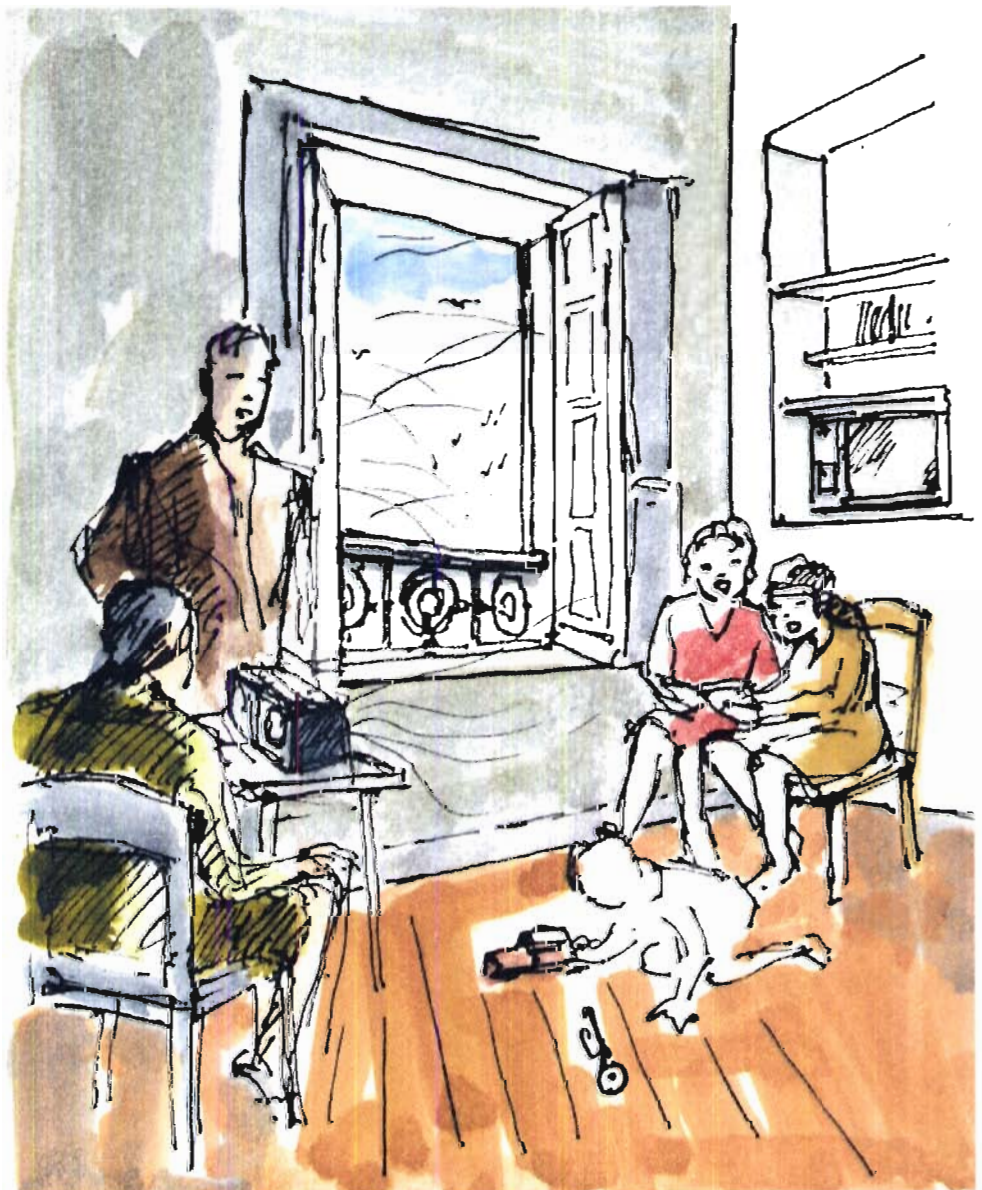




Organisation Mondiale de la Santé
Bureau Régional de l'Europe

La mesure acoustique



Collectivités locales, ce document vous est destiné

Le Bureau régional de l'Europe de l'OMS est régulièrement sollicité pour fournir des avis techniques ou pratiques sur un grand nombre de sujets liés à l'environnement et la santé.

Des experts, en collaboration avec de nombreux autres partenaires, ont rédigé ces documents pour vous aider à résoudre vos problèmes de santé et d'environnement.

Les recommandations sont hiérarchisées afin de permettre le développement de stratégies adaptées au contexte local.



Les recommandations ainsi identifiées sont celles qui doivent impérativement être appliquées pour assurer un environnement sûr et salubre. Toutes les autorités locales ont le devoir de s'y attacher sans délai.



Les recommandations ainsi identifiées sont celles qui apporteront des améliorations sensibles de l'état de santé des populations et devraient être considérées comme des actions prioritaires.



Les recommandations ainsi identifiées sont celles qui permettront, si elles sont suivies, d'améliorer substantiellement l'environnement local. La qualité de vie de tous les citoyens y gagnera.

Les recommandations sans niveau de priorité sont destinées à vous aider à élaborer des stratégies au niveau local et seront, en général, sans effet direct sur la santé.

Ces documents ont été écrits pour permettre aux responsables locaux de prendre leurs décisions en toute connaissance de cause.

Le personnel technique ainsi que les chargés de relation publique de vos services trouveront dans les annexes des informations pratiques de nature à les aider dans leur travail quotidien.

Une liste des sujets déjà publiés ou en cours de préparation figure en avant dernière page de couverture.

Xavier Bonnefoy
Conseiller régional pour l'environnement et la santé/écologie

Conseiller principal



M. Patrick Luquet
Ingénieur acousticien, M. Luquet est directeur de la compagnie 01dB-stell. Il est expert auprès des tribunaux.



La mesure acoustique

R É S U M É

La mesure acoustique a pour finalité de quantifier aussi objectivement que possible la perception et les sensations auditives d'un individu ou d'une population.

Vaste chantier, quasi utopique, puisqu'il s'agit de représenter une expression humaine floue et par définition subjective à l'aide d'une valeur unique. La mesure acoustique, pour être représentative, doit donc intégrer de nombreux paramètres liés à la méthodologie et aux conditions de mesure et faire appel à des instruments exprimant des données qui relèvent de la physique, de la psychologie et de la physiologie.

En général, la mesure acoustique est plutôt orientée vers la caractérisation des bruits qui correspondent à des sons indésirables voire dangereux pour l'ouïe ou le corps humain. Ses applications intéressent de nombreux domaines tels que la santé publique, que ce soit en termes de prévention de la surdité ou de lutte contre les nuisances sonores, d'aménagement du territoire ou enfin d'amélioration de la qualité de vie de la population.

Dès l'Antiquité, les hommes de science, les philosophes ou encore les architectes se sont intéressés aux sons. Les premiers pour en expliquer la nature, les seconds avec le souci de l'intégrer à une cosmogonie et les derniers dans une quête de la meilleure écoute.



La mesure acoustique permet de définir les sons indésirables pour l'homme.

Ainsi, l'architecte romain Vitruve, premier siècle avant J.C., décrivait dans son ouvrage *De Architectura Livre V, De Theatri Vasis* la réalisation d'amphores acoustiques, résonateurs d'airain ou de terre cuite, et leur utilisation dans les théâtres. Cette technique fut largement reprise durant le Moyen Âge dans le cadre de la construction des églises pour améliorer l'écoute et l'intelligibilité des sons émis.

L'acoustique est une science très ancienne qui était à l'origine confondue avec la musique et qui est restée empirique et subjective jusqu'au 17ème siècle. Il faut attendre le début du 18ème siècle pour voir apparaître les premiers expérimentateurs scientifiques (Sauveur, Bernouilli, Chladni, Euler, Savart et surtout Helmholtz). Helmholtz était à la fois physicien et physiologiste ce qui lui permit, au travers de son ouvrage *Traité de la perception du son*, de faire la synthèse entre les domaines de la physique pure, de la physique expérimentale, de la physiologie et de la musique. L'acoustique devint réellement une science après les travaux de Newton qui montra le rôle de l'élasticité dans la formation et la transmission des sons et surtout de Lord Rayleigh qui publia en 1895 *La théorie du son*.

L'acoustique fait appel à de nombreux domaines et ne peut être réduite à une science exacte. C'est toute sa difficulté et toute sa richesse.

L'acoustique physique

L'acoustique est la partie de la physique qui traite des sons et des ondes sonores.¹

Le son

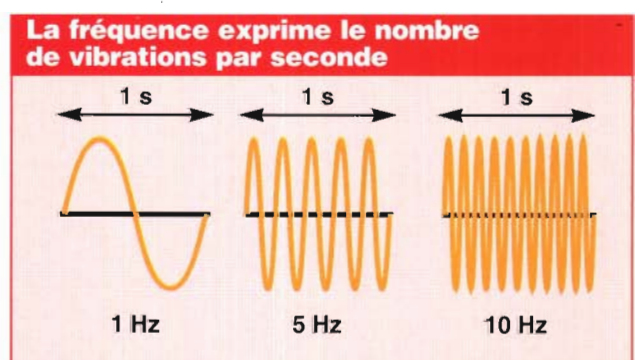
Le son est un phénomène vibratoire caractérisé par une fréquence (grave ou aiguë), un niveau (fort ou faible) et une durée (longue ou courte) et qui peut se propager dans différents milieux. Plus le milieu dans lequel il se propage est dense, plus sa vitesse de propagation est importante.

Le son perçu par l'oreille résulte de l'effet d'une variation rapide de la pression de l'air. La vitesse du son dans l'air est d'environ 340 mètres /seconde.

La fréquence

La fréquence d'un son s'exprime en Hertz (Hz). Cette valeur représente le nombre de vibrations (ou d'oscillations) par seconde effectué par l'onde acoustique (voir graphique ci-dessous).

- Les sons graves correspondent à des fréquences de 20 à 200 Hz, souvent appelées basses fréquences ;



1. Dictionnaire de la langue Française Robert - 1973

- Les sons médiums correspondent à des fréquences de 200 à 2 000 Hz, souvent appelées fréquences moyennes ;
- Les sons aigus correspondent à des fréquences de 2 000 à 20 000 Hz (hautes fréquences).

Le domaine d'audition d'une personne adulte s'étend normalement entre 20 et 20 000 Hz.

En dessous de 20 Hz, on parle d'infrasons, au-dessus de 20 000 Hz, il s'agit d'ultrasons.

Le niveau

Ce que l'oreille perçoit comme des sons forts ou faibles correspond, en réalité, à des variations de pression de l'air ambiant plus ou moins importantes.

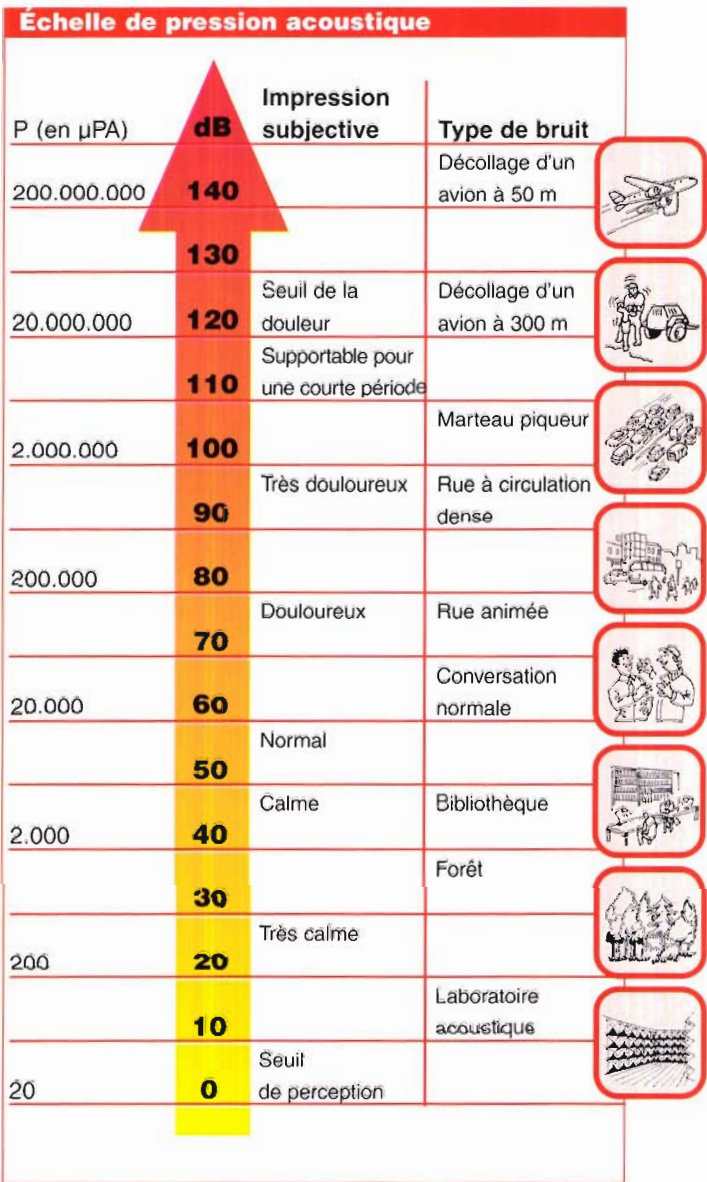
La variation de pression observée dans le milieu où se propage le son est directement proportionnelle à l'amplitude de l'onde sonore.

On appelle pression acoustique de référence la plus petite variation de pression détectable par l'oreille humaine. Elle est égale à 20 micro Pascal (20 µPa). La variation de pression la plus importante à laquelle l'oreille humaine peut résister est égale à environ 20 Pascal (20 millions de micro Pascal).

Le décibel

L'oreille humaine supporte des variations de pression allant de 20 µPa à 20 Pa. Mais elle ne perçoit pas le changement de chaque unité. Elle ne fait pas la différence entre 20 et 21 µPa voire entre 2000 et 2200 µPa. Elle ne ressent pas un doublement de pression acoustique comme un doublement du niveau sonore.

Il est nécessaire de recourir à un artifice mathématique pour représenter le plus fidèlement possible la sensation perçue. En fait, si on exprimait le résultat de la mesure sous sa forme directe, on obtiendrait des chiffres variant de 1 à 1 million, ce qui ne reflète pas la réalité sensorielle. En utilisant le logarithme de la pression, on procède à une compression des valeurs et le résultat illustre mieux la perception.²



Avec l'échelle logarithmique, les niveaux mesurés seront exprimés en décibels et s'échelonneront alors entre 0 dB (égal à 20 µPa, seuil de perception) et 120 dB environ (égal à 20 Pa, seuil de la douleur).

Du fait du changement d'échelle (échelle logarithmique au lieu de l'échelle arithmétique), les décibels ne s'additionnent pas de manière arithmétique, ainsi :

50 dB + 50 dB ≈ 53 dB

On notera ici qu'une augmentation de 3 dB correspond au doublement de la pression acoustique.

2. Voir brochure *Bruit et Santé* dans la même série

Énergie et niveau acoustique	
Mutiplier l'énergie par	C'est augmenter le niveau sonore de (en dB)
2	3
3	5
4	6
5	7
6	8
10	10
100	20
1000	30

Un son peut en masquer un autre ...

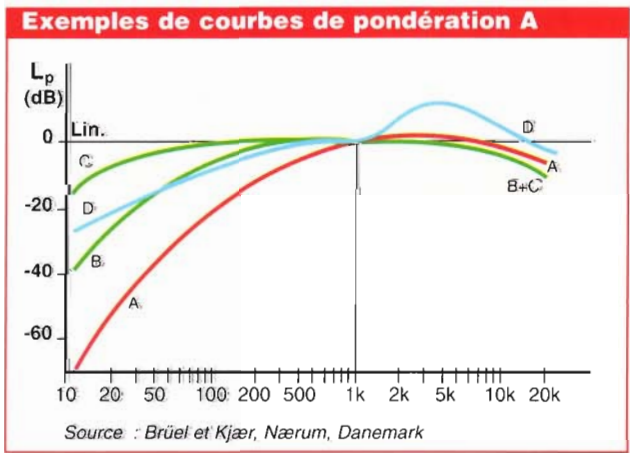
Quand deux sources diffèrent d'au moins 10 dB, leur somme correspond à la valeur de la source la plus importante (la source la plus faible n'est plus perceptible), ainsi on peut dire que pour l'oreille :

60 dB + 50 dB ≈ 60 dB

Le décibel pondéré A

L'oreille humaine est plus sensible aux fréquences graves qu'aux fréquences aiguës et ne perçoit donc pas de la même façon des sons de même niveau mais de fréquence différente.

Afin de prendre en compte ce phénomène, les instruments de mesure doivent filtrer le son et restituer, dans le chiffre qu'ils indiquent, ces différences physiologiques de perception. Il s'agit d'une pondération effectuée fréquence par fréquence. Elle peut être représentée par une courbe normalisée appelée courbe de pondération A ; les décibels ainsi mesurés s'appellent des décibels A (dB(A)).



Objectivité et subjectivité

Les spots publicitaires audiovisuels sont-ils plus bruyants ?

A la question "le niveau sonore des messages publicitaires est-il plus fort que celui du reste des programmes ?", le téléspectateur répondra invariablement par l'affirmative. Pourtant, une mesure effectuée avec un sonomètre prouve cette affirmation fausse en décibels (mesure objective). Il est pourtant vrai que notre sensation (subjective) surévalue cet effet parce que les ingénieurs du son manipulent le signal émis en le compressant et en utilisant des rythmes à très fortes variations.

La pondération B est utilisée dans les tests de voitures en Italie. La pondération C a été créée pour mesurer les niveaux sonores élevés (niveaux maxima d'un bruit impulsif sur un lieu de travail par exemple). La pondération D a été conçue pour rendre compte du bruit généré par les avions.

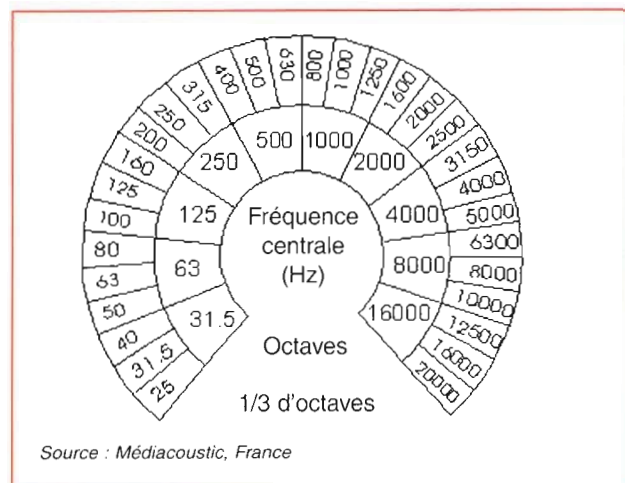
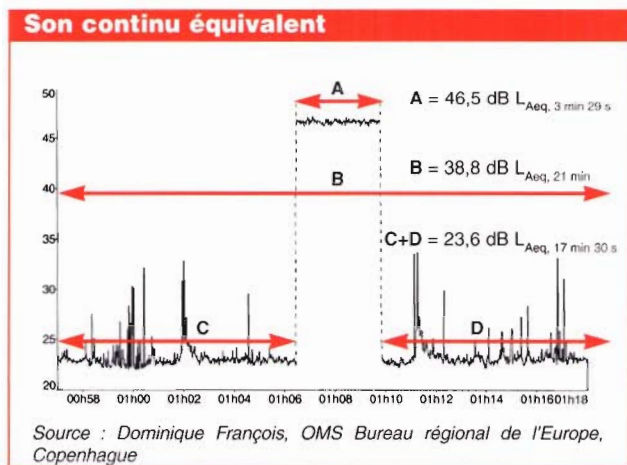
Le bruit

Le phénomène physique qui correspond au bruit est une variation rapide de la pression atmosphérique. Cette variation de pression se transmet de proche en proche dans son milieu environnant (l'air en général) jusqu'à notre tympan.

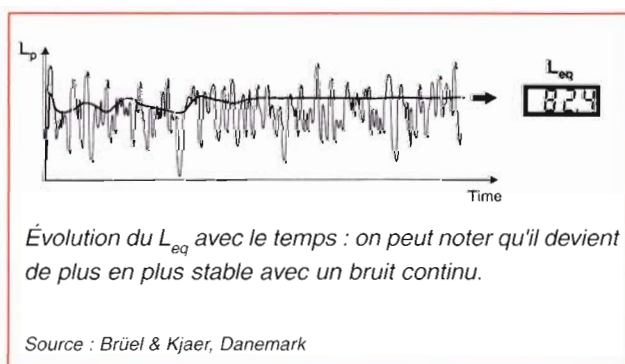
Deux grandeurs essentielles sont recherchées pour décrire le plus objectivement possible ce phénomène : l'amplitude en fonction de la durée et le contenu fréquentiel.

La mesure temporelle

Les bruits qui nous entourent sont pour la plupart évolutifs en fonction du temps et intermittents. La prise en compte de leur durée et de leur histoire temporelle est donc fondamentale pour décrire et caractériser correctement un environnement sonore.



Après de nombreuses études et l'essai de nombreux indices, le niveau continu équivalent noté L_{eq}^3 a été adopté pour illustrer la sensation sonore d'une population. Le L_{eq} est basé sur une moyenne énergétique des niveaux sonores, et utilisant une échelle logarithmique, il privilégie les niveaux forts aux niveaux faibles.



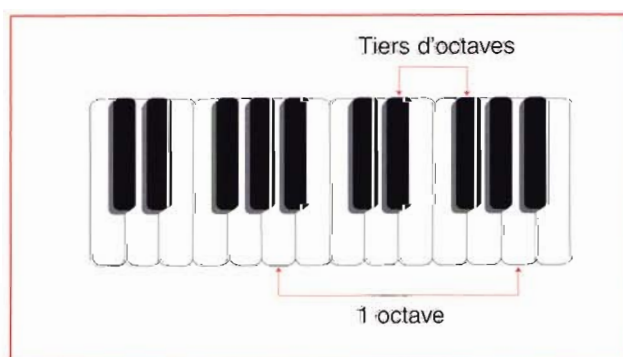
Le L_{Aeq} représente le niveau d'un bruit stable, de même énergie pondérée A que le bruit fluctuant considéré. Il est déterminé sur une durée d'observation et est représentatif des fluctuations temporelles du niveau pondéré A.

Le graphique ci-dessus montre que la valeur du L_{eq} varie en fonction de la longueur de l'intervalle de calcul.

L'analyse spectrale

Le bruit étant un assemblage plus ou moins aléatoire de fréquences de niveaux différents, une analyse spectrale permet d'en déterminer les différentes composantes élémentaires.

On utilisera à cette fin un sonomètre muni d'un filtre électronique ayant pour fonction de n'enregistrer que les sons dont la fréquence a été prédéterminée (analyseur séquentiel) ou d'une batterie de filtres électroniques qui peuvent être utilisés simultanément (analyseur en temps réel). Les fréquences prédéterminées partagent l'ensemble du domaine des fréquences audibles en bandes d'octaves ou de tiers d'octaves. La largeur d'une bande d'octave est telle que sa fréquence supérieure est double de sa fréquence inférieure. Une autre technique, connue sous le nom de Fast Fourier Transform (FFT), est utilisée pour effectuer une analyse de plus grande résolution. Contrairement aux bandes d'octave et de tiers d'octave, les bandes FFT sont indépendantes de la fréquence.



3. Komorn, A. & Luquet, P. Méthode de description objective d'un environnement acoustique. Rapport CEE (Laboratoire National d'Essais, avril 1979)

La fréquence centrale de chaque bande donne son nom à l'octave. Les valeurs normalisées des fréquences centrales sont : 31,5, 63, 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000, 8000 et 16 000 Hz. Cette approche est analogue à l'utilisation en musique du *la* international dans l'échelle musicale (440 Hz). L'intervalle entre deux *la* successifs est appelé une octave.

Il existe également l'analyse en tiers d'octave (également normalisée) où l'on a simplement divisé en trois chaque octave décrite précédemment.

Propagation du son

L'énergie acoustique

L'oreille humaine est sensible aux variations de la pression atmosphérique environnante. La sensation qu'elle perçoit peut être exactement la même, qu'il s'agisse d'une source très faible émettant à quelques centimètres ou d'une source puissante émettant à plusieurs centaines de mètres. Une description complète d'une source sonore est, de ce fait, plus une question de quantité d'énergie que de distance par rapport au récepteur.

L'énergie dissipée par une source pendant l'unité de temps est appelée énergie acoustique et, comme en électricité, est exprimée en Watts (W). Ainsi, une source sonore produit une énergie acoustique d'une certaine puissance provoquant la vibration de l'air. Ces vibrations se propagent pour atteindre le tympan.

Une énergie acoustique engendre une intensité acoustique (flux d'énergie acoustique - quantité d'énergie par unité de surface) qui produit une pression acoustique perçue par l'oreille.

Les effets de la distance

Le bruit ou le son se propage de proche en proche dans son milieu jusqu'à atteindre le tympan. La distance joue un rôle prépondérant et le milieu environnant (l'air par exemple) va atténuer l'intensité du son au fur et à mesure de son cheminement.

Très schématiquement, on peut affirmer que la pression acoustique d'un son sera atténuée de 6 dB

chaque fois que l'on double la distance à la source. Dans le cas d'une source linéaire, comme une route, le niveau de pression acoustique sera diminué de 3 dB chaque fois que l'on doublera la distance. Des mesures en vraie grandeur montrent cependant que l'atténuation mesurée est souvent plus faible, une partie du son étant réfléchi par des surfaces peu absorbantes.

On notera également que les fréquences basses s'atténuent moins vite que les fréquences aiguës en fonction de la distance, comme chacun de nous a pu constater lors de l'écoute d'une route à distance (grondement sourd de la route) ou même d'une ville (on parle de rumeur de la ville).

Les effets du vent

L'ensemble des effets météorologiques sur le bruit est complexe. Il fait l'objet de nombreuses études scientifiques importantes.

Le vent a un effet important sur la propagation du son : un vent porteur peut provoquer des niveaux de bruit de 5 à 10 dB supérieurs à ceux que l'on mesurerait avec un vent contraire (à plus de 400 mètres).

Les effets de sol

Le sol, comme tous les obstacles, absorbe une partie de l'énergie acoustique mais en réfléchit aussi une partie. Des différences significatives (de l'ordre de 5 dB) peuvent être observées entre des sols cimentés ou couverts de végétation.

L'objectif de la mesure acoustique

La description objective d'un environnement acoustique a pour finalité la description et la compréhension des effets du bruit sur l'homme. Or, ceux-ci sont nombreux et liés à des facteurs objectifs (durée, répétitivité, caractère fluctuant, impulsionnel du bruit, etc.), mais aussi à des facteurs subjectifs (contexte psychologique, physiologique, sociologique, professionnel, etc.).

La nécessité de prendre en compte le mieux possible un maximum de ces paramètres a suscité un nombre

considérable d'études aboutissant la plupart du temps à l'élaboration de nouveaux indices, unités ou critères de bruit qui cherchent à décrire des environnements acoustiques spécifiques par une valeur et une seule.

Malheureusement, la situation sonore que l'on cherche à quantifier est toujours complexe :

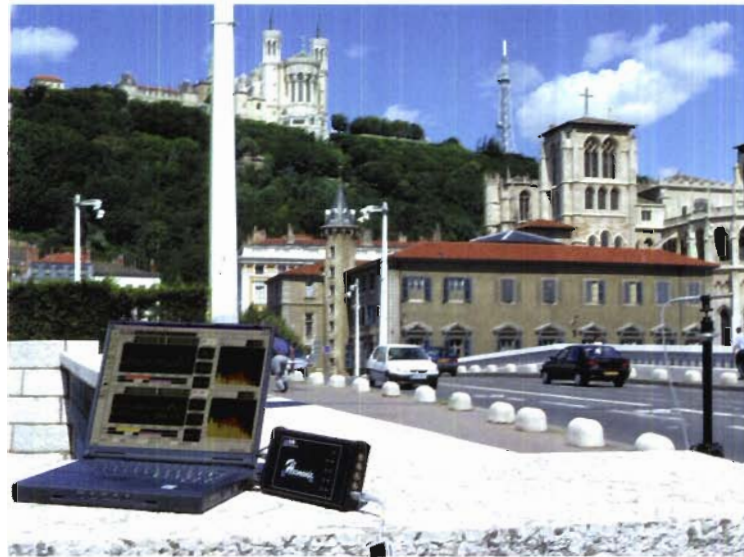
- Présence de plusieurs sources de bruit ;
- Le bruit est évolutif et différent en fonction du temps ;
- La perception du bruit n'est pas la même selon l'individu, son milieu et l'environnement immédiat.

Ainsi, un indice ne peut, à lui seul, caractériser totalement une situation acoustique et, *a fortiori*, son impact sur la sensation qu'en éprouve l'être humain. Il est souvent objectivement impossible de conclure à l'existence de la "potentialité d'une gêne" au sens de la normalisation internationale⁴ à partir de la valeur d'une seule grandeur.

Même si un indicateur utilisant la moyenne, le niveau continu équivalent (L_{eq}), a fait l'objet d'un consensus plus large que les autres indices comme étant "le moins mal corrélé à la gêne", il est trop réducteur et il est indispensable de lui adjoindre des éléments permettant d'obtenir une image plus complète de la situation acoustique.

Les indices statistiques ont été utilisés pour apporter un complément d'information, mais l'expérience a montré leur insuffisance de précision. Ce n'est qu'en 1979, avec le développement des techniques informatiques que la méthode du L_{eq} court⁵ a été développée pour permettre une meilleure description de l'environnement sonore. Cette méthode s'est imposée dans les années 80⁶ en proposant une procédure de mesure et d'évaluation d'un environnement acoustique fondée sur l'exploitation informatique de l'histoire temporelle des bruits.

Depuis, l'essor des techniques numériques a permis de compléter la connaissance de l'histoire temporelle par une analyse simultanée du contenu fréquentiel



Des instruments plus adaptables et plus efficaces fournissent une image plus claire d'une situation sonore sur une longue durée.

(analyse spectrale). La généralisation de l'enregistrement du signal autorise une réécoute de celui-ci.⁷

Actuellement, il semblerait que l'indice $L_{eq,den}$ ⁸ soit en train de devenir un indice prépondérant au sein de la région Europe.

Grâce au support de la micro informatique :

- L'instrumentation est devenu plus flexible et plus performante et permet une investigation complète et automatisée d'une situation sonore ;
- Une meilleure corrélation est obtenue entre la quantité d'informations recueillies et son traitement ;
- Grâce à la programmation voire à l'intelligence artificielle, la mesure est optimisée et analysée en fonction des objectifs recherchés ;
- La prise en compte d'un événement sur une plus longue durée est facilitée par la mémorisation et le transfert automatique des données. On obtient ainsi une meilleure représentativité de la situation sonore.

En revanche, il faut garder à l'esprit que limiter une mesure acoustique dans le temps est toujours une approche statistique. Théoriquement, la mesure devrait être infinie pour être réellement représentative car elle rend compte d'un phénomène sans cesse évolutif au cours du temps et des saisons.

4. ISO R 1996, *Acoustique - Caractérisation et mesurage du bruit de l'environnement*, 1982, 1987

5. Komorn, A. & Luquet, P. *Méthode de description objective d'un environnement acoustique*. Rapport CEE (Laboratoire Nationale d'Essais, avril 1979).

6. Luquet, P. *Application du L_{eq} court à la surveillance acoustique d'un site*. Laboratoire National d'Essais - décembre 1980

7. Luquet, P. & Rozwadowski, A. *PC based integrated acquisition and data processing system* - Conference Internoise, 1988.

8. $L_{Aeq,den}$ est la valeur du L_{eq} moyen sur les périodes jour, soir et nuit.

Différentes techniques d'analyse permettent la combinaison d'échantillons de bruit recueillis à des périodes différentes ou l'extraction du bruit d'une source spécifique.

La mesure acoustique dans l'environnement

Application de la normalisation

Les mesures acoustiques dans l'environnement sont, dans la majorité des cas, effectuées conformément aux prescriptions de la normalisation internationale et à celles imposées par les réglementations locales.

Sans être exhaustive, la législation a produit des textes définissant la méthodologie et les conditions de mesure dans les situations suivantes :

- Bruit de voisinage et de loisirs ;
- Bruit autour des industries ;
- Bruit autour des infrastructures routières et ferroviaires ;
- Bruit autour des aéroports.

Les réglementations et les normes peuvent varier d'un pays à l'autre. Divers pays tentent actuellement d'harmoniser leurs méthodologies (au sein de l'Union Européenne par exemple). Il est conseillé au lecteur de cette brochure de se procurer une copie de la législation en vigueur dans son pays et de s'enquérir auprès des Ministères compétents des éventuelles applications particulières. Cette brochure se contentera de présenter les méthodes de mesure les plus répandues.

A travers la région européenne, différentes méthodologies de mesure acoustique sont disponibles pour évaluer la gêne. Dans certains pays, ces méthodologies sont incluses dans des recommandations : le plus souvent, elles font l'objet de réglementations spécifiques à un niveau national, régional, fédéral ou local.

On peut distinguer trois types de méthodologies :

1 - la méthode du zonage : différentes zones sont définies en fonction de leur utilisation actuelle ou à venir.

Le nombre de zones peut varier de 3 à 6 et des niveaux limites sont fixés pour les périodes diurnes et nocturnes. Quelques pays ajoutent en plus une valeur maximum à ne pas dépasser (L_{Amax}).

2 - la méthode de l'émergence : quelques pays ne divisent pas l'environnement en différentes zones mais prennent en compte l'impact acoustique d'une source particulière. De ce fait, la gêne est évaluée par la différence entre le niveau de bruit résiduel et le niveau de bruit ambiant. Généralement, des valeurs d'émergences différentes sont fixées pour les périodes diurnes et nocturnes.

3 - la méthode mixte : quelques pays ont défini des zones en fonction de leur utilisation et fixent une valeur d'émergence. Des niveaux limites et des valeurs d'émergences sont fixés pour les périodes diurnes et nocturnes.

Cependant, ces différentes méthodologies n'utilisent pas les mêmes horaires pour définir le jour et la nuit ou emploient des indices statistiques pour évaluer le bruit de fond (L_{90} par exemple)⁹.

La plupart des pays utilisent le même paramètre de base appelé niveau d'évaluation afin de quantifier le bruit produit par une source précise de bruit industriel. Ce niveau d'évaluation est le L_{Aeq} auquel on ajoute un terme correcteur en fonction de la tonalité, de l'impulsionnalité et dans certains cas de l'heure du jour.

Les méthodologies pour la mesure du bruit routier varient moins d'un pays à l'autre excepté les valeurs limites elles-mêmes. Les indices sont en train de s'harmoniser et la tendance est à l'utilisation des $L_{Aeq, jour}$, $L_{Aeq, soir}$ et $L_{Aeq, nuit}$ avec une même définition pour chaque période.

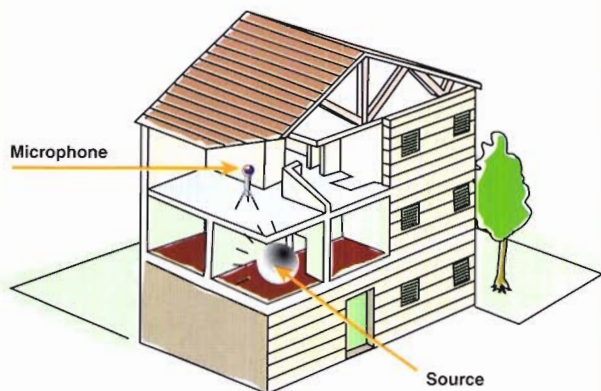
Choix des points de mesure

Le microphone du sonomètre étant omnidirectionnel (il mesure dans toutes les directions), son orientation n'est pas fondamentale. Toutefois, la présence d'un opérateur ou la proximité du sol peut modifier le

9. L_{90} : niveau atteint ou dépassé pendant 90% du temps.

À l'intérieur d'un habitat collectif

Tout endroit jugé représentatif

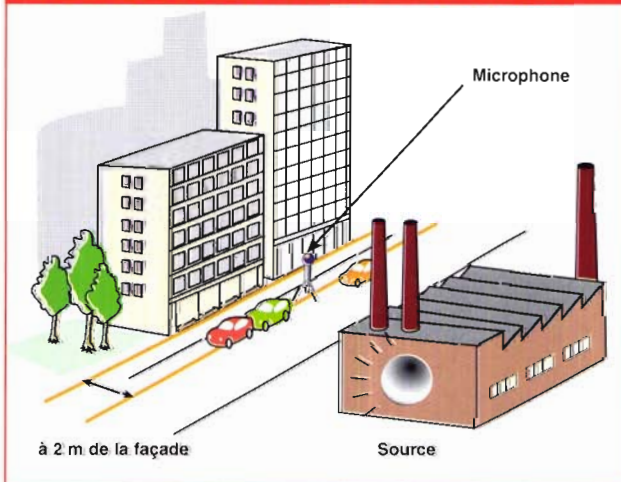


champ sonore. Le microphone devrait être placé sur un pied, dirigé vers la source (si celle-ci a été identifiée), à une distance de 1 mètre 50 du sol et de l'opérateur.

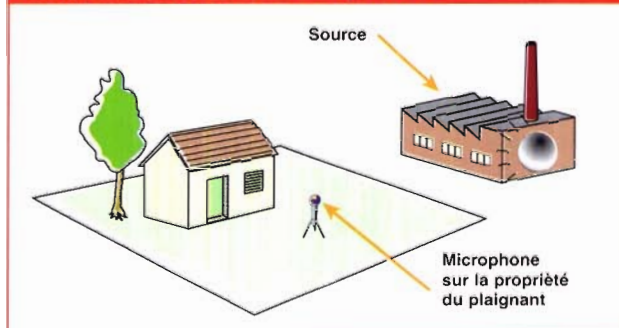
Si la source de bruit est extérieure, le point de mesure doit être choisi, pour l'habitat individuel, dans la propriété du plaignant, et en habitat collectif à deux mètres de la façade ou encore en tout point jugé représentatif pour l'étude initiale d'une situation.

Pour les mesures de bruits intérieurs pour des sources intérieures ou extérieures, plusieurs points de mesure peuvent être choisis pour évaluer un niveau moyen. Chaque point devra être situé à plus de deux mètres des murs.

Mesure à l'extérieur d'un habitat collectif



Source de bruit en champs libre



Si la source du bruit est à l'intérieur d'un bâtiment industriel et qu'il s'agit d'étudier un poste de travail en vue de prévenir la dégradation de l'audition d'un travailleur, l'appareil de mesure devra être miniaturisé pour être placé sur l'individu et à proximité de son oreille.

Matériels de mesure

L'appareillage de mesure acoustique type peut être soit un sonomètre, soit une chaîne de mesure informatisée.

La classe de précision

Les appareils sont différenciés selon leurs performances, notamment en terme de précision, en quatre classes :

- Classe 0 : appareil étalon de laboratoire ;
- Classe 1 : appareil d'expertise (mesures contractuelles) ;
- Classe 2 : appareil de contrôle (mesures non contractuelles) ;
- Classe 3 : appareil de diagnostic (mesures d'évaluation sommaire).

Les sonomètres doivent être vérifiés par un institut national de métrologie pour s'assurer de leur conformité aux normes avant leur utilisation pour des mesures réglementaires.

La calibration

Le sonomètre doit être calibré au début et à la fin de chaque acquisition de données. L'étalon appelé calibrateur acoustique génère un niveau de pression acous-

tique connu et maîtrisé (habituellement 94 décibels à 1000 Hz) qui permet à l'opérateur de régler son sonomètre ou sa chaîne de mesure par comparaison.

La dynamique

L'appareil doit disposer d'une dynamique de mesure d'au moins 60 décibels pour faire face à des écarts de niveaux sonores qui peuvent être importants en milieu extérieur (écart jour/nuit, variation due à la présence de sources intermittentes etc.). Des dyna-

miques supérieures peuvent être nécessaires pour des mesures de longues périodes.



Des microphones de grande qualité assurent une bonne stabilité pour des environnements variés.

La traçabilité

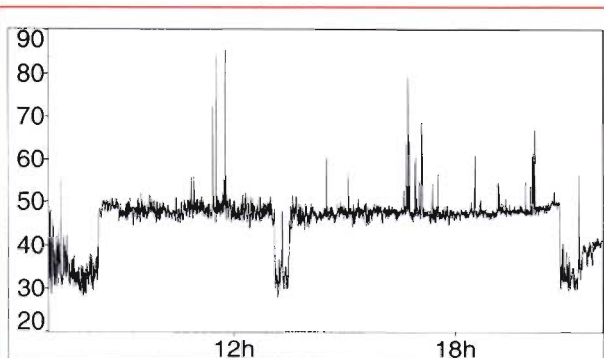
L'ensemble de la chaîne de mesure doit être vérifié régulièrement afin de s'assurer de la stabilité de ses performances. Par exemple, le microphone, pièce fondamentale de la chaîne, est extrêmement sensible à l'environnement. La façon dont il fonctionne varie selon la température et l'humidité ambiantes. Il faut donc être vigilant. De plus, les microphones se dégradent. Ils peuvent fournir des résultats plausibles mais, en fait erronés, d'où l'importance de la calibration.

Ainsi, certaines normes nationales exigent un historique des calibrations, effectuées régulièrement (tous les deux ans par exemple).

Acquisition des données acoustiques

Comme toute mesure, la mesure du phénomène acoustique n'a d'intérêt qu'en fonction du but recherché. Il est nécessaire de décrire la situation sonore de façon objective afin de la mettre en relation avec la réaction au bruit de la population concernée.

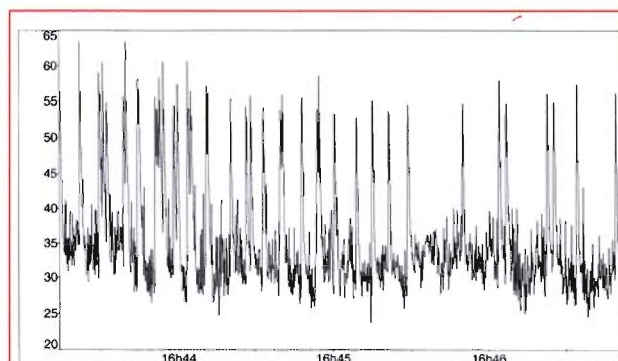
La plupart des sources de bruit ont des niveaux sonores qui varient dans le temps. On choisira la période d'échantillonnage la plus pertinente pour décrire le phénomène. En général, une durée de l'échantillon de



Ce graphique montre une mesure de 7h00 à 22h00 sur un échantillon de 1 seconde (bruit d'un pompage en rivière).

base d'une seconde (L_{eq} court = 1 seconde) est utilisée comme outil de travail pour permettre le tracé d'une évolution temporelle exploitable.

Cependant, certains pays utilisent un procédé d'acquisition sur la base d'un échantillonnage en mode Fast (constante en temps rapide).



Mesure d'un tir au pigeon d'argile à plus de 500m

Source : Dominique François, données personnelles

Il est important de pouvoir conserver et visualiser l'évolution temporelle du bruit sur l'ensemble de la période d'analyse afin d'observer l'histoire du bruit étudié et d'éviter, ainsi, des erreurs d'interprétation. C'est d'autant plus facile qu'il n'est plus un problème, à l'heure actuelle, de stocker dans une mémoire de dimension réduite un grand nombre d'informations et d'exploiter celles-ci sur un micro-ordinateur. La difficulté sera de recomposer judicieusement des L_{eq} entre eux pour obtenir une ou plusieurs valeurs moyennes représentatives de la situation considérée.

Durée de la mesure

Il est essentiel que la mesure acoustique considérée soit représentative de la situation étudiée. Cet objectif doit être une préoccupation permanente pour l'utilisateur et l'obliger à garder sans cesse à l'esprit quelques principes fondamentaux :

- Représenter une sensation humaine subjective ;
- Prendre en compte correctement la source de bruit désignée ;
- Mesurer sur une durée suffisante pour que le résultat soit représentatif.

Durée de la mesure

Les bruits très stables et bruits stables intermittents :

La durée de mesure peut être très courte (de l'ordre d'une minute)

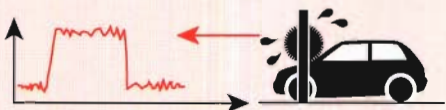
Par exemple : extracteurs d'air, moteurs, etc.



Les bruits périodiques :

La durée de mesure doit couvrir la durée d'apparition du signal pour chacun des événements

Par exemple : le bruit d'une station de lavage de véhicules sera caractérisé sur le cycle complet d'un lavage.



Les bruits fluctuants :

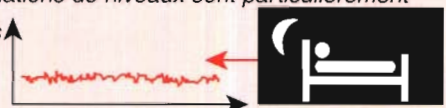
Si la durée d'apparition des bruits fluctuants est continue ou quasi continue et supérieure à une heure, la durée minimale de mesure doit être au moins d'une heure.

Par exemple : bruits industriels, routiers, discothèques, etc.



Le bruit ambiant :

La durée minimale de mesure pour l'évaluation d'un bruit ambiant devra être de plusieurs heures. Pendant la nuit, les variations de niveaux sont particulièrement importantes



Le niveau sonore moyen L_{eq} obtenu quel qu'il soit ne donne qu'une estimation de la situation et devrait être systématiquement associé à un intervalle de confiance. Il ne représente exactement que la période mesurée alors que l'on généralisera celle-ci.

La représentativité va dépendre également des moyens utilisés. Habituellement, les méthodologies de mesure recommandent des durées basées sur un macro-échantillonnage qui se transforment malheureusement souvent pour limiter les coûts, en micro-échantillonnage.

Le macro-échantillonnage préconise des mesures de 24 heures ou plus et cherche à être représentatif de l'année entière. C'est déjà une réduction considérable qui ne prend en compte ni les saisons, ni les changements météorologiques.

Le micro-échantillonnage se contente de mesurer le bruit sur un ou plusieurs cycles de fonctionnement et se limitera à une mesure s'étendant de quelques minutes à une ou deux heures. Ce type d'échantillonnage nécessitera de vérifier si les données représentent correctement la situation sonore étudiée. Il posera essentiellement le problème de la bonne évaluation du bruit ambiant résiduel.

L'interprétation de la mesure

Pour interpréter le résultat d'une mesure acoustique et lui donner une signification globale, on cherchera à le comparer à des valeurs de situations existantes. Le législateur en a extrait des valeurs à ne pas dépasser, valeurs qui sont toujours des compromis entre l'attente du plus grand nombre et les enjeux économiques induits. De ce fait, le respect des valeurs réglementaires ne garantit pas à l'utilisateur l'absence de nuisances mais simplement une situation "acceptable".

Pour la mesure des bruits extérieurs, on comparera le bruit ambiant global incluant la source de bruit désignée par les plaignants à une valeur limite selon la zone dans laquelle elle est mesurée (on est plus laxiste en zone industrielle qu'en zone résidentielle). Cette comparaison est souvent l'objet de contestations car

Attention à l'imprécision

Les incertitudes liées à la mesure sont nombreuses, notamment :

L'incertitude liée à la météorologie (pour les mesures extérieures) :

Les conditions météorologiques influent de manière très importante sur les résultats de la mesure. Il est même très difficile d'obtenir des conditions répétitives d'une situation. Les connaissances actuelles permettent de chiffrer les écarts et d'en comprendre les origines mais pas encore d'en maîtriser le résultat. Il est indispensable d'indiquer les conditions météorologiques existantes lors de la mesure acoustique dans le rapport de mesure. Pour atténuer les effets du vent, il est fortement recommandé d'utiliser des écrans.

L'incertitude liée à la saisonnalité et à la journée :

La saison et même le jour choisis pour la mesure peuvent influencer notablement le résultat. L'exemple de la présence ou de l'absence de grillons et de criquets pour évaluer le bruit ambiant résiduel d'une agréable soirée méridionale est bien connu. L'heure a également son importance. Ainsi, le bruit de la circulation varie considérablement entre l'heure de pointe d'un jour de semaine et un dimanche soir. De même, le bruit généré par une industrie peut baisser sensiblement en période de vacances.

L'incertitude liée à l'appareillage de mesure :

Compte tenu des exigences métrologiques imposées par les réglementations, l'usage d'un appareillage de classe 1 permettra de négliger cette source d'erreur. En effet, celle-ci devient très faible par rapport aux autres incertitudes.



Pour une mesure prolongée, un kit extérieur protégera le microphone ordinaire des effets du vent. On peut noter une différence de 10 dB entre un vent portant et un vent contraire.

L'incertitude liée au choix de l'emplacement

Il faut soigneusement sélectionner l'emplacement à partir duquel une mesure est effectuée, pour s'assurer de sa représentativité.

L'opérateur doit être conscient du manque d'homogénéité du champ acoustique. Les résultats varient ainsi d'un point à un autre, même à peu de distance d'un même point de mesure. La topographie du lieu (proximité d'un écran, zone d'ombre, source de bruit secondaire ou cachée, etc.) devra être prise en compte.

L'incertitude liée à d'autres sources

La mesure du niveau acoustique d'une source spécifique peut être affectée par le bruit provenant d'une autre source. De cette façon, le bruit d'une industrie peut se retrouver "pollué" par le bruit de la circulation à ses abords. Il faut donc s'assurer que les résultats ne sont pas influencés par ce bruit non désiré, soit en effectuant la mesure lorsque les sources non désirées arrêtent d'émettre du bruit (par exemple, la nuit) ou en mesurant très près de la source cible et en extrapolant les résultats pour refléter la situation au point de réception.

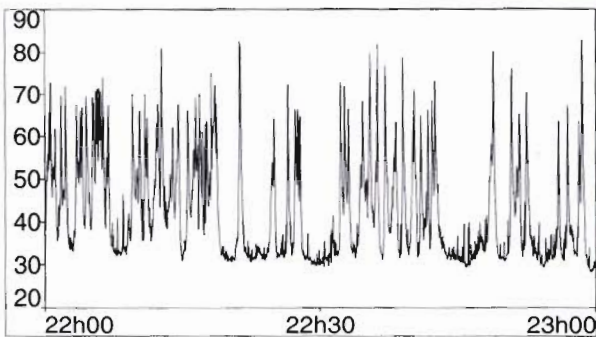
elle oblige l'opérateur à choisir entre une zone et une autre et, ainsi, influencer fortement l'interprétation (chaque quartier, chaque lopin de terre de la planète ne font pas encore l'objet d'une planification des sols, *a fortiori*, adaptée à l'environnement sonore). De plus en limite de zone, le choix reste entier.

La caractérisation du bruit ambiant résiduel

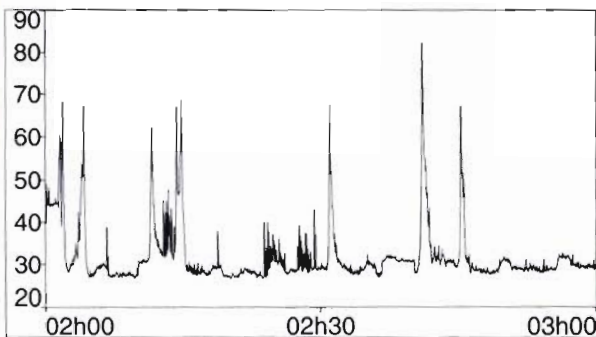
Chaque cas étudié présente un certain nombre de difficultés qu'un opérateur avisé devra prendre en compte. Quand on cherche à quantifier la différence entre la source de bruit désignée et le bruit ambiant résiduel, la mesure de ce dernier exige, encore plus que pour la

mesure de la source particulière, une approche pragmatique et rationnelle. Comment caractériser un bruit ambiant résiduel d'une période de nuit autrement que sur la période entière ?

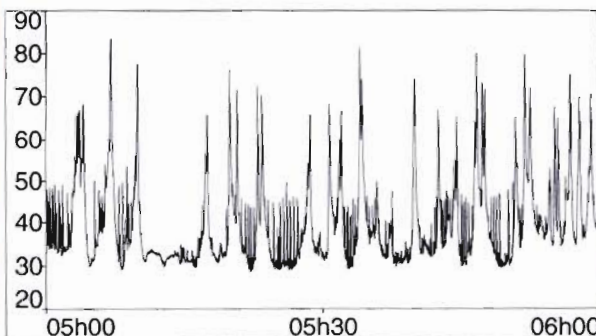
Si cela n'est pas possible, il est souhaitable de mesurer le bruit résiduel juste avant et juste après l'apparition des sources particulières afin d'en caractériser l'émergence intrinsèque. Pourtant, le bruit ambiant résiduel mesuré entre 2 heures et 3 heures du matin a, bien souvent, peu de rapport avec celui mesuré entre 22 heures et 23 heures ou encore celui entre 5 heures et 6 heures.



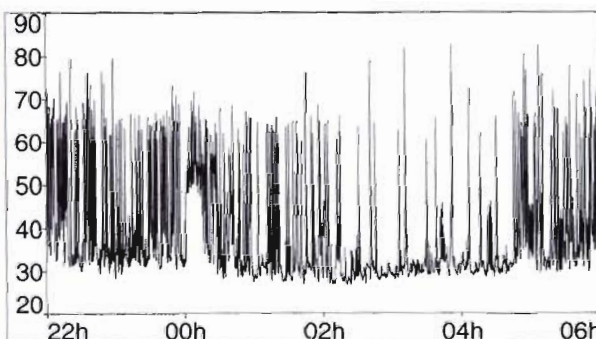
Période de 22h00 à 23h00 : $L_{Aeq, 1h} = 61,1 \text{ dB}$



Période de 2h00 à 3h00 : $L_{Aeq, 1h} = 52,4 \text{ dB}$



Période de 5h00 à 6h00 : $L_{Aeq, 1h} = 59,9 \text{ dB}$

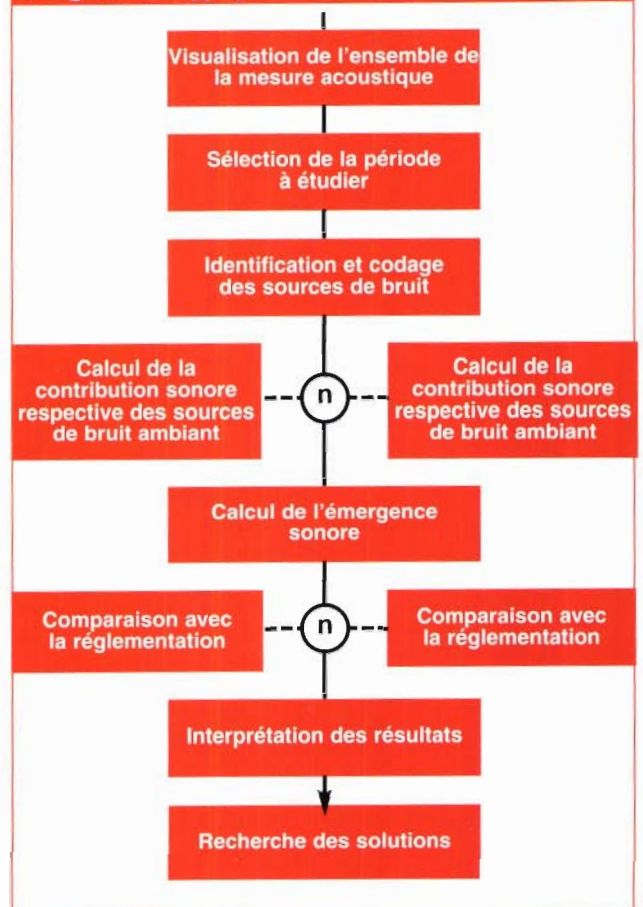


Période de 22h00 à 6h00 : $L_{Aeq, 8h} = 57,5 \text{ dB}$

Une durée de mesure sur une longue période donnera un niveau acoustique plus représentatif de la situation acoustique réelle.

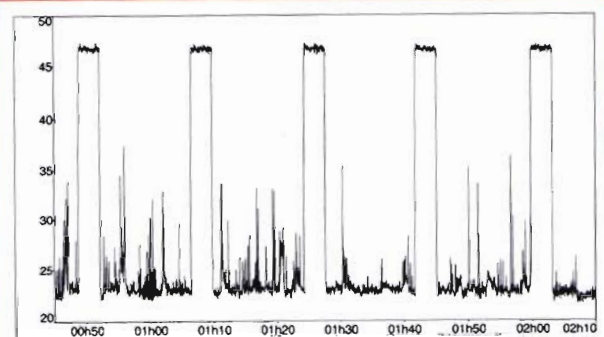
Source : Dominique François, données personnelles

Diagramme typique de traitement de données



Au cours d'une même nuit, le choix de la période de mesure est essentiel. Un des trois graphiques ci-contre montre qu'entre 2 et 3 heures, le niveau acoustique est à sa valeur minimale du fait de la faible activité humaine représentée principalement par le bruit de la circulation routière.

La mesure du bruit ambiant résiduel, plus que tout autre, milite pour une mesure "longue" du phénomène et devrait s'approcher de sa période de référence (par



Grappe montrant le niveau acoustique pour un compresseur à $L_{Aeq, 17 \text{ min}} = 46,4 \text{ dB}$ et le niveau résiduel ambiant à $L_{Aeq, 1h07 \text{ min}} = 23,6 \text{ dB}$

exemple de 22 heures à 6 heures, période habituellement retenue pour la période de nuit). Les résultats seront exploités à l'aide de logiciels de traitement des données qui imposent une suite d'étapes sur lesquelles s'appuie l'opérateur pour interpréter la situation. Ce processus peut être généralisé sachant que l'opérateur peut, à l'envie, "rejouer la partie" autant de fois que nécessaire.

Quelques mesures spécifiques

Le bruit des avions

La spécificité du bruit des avions, notamment des avions à réaction qui génèrent des fréquences élevées, a conduit les chercheurs et les législateurs à utiliser une unité différente pour le caractériser : le Perceived Noise Decibel noté PNdB.

Le calcul du PNdB est complexe, la pondération étant effectuée à la fois sur la fréquence et sur l'intensité. De plus, la gêne due aux avions n'est pas ressentie de la même façon par tous les individus.

Pour essayer de mesurer objectivement la gêne, il a été retenu un indice dit "indice psophique" noté IP qui est défini à partir du niveau sonore maximal exprimé en PNdB perçu lors du passage de chaque avion. Cet indice représente le cumul énergétique des bruits sur une journée moyenne, chaque mouvement de nuit étant compté six fois.



Chacun réagit différemment à la gêne provoquée par le bruit des avions.

Les exploitants ont calculé en différents points aux abords des aéroports les valeurs des indices psophiques et construit des courbes (isopsophiques) reliant les points de même valeur. Cela a permis de définir des zones de bruit fort et des zones de bruit modéré et d'établir les bases d'une négociation avec les riverains. Le dialogue a quelquefois été difficile de par la complexité des indices retenus (PNdB, IP) et par l'utilisation du côté des riverains de l'indice L_{eq} comme descripteur unique des bruits de l'environnement.

Compte tenu de la "libéralisation" du ciel et de l'explosion du trafic aérien, on constate une augmentation régulière du besoin de dialogue et de transparence entre les exploitants des aéroports et les riverains. Les aéroports se dotent de plus en plus de système de surveillance automatisée et continue des niveaux de bruits générés par les avions et donnent accès aux données exprimées en L_{eq} , ce qui facilite une meilleure compréhension.

Le bruit de la circulation routière

Le bruit généré par la circulation routière a toujours été considéré comme l'une des nuisances sonores les plus importantes. En fait, plus de 20% des habitants de l'Union Européenne sont soumis à des niveaux de bruit de trafic routier très importants.¹⁰

Compte tenu de l'augmentation constante du trafic et de sa densité en milieu urbain, les efforts déjà réalisés sur les véhicules par les constructeurs ne sont pas toujours perceptibles et nécessitent d'être prolongés.

La mesure des bruits émis par les véhicules routiers, comme pour la plupart des sources de transport, suit deux approches bien distinctes :

- La mesure visant à caractériser un véhicule donné. Il s'agit de relever le niveau sonore instantané maximum à 7 m 50, au droit du véhicule lancé à une vitesse de référence ;
- La mesure du trafic routier pour décrire le bruit supporté par une population donnée. Il s'agit de relever le niveau continu équivalent L_{eq} en dB(A) sur une

10. CEC (1996) Future Politique contre le Bruit. Livre Vert de la Commission Européenne. Journal Officiel de la Communauté Européenne (COM(96) 540 final).



La densité de circulation accrue en zone urbaine représente une gêne majeure.

période de référence donnée (par exemple $L_{Aeq, jour}$ et $L_{Aeq, nuit}$).

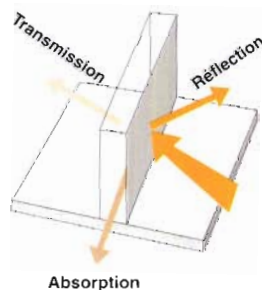
La mesure acoustique dans le bâtiment

Préambule

Un bâtiment étant un espace clos, la mesure acoustique devra tenir compte d'éléments supplémentaires dus à la complexité des phénomènes sonores.

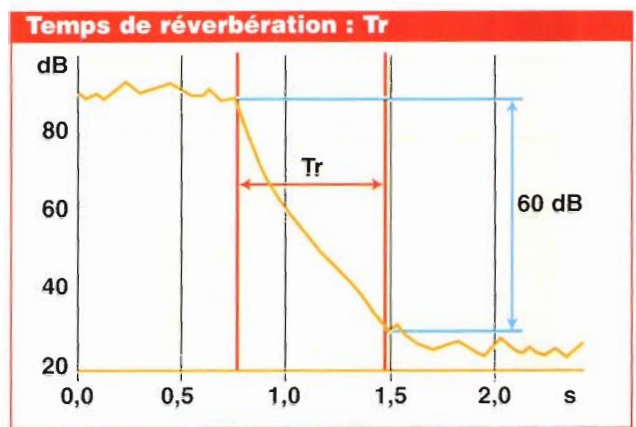
Principalement, le bâtiment est fait de parois et l'onde sonore qui rencontre une paroi voit son énergie :

- Partiellement absorbée
- Partiellement transmise
- Partiellement réfléchi



Le temps de réverbération

La durée de réverbération d'un local (Tr) est le temps que met un bruit pour décroître de 60 dB après arrêt de la source de bruit. On notera qu'une diminution de 60 dB correspond au millionième de l'énergie de départ.



Le Tr se situe habituellement entre 0,3 et 1,5 secondes. Il est exprimé par bande d'octaves.

Exemples :

• Chambre à coucher	Tr "moyen"	0,5 seconde
• Cantine scolaire (traitée)	Tr "moyen"	1,2 secondes
• Cantine scolaire (non traitée)	Tr "moyen"	3 secondes
• Église, mosquée	Tr "moyen"	3-10 secondes
• Chambre réverbérante en laboratoire	Tr "moyen"	6-25 secondes

La décroissance spatiale

La décroissance spatiale est utilisée pour mesurer les caractéristiques acoustiques de locaux fermés de grand volume (piscines, gymnases etc.) en mesurant la décroissance du bruit lorsqu'on s'éloigne d'une source de référence. On compare alors la décroissance mesurée à la décroissance qui serait relevée en champ libre¹¹ (en l'absence de parois). On en déduit ainsi l'amplification due au local étudié.

Une correction acoustique peut être calculée à partir de la mesure de la décroissance spatiale et ainsi créer, à l'intérieur du local, une ambiance acoustique optimale pour une bonne intelligibilité de la parole.

L'absorption d'une paroi

L'absorption d'une paroi est caractérisée par le coefficient d'absorption α (α = énergie absorbée / énergie incidente).

11. En champ libre, le niveau sonore décroît de 6 dB chaque fois que la distance par rapport à la source est doublée.

Exemple:

Si $\alpha = 0$ la surface n'est pas du tout absorbante

Si $\alpha = 1$ la surface est totalement absorbante

Le coefficient α est très utilisé pour décrire les différents matériaux utilisés dans le bâtiment et s'exprime en général entre 125 et 4000 Hz.

Un matériau absorbant, posé sans parement, augmente la partie absorbée et réduit la partie réfléchie du bruit dans le local où il est placé.

La transmission d'une paroi

La transmission d'une paroi est caractérisée par le facteur de transmission τ ($\tau = \text{énergie transmise} / \text{énergie incidente}$).

Afin de mesurer l'aptitude d'une paroi à transmettre ou plus souvent à isoler, on doit mesurer la différence entre le niveau d'intensité incidente et le niveau d'intensité transmise (en dB). Cette différence est appelée indice d'affaiblissement R (en dB).

L'indice d'affaiblissement acoustique R dépend essentiellement de la masse de la paroi, de sa rigidité et de son amortissement. Il caractérise la qualité acoustique d'un élément de construction (mur ou cloison, fenêtre, porte, etc.). Il est souvent mesuré en laboratoire pour s'affranchir des transmissions du bruit par les parois latérales. Cependant, du fait de la transmission latérale, l'indice d'affaiblissement mesuré en conditions réelles sera moins important que le résultat obtenu. Il est souvent utile de connaître les effets réels de la construction dans son ensemble. C'est pourquoi les mesures de l'indice d'affaiblissement sont souvent effectuées *in situ*.

On notera que le facteur de transmission τ doit être très petit pour que le matériau soit considéré comme isolant. Par exemple, pour que le matériau "isole" de 30 dB, il faut que $\tau = 0,001$ c'est-à-dire que seulement 1/1000^{ème} de l'énergie soit transmise. C'est pourquoi il est si difficile d'obtenir des résultats performants en terme d'isolement ; le moindre défaut d'étanchéité ou le moindre pont phonique et on "habite chez le voisin".

L'isolement entre deux locaux

L'isolement brut

Quand on considère deux locaux (ou un local et l'extérieur), on cherche à connaître le niveau de bruit transmis afin d'évaluer la sensation d'isolement ressentie par l'occupant. Pour cela, on calcule la différence entre le niveau de pression acoustique existant dans le local d'émission et le niveau de pression acoustique résiduel dans le local de réception.

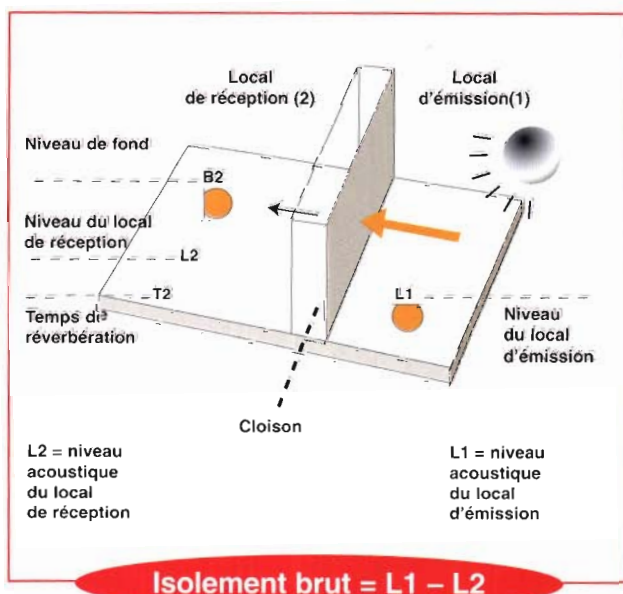
Matériaux	Indice d'affaiblissement R
Carreau de plâtre de 6 cm	30 dB
Brique pleine de 5 cm	35 dB
Béton de 16 cm	52 dB

L'isolement normalisé

Les parois du local sont plus ou moins réfléchissantes selon qu'elles sont dotées de matériaux plus ou moins absorbants (moquette, rideaux, lit, etc.), une partie de l'énergie transmise sera transformée en chaleur et diminuera le niveau sonore.

Afin d'effectuer des mesures représentatives, il faut s'affranchir des éléments extérieurs qui sont différents pour chaque situation.

Ainsi, quand l'émission du bruit cesse, on constate que le bruit se réfléchit sur les parois pendant un certain temps. Cette réverbération dépend du volume du



local, de la texture des parois et des objets présents. Elle est particulièrement importante dans des locaux aux parois réfléchissantes (par exemple, dans une piscine).

L'isolement normalisé entre deux locaux est égal à l'isolement brut corrigé de la durée de réverbération du local de réception.

L'isolement entre deux locaux dépend de nombreux critères :

- **La surface séparative** : Si la surface commune entre les deux locaux est divisée par 2, l'isolement est amélioré de 2 à 3 dB(A) ;
- **Le volume du local de réception** : Si celui-ci est doublé, l'isolement est amélioré de 2 à 3 dB(A). En revanche, si l'on augmente le volume du local d'émission, on ne modifie pas l'isolement ;
- **Les transmissions latérales** : Si l'isolement mécanique d'une pièce peut être amélioré, les transmissions latérales seront de ce fait réduites et l'isolement acoustique global augmenté.

Les outils de la mesure acoustique

L'évolution de l'instrumentation

La mesure acoustique a beaucoup évolué pour répondre à la complexité des situations qu'elle doit appréhender et grâce à l'utilisation de technologies sans cesse plus performantes. À l'exception des phénomènes stationnaires souvent créés par les sources acoustiques contrôlées (compresseurs, extracteurs d'air etc.), la situation sonore est rarement stable et nécessite une investigation longue et attentive. L'instrumentation a suivi l'évolution des techniques et permet aujourd'hui de répondre aux besoins exprimés. Qu'elle soit simple ou plus élaborée, la métrologie s'est adaptée pour permettre à l'acousticien de décrire le plus objectivement possible un environnement sonore donné.

En moins de deux décennies, l'instrumentation acoustique s'est radicalement transformée et a connu une évolution sans précédent. Elle est passée d'une ins-

trumentation dédiée, analogique, électrique et mécanique à une instrumentation numérique multitâches faisant appel à des circuits électroniques de plus en plus miniaturisés. Cependant, tous les instruments utilisés pour les mesures acoustiques dans l'environnement, qu'ils soient spécifiques ou utilisant un micro-ordinateur sont classifiés en tant que sonomètres par les normes internationales.

La transformation radicale de la métrologie acoustique provient de la prise en compte de la durée comme une variable très importante de l'impact des phénomènes sonores. Ces différents progrès dans les concepts ont été ponctués par quatre grandes générations de sonomètres :

- Les sonomètres classiques (années 50)
- Les sonomètres intégrateurs (années 70)
- Les sonomètres intégrateurs à mémoire (années 80)
- Les micro-ordinateurs sonomètres (années 90)

Première génération : sonomètre classique

La première génération de sonomètre a été bâtie pour modéliser le comportement de la fonction auditive dans l'écoute des sons purs. Son unique application consistait à analyser des phénomènes stationnaires (bruits stables).

Cette génération utilisait, comme indicateur, un galvanomètre doté d'une aiguille trop fugitive pour être exploitable. On a d'abord tenté de ralentir son déplacement en l'amortissant (constante de temps lente) sans obtenir de résultats significatifs sur de longues périodes. Puis, pour pouvoir exploiter ce résultat de retour au bureau, on a utilisé l'enregistrement graphique. Ceci a conduit à de grandes longueurs de papier pour une information qui était encore difficilement exploitable.

Le sonomètre de base indique un niveau sonore instantané avec une précision de l'ordre du décibel. Cet appareil a pour objectif de fournir une évaluation sommaire de la situation sonore et devrait, à ce titre, porter le nom d'indicateur de bruit.

Ce dernier a le mérite d'être proposé à des prix attrac-



L'un des premiers sonomètres manuels

tifs (de 100 à 500 €) mais présente un défaut important : il ne permet réellement que la mesure des bruits stables et continus.

Afin de mesurer les bruits fluctuants, il doit être doté de la fonction intégrateur L_{eq} .

Deuxième génération : sonomètre intégrateur

Dans la majorité des situations mettant en cause des sources de bruits "naturelles" – activités industrielles, circulation de véhicules, actes de vie courante – les phénomènes acoustiques évoluent dans le temps.

Pour éviter que l'évaluation ne soit représentative que du court instant de l'observation du phénomène (quelques secondes à quelques minutes), il a été nécessaire de prolonger la mesure tout en limitant la quantité de données.

On a réduit la quantité d'informations par le calcul du niveau sonore moyen L_{eq} .

Un sonomètre exprimant des résultats sous forme de L_{eq} est appelé sonomètre intégrateur.

La mesure permet, dans ce cas, d'obtenir une valeur unique repré-

sentative de la situation, cette valeur pouvant être comparée à celle recueillie dans une autre situation ou à une valeur de référence. Selon le domaine étudié et selon le contexte, la connaissance de la précision et des incertitudes de mesure sera nécessaire et devra être adaptée aux enjeux.

Il est important que le résultat censé illustrer un environnement sonore soit représentatif de celui-ci et des activités qui y ont lieu. On a vu précédemment l'importance des précautions à prendre dans chacune des conditions particulières de mesure.

Dans son domaine d'application, le sonomètre intégrateur va fonctionner seul pendant des durées importantes et doit être à même d'accepter sans réglage les évolutions du phénomène. On utilise, pour cela, des appareils présentant des dynamiques de mesure importantes de 60, 80 voire 100 dB.

Son prix dépend de sa classe de précision et s'échelonne entre 1000 € (classe 2) et 2000 € (classe 1).

Troisième génération : Sonomètre intégrateur à mémoire

Le sonomètre intégrateur doté d'une capacité mémoire est appelé sonomètre intégrateur à mémoire. Il présente l'énorme avantage de

mémoriser l'histoire tempo-

relle des bruits, d'effectuer un enregistrement des niveaux

de bruit seconde par seconde sur plusieurs jours et de laisser la possi-

bilité à l'opérateur, à l'aide de logiciels de traitement, d'identifier les sources de bruits et d'en quantifier leur contribution respective. Le prix se situe entre 3 000 €

(classe 2, logiciels inclus)

et 6 000 € (classe 1, logiciels inclus).

Quatrième génération : Micro-ordinateur sonomètre

Ces dernières années, l'apport du traitement du signal intégré dans la micro-informatique a permis d'ajouter, dans la conception des appareils, des avantages décisifs. La micro-informatique permet de numériser les valeurs instantanées, de les mémoriser et de les traiter par des moyens de calculs puissants. A partir de l'acquisition du signal brut, il appartient à l'utilisateur de développer ou d'utiliser des programmes qui réalisent des traitements automatisés en vue d'obtenir des résultats adaptés à chaque application. Cette technique a été développée pour les sonomètres dédiés et les micro-ordinateurs sonomètres leur permettant de réaliser des analyses fréquentielles en temps réel, des temps de réverbération ou l'acquisition de données spécifiques.

Un autre intérêt réside dans la capacité des micro-ordinateurs à remplir en même temps différentes fonctions. Ainsi, on a pu constater depuis plusieurs années les avantages que procure le fait d'avoir à la fois un enregistreur et un sonomètre dans, par exemple, le traitement d'une plainte.

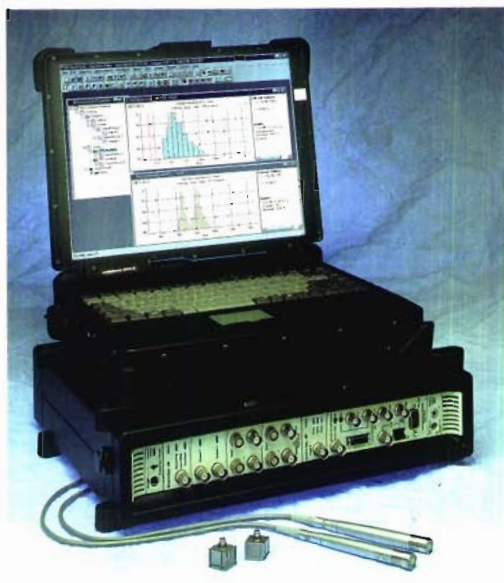


L'un des premiers sonomètres intégrateurs



Sonomètres intégrateurs à mémoire

La mémorisation d'un signal numérique a permis également de remplacer les magnétophones classiques en augmentant considérablement leur dynamique de mesure, leur durée d'enregistrement et en diminuant leur durée de dépouillement. Plus généralement, le confort, le gain de temps et la rapidité d'accès à l'information, présenté par le stockage numérique ont changé insidieusement mais efficacement bien des habitudes de mesure.



Micro-ordinateur sonomètre

lyses plus sophistiquées, certains analyseurs fournissent également une analyse en bande fine (par exemple : par bande de fréquence Hertz par Hertz). Les prix des analyseurs ont beaucoup baissé depuis une dizaine d'années grâce à la vulgarisation des microprocesseurs et des techniques numériques. Leurs prix se situent aujourd'hui entre 4 000 et 12 000 €.

L'apport du logiciel comme outil de mesure

Aujourd'hui, pour décrire un environnement sonore, on n'hésite pas à faire appel à une mesure d'une durée de 24h. Le résultat obtenu est plus représentatif que celui que l'on obtenait par le passé en effectuant une mesure que la technologie du moment limitait dans le temps. Par ailleurs, le rythme de 24h est bien celui qui dicte nos activités et notre vie.

Ces instruments ont l'avantage d'être polyvalents et évolutifs. Les prix des systèmes portables sur PC se situent entre 7 000 € et 12 000 €. En version système de surveillance de longue durée, ces instruments bénéficient des techniques modernes de la télécommunication et des moyens internet pour permettre la surveillance intelligente et continue d'un site. Les prix sont alors de l'ordre de 7 000 € à 20 000 €.

L'analyseur fréquentiel

L'analyseur fréquentiel fournit une décomposition en fréquences du signal acoustique étudié. Cette décomposition est le plus souvent exprimée en bandes de tiers d'octaves et en bandes d'octaves. Pour des ana-

La compacité de la micro-informatique a permis de regrouper et d'optimiser les différentes étapes de la mesure au niveau de l'acquisition des données et de leurs traitements.

Le micro-ordinateur fonctionne grâce à des logiciels qui sont maintenant omniprésents dans les processus

de mesure. Ils sont invisibles pour l'opérateur dans la gestion des appareils dédiés ou plus apparents dans le traitement des données.

Les logiciels se répartissent en trois grandes familles :

- Les logiciels d'acquisition ;
- Les logiciels de traitement ;
- Les logiciels d'édition (outils bureautiques).



Micro-ordinateur sonomètre

Par définition, le logiciel est adaptable au besoin et est évolutif. Par exemple, il peut guider l'opérateur dans la mise en œuvre d'une méthode de mesure respectant l'application d'une norme.

Il pose à l'opérateur les questions lui permettant d'éviter des omissions ou des erreurs d'interprétation. Très rapidement, en s'appuyant sur les outils de traitement de texte, ces logiciels ont aussi facilité la rédaction de rapports en diminuant la durée de travail.

L'appareil des temps modernes devient un super ordinateur doté de capteurs et de boîtiers de conditionnement du signal qui permettent d'accéder, en temps réel et simplement, à l'information temporelle (sonomètre), fréquentielle (analyseur) et audio (magnétophone). Il constitue la base de ce que l'on appelle l'instrumentation virtuelle.

Les outils de l'an 2000 : l'instrumentation virtuelle

L'évolution fulgurante des technologies informatiques impose, aujourd'hui, de remplacer les instruments de mesures traditionnels par des systèmes construits autour d'un PC. Présentant de nombreux avantages et des fonctionnalités supérieures pour l'utilisateur, un tel concept est considéré comme une véritable alternative à l'instrumentation dédiée.

Grâce à une augmentation de la puissance de calcul, les ordinateurs mesurent non seulement les données mais également les analysent. Pour développer un instrument virtuel, l'approche est la même que celle utilisée pour les appareils dédiés tel que les sonomètres, les magnétophones ou les analyseurs fréquents multi-voies.

Les constituants principaux sont les suivants :

- **Un capteur** qui transforme une grandeur physique (une variation très rapide de la pression atmosphérique) en une grandeur électrique (microphone) ;
- **Un conditionneur** qui amplifie et adapte le signal électrique pour son analyse. Les unités de conditionnement doivent être alimentées par une source d'énergie électrique (préamplificateur) ;
- **Une plate-forme d'acquisition ou unité de traitement du signal numérique** qui permet d'effectuer les mesures proprement dites (cartes électroniques) ;
- **Un ordinateur**, qui fournira, à la fois la visualisation des résultats, les calculs d'analyse et l'archivage des données jugées pertinentes (PC) ;
- **Des logiciels** d'application qui définiront le type de mesure effectué et l'exploiteront spécifiquement en fonction du domaine étudié.

Le véritable avantage de l'instrument virtuel repose essentiellement sur la souplesse logicielle qui permet, par exemple, de choisir de faire fonctionner le système simultanément comme un sonomètre, un magnétophone et un analyseur fréquentiel.

Chaque situation requiert cependant une instrumentation spécifique adaptée aux problèmes rencontrés. Le choix entre un micro-ordinateur sonomètre ou un sonomètre intégrateur à mémoire est fonction de la maniabilité, de l'accès à l'électricité ou de la consommation de piles ou de l'adaptabilité du matériel à un environnement hostile.

Enfin, la modularité de la chaîne de mesure permet à l'utilisateur de bénéficier d'un choix très large. Certains préféreront des processeurs très rapides, d'autres des disques durs de très grande taille pour installer, par exemple, des logiciels de modélisation et de prévision. Les frontières entre la mesure et la modélisation, le monde du réel et le monde du virtuel, vont peu à peu s'estomper.

La mesure, en cherchant à modéliser la perception humaine, s'appuie de plus en plus sur l'intelligence artificielle qui, couplée à la modélisation, permettra d'accéder à un monde virtuel, son et image en trois dimensions. On se promènera dans une ville avec la possibilité d'écouter et de modifier les paysages sonores pour les améliorer selon les situations et les objectifs fixés.

Le contrat de maintenance

Les constructeurs offrent habituellement à leurs clients la possibilité de souscrire un contrat de maintenance à expiration de la période de garantie de leurs appareils de mesure.

Ce contrat contient également les prestations suivantes :

- Réparation pièces et main d'œuvre de l'appareillage ;
- Étalonnage et certification annuelles des appareils de mesure ;
- Assistance téléphonique (hot-line) en cas de besoin ;

- Mise à jour annuelle des logiciels ;
- Journées de formation et d'informations ;
- Les coordonnées du lieu de facturation du client.

Il est souvent très utile de souscrire un tel contrat. Celui-ci garantit à l'utilisateur que son appareil, très souvent coûteux, sera toujours en bon ordre de marche et que les logiciels seront mis à jour. Enfin, dans de nombreux pays, cette maintenance facilitera l'obtention de la certification légale de l'équipement.

Qui mesure ?

Même s'il n'existe pas encore de filières traditionnelles dédiées à l'enseignement de l'acoustique, l'enseignement de ses bases fait l'objet de nombreuses spécialisations en fin de cursus.

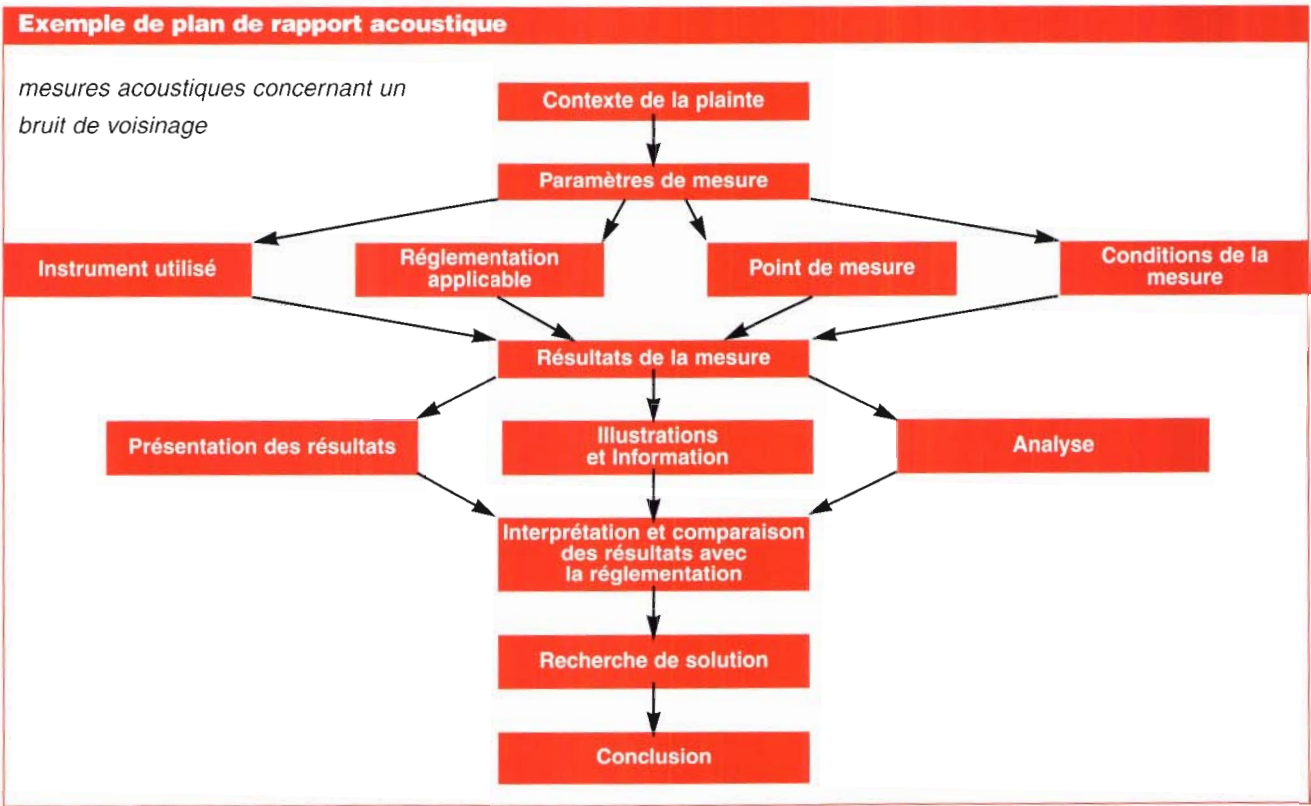
Soit au niveau du technicien, soit au niveau de l'ingénieur, on trouvera un enseignement de l'acoustique dans les filières sciences physiques, électronique, traitement du signal et mécanique. L'enseignement de

l'acoustique, sous des formes souvent plus appliquées, est également présent dans les filières du bâtiment ou de l'hygiène de l'environnement et de la sécurité et dans certains pays, ces formations sont indispensables pour pouvoir effectuer des mesures dans le cadre réglementaire.

Les collectivités locales doivent s'assurer que les services de police sous leur autorité bénéficient de la formation nécessaire pour vérifier la bonne application de la loi.

Dans le domaine privé, des bureaux de contrôle, des centres techniques ou encore des ingénieurs conseils effectueront des mesures et éventuellement des recherches de solutions pour améliorer les situations existantes.

Les contentieux qui se traitent au tribunal verront la nomination d'experts judiciaires en acoustique qui fournissent aux magistrats un avis technique impartial.



La mesure et la prévision

Dans l'environnement

La puissance de calcul apportée par la micro-informatique a fait progresser la qualité de la mesure et a rendu plus accessible la modélisation acoustique.

La maîtrise d'un champ sonore reste un exercice difficile (sources de bruit nombreuses et évolutives, topographie, effets météorologiques, influence du bâti, etc.) mais les logiciels de prévision acoustique offrent, aujourd'hui, des fonctionnalités attractives et complémentaires. La mesure fournit une information ponctuelle. La prévision permet d'extrapoler et d'accéder à une information spatiale en trois dimensions. Il est théoriquement possible d'établir la cartographie sonore d'un site et d'évaluer les niveaux sonores moyens en tout point. La mesure reste indispensable pour vérifier la pertinence des modèles de calcul et pour accéder à une connaissance plus fine telle que la différenciation des sources sonores entre elles.

Les applications sont nombreuses où le couple mesure/prévision devient indissociable. Le gestionnaire d'une collectivité ou l'aménageur d'un territoire peut, utilisant à bon escient les deux outils, améliorer la qualité de vie dans un espace donné. La mesure le renseignera sur le type de sources en présence et sur les excès de comportement, la prévision lui donnera une vision plus globale sur laquelle il pourra tenter d'intervenir en modifiant certains paramètres.

La mise en place d'un plan de circulation, l'utilisation de feux de signalisation automatisés, la réhabilitation d'un quartier en utilisant des espaces "tampons" entre les sources bruyantes et des espaces protégés sont autant d'exemples sur lesquels il sera possible d'agir. L'ingénieur acousticien utilisera, quant à lui, le modèle de prévision pour connaître, avant réalisation, les effets d'éventuels travaux ou solutions qu'il propose.

L'informatique a remplacé définitivement la maquette (modèle réduit) en offrant un avantage incomparable : la possibilité de modifier, à volonté, les paramètres et de "rejouer la partie" autant de fois que nécessaire.



un exemple de prédiction de bruit ambiant.

Avec l'aide de ces nouveaux outils, il sera désormais possible de calculer et d'optimiser tant l'impact acoustique d'un simple mur anti-bruit que ceux des projets les plus sophistiqués. La cartographie commence également à intégrer des données qualitatives comme les types de sources, les occurrences, la périodicité et les conditions de réception.

D'un simple instantané d'une situation, la cartographie de bruit est devenue un outil qui peut aider efficacement les décideurs locaux pour les plans d'urbanisme.

Dans le bâtiment

Il existe de très nombreux logiciels permettant de calculer et de prévoir les niveaux sonores dans un local. Ces logiciels peuvent être classés en plusieurs familles :

- Les logiciels de prévision de l'acoustique de locaux industriels ;
- Les logiciels de prévision de l'acoustique des salles de spectacle ;
- Les logiciels de prévision des isollements et du comportement des parois.

Ces différents outils offrent aux acteurs de la construction et de la réhabilitation des bâtiments (maître d'ouvrage, architectes, ingénieurs conseils etc.) des moyens nombreux et efficaces d'optimisation dans les choix de conception et d'adaptation.

Les banques de données des matériaux existants sur le marché sont intégrées dans certains logiciels et permettent d'effectuer des simulations pour choisir le produit le mieux adapté à la situation étudiée.

Recommandation 1



Les collectivités locales devraient encourager la formation d'agents aux techniques de la mesure acoustique afin de disposer d'une connaissance fiable de l'environnement sonore.

Recommandation 3



Les collectivités locales doivent considérer la mesure acoustique comme une aide objective dans le cadre de l'évaluation d'une gêne exprimée de manière individuelle ou collective, mais sûrement pas comme l'outil universel qui résoudra tous les problèmes liés au bruit.

Recommandation 2



Les collectivités locales devraient utiliser leur connaissance de l'environnement sonore pour avoir des actions de communication à l'intention de la population en vue d'améliorer la qualité de leur environnement.

Références utiles

CEC (1996). *Future Noise Policy*. European Commission *Green Paper*, Journal Officiel de la Communauté Européenne (COM(96) 540 final).

Environmental Noise, Brüel & Kjær, 2000.

Gualezzi, J-P. *Le bruit dans la ville*, Rapport du conseil économique et social, Les éditions du Journal Officiel, France, 1998.

Hassal, J-R & Zaveri, K. *Acoustic noise measurements*, Brüel & Kjær, 1979.

Jost & Auffret, *Initiation à l'acoustique*, CIDB, France.

Komorn, A. & Luquet, P. *Méthode de description objective d'un environnement acoustique*. Rapport CEE Laboratoire National d'Essais, avril 1979.

Luquet, P. *Application du L_{eq} court à la surveillance acoustique d'un site*. Laboratoire National d'Essais, France, décembre 1980.

Luquet, P. & Rozwadowski, A. *PC Based integrated acquisition and data processing system*. Conférence Internoise, 1988.

Meisser, M. *L'acoustique du bâtiment par l'exemple*, Éd. du Moniteur, Paris, 1983.

But européen 13 de la Santé 21

Cadres favorables à la santé : D'ici 2015, les habitants de la Région devraient avoir des possibilités accrues de vivre dans un cadre physique et social favorable à la santé, chez eux, à l'école, sur leur lieu de travail et dans leur localité.

Acoustic measurement

(Local authorities, health and environment briefing pamphlet series; 37)

1.Acoustics 2.Noise - adverse effects 3.Environmental Monitoring - methods

4.Environmental exposure

© Organisation mondiale de la santé 2000

Le présent document a initialement été rédigé en anglais pour le Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, en 2000, et portait le titre "Acoustic measurement" (n°37 dans la collection de brochures Collectivités locales, environnement et santé). Tous les droits sur ce document sont réservés par le Bureau régional de l'OMS pour l'Europe. Ce document peut néanmoins être résumé ou faire l'objet d'un compte rendu, à la seule condition que la source soit indiquée. Le Bureau régional est favorable à la traduction de ce document à partir de la langue de l'original, mais son autorisation préalable doit lui être demandée. En conséquence, toute personne ou institution qui souhaite produire une version traduite de ce document doit d'abord prendre contact avec le Bureau régional de l'OMS pour l'Europe, Scherfigsvej 8, DK-2100 Copenhague Ø, Danemark, en vue d'une discussion sur un tel projet. Les opinions exprimées par des auteurs nommément désignés n'engagent que ces derniers. Le traducteur de ce document est seul responsable de la fidélité de la traduction.

CD-ROM : *L'enseignement de l'Acoustique par l'Ordinateur*, Médiacoustic (01dB – Acouphen et autres)

CD-ROM : *FormatBruit - des images pour en parler*, Réseau d'Échanges en Acoustique, France, 2000.

Remerciements

Le Bureau Régional de l'Europe de l'Organisation Mondiale de la Santé remercie :

M. G. Amadasi (01dB Italie), M. C. Azaïs (Université Paul Sabatier, Toulouse, France), M. J. Beaumont (INRETS, Lyon, France), M. D. Manvell (Brüel & Kjær, Nærum, Danemark), M. G. Delisse (IGBE, Bruxelles, Belgique), Mme T. Fajardo (DDASS de la Lozère, France), M. F. Frionnet (DDASS de la Meuse, France), M. C. Grimwood (BRE, Royaume-Uni), Dr V. Irmer (Umwelt-BundesAmt, Berlin, Allemagne), Dr H. Ising (Umwelt-BundesAmt, Berlin, Allemagne), Mr G. Jukes (CIEH, Royaume-Uni), Dr E. Maciunas (Ministère de la santé, Lituanie), Dr H. Müller (Allemagne), Pr G. Raw (BRE, Royaume-Uni), le Réseau d'Échanges en Acoustique, France, pour la révision scientifique de ce document et le Ministère Français de la Santé pour la mise à disposition de M. Dominique François chargé de coordonner la publication de la série de brochures sur le bruit.

Roger Laüt a dessiné l'image reproduite sur la couverture

Mise en page : Pierre Finot

Crédits photos

Brüel & Kjær, Danemark (pp. b12, b18H, b19H, b22), 01dB, France (pp. b2, b10, b18B, b19B), CIDB, J.-L. Fernandez, France (p. b14), CIDB, France (p. b15).

Listes des brochures - état actuel - janvier 2001

Air

- Air et santé
- La qualité de l'air à l'intérieur des locaux
- La pollution atmosphérique par l'industrie
- La pollution atmosphérique par la circulation
- La pollution atmosphérique due aux déchets et aux solvants
- La pollution de l'air et la production d'énergie
- L'asthme, allergies respiratoires et environnement
- L'air et les problèmes globaux

Eau

- Eau et santé
- Le suivi de la qualité de l'eau
- Le plomb dans l'eau
- Les pesticides dans l'eau
- Les nitrates
- L'eutrophisation
- La protection des captages
- La désinfection de l'eau
- Traitements I
- Traitements II
- Fuites et compteurs
- La sécurité de la distribution d'eau
- Les eaux pluviales
- L'assainissement autonome
- Stations d'épuration des eaux usées
- Entretien et gestion des réseaux d'égout
- Les eaux de loisirs

Hygiène

- Les rongeurs
- Les moustiques
- Les oiseaux dans la ville
- Les animaux familiers
- Les cafards
- La propreté dans la ville

Déchets

- Déchets et santé
- Les décharges
- L'incinération des déchets
- Traitement biologique des déchets
- La collecte des déchets
- Les déchets d'activités de soins
- Recyclage des déchets
- La réduction de la production de déchets
- Les déchets toxiques dans les villes

Urbanisme

- Urbanisme et santé
- Sols contaminés
- Urbanisme et aspects socio-culturels
- Les réseaux urbains
- La ville du futur
- Transports et circulation
- Indicateurs urbains
- Les outils de l'urbaniste
- Administration et gestion
- Les équipements de proximité
- La ville à pied et à vélo
- Ville verte, ville bleue

Bruit

- Bruit et santé
- La mesure acoustique
- Bruit et musique
- Bruit à l'école
- Bruit et transports
- Bruit et loisirs
- L'isolation acoustique
- Le traitement de la plainte
- Le maire producteur de bruit
- Un environnement sonore sain

Accidents

- Stratégie locale pour la prévention des accidents
- Prévenir les accidents des enfants
- Les accidents des personnes âgées
- La sécurité des habitations
- La sécurité routière
- Prévention des incendies
- Prévention des noyades
- Les aires de jeux et loisirs
- La sécurité dans les garderies et les écoles

Habitat

- Le "sick building syndrome"
- La cuisine
- L'amiante et l'habitat
- L'habitat et l'énergie
- Humidité et moisissures

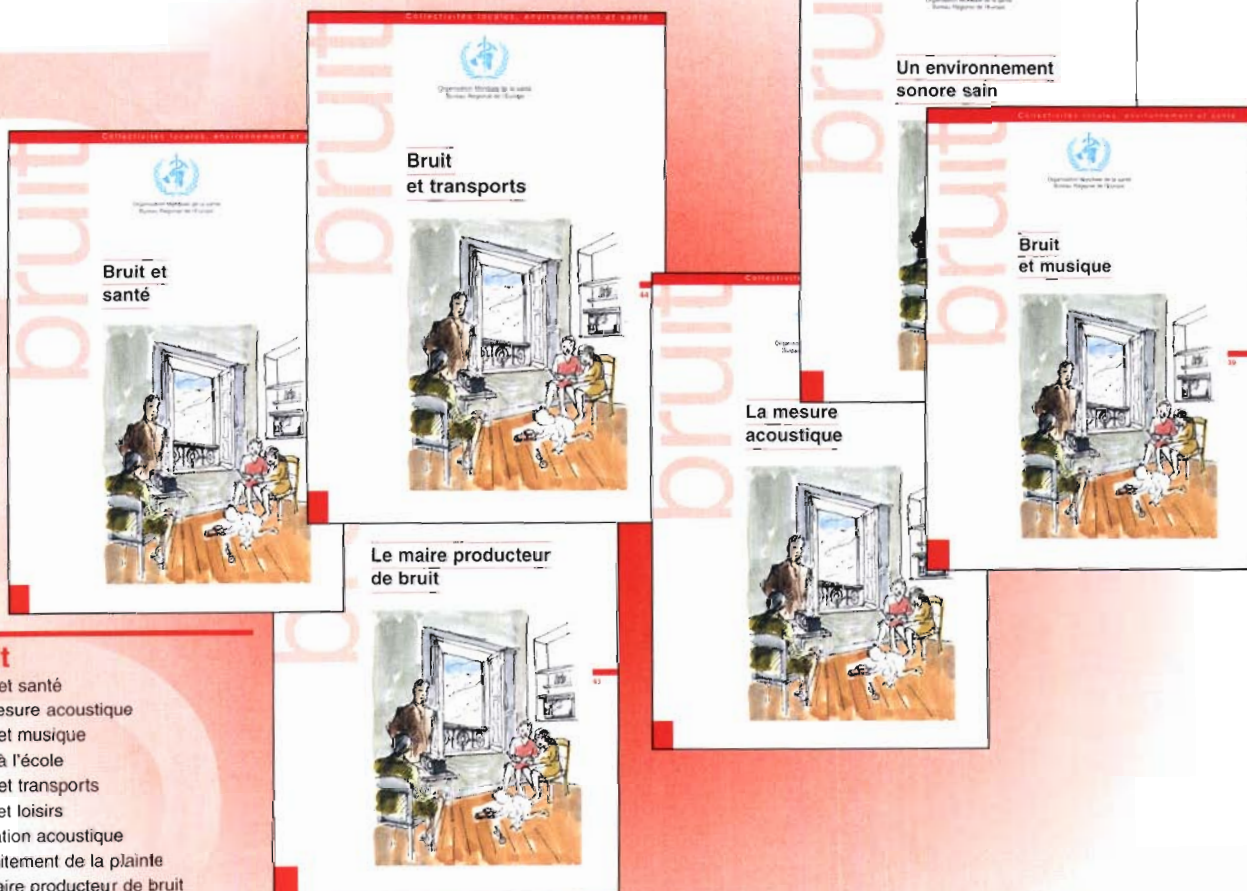
Rayonnement

- Le radon
- Les rayons ultra-violet
- Avant, pendant et après un accident nucléaire
- Les déchets radioactifs
- Les champs électromagnétiques

Toxicologie

- Le plomb et la santé
- Les allergies et l'environnement
- Les intoxications oxycarbonées
- Les pesticides et la santé
- Le mercure et la santé
- L'amiante et la santé
- Les intolérances alimentaires

La série du bruit : titres disponibles ou en préparation



Bruit

- Bruit et santé
- La mesure acoustique
- Bruit et musique
- Bruit à l'école
- Bruit et transports
- Bruit et loisirs
- L'isolation acoustique
- Le traitement de la plainte
- Le maire producteur de bruit
- Un environnement sonore sain



MINISTÈRE DE L'EMPLOI
ET DE LA SOLIDARITÉ

US\$ 10