

Intensité sonore et niveau sonore. Les dangers liés au son

1. Qu'est-ce qu'un son ?

Le son est produit par la vibration d'objets et il atteint les oreilles sous forme d'ondes se propageant dans l'air ou dans un autre milieu. Un objet vibrant provoque de faibles variations de la pression de l'air. Ces variations de pression se propagent sous forme d'ondes dans l'air et produisent un son. À titre d'exemple, imaginons un coup de bâton sur un tambour. La surface du tambour vibre en effectuant un va-et-vient. Lorsque son mouvement s'effectue vers l'extérieur, elle pousse l'air qui la touche, ce qui crée une pression positive (haute) résultant de la compression de l'air. Lorsque le mouvement de la surface s'effectue dans le sens opposé, une pression négative (basse) est créée en raison de la décompression de l'air. Ainsi, en vibrant, la surface du tambour crée des zones alternées de haute et de basse pression de l'air. Ces variations de pression se propagent dans l'air (sans transport de matière !) sous forme d'ondes sonores (figure 1).

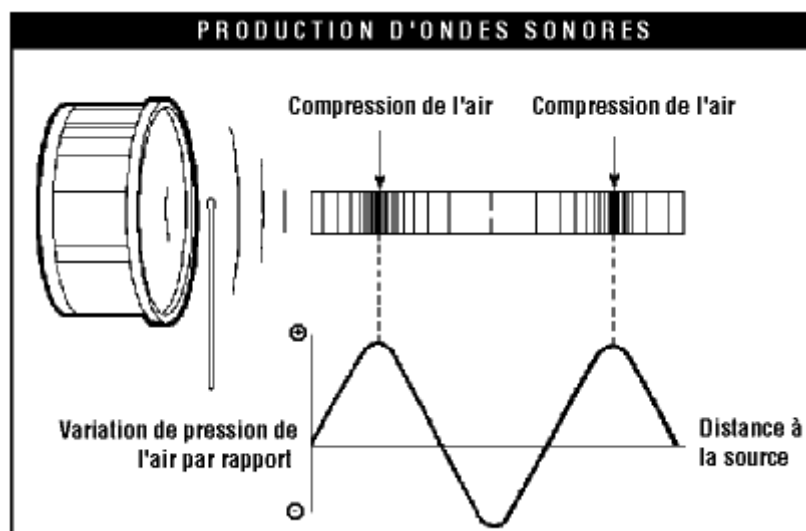


Figure 1

Le tableau 1 montre la vitesse approximative du son dans l'air et dans d'autres milieux. Dans les gaz, plus le son a une grande vitesse, plus sa hauteur est élevée. (Avez-vous déjà entendu parler des personnes après qu'elles aient inhalé de l'hélium? Leur voix ressemble à celle de Mickey Mouse!.)

Vitesse approximative du son dans des milieux courants

Milieu	Vitesse du son (pi/s) (m/s)	
Air, sec (0 °C et 760 mm de Hg)	1 100	330
Bois (mou – sens des fibres)	11 100	3 400
Eau (15 °C)	4 700	1 400
Béton	10 200	3 100
Acier	16 000	5 000
Plomb	3 700	1 200

Verre	18 500	5 500
Hydrogène (0 °C et 760 mm de Hg)	4 100	1 260

L'appareil auditif capte les ondes sonores et les convertit en signaux qu'il transmet au cerveau. Ce dernier interprète les signaux comme étant des sons. Même les sons très intenses produisent des variations de pression qui sont extrêmement faibles (1 sur 10 000) par rapport à la pression ambiante de l'air (c.-à-d. la pression atmosphérique). L'appareil auditif est assez sensible pour capter même les ondes de pression de très faible intensité. Il est également très fragile. C'est pourquoi les sons intenses peuvent causer des dommages auditifs.

2. L'intensité sonore :

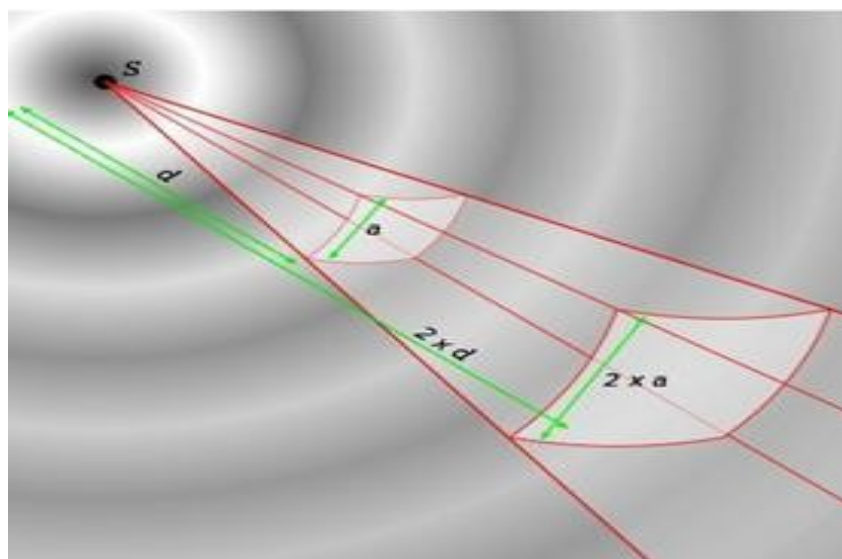
La grandeur qui permet de caractériser la « force d'un bruit » en un point de l'espace est l'**intensité sonore** notée **I**

Elle représente la puissance de la source par unité de surface.

$$I = \frac{P}{S}$$

Son unité est donc **W.m⁻²** (watt par mètre carré).

Considérons une aire orthogonale à la direction de propagation de section a^2 située à distance d de la source. Lors de la propagation de l'onde, la même puissance de la source est captée par une section de plus en plus grande. A la distance $2d$, la puissance est captée par une aire de surface $4a^2$. L'intensité sonore est donc divisée par 4. Conséquences immédiate pour la sécurité : en présence d'une source sonore de grande puissance, il est recommandé de s'éloigner de la source ! (C'est une évidence !) Il peut être dangereux de capter un son même de très faible puissance avec des capteurs montés à proximité des oreilles. L'intensité peut être très grande car l'aire de détection est celle du tympan ! Il faut alors adapter la puissance de l'émetteur pour limiter le niveau sonore ne dépasse pas 80 décibels (voir définition du décibel dans le paragraphe suivant)



Il existe une intensité sonore minimale sous laquelle on n'entend pas le son ; c'est **le seuil d'audibilité**. Il vaut $I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{W.m}^{-2}$. Il dépend de la fréquence de l'onde sonore.

Il existe aussi **un seuil dit de douleur**, palier au-delà duquel un son crée une douleur et endommage fortement voire irrémédiablement le système auditif.

L'intensité sonore associée vaut : **Idouleur = 10 W .m⁻²**.

Le domaine des valeurs de l'intensité sonore :

On se rend donc compte que les intensités sonores des bruits quotidiens peuvent s'étendre de $1,0 \cdot 10^{-12} \text{W.m}^{-2}$ jusqu'à $10,0 \text{W.m}^{-2}$.

Avec Idouleur = 10^{13} fois (soit dix mille milliard de fois plus grand) que I_0 .

Le domaine de variation de I détectable par l'oreille humaine est extrêmement grand. On imagine mal un appareil capable de détecter une si grande variation de valeurs avec précision.

Imaginons représenter une échelle des intensités sur un axe gradué en respectant l'échelle $1\text{mm}=10^{-12} \text{W.m}^{-2}$, l'origine de l'axe étant la valeur $I_0=10^{-12} \text{W.m}^{-2}$.

La graduation $10^{-11} \text{W.m}^{-2}=10^{-12} \times 10 \text{W.m}^{-2}$ serait placée sur l'axe à $10\text{mm}=1\text{cm}$ de l'origine ;

La graduation $10^{-10} \text{W.m}^{-2}=10^{-12} \times 100 \text{W.m}^{-2}$ serait à 10cm de l'origine

La graduation $10^{-5} \text{W.m}^{-2}=10^{-12} \times 10^7 \text{W.m}^{-2}$ --- à $10\text{cm} \times 10^5$ soit $10^6 \text{cm}=10^4 \text{m}=10\text{km}$!

La graduation $10 \text{W.m}^{-2}=10^{-12} \times 10^{22} \text{W.m}^{-2}$ serait un million de fois plus grande que 10km soit dix millions de km !

Une telle échelle n'est pas réalisable sur une simple feuille de papier !

Pour réduire ce domaine de valeurs on a alors créé une nouvelle grandeur : **le niveau sonore L**

(L pour « Level » in english) exprimé en **décibel (dB)** et qui se calcule par la formule suivante :

3. Le niveau sonore L :

$$L = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0}$$

Avec L le niveau d'intensité sonore (dB),

I =intensité sonore due à la source sonore étudiée (W.m^{-2}) ,

I_0 = seuil d'audibilité ($I_0 = 1,0 \cdot 10^{-12} \text{W.m}^{-2}$)

Le « log » est une fonction mathématique appelée « logarithme décimal » qui comprime énormément l'échelle précédente.

On pourrait imaginer obtenir cette échelle en pliant en accordéon la feuille de papier précédente...

Ce type d'échelle est aussi utilisée en chimie pour le pH et en sismologie pour évaluer l'intensité des secousses sismiques

Le logarithme est défini par la fonction:

$$\log 10^X = X \text{ avec } X > 0$$

et la fonction réciproque : $10^{\log x} = x$

avec les propriétés : $\log(a/b) = \log(a) - \log(b)$ et $\log(axb) = \log(a) + \log(b)$

3.1 Tableau de correspondance entre L et I:

3.1.1 Calculons le niveau d'intensité sonore du seuil d'audibilité:

$$L = 10 \cdot \log \frac{I_0}{I_0} = 10 \cdot \log 1 = 0$$

3.1.2 ...et pour le seuil de douleur

$$L = 10 \cdot \log \frac{10}{10^{-12}} = 10 \cdot \log 10^{13} = 130$$

Avec cette relation l'échelle des niveaux sonores varie donc de 0 à 130 seulement !

Celle-ci semble plus commode à utiliser mais présente aussi des inconvénients que nous allons évoquer.

3.1.3 Considérons une variation d'intensité de 10^{-5} à 10^{-4} W.m^{-2} (donc 10 fois plus grande). Calculons la variation correspondante du niveau sonore:

$$\Delta L = 10 \cdot \log \frac{10^{-4}}{10^{-12}} - 10 \cdot \log \frac{10^{-5}}{10^{-12}} = 10 \cdot (\log 10^8 - \log 10^7) = 10(8-7) = 10 \text{ dB}$$

Une intensité sonore multipliée par 10 correspond donc à une augmentation de 10dB !

3.1.4 Si l'intensité sonore est doublée.(elle augmente par exemple de 10^{-4} à $2 \cdot 10^{-4}$),

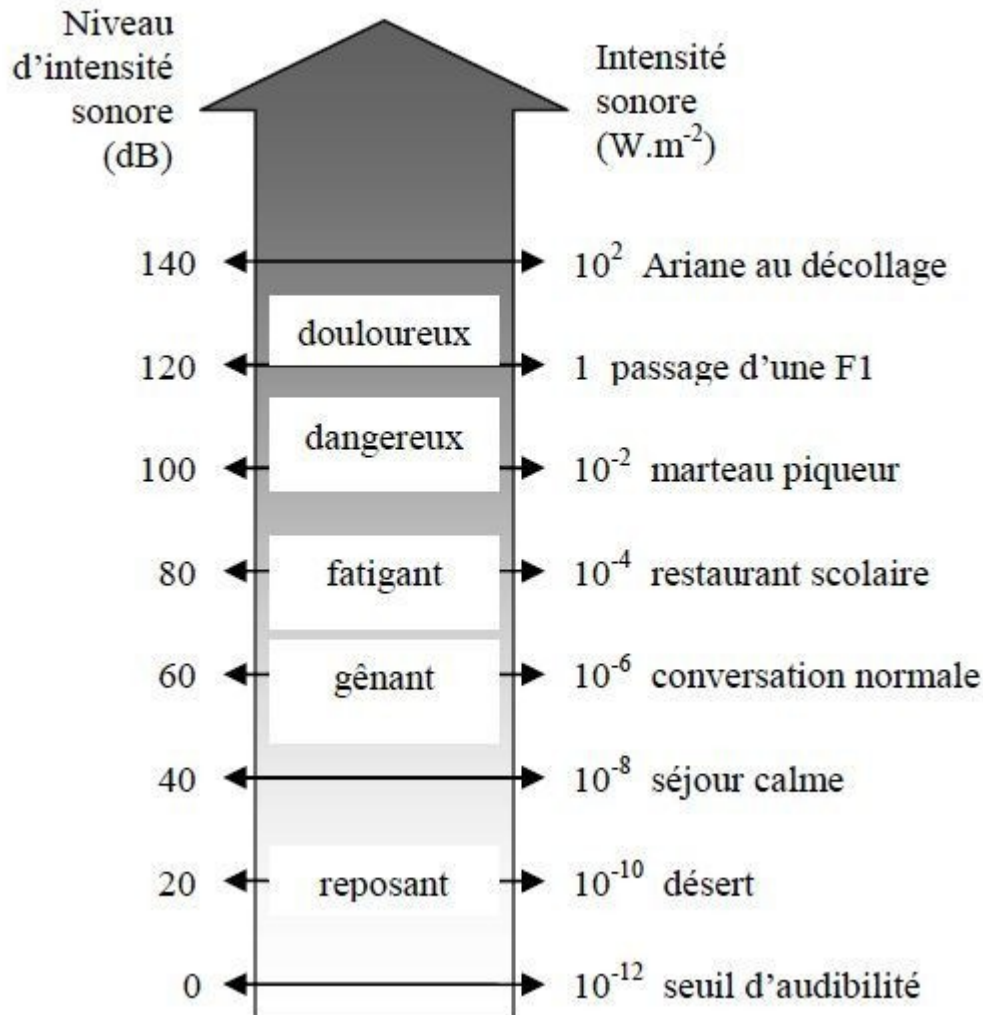
$$\Delta L = 10 \cdot \log \frac{2 \cdot 10^{-4}}{10^{-12}} - 10 \cdot \log \frac{10^{-4}}{10^{-12}} = 10 \cdot \log 2 \cdot 10^8 - 10 \cdot \log 10^8 = 10 \cdot \log \frac{2 \cdot 10^8}{10^8} = 10 \cdot \log 2 = 10 \cdot 0,3 = 3 \text{ dB} \dots$$

le niveau sonore augmente alors de 3dB (seulement!)

Ainsi un appareil ménager de niveau sonore 73dB est deux fois plus bruyant qu'un autre de niveau 70dB !

L'échelle des décibels comme toute échelle logarithmique est souvent trompeuse !

3.1.5 tableau de correspondance entre I et L de différentes sources sonores



Règles de base sur les décibels (dB)

Variation en dB

- hausse de 3 dB
- baisse de 3 dB
- hausse de 10 dB
- baisse de 10 dB
- hausse de 20 dB
- baisse de 20 dB

Variation de l'intensité acoustique

- l'intensité acoustique double
- L'intensité acoustique diminue de moitié
- l'intensité acoustique devient 10 fois plus grande
- L'intensité acoustique devient 10 fois plus petite
- L'intensité acoustique devient 100 fois plus grande
- L'intensité acoustique devient 100 fois plus petite

3.2 Calculer une intensité sonore à partir du niveau sonore :

3.2.1 Calculer l'intensité sonore I d'un instrument de musique qui émet une note de niveau d'intensité sonore $L = 60$ dB.

On remplace les valeurs connues dans la fameuse relation liant L et I :

$$60 = 10 \cdot \log \frac{I}{10^{-12}} \rightarrow \log \frac{I}{10^{-12}} = \frac{60}{10} = 6$$

Il faut alors isoler I en « le sortant » du logarithme. On utilise la fonction réciproque 10^x qu'on applique à gauche et à droite du signe « = » afin de conserver l'égalité :

$$10^6 = 10^{\left(\log \frac{I}{10^{-12}}\right)} = \frac{I}{10^{-12}} \Rightarrow I = 10^{-12} \cdot 10^6 = 10^{-6} \text{ Wm}^{-2}$$

Formule générale reliant I et L :

$$I = I_0 \cdot 10^{\frac{L}{10}}$$

3.2.2 On considère 4 instruments qui émettent, chacun SEUL, une note de niveau d'intensité sonore $L = 60$ dB. Quel sera le niveau d'intensité sonore si les 4 instruments jouent ensemble ?

Avant même de commencer, il faut retenir que :

**ON N'AJOUTE PAS LES NIVEAUX D'INTENSITÉ SONORE ENTRE EUX !
SEULES LES INTENSITÉS SONORES S'AJOUTENT !**

Dans ce genre d'exercice, on procédera toujours de la manière suivante :

- Il faut calculer les intensités sonores I de chaque source sonore.
- On ajoute ensuite toutes les intensités sonores I entre elles.
- On calcule finalement le niveau d'intensité sonore L .

Pour nos instruments de musique, on a déjà calculé l'intensité sonore et on a trouvé :

$$I = 1,0 \cdot 10^{-6} \text{ W.m}^{-2}.$$

Les 4 instruments ensemble vont produire une intensité sonore 4 fois plus importante soit :

$$I = 4,0 \cdot 10^{-6} \text{ W.m}^{-2}.$$

On peut alors calculer le nouveau niveau sonore L correspondant :

$$L = 10 \cdot \log \frac{4,0 \cdot 10^{-6}}{10^{-12}} = 10 \cdot \log (4 \cdot 10^6) = 10 \cdot (\log 4 + \log 10^6) = 10 \cdot (0,6 + 6) = 10 \cdot 6,6 = 66 \text{ dB}$$

4. Pourquoi le bruit constitue-t-il un danger important?

Le bruit constitue l'un des dangers les plus courants pour la santé au travail en particulier mais pas seulement. Dans les environnements de l'industrie lourde et du secteur manufacturier, comme dans les fermes et les cafétérias, la perte d'acuité auditive permanente est la principale préoccupation en matière de santé. La gêne, l'agression sonore et l'interférence avec la parole sont les principales préoccupations dans les bureaux, les écoles et les salles d'ordinateurs bruyants.

Afin de prévenir les effets néfastes de l'exposition au bruit, il faudrait réduire les niveaux de bruit à des valeurs acceptables. La meilleure façon de réduire le niveau de bruit consiste à apporter des modifications techniques à la source elle-même ou au milieu de travail. Lorsqu'il est impossible de résoudre adéquatement le problème par des modifications techniques, on peut avoir recours à des dispositifs de protection individuelle de l'ouïe (**par exemple serre-tête antibruit ou bouchons d'oreilles**). Cependant, la protection individuelle doit être considérée comme une mesure provisoire applicable pendant que d'autres moyens de réduction du bruit en milieu de travail sont étudiés et mis en œuvre.

Comme première étape de lutte contre le bruit, il faut déterminer dans les milieux de travail les zones ou les opérations présentant une exposition excessive au bruit.

Un son trop intense peut détruire les cellules ciliées de l'oreille interne qui convertit les sons en courants électriques détectés par le cerveau. C'est bien le cerveau qui entend, l'oreille ne faisant que le transmettre. Le vieillissement de l'oreille (**presbycusis**) est aussi une source de destruction très progressive des cellules ciliées en commençant par les cellules qui captent les sons de fréquence élevée.



Attention, un son très intense même bref (explosion, tir avec une arme, utilisation d'un outil...) peut être très destructeur. En plus de l'affaiblissement de la sensibilité de l'ouïe, des «bruits internes» incessants (les acouphènes) peuvent apparaître et pourrir le restant de la vie! Le cerveau restant «branché» sur les cellules mortes n'est pas insensible. Il ressent un manque et risque de s'altérer (risque de dépression grave).

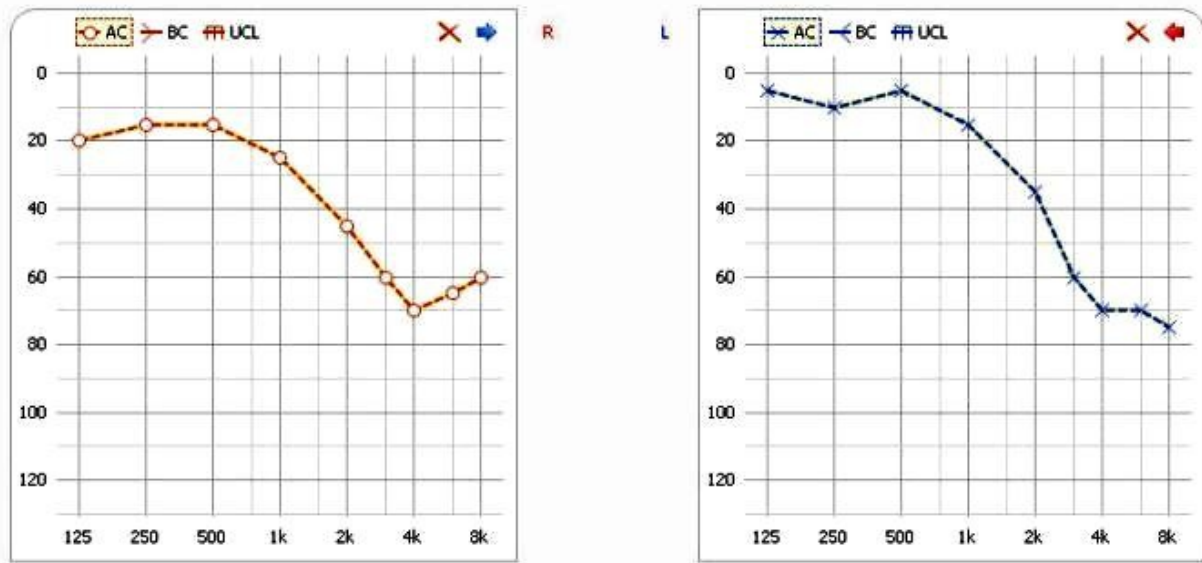
Les personnes jeunes se moquent souvent de ce genre de remarque... Avec l'âge on se rencontre souvent un peu trop tard que le manque de précaution a des conséquences néfastes sur la qualité de vie.

L'AUDIOGRAMME :

Il représente le seuil d'audibilité (en dB) de chaque oreille en fonction de la fréquence sonore.

Ci-dessous, nous observons celui d'une personne ayant perdu beaucoup de sensibilité pour les fréquences élevées.

(perte due à une exposition au bruit)



4. Comment puis-je savoir si mon milieu de travail est trop bruyant?

Si vous répondez oui à l'une des questions suivantes, il se peut que votre milieu de travail présente un problème de bruit.

- Les personnes présentes doivent-elles élever la voix?
- Les personnes qui travaillent dans des environnements bruyants ressentent-elles un tintement d'oreilles à la fin d'un quart de travail?
- Au retour à la maison, doivent-elles monter le volume de leur radio d'auto plus haut qu'elles le faisaient en se rendant au travail?
- Une personne qui a travaillé pendant des années dans un milieu bruyant a-t-elle de la difficulté à entendre les conversations dans des soirées ou au restaurant, ou dans des foules où elle est en présence d'une multitude de voix et de bruits « se faisant concurrence »?
- Lorsqu'un problème de bruit existe dans un milieu de travail, une évaluation ou un relevé du bruit devrait être effectué dans le but de déterminer les sources du bruit, le niveau du bruit, les personnes exposées et la durée de leur exposition.

5. Qu'est-ce que la pression acoustique?

La pression acoustique est la variation de pression de l'air produite par une source de bruit. Nous «entendons» ou percevons la pression acoustique comme étant l'intensité du son. Si le coup de bâton donné sur le tambour de notre exemple est très léger, la surface ne se déplace que sur une très courte distance, produisant ainsi de faibles variations de pression et, par conséquent, un son de faible intensité. Si le coup de bâton est plus fort, la surface du tambour se déplace davantage par rapport à sa position au repos. Par conséquent, l'accroissement de pression est plus grand. Pour la personne qui écoute, le son a une plus grande intensité.

La pression acoustique dépend aussi de l'environnement dans lequel est placée la source et de la distance de la personne qui écoute par rapport à la source. L'intensité perçue à deux mètres du tambour est plus grande si celui-ci est frappé dans une petite salle de bain que s'il est frappé au milieu d'un terrain de

football. En général, plus on s'éloigne du tambour, plus le son est faible. De plus, en présence de surfaces dures qui peuvent le réfléchir (p. ex. les murs d'une pièce), un son paraît plus intense qu'un son comparable produit à la même distance dans un champ dégagé.

La pression acoustique s'exprime habituellement en pascals (Pa). Une personne jeune et en santé peut percevoir des pressions acoustiques aussi faibles que 0,00002Pa. Une conversation normale produit une pression acoustique de 0,02 Pa. Une tondeuse à essence produit environ 1 Pa. À des pressions d'environ 20 Pa, le son est assez intense pour causer une douleur. Par conséquent, les sons courants que nous entendons ont des pressions acoustiques couvrant une gamme étendue (0,00002Pa à 20 Pa).

Il est difficile de traiter une gamme aussi étendue de pressions acoustiques. Pour contourner cette difficulté, nous utilisons le décibel (dB, ou dixième (déci) de bel). L'échelle des décibels, ou dB, est plus commode, parce qu'elle comprime l'échelle des nombres sur une plage manipulable.

6. Qu'est-ce que le niveau de pression acoustique?

On appelle niveau de pression acoustique (L_p) la pression acoustique convertie à l'échelle des décibels.. La figure ci-dessous montre une comparaison entre les pressions acoustiques exprimées en pascals (Pa) et les niveaux de pression acoustique exprimés en décibels (dB). Le zéro de l'échelle des décibels (0 dB) correspond à la pression acoustique de 0,00002 Pa. Par conséquent, 0,00002 Pa est la pression acoustique de référence à laquelle toutes les autres pressions acoustiques sont comparées sur l'échelle des décibels. C'est pourquoi la valeur en décibels d'un son est souvent exprimée sous la forme dB par rapport à 0,00002 Pa.

COMPARAISON DE LA PRESSION ACOUSTIQUE ET DU NIVEAU DE PRESSION ACOUSTIQUE			
Pression acoustique (Pa)		Niveau de pression acoustique (dB)	
	20	120	
	10	110	Marteau pneumatique (à 5 pi)
Orchestre de rock-n-roll	5	100	Machine de fabrication de textiles Rotative
Tondeuse à gazon motorisée (à l'oreille de l'utilisateur)	2	90	Camion diesel roulant à 40 mi/h (à 50 pi)
Fraiseuse (à 4 pi)	1	80	
Broyeur d'ordures (à 3 pi)	0,5	70	Automobile roulant à 50 mi/h (à 50 pi)
Aspirateur	0,2	60	Conversation (à 3 pi)
Conditionneur d'air de fenêtre (à 25 pi)	0,1	50	
	0,05	40	Pièce silencieuse
	0,02	30	
	0,01	20	
	0,005	10	
	0,002	0	
	0,001		
	0,0005		
	0,0002		
	0,0001		
	0,00005		
	0,00002		