

Bruit de l'Environnement



Bruit de l'Environnement



Sommaire

Avertissement	3
Introduction	4
Qu'est-ce que le son ?	7
Les types de bruit	13
Propagation du bruit dans l'environnement	15
Identifier les sources sonores	22
Mesurer le bruit	23
Calibrage	27
Niveau d'évaluation, gêne, pénalités	28
Niveaux limites	30
Rapport et procès-verbal de mesurage	37
Prévoir le bruit (algorithmes)	39
Planifier	45
Réduire le bruit	49
Sur place ou à distance ?	52
Surveiller en permanence	55
Normes internationales	58
Quelques indicateurs et descripteurs	61
Brüel & Kjær	66

Copyright © 2000, 2001 Brüel & Kjær Sound & Vibration Measurement A/S.
Cette publication est protégée par la loi “copyright” et traités internationaux.

Le contenu peut être copié et distribué dans sa totalité ou en partie pour autant que l'origine soit mentionné et accepté par Brüel & Kjær.

Brüel & Kjær Sound & Vibration ne peut être tenu responsable des dommages et pertes qui pourrait survenir de l'utilisation de cette publication.

Avertissement

On voudra bien n'entendre ici, par Bruit de l'environnement, que les nuisances sonores induites par les activités industrielles, de transport terrestre et aérien, et les activités à caractère sportif, commercial ou culturel organisées dans les édifices et lieux publics. Ce terme n'englobe pas les applications apparentées, relatives notamment à l'acoustique du bâtiment ou aux nuisances dues aux vibrations, ni même le bruit de voisinage. Ne sont abordés dans ces pages ni l'effet et le mesurage des vibrations sur le corps humain ni les applications industrielles de la mesure vibroacoustique. Brüel & Kjær se tient à votre disposition pour toute question concernant ces domaines spécifiques.

Ce Livret a pour but de parcourir les pratiques et les méthodes de caractérisation et de mesurage les plus actuelles. C'est pourquoi les références normatives citées sont exclusivement les textes génériques internationaux. Pour obtenir plus de précisions sur les particularités des normes propres à chaque pays ainsi que sur la réglementation en vigueur, le lecteur voudra bien s'informer auprès de son agence Brüel & Kjær ou des pouvoirs publics de son pays ou de sa région.

Brüel & Kjær remercie le personnel de DGMR Consulting Engineers bv, La Haye, Pays-Bas, pour leur aide à la rédaction du texte et des illustrations des sections Propagation du bruit dans l'environnement et Prévoir le bruit.

Introduction

L'intérêt des médias du monde entier pour les conséquences du bruit dans l'environnement est symptomatique : les nuisances et conflits liés au bruit sont devenus un phénomène de société, un défi social mettant en jeu des sommes d'argent et une énergie considérables. Aucune région du globe n'y échappe, même si la manière d'appréhender ou de traiter le problème varie avec la disparité des cultures et des enjeux politiques et économiques. On constate ce phénomène de société même dans les pays où la lutte contre le bruit a conduit à atténuer et réglementer les sources de nuisance et à imaginer des dispositifs de protection et de prévention. Citons pour exemple que si la volonté de diminuer à la source le bruit routier a conduit à fabriquer des véhicules beaucoup moins bruyants qu'il y a dix ans, ce progrès indéniable n'a cependant ni freiné l'augmentation de la gêne ni encore moins éradiqué le problème, du fait de la croissance du trafic.

Il n'existe pas d'estimation de l'impact du bruit de l'environnement sur l'économie et sur la santé de la population mondiale. L'Europe a pour sa part publié un Livre vert consacré à la "Politique future de lutte contre le bruit" (1996).



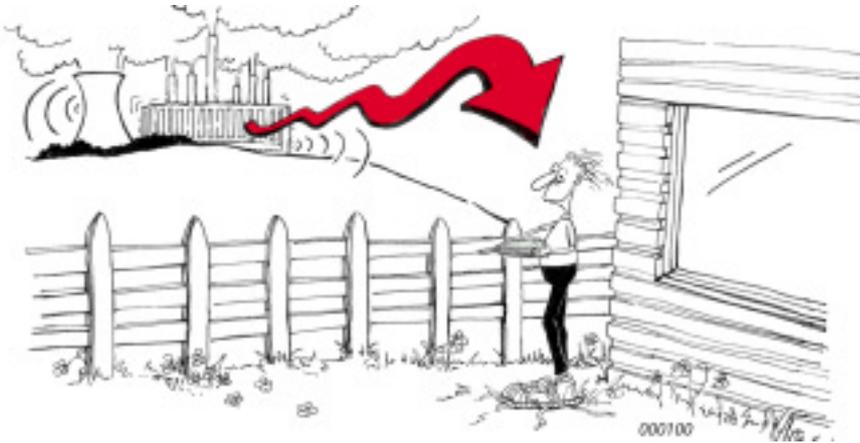
000082

- Ce Livre vert estime à 20% (80 millions de personnes) le pourcentage de la population souffrant de perturbation du sommeil, de gêne et d'autres effets nocifs induits par le bruit. 170 millions d'Européens vivent en outre dans des endroits où le niveau de bruit constitue une nuisance pendant la journée
- Le bruit de l'environnement coûte à la société entre 0,2% et 2% du PIB. Le premier de ces chiffres représente à lui seul une somme considérable.

La lutte contre le bruit dans l'environnement

Les moyens de lutte varient d'un pays à l'autre. Les textes de loi, les méthodes mises en oeuvre, l'approche, voire même les enjeux politiques représentés par ce thème peuvent différer. Mais les domaines d'intervention et les plans d'action suivants sont communs :

- Plans d'urbanisme, plans d'occupation des sols, plans de gêne sonore, plans d'exposition au bruit acoustique, etc.
- Instruction des plaintes et des doléances publiques avant et après la réalisation de projets de construction d'infrastructures et installations
- Evaluation de la conformité/non-conformité des sites et infrastructures (usines, centres commerciaux, aéroports, autoroutes, voies ferrées, etc.) au regard des textes réglementaires.

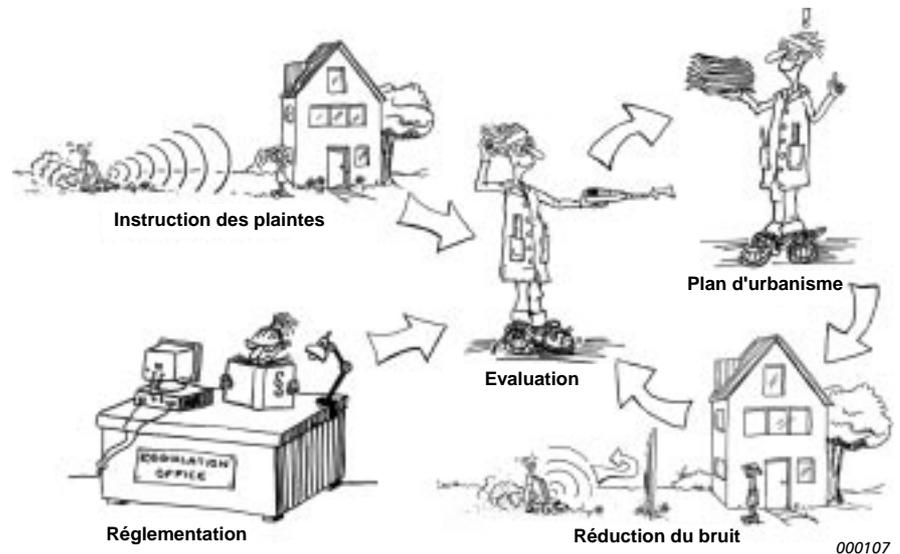


Dans chaque domaine d'intervention, les acteurs de la lutte contre le bruit exécutent des tâches bien définies :

- Mesurages sur le site
- Evaluation du bruit provenant de sources spécifiques
- Calcul prévisionnel du bruit
- Cartographie du bruit
- Constitution de rapports à l'adresse du public et des décideurs
- Archivage des données et facilitation de l'accès à ces données
- Témoignages d'expert

Ces tâches exigent compétences et savoir-faire. Au vu des risques sur la santé et des enjeux économiques ici représentés, toutes les parties concernées, c'est-à-dire les acteurs professionnels impliqués dans cette lutte, les élus, les responsables de collectivités, les associations et le public en général doivent pouvoir les maîtriser ou les appréhender de manière pertinente.

C'est à tous ces acteurs potentiels que s'adresse ce Livret, pour une présentation des problèmes auxquels ils sont et seront confrontés et des solutions actuellement envisageables. S'il s'efforce de faire le tour de la question, son format lui interdit toutefois d'approfondir chacun des points abordés et d'entrer dans le détail des réglementations nationales. Mais le lecteur pourra évidemment compter sur son agence Brüel & Kjær locale pour l'éclairer sur les procédures et textes officiels qui le concernent plus particulièrement.



000107

Qu'est-ce que le son ?

Qu'est-ce que le son ?

Le son peut se définir comme toute variation rapide de pression (dans l'air, dans l'eau ou tout autre milieu) décelable à l'oreille. L'onde sonore qui fait vibrer le tympan résulte du déplacement originel d'une particule d'air par rapport à sa position d'équilibre. Cette mise en mouvement se répercute progressivement sur les particules voisines tout en s'éloignant de la source. La vitesse de propagation de l'onde est variable : elle est dans l'air de l'ordre de 340 m/s ; en milieu liquide ou solide, elle est plus importante (1500 m/s dans l'eau, et 5000 m/s dans l'acier).

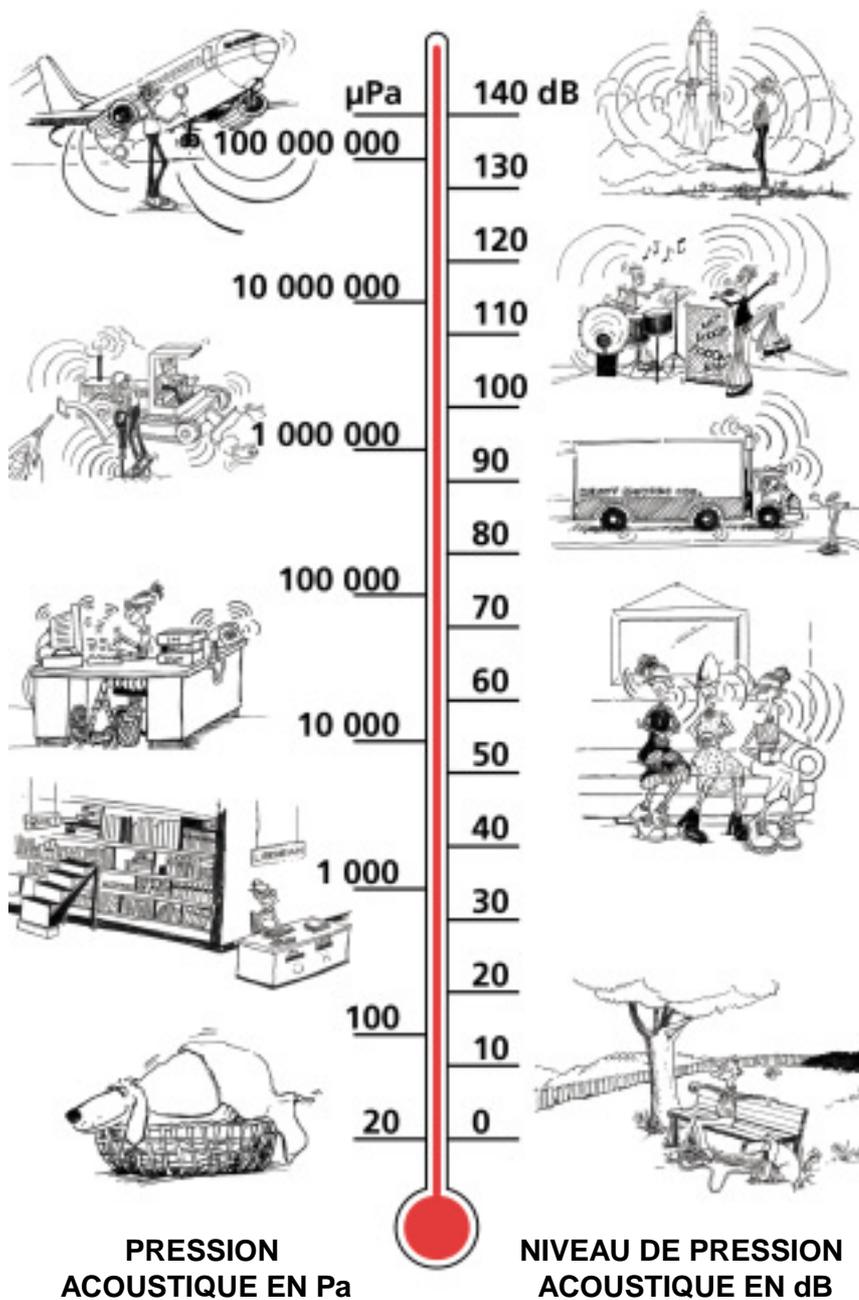
Niveaux de bruit typiques

Comparées à la pression atmosphérique (10^5 Pa), les variations de pression audibles sont très faibles, de 20 μ Pa (20×10^{-6} Pa) à 100 Pa environ.

20 μ Pa correspond au seuil d'audition moyen de l'homme. A l'opposé, une pression acoustique de 100 Pa est si forte qu'elle correspond au seuil de la douleur. Le rapport entre ces deux valeurs est de l'ordre du million.

Appliquer directement une échelle linéaire en Pascal aux mesures de pression acoustique conduirait donc à manier des valeurs peu pratiques parce qu'éventuellement très différentes en amplitude. Comme, par ailleurs, l'oreille répond aux stimuli sur un mode logarithmique et non un mode linéaire, on préfère exprimer les pressions acoustiques sous la forme d'un rapport logarithmique entre la valeur mesurée et une valeur de référence. Ce rapport est exprimé en décibel (dB). L'avantage de l'utilisation du dB est clairement illustré à la page suivante. L'échelle linéaire y est remplacée par une échelle plus pratique comprise entre 0 dB, correspondant au seuil d'audition (20 μ Pa), et 134 dB (100 Pa).

L'oreille couvre une gamme de valeurs de pression acoustique variant dans un rapport de 1 à 1 million (exprimées en Pa). Il est donc plus pratique d'utiliser une échelle logarithmique en dB

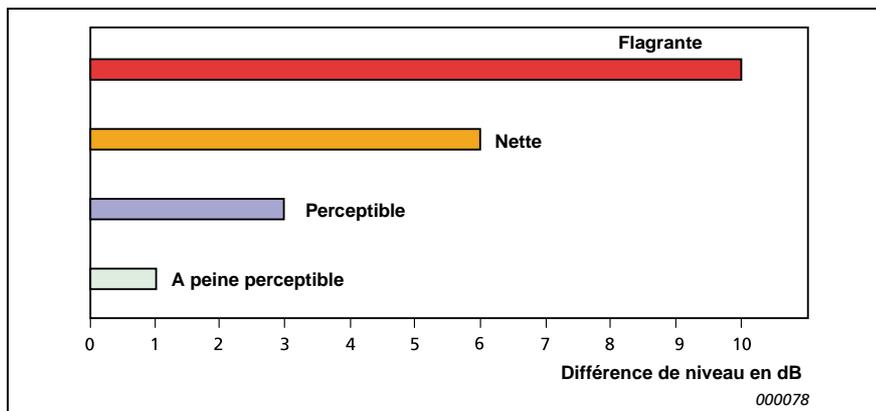


000111

Perception du son

Nous avons défini le son comme toute variation de pression provoquant une vibration du tympan. Le nombre de ces variations par seconde est la Fréquence, exprimée en hertz (Hz). La gamme des fréquences audibles d'un sujet jeune et othologiquement sain s'étend approximativement de 20 Hz à 20 kHz.

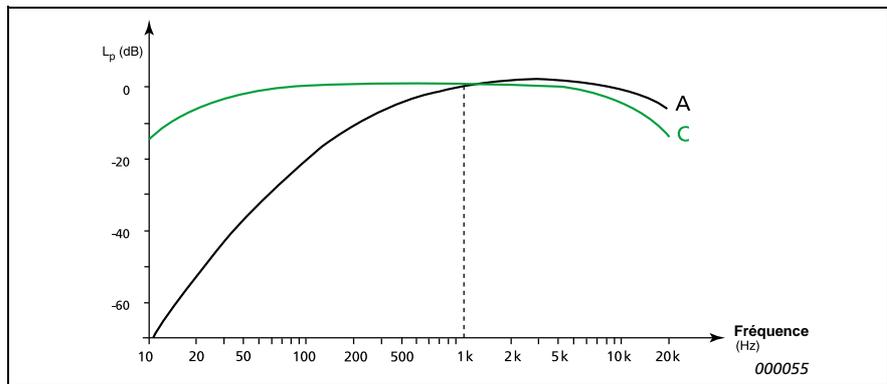
En termes de pression acoustique, les sons audibles se situent entre 0 dB (seuil d'audition) et 130 dB (seuil de la douleur et au delà). Même si une augmentation de 6 dB représente un doublement de la pression acoustique, seule une augmentation d'au minimum 8-10 dB sera perçue comme une augmentation sensible du son. Le plus faible changement audible est de l'ordre de 1 dB.



Courbes de pondération fréquentielle

L'ouïe se caractérise par une baisse d'acuité à très basse et très haute fréquence. Pour reproduire et simuler ce phénomène lors de mesurages acoustiques objectifs, on intègre aux instruments des filtres de pondération. La pondération fréquentielle la plus courante est la pondération A, qui correspond à la réponse l'oreille "fréquentielle". Les mesures sont alors exprimées en dB(A).

Une courbe de pondération C est également utilisable, en particulier lorsqu'il s'agit de mesurer des bruits de très forte amplitude ou bien de fréquence très basse.



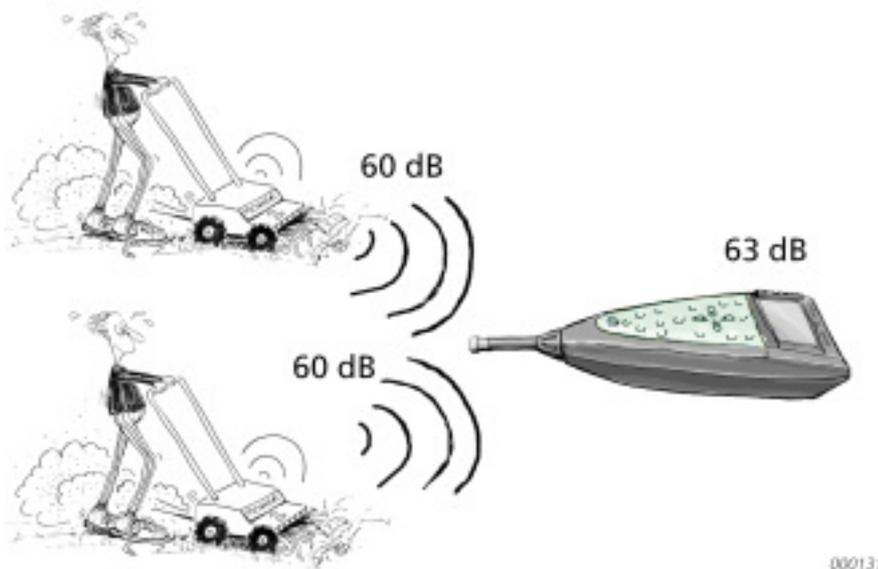
Addition et soustraction des niveaux acoustiques

Addition des niveaux acoustiques

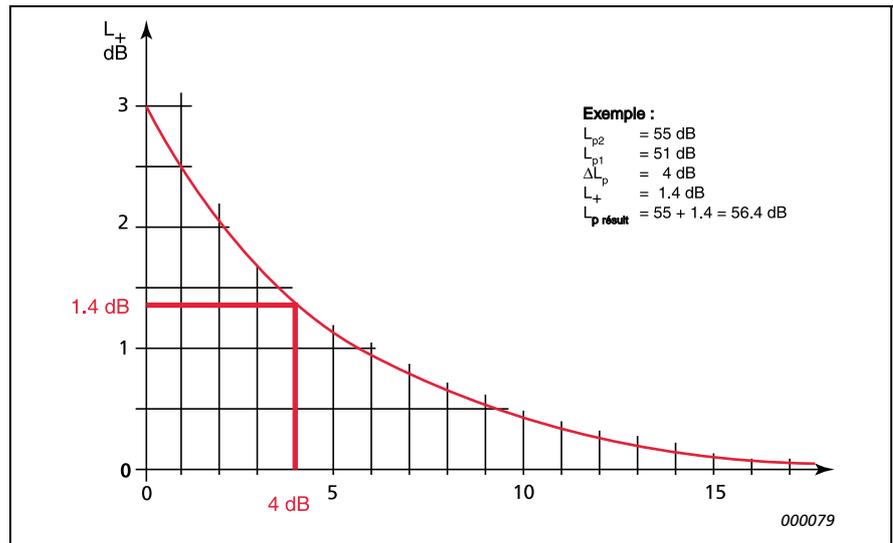
Si les niveaux acoustiques associés à deux ou plusieurs sources de bruit ont été mesurés séparément, il faut les appréhender globalement pour connaître le niveau de pression acoustique résultant. Or, les décibels, valeurs logarithmiques, ne peuvent pas être directement additionnées.

Pour additionner des valeurs en dB, il faut d'abord les convertir individuellement en valeurs linéaires, faire la somme de ces dernières, puis revenir aux valeurs en décibels au moyen de la formule suivante :

$$L_p \text{ résultant} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_{p1}}{10}} + 10^{\frac{L_{p2}}{10}} + 10^{\frac{L_{p3}}{10}} + \dots + 10^{\frac{L_{pn}}{10}} \right)$$



Une méthode plus simple consiste à se servir d'une abaque :



1. On mesure le niveau de pression acoustique SPL (Sound Pressure Level) associé séparément à chacune des sources (L_{p1} , L_{p2}).
2. On calcule la différence (ΔL) entre ces niveaux ($L_{p2} - L_{p1}$).
3. On repère cette valeur sur l'axe des abscisses, on remonte jusqu'au point d'intersection avec la courbe et on lit la valeur correspondante sur l'axe des ordonnées.
4. On ajoute la valeur en ordonnée ainsi obtenue (L_{p+}) au niveau acoustique produit par la source la plus bruyante (L_{p2}) pour obtenir le niveau SPL combiné des deux sources.
5. Dans le cas d'un nombre de sources plus important, les étapes 1 à 4 doivent être répétées en utilisant la somme obtenue pour les premières sources et le SPL de chacune des sources supplémentaires.

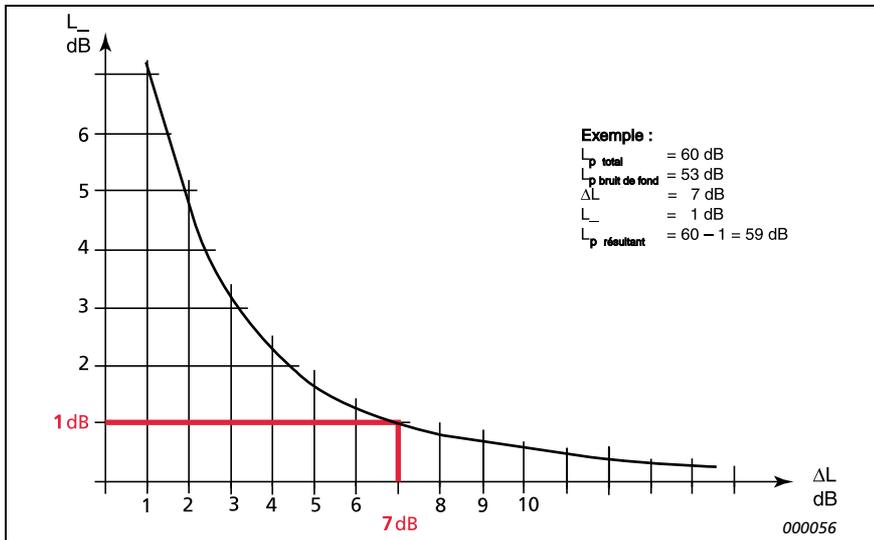
Une différence nulle ($\Delta L = 0$) ramène au cas illustré précédemment où 3 dB ont été ajoutés au niveau produit par une source. Si la différence entre les deux niveaux est supérieure à 10 dB, la contribution de la source la moins bruyante peut être ignorée.

Soustraction de niveaux acoustiques

Il est quelquefois nécessaire de soustraire le bruit de fond (L_p bruit de fond) du SPL total (L_p total) ainsi trouvé. Cette correction s'effectue au moyen de l'équation ou de la courbe suivantes :

$$L_p \text{ résultant} = 10 \cdot \log \left(10^{\frac{L_p \text{ total}}{10}} - 10^{\frac{L_p \text{ bruit de fond}}{10}} \right)$$

Si la différence ΔL est inférieure à 3 dB, la précision de la mesure sera compromise par la présence du bruit de fond. Le niveau correct ne pourra être obtenu qu'après une réduction préalable du bruit de fond. Si la différence est au contraire supérieure à 10 dB, le bruit de fond pourra être ignoré.

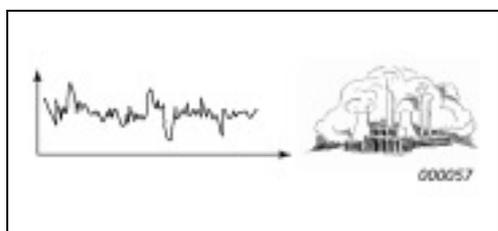


Les types de bruit

Quand le son devient bruit

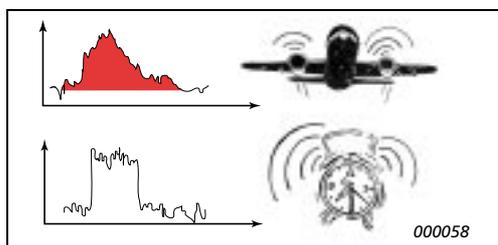
Chez soi, ou au travail, la présence sonore des installations de VMC est souvent perceptible, mais peu gênante parce que sans caractéristiques d'émergence. C'est un murmure constant, sans tonalité marquée. Mais un ventilateur dont le fonctionnement devient irrégulier provoquera une attention se transformant très vite en gêne. En effet, l'ouïe trie les informations contenues dans les sons qui nous environnent. Si ces informations (changement de niveau sonore ou émergence d'une tonalité) ne sont pas subjectivement justifiées, elles sont alors refusées et le son devient bruit. Plus marquée sera la tonalité, plus abrupt le changement, et plus gênant sera le bruit.

Pour le quantifier, il faut d'abord le caractériser, car de la nature du bruit dépend le choix des paramètres à mesurer, la durée du mesurage, de l'équipement.



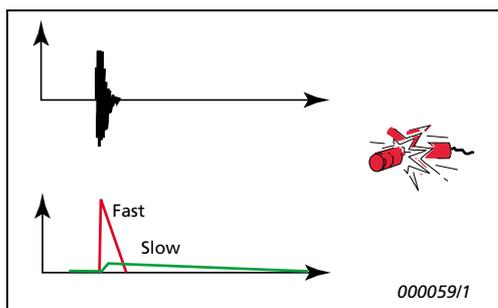
Bruit continu

Le bruit continu est un bruit généré par des machines fonctionnant sans interruption, toujours sur le même mode (ventilateurs, pompes, machines tournantes). Pour déterminer le niveau acoustique produit, il suffit de le mesurer quelques minutes avec un appareil tenu à la main. Si le bruit contient des composantes tonales ou des ondes basse fréquence, il faut mesurer son spectre en fréquence pour pouvoir en examiner le contenu et bien diagnostiquer son origine.



Bruit intermittent

Dans le cas de machines travaillant selon un cycle, le bruit croît puis décroît rapidement. Il peut être mesuré séparément pour chaque cycle comme pour un bruit continu, à condition d'en noter également la durée. La variation du niveau sonore lors du passage d'un véhicule ou d'un avion est appelé "événement sonore". Pour le quantifier, on utilise un paramètre qui combine niveau et durée par le biais d'un seul indicateur, le SEL, "niveau équivalent d'exposition". Le niveau de pression acoustique maximal est aussi utilisable. Plusieurs "événements" similaires peuvent être mesurés pour l'obtention d'une moyenne fiable.

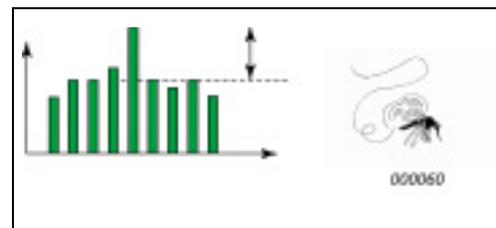


Bruit à caractère impulsionnel

Le bruit d'impacts ou d'explosions (pilonnage, estampage, coup de pistolet) est appelé un bruit impulsionnel. Bref, abrupt, son caractère saisissant crée plus de gêne que ne l'indiquerait une simple mesure de son niveau. Pour le quantifier, on peut mesurer la différence entre un paramètre à réponse rapide et un paramètre à réponse lente (comme le montre le bas du graphique). Sa répétitivité (nombre d'impulsions par seconde, minute, heure ou jour) doit aussi être notée.

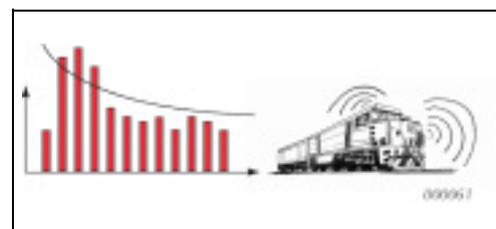
Tonalités marquées

Les vibrations dues aux balourds ou aux impacts répétés dans les machines tournantes (moteurs, engrenages, pompes ou ventilateurs) peuvent, se propageant dans l'air via les structures, générer des sons purs très gênants. Ce phénomène sonore peut aussi accompagner la combustion de gaz ou le débit irrégulier de fluides dans les canalisations. Le contenu tonal du bruit est soit directement identifiable à l'oreille soit, de manière objective, au moyen d'une analyse en fréquence. L'émergence est alors calculée par comparaison des niveaux respectifs du son pur et des composantes spectrales qui l'entourent. La durée d'apparition des tonalités marquées doit aussi être documentée.



Bruit basse fréquence

Le bruit basse fréquence se caractérise par une énergie acoustique importante dans les fréquences comprises entre 8 et 100 Hz. Il est généralement le fait des gros moteurs diesel des bateaux, locomotives, et centrales énergétiques. Ces bruits, omnidirectionnels, difficiles à assourdir, s'entendent à des kilomètres et sont beaucoup plus gênants que ne l'indique une simple mesure du niveau acoustique pondéré A. On le décrit donc par la différence entre le niveau pondéré A et le niveau pondéré C. Cette différence étant d'autant plus grande que le bruit est situé en basse fréquence. Pour évaluer l'émergence des composantes BF du bruit, on compare son spectre au seuil d'audition. Les infrasons, caractérisés par des composantes significatives au-dessous de 20 Hz, sont plus perçus comme une pression de l'air que comme un son. L'évaluation des infrasons en est au stade expérimental et n'est pas décrite par les normes internationales.



Propagation du bruit dans l'environnement

Quel est le bruit généré par un camion de 10 tonnes ? Il varie avec la distance et la présence ou l'absence d'obstacles et d'écrans. D'autres facteurs entrent en ligne de compte, et différents mesurages d'une même source de bruit pourront présenter des écarts d'une dizaine de décibels. Pour mieux comprendre le phénomène, il faut s'intéresser séparément au mode d'émission du bruit, à son mode de propagation, et à son mode de réception aux emplacements considérés.



Les facteurs essentiels affectant la propagation du bruit sont les suivants :

- Type de source (ponctuelle ou linéaire)
- Eloignement par rapport à la source
- Absorption atmosphérique
- Vitesse et direction du vent
- Température et gradient de température
- Ecrans acoustiques ou bâtiments
- Nature et état du sol
- Réflexions acoustiques
- Humidité relative
- Précipitations

Tous ces facteurs doivent être pris en compte pour l'obtention de mesures ou de résultats de calcul représentatifs. Les conditions relatives à chacun d'eux sont généralement spécifiées par la normalisation.

Types de Source

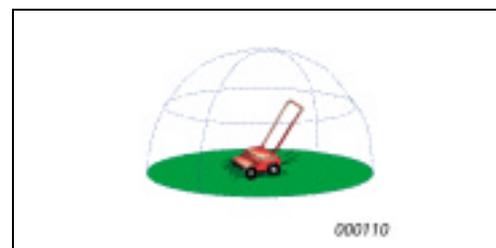
Source ponctuelle

Si la source est petite comparée à la distance qui la sépare du récepteur, elle est assimilable à un point (exemple : ventilateurs et cheminées d'évacuation). L'énergie acoustique se propage alors de manière omnidirectionnelle et le niveau de pression acoustique mesuré est le même en tous points situés à une même distance de la source. Le niveau de pression acoustique diminue de 6 dB par doublement de distance (sans atténuation due à l'absorption par l'air et par le sol).



Le niveau de pression acoustique L_p d'une source ponctuelle de puissance L_W (cf. section Indicateurs et Terminologie) à faible hauteur du sol, peut, à toute distance r (exprimée en mètres) de cette source, être calculé au moyen de la formule :

$$L_p = L_W - 20 \log_{10}(r) - 8 \text{ dB}$$

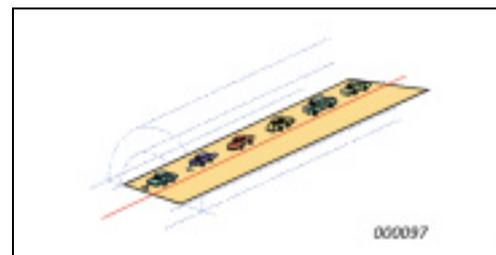
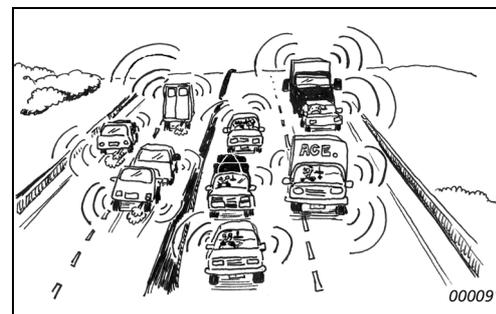


Source linéaire

Si la source est allongée dans une direction, elle est assimilable à une ligne. Il peut s'agir d'une source stationnaire, par exemple, d'un tuyau transportant un fluide au débit turbulent, ou d'un ensemble de sources ponctuelles mobiles, par exemple un flux de véhicules circulant sur un axe routier.

L'énergie sonore se propage alors de manière cylindrique, les niveaux mesurés étant identiques à tous les points équidistants de la ligne. Ces niveaux de pression diminuent de 3 dB à chaque doublement de distance (sans atténuation due à l'absorption par l'air et par le sol). Le niveau de pression acoustique L_p d'une source linéaire d'une puissance par mètre (L_W/m) à faible hauteur du sol, peut, à toute distance r (en m) de cette source, être exprimé par la formule :

$$L_p = L_W - 10 \log_{10}(r) - 5 \text{ dB}$$

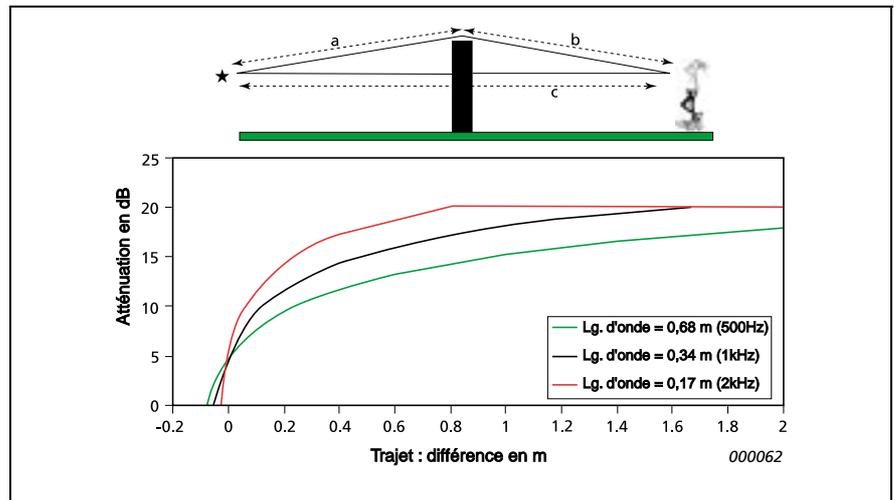


Barrières acoustiques

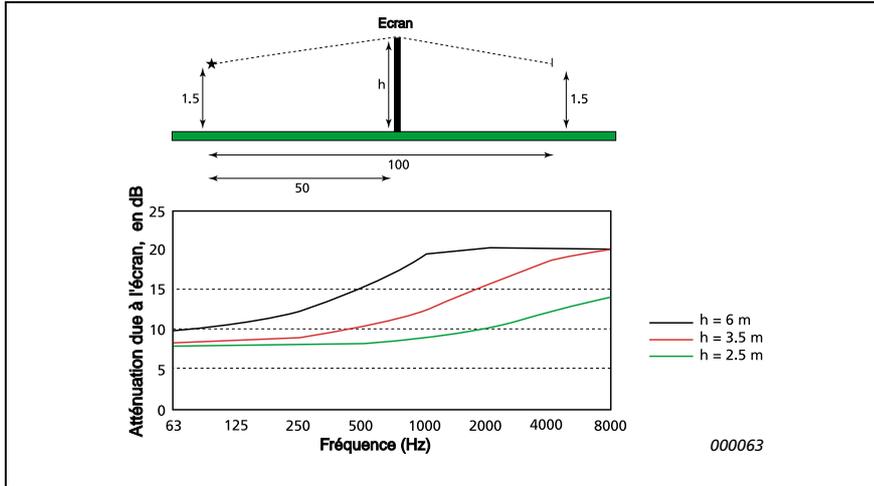
L'efficacité de l'insertion d'un écran antibruit est sensible à deux facteurs :

1. La différence entre le chemin direct de transmission entre la source et le récepteur et le chemin passant par dessus l'obstacle ($a + b - c$ sur le graphe)
2. Le contenu fréquentiel du bruit.

L'effet combiné de ces deux paramètres est illustré ci-après. On remarque que les écrans antibruit ne conviennent pas aux bruits basse fréquence



Le graphe ci-dessus illustre l'effet de barrière d'un écran antibruit typique en fonction de sa hauteur. Plus il sera placé près de la source ou du point de réception, plus il sera efficace.

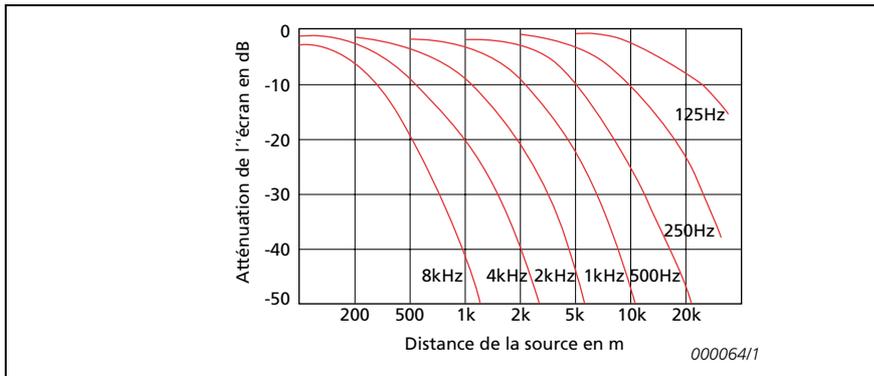


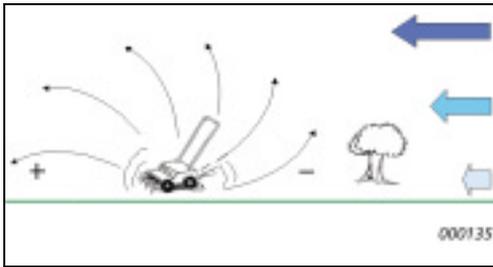
Absorption atmosphérique

Le phénomène est complexe et ne peut être ici qu'esquissé. L'atténuation du bruit dans l'air dépend de nombreux facteurs :

- Eloignement de la source
- Contenu fréquentiel du bruit
- Température ambiante
- Humidité relative
- Pression atmosphérique

L'influence des deux premiers facteurs, essentielle, est illustrée ci-dessous. Pour résumer, on dira que l'absorption atmosphérique a peu d'effet sur les bruits basse fréquence.





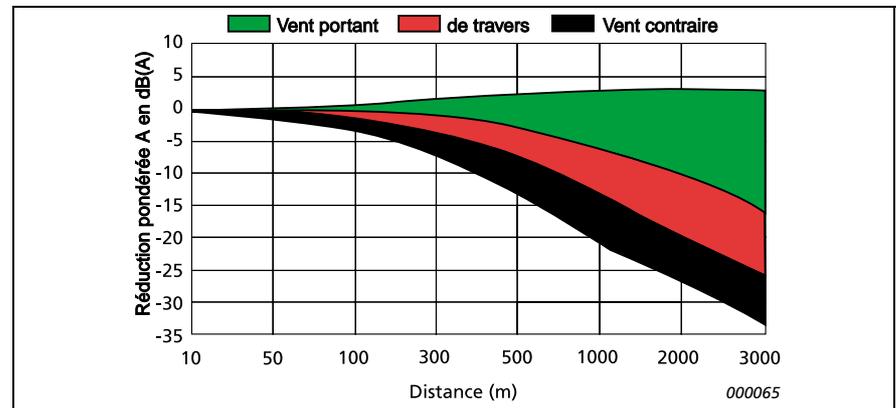
Vent et température

La vitesse du vent augmente avec l'altitude, rabattant vers le sol le trajet de propagation du son, créant une zone de propagation favorable du côté vent portant de la source et une zone de propagation défavorable du côté de la source contre le vent.

Pourquoi mesurer par vent portant ?

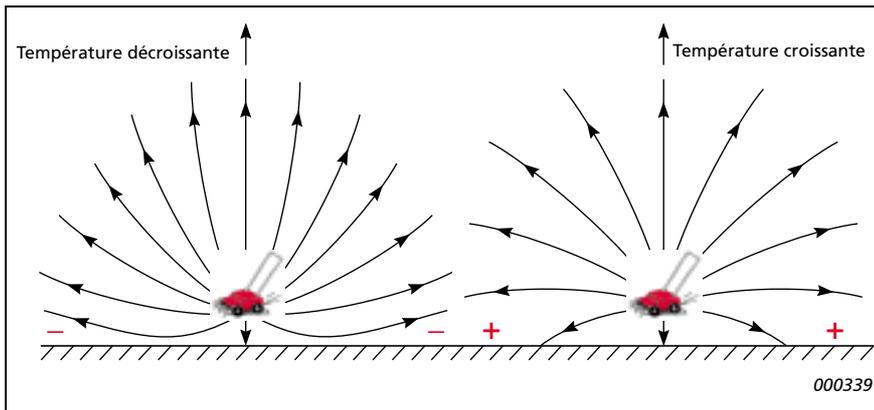
Sur des distances inférieures à 50 m, le vent influe peu sur les mesures de niveau de bruit. Mais sur des distances plus longues, son effet n'est pas négligeable.

Dans des conditions de vent portant, et selon sa vitesse d'écoulement, le niveau de bruit peut s'élever de quelques dB. Mesuré avec vent contraire ou de travers, l'effet de zone d'ombre peut atteindre plus de 20 dB, selon la vitesse et l'éloignement. C'est pourquoi il est préférable de mesurer par vent portant : l'écart est moins conséquent et le résultat est obtenu avec une marge de sécurité.



Température

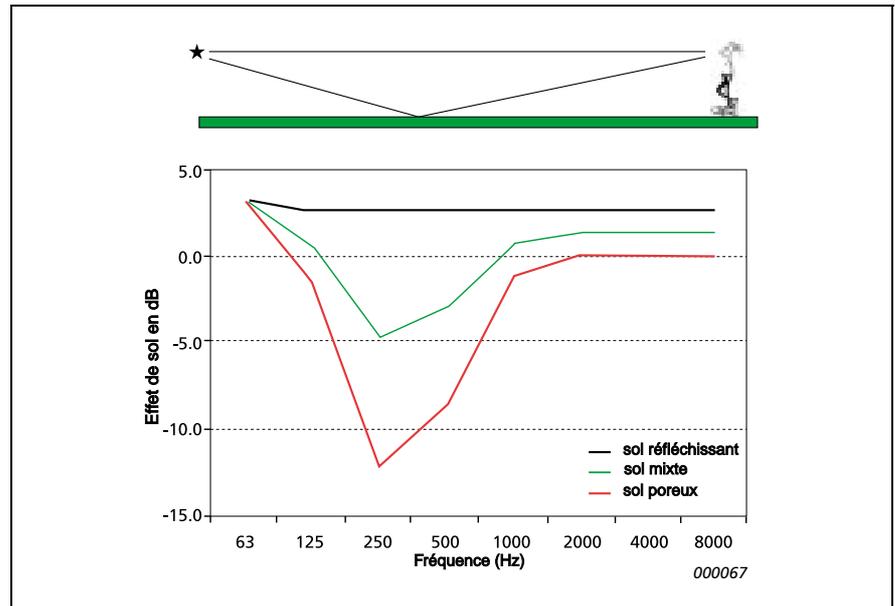
Les gradients thermiques créent des effets similaires à ceux du vent, mais uniformes cette fois tout autour de la source. Par journée ensoleillée sans vent, la température décroît avec l'altitude et crée une zone défavorable à la propagation. Par nuit claire, la température peut augmenter avec l'altitude (inversion de température) et contribuer à comprimer le bruit au voisinage du sol.



Effet de sol

Le son réfléchi par la surface du sol interfère avec le son propagé directement de la source au récepteur. Cet effet de sol varie avec le type de surface, qui peut être réfléchissante (eau, béton), absorbante (herbe, arbres, végétation) ou mixte. L'atténuation due au sol se calcule par bandes de fréquence pour tenir compte du contenu fréquentiel du bruit et du type de sol entre source et récepteur. Les précipitations affectent cette atténuation, surtout la neige, qui peut également causer d'importants gradients thermiques positifs. Les textes réglementaires déconseillent les mesurages dans de telles conditions.

Influence de la nature du sol pour une distance de 100 m entre source et récepteur, eux mêmes à 2 m du sol



Bruit au point de réception

Réflexions

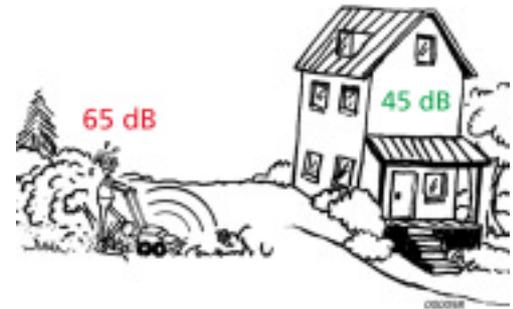
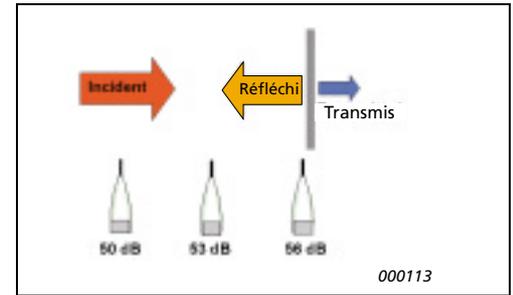
Lorsque le son rencontre une surface, une partie de son énergie est réfléchi, une autre traverse la surface et une troisième est absorbée. Si la transmission et l'absorption sont faibles, comme cela est généralement le cas pour les façades de bâtiments, la plus grande partie de l'énergie est réfléchi et la surface est dite acoustiquement dure. Le niveau de pression acoustique au voisinage de la surface résulte donc du rayonnement direct de la source et du son réfléchi.

En règle générale, à 2 m d'un mur plein, le niveau est de 3 dB(A) supérieur au niveau qui serait mesuré si le mur était absent. C'est pourquoi la réglementation demande souvent d'exclure l'effet des réflexions dans les rapports consignants les mesures obtenues (conditions de champ libre).

Fenêtres ouvertes ou fermées

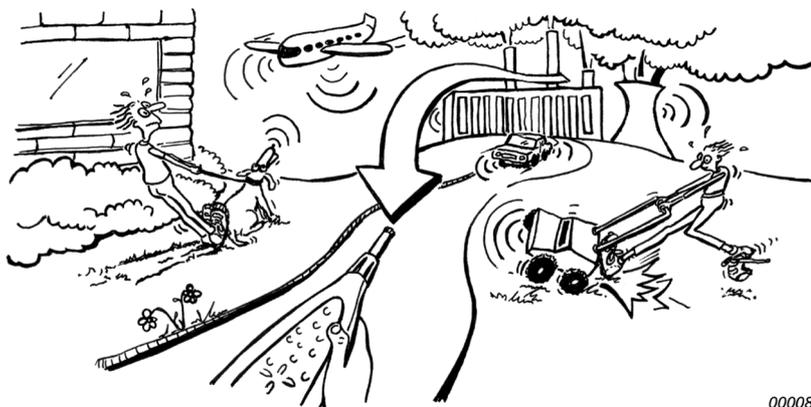
Dans certaines régions où, par tradition ou à cause du climat, les habitants gardent leurs fenêtres fermées, les nuisances acoustiques extérieures sont atténuées par les bâtiments, qui offrent une protection typique de 20 – 30 dB (isolement acoustique de façade). Les fenêtres sont souvent le point faible en terme d'isolement acoustique, faiblesse à laquelle il peut être remédié par des techniques spéciales de construction.

Dans d'autres pays, où l'habitude est de garder les fenêtres ouvertes, le bruit de l'environnement est vécu plus directement. Les diverses réglementations doivent donc considérer à la fois le mode de construction de l'habitat et la manière dont celui-ci est utilisé.



Identifier les sources sonores

Evaluer le bruit revient à évaluer l'impact sur l'environnement d'une source sonore spécifique, par exemple une usine. C'est une opération plus complexe qu'il n'y paraît. Dans la plupart des cas, le bruit ambiant constaté à un endroit particulier est la résultante de nombreuses contributions.



000084

Le **bruit ambiant** est composé de l'ensemble des bruits émis par toutes les sources, proches ou éloignées – usine, axe routier, oiseaux, cours d'eau, etc.

Le **bruit particulier** est le bruit émis par la source faisant l'objet d'une investigation. C'est une composante du bruit ambiant spécifiquement identifiable, notamment parce qu'elle est l'objet d'une plainte ou d'une demande d'enquête.

Le **bruit résiduel** est le bruit ambiant en l'absence du(des) bruit(s) particulier(s).

Cette terminologie, communément utilisée, est reprise de la Norme ISO 1996. Le terme de **bruit de fond** (absent de l'ISO 1996) est couramment utilisé mais ne doit pas être confondu avec celui de bruit résiduel. Le bruit de fond désigne quelquefois le niveau mesuré lorsqu'une source spécifique est inaudible, quelquefois aussi la valeur d'un indicateur acoustique particulier, comme par exemple le L_{A90} (niveau dépassé pendant 90% de la durée de mesure).

Dans le cadre d'un projet de construction d'installations, le terme **bruit initial** désigne le bruit existant avant les modifications envisagées, telles que l'extension d'une usine ou la mise en place d'écrans antibruit.

Les méthodes d'évaluation du bruit particulier sont nombreuses. Plusieurs sont décrites ici. Certaines nécessitent des interventions drastiques, comme la fermeture temporaire d'un site de production pour déterminer le bruit résiduel, d'autres des systèmes de mesure avancés permettant des mesures simultanées et corrélées à plusieurs emplacements plus ou moins éloignés de la source. Le bruit mesuré est souvent mémorisé sur un enregistreur audio-numérique (DAT) ou directement sur PC pour identifier et documenter les sources.

Mesurer le bruit

Mesurer le bruit

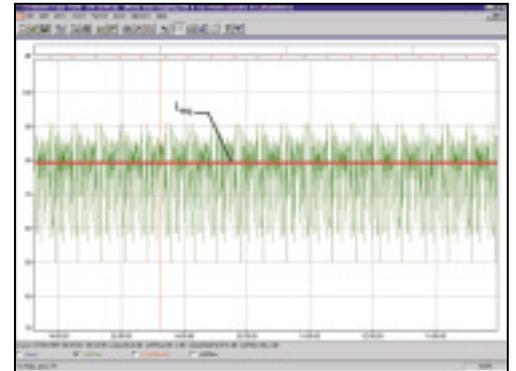
Les mesures objectives de niveaux acoustiques sont un élément indispensable de tout programme de lutte contre le bruit de l'environnement. Ce bruit est de nature généralement très variée, souvent impulsionnel ou au contenu tonal marqué. Il faut aussi prendre en compte des bruits parasites tels qu'abolements de chiens, passages d'avion ou autres cris d'enfants.

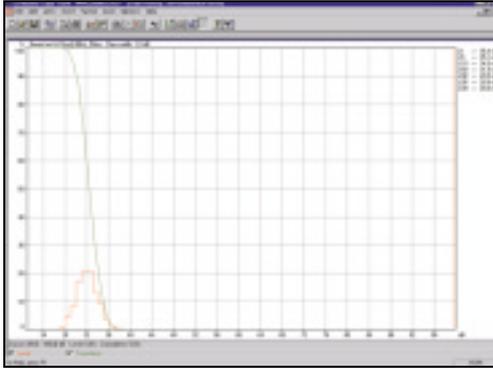
Normes et textes réglementaires spécifient les indicateurs à mesurer et décrivent en détail comment configurer l'appareillage et gérer les situations de mesure, notamment en ce qui concerne les conditions météorologiques. Une évaluation ne se limite jamais à une simple valeur numérique en décibels. Elle intègre des valeurs de paramètres ou d'indicateurs spécifiques obtenues dans des conditions bien définies et documentées.

Obtenir une moyenne

Evaluer des niveaux de bruit fluctuants revient à déterminer une moyenne. Estimer à l'oeil le déplacement moyen de l'aiguille d'un instrument analogique appartient au passé. L'indicateur L_{A50} , autrement dit le niveau dépassé pendant 50% de la durée de mesure, n'est plus que rarement utilisé comme moyenne.

Aujourd'hui, l'indicateur communément utilisé est le L_{eq} "niveau de pression acoustique continu équivalent". Obtenu directement avec un sonomètre intégrateur, le L_{eq} est le niveau qui, s'il était resté constant pendant la durée du mesure, donnerait la même quantité d'énergie que le niveau fluctuant mesuré. Il est vrai que le L_{eq} représente la mesure de l'énergie moyenne d'un niveau acoustique fluctuant, non la mesure de la gêne causée. Mais les recherches ont cependant montré une corrélation entre le L_{eq} et la gêne. Toutefois, un niveau acceptable le mercredi après-midi pourra être considéré insupportable un dimanche matin. Il faut donc procéder à des ajustements.





Utiliser les statistiques

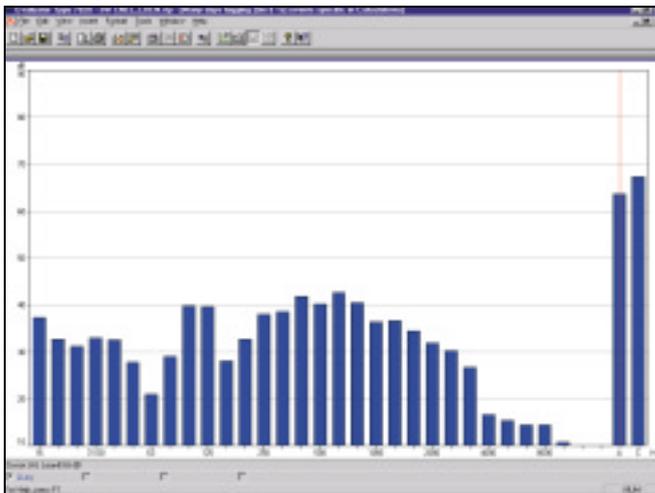
L'examen de la répartition statistique des niveaux est utile à l'évaluation. Outre le fait qu'il informe quant au caractère fluctuant du bruit, il renseigne aussi sur le bruit de fond. C'est ainsi que le niveau fractile L_{90} , niveau de pression acoustique dépassé pendant 90% de l'intervalle de mesurage, peut servir d'indicateur pour le bruit de fond tandis que le L_{10} ou L_5 sont parfois utilisés comme mesure du bruit particulier.

Mesurer pendant 7 jours ou 2 heures ?

L'idéal est de mesurer le bruit pendant la totalité de l'intervalle de référence retenu, qui peut varier de 2 heures à une semaine. Des intervalles de mesurage mensuel ou annuel se justifient parfois, auquel cas les enregistrements de valeurs effectués chaque seconde, minute ou quart d'heure permettent de reconstituer l'historique du bruit surveillé. Mais les mesurages de longue durée étant coûteux et difficiles à gérer, on préfère procéder par échantillonnage et synthèse. Une évaluation basée sur un échantillonnage serait très fastidieuse s'il n'existait des logiciels pour automatiser l'obtention de résultats précis, fiables rapidement et à moindre frais. Toutefois, lorsque la réglementation impose des limites maximales, un intervalle d'observation continue des niveaux est inévitable.

Analyse en bande large ou en bandes de fréquence ?

Le L_{eq} ou, plus précisément, le L_{Aeq} (niveau acoustique continu équivalent pondéré A) est ici l'indicateur-clé. Les mesurages en bande large, c'est-à-dire couvrant toute la gamme des fréquences audibles, utilisent une pondération fréquentielle A et ne rendent pas compte du contenu tonal du bruit émis par les ventilateurs, les compresseurs ou les scies. Ce supplément de gêne peut être documenté par une analyse en fréquence du spectre. Si les sons purs peuvent être évalués subjectivement à l'oreille, la réglementation peut aussi exiger une mesure objective du contenu tonal du bruit, soit par une analyse en tiers d'octave, soit par une analyse en bande fine par Transformée de Fourier Rapide (FFT).

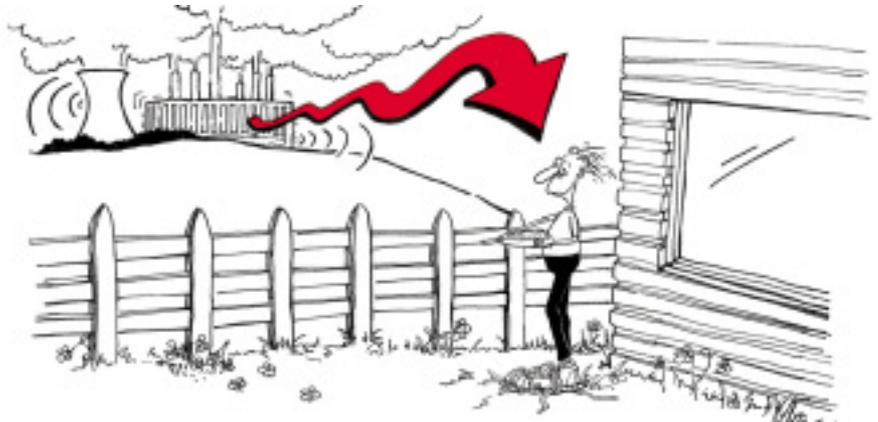


Emplacement du microphone

Souvent, la réglementation précise où effectuer les mesurages, par exemple en limite de propriété des installations incriminées ou à l'intérieur des limites de la propriété exposée au bruit. Certains critères doivent être observés, les niveaux acoustiques variant en fonction de la hauteur par rapport au sol et de la distance entre les points de mesure et les façades d'immeuble ou autres obstacles. Les mesurages doivent donc être effectués :

- à distance des façades
- à distance des obstacles
- par vent portant
- par temps sec et vitesse d'air inférieure à 5 m/s
- avec un microphone placé à 1,2 et 1,5 m de hauteur

Certains mesurages peuvent cependant être effectués en façade ou à d'autres hauteurs spécifiées (l'Union européenne envisage une hauteur standard de 4 m).



Calibrage

Nécessité du calibrage

Les normes préconisent de calibrer les sonomètres au moyen d'un calibreur acoustique avant et après chaque séance de mesurage.

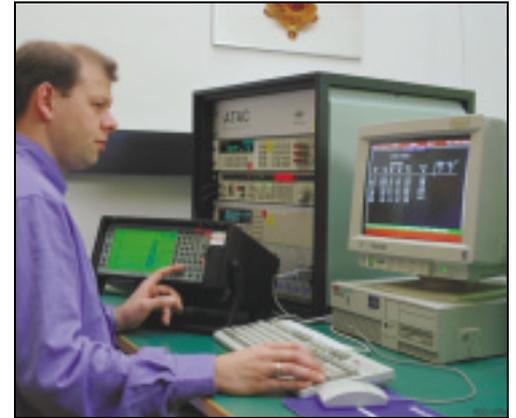
Le *calibrage* est une vérification de la sensibilité de l'appareil à une fréquence et à un niveau définis (généralement 1 kHz et 94 dB). Certains remettent en cause cette nécessité, faisant valoir que les instruments et microphones de mesure de haute qualité sont peu affectés par les conditions de température, de pression atmosphérique ou d'humidité. Cependant, les données de calibrage doivent toujours être rapportées pour au moins trois raisons :

1. Elles sont exigées par les normes et la réglementation
2. Un calibrage permet de détecter sur place une anomalie de fonctionnement de l'appareil ou du capteur
3. Des conditions climatiques extrêmes peuvent affecter les résultats

Pour le professionnel, un sonomètre est donc inséparable de son calibreur. *Mais ce n'est pas suffisant.* Pour éviter la constestation éventuelle des mesures et toujours être sûr de leur validité, seul un *étalonnage* régulier et accrédité de l'instrumentation peut garantir la précision et la traçabilité des mesures.

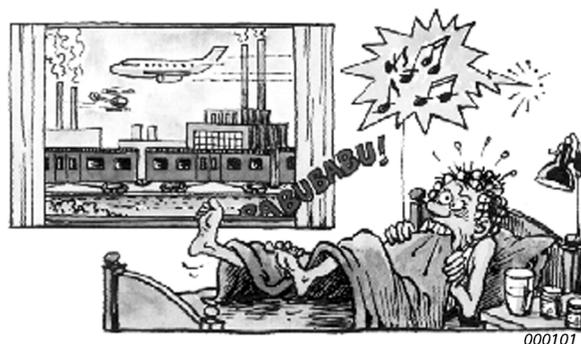
Étalonnage et certificats de conformité

Les grands fournisseurs délivrent avec chaque appareil un certificat garantissant sa conformité aux spécifications annoncées et aux normes en vigueur. Ce certificat ne doit pas être confondu avec la fiche d'étalonnage, où sont consignés le lieu et les conditions de l'étalonnage, les tolérances, les mesures, et la garantie de leur traçabilité aux laboratoires de référence nationaux et internationaux. Pour être légalement valides, les mesures du bruit de l'environnement doivent être obtenues au moyen de sonomètres et de calibreurs réétalonnés périodiquement, sur une base annuelle ou semestrielle, par un laboratoire accrédité.



Niveau d'évaluation (gêne et pénalités)

La gêne induite par le bruit est un phénomène subjectif, donc complexe. A la disparité des réactions physiologiques individuelles à une même source de bruit s'ajoutent des facteurs sans rapport avec l'acoustique : prépondérance relative de la source dans la vie des riverains, son rôle dans l'intérêt économique de chacun, ou encore les opinions personnelles quant à l'opportunité de sa présence. Quantifier objectivement la gêne et définir des niveaux limites ont donc pris du temps. Statistiquement, toutefois, les réactions individuelles tendent à se regrouper autour d'une moyenne, et un indicateur a pu être défini, permettant d'associer une valeur numérique au bruit pour quantifier son émergence et la gêne qu'il procure : c'est le Niveau acoustique d'évaluation L_r .



Source : Association danoise des consommateurs.

Le Niveau acoustique d'évaluation est défini par la Norme ISO 1996-2 (cf. section Normes Internationales). C'est essentiellement une mesure de l'exposition au bruit, amendée d'ajustements (pénalités) prenant en compte des facteurs de gêne connus. Il sert à calculer l'émergence et à confronter les niveaux mesurés à des limites réglementaires variant avec l'usage assigné à la zone contenant les installations induisant la gêne. Il est basé sur le L_{Aeq} (niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A) affecté de termes correctifs :

$$L_r = L_{Aeq} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

où :

K_I est le terme correctif (*pénalité*) pour les impulsions de bruit

K_T est la pénalité pour les tonalités marquées

K_R est la pénalité pour la période de la journée

K_S est le terme correctif (positif /négatif) pour certaines sources et situations

L'ISO 1996-2 stipule que le Niveau acoustique d'évaluation doit être déterminé sur la base d'intervalles de référence en rapport avec la spécificité de la(des) source(s) et du(des) récepteur(s). Ces intervalles de référence varient avec la normalisation et la réglementation au plan national. Si les modes de mesurage et d'évaluation des pénalités diffèrent d'un pays à l'autre, tous reflètent cependant des approches identiques.

Paysage sonore : une évaluation plus qualitative que quantitative du bruit

Les recherches en cours sur la relation entre sources de bruit et réactivité de l'environnement s'engagent dans diverses directions. L'une d'elles s'articule autour du concept de paysage sonore, où l'agrément et la valorisation acoustiques des espaces urbains sont objectivés par comparaison à des paramètres physiques, de manière analogue aux techniques utilisées en psychoacoustique des produits industriels.

Cette discipline réunit des acousticiens, sociologues, architectes et urbanistes pour la définition de principes et le développement de techniques de valorisation de l'espace sonore en milieu urbain. Il s'agit d'éliminer certains bruits, d'en privilégier ou d'en préserver d'autres, ou encore de combiner bruits et contre-bruits pour la création d'environnements sonores plaisants et stimulants.



Evaluation (limites)

Référence pour cette section : *Regulations for
Community Noise, Dieter Gottlob,
Noise/News International, Décembre 1995*

Niveau acoustique d'évaluation L_T – Où fixer la limite?

Les normes internationales décrivent le mode de détermination du Niveau acoustique d'évaluation L_T mais ne préconisent pas de limites réglementaires au bruit, qui sont établies au plan national. La disparité des modes de vie, disparité due au climat, à la culture ou à la tradition en matière de construction et d'habitat, empêche l'harmonisation de ces limites au plan international.



Exemple de zonage acoustique						
Zone	projetée		Modifications		Repères	
	Limite jour	Limite nuit	Limite jour	Limite nuit	Limite jour	Limite nuit
Repos	50	40	55	45	65	60
Résidentielle	55	45	60	50	70	65
Mixte	60	50	65	55	70	65
Industrielle	65	55	70	60	75	70

Trois domaines applicatifs pour les limites

Exemple de réglementation (Suisse) avec limites pour 3 domaines applicatifs :

1. Projets d'urbanisme
2. Modifications des installations existantes ou nouvelles installations
3. Valeurs repères pour définir les zones à insonoriser en priorité

Un zonage similaire à celui illustré sur le schéma est en usage partout. Les limites définies varient selon le type et la vocation des zones acoustiques.

Limites absolues et limites relatives

La plupart des pays ont opté pour des limites absolues, par exemple 50 dB(A), auxquelles est comparé le Niveau acoustique d'évaluation L_T calculé.

Des limites relatives sont cependant également utilisées, notamment en Grande-Bretagne, où le Niveau acoustique d'évaluation L_T est comparé au niveau de bruit de fond représenté par l'indicateur L_{AF90} .

Bruit industriel

La plupart des pays utilisent le Niveau acoustique d'évaluation L_r de l'ISO 1996 pour évaluer le bruit industriel. Au Japon, c'est le L_{50} qui est utilisé, en Belgique le L_{95} . La limite admissible se situe généralement dans la gamme 50 – 55 dB(A).

Le Niveau acoustique d'évaluation L_r est calculé à partir du L_{Aeq} , niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A, affecté de pénalités : K_T pour les tonalités marquées et K_I pour les bruits de type impulsif.

Des **intervalles de référence** (diurne, nocturne ou intermédiaire) sont utilisés et combinés diversement selon les pays. L'interprétation des résultats fait l'objet de procédures différentes en fonction de la période de la journée considérée.

La **période la plus bruyante** est utilisée dans certains pays pour affecter des pénalités au bruit intermittent. Cette période varie de 5 minutes à une heure selon les législations.

Intervalles de référence			
Pays	Diurne	Intermédiaire	Nocturne
	Période la plus bruyante	Période la plus bruyante	Période la plus bruyante
Autriche	6–22 (8 h)		22–6 (0,5 h)
Belgique	1 h	1 h	1 h
Canada	7–23 (1 h)		23–7 (1 h)
Danemark	7–18 (8 h)	18–22 (1 h)	22–7 (0,5 h)
France	7–20	6–7 20–22	22–6
Allemagne	6–22 (16 h)	Ouvrables: 6–7, 20–22 Weekends: 6–9 13–15, 20–22	22–6 (1 h)
Hong Kong	7–23 (0,5 h)		23–7 (0,5 h)
Italie	6–22		22–6
Corée	6–18 (8 h)	18–24 (4 h)	24–6 (2 h)
Pays-Bas	7–19	19–23	23–7
Suède	7–18	18–22	22–7
Suisse	7–19		19–7
Royaume Uni	7–23 (1 h)		23–7 (5 min)



000112

L'**ajustement pour les tonalités marquées** varie de 0 dB à 6 dB. Certains pays utilisent un terme correctif unique de 5 dB, d'autres des valeurs graduelles. Dans la plupart des cas, la présence de sons purs est établie subjectivement, même si, à terme, on peut s'attendre à une généralisation de l'emploi de méthodes objectives (analyse en tiers d'octave ou analyse FFT).

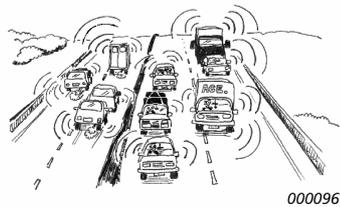
L'**ajustement maximal pour le bruit impulsionnel** peut différer de 7 dB d'un pays à l'autre. Les méthodes de détermination sont subjectives ou objectives. L'approche objective se base soit sur l'écart entre les niveaux relevés avec un sonomètre mesurant successivement avec deux constantes de temps différentes (par exemple "Rapide" et "Impulsionnelle"), soit sur le type de source (choisi dans une nomenclature : martèlement, explosion, etc.).

Pénalités pour les tonalités marquées et le bruit impulsionnel		
Pays	K_T dB	K_I dB
Australie	2 ou 5	2 ou 5
Autriche	3 ou 6	3 si $L_{AIMax} - L_{AFMax} < 2$ dB 5 si $L_{AIMax} - L_{AFMax} \geq 2$ dB
Belgique	–	$L_{AIMax} - L_{AFMax}$ si ≥ 4 dB
Danemark	5	5
France	5	3, 5 ou 10 selon durée et $L_{AFMax} - L_{Aeq}$
Allemagne	3 ou 6	$L_{AFTeq} - L_{Aeq}$
Hong Kong	3 ou 6	3
Corée	–	5
Pays-Bas	5	5
Suisse	2, 4 ou 6	2, 4 ou 6
Royaume Uni	5	5

Bruit routier

Tous pays confondus, le bruit de trafic routier est la nuisance la plus marquante et la cause de gêne la plus répandue. Les mesures de réduction de ce type de pollution prégnante sont donc partout une priorité.

Limites de bruit routier				
Pays	Indicateur	Diurne	Intermédiaire	Nocturne
Australie	$L_{10, 18h}$	60		55
Autriche	L_{Aeq}	50-55		40-45
Canada	L_{Aeq}	55		50
Danemark	$L_{Aeq, 24h}$	55		
France	L_{Aeq}	60-65		55-57
Allemagne	L_r	50-55		40-45
Pays-Bas	L_{Aeq}	50	45	40
Espagne	L_{Aeq}	60		50
Suède	$L_{Aeq, 24h}$	55		
Suisse	L_r	55		45
Royaume Uni	L_{Aeq}	55		42



Le niveau acoustique L_{Aeq} est ici l'indicateur préféré, mais le Niveau acoustique d'évaluation L_r et les niveaux percentiles L_{10} et L_{50} sont également utilisés.

Pour un trafic dense, on peut assumer que L_{10} est supérieur de 3 dB au L_{Aeq} , et que L_{50} lui est inférieur de 1 – 2 dB. La détermination se base sur des intervalles de référence qui varient de pays à pays, se situant entre 24 heures d'affilée et trois périodes séparées, diurne, nocturne et intermédiaire. Généralement, les limites nocturnes sont les plus difficiles à respecter. Le tableau ci-dessus montre les limites admissibles pour la construction de nouvelles installations. Comme elles dépassent souvent les 50 – 55 dB(A) préconisés par l'Organisation Mondiale de la Santé, l'extension de zones à risque apparaît inévitable un peu partout.

Bruit ferroviaire

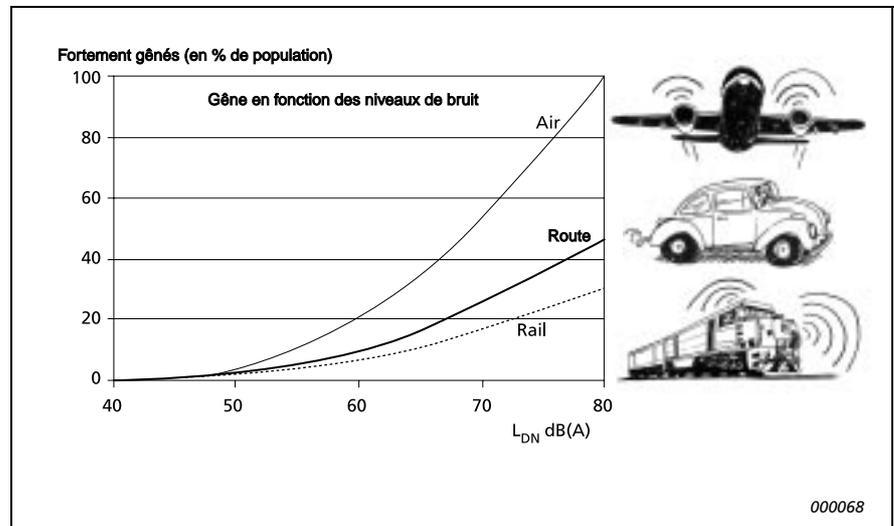
Le L_{Aeq} est ici l'indicateur privilégié, comme pour le bruit routier. Dans certains pays, le Niveau acoustique d'évaluation est déduit du L_{Aeq} en lui soustrayant généralement 5 dB (dit *bonus ferroviaire*).

Au Japon, l'indicateur L_{ASmax} est utilisé pour le train rapide Shinkansen. L'utilisation de niveaux maximaux pour déterminer les limites présente l'inconvénient de ne pas prendre en compte la fréquence de circulation des convois.

La détermination se base sur des intervalles de référence qui varient de pays à pays, se situant entre 24 heures d'affilée et trois périodes séparées, diurne, intermédiaire, nocturne.

Les limites établies pour les voies nouvelles dans les zones résidentielles se situent entre 60 et 70 dB. Certains pays incluent le bonus ferroviaire dans ces valeurs.

Le bonus ferroviaire se base sur des enquêtes comparatives, menées dans divers pays, sur les gênes spécifiques causées par le bruit routier et le bruit ferroviaire. Cet écart est plus marquant lorsque les niveaux de bruit sont élevés.



Le schéma ci-dessus illustre les rapports entre les bruits routier, ferroviaire et aérien. Le pourcentage de personnes gênées est représenté en fonction des niveaux L_{DN} (L_{Aeq} affecté d'un terme de 10 dB pour l'exposition nocturne, entre 22:00 et 07:00). Pour une même valeur de L_{DN} , le trafic ferroviaire cause moins de gêne, le trafic aérien plus de gêne que le trafic routier. Vu la disparité des données sous-jacentes, ce graphique n'a cependant qu'une valeur d'illustration.

Bruit des transports aériens

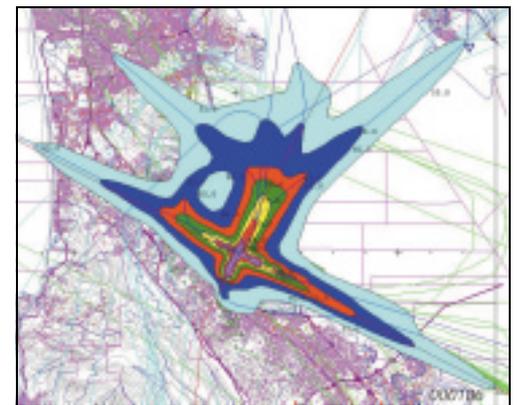
Le transport aérien ne pose de problème de bruit qu'autour des aéroports, du fait du passage répété d'avions à basse altitude et à plein régime. Ce problème s'est amplifié avec l'accroissement du trafic et l'extension des agglomérations. Le contrôle du bruit passe ici globalement par le zonage acoustique des terrains limitrophes et la réduction du bruit à la source : avions moins bruyants, régulation du trafic, limitation des couloirs aériens. Autre recours : protéger les riverains en améliorant l'isolation acoustique des habitations (fenêtres et toitures).

Zonage acoustique en réponse au bruit du transport aérien			
Pays	Pas de restrictions	Isolement nécessaire	Pas de nouv. logements
Australie	< 53	53 – 58	> 58
Canada	≤ 57	60 – 62	> 68
Chine	≤ 54		
Danemark	≤ 51	> 61	> 51
France	< 62	62 – 71	
Allemagne	< 62	67 – 75	> 75
Japon	< 54	> 69	
Pays-Bas	≤ 50	53 – 60	> 50
Nv.- zélande	≤ 52	52 – 62	> 62
Norvège	≤ 55	55 – 65	> 55
Suède	< 51		
Suisse		62 – 72	> 62
Royaume-Uni	≤ 55	55 – 64	> 70
USA	≤ 62		> 72
Nota:	L'indicateur utilisé est le $L_{Aeq, 24h}$		

Les zones de bruit sont visualisées par **isophones** et codage couleurs. La valeur associée à chaque isophone indique le niveau de bruit repère dépassé. Superposée à un fond de carte et comparée à des niveaux limites, la représentation isophonique révèle clairement les zones où une réduction du bruit s'impose.

Les représentations isophoniques peuvent montrer l'**impact acoustique** d'un seul avion ou type d'avion sur l'environnement. Les calculs, basés sur les données de bruit de l'aéronef et prenant en compte les données de déplacement, de trajectoire et de topographie du sol, permettent une approche prévisionnelle du problème pour planifier des mesures de prévention.

Carte du bruit d'un aéroport obtenue par modélisation acoustique du site basée sur des mesures réelles.
 55 – 60 dB = bleu clair
 60 – 70 dB = bleu foncé
 70 – 75 dB = Rouge
 75 – 80 dB = Vert
 80 – 85 dB = Jaune
 > 85 dB = Rose



Rapport et procès-verbal de mesurage

La consignation des résultats et la documentation des mesures dans des rapports est un des aspects les plus sous-estimés de la lutte contre les nuisances sonores. Il est difficile d'interpréter le contenu de procès-verbaux lacunaires où ne sont rapportées que quelques valeurs discrètes en dB, d'intérêt marginal. Le contenu informatif du rapport doit correspondre à l'impact escompté auprès de ses destinataires. Pour qu'un rapport soit complet et cohérent, il faut y intégrer les paramètres relatifs aux conditions dans lesquelles le mesurage a été réalisé.

Normes et recommandations pratiques aident à rédiger des rapports où sont consignées toutes les données pertinentes.

L'ISO 1996 préconise que soient rapportées les informations suivantes :

- Résultats
- Technique du mesurage
- Type d'instrumentation utilisé
- Procédure de mesurage utilisée
- Calculs effectués
- Conditions du mesurage
- Conditions météorologiques (direction et vitesse du vent, précipitations, température, pression atmosphérique, humidité relative)
- Nature/état des sols entre source et récepteur
- Fluctuations de la source
- Données de calibrage
- Date, heure de départ et d'arrêt du mesurage
- Nombre de mesurages effectués
- Description des sources sonores

Il est recommandé d'y ajouter les renseignements supplémentaires suivants :

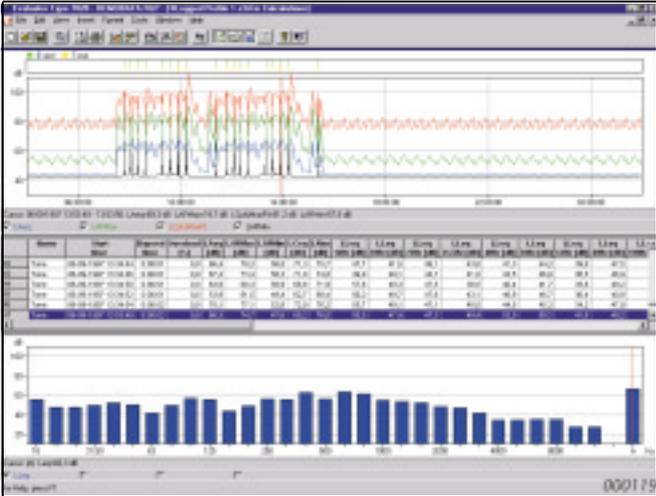
- But du mesurage
- Norme utilisée
- Appareillage utilisé, avec les numéros de série
- Carte montrant l'emplacement des sources, obstacles et récepteurs

Le rapport doit être rédigé de manière lisible, aisément compréhensible par ses différents destinataires. Il peut éventuellement être agrémenté de graphiques, croquis explicatifs et illustrations.



000175

La production régulière d'une grande quantité de rapports et procès-verbaux de mesurage nécessite un stockage minutieux des données saisies. L'archivage systématique et structuré des données facilite les comparaisons dans le temps. Des logiciels de prise en charge et de gestion des données ont été développés à cet effet, offrant toutes les fonctionnalités nécessaires aux opérateurs pour leur faciliter la tâche : importation dans une base de données des mesures recueillies par les appareils, préparation de rapports structurés, stockage, retrait, exportation et impression des données.



Prévoir le bruit : algorithmes



000088

Le calcul de niveaux de bruit à un point acoustique d'évaluation ou d'un point à l'autre requiert souvent l'emploi d'un ordinateur pour gérer la grande quantité des données générées en situation réelle

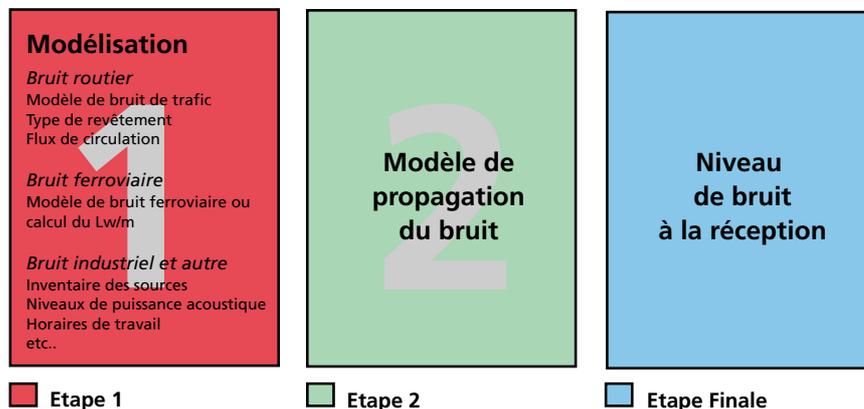
Le calcul des niveaux de bruit peut parfois remplacer avantageusement leur mesurage. C'est même quelquefois la seule méthode praticable :

- en présence d'un bruit de fond parasite trop élevé, par exemple pour la détermination du bruit émis par un site industriel à proximité d'un axe routier très fréquenté
- pour la prédiction de niveaux futurs
- pour la simulation de scénarios acoustiques et de mesures de prévention
- pour la production de cartes de bruit isophoniques
- lorsque les emplacements de mesurage sont difficilement accessibles

Les calculs sont généralement effectués au moyen d'algorithmes normalisés et définis au plan national ou par secteur d'industrie.

Un algorithme de calcul est souvent lié à une source particulière, ce qui limite son usage à ce type de source. La norme ISO 9613 fait cependant exception : la détermination des niveaux aux points acoustique d'évaluation est fondée sur les niveaux de puissance acoustique de sources connues. Le fait d'utiliser les niveaux de puissance acoustique libère la norme des contraintes typologiques (exception faite des limitations pour les sources de bruit à caractère très rapide ou hautement impulsionnel).

La validité des algorithmes est généralement corroborée par des mesures réelles en fonction d'un certain nombre d'hypothèses de départ. L'incertitude sur la précision (3dB) est donc similaire à celle qui serait obtenue par mesurage.



000128

Les algorithmes se basent sur une double modélisation : une modélisation de la source, et une modélisation de la propagation de l'onde sonore, d'un point de référence à un point acoustique d'évaluation donné, pour calculer le niveau de bruit à ce point

En dépit de l'existence de méthodes plus avancées, la plupart des algorithmes normalisés communément utilisés sont de nature empirique et se fondent sur des règles simples. Beaucoup sont d'ailleurs calculables à la main. L'informatisation des calculs est cependant légitimée par le grand nombre de sources et de récepteurs pris en compte et des contraintes de rapidité d'obtention, d'analyse, de présentation et de documentation des résultats.

Les calculs se basent sur un modèle digitalisé du site reproduisant les sources de bruit, la topographie et les caractéristiques de propagation vers les récepteurs. L'ordinateur évalue les niveaux de bruit à des emplacements donnés sur le modèle. C'est généralement le L_{Aeq} long terme qui est calculé, bien que les niveaux par bandes d'octave se rencontrent aussi.

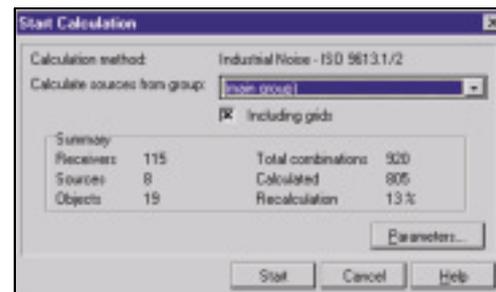
Les algorithmes

Les algorithmes de calcul se fondent sur des principes simples. Le niveau de pression acoustique en un point donné résultant d'une source de puissance donnée peut être déterminé par la formule :

$$L_p = L_W + D_c + C_b - A_{propagation}$$

où :

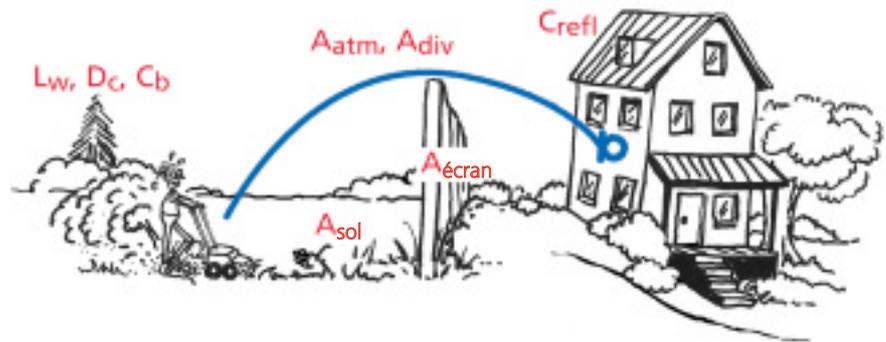
L_p	Niveau acoustique équivalent au point acoustique d'évaluation, en dB
L_W	Niveau de puissance acoustique de la source, en dB (réf = 1 pW)
D_c	Ajustement de directivité, en dB, si la source n'émet pas uniformément dans toutes les directions
C_b	Correction, en dB, si la source n'est pas active constamment. Le niveau long terme est par exemple atténué de 3 dB si la source n'émet que 12 heures par jour
$A_{propagation}$	Atténuation de la propagation, en dB



Le calcul des niveaux à 115 points acoustique d'évaluation du bruit émis par 8 sources requiert 920 calculs par fréquence et par terme d'atténuation



Modèle simple de jonction d'axes routiers, avec routes, sols acoustiquement durs, contours topographiques et quelques points acoustique d'évaluation en facade d'immeubles



000080

Les différents termes d'atténuation de la propagation

Le terme d'atténuation $A_{\text{propagation}}$ peut être subdivisé en plusieurs effets purement physiques, comme illustré ci-dessous :

$$A_{\text{propagation}} = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{sol}} + A_{\text{écran}} + A_{\text{divers}} + C_{\text{réfl}}$$

où :

A_{div}	est l'atténuation due à la divergence géométrique
A_{atm}	est l'atténuation due à l'absorption par l'air
A_{sol}	est l'atténuation due à l'effet de sol
$A_{\text{écran}}$	est l'atténuation due à l'effet d'écrans
A_{divers}	est l'atténuation due à divers autres effets (variations météo, dispersion à travers les structures acoustiques complexes)
$C_{\text{réfl}}$	est la correction relative à la contribution des réflexions

Les calculs sont effectués en bande large (dB(A)) ou en bandes d'octave ensuite synthétisées pour donner le niveau global. Les calculs en bandes d'octave sont généralement plus précis et plus utiles aux analyses des mesures de réduction de bruit éventuellement requises.

Vérification par comparaison à des mesures valides

Mais contrairement à ce qui se passe pour les mesurages, la vérification d'un calcul est toujours postérieure à un calcul initial et sert à affiner les résultats pour l'obtention d'une précision optimale.

Il faut prendre garde à ce que l'activité de la source soit rigoureusement la même pour le calcul et pour le mesurage de référence. Le calcul intègre généralement une correction météorologique longue durée pour l'obtention du L_{Aeq} moyen. La comparaison des calculs aux mesures doit être réalisée dans des conditions météorologiques stables et par vent portant (de la source vers le récepteur), les résultats d'un seul jour de mesurage pouvant être entachés d'une erreur systématique (jusqu'à 10 dB) liée à des conditions de vent et de sol non représentatives. Enfin, les mesures reflètent toujours aussi la contribution de sources autres que les sources faisant l'objet de l'investigation. C'est pourquoi il est conseillé de comparer à des mesures obtenues sur un terme assez long et de traiter les résultats pour être sûr d'avoir écarté les contributions parasites.

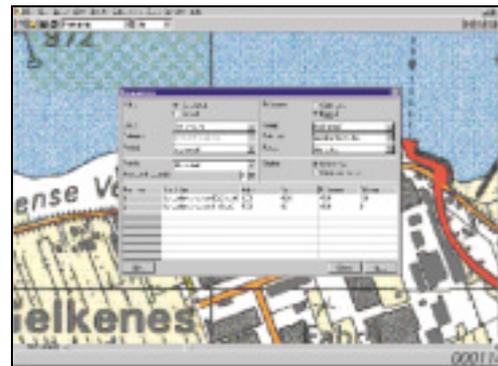
Dans certains cas, en acoustique prévisionnelle notamment, cette vérification est impossible. Ce manque doit être compensé par un examen minutieux des résultats ou par la comparaison à des situations réelles similaires.

Précision des calculs

La précision des calculs dépend de plusieurs facteurs : hypothèse de départ, niveaux et plage de valeurs considérés, compétence des opérateurs.

Les algorithmes sont optimisés pour des scénarios clairement définis. Les normes de calcul de bruit routier et ferroviaire, notamment, se fondent sur des bases de données de bruit nationales pas toujours utilisables au delà des frontières, vu la disparité des parcs automobiles (âge, cylindrée des véhicules), des comportements au volant, des modes d'exploitation des réseaux. La précision peut donc varier avec le niveau de bruit calculé selon la plage de valeurs prise en compte, même si la plupart des algorithmes sont conçus pour une précision optimale sur des plages de niveaux importantes.

Beaucoup plus sérieuse est la conséquence de la qualité du paramétrage initial. Données topographiques, puissance acoustique des installations, débit de circulation prévu doivent être soigneusement définis.



Les mesures ont permis d'affiner le modèle pour donner une différence moyenne inférieure à 2 dB et une différence maximale de 2,6 dB. Comme pour les mesurages, les calculs doivent être comparés à des références, généralement des mesures valides obtenues à des emplacements choisis



Générer les données topographiques par fichiers SIG ou AutoCAD[®], mesurer la puissance acoustique in-situ et compter le nombre de véhicules à des points choisis peuvent diminuer les risques d'erreur. Ne sont pas négligeables non plus, pour l'optimisation de la précision, le niveau de compétence et l'expérience des opérateurs en matière d'acoustique et de modélisation.

Globalement, l'incertitude liée à l'utilisation d'algorithmes utilisés correctement et avec les scénarios pour lesquels ils ont été définis ne dépasse pas 3 dB.



000086

Avantages/inconvénients des calculs comparés aux mesures

Avantages	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none">• Information détaillée sur les sources de bruit : contributions critiques nombreux emplacements• Insensibilité aux conditions météorologiques• Etablissement d'hypothèses• Mise à jour aisée• Moins sensible au bruit parasite	<ul style="list-style-type: none">• Pléthore de données (acoustiques et géométriques)• Précision dépendant des compétences en acoustique et de l'expérience en modélisation

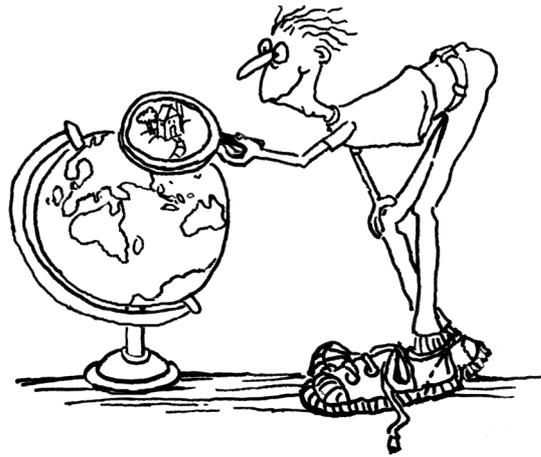


Les calculs sont donc utilisés à l'évaluation du bruit dans l'environnement au même titre que les mesures. Ils peuvent aussi servir à identifier les sources, à produire des cartes de bruit, ou à prévoir l'effet sur l'environnement de modifications ou de constructions futures (cf. section suivante).

Planifier

Le contrôle et la maîtrise du bruit urbain ne peuvent s'envisager que dans la perspective d'une action étagée sur deux niveaux :

- stratégie globale : en intégrant la dimension acoustique aux plans d'urbanisme et plans d'occupation des sols pour prévenir les problèmes et optimiser l'exploitation des ressources existantes
- au coup par coup : par une évaluation de l'impact sur l'environnement des projets de constructions et d'installations nouvelles avant d'accorder les autorisations nécessaires, et par la production de cartes de bruit utiles aux plans d'urbanisme



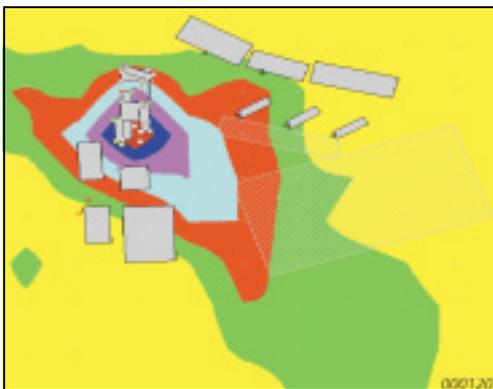
000099

Urbanisme de détail

Dans de nombreux pays, une évaluation de l'impact sur l'environnement doit présider à l'approbation de projets de construction d'un site industriel ou d'infrastructures routières. Il s'agit soit de s'assurer du non-dépassement de limites de bruit réglementaires, soit de mettre en balance les retombées socio-économiques escomptées et les nuisances attendues. Cette précaution peut conduire à proposer des solutions alternatives moins pénalisantes pour l'environnement.

Les supports d'évaluation sont de nature diverse :

- cartographie du bruit
- calcul de l'indice de bruit pondéré
- impact de mesures de réduction du bruit sur l'économie du projet
- présentation tabulaire du nombre des personnes exposées à différents niveaux de bruit



Carte de bruit d'un complexe industriel

Indice de bruit pondéré

Cet indicateur permet de quantifier la gêne associée à une source de bruit donnée. Il peut être défini pour que sa valeur zéro corresponde à des niveaux admissibles, c'est-à-dire inférieurs aux limites recommandées. Les autorités danoises l'utilisent par exemple dans l'évaluation de projets de nouvelles routes.

1	2	3	4
L _{DEN}	Facteur d'exposition	Nb. de gens (1000)	Indice d'exposition (2 × 3)
< 45	0.0	20	0
46 – 50	0.1	30	3
51 – 55	0.2	40	8
56 – 60	0.4	65	26
61 – 65	0.8	60	48
66 – 70	1.5	20	30
71 – 75	3.0	10	30
< 76	5.0	5	25
TOTAL		250	170

L'Indice de bruit pondéré s'obtient en multipliant le nombre de personnes concernées par leur exposition au bruit. L'exemple fictif illustré ci-contre donne un indice de 170

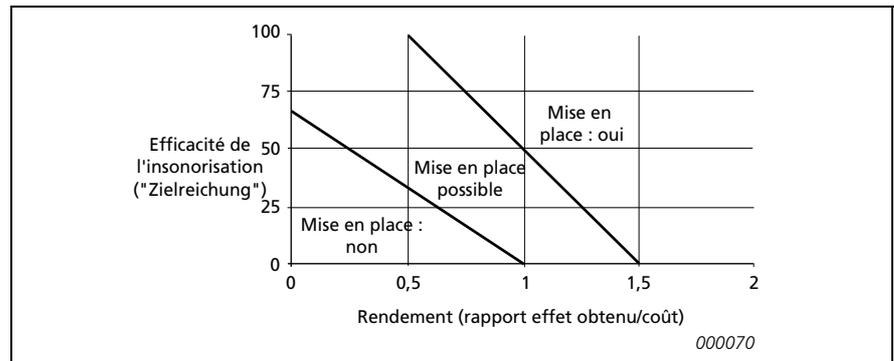
Une procédure typique de détermination d'indice consiste à regrouper, en fonction de leur usage (résidentiel, commercial ou industriel), les propriétés situées dans la zone concernée, à échelonner par classes de 5 dB les propriétés touchées par le bruit, et à multiplier le nombre de propriétés dans chaque classe par le facteur de gêne lié au niveau acoustique mesuré. Plus ce niveau sera élevé, plus grand sera le facteur de gêne.

La sommation des indices associés aux diverses catégories de propriétés résulte en un indice global. C'est cet indicateur qui sert à évaluer l'impact acoustique du projet et à mettre en balance des solutions alternatives. Plus l'indicateur sera faible, plus faible sera l'impact acoustique du projet.

Certains indices, tel celui proposé par l'Académie Nationale des Sciences aux Etats-Unis, prennent en compte le nombre de personnes au lieu du nombre de foyers pour conjecturer les nuisances attendues.

Effacité et rapport coût/performance des mesures de réduction du bruit

En Suisse, l'efficacité des mesures d'insonorisation est jugée à l'aune du rapport coût/performance de la solution proposée : si l'insonorisation conduit à un niveau inférieur aux limites réglementaires sur tous les sites sélectionnés à peu de frais, elle sera réalisée. Si les limites ne sont respectées sur aucun site et/ou la solution est économiquement peu avantageuse, elle ne le sera pas. Entre ces deux pôles, la décision est influencée par d'autres facteurs (graphique ci-dessous).



La mise en oeuvre ou non de mesures de réduction du bruit dépend du rapport coût/performance de la solution envisagée et de son aptitude à maintenir les nuisances au-dessous des limites réglementaires

Zonage acoustique

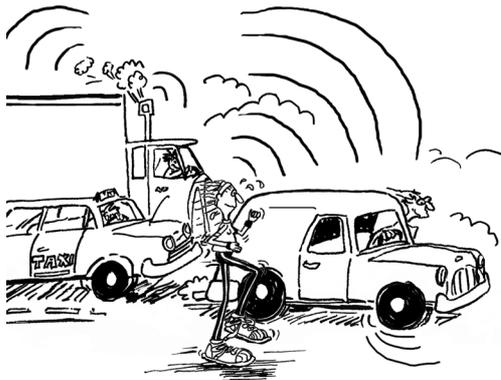
Le zonage acoustique est un moyen de prévenir les problèmes et d'optimiser les ressources existantes dans les grandes agglomérations. La cartographie du bruit s'utilise déjà largement pour la gestion du bruit des aéroports. Ici, les zones isophoniques 65 dB et 55 dB servent à déterminer l'approbation de projets de nouvelles pistes et les compensations à apporter aux riverains.



- Une carte de bruit peut être réalisée sur la base de :*
- *mesures provenant d'enquêtes ponctuelles ou de longue durée*
 - *mesures fournies par des systèmes de surveillance permanente*
 - *calculs*

L'Union Européenne est en passe de mettre en oeuvre une politique de contrôle du bruit qui, s'inspirant des conclusions du Livre vert de 1996, dira quelles cartes de bruit utiliser, comment les produire et à quel usage elles seront destinées. On envisage des représentations des niveaux L_{DEN} et L_{nuit} (L_{Aeq} nocturne) des divers types de bruit (routier, ferroviaire, industriel, etc.) mesurés à 4m du sol. Le niveau global provenant de différentes sources pourra être déterminé selon une méthode spécifiée. Sont visées les villes de plus de 250000 habitants qui cartographient les bruits des transports et le bruit industriel au moyen de procédés de modélisation courants. L'objectif est de parvenir à terme à une harmonisation des procédés.

Réduire le bruit



000137

La lutte pour l'optimisation du confort acoustique des populations exposées au bruit de l'environnement se décline en trois volets d'intervention, ciblés sur :

- les sources de bruit
- le trajet du bruit
- l'habitat exposé au bruit

Le bruit routier est en Europe la source la plus importante de nuisances acoustiques, à l'origine de plus de 90% des niveaux inadmissibles (L_{Aeq} diurne > 65 dB(A)). Les autres transports (ferroviaires et aériens), bien que compromettant le confort acoustique d'un grand nombre d'Européens, induisent généralement des problèmes plus localisés.

En milieu extérieur, le bruit décroît généralement avec la distance par rapport à la source, du fait de la divergence géométrique de l'énergie acoustique, et de son absorption dans l'air et dans le sol. La mise en place d'écrans apporte un frein supplémentaire efficace à la propagation du son et atténue l'impact acoustique.

Aux points de réception, l'isolation acoustique des bâtiments est l'ultime obstacle susceptible d'être opposé à une intrusion du bruit de l'environnement dans la vie quotidienne des gens.

Agir à la source

La plupart des pays producteurs encouragent leurs constructeurs à concevoir des véhicules toujours moins bruyants. Le plafond imposé au bruit "au passage" est de plus en plus plus contraignant : il a baissé de 8 dB(A) pour les voitures et de 15 dB(A) pour les camions au cours des 30 dernières années.

Certaines réglementations (en Norvège et en Italie, notamment) ont préconisé des contrôles d'émission de bruit en cours de vie des véhicules, généralement effectués par les garages à l'occasion des révisions périodiques ; d'autres ont opté pour des vérifications ponctuelles. Mais la croissance du nombre de véhicules a annihilé l'effet que ces mesures auraient pu avoir sur le niveau de bruit global.

L'emploi de nouveaux enrobés permet d'améliorer la qualité acoustique des revêtements de chaussées, avec des réductions de 2 à 6 dB(A). Quant au bruit ferroviaire, il peut être atténué par l'utilisation de rails soudés, posés via des semelles élastiques sur un ballast en béton.

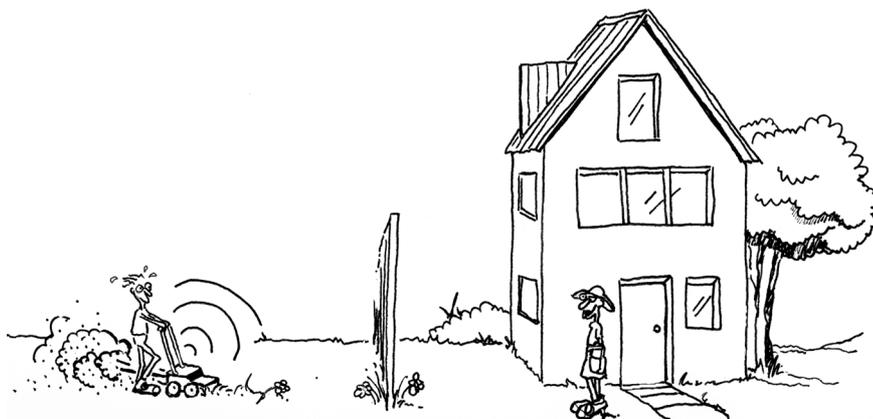
Contrarier le trajet de l'onde sonore

La mise en place d'écrans acoustiques est un moyen efficace de pallier l'impossibilité de placer les sources de bruit à distance suffisante des zones habitées.

La hauteur de l'écran, son positionnement par rapport à la source et aux récepteurs contribuent énormément à l'efficacité de la protection. La hauteur peut varier de 1,5 m (bruit ferroviaire au Japon) à 10 m (activités terrestres d'aéroports



US). Les écrans antibruit routier s'élèvent entre 3 et 7 m de haut. L'effet d'atténuation dépend en outre du contenu fréquentiel du bruit. Un écran antibruit amortit efficacement les hautes fréquences, médiocrement les basses fréquences. Les variations de profil et de géométrie des écrans et l'emploi de matériaux absorbants permettent de minimiser les réflexions parasites et la transmission.



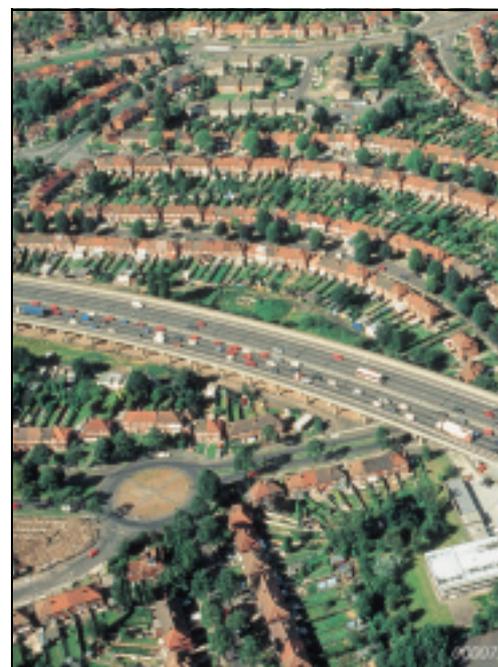
000104

Isolement en façade des bâtiments

En dernier recours, la protection contre le bruit extérieur passe par un renforcement de l'isolement acoustique des façades. L'indicateur communément utilisé pour quantifier l'isolement extérieur des bâtiments est le $D_{nTA,tr}$ (isolement standardisé pondéré).

L'approche paramétrique de l'isolement acoustique en façade varie selon les pays :

- certains préconisent une valeur minimale d'isolement acoustique en façade
- d'autres une isolation renforcée à proximité de sources très bruyantes (bruit routier, bruit des aéroports)
- d'autres encore interdisent la construction d'habitations dans les zones trop bruyantes (en Grande Bretagne, par exemple)
- d'autres enfin (proposition des pays nordiques : Classification acoustique des logements, Projet INSTA 122:1997) préfèrent une classification du bruit résultant mesuré à l'intérieur des bâtiments (l'isolement est faible si le niveau dépasse 35 dB(A), très bon au-dessous de 20 dB(A))



Sur place ou à distance ?

La présence de l'opérateur est-elle nécessaire ?

Les systèmes de surveillance modernes peuvent aujourd'hui enregistrer automatiquement les données de bruit et les transmettre à un opérateur travaillant à distance dans le confort de son bureau. Cette manière pratique et économique d'évaluer les nuisances sonores est même le seul procédé envisageable dans le cas de surveillances à long terme ou de mesurages simultanés.

Certaines interventions exigent cependant une présence humaine sur le site :

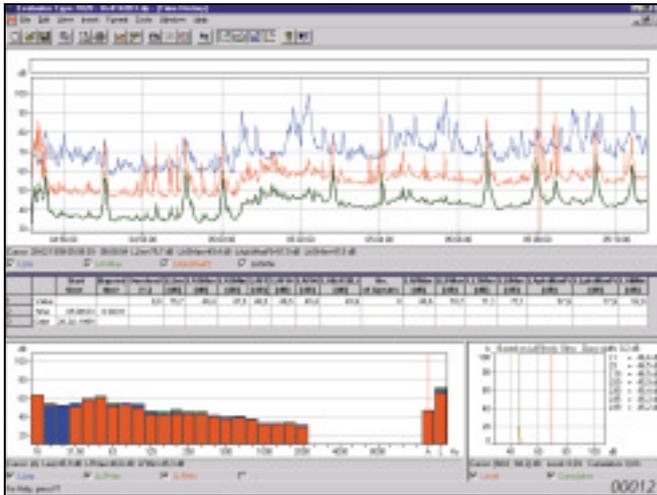
- modification ou amélioration de la configuration de la chaîne de mesurage
- assurance de la représentativité des résultats recueillis
- localisation et marquage de sources de bruit spécifiques
- identification et marquage du bruit résiduel
- prévention d'interférences parasites sur l'équipement ou les mesures
- conseil aux porteurs de protecteurs auditifs
- médiation en cas de litiges ou d'instructions de plaintes

Lorsqu'il choisit d'être présent sur le site de mesurage, l'opérateur est soumis à des contraintes et confronté à des impondérables : temps limité, accès au site difficile, alimentation électrique défaillante, interruptions imprévues, etc. Il doit donc utiliser un appareillage :

- facile à transporter, à configurer, à faire fonctionner
- équipé de marqueurs pour identifier les événements et les sources de bruit
- capable de mesurer tous les paramètres simultanément
- capable de documenter la chronologie des données mesurées



000081



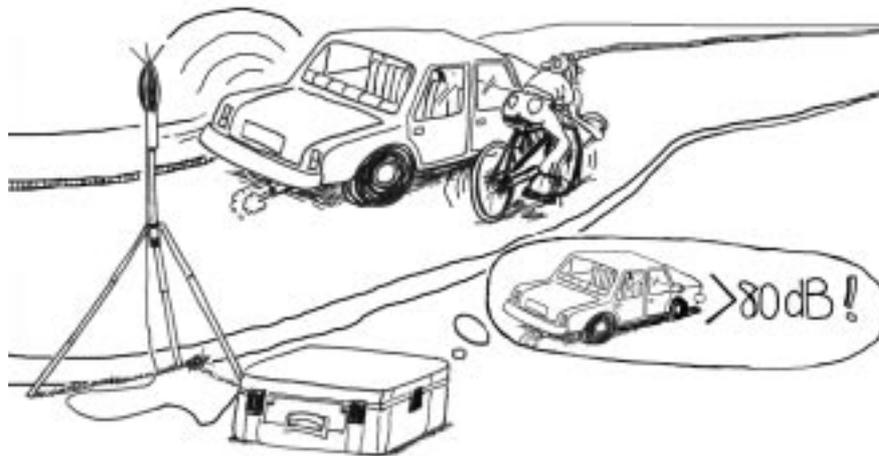
L'enregistrement simultané de tous les paramètres optimise la compatibilité des données et évite d'avoir à revenir sur le site (cela n'est d'ailleurs pas toujours possible)



L'unité GPS (Global Positioning System) transmet au sonomètre les coordonnées de l'emplacement de mesure pour les intégrer aux mesures acoustiques

Dans le cas de mesurages par télésurveillance de longue durée, un soin particulier doit être apporté à la préparation et à la configuration préalable de l'équipement. Les fonctionnalités suivantes sont requises :

- large gamme dynamique
- enregistrement des données (chaque seconde ou chaque minute, p. ex.)
- déclencheur automatique pour saisie des événements de bruit
- mesure simultanée de tous les paramètres pertinents





Pour la télé-surveillance, le microphone doit être protégé des oiseaux et des intempéries. Il doit aussi être facilement accessible à l'occasion des inspections et des vérifications de calibrage



Le sonomètre peut être logé dans une mallette de protection qui contient également une batterie de réserve, un enregistreur audio-numérique pour identifier les sources sonores, et un modem GSM pour télécharger les mesures dans un PC situé dans le bureau de l'opérateur

- enregistrement du signal sonore pour localiser les sources
- saisie des données météorologiques
- chronologie documentée de toutes les données saisies
- grande capacité de stockage des données
- vérifications automatiques du calibrage
- accès à distance aux mesures et à la configuration (de préférence)
- alimentation électrique de secours
- matériel et microphone anti-intempéries
- résistance au vandalisme et aux animaux

Combiner les deux modes de surveillance

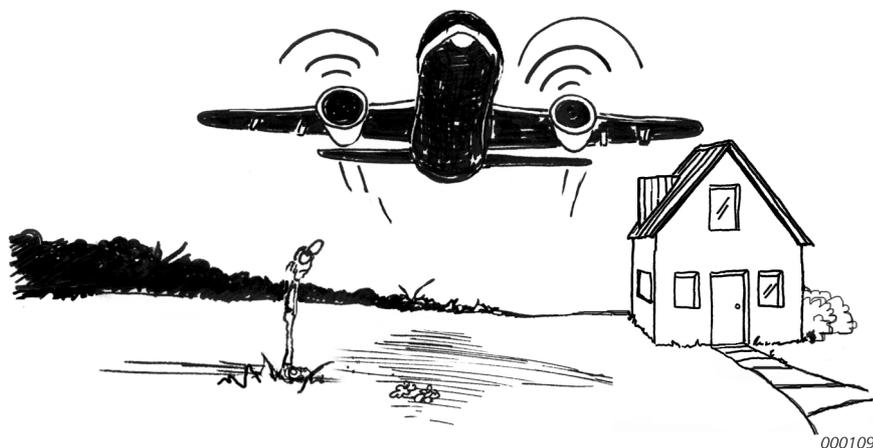
La solution optimale consiste souvent à combiner les deux approches : les mesurages avec opérateur pour les tests pilotes et les vérifications ponctuelles de routine, les mesurages automatiques pour la surveillance permanente ou semi-permanente.

Pour être tranquille

La surveillance en continu permet de s'assurer efficacement du respect ou du dépassement des limites de bruit. Cet usage tend à se généraliser, d'autant que les systèmes de surveillance permanente apportent avec eux d'autres avantages.

Aéroports

Soucieuses de préserver la qualité de l'environnement sonore et de prévenir les plaintes des riverains, les autorités aéroportuaires ont établi des règles tendant à minimiser l'impact des nuisances liées aux mouvements d'avions. La surveillance permanente des niveaux de bruit peut seule leur permettre d'instruire efficacement les dossiers relatifs aux nuisances et convaincre compagnies et pilotes d'adhérer à cet objectif. Pour décourager les éventuels contrevenants, la surveillance doit être efficace. L'outil de surveillance doit donc intégrer les installations radar de l'aéroport pour permettre de corréler les données de bruit excessif saisies avec les trajectoires de chaque aéronef.



000109

Surveiller en permanence

Agglomérations

La surveillance permanente dans les villes est principalement ciblée sur :

- les zones industrielles
- les chantiers de construction
- les grands axes routiers et roades
- les grandes lignes de chemin de fer
- les stades, sites de plein air, concerts, manifestations culturelles

Elle est mise en place lorsque les limites de bruit imposées sont très strictes, ou pour prévenir les plaintes, poursuites et demandes de dédommagement. La surveillance permanente facilite les analyses de tendance et la cartographie du bruit.



Systèmes de surveillance permanente

Ces systèmes assurent sans discontinuer la saisie automatique des données de bruit et d'autres valeurs paramétriques relatives à l'environnement.

Les données recueillies sont mémorisées par des terminaux de surveillance et transférées à intervalle régulier vers un ordinateur central pour y être traitées et stockées. Le nombre de terminaux varie avec les dimensions de la zone surveillée et avec le cahier des charges : entre 10 et 30 pour la plupart des systèmes, mais quelquefois aussi jusqu'à une centaine.

Un terminal de surveillance de bruit consiste principalement en un microphone anti-intempéries, une unité de stockage et d'analyse des données saisies, et un système de transmission des informations (lignes téléphoniques, par exemple). L'analyseur sert à mesurer divers paramètres acoustiques (niveaux L_{Aeq} et L_N notamment) et à détecter les événements de bruit. Certains terminaux permettent l'analyse de fréquence par tiers d'octave en temps réel pour donner immédiatement l'indice de niveau perçu lors du passage d'un avion, par exemple.



Station permanente de surveillance de bruit à Madrid

Les terminaux sont généralement reliés par câble à une centrale de contrôle qui affiche et analyse les données mesurées aux divers emplacements. Les niveaux moyens de court et de long terme sont visualisables sur des afficheurs publics pour sensibiliser la population et favoriser l'établissement d'un dialogue sur ce problème entre pouvoirs publics et administrés.

Un terminal peut aussi être embarqué sur un véhicule équipé d'un système de positionnement automatique. Ce poste de surveillance mobile est relié le plus souvent par téléphone à un ordinateur central. Dans tous les cas de figure, une instrumentation de Classe 1 est indispensable pour les opérations de collecte des données (voir section Normes internationales, CEI 60651).

Placés en milieu extérieur sur de longues durées, ces postes de surveillance sont exposés aux effets combinés de l'humidité, de la température, du vent et des agents corrosifs, ainsi qu'aux déprédations d'origine animale. Le microphone est particulièrement vulnérable. Pour prévenir les dégradations matérielles, il est recommandé d'utiliser une unité microphonique anti-intempéries composée de matériaux insensibles à la corrosion et protégée de l'humidité. Un dispositif d'autovérification du calibrage par insertion de charge (technique CIC) est également recommandé pour garantir la fiabilité des données acoustiques saisies.

Les systèmes permanents intègrent généralement de grandes bases de données indispensables à l'analyse, aux études d'impact, et aux évaluations périodiques des résultats. Les événements de bruit et les plaintes peuvent être corrélés et combinés avec un système de cartographie numérique SIG pour une documentation claire de l'exposition de la population aux nuisances sonores.



Terminaux de surveillance permanente autour de l'aéroport de Vienne, en Autriche

Normes internationales

La normalisation internationale joue un rôle essentiel dans l'évaluation du bruit de l'environnement, soit de manière directe, soit comme référence pour les normes nationales. Deux organisations sont principalement concernées : l'ISO (Organisation internationale de normalisation), qui s'intéresse surtout aux principes méthodologiques pour que les résultats obtenus soient comparables quelle que soit la procédure de mesurage choisie, et la CEI (Commission électrotechnique internationale), qui veille à ce que les instrumentations utilisées soient compatibles et interchangeable sans perte majeure de données ni effet néfaste sur la précision.

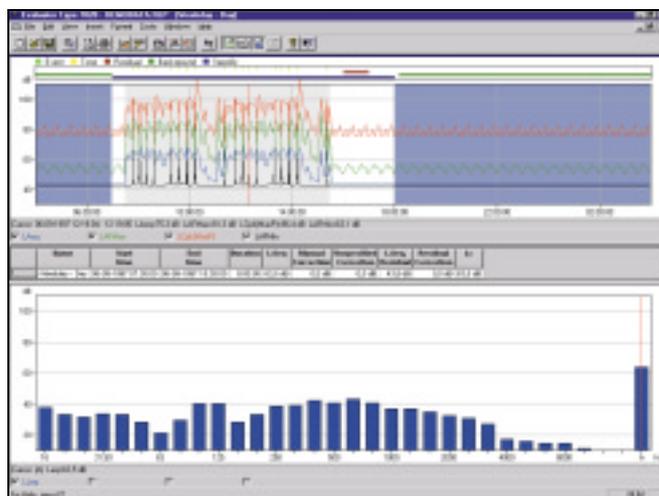
ISO 1996 – Evaluation du bruit de l'environnement

ISO 1996 "Acoustique – Caractérisation et mesurage du bruit de l'environnement" est la référence pour toute approche pertinente du sujet. Elle comporte 3 parties :

- ISO 1996 – 1 1982 : Grandeurs et méthodes fondamentales
- ISO 1996 – 2 1987 : Saisie des données pertinentes pour l'utilisation des sols (amendée en 1998)
- ISO 1996 – 3 1987 : Application aux limites de bruit

Elle définit les indicateurs acoustiques fondamentaux et les méthodes optimales pour l'évaluation du bruit de l'environnement.

Une version révisée de l'ISO 1996 reflétera bientôt la modernisation des techniques de mesurage due aux progrès de l'instrumentation, l'amélioration des méthodes d'identification des composantes tonales, et informera sur la recherche des effets des niveaux de bruit de sources multiples.



Le calcul du niveau acoustique d'évaluation d'une source spécifique pour un intervalle de référence peut être ajusté, pour rendre compte par exemple de tonalités marquées

ISO 3891 – Surveillance du bruit des avions

L'ISO 3891:1978 "Acoustique – Méthode de représentation du bruit perçu au sol produit par un aéronef" décrit les modalités de surveillance du bruit des avions (mesurage, enregistrement, traitement des données, rapport). Actuellement en cours de révision pour couvrir la description et le mesurage au sol du bruit des avions, sa surveillance permanente ou ponctuelle, et la gestion du bruit des aéroports.

ISO 9613 – Calculs

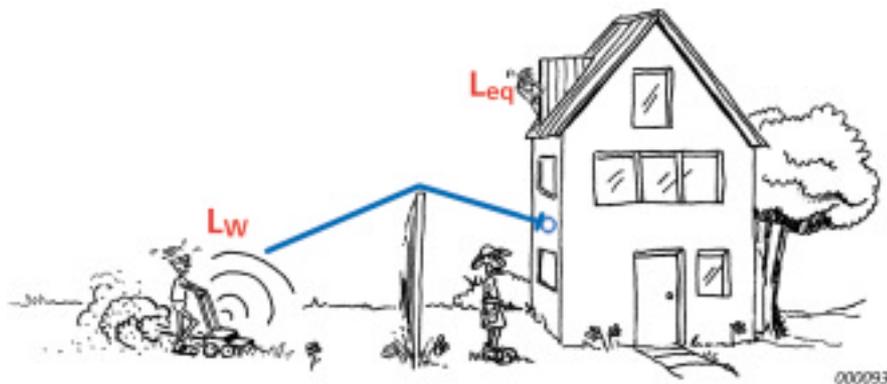
L'ISO 9613 "Acoustique – Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre" comprend deux parties :

- ISO 9613 – 1 1993 : Calcul de l'absorption atmosphérique
- ISO 9613 – 2 1996 : Méthode générale de calcul

Elle décrit une méthode par bande d'octave basée sur des sources ponctuelles de puissance définie. Les sources linéaires peuvent être définies comme un assemblage de sources ponctuelles.



000207



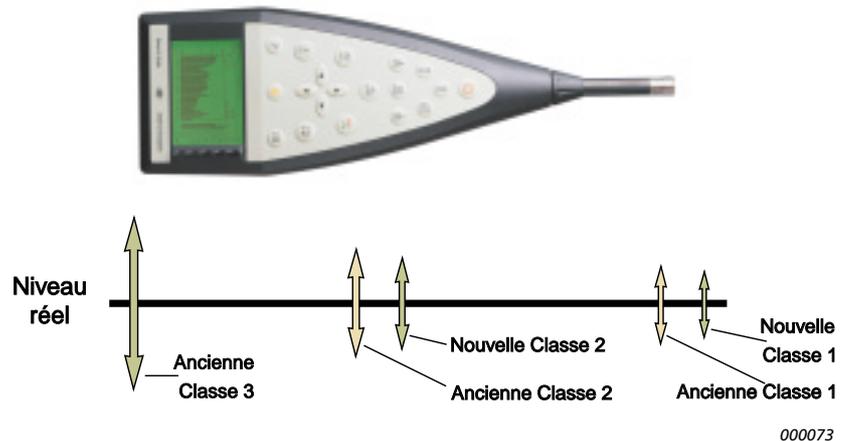
000093

CEI 60651, CEI 60804 et CEI 61672 – Sonomètres

Ces trois normes sont reconnues par tous les pays. Elles sont essentielles, dans la mesure où toutes les normes de mesurage s'y réfèrent pour définir les exigences en matière d'instrumentation.

La plupart des réglementations nationales exigent une instrumentation de Classe 1 pour les mesurages du bruit de l'environnement.

- CEI 60651 – Sonomètres (1979, 1993) : Décline ces appareils selon trois degrés de précision (Classe 0, 1, 2 et 3). Spécifie les caractéristiques de directivité, de pondération fréquentielle et temporelle et de sensibilité pour différents types d'environnement. Définit des essais de vérification de conformité aux spécifications.
- CEI 60804 – Sonomètres intégrateurs-moyenneurs (1985, 1989, 1993) : Supplément à la CEI 651, relatif à ce type d'instrumentation (qui mesure le L_{eq}).
- CEI 61672 – Sonomètres : Projet de norme CEI destiné à remplacer les CEI 60651 et CEI 60804 citées précédemment. Principales modifications : spécifications plus détaillées et disparition de la Classe 3 pour une amélioration de la précision et du contrôle qualité des appareils.

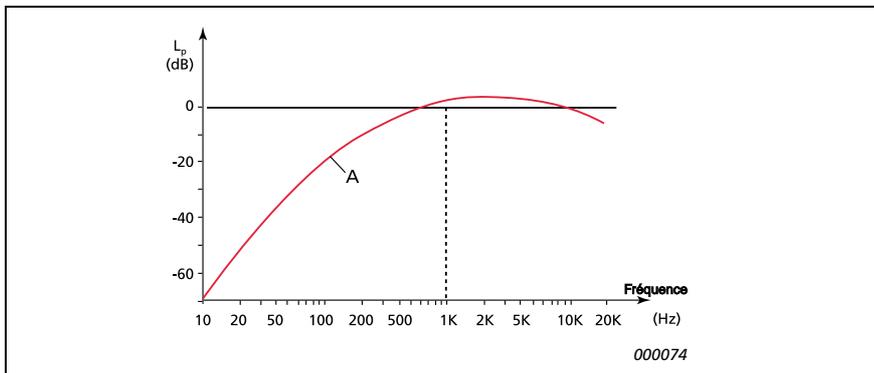


Progrès apportés par la nouvelle norme en terme de précision des sonomètres. Les flèches représentent l'incertitude sur les mesures

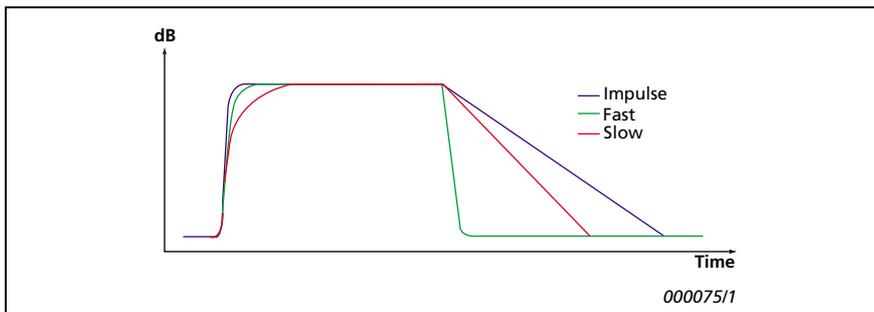
Quelques indicateurs et descripteurs

Les indicateurs utilisés pour caractériser l'impact du bruit de l'environnement sont nombreux. La disparité des réactions individuelles au bruit et des descripteurs (niveau, contenu fréquentiel, impulsivité, intermittence, etc.) de types de nuisance ont conduit à essayer de quantifier l'effet de ces bruits au moyen de valeurs numériques simples. Voici les plus communément rencontrés.

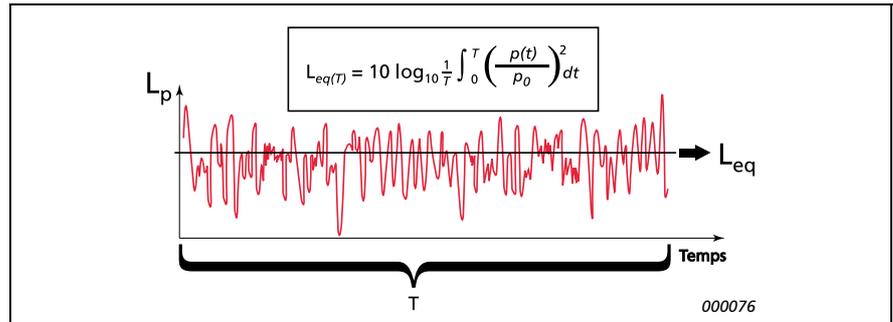
Pondération fréquentielle A : Cette pondération en fréquence du signal électrique de l'appareil de mesure est une simulation de la réponse de l'oreille humaine aux fréquences audibles. Elle se base sur la réponse isophonique à 40 dB. La lettre "A" est incluse aux symboles paramétriques (ex : L_{Aeq}) pour indiquer que les mesures ont été obtenues en appliquant cette pondération.



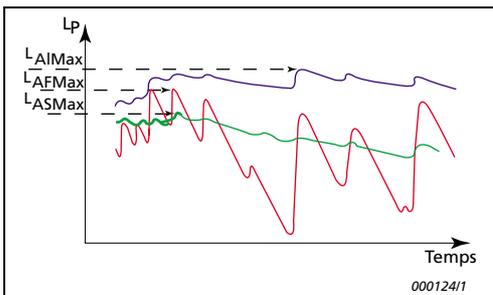
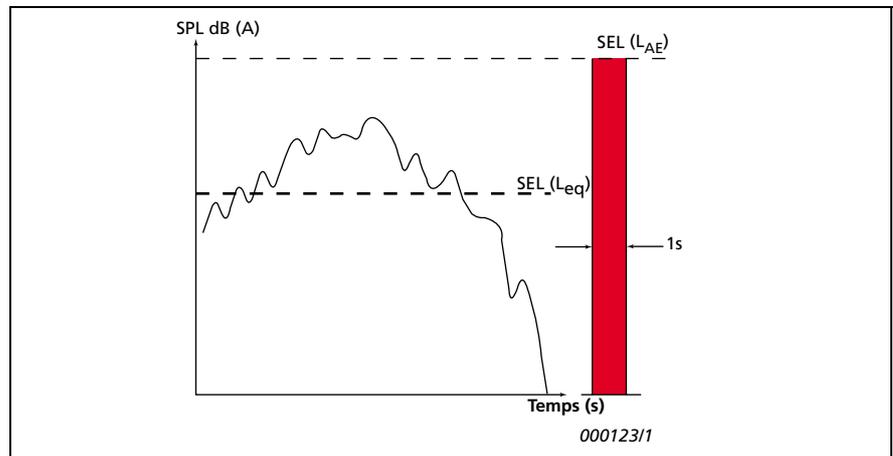
Pondérations temporelles F, S et I : Pour visualiser les niveaux de bruit fluctuants, les instruments mesurent avec des constantes de temps standardisées. Les normes spécifient généralement la constante de temps à utiliser : rapide (Fast), lente (Slow) ou impulsionnelle (I).



Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A ($L_{Aeq,T}$) : Ce paramètre-clé représente le niveau d'un son continu stable qui, au cours d'une période spécifiée T, a la même pression acoustique moyenne quadratique qu'un son considéré dont le niveau varie en fonction du temps. La lettre "A" indique l'emploi d'une pondération A.



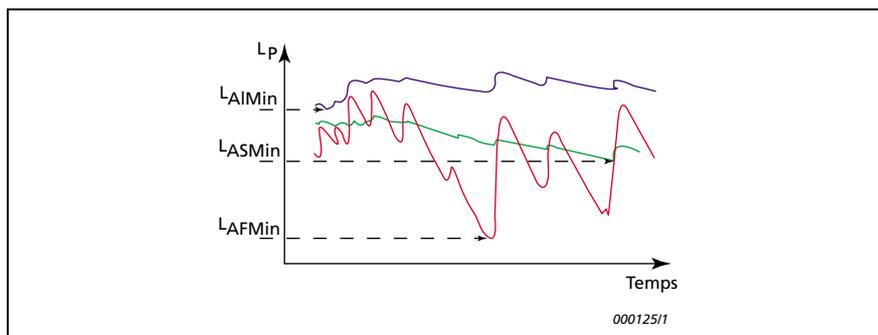
Niveau acoustique d'exposition (L_{AE}) : Indicateur lié au L_{Aeq} précédent et servant à caractériser des événements de bruit similaires (passages d'avions, de trains, etc.) mais de durées différentes. Représente la même quantité d'énergie sur une période "normalisée" de 1 seconde que l'événement de bruit considéré.



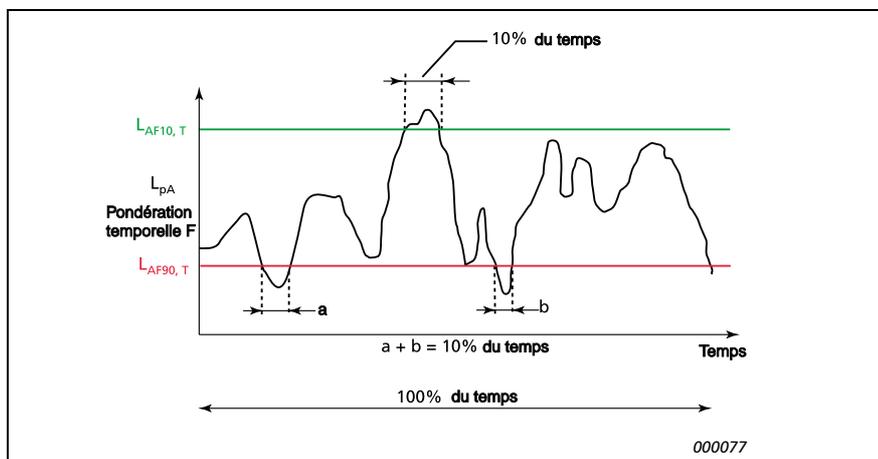
Niveau maximal (L_{AFMax} , L_{ASMax} ou L_{AIMax}) : Niveau maximal pondéré A saisi pendant la durée du mesurage et mesuré avec une pondération temporelle F, S ou I. Souvent utilisé conjointement avec un autre indicateur (le L_{Aeq} , notamment)

pour vérifier qu'un événement de bruit ne dépasse pas un niveau limite. La spécification de la constante de temps utilisée est ici indispensable.

Niveau minimal (L_{AFMin} , L_{ASMin} ou L_{AImin}) : Niveau minimal pondéré A saisi pendant la durée du mesurage et mesuré avec une pondération temporelle F, S ou I.



Niveau acoustique fractile $L_{AFN,T}$: Niveau pondéré A dépassé pendant N% de la durée du mesurage. Certains pays utilisent le $L_{AF90,T}$ (niveau dépassé pendant 90% du mesurage) ou le $L_{AF95,T}$ comme indicateur du bruit de fond. La pondération temporelle (généralement F) doit être spécifiée.



L_{Aeq}	47 dB
K_I	6 dB
K_T	3 dB
K_R	6 dB
K_S	0 dB
L_R	62 dB



000129

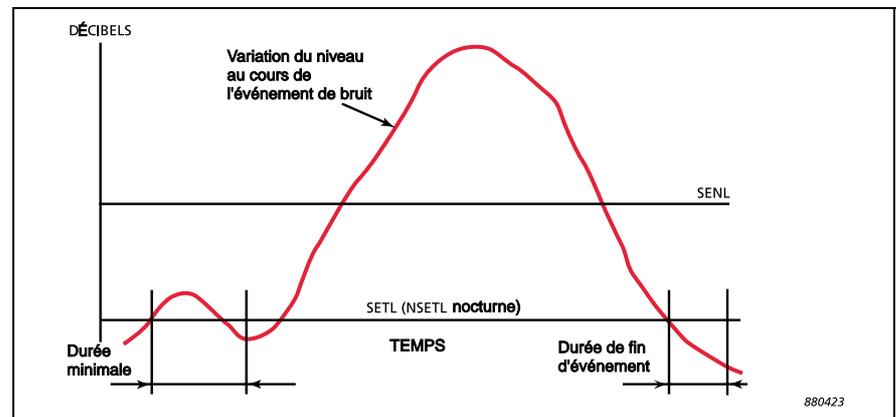
Niveau acoustique d'évaluation $L_{Ar,Tr}$: Niveau de pression acoustique continu équivalent pondéré A ($L_{Aeq,T}$) pour un intervalle de référence spécifié, ajusté en fonction du caractère tonal et/ou de la présence de bruits impulsionnels ou intermittents. Donné par la formule :

$$L_{Ar,Tr} = L_{Aeq,T} + K_I + K_T + K_R + K_S$$

Certains pays préconisent une évaluation subjective des caractéristiques tonales ou impulsionnelles du bruit étudié. D'autres une évaluation basée sur des mesures. Exemple : (1) pour un bruit donné mesuré en bandes de tiers d'octave, une différence de 5 dB ou plus entre une bande et les bandes qui lui sont adjacentes indiquera une tonalité marquée ; (2) la présence d'impulsions peut être détectée en mesurant la différence entre les valeurs obtenues pour l'indicateur $L_{AIm,T}$ ("L_{eq}" pondéré A et I) et le $L_{Aeq,T}$.

Indicateurs du bruit des transports aériens : Lorsque ce bruit est évalué comme une source de bruit normale (ce qui est généralement le cas), les indicateurs requis sont communément le $L_{ASM_{max}}$ et le L_{AE} (équivalent au L_{AX} des anciennes normes) pour un événement unique et le $L_{Aeq,T}$ pour des événements successifs.

Certaines situations (homologation des avions) demandent une analyse en tiers d'octave du contenu spectral mesuré toutes les demi-secondes. Le niveau de bruit perçu (P_{NL}) est alors obtenu par conversion des niveaux de pression acoustique en valeurs de nuisance perçue selon la Norme ICAO Annexe 16.



Si le spectre contient des composantes tonales marquées, une correction supplémentaire (jusqu'à 6,7 dB) est apportée au niveau de bruit perçu (P_{NL}) pour donner le P_{NLT} . La perception subjective globale du passage d'un avion doit prendre en compte le profil de l'événement de bruit dans le temps. Ce qui s'obtient par intégration du niveau acoustique perçu corrigé des tonalités (le P_{NLT}) pour donner le L_{EPNL} (voir détails dans la Norme ISO 3891).

Niveau acoustique moyen diurne-nocturne L_{DN} : C'est un L_{Aeq} ajusté de 10 dB(A) pour les bruits apparaissant dans l'intervalle 22:00h à 07:00h afin de prendre en compte l'accroissement de la gêne aux heures de la nuit.

Spectre de fréquence : Les indicateurs numériques tels le L_{Aeq} sont quelquefois insuffisants pour caractériser le bruit étudié. L'émergence de tonalités marquées, par exemple, ne peut être bien mise en évidence que par une mesure en bande d'octave, de tiers d'octave, ou plus fine encore (Transformée de Fourier Rapide) des composantes fréquentielles du bruit.

En acoustique prévisionnelle également, les spectres d'octave sont pris en compte dans les calculs pour déterminer les caractéristiques en fréquence des sources et des ondes sonores propagées.

Puissance acoustique W : c'est la puissance générée par une source de bruit. Contrairement à la pression acoustique, qui varie entre autres avec la distance au récepteur et avec la présence d'obstacles et de surfaces réfléchissantes, ce paramètre est insensible au contexte environnant.

Si la puissance acoustique est connue, la pression en un point peut généralement être calculée. L'inverse n'est pas vrai, sauf conditions très particulières (chambre sourde ou réverbérante). C'est pourquoi la puissance acoustique est très utile à la caractérisation des sources sonores et au calcul de la pression acoustique.

Elle s'exprime également en décibels, unité logarithmique. Un niveau de puissance acoustique de 0 dB correspond à 1 pW (picowatt = 10^{-12} W).

La puissance acoustique, représentée par le symbole L_W , est souvent spécifiée en dB(A), octave ou tiers d'octave.



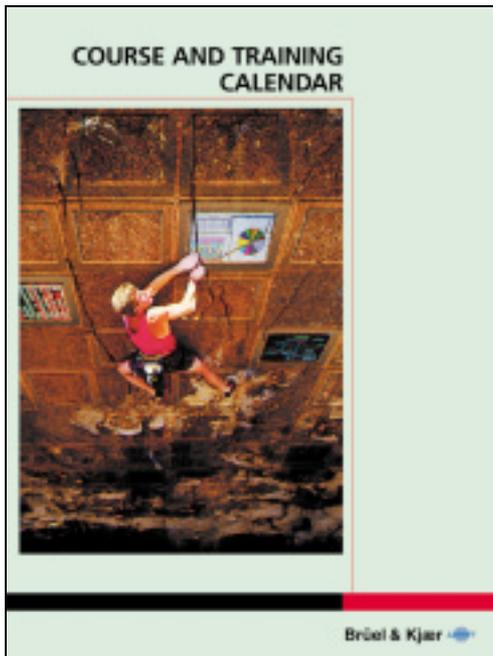
000/16

Brüel & Kjær

La société Brüel & Kjær a été fondée en 1942 par deux ingénieurs danois, Per V. Brüel et Viggo Kjær. La mesure du bruit et des vibrations est donc notre métier depuis bientôt soixante ans. Brüel & Kjær est leader mondial pour les microphones de mesure, les accéléromètres, analyseurs, sonomètres et systèmes de calibrage. Depuis leur apparition en 1961, les sonomètres portables Brüel & Kjær sont un produit leader sur le marché de la mesure du bruit de l'environnement et du bruit au poste de travail.



000105



Stages de formation

Brüel & Kjær organise des stages de formation aux problèmes du bruit dans l'environnement, sous la conduite de formateurs locaux et de spécialistes en applications.

Centres de maintenance et d'étalonnage

Un Centre de service Brüel & Kjær est présent dans votre région pour assurer toutes les prestations regardant l'étalonnage, la maintenance et le suivi de votre instrumentation (jusqu'à 6 ans d'extension de garantie).

Pour nous joindre

Contactez l'agence Brüel & Kjær la plus proche. Nous sommes présents dans plus de 90 pays. Dans le doute, contactez notre maison mère au Danemark (adresse en dernière page de couverture) ou consultez notre liste d'adresses sur www.bksv.com

