

Bruit

Chantal Laroche, Michel Vallet, Dominique Aubrée

La référence bibliographique de ce document se lit
comme suit:

Laroche C, Vallet M, Aubrée D (2003)

Bruit.

In : Environnement et santé publique - Fondements et
pratiques, pp. 479-497.

Gérin M, Gosselin P, Cordier S, Viau C, Quénel P,
Dewailly É, rédacteurs.

Edisem / Tec & Doc, Acton Vale / Paris

Note : Ce manuel a été publié en 2003. Les connaissances
ont pu évoluer de façon importante depuis sa publication.

Bruit

Chantal Laroche, Michel Vallet, Dominique Aubrée

1. Introduction

2. Effets du bruit sur l'audition

- 2.1 Prévalence des atteintes auditives dues au bruit
- 2.2 Types de déficiences et d'incapacités auditives associées à l'exposition prolongée au bruit

3. Interférence du bruit avec la communication verbale

- 3.1 Facteurs qui influencent l'intelligibilité de la parole
- 3.2 Critères pour assurer l'intelligibilité de la parole

4. Perturbation du sommeil par le bruit

- 4.1 Modification de la structure du sommeil par le bruit
- 4.2 Modifications ponctuelles du sommeil
- 4.3 Effet relatif des niveaux de crêtes et du bruit de fond

5. Effets psychophysiologiques

6. Effets sur la santé mentale

7. Performances et conduites

- 7.1 Performances
- 7.2 Conduites

8. Effets de gêne

- 8.1 Évaluation de la gêne
- 8.2 Notion de gêne

9. Évaluation des risques pour la santé

- 9.1 Principes d'évaluation des effets du bruit
- 9.2 Définition de critères limites

10. Normes et critères

11. Gestion du bruit

1. INTRODUCTION

Le bruit est défini comme un son indésirable. Les principales sources de bruit dans l'environnement sont généralement associées au trafic routier, aérien et ferroviaire, aux industries, à la construction ainsi qu'au voisinage. Le bruit peut être décrit à l'aide de plusieurs paramètres simples qui sont basés sur le contenu en fréquences, exprimé en hertz (Hz), le niveau de pression acoustique, exprimé en décibel (dB), et la variation de ce niveau dans le temps, exprimé en secondes, en minutes ou en heures. Les niveaux de pression acoustique sont mesurés sur une échelle logarithmique en utilisant le dB comme unité, car l'oreille humaine peut percevoir une large gamme de pressions acoustiques. Par ailleurs, l'oreille n'est pas également sensible à toutes les fréquences contenues dans un bruit. C'est pourquoi on utilise la pondération A (dBA), lorsqu'on s'intéresse aux effets du bruit sur l'être humain (*voir chapitre 7 pour plus de détails*).

Il est plutôt rare d'être exposé à un seul événement sonore d'un niveau de pression acoustique stable dans le temps. Pour rendre compte de l'effet d'une accumulation de bruit, on utilise le niveau moyen équivalent d'énergie du bruit en le pondérant avec un filtre A, pendant une période T, soit le LAeq,T. Cet indice est utile pour les bruits continus (trafic routier, bruit industriel). Lorsque les bruits comportent un nombre restreint d'événements discrets (bruit d'avion, bruit de train), on fait appel à d'autres indices tels que le niveau de bruit maximum (LAm_{ax}) ou le niveau d'exposition sonore (SEL), en plus du LAeq,T.

L'étendue du problème de bruit dans les pays industrialisés mérite une attention particulière. Dans les pays de la communauté européenne, environ 40 % de la population est exposée à un bruit de trafic routier qui excède 55 dBA durant le jour et 20 % à des niveaux supérieurs à 65 dBA (Lambert et Vallet, 1994). Lorsque l'on considère toutes les expositions reliées au bruit des transports, environ la moitié des citoyens de la communauté européenne vivent dans des zones qui n'assurent pas un confort acoustique suffisant. Plus de 30 % des résidents sont exposés à des niveaux de bruit excédant 55 dBA la nuit, ce qui peut engendrer une perturbation du sommeil.

Du côté nord-américain, l'intérêt pour le contaminant bruit a culminé en 1972 avec le

Noise Control Act (Anon., 1972) inspiré par les travaux de l'Agence de protection pour l'environnement aux États-Unis (EPA: Environmental Protection Agency). En 1980, le programme de l'EPA sur le bruit était aboli, et depuis ce temps les progrès en terme de contrôle du bruit sont beaucoup plus lents. Du côté canadien, on peut citer le Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail de Santé et Bien-être social Canada qui a émis des lignes directrices visant la limitation du bruit extérieur en 1989. Il semble que, contrairement à certains autres agents polluants, la pollution par le bruit continue de progresser, et on enregistre un nombre croissant de plaintes de la part des individus qui y sont exposés (WHO, 2000).

Ce chapitre vise à sensibiliser les intervenants du domaine de la santé publique aux effets indésirables du bruit, en présentant un résumé des principaux concepts abordés dans les publications récentes (Abel, 1990; Mouret et Vallet, 1992; Passchier-Vermeer, 1993; Kryter, 1994; Shaw, 1996; WHO, 2000), soit les effets du bruit sur l'audition, l'interférence avec la communication verbale, la perturbation du sommeil, les effets psychophysiologiques, les effets sur la santé mentale, les effets sur les performances et les conduites, les effets de gêne. En outre, des notions telles que l'évaluation des risques pour la santé, les normes et les critères, la gestion du bruit, seront abordées en fin de chapitre.

2. EFFETS DU BRUIT SUR L'AUDITION

Toutes les études démontrent qu'il existe une variabilité individuelle importante des effets du bruit sur l'audition. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS, 1980) et l'Environmental Protection Agency (EPA, 1974), la dose jugée sans danger pour l'audition se situe à 75 dBA-8h. Selon la norme ISO-1999 (1989), cette limite serait plutôt de 80 dBA-8h. Cette dernière permet d'estimer le risque d'atteinte à l'audition pour des expositions entre 75 et 100 dBA-8h. Le modèle présenté dans cette norme est toutefois basé sur des données épidémiologiques issues d'études portant sur des travailleurs exposés à des bruits continus, pour des périodes de 8 heures. Lorsque les conditions d'exposition au bruit sont complexes (en milieu

de travail ou dans l'environnement), la norme peut sous-estimer le risque d'atteinte auditive. Par conditions complexes, on entend certaines conditions particulières.

- Des expositions de *courtes durées*, à des niveaux supérieurs à 100 dBA. On ne dispose pas de données épidémiologiques fiables pour prédire l'effet à long terme de telles expositions (opérateurs à l'intérieur de cabines insonorisées qui doivent intervenir, de temps à autre, sur la machinerie très bruyante; individus qui fréquentent les discothèques plusieurs heures par semaine pendant de longues périodes).
- Des expositions *très variables*. L'estimation du risque de ce type d'exposition à partir de données pour lesquelles l'exposition était stable dans le temps est entachée d'une certaine incertitude (travailleurs chargés de l'entretien, pour lesquels l'exposition au bruit est très variable d'une journée à l'autre).
- Des expositions *supérieures à 12 heures*. Ce type d'exposition suppose une extrapolation des données de la norme. Les études de décalage temporaire des seuils ont démontré qu'une telle durée d'exposition à des niveaux supérieurs à 75 dBA se traduit par un décalage des seuils qui tend à plafonner après une certaine durée d'exposition et qui ne peut être récupéré complètement entre deux journées de travail. Cette fatigue chronique pourrait être précurseur d'une atteinte permanente de l'acuité auditive.
- Des expositions aux *bruits d'impact*. Dans la norme ISO-1999 (1989), il est précisé que l'utilisateur peut imputer une correction à la hausse de 5 dB à la dose de bruit, si la présence d'impacts est détectée. Plusieurs études, tant chez l'animal que chez l'humain, ont démontré que le degré d'atteinte à l'audition est souvent plus élevé avec des bruits d'impact qu'avec une dose équivalente de bruits continus (Thiery et Meyer-Bisch, 1988; Pekkarinen, 1989). L'exposition aux tirs d'armes à feu pourrait rentrer dans cette catégorie d'exposition.
- Des expositions à des *bruits de basses fréquences*. Selon certaines études, les doses de bruit exprimées en dBA ont tendance à sous-estimer le risque d'atteinte à l'audition pour les bruits de basses fréquences (Mills et coll.,

1983). D'autres travaux montrent que le décalage maximum des seuils auditifs est du même ordre de grandeur, mais l'étendue de l'atteinte se fait sur une plus large bande de fréquences, ce qui se traduit par des incapacités plus importantes, particulièrement pour la compréhension de la parole dans le bruit.

- Une interaction potentielle avec d'autres contaminants industriels. La norme ne prend pas en compte l'interaction potentielle entre le bruit et certains produits chimiques (toluène, oxyde de carbone), métaux lourds (plomb, arsenic, mercure) ou conditions physiques (vibrations, chaleur) (Phaneuf et Hétu, 1990).

2.1 Prévalence des atteintes auditives dues au bruit

Au Québec, on estime à 56 % la proportion de travailleurs exposés à des doses de bruit supérieures à 85 dBA-8h, dans le secteur des industries lourdes (Deguise, 1988). Le NIOSH (Franks, 1990) aux États-Unis précise que la proportion de travailleurs exposés à des niveaux de plus de 85 dBA-8h varie entre 30 et 50 % pour la majorité des industries américaines. En France, une enquête du ministère du Travail a montré qu'environ 3 000 000 de salariés sont exposés à des nuisances sonores, dont 13 % à des niveaux de bruit supérieurs à 85 dBA (Heran LeRoy et Sandret, 1997). Sur la base de ces statistiques, on peut avancer que l'exposition excessive au bruit est un dénominateur commun aux milieux de travail industriels.

Plusieurs études qui mettent en évidence l'effet nocif pour l'audition de sources de bruit environnementales autres qu'industrielles, comme le tir d'armes à feu, la motocyclette, la motoneige, la musique de concert, les baladeurs, les jouets sonores et les feux d'artifice (WHO, 2000). L'exposition aux bruits d'avion à basse altitude (de 75 à 300 mètres au-dessus du sol) peut aussi créer des dommages chez des sujets sensibles au bruit (Ising et coll., 1993). Le niveau de bruit peut atteindre de 110 à 130 dBA max. Un seul événement de ce type à 130 dBA pendant une durée de 0,9 s contient autant d'énergie qu'une exposition de 8 heures à 85 dBA. Par ailleurs, les niveaux de bruit mesurés autour de certains aéroports peuvent atteindre 65-75 dBA, mais ne présenteraient pas de risque

important pour l'audition. Ce qui est important à considérer dans l'estimation du risque d'atteinte à l'audition est l'exposition totale au bruit, qu'il soit de nature professionnelle ou extraprofessionnelle. Selon la norme ISO-1999 (1989), il n'y a pas de risque pour des doses inférieures à 80 dBA-8h (ou, par extension, à 70 dBA-24h). Toutefois, cette norme estime le risque sur une base de 40 heures/semaine, et ne prend pas en compte que certaines expositions aux bruits extraprofessionnelles pourraient ralentir le processus de récupération entre deux journées de travail. L'augmentation subite du niveau pourrait augmenter les risques d'atteinte à l'audition. L'OMS suggère de ne jamais dépasser 140 dB crête pour les adultes et 120 dB crête pour les enfants, lors d'une exposition au bruit impulsif.

2.2 Types de déficiences et d'incapacités auditives associées à l'exposition prolongée au bruit

La surdité due au bruit s'installe insidieusement, à moins d'être exposé à un bruit soudain de très haut niveau et de courte durée (explosion). Les premiers signes se manifestent dans les hautes fréquences, principalement autour de 4 kHz. La configuration audiométrique habituelle est de type encoche centrée autour de 4 kHz, après soustraction de l'effet d'âge. En effet, chez les personnes plus âgées, on ne retrouve plus l'encoche «caractéristique», car l'effet d'âge s'ajoute éventuellement à l'effet du bruit et affecte davantage les hautes fréquences supérieures à 4 kHz. La progression de la perte auditive suit un processus asymptotique, c'est-à-dire que la perte progresse plus rapidement au cours des premières années d'exposition pour ralentir substantiellement après un certain nombre d'années.

La perte auditive due au bruit dépasse largement la simple question de la sensibilité auditive. La grande majorité des études qui ont tenté de mettre en relation les doses de bruit et le degré d'atteinte à l'audition se sont limitées à la mesure des seuils d'audition comme résultat de l'effet. Laroche et Héту (1988) ont fait une revue de la littérature sur les autres atteintes possibles reliées à l'exposition au bruit. Il est maintenant reconnu qu'une atteinte auditive de nature sensorielle (c'est-à-dire qui atteint les cellules de l'oreille

interne) se traduit non seulement par une baisse de sensibilité auditive, mais aussi par une baisse de discrimination auditive (l'oreille est moins apte à distinguer deux sons de fréquences voisines) et une baisse de sélectivité fréquentielle (l'oreille est moins habile à percevoir un signal sonore en présence d'un autre bruit). Par ailleurs, plusieurs sujets atteints de surdité due au bruit se plaignent d'acouphènes ou sifflements d'oreille qui peuvent être permanents. On peut aussi noter la présence d'une perception anormale de la force sonore des bruits. Un son présenté près du seuil d'audition sera perçu faiblement, mais une légère augmentation du niveau pourra engendrer une sensation plus forte que chez des individus ayant une audition normale. Enfin, certains individus perçoivent une distorsion dans les signaux sonores, appelée paracousie. Le signal sonore est bien perçu, mais sa tonalité est distorsionnée.

Ces déficiences du système auditif se traduisent par des incapacités qui ont des conséquences sur la vie quotidienne. Par exemple, les gens atteints de surdité due au bruit peuvent éprouver de la difficulté à ajuster la force de leur voix, à détecter des avertisseurs sonores, à percevoir la parole dans un bruit de fond, à localiser dans l'espace un avertisseur sonore ou une personne qui parle dans un groupe. Enfin, ces incapacités engendrent des conséquences psychologiques et sociales non négligeables. L'isolement, la baisse d'estime de soi et les conflits interpersonnels sont des exemples rapportés dans la littérature (Héту et coll., 1995). Ces conséquences sont toutefois souvent difficiles à mettre en évidence, car les gens atteints n'ont pas tendance à les manifester ouvertement à cause des préjugés associés à la surdité (Héту, 1996).

3. INTERFÉRENCE DU BRUIT AVEC LA COMMUNICATION VERBALE

La communication verbale représente une des activités essentielles de la vie humaine. Cette communication n'est toutefois pas établie dans des conditions toujours favorables, que ce soit en milieu de travail, à l'intérieur des domiciles ou à l'extérieur. Plusieurs facteurs doivent être pris en considération pour expliquer le niveau d'interférence à la communication verbale. Ces facteurs s'influencent mutuellement.

3.1 Facteurs qui influencent l'intelligibilité de la parole

Lors d'une conversation normale, le niveau sonore de la parole mesuré à 1 mètre de la personne qui parle varie entre 50 et 65 dBA (Webster, 1979), avec une moyenne de 57 dBA. Si le niveau de bruit dépasse 45 dBA, le locuteur aura tendance à élever la voix. On parle d'effort vocal lorsque le niveau sonore moyen de la parole atteint 65 dBA ou plus.

Quant au contenu en fréquences de la parole, on sait que la partie la plus importante de l'énergie sonore est associée aux voyelles, mais les consonnes véhiculent davantage d'information. Dès qu'un message verbal est assez fort pour être entendu, sa clarté dépend de la transmission des hautes fréquences, soit les consonnes.

La distance entre le locuteur et le récepteur influence à son tour la compréhension de la parole. Le niveau sonore décroît de 6 dB par dédoublement de distance à l'extérieur. Dans un espace intérieur, le niveau décroît moins vite, à cause des réflexions sur les parois du local. Cette décroissance dépend principalement des caractéristiques du local, soit le volume et la présence de matériaux absorbants. Le fait que le niveau sonore de la parole ne décroisse pas aussi rapidement à l'intérieur ne signifie pas que le message soit d'emblée plus clair. En effet, la présence de parois implique qu'il y a un délai entre les ondes sonores qui vont directement du locuteur au récepteur et celles qui se réfléchissent sur les parois. On parle alors du phénomène de réverbération. Si la durée de réverbération est trop longue (supérieure à 1,5 s), cela peut nuire considérablement à la compréhension de la parole.

Le bruit peut avoir un effet masquant sur la parole, mais cet effet dépend du contenu en fréquences et du niveau du bruit. Plusieurs indices ont été suggérés pour prédire l'effet masquant du bruit sur la parole à l'extérieur, comme par exemple le SII (Speech Intelligibility Index, ANSI S3.5, 1997), mais la plupart d'entre eux nécessitent le recours à des équipements spécialisés, tels les analyseurs fréquentiels. Pour simplifier les mesures, plusieurs individus optent pour la mesure du niveau équivalent en dBA (L_{Aeq}) du bruit et de la parole, mais cette mesure n'est pas la plus adéquate lorsque le bruit est riche en basses fréquences (bruit de ventila-

tion) ou en hautes fréquences (bruit de jet d'air comprimé).

Lorsqu'on met en relation les niveaux sonores du bruit et de la parole, on parle de rapport signal sur bruit (s/b), c'est-à-dire lorsque exprimé en dB le niveau du signal moins le niveau du bruit. Par exemple, si le niveau sonore de la parole est de 55 dBA à 1 mètre et celui du bruit est de 50 dBA, le rapport s/b est de $55 - 50 = +5$ dB. Lorsque le s/b varie, le pourcentage d'intelligibilité de la parole varie aussi. Pour atteindre 100 % d'intelligibilité de phrases, le niveau de la parole doit être de 15 à 18 dBA au-dessus du bruit (ISO 9921, 1988). À 0 dB de s/b, le pourcentage d'intelligibilité de phrases baisse à 95 %, en l'absence de réverbération. En présence de réverbération, l'effet masquant du bruit sera plus prononcé. Par exemple, à 0 dB de s/b, le pourcentage d'intelligibilité de phrases chutera à 60 %, si la durée de réverbération est de 2 s.

La diversité et la complexité des messages, l'entraînement et la familiarité avec les conditions de communication, la qualité des systèmes de communication ainsi que les capacités auditives du récepteur représentent d'autres facteurs à considérer dans l'évaluation de l'interférence du bruit avec la communication. Ainsi, moins les messages sont variés, moins le bruit a d'effet néfaste sur la compréhension. Par ailleurs, plus le récepteur est familier avec le message, la façon de parler du locuteur ou la tâche à accomplir selon le message transmis, moins le bruit interfère avec la compréhension du message.

3.2 Critères pour assurer l'intelligibilité de la parole

Enfin, les critères d'intelligibilité de la parole en fonction du niveau de bruit et de la durée de réverbération sont normalement établis pour les auditeurs dont l'audition est normale. Ils sont de 35 dBA pour le niveau de bruit, de +15 dB pour le s/b et inférieure à 1 s pour la durée de réverbération (WHO, 2000). Pour les personnes qui sont atteintes de déficience auditive de diverse nature et les personnes âgées, les conditions doivent être améliorées pour assurer une communication adéquate. Dans le cas des très jeunes enfants, par exemple, ceux en milieu de garde ou en milieu scolaire, il est recommandé de viser un niveau de bruit de 30 dBA, un s/b de

+ 15 dB et une durée de réverbération inférieure à 0,4 s (ASHA, 1995).

4. PERTURBATION DU SOMMEIL PAR LE BRUIT

Le sommeil a une fonction réparatrice sur la fatigue physique et mentale, et participe au maintien du métabolisme et donc à la conservation de la santé. Un mauvais sommeil chronique risque de nuire à la santé, et ce, par plusieurs mécanismes (Mouret et Vallet, 1995).

Chez l'adulte, la durée moyenne de sommeil est de 8 heures. Elle peut varier de 6 à 10 heures, parfois plus. Chez le nouveau-né, veille et sommeil alternent au cours des 24 heures. La durée totale du sommeil est comprise entre 15 et 18 heures. Entre 2 et 5 ans, selon les enfants, l'organisation monophasique (veille durant le jour, sommeil pendant la nuit) est acquise. La durée totale va progressivement diminuer : 14-15 heures à 1 mois, 11-12 heures à 1 an, 9-10 heures à 10 ans. Chez le sujet âgé, la durée est de l'ordre de 6 heures, et on observe des périodes de somnolence durant le jour et des périodes d'éveil durant la nuit. Le sommeil est organisé en cycles de 90 à 150 minutes chacun, où se succèdent les phases de sommeil léger, de sommeil profond et de rêve (sommeil paradoxal). La structure du sommeil est sensible à la fatigue physique, à l'âge, aux modifications hormonales ainsi qu'aux troubles psychiatriques.

Le bruit altère la structure du sommeil, qui ressemble alors à celle d'un dormeur dépressif ou âgé. On peut supposer que ces modifications du décours du sommeil entraînent à leur tour une altération des différentes sécrétions endocriniennes, notamment celles liées au sommeil profond.

Par ailleurs, on sait qu'il existe dans chaque pays des travailleurs postés (environ 1 500 000 en France), dont le sommeil, ayant lieu pendant la journée, est perturbé aussi bien par le bruit du trafic automobile que par celui de la vie familiale ou sociale (Vallet, 1995). Compte tenu de l'ampleur de cet effet, il est intéressant de rappeler brièvement les résultats des recherches. Depuis une quinzaine d'années, de nombreuses expériences réalisées en laboratoire et sur le terrain se sont attachées à examiner principalement l'électroencéphalogramme (EEG) et l'électrocardiogramme (ECG) de dormeurs soumis au

bruit. Les auteurs se sont intéressés d'abord aux modifications EEG et ECG ponctuelles survenant après un bruit isolé (Lukas, 1972), puis plus récemment aux modifications de la structure même du sommeil lié à l'ambiance acoustique globale (Griefahn et Gros, 1983). L'intérêt des expériences physiologiques réalisées *in situ* est d'abord de se placer dans des conditions plus réalistes qu'en laboratoire - bien que dormir avec des électrodes sur le scalp ne soit pas naturel - et surtout de pouvoir pratiquer des observations après des durées d'exposition au bruit très longues, de plusieurs années en discontinu, alors que les expériences en laboratoire ont une durée limitée. La prise en compte de la durée d'exposition au bruit est fondamentale, car elle permet, comme pour les enquêtes sociologiques ou épidémiologiques, d'évaluer l'adaptation des personnes dormant sous bruit, que celle-ci consiste en un ajustement comportemental (fermeture des fenêtres, décalage des heures du sommeil), une modification de l'habitat (isolation des façades, changement de la disposition du logement) ou une habitude physiologique. Depuis 1990, l'actigraphie est souvent utilisée pour la collecte des mouvements corporels (Ollerhead et coll., 1992).

4.1 Modification de la structure du sommeil par le bruit

L'ensemble des stades de sommeil constitue une structure relativement constante. L'effet le plus significatif des niveaux de bruit nocturne est de déformer cette organisation du sommeil. Cela a été constaté aussi bien dans les études en laboratoires que dans les expérimentations à domicile.

La perturbation du sommeil par le bruit est polymorphe. Le bruit provoque

- des difficultés d'endormissement;
- des éveils au cours de la nuit;
- le raccourcissement de certains stades de sommeil;
- une dégradation de la qualité du sommeil par des changements de stade (du sommeil profond vers un sommeil plus léger) qui ne sont pas perçus par le dormeur (Ohrström et Bjorkman, 1983; Jansen, 1998).

L'ensemble des travaux expérimentaux permet de conclure sur deux points.

- Il existe une perturbation chronique du sommeil par le bruit après plusieurs années d'exposition, bien qu'il se produise, au début de la période d'exposition, une diminution légère de l'amplitude des réactions (Vallet et coll., 1983).
- Le bruit réduit surtout la durée du sommeil profond et parfois aussi la durée du sommeil paradoxal chez les sujets plus âgés.

4.2 Modifications ponctuelles du sommeil

Les modifications ponctuelles du sommeil sont reliées surtout aux bruits bien isolés comme les avions, les camions, les trains. Elles se manifestent au plan électroencéphalographique et aussi au niveau cardiaque. Elles ont été très étudiées en laboratoire où l'on peut aisément contrôler les niveaux de crête et le nombre d'événements (Thiessen, 1978). Les niveaux moyens du rythme cardiaque présentent des différences entre la condition bruyante et la condition calme, allant de 13 battements/min à 3 battements/min. Sur 10 sujets, 9 montrent une augmentation du rythme cardiaque moyen en condition bruyante.

L'examen de ces résultats par tranche horaire montre qu'il n'y a pas d'habituation durant la nuit (Muzet et Erhardt, 1978). Dans la même expérimentation, on constate qu'il n'y a pas non plus d'habituation végétative après une exposition de 14 jours. Cette expérience qui portait sur trois groupes d'âge a mis aussi en évidence que la réactivité cardiaque et vasomotrice diminue chez les personnes âgées. En matière de seuil, l'auteur montre que les effets apparaissent à partir de 50 dBA pour l'enfant, 55 dBA chez la personne âgée et à 60 dBA pour l'adulte jeune.

4.3 Effet relatif des niveaux de crêtes et du bruit de fond

L'étude du sommeil de riverains d'autoroute en situations acoustiques différenciées bruit-calme (Fidell et coll., 1995) a montré qu'en période «calme» il y avait moins de réactions sommeil (21 par nuit au bruit contre 9 au calme), mais les niveaux de bruit de crête qui les provoquent sont plus bas que ceux qui provoquent ces réac-

tions en environnement bruyant. En condition calme, le niveau moyen de crête des bruits qui provoquent un effet EEG varie de 42 à 44 dBA, alors que celui des bruits qui causent les mêmes effets en situation bruyante va de 50 à 53 dBA.

Ainsi, le niveau de crête d'un bruit isolé n'est pas suffisant pour prendre en compte les réactions temporaires du sommeil. Il est nécessaire de tenir compte du niveau global ou de l'émergence du bruit de crête. L'inverse est également vrai.

En résumé, l'ensemble des données expérimentales citées concernant la déformation de la structure du sommeil montre que le bien-être nocturne requiert un niveau acoustique Leq de l'ordre de 35 dBA à l'intérieur des chambres, voire de 30 dBA (Schwela, 2000). Cette recommandation ne devrait pas se transformer en Leq = 55 dBA à l'extérieur par l'addition de l'isolation de la fenêtre, car on sait que, par habitude hygiénique, un certain nombre de personnes dorment avec la fenêtre ouverte, surtout quand la température est clémente.

Les niveaux de crêtes à respecter pour ne pas provoquer d'effets ponctuels temporaires se situent en dessous de 50 dBA. L'examen des situations acoustiques de l'environnement des routes fait apparaître que les crêtes sont supérieures d'environ 15 dBA au niveau moyen. De ce fait, une recommandation de 35 dBA en Leq ne nécessite pas de complément spécifique aux valeurs-seuils de crêtes. Toutefois, dans des situations plus calmes mais plus fréquentes (centre-ville, traversées de villages) qui n'atteignent pas un niveau de 35 dBA, il faudrait limiter les crêtes élevées, ce qui suppose en premier lieu un travail de réduction du bruit à la source et peut-être aussi la limitation stricte des passages de poids lourds, pendant une période de 8 heures, dont les bornes sont à déterminer en fonction des modes de vie de la population. Quant aux avions, on estime (Vallet, 1991) que pendant la nuit il ne devrait pas se produire plus de 15 bruits ayant un niveau supérieur à 48 dBA, à l'intérieur, pour éviter la plupart des réveils.

5. EFFETS PSYCHO-PHYSIOLOGIQUES

Il est largement reconnu que le bruit interfère avec plusieurs activités de la vie quotidienne, que ce soit le travail, les loisirs, le sommeil ou la

communication verbale. Dans ce contexte, il est souvent avancé que le bruit peut agir en tant qu'agent stressant engendrant toutes sortes de mécanismes physiologiques et psychologiques. Il est maintenant reconnu qu'une stimulation répétée des systèmes endocrinien et nerveux sur plusieurs années augmente le risque de problèmes chroniques de santé chez les personnes exposées. Le bruit peut aussi engendrer différentes réactions individuelles : changement de la pression artérielle, augmentation du cholestérol, apparition, par exemple, d'anxiété mentale et de dépression.

D'autres agents stressants peuvent causer le même type de réactions psychophysiologiques chez les gens exposés au bruit et à ces agents. Il devient alors difficile d'isoler l'effet du bruit. Dans ces conditions, il faut pouvoir mener des enquêtes sur de grands échantillons de la population, afin de contrôler les facteurs autres que le bruit. Parmi les études consacrées à ce sujet, ce sont celles portant sur des populations d'individus exposés à des niveaux de bruit élevés en milieu de travail qui ont mis davantage en évidence des augmentations de pression sanguine systolique et diastolique (Hirai et coll., 1991; Zhao et coll., 1991; Lang et coll., 1992; Fogari et coll., 1994; Hessel et Sluis-Cremer, 1994; Kristal-Boneh et coll., 1995; Talbot et coll., 1996). Parmi ces études, les quatre premières montrent que l'exposition au bruit intense (75-100 dBA) a des effets significatifs sur l'hypertension artérielle, alors que les trois dernières démontrent le contraire, pour des niveaux de bruit comparables. On peut tenter d'expliquer ces différences en invoquant certains problèmes méthodologiques.

En premier lieu, le nombre de sujets exposés dans ces études est si important qu'il devient impossible d'évaluer la dose de bruit réelle pour l'ensemble des travailleurs. Par ailleurs, Thompson (1992) a publié une revue de littérature dans laquelle elle soulève le rôle possible de la gêne psychologique due au bruit du milieu de travail comme facteur pertinent. En effet, plusieurs auteurs ont suggéré que les effets non auditifs du bruit étaient peut-être davantage liés à des paramètres subjectifs du bruit plutôt qu'aux niveaux physiques de bruit réels.

Thompson (1992) insiste sur la piètre qualité des premières études épidémiologiques, mais reconnaît que les études qui ont eu lieu après

1980 sont de meilleure qualité. Une récente étude (Babisch et coll., 1999) montre que le risque d'affections cardio-vasculaires augmente quand les travailleurs sont exposés à des niveaux de bruit routier élevés (66-70 dB LAeq comparé à 51-55 dB LAeq et 71-75/76-80 dB LAeq comparé à 51-60 dB LAeq).

Tout ce qu'on peut avancer à ce jour est qu'il existe un lien faible entre l'exposition au bruit à long terme et l'élévation de la pression artérielle ou l'hypertension. On évoque donc dans ce cas le risque faible d'apparition de maladies en cas d'exposition au bruit plutôt qu'un lien de « cause à effet ». Les experts suggèrent de poursuivre les études dans ce domaine afin de mieux estimer le risque à long terme associé au bruit communautaire.

6. EFFETS SUR LA SANTÉ MENTALE

Plus encore que sur la santé physique, hormis les incontestables effets sur l'audition d'une exposition de longue durée ou à des niveaux élevés, les effets du bruit sur la santé mentale sont sujets à caution (Berglund et coll., 1990). Dans la recherche de responsabilité ou, plus précisément, lorsqu'on attribue aux bruits l'apparition ou l'aggravation de troubles de nature psychiatrique, il semble que l'on ait souvent tendance à confondre co-occurrence ou corrélation avec relation causale. Il est d'ailleurs symptomatique que les études sur ce thème aient pratiquement pris fin ou se soient orientées dans d'autres directions.

Au cours des décennies 1970 et 1980, on a cherché quelle pouvait être l'influence du bruit sur des symptômes aussi variés que l'anxiété, l'instabilité, l'impuissance sexuelle ou les conflits sociaux, en faisant appel soit à des tests ou à des échelles de personnalité pour mettre en évidence des syndromes psychiatriques, soit à l'observation de critères plus objectivables tels que la consommation de médicaments (Watkins et coll., 1981) ou le nombre d'admissions dans les services hospitaliers spécialisés (Herridge et Chir, 1972; McLean et Tarnopolsky, 1977). On tire de ces études que la relation entre les symptômes utilisés comme indicateurs et les mesures des niveaux de bruit dans les différents sites observés était le plus souvent inexistante. Certaines études toutefois mettent en rapport le bruit au travail et le développement de névroses ou l'irritabilité, ainsi que le bruit de l'environ-

nement et la santé mentale (Evans, 1982; Cohen et coll. 1986).

Dès la fin des années 1970, une analyse critique des études menées jusqu'alors conclut à l'insuffisance de la valeur démonstrative des résultats qui, d'ailleurs, se révèlent parfois contradictoires (McLean et Tarnopolsky, 1977). Il est en outre important de souligner que, s'il est possible d'envisager une relation entre une exposition prolongée au bruit et l'aggravation d'un syndrome psychiatrique (Cohen et Weinstein, 1982; Evans et Cohen, 1987), cette situation se présente, dans la plupart des cas, dans un contexte socio-urbanistique ou d'environnement familial qui accumule les facteurs susceptibles de se révéler pathogènes. Avant de conclure à une relation causale entre deux variables observées, il est donc indispensable de s'assurer que l'hypothèse, le plus souvent implicite, d'une relation simple entre elles soit pertinente. Souvent, et l'interaction entre le bruit et la santé mentale illustrent particulièrement bien cette situation, la structure sous-jacente est une structure complexe pour laquelle un modèle de causalité structurale est mieux adapté qu'un modèle linéaire (Alexandre, 1976). Par modèle de causalité structurale, nous entendons non seulement un modèle dans lequel les facteurs potentiellement influents sont multiples, mais également où l'influence des uns ou des autres dépend autant, sinon plus, de leurs interactions que de l'action déterministe de chacun d'entre eux.

En d'autres termes, s'il est difficile d'envisager que le bruit seul, dans le contexte urbain qui est le nôtre, puisse induire chez quiconque une affection psychiatrique, en revanche, on peut tout à fait admettre qu'une exposition prolongée (plusieurs années ou dizaines d'années) à un environnement bruyant (proximité d'autoroute ou d'aéroport à fort trafic), que l'on doit alors considérer comme un facteur supplémentaire de contrainte, puisse agir comme catalyseur, révélateur ou renforcement dans une situation socio-urbanistique (quartier périphérique défavorisé et sociologiquement hétérogène) et sur un terrain psychologique (personnalité fragile) favorables. Mais une étude fondée sur ces principes, c'est-à-dire tenant compte des différents facteurs évoqués ci-dessus et analysant finement leurs interactions, reste à faire.

7. PERFORMANCES ET CONDUITES

Il est intéressant de s'arrêter un instant sur les études ayant pour objet les effets du bruit sur les performances, qu'il s'agisse de conduites sensorimotrices ou intellectuelles comme l'apprentissage ou la réalisation de tâches complexes. On y remarque en effet que le bruit peut interférer avec la réalisation de tâches telles que celles qui requièrent une attention soutenue ou, comme dans la situation des radaristes, celles qui supposent la surveillance d'indices multiples. Le bruit peut donc certaines fois contrecarrer la réalisation d'une tâche, mais il peut d'autres fois la faciliter.

7.1 Performances

Par exemple, en élevant le niveau de vigilance du conducteur, le bruit produit par le moteur d'une voiture facilite, en laboratoire, la réalisation d'une double tâche qui consiste à conduire un véhicule et à détecter un signal lumineux aléatoire (Petit et coll., 1993). On a pu également observer que l'apprentissage d'une liste de mots en situation bruyante en rendait plus difficile la restitution immédiate, mais, en demandant aux sujets une plus grande concentration au cours de la phase d'apprentissage, on favorisait la mémoire à long terme. Une autre expérience de détection permet de mieux appréhender les mécanismes selon lesquels le bruit agit sur les performances (Teichner et coll., 1963). L'expérience consiste en la détection d'un signal lumineux en présence de bruit. Le groupe contrôle effectue la tâche avec un niveau constant de 81 dBA d'un bruit blanc intermittent pendant toute la durée de l'expérience. Les groupes expérimentaux sont soumis aux mêmes conditions pendant les trois quarts de la période. Pendant le dernier quart, le niveau est soit abaissé à 69 ou 57 dB, soit augmenté à 93 ou 105 dB. On constate un ralentissement du taux d'amélioration de la vitesse de détection, quel que soit le sens de variation du niveau de bruit. L'auteur en conclut que l'effet est dû à l'importance du changement plus qu'à son signe.

Un autre type d'épreuves (O'Malley et Gallas, 1977), qui fait plutôt appel à la lecture, utilise un effet de type Stroop pour des tâches réalisées avec des sons verbaux. Cet effet, mis en évidence pour la couleur, repose sur un conflit perceptif. Comme les doubles tâches citées plus

haut, il requiert de la part du sujet une attention soutenue. Il est donc particulièrement sensible à une perturbation sonore. Mais on doit souligner que la perturbation est plus importante quand on emploie des sons verbaux, dans la langue du sujet ou dans une langue étrangère, que lorsque l'on emploie des bruits sans signification, ce qui laisse supposer que c'est plus l'aspect informationnel que l'aspect énergétique du bruit qui est en cause. Le bruit dont il est question ressemble donc plus à celui dont parle la théorie de l'information qu'à celui que mesurent les acousticiens.

Le bruit peut également avoir un effet distrayant. Lorsque des bruits impulsifs d'un niveau de 96 dBA sont réglés pour se produire de façon concomitante à la présentation des différents éléments d'une séquence de chiffres, ils induisent un nombre d'erreurs plus important lors de l'épreuve de rappel que lorsqu'ils apparaissent dans les intervalles qui séparent les chiffres.

Eysenck (1975) a montré qu'un bruit blanc de 80 dB avait des effets différents sur une tâche de mémoire sémantique selon le niveau d'éveil des sujets. Le bruit améliore la performance de ceux dont le niveau d'activation est bas, et il détériore la performance de ceux dont le niveau d'activation est élevé.

De tels résultats mettent clairement en évidence que l'action du bruit n'est ni aussi simple ni aussi mécaniste que celle qui est décrite par le schéma traditionnel Stimulus → Réponse (de la théorie béhavioriste) qui, malgré les démentis nombreux, reste encore le schéma dominant dans les représentations collectives de certains chercheurs et des décideurs.

Soulignons enfin que, dans les résultats qu'il présente dans son rapport au quatrième congrès sur le bruit comme problème de santé publique en 1983, Broadbent (1983), tout en utilisant un seul terme pour désigner le bruit, se réfère néanmoins à deux aspects clairement distincts: l'aspect énergétique et l'aspect informationnel. Les conclusions qu'il présente témoignent donc non seulement des progrès qui ont été accomplis dans la connaissance des effets du bruit, mais également de l'ambiguïté persistante de la notion puisque, dans les résultats qu'il commente, Broadbent se réfère tantôt à l'énergie sonore du bruit, tantôt au contenu du signal.

7.2 Conduites

Le niveau de bruit est généralement mis en cause dans l'étude des effets du bruit sur les conduites. On a en effet montré que, en situation bruyante (Moser, 1986) - flot continu de voitures à 75 dBA -, les passants avaient moins tendance à aider une personne en difficulté. Plusieurs mécanismes sont alors incriminés qui font tous référence à la notion de surcharge environnementale comme explication de la conduite des passants mis en présence de situations requérant leur intervention (Cohen et Lezak, 1977; Cohen, 1978):

- les indices de la demande ne sont pas perçus;
- les indices sont perçus, mais le sujet est incapable d'en dénoter les significations;
- les indices sont perçus mais requièrent de la part du sujet un effort supplémentaire pour lequel il n'est pas disponible.

La citation suivante définit les termes de cette notion: « Rappelons que la surcharge est caractérisée essentiellement par une abondance de stimulus visuels et par un niveau de bruit régulièrement élevé (flot de voitures continu à environ 75 dBA). »

Une question se pose alors. Comment se fait-il que cette définition se réfère, pour ce qui concerne les stimulus visuels, à une quantité d'information, et à une quantité d'énergie pour ce qui concerne les stimulus sonores ? C'est-à-dire, là encore, à deux domaines de nature différente et vraisemblablement indépendants.

Cette confusion ne traduit pas seulement l'ambiguïté de la notion de bruit. Cela traduit plus sûrement un effet de contamination de l'aspect informationnel par l'aspect énergétique, contamination qui peut être due à plusieurs facteurs et notamment au pouvoir représentationnel de la valeur chiffrée et de la mesure qui la sous-tend; mais aussi au pouvoir symbolique de cette même valeur qui condense tout un substrat de connaissances scientifiques; et enfin au pouvoir de ce qui constitue une représentation dominante du bruit, comme l'on parle d'une idéologie dominante, qui fait que tout un chacun parle du bruit avec les mots de cette représentation dominante même si le sens qu'on lui attribue n'a que peu à voir avec ce que représente la mesure en décibels.

8. EFFETS DE GÊNE

En 1963, l'OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques) déclarait «[...] que tous ces effets psychologiques de désagrément doivent être considérés comme les plus importants pour le bien-être des populations [...] et que seules les méthodes d'enquêtes de la sociologie moderne permettaient d'étudier de manière scientifique ces effets défavorables». Dans l'habitat en effet, bien que le bruit ne représente plus un danger, on s'accorde à reconnaître qu'il demeure une cause importante de perturbation.

8.1 Évaluation de la gêne

On ne peut pas obtenir une saisie directe de la gêne. Elle est nécessairement inférée, comme le niveau sonore, à partir de la lecture d'un indice. Pour construire cet indice, on a le plus souvent recours à ce qu'il est convenu d'appeler des indicateurs, c'est-à-dire des éléments d'observation, conduites ou opinions, dont l'étude permettra de déterminer, par déduction, la présence et l'intensité de cette catégorie particulière qu'on appelle la gêne.

Le problème qui se pose alors est de choisir les indicateurs pertinents à partir desquels on pourra déduire l'existence de la gêne. On trouve dans les différentes études deux types d'indicateurs couramment utilisés.

- *Des indicateurs objectivables* Ce sont les différents indices physiologiques ou comportementaux (ouverture des fenêtres, usage des balcons, consommation de médicaments, mobilité résidentielle).

Ces effets objectifs se révèlent, tout compte fait, peu fiables, souvent difficiles à mettre en évidence et à quantifier dans des conditions naturelles (Weinstein, 1976) et dépendants de nombreux autres facteurs. Quant aux plaintes (Weinstein, 1982), elles ne constituent pas une indication fiable. Elles tendent à disparaître quand les gens commencent à sentir que la situation est sans espoir. On a constaté par exemple au Danemark une diminution du nombre de plaintes quand le public a appris qu'il n'y avait pas de compensation légale à la gêne. Cela ne signifie pas pour autant que le problème soit disparu.

- *Des indicateurs dits subjectifs* Il s'agit alors de l'évaluation et de l'énonciation par le sujet lui-même des effets, observés sur soi ou supposés, ou de jugements portés sur le bruit.

Toutes les enquêtes ont mis en évidence un phénomène important, celui de la dispersion des réponses individuelles. Cette dispersion présente un inconvénient majeur pour le décideur, elle conduit à un coefficient de corrélation qui peut certes être significatif, mais qui reste de valeur faible. Cela signifie que la variable indépendante (le bruit), à propos de laquelle on émet l'hypothèse qu'elle exerce une influence sur la réponse des sujets, ne permet de pronostiquer celle-là qu'avec un fort risque d'erreur. On a donc cherché à améliorer la corrélation, c'est-à-dire la valeur pronostique de l'indice acoustique en cherchant quels facteurs pouvaient être à l'origine de la variance observée. On peut classer ces facteurs en deux grands groupes: des facteurs propres au bruit ou à la situation dans laquelle celui-ci est produit, des facteurs propres au sujet et aux conditions dans lesquelles le bruit est perçu.

Facteurs propres au bruit

Que ce soit au voisinage des autoroutes, des voies urbaines ou des aéroports, le niveau de bruit est le plus souvent fluctuant, intermittent ou constitué d'une série d'événements distincts. Dès lors, sa représentation par un niveau moyen, calculé sur une période de temps donnée, ne permet pas de faire un pronostic suffisamment fiable de la réaction des riverains. C'est la raison pour laquelle des paramètres comme le nombre d'événements ou la durée d'exposition ont été intégrés au calcul des indices. D'autres facteurs qui ne concernent pas le signal sonore lui-même, mais les caractéristiques de son occurrence, peuvent également être pris en compte, soit le lieu, l'heure, la saison.

Fidell et coll. (1995) proposent d'utiliser la détectabilité des sons, c'est-à-dire le rapport signal/bruit, indice mesurable, comme indicateur de prédiction de la gêne. Cette détectabilité remplace ou renforce la mesure du niveau absolu dont on a constaté qu'elle était d'un mauvais pronostic pour les bruits de faible niveau. La corrélation obtenue entre la détectabilité et la gêne est presque parfaite ($r = 0,945$). Mais il semble que, là encore, il y ait confusion entre corrélation et relation causale.

Facteurs propres au sujet

Quand on parle des facteurs propres au sujet, il vient tout de suite à l'esprit une liste, qui semble interminable, de caractéristiques psychologiques ou sociologiques qui, selon les études auxquelles on se réfère, se révèlent avoir une influence significative, mais pas toujours dans le même sens, ou - plus souvent - pas d'influence sur la gêne exprimée. C'est sans doute cette instabilité des résultats — certains facteurs sont en effet repérés dans la plupart des études alors que d'autres semblent spécifiques à une situation particulière — qui a conduit à les considérer comme perturbateurs d'une relation idéale (Robinson, 1971) et à faire confiance à la loi des grands nombres pour les neutraliser.

Il n'est pas possible de passer en revue tous les facteurs qui ont été étudiés. Nous signalerons cependant l'étude, réalisée par Griffiths et Delazun (1977), qu'ils concluent en ces termes: «La conclusion générale doit être que l'essentiel de la variation dans l'insatisfaction due au bruit ne relève pas de différences individuelles détectables, mais de variations aléatoires dans la réponse à l'instrument de mesure, et que l'influence de la sensibilité au bruit sur l'insatisfaction est petite.»

L'étude de Jonsson et Sörensen (1967) s'inscrit dans la même perspective. En montrant qu'une manipulation des attitudes à l'égard de la source peut entraîner une modification du jugement, on établit l'existence de ce qu'on appelle des «groupes critiques», c'est-à-dire des groupes de sujets qui, pour des raisons individuelles mais qui ne sont pas pour autant isolées, sont conduits à porter des jugements plus sévères ou plus tolérants dans une situation donnée.

Le jugement d'un individu peut être influencé par sa dépendance économique à l'égard de la source sonore. Mais on observe aussi l'existence d'un processus d'influence sociale au niveau local. La présence de «leaders» (associations ou individus) induit un phénomène de contamination ou de diffusion. Par ailleurs, la lutte contre le bruit et les plaintes qu'elle déclenche peuvent également être de bons supports de la cohésion d'un groupe ou, pour des individus marginalisés, un moyen d'identification au groupe de référence (Aubrée, 1981). On a pu montrer enfin que les jugements portés sur les bruits étaient liés à l'homogénéité ou à l'hétérogénéité de la population du lieu de résidence (Aubrée, 1975).

8.2 Notion de gêne

Tous ces éléments laissent entrevoir que la gêne peut être une élaboration collective, un phénomène groupal et un processus dynamique, une représentation sociale du bruit. Cela apparaît de façon tout à fait claire dès que l'on quitte les bruits de trafic qui, parce qu'ils atteignent des niveaux assez élevés, induisent l'explication déterministe, et que l'on aborde le problème des bruits de voisinage. C'est aussi ce que, sous une autre forme, conclut Griffiths en 1983: «L'exposition à différentes sources est un problème complexe qu'on résoudra mieux sur la base d'une sommation de l'expérience humaine que sur celle de l'énergie sonore.»

La complexité de cette relation entre le bruit et la gêne n'est pas un problème nouveau, elle a d'ailleurs été soulignée dans de nombreuses études. Elle tient particulièrement à ce que, pour reprendre provisoirement l'expression de Robinson (1971), de nombreux facteurs viennent la perturber. C'est sans doute la raison pour laquelle on observe «face à cette complexité des risques de retrait vers des modèles dangereusement simplistes de la réponse humaine» (Griffiths, 1983).

On pourrait donc penser, à la lecture de ce qui précède, que nous ne considérons pas la gêne comme une notion opératoire. Loin s'en faut. À condition toutefois de ne pas vouloir établir à tout prix une relation linéaire ou fonctionnelle entre cette gêne, qui mérite sans doute que l'on améliore les outils avec lesquels on l'évalue, et la seule énergie acoustique des événements sonores. Celle-ci, bien entendu, est nécessaire pour que ces événements soient perçus. Mais c'est alors un processus socio-cognitif qui se met en place, processus au terme duquel tel événement sera jugé intéressant ou gênant et donc considéré comme un signal ou comme du bruit. Or, c'est bien le bruit, et pas uniquement l'énergie sonore, qu'il faut considérer comme un problème de santé publique.

9. ÉVALUATION DES RISQUES POUR LA SANTÉ

L'évaluation des risques pour la santé suppose certains principes de base, la définition de critères limites, ainsi qu'une référence à la population affectée et aux groupes vulnérables.

9.1 Principes d'évaluation des effets du bruit

Lors de l'évaluation des effets du bruit, le critère global retenu est celui de la santé humaine. L'OMS décrit la santé comme un état de bien-être physique, mental et social et pas seulement une absence de maladie ou de déficience (WHO, 2000). Il s'agit donc d'une conceptualisation assez large qui englobe plusieurs impacts dont celui de la nuisance et des réactions de gêne. Que l'on considère les effets physiologiques ou psychologiques de l'exposition au bruit, la plupart des études menées au cours des 10 dernières années insistent sur la notion d'exposition totale, incluant le bruit des milieux de travail, de la communauté et des loisirs. D'un point de vue santé, on ne peut donc pas ignorer l'effet combiné des diverses sources de bruit. D'un point de vue administratif, on est plutôt tenté de considérer séparément les diverses sources. Quoi qu'il en soit, l'évaluation des effets demeure une tâche difficile et exigeante. Plusieurs questions cruciales doivent être considérées (WHO, 2000): Est-ce que les impacts du bruit sont ressentis à tout moment ou à des périodes précises? Est-ce que les effets sont réversibles ou non? Est-ce que des atteintes à la santé physique ou mentale sont observées? Est-ce que les gens exposés peuvent réduire leur exposition? Est-ce qu'une certaine forme de compensation des impacts du bruit est possible? Même si l'on sait que plusieurs effets du bruit sont indésirables, il n'est pas encore possible de déterminer de façon certaine jusqu'à quel point les effets sont dommageables, et donc inacceptables. Il s'agit en fait d'une décision de société.

9.2 Définition de critères limites

La plupart des normes pour le bruit sont formulées en fonction des sources (trafic routier, avions, machinerie, industries) et des environnements (domicile, milieu de travail) et prennent en compte plusieurs facteurs d'exposition, comme le temps de la journée ou la présence de composantes tonales ou impulsives du bruit. Cela a pour effet de mener à plusieurs descripteurs du bruit (Tempest, 1985). Les critères limites ne sont pas issus de résultats scientifiques objectifs, mais sont plutôt établis par la société à la suite d'un effort de normalisation (WHO,

2000). D'un point de vue pragmatique, des normes efficaces doivent être strictes, non ambiguës, transparentes, applicables pratiquement et contrôlables (WHO, 2000). Afin de rencontrer ces critères, les normes ISO sont basées sur 1) l'émission sonore des sources décrite par le niveau de pression sonore (en dBA ou en bandes d'octave) et 2) sur le niveau d'exposition sonore, mesuré ou prédit, auquel on peut ajouter des ajustements pour le décours temporel, le spectre ou le niveau maximum, par exemple. Même si le grand nombre de normes ISO représentent de nombreuses années d'effort, elles demeurent imparfaites, principalement à cause de la faible corrélation entre la dose et l'effet due aux variations interindividuelles importantes.

Enfin, il est important de mentionner que les normes sont établies pour une population normale, pour la moyenne des gens. Lors du processus de normalisation, les individus qui peuvent être plus sensibles aux effets du bruit pourraient être sous-représentés. On peut penser aux individus aux prises avec des problèmes de santé particuliers (hypertension artérielle), les gens en centre de réadaptation ou en milieu hospitalier, les personnes souffrant de déficience auditive, les bébés, les jeunes enfants et les personnes âgées (WHO, 2000).

10. NORMES ET CRITÈRES

Une directive européenne sur les produits de construction (89/106/CEE) stipule que ces derniers « [...] ont des caractéristiques telles que les ouvrages dans lesquels ils doivent être incorporés, assemblés, utilisés ou installés puissent, à condition d'avoir été convenablement conçus et construits, satisfaire aux exigences essentielles ». Des documents interprétatifs explicitent ces exigences, notamment en ce qui concerne la protection contre le bruit. Mais l'expression de cette exigence ne se fait pas de façon identique dans tous les pays. Elle peut

- définir une exigence de performance minimale de l'ouvrage;
- définir une performance acoustique minimale des produits;
- définir un niveau de bruit maximal auquel les personnes se trouvant dans l'enceinte de l'ouvrage ou à proximité peuvent être exposées (Josse, 1997).

En outre, les réglementations des différents pays européens ne manifestent pas, à l'égard des différents types de bruits (aériens, chocs, équipements et bruits extérieurs) la même sévérité (Batifol et Roland, 1995). Pour ce qui concerne la protection contre les bruits aériens, on observe un partage Nord-Sud presque parfait. Les pays du Nord, hormis la Belgique, ont une exigence de 5 dBA supérieure à celle des pays du Sud (Italie, Grèce, péninsule ibérique). En matière de protection contre le bruit de choc, les pays du Nord ont les exigences les plus importantes, puisque seuls une dalle flottante ou un revêtement très performant permettent d'y répondre. Les pays du Sud sont, avec la Belgique, les moins exigeants. Tous les pays ne réglementent pas le bruit des équipements. Ceux qui le font ont des exigences assez homogènes. Les niveaux limites sont de l'ordre de 30 à 40 dBA dans tous les pays à l'exception de l'Autriche qui, dans certains cas, demande 25 dBA. L'isolement aux bruits extérieurs, enfin, reproduit le clivage Nord-Sud déjà évoqué. Pour les pays du Nord, le niveau de bruit résultant à l'intérieur des locaux se situe aux alentours de 30 dBA. Ce niveau peut atteindre 40 dBA dans les zones de fort trafic des autres pays.

Du côté nord-américain, les niveaux admissibles par règlements varient énormément d'une région à l'autre et d'une municipalité à l'autre. Ces niveaux varient aussi en fonction du milieu d'émission du bruit. En milieu de travail, les niveaux admissibles varient normalement entre 85 et 90 dBA pour une période de 8 heures, alors que pour les applications environnementales on parle plutôt de niveaux entre 55 et 65 dBA à l'extérieur. On peut citer différents règlements qui démontrent une implication gouvernementale dans la reconnaissance des problèmes de bruit environnemental. Par sa politique sur le bruit routier, le ministère des Transports du Québec (1998), en collaboration avec les municipalités, vise à ramener les niveaux sonores en bordure des voies de circulation le plus près possible de 55 dBA pendant une période de 24 heures. D'autres efforts sont consentis par le ministère de l'Environnement du Québec avec son règlement sur les carrières et les sablières (1999) ou celui sur les usines de béton bitumineux (1983). Dans ces deux règlements, on limite le niveau de bruit à 40 dBA entre 18 et 6 h, et à 45 dBA entre 6 et 18 h, aux limites

de toute zone résidentielle, commerciale ou mixte.

Afin de mieux situer tous ces niveaux dans un contexte de préservation de la santé, il semble justifié de présenter les recommandations de l'OMS qui ont fait l'objet d'un consensus international (WHO, 2000). Chacun des effets du bruit sur la santé présentés précédemment est maintenant repris dans le tableau 18.1, en fonction des différents environnements, en précisant les critères limites suggérés par l'OMS. Ces critères diffèrent souvent des niveaux permis par les règlements, car dans ce dernier cas les limites sont fixées en tenant compte de contraintes politiques et économiques.

11. GESTION DU BRUIT

On ne peut terminer un chapitre sur les effets du bruit sur la santé sans mentionner les moyens disponibles pour assurer la maîtrise de cet agresseur. L'OMS consacre tout un chapitre à la gestion du bruit en insistant sur la nécessité d'élaborer des politiques internationales et nationales qui permettent d'établir des niveaux limites d'exposition au bruit et de promouvoir l'évaluation du bruit et sa réduction (WHO, 2000). Le document «Action 21» adopté par les Nations Unies (UNCED, 1992) présente un certain nombre de principes de gestion qui s'appliquent très bien au domaine du bruit environnemental: le principe de précaution, le principe du «pollueur-payeur» et la prévention du bruit. Le principe de précaution réfère au fait que, à chaque fois qu'il existe un danger potentiel pour la santé publique, une mesure devrait être prise pour protéger les individus exposés, sans attendre que la preuve scientifique soit pleinement établie. Par ailleurs, ce principe sous-entend aussi que, dans tous les cas, le bruit devrait être réduit au niveau le plus bas possible. Le principe du «pollueur-payeur» implique que les responsables de la source de bruit doivent assumer tous les coûts associés à la pollution par le bruit, que ce soit la surveillance, la gestion, la réduction des niveaux ou la supervision. Enfin, la prévention du bruit doit passer par la réduction du bruit à la source chaque fois que cela est possible.

L'OMS insiste aussi sur la nécessité d'un cadre juridique pour assurer la gestion du bruit (WHO, 2000). Cela évoque le recours à des normes qui prennent en compte les rapports

Tableau 18.1 Niveaux limites pour différents environnements et différents effets sur la santé (WHO, 2000)*

Environnements	Effets sur la santé	LAeq (dB)	Base de temps (heures)	LAmx, rapide (dB)
Zones résidentielles extérieures	Gêne sérieuse, jour et soir	55	16	-
	Gêne modérée, jour et soir	50	16	-
Résidences, intérieur	Interférence avec la communication, gêne modérée, jour et soir	35	16	-
Chambres à coucher	Perturbation du sommeil	30	8	45
Extérieur - Chambres à coucher	Perturbation du sommeil, fenêtre ouverte	45	8	60
Salles de classe et jardins d'enfants, intérieur	Interférence avec la communication, perturbation de l'extraction d'information, communication des messages	35	Durant la classe	-
Aires de repos - Jardins d'enfants, intérieur	Perturbation du sommeil	30	Durant la période de repos	45
Écoles, aires de jeux, extérieur	Gêne (sources extérieures)	55	Durant le jeu	-
Hôpitaux, chambres, intérieur	Perturbation du sommeil, nuit	30	8	40
	Perturbation du sommeil, jour et soir	30	16	
Hôpitaux, salles de traitement, intérieur	Interférence avec le repos et la convalescence	Aussi bas que possible		
Zones commerciales, industrielles, marchandes, de circulation, intérieur et extérieur	Domage à l'audition	70	24	110
Cérémonies, festivals, divertissements	Domage à l'audition (exposition < 5 fois/année)	100	4	110
Discours, manifestations, intérieur et extérieur	Domage à l'audition	85	1	110
Musiques sous écouteurs, haut-parleurs	Domage à l'audition (valeur en champ libre)	85	1	110
Bruits impulsionnels émis par les jouets, feux d'artifice, armes à feu	Domage à l'audition - adulte	-	-	140**
	Domage à l'audition - enfant	-	-	120**

* Reproduit avec la permission du Dr Detrich Schwela

** Niveau crête, 10 cm de l'oreille

dose-réponse pour les effets du bruit sur la santé. Au niveau national, ces normes doivent tenir compte des facteurs technologiques, sociaux, économiques et politiques propres à chaque pays. Au delà des normes, un plan de gestion du bruit devrait inclure la surveillance des niveaux de bruit, la cartographie d'exposition au bruit, la modélisation de l'exposition, des méthodes de lutte contre le bruit et l'évaluation des options de lutte. Les gouvernements peuvent jouer un grand rôle dans la gestion des problèmes de bruit, à la condition de développer une stratégie intégrée en collaboration avec les acteurs sociaux et économiques (WHO, 2000).

Les priorités de gestion du bruit varient d'un pays à l'autre, mais ce qui semble évident est que les normes actuelles sont insuffisantes pour assurer un environnement sonore acceptable. La situation ne cesse de se détériorer. Un concept qui peut aider à limiter cette détérioration est celui de l'étude d'impact, qui devrait être exigée avant de mettre en application un projet qui risque de faire augmenter les niveaux de bruit de manière importante.

En conclusion, l'OMS précise que le contrôle du bruit doit inclure des mesures visant à réduire le bruit à la source, à contrôler les voies de transmission, à protéger les sites où se trouvent des

récepteurs, à planifier l'utilisation des sols et à sensibiliser le public (WHO, 2000). Pour ce faire, il est important de considérer les relations coûts-bénéfices des mesures de contrôle propres à chaque pays. L'OMS termine son exposé en dressant la liste des éléments essentiels d'un programme de gestion du bruit (WHO, 2000).

- Une surveillance des expositions humaines au bruit;
- Une mise en application de la réduction des émissions de bruit, en prenant en compte les environnements spécifiques (écoles, aires de jeux, hôpitaux), les environnements comportant des sources de bruit multiples, les périodes de temps sensibles (soirées, nuits), les groupes exposés (enfants, personnes âgées);
- Une considération des conséquences du bruit dans la planification des systèmes de transport et l'occupation des sols;
- L'introduction de systèmes de surveillance des effets nocifs du bruit;
- Une évaluation de l'efficacité des politiques de bruit à réduire les effets nocifs et à améliorer l'environnement sonore;
- L'adoption des directives de l'OMS à long terme, afin d'améliorer la santé humaine;
- L'adoption de mesures de précaution pour un développement durable des environnements acoustiques.

Bibliographie

- Abel, S. M. «The extra-auditory effects of noise on annoyance: An overview of research», *J Otologyngol*, suppl. 19, 1990, 13 p.
- Alexandre, A. «An assessment of certain causal models used in surveys on aircraft noise annoyance», *J Sound Vib*, AA, 1976, p. 119-125.
- Anon. «Noise Control Act of 1972», Public Law 92-574, États-Unis, 1972.
- ANSI S3.5. «American National Standard methods for the calculation of the Speech Intelligibility Index», New York, 1997.
- ASHA. «Acoustics in educational settings», ASHA, 37 (suppl. 14), American Speech-Language-Hearing Association, New York, 1995. p. 15-19.
- Aubrée, D. «Description de l'isolation acoustique des logements et corrélation avec la satisfaction des occupants», EN-SH-75/6, CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), Saint-Martin d'Hères, France, 1975-
- Aubrée, D. «Vibrations, Étude de la gêne provoquée par la transmission dans les immeubles des vibrations d'origine ferroviaire», GSH/81-2 DA.CB, CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment), Saint-Martin d'Hères, France, 1981.
- Babisch, W., H. Ising, J. Gallacher, P. Sweetnam et P. Elwood. «Traffic noise and cardiovascular risk: the Caerphilly and Speedwell studies, Third phase, 10 year follow up», *Arch Environ Health*, 54, 1999, p. 210-216.
- Batifol, F. et J. Roland. «Les réglementations acoustiques en Europe», cahiers du CSTB, 363, 1995, p. 2838.
- Berglund, B., T. Lindvall et S. Nordin. «Adverse effects of aircraft noise», *Environment International*, 16, 1990, p. 315-338.
- Broadbent, D. E. «Recent advances in understanding performance in noise», *Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Turin, Italie, 1983, p. 719-738.
- Cohen, S. et A. Lezak. «Noise and inattentiveness to social cues», *Environ Behav*, 9, 1977, p. 559-572.
- Cohen, S. «Environmental load and the allocation of attention», dans A. Baum, J. E. Singer et S. Valins (rédacteurs) *Advances in environmental psychology*, vol. 1, «The urban environment», Hillsdale, NJ, Erlbaum, 1978.
- Cohen, S. et N. Weinstein. «Non auditory effects of noise on behavior and health», dans G. W. Evans (rédacteurs) *Environmental stress*, New York, Cambridge University Press, 1982.
- Cohen, S., G. W. Evans, D. Stokols et S. Kelly. *Behavior, health and environmental stress*. New York, Plenum Press, 1986.
- Comité consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail (1989). «Lignes directrices nationales visant la limitation du bruit extérieur», Méthodes et concepts relatifs à l'élaboration de règlements en matière de bruit extérieur pour le Canada, Santé et Bien-être social Canada, ministère des Approvisionnements et Services Canada, 88 p.
- Deguisse, C. «L'heure des bilans: les services», *Santé et Société*, 10, 4, 1988, p. 31-34.
- EPA (1974). «Information on levels of environmental noise requisite to protect the public health and welfare with an adequate margin of safety», document EPA 550/9-74-004, US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Evans, G. W. (rédacteur). *Environmental stress*, New York, Cambridge University Press, 1982.
- Evans, G. W. et S. Cohen. «Environmental stress», dans D. Stokols et I. Altman (rédacteurs) *Handbook of environmental psychology*, New York, Wiley, vol. 1, 1987, p. 571-610.
- Eysenck, M. W «Effects of noise, activation level and response dominance on retrieval from semantic memory», *J Exp Psychol*, 104, 1975, p. 143-148.
- Fidell, S., K. Pearsons, B. Tabachnick, R. Howe, L. Silvati et D. S. Barber. «Field study of noise induced sleep disturbance», *J Acoust Soc Am*, 98, 1995, p. 1025-33.
- Fogari, R., A. Zoppi, A. Vanasia, G. Marasi et G. Villa. *HypertensJ*, 12, 1994, p. 475-479.
- Franks, J. R. «Number of workers exposed to Occupational Noise», Department of Health and Human Services, NIOSH Publications on Noise and Hearing, Cincinnati, U.S., 1990.
- Griefahn, B. et E. Gros. «Disturbances of sleep. Interaction between noise, personal and psychological variables», *Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem*, Turin, 1983, p. 895-904.
- Griffiths, I. D. «Review of community response to noise», dans Rossi, G. (rédacteur) *Noise as a public health problem*, *Proceedings of the Fourth International Congress on Noise as a Public Health Problem*, 2, 1983, p. 1031-1048.

- Griffiths, I. D. et F. R. Delazun. «Individual differences in sensibility to trafic noise: An empirical study» *J Sound Vib*, 55, 1977, p. 93-107.
- Heran LeRoy, O. et N. Sandret. «Le bruit dans le travail», direction de l'animation de la recherche, des études et des statistiques, ministère du Travail et des Affaires sociales, Paris, 1997.
- Herridge, C. F. et B. Chir. «Aircraft noise and mental hospital admissions», *Sound*, 6, 1972, p. 32-36.
- Hessel, P. A. et G. K. Sluis-Cremer. «Occupational noise exposure and blood pressure: longitudinal and cross-sectional observations in a group of underground miners», *Arch Environ Health*, 49, 1994, p. 128-134.
- Héту, R. «The stigma attached to hearing impairment», *Scand Audiol*, 25, suppl. 43, 1996, p. 12-24.
- Héту, R., L. Getty et H. Tran Quoc. «Impact of occupational hearing loss on the lives of workers», *Occup Med*, 10, 1995, p. 495-512.
- Hirai, A., M. Takata, M. Mikawa, K. Yasumoto, H. Lida, S. Sasayama et S. Kafamimori. «Prolonged exposure to industrial noise causes hearing loss but not high blood pressure: a study of 2124 factory laborers in Japan», *J Hypertens*, 9, 1991, p. 1069-1073.
- Ising, H., I. Curio, H. Otten, E. Rebentisch et W. Schulte. «Health effects of low-altitude flight noise», dans P. Chapelle et G. Vernier (rédacteurs) *Inter-Noise 93*, Louvain, Belgique, The Belgian Acoustical Association (Antwerp), vol. II, 1993, p. 1083-1086.
- ISO 1999. «Acoustics-Determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment», International Organization for Standardization, Genève, 1989.
- ISO 9921. «Ergonomics - Assessing the effects of noise on speech communication at worker's position», partie 1, «Speech interference level and communication distances for persons with normal hearing capacity in direct communication» (SIL-method), International Organization for Standardization, Genève, 1988.
- Jansen, G. «Health concepts and noise effects», Proceedings of the Seventh International Congress on Noise as a Public Health Problem, Sydney, 1998, p. 697-702.
- Jonsson, E. et S. Sörensen. «On the influence of attitudes to the source on annoyance reactions to noise», *Nordisk Hygienisk Tidskrift*, XLVIII, 1967, p. 35-59.
- Josse, R. «Acoustique du bâtiment: avancement de la normalisation européenne», cahiers du CSTB (385), 3002, 1997.
- Kristal-Boneh, E., S. Melamed, G. Harari et M. S. Green. «Acute and chronic effects of noise exposure on blood pressure and heart rate among industrial employees: the Cordis study», *Arch Environ Health*, 50, 1995, p. 298-304.
- Kryter, K. D. *The handbook of hearing and the effects of noise: physiology, psychology, and public health*, Academic Press, San Diego, 1994, 674 p.
- Lambert, J. et M. Vallet. «Study related to the preparation of a communication on a future EC noise policy», Bron, France, Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité, rapport n° 9420, 1994.
- Lang, T., C. Fouriaud et F. Jacquinet-Salord. *Int Arch Occup Environ Health*, 63, 1992, p. 369-372.
- Laroche, C. et R. Héту. «Effets réversibles du bruit sur l'audition: recherche d'une mesure fidèle et plus sensible que le DTS (Décalage Temporaire des Seuils)», *Acustica*, 66, 1988, p. 179-189.
- Lukas, J. S. «Awakening effects of simulated sonic booms and aircraft noise on men», / *Sound Vib*, 20, 1972, p. 457-466.
- McLean, E. K. et A. Tarnopolsky. «Noise, discomfort and mental health: a review of the socio-medical implications of disturbance by noise», *Psychol Med*, 7, 1977, p. 19-62.
- Mills, J. H., J. D. Osguthorpe, C. K. Burdik, J. H. Patterson et B. Mozo. «Temporary threshold shifts produced by exposure to low-frequency noises», / *Acoust Soc Am*, 73, 1983, p. 918-923.
- Ministère des Transports du Québec. «Politique sur le bruit routier», Service de l'Environnement, Direction des communications du ministère des Transports du Québec, 1998, 14 p.
- Moser, M. «Effets du bruit sur le comportement: Bruit urbain et conduites d'aide», dans ministère de l'Environnement (rédacteurs), *Actes du 6^e Symposium Bruit et Vibrations*, Avignon, 1986.
- Mouret, J. et M. Vallet. *Les effets du bruit sur la santé*, ministère de la Santé et de l'Action humaine, France, 1992, 84 p.
- Mouret, J. et M. Vallet. *The effects of noise on health*, ministère de la Santé, Paris, CIDB (Centre d'information et de documentation sur le bruit), 1995, 114 p.
- Muzet, A. et J. Erhardt. «Amplitude des modifications cardio-vasculaires provoquées par le bruit au cours du sommeil», *Cæur Méd Interne*, 17, 1978, p. 49-56.
- OCDE. Document SR(63), 27, Organisation de coopération et de développement économiques, Paris, sept. 1963.

- Ohrström, E. et M. Bjorkman. «Sleep disturbance before and after traffic noise attenuation in an apartment building», *J Acoust Soc Am*, 73, 1983, p. 877-879.
- Ollerhead, J. B., C. J. Jones, R. E. Cadoux, A. Woodley, B. J. Atkinson, J. A. Home, E. Pankhurst, L. Reyner, K. I. Hume, E. Van, A. Watson, I. D. Diamond, P. Egger, D. Holmes et J. McKean. «Report of a field study of aircraft noise and sleep disturbance», Report to the UK Department of Transport, Londres, Angleterre, 1992.
- O'Malley, J. J. et J. Gallas. «Noise and attention span», *Percept Motor Skill*, 44, 1977, p. 919-922.
- OMS. «Bruit», critères d'hygiène de l'environnement 12, Organisation Mondiale de la Santé, Genève, 1980.
- Passchier-Vermeer, W. *Noise and health*, The Hague, Health Council of the Netherlands, publication n°A93/02E, 1993, 254 p.
- Pekkarinen, E. «Exposures to impulse noise, hearing protection and combined risk factors in the development of sensory neural hearing loss», Publications de l'Université de Kupio, Finlande, 1989.
- Petit, G., C. Tarrrière et D. Tamalet. «Does noise improve or deteriorate the driving behavior?», *Noise et Man '93, Noise as a Public Health Problem*, Proceedings of the 6 International Congress, Nice, INRETS (éditeur), vol. 2, 1993, p. 527-530.
- Phaneuf, R. et R. Héту. «An epidemiological perspective of the causes of hearing loss among industrial workers», *J Otolaryngol*, 19, 1990, p. 31-40.
- Règlement sur les carrières et les sablières, C.Q2, r.2, Éditeur officiel du Québec, 1999.
- Règlement sur les usines de béton bitumineux, C. Q2, r.25, Éditeur officiel du Québec, 1983.
- Robinson, D. W. «Towards a unified system of noise assessment», *J Sound Vib*, 14, 1971, p. 279-298.
- Schwela, D. «WHO Guidelines on Community Noise», Proceedings of the Congress of Noise as a Public Health Problem, Sidney, 2000, p. 475-480.
- Shaw, E. A. G. «Noise environment outdoors and the effects of community noise exposure». *Noise Control Eng*, 44, 3, 1996, p. 109-119.
- Talbott, E. O., L. L. Brink, C. Burks, C. Palmer, R. Engberg, M. Cioletti et C. Inman. «Occupational noise exposure, use of hearing protectors over time and the risk of high blood pressure: the results of a case-control study», Proceedings InterNoise, 1996, p. 2131-2136.
- Teichner, W. H., E. Arees et R. Reilly. «Noise and human performance: a psychological approach», *Ergonomics*, 6, 1963, p. 83-97.
- Tempest, W. (rédacteur). *The Noise Handbook*, London, Academic Press, 1985.
- Thiery, L. et Meyer-Bisch. «Hearing loss due to partly impulsive industrial noise exposure at levels between 87 and 90 dBA», *J Acoust Soc Am*, 84, 1988, p. 651-659.
- Thiessen, G. J. «Disturbance of sleep by noise», *J Acoust Soc Am*, 64, 1978, p. 216-22.
- Thompson, S. «Noise auditory health effects of noise: updated review», Proceedings InterNoise 1992, vol.4, 1992, p. 2177-2182.
- UNCED. «Agenda 21», United Nations Conference on Environment and Development, Conches, Suisse, 1992.
- Vallet, M. «Night aircraft noise index and sleep research results». Proceedings InterNoise, vol. 1, 1991, p. 207-211.
- Vallet, M. «Annoyance, Sleep disturbance, stress and psychiatric disorders», Proceedings of the 15th International Conference in Acoustics, Trondheim, 1995, p. 319-322.
- Vallet, M., J. M. Gagneux, V. Blanchet, B. Favre et G. Labiale. «Long term sleep disturbance due to traffic noise», *J Sound Vib*, 90, 1983, p. 173-191.
- Watkins, G., A. Tarnopolsky et L. M. Jenkins. «Aircraft noise and mental health: II. Use of medicines and health care services», *Psychol Med*, 11, 1981, p. 155-168.
- Webster, J. C. «Effects of noise on speech», dans C. M. Harris (rédacteur) *Handbook of noise control*, 2^e édition, McGraw-Hill, New York, chap. 14, 1979.
- Weinstein, N. D. «Human evaluations of environmental noise», dans K. H. Craik et E. H. Zube (rédacteurs) *Perceiving environmental quality*, Plenum Press, New York, 1976.
- Weinstein, N. D. «Community noise problems: evidence against adaptation», *J Environ Psychol*, 2, 1982, p. 87-97.
- WHO. «Guidelines for community noise», B. Berglund, T Lindvall, D. Schwela et K. T Goh (rédacteurs), World Health Organization, Genève, Institute of Environmental Epidemiology, WHO Collaborating Center for Environmental Epidemiology, Ministry of the Environment, Singapour, 2000.
- Zhao, Y M., S. Z. Zhang, S. Spear et R. C. Spear. *Br J Ind Med*, 4, 1991, p. 179-184.

