



> Parmi les organes des sens qui nous permettent d'entrer et de rester en contact avec notre environnement, l'audition a une place privilégiée. Elle s'est adaptée aux besoins de l'homme au fil de son évolution, complétant la fonction d'alerte à distance (bruits des prédateurs ou des proies potentielles) par une fonction de communication de plus en plus évoluée. Le niveau du monde sonore qui nous entoure s'est beaucoup élevé, suivant les progrès et l'intensification de la mécanisation (moteurs, machines de plus en plus rapides) et même ceux de l'amplification volontaire des émissions sonores (sirènes, musique). Les phénomènes bruyants, dont les caractéristiques physiques sont à connaître, peuvent être gênants, voire dangereux pour l'homme. Si l'énergie qu'ils véhiculent est suffisante, ils peuvent en effet provoquer la destruction de certaines structures internes de l'oreille. Pour prévenir ce risque, il est utile de connaître les caractéristiques physiques du phénomène, celles de sa mesure, les niveaux rencontrés et certaines valeurs limites d'exposition. ♦



Except, 155, avenue Ledru-Rollin, 75011 Paris, France.  
[christian.meyer-bisch@wanadoo.fr](mailto:christian.meyer-bisch@wanadoo.fr)

élevé que celui qui correspond au seuil d'audibilité, c'est-à-dire le son le plus faible que l'oreille peut percevoir, qui a été mesuré à 20  $\mu\text{Pa}$ . La manipulation de ces grandeurs justifie l'utilisation d'une échelle logarithmique de base 10 qui a donné naissance au Bel. Ainsi, le champ dynamique de l'oreille s'inscrit entre 0 Bel (ou 0 dB) et 12 Bels (120 dB). Cette échelle a donc une base physiologique puisque 0 dB est relatif à un seuil physiologique et non pas acoustique.

Le fait que les niveaux sonores s'expriment en dB implique que les équations qui combinent les niveaux sonores ne sont pas linéaires.

Ainsi, lorsqu'on multiplie l'énergie sonore par 10, on augmente le niveau de 10 dB et, en suivant le même raisonnement, si l'énergie sonore double, son niveau augmente de trois dB ( $\text{Log}_{10} [2] = 0,301$ ). Si le bruit d'une tronçonneuse atteint 99  $\text{dB}_A$ <sup>1</sup> à un mètre, il faudra deux tronçonneuses pour atteindre 102, quatre pour 105 (intérieur d'une discothèque !), 10 pour aller à 109  $\text{dB}_A$  et 100 pour atteindre le seuil de douleur !

L'énergie sonore qui atteint l'oreille est proportionnelle à son niveau et à sa durée, de telle sorte qu'un son véhiculant une énergie  $W$  pendant un temps  $t$  est équivalent à un son d'énergie  $W/2$  pendant un temps  $2t$ . En suivant ce raisonnement iso-énergétique (Figure 1), l'exposition de l'oreille pendant 40h à 87  $\text{dB}_A$  est équivalente, en termes de danger, à une exposition pendant quatre heures à 97  $\text{dB}_A$  (une batterie d'instruments à percussion), deux heures à 100  $\text{dB}_A$  ou pendant 40 minutes à 105  $\text{dB}_A$  (discothèque).

Les phénomènes sonores correspondent à une vibration qui, lorsqu'elle est transmise en milieu aérien, est une variation de la pression de l'air. Si cette vibration est suffisamment rapide (20 battements par seconde) mais pas trop (20 000 par seconde), et si son amplitude est suffisamment grande, elle peut être perçue par l'oreille humaine. À ces deux grandeurs physiques sont associés respectivement la fréquence et le niveau de pression sonore.

### Niveau sonore

Le niveau sonore reflète l'intensité du son et, puisqu'il s'agit d'une variation de pression, il devrait s'exprimer en Pascals. En fait, on s'aperçoit que le niveau de pression correspondant au seuil de douleur est  $10^{12}$  fois plus

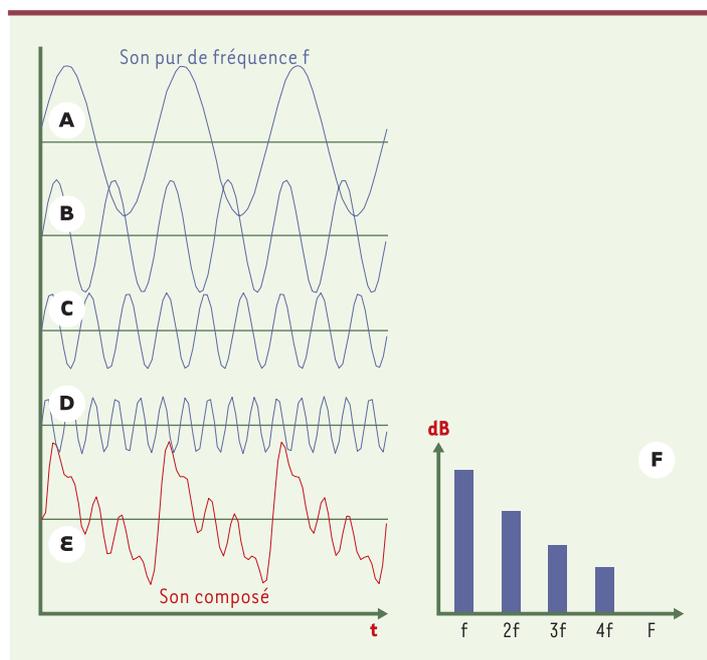
### Hauteur d'un son

La hauteur d'un son est exprimée par sa fréquence en Hertz (Hz). Plus elle est élevée, plus le son est aigu. Par

<sup>1</sup> La signification du « A » de  $\text{dB}_A$  est expliquée un peu plus loin.



**Figure 1. Échelle des niveaux de bruit nocifs pour l'audition.** Les niveaux sont exprimés en dB(A). En considérant que l'oreille peut supporter, sans dommage, un bruit de 87 dB pendant 8h (40h par semaine), avec un facteur d'équivalence énergétique de 3 dB, on peut en déduire que l'oreille ne supportera un bruit de 90 dB(A) que pendant 20 h par semaine, 105 dB pendant 40 minutes...



**Figure 2. Son pur et sons composés.** La représentation d'un son pur (A) se fait par une sinusoïde de fréquence  $f$ . Les courbes (B), (C) et (D) représentent des harmoniques dont la fréquence est respectivement de  $2f$ ,  $3f$  et  $4f$ . La somme de ces quatre courbes est représentée en (E) : c'est un son composé dont la fréquence est la même que celle du son fondamental. Une autre façon de représenter les composantes de ce son se trouve en (F). Il s'agit de son spectre dans lequel les quatre barres ont une hauteur proportionnelle à celle des sinusoïdes.

exemple, la fréquence d'une voix grave est de l'ordre de 100 Hz, celle de la tonalité du téléphone est un son pur de 440 Hz (le *la* des musiciens), celle du *la* suivant est de 880 Hz. Chaque fois que la fréquence double, la sensation de hauteur augmente d'un intervalle appelé octave par les acousticiens et par les musiciens occidentaux. Pour comprendre la parole, il est nécessaire de bien percevoir les sons jusque 3 kHz environ, mais les sons plus aigus sont très utiles pour percevoir la subtilité de certains messages sonores, comme le timbre qui permet de distinguer deux sons de même hauteur. En pratique, les sons sont toujours composés d'un certain nombre de fréquences qui, lorsqu'elles sont harmonieusement ajoutées (les harmoniques) à la fréquence fondamentale, forment des sons musicaux (Figure 2). Dans ce cas particulier, la fréquence de chaque harmonique est un multiple de celle du son fondamental. Le graphique qui représente l'ensemble de ces fréquences, dont chacune porte une certaine énergie, forme le spectre fréquentiel du son.

Le bruit, quant à lui, est composé d'une multitude de fréquences quelconques, si bien qu'il est difficile d'en déterminer la hauteur avec précision. Le bruit blanc, dont les fréquences sont réparties sur une large bande fréquentielle, n'a d'ailleurs pas de hauteur du tout (bruit du vent, d'une chute d'eau, d'une machine à laver). Un vrai bruit blanc est composé de toutes les fréquences qui peuvent être perçues (de 20 Hz à 20 kHz), chaque fréquence portant en moyenne la même énergie ; son spectre est à peu près plat.

En fait, la sensibilité de l'oreille, qui est nulle en dessous de 20 Hz, croît progressivement pour atteindre un maximum entre 500 et 5 000 Hz, puis décroît pour devenir nulle autour de 20 kHz. Cette courbe de sensibilité de l'oreille oblige à considérer qu'un son de 100 Hz portant la même énergie qu'un son de 1 kHz ne donnera pas la même sensation de force sonore, c'est-à-dire de sonie. Si un son de 5 dB est généralement perçu à 1 kHz, il faut qu'il atteigne plus de 25 dB pour être perçu si sa fréquence est de 125 Hz (Figure 3).

### Bruit et risque auditif

À cette différence de sensibilité de l'oreille, correspond également une différence de fragilité. Les sons de basses fréquences sont moins traumatisants pour l'oreille que les sons aigus. La zone de fragilité maximum se situe autour de 4 kHz pour décroître à mesure que l'on s'éloigne de 6 ou 8 kHz. Pour caractériser le risque auditif provoqué par le bruit, il est donc nécessaire de tenir compte de sa composition en fréquences (son spectre) et de cette courbe de fragilité qui a été modélisée et s'appelle courbe de pondération A (Figure 4). Par conséquent, les

acousticiens qui mesurent les niveaux sonores dans le but d'évaluer un risque auditif utilisent un décibel pondéré A, noté dB(A) ou dB<sub>A</sub>. Les sonomètres, instruments de mesure des niveaux sonores répondant à des normes internationales très précises, comportent généralement cette pondération.

Si l'on s'intéresse à la gêne provoquée par le bruit à des niveaux faibles ou moyens, on utilise généralement une autre courbe de pondération, qui accorde plus d'importance aux basses fréquences dont on sait qu'elles masquent plus facilement les sons aigus; on parle alors de dB<sub>C</sub>. Ainsi, pour évaluer la gêne réelle liée au bruit, par exemple dans un bureau (ce niveau devrait en pratique être inférieur à 50 dB), on devrait préférer l'usage d'un sonomètre donnant des résultats en dB<sub>C</sub>, mais les instruments comportant ce filtre de pondération sont moins courants.

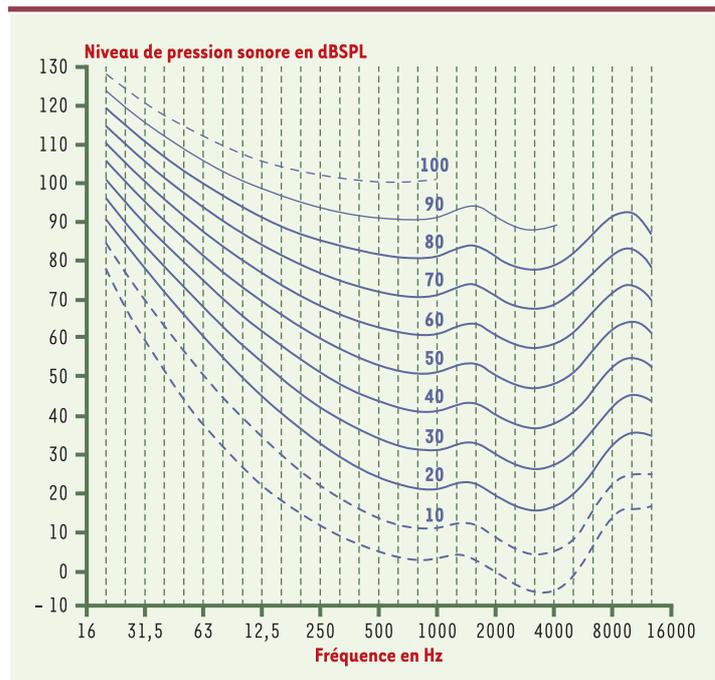
Le dernier paramètre à prendre en considération pour évaluer le risque auditif lié au bruit est son caractère continu ou fluctuant. Le niveau sonore émis par une imprimerie, une machine, un orchestre, la circulation routière, est fluctuant. Cette fluctuation se caractérise par des niveaux de crête (correspondant à des sommets sur une courbe dB/temps) et par un « niveau continu équivalent » appelé Leq (Figure 5). Le Leq est le niveau d'un bruit continu qui, sur une période donnée, porterait la même énergie que le bruit étudié pendant la même durée. Un Leq peut s'exprimer en dB ou en dB pondéré A ou C. Aussi, lorsque l'on s'intéresse au risque auditif, les niveaux sonores sont habituellement mesurés à l'aide de L<sub>Aeq</sub> 15 minutes, par exemple. À énergie équivalente, on connaît mal la nocivité pour l'oreille de rafales de bruits impulsifs comparées à des bruits fluctuant plus lentement. Ainsi, un fusil d'assaut émet un bruit dépassant 160 dB, mais ce bruit est tellement court (c'est presque une impulsion de Dirac) qu'il contient une énergie relativement faible. Pour approcher la mesure énergétique de ce phénomène sonore, on a introduit récemment le Leq court (1s), qui devrait permettre de mieux étudier ses effets délétères sur l'audition.

### Exemples de bruits de la vie courante et des loisirs

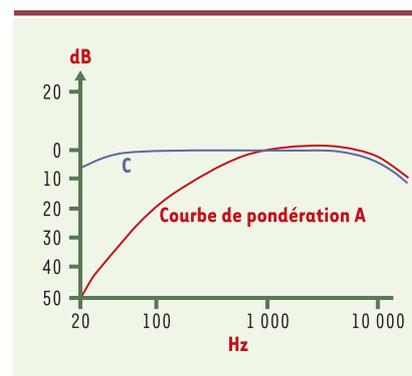
Les valeurs de niveaux sonores (en dB<sub>A</sub>) indiquées dans le *Tableau 1* donnent quelques exemples de situations plus ou moins bruyantes.

### Bruit et monde du travail

Il est interdit d'exposer les salariés à un niveau sonore dépassant 90 dBA (Leq de 8h) ou à des niveaux de crêtes supérieurs à 140 dB sans protection auditive<sup>2</sup>. À partir

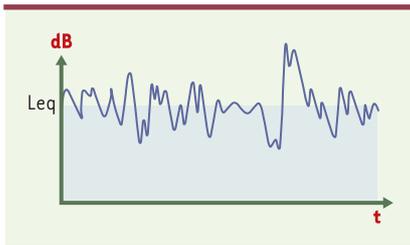


**Figure 3. Lignes isotoniques normales.** D'après la norme ISO CEN Afnor 226 (2002). L'oreille n'a pas la même sensibilité aux sons très graves, médium ou très aigus. Pour un niveau de pression sonore physique donné, la sensation sonore réellement perçue par l'oreille (sonie) n'est pas la même pour toutes les fréquences. Par exemple, il faut une pression sonore de plus de 80 dB SPL à 16 Hz, et de plus de 30 dB SPL à 125 Hz pour provoquer une sensation de seulement 10 dB. Les valeurs de sonie correspondant aux différentes courbes sont indiquées en bleu. Le dB SPL (*sound pressure level*) exprime le fait que ce décibel est celui des acousticiens, sans aucune pondération.



**Figure 4. Courbes de pondérations utilisées en sonométrie.** La différence de sensibilité de l'oreille aux diverses fréquences du son est explicitée dans la *Figure 3*. Ces données ont permis de construire un modèle et de dessiner la courbe de pondération A, utilisée pour exprimer un niveau sonore à l'aide d'un seul indicateur, le dB(A), quand on s'intéresse au risque auditif. Dans d'autres cas (gêne engendrée par le bruit), on utilise la pondération C qui accorde plus d'importance aux basses fréquences. Les sonomètres habituellement utilisés pour mesurer l'exposition sonore comportent le filtre de pondération A et parfois un filtre C.

<sup>2</sup> Code du travail. Article R232-8-1 et suivants.



**Figure 5. Le Leq (niveau continu équivalent).** Sauf exception, les bruits ne sont jamais strictement continus, mais leur niveau fluctue en fonction du temps. Or, l'oreille est en danger quand elle est exposée à une trop forte énergie sonore. Pour exprimer à l'aide d'un seul indicateur le niveau d'exposition sonore, les acousticiens intègrent les mesures de niveau instantané sur une période donnée, par exemple 15 minutes. Ils obtiennent ainsi un niveau continu équivalent, qui est le niveau d'un bruit continu qui correspond, en termes d'énergie, au bruit fluctuant mesuré pendant un temps déterminé. Les Leq sont généralement exprimés en dB(A), si bien que les plus utilisés sont des LAeq. Toutes les valeurs limites d'exposition se réfèrent à des LAeq. Dans le monde des loisirs, on parle plus volontiers de LAeq (15 min), dans le monde du travail, ce sont des LAeq (8 h).

de 85 dBA, des mesures de prévention doivent être prises et des protecteurs auditifs doivent être mis à la disposition des travailleurs.

Une directive européenne de 2003<sup>3</sup> prévoit que ces niveaux ne devront plus dépasser 87 dBA ou des crêtes de 200 Pa (140 dB) et, à partir de 80 dBA ou pour des crêtes de 112 Pa (135 dB), des actions de prévention devront être mises en œuvre. Cette directive, non encore transposée en droit français, devra être appliquée à partir du 15 février 2006, y compris aux travailleurs du spectacle, dès février 2008, ce qui risque de poser des problèmes acoustiques difficiles à résoudre.

### Conclusions

La prévention des risques auditifs induits par le bruit ou par des niveaux sonores élevés nécessite une connais-

<sup>3</sup> Directive 2003/10/CE du Parlement Européen et du Conseil du 6 février 2003 concernant les prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (bruit).

Circonstances		Énergie sonore (dB <sub>A</sub> )
<b>Vie courante</b>	Sensation de silence	25 à 30
	Sensation de calme nécessaire pour un bon sommeil et utile pour le repos	35 à 40
	Niveau maximum pour un travail intellectuel non perturbé	50
	Niveau sonore moyen émis par un locuteur à un mètre	60 à 65
	Bar ou restaurant animé	70 à 75
	Rue animée	70 à 80
	Flot de voitures et camions démarrant à un feu vert	85 à 95
	Rue très animée (klaxons, motos, camions, cris...)	90 à 95
Sirène de pompiers perçue par un passant	100 à 110	
<b>Monde des loisirs</b>	Dans un TGV	55 à 60
	Dans un avion de ligne	65 à 85
	Tondeuse à gazon (essence)	70 à 80
	Bricolage avec outillage portatif électrique	80 à 90
	Salle de cinéma	80 à 90
	Sous le casque d'un motard	80 à 100
	Baladeur et ses écouteurs (le niveau est limité à 100 dB par la loi <sup>1</sup> depuis 1996)	85 à 100
	Cette règle est correctement appliquée mais il arrive, rarement, que le changement des écouteurs ou l'usage de matériels enregistrés à fort niveau permette d'atteindre 110 dBA)	
	Pratique d'un instrument de musique non amplifié	85 à 100
	Discothèque ou concert de musique amplifiée <sup>2</sup>	100 à 105
Passage d'une formule 1 (mais c'est très court...)	110	

**Tableau I. Exemples de niveaux sonores rencontrés dans la vie courante et dans le monde des loisirs.** <sup>1</sup> Code de la santé publique. Article L5232-1. <sup>2</sup> Un décret de 1998 (n°98-1143 du 15 décembre 1998) limite les niveaux à 105 dB et, pour s'assurer que cette règle est respectée, impose l'installation « plombée » d'un limiteur dans toutes les salles recevant plus de 100 auditeurs, mais les amateurs qui répètent dans une cave peuvent être exposés à des niveaux de l'ordre de 110 dB, niveau probablement souvent dépassé dans les raves. Le niveau de crête maximum a été fixé à 120 dB. La Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales et les Directions Départementales des Affaires Sanitaires et Sociales d'Ile-de-France ont effectué une campagne de mesures en 2000-2001 afin d'évaluer l'application des textes: 39 % des établissements dépassent le niveau moyen de 105 dB (A); 100 % des établissements dépassent le niveau de crête de 120 dB (un coup de caisse claire engendre une crête de 137 dB).

sance suffisante de leurs caractéristiques physiques. Le niveau sonore n'est pas la seule donnée à prendre en considération; il faut y ajouter la durée d'exposition et le spectre du phénomène sonore. Si, dans le monde du travail, les dispositions sont généralement prises pour maîtriser les risques auxquels sont exposés certains salariés, il n'en est pas de même pour les professions indépendantes, en particulier dans le monde des loisirs, même si la récente directive européenne tend à améliorer la situation. ♦

## SUMMARY

### Measuring noise

High levels of noise encountered both in leisure activities and at workplaces can be somewhat annoying, but they can also cause hearing damage. In order to lessen these risks, some physical characteristics of the sound phenomenon need to be understood. The level of a sound is given in dB, a logarithmic unit in which simple addition is not available:  $100 \text{ dB} + 100 \text{ dB} = 103 \text{ dB}$ . The highest level of noise which can be tolerated by the human ear is considered to be 120 dB. Another component of sound characteristics is the frequency, which describes the height of a sound. The frequency is given in Hz, the human hearing field is comprised in the range of 20 to 20 000 Hz. Regarding the sensitivity of the ear, depending on the frequency, acousticians use a weighed dB, called dB(A), which takes into account a lower risk to hearing below 500 Hz and above 6 kHz. They also integrate the energy measured during a period of time to take the fluctuation of usual noise levels into account. So that currently, the levels of noise are often given in LAeq (equivalent to the level of continuous noise given in dBA). For moderate levels of noise, another weighted filter is used in sound level meters: the C curve, because low frequencies, although they are less dangerous for the ear, are more disturbing. In every day life, we sometimes have noise levels reaching 100 dB, and even 120 dB (fire alarms). Amplified music can reach 110 dBA, but a French regulation limits the output of

PCPs (Walkmans) to 100 dB and the levels in concerts and discotheques to 105 dBA. At the workplace, the maximum level of noise allowed by French Law is 90 dBA for an 8 hour exposure, and 140 dB for peaks. In order to improve the protection of all workers in the EC, a recent European Directive will decrease the maximum level to 87 dBA before March 2006. ♦

## GLOSSAIRE

### **dB: décibel**

Le dB exprime le niveau de pression sonore (ou niveau sonore) par rapport à la plus faible intensité d'un son perçue par l'oreille humaine. Cette unité s'inscrit sur une échelle logarithmique.

### **dB<sub>A</sub> ou dB(A) ou dBA: décibel en pondération A**

Le dBA exprime un niveau sonore global, quelle que soit sa composition en différentes fréquences, en tenant compte de la plus grande fragilité de l'oreille aux fréquences élevées. Cette unité est utilisée par les acousticiens lors des mesures de bruit.

### **Hz: Hertz**

Unité de fréquence du son, qui est une vibration. Un Hz équivaut à une vibration par seconde.

### **Leq: Niveau continu équivalent**

Pour exprimer le niveau sonore « moyen » d'un bruit fluctuant, les acousticiens utilisent des sonomètres qui intègrent le niveau sonore sur une certaine période, donnant un résultat proportionnel à l'énergie sonore mesurée pendant cette période. Un Leq est exprimé en dB, souvent en dB<sub>A</sub>.

## TIRÉS À PART

C. Meyer-Bisch



Tarifs d'abonnement M/S - 2005

**Abonnez-vous  
à Médecine/Sciences**

> 1985-2005, depuis 20 ans, grâce à m/s,  
vous vivez en direct les progrès  
des sciences biologiques et médicales

Bulletin d'abonnement  
page 475 dans ce numéro de m/s

