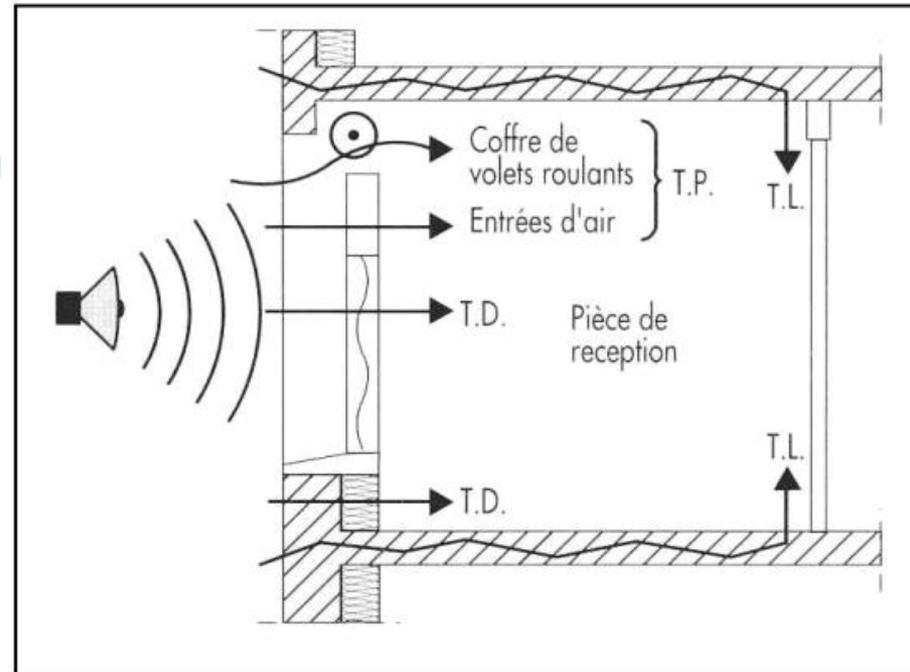
Isolation acoustique de façade :

Désigne la capacité de la façade d'un bâtiment à isoler du bruit.

En cas de travaux d'amélioration d'isolation acoustique de façade, les éléments suivants sont importants :

- ⇒ Fenêtres et portes
- ⇒ Ventilations et entrées d'air
- ⇒ Coffres de volets roulants
- ⇒ Façades légères

Attention à maintenir une ventilation correcte après les travaux



QUELQUES NOTIONS D'ACOUSTIQUE DU BÂTIMENT

Notion de champ libre :

Désigne un environnement sans réflexion du son

⇒ Par exemple salle anéchoïque (ou chambre « sourde »)

Notion de champ diffus :

Désigne au contraire un environnement dans lequel subsistent de très nombreuses réflexions du son

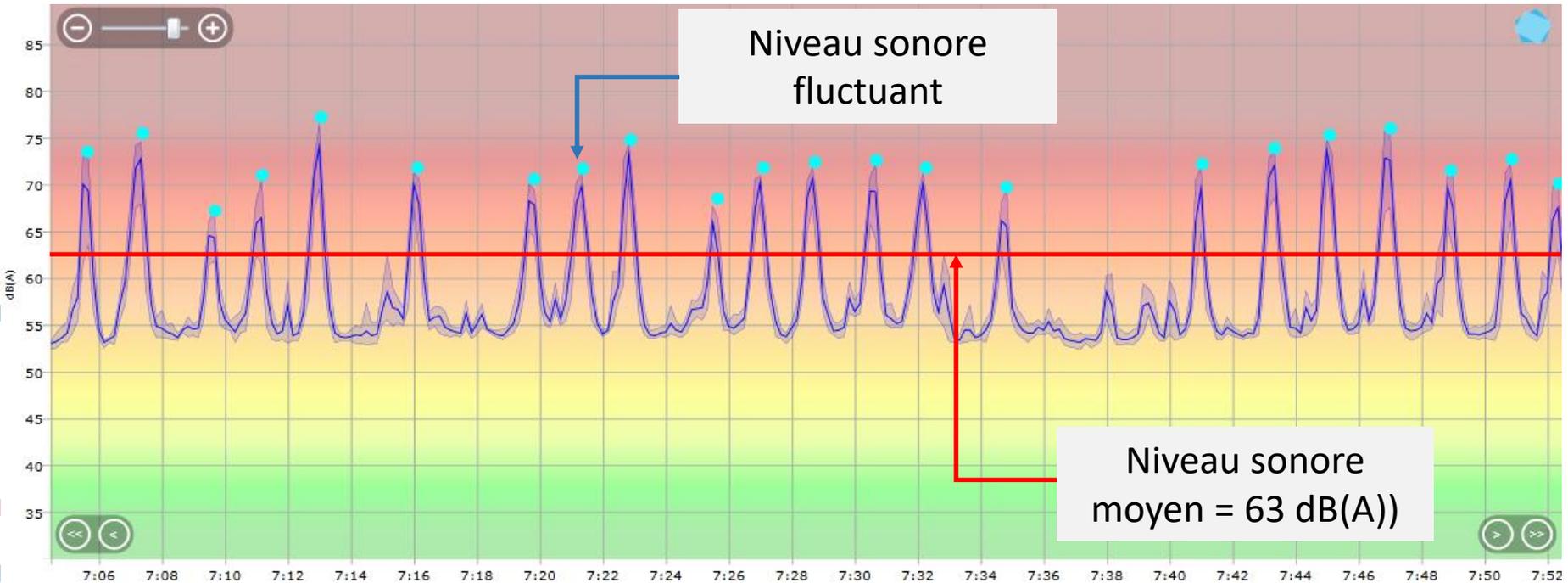
⇒ Par exemple cavité ou salle réverbérante

Les salles anéchoïques et réverbérantes permettent de mesurer les caractéristiques acoustiques de machines, de matériaux, d'appareils de mesure,...

LA QUESTION DES INDICATEURS



LES INDICATEURS UTILISÉS DANS LA RÉGLEMENTATION



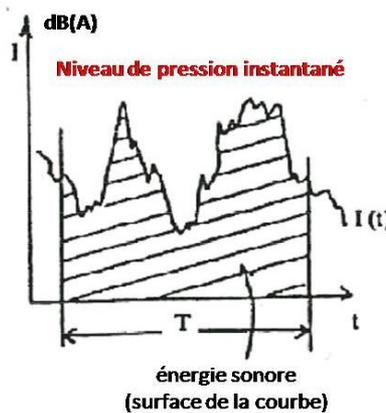
$L_{Aeq,T}$ (Level A equivalent)

niveau sonore équivalent

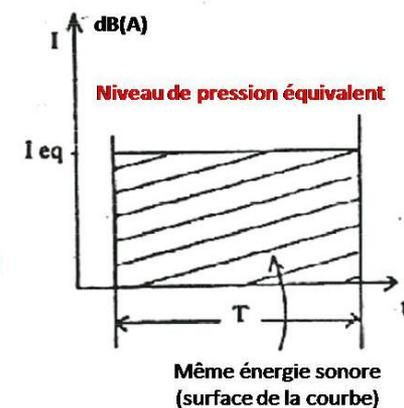
→ $L_{day} (L_d) = L_{Aeq,6-18h}$

→ $L_{evening} (L_e) = L_{Aeq,18-22h}$

→ $L_{night} (L_n) = L_{Aeq,22-6h}$

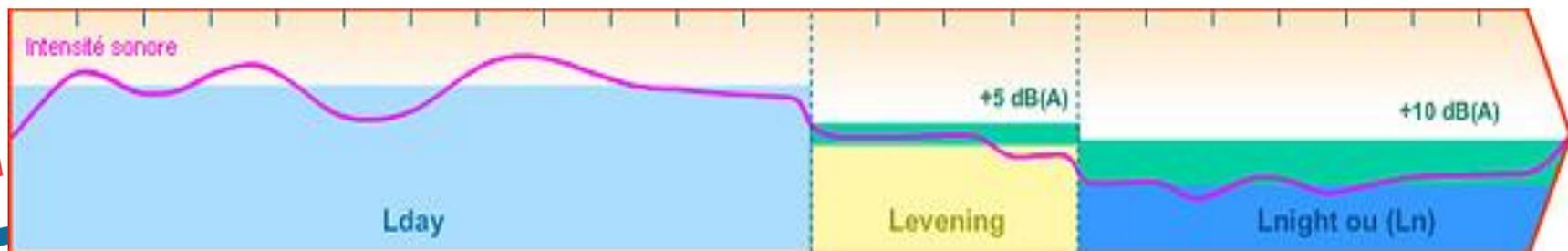


➔
Moyenne énergétique



LES INDICATEURS UTILISÉS DANS LA RÉGLEMENTATION

Indicateur Lden (Level day-evening-night)



Source : <http://bruit.seine-et-marne.fr/indicateurs-Lden-et-Ln>

$$L_{den} = 10 \log \left(\frac{12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening}+5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night}+10}{10}}}{24} \right)$$

AUTRES INDICATEURS

Indices statistiques : Niveaux fractiles atteints ou dépassés pendant N% du temps. Ils sont calculés à partir des valeurs élémentaires, par exemple sur les Leq,1s

⇒ Exemples :

- ⇒ **LA90** : niveau global pondéré A atteint ou dépassé pendant 90% du temps (souvent utilisé pour qualifier le bruit de fond)
- ⇒ **LA10** : niveau global pondéré A atteint ou dépassé pendant 10% du temps (souvent utilisé pour qualifier les bruits de crête)
- ⇒ **LA50** : niveau global pondéré A atteint ou dépassé pendant 50% du temps (médiane statistique)

AUTRES NOTIONS RENCONTRÉES

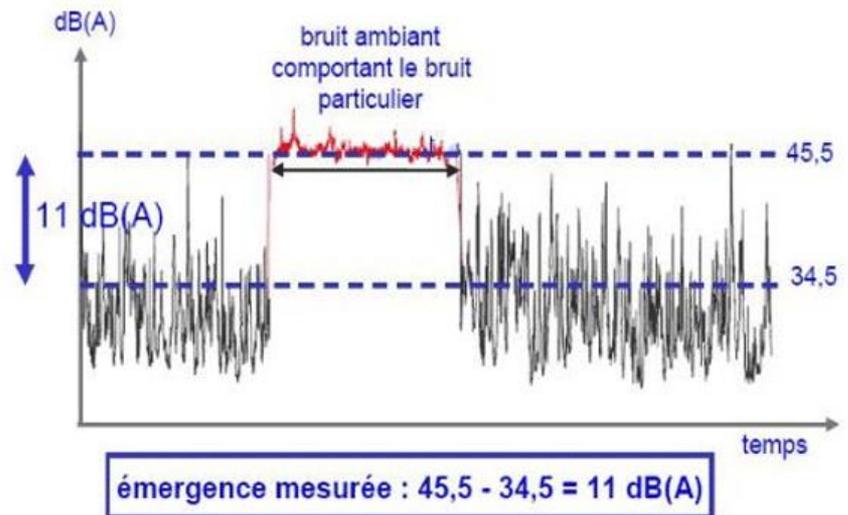
Bruit ambient : Ensemble des bruits sans distinction

Bruit particulier : Composante du bruit ambient qui peut être identifiée spécifiquement notamment car objet d'une requête

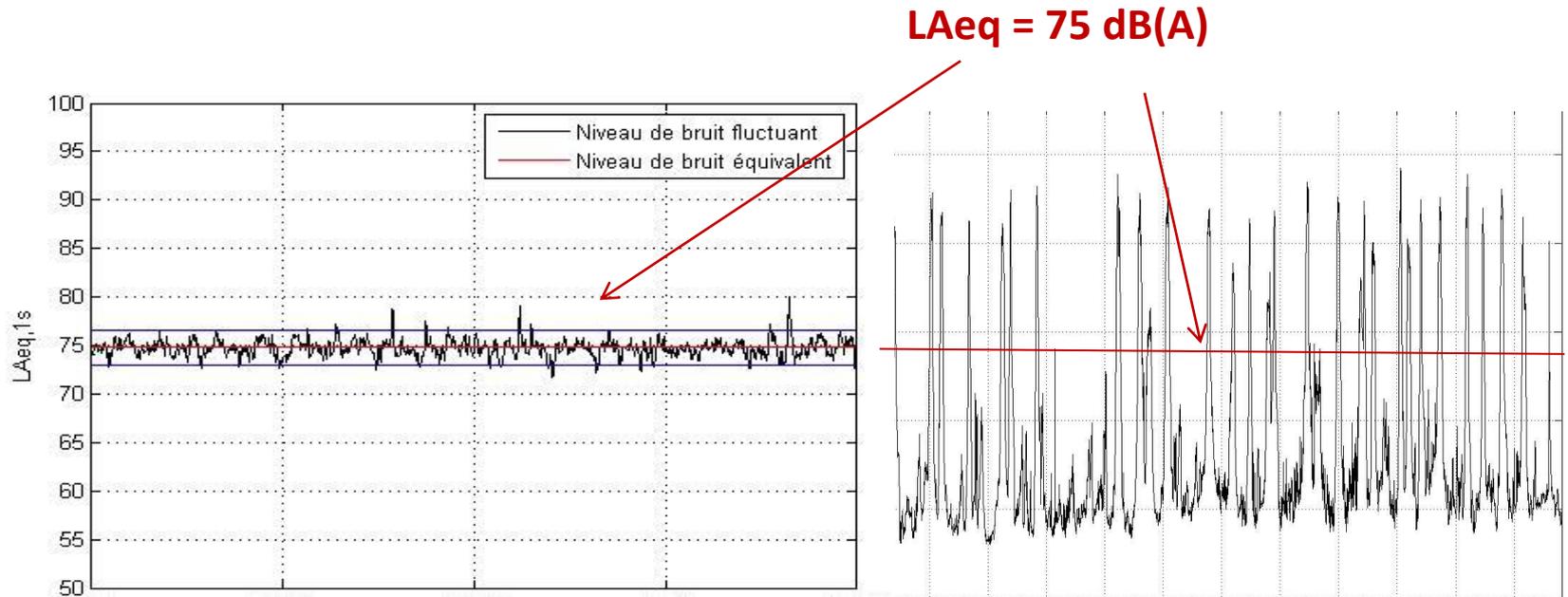
Bruit résiduel : Bruit ambient en l'absence du bruit particulier

Emergence : Modification du bruit ambient induite par l'apparition d'un bruit particulier perceptible sans effort.

Cette notion est rencontrée dans la réglementation sur les bruits de voisinage →



LIMITES DES INDICATEURS ÉNERGÉTIQUES

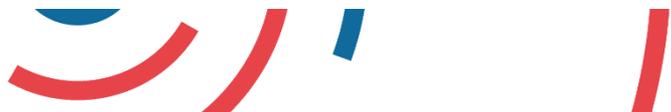
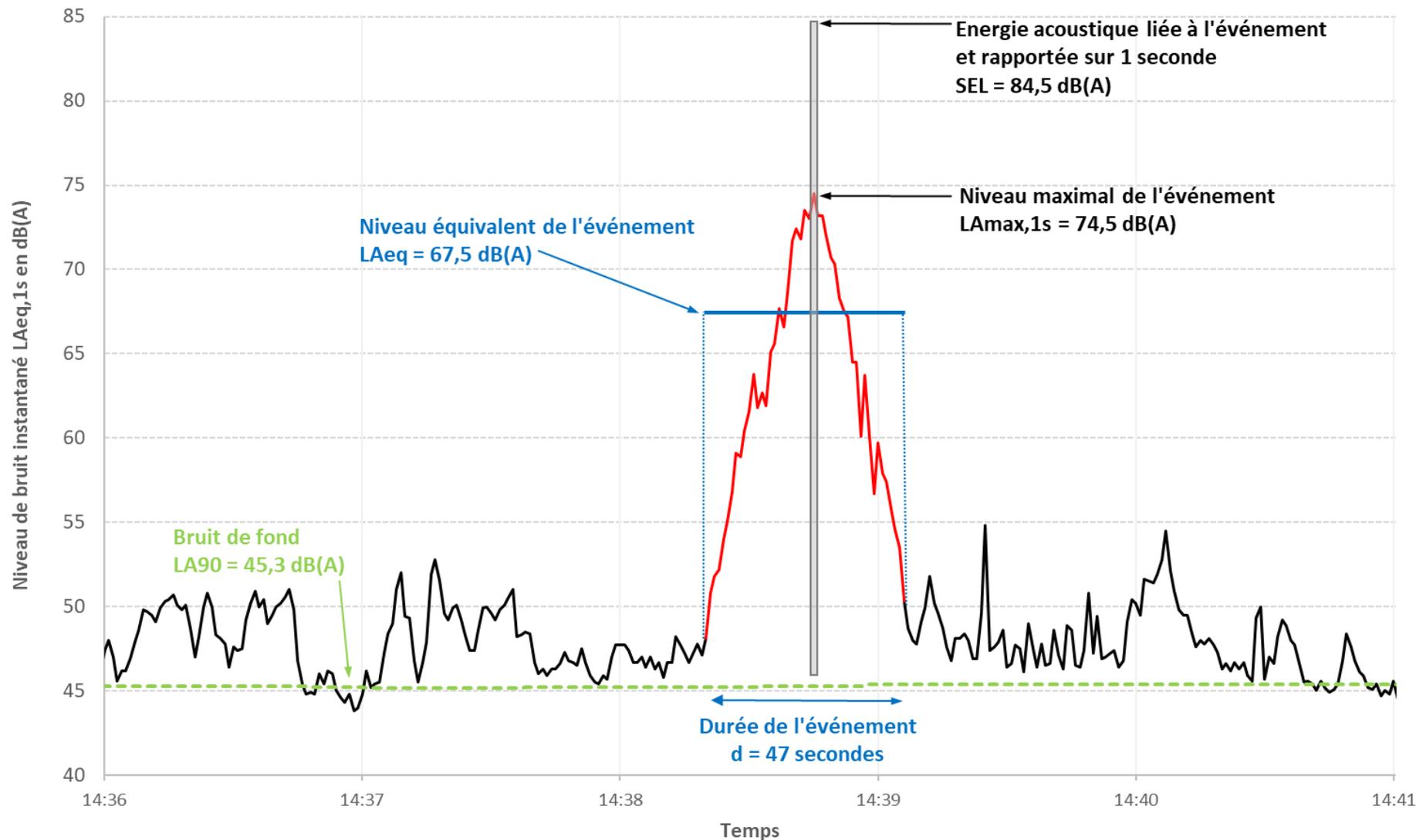


Deux situations sonores bien différentes
mais pourtant le même résultat en LAeq

Nécessité d'introduire des indicateurs complémentaires événementiels

LA PROBLÉMATIQUE DES INDICATEURS

Indicateurs acoustiques caractéristiques d'un événement sonore



LA PROBLÉMATIQUE DES INDICATEURS

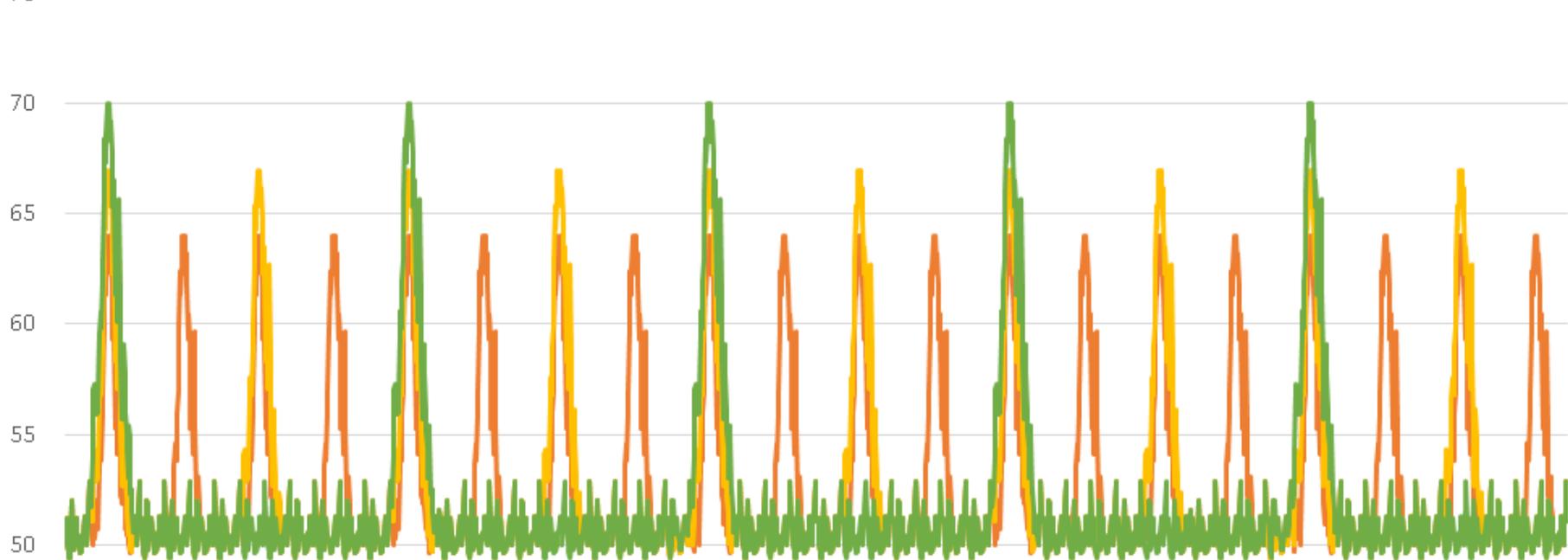
5 passages à $L_{Amax} = 70$ dBA représentent un niveau moyen $L_{Aeq} = 56$ dBA

\Leftrightarrow

10 passages à $L_{Amax} = 67$ dBA représentent un niveau moyen $L_{Aeq} = 56$ dBA

\Leftrightarrow

20 passages à $L_{Amax} = 64$ dBA représentent un niveau moyen $L_{Aeq} = 56$ dBA



Trois scénarios → le même niveau moyen L_{Aeq}



MERCI
POUR VOTRE ATTENTION

www.bruitparif.fr