

ATTÉNUATION DU BRUIT ROUTIER EN

MILIEU RÉSIDENTIEL DENSE

Revue et analyse de la littérature

(rapport final)

**Université de Montréal
C.P. 6128, succursale Centre-Ville
Montréal (Québec) H3C 3J7**

Octobre 1997

MEMBRES DE L'ÉQUIPE DE RECHERCHE:

Chercheurs principaux et co-chargés de projet:

Pierre André, Ph.D. (Département de géographie, Faculté des arts et des sciences)

Jean-Pierre Gagné, Ph.D. (École d'orthophonie et d'audiologie, Faculté de médecine)

Chercheurs collaborateurs:

Gérard Beaudet, M.Urb. (Institut d'urbanisme, Faculté de l'aménagement)

El Bachir Belhadji, Ph.D. (Dépt. des sciences économiques, Faculté des arts et des sciences)

Jacques Bergeron, Ph.D. (Département de psychologie, Faculté des arts et des sciences)

Isabeau Four, postulante au Ph.D. (Dépt. d'anthropologie, Faculté des arts et des sciences)

Bhawan Singh, Ph.D. (Département de géographie, Faculté des arts et des sciences)

Jean-Pierre Thouez, Ph.D. (Département de géographie, Faculté des arts et des sciences)

Agents de recherche:

Éric Fortin, M.Sc. (coordonnateur)

Julie Roy, M.O.A.

Mikaël Berthelot, M.Sc.

Martin Fortin, M.O.A.

Auxiliaire de recherche:

Kim Lee Monday

PROMOTEUR DU PROJET DE RECHERCHE ET DÉVELOPPEMENT:

Ministère des Transports du Québec, Direction de l'île-de-Montréal, Service Inventaires et Plan
de contrat: 1220-96-RF01

de projet de recherche et développement: R201-1

Responsables au Ministère:

Jean-Michel Boisvert, urbaniste

Line Gamache, ingénieure

MEMBRES DU COMITÉ DE SUPERVISION:

René Bouchard (Société d'habitation du Québec)

Luc Boutin (Hydro-Québec)

Mario Casseti (MTQ - Québec)

Francine Leduc (Ville de Montréal)

Daniel Trottier (MTQ - Québec)

EXEMPLE DE CITATION POUR RÉFÉRENCE:

André, P., Gagné, J.P. (1997). *Atténuation du bruit routier en milieu résidentiel dense. Revue et analyse de la littérature (rapport final)*. Rapport de recherche produit pour le compte du ministère des Transports du Québec: 127 pages + annexes.

AVERTISSEMENT

Le présent document est une revue commentée de la littérature suivi d'une analyse sommaire. Il n'a pas la prétention de présenter le contenu complet des divers documents cités. Il a au contraire pour objectif de présenter un ensemble de points de vue et d'informations afin de donner un aperçu global, puis de diriger, s'il y lieu, le lecteur vers les documents cités. Ainsi, pour une information complète sur un thème précis, le lecteur doit se référer aux documents cités.

SOMMAIRE

Ce rapport constitue la première étape d'un vaste projet lancé par le ministère des Transports du Québec sur l'atténuation du bruit routier en milieu résidentiel dense, et consiste en une revue suivie d'une analyse de la problématique générale du bruit routier. Le projet comprendra éventuellement deux autres volets: une analyse de cas (projet de raccordement de l'autoroute 720 à l'autoroute 25) ayant pour but de développer une démarche spécifique dans la recherche d'alternatives de lutte contre le bruit, puis l'élaboration d'un guide méthodologique devant préciser les étapes requises pour identifier une stratégie d'intervention conforme aux objectifs poursuivis.

Ce document fait d'abord un bref rappel des objectifs du projet de recherche ainsi que du contexte institutionnel dans lequel il s'inscrit. Il présente ensuite la démarche méthodologique qui a été suivie pour réaliser la revue de littérature et, enfin, l'analyse de la problématique du bruit routier à travers celle-ci. L'analyse de la revue de littérature est divisée en cinq parties. La première s'attarde à la dispersion spatiale du bruit routier, plus spécifiquement aux caractéristiques générales du son, aux facteurs influençant la propagation sonore en milieu extérieur et au rôle des obstacles sur la propagation. Les effets du bruit routier sont abordés dans un second temps. Ils sont de trois ordres: effets sur la santé physique et mentale, sur la qualité de vie et sur les données socio-économiques. Les techniques de lutte au bruit de la circulation routière sont ensuite présentées: réduction du bruit à la source, régulation du trafic, écrans acoustiques, isolation des façades. La section suivante concerne les stratégies de lutte au bruit de la circulation. La dernière partie traite de l'expérience québécoise en matière d'infrastructures routières et de lutte contre le bruit.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX	viii
LISTE DES FIGURES	ix
LEXIQUE	x
CHAPITRE 1: INTRODUCTION	1
CHAPITRE 2: LES OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE	3
CHAPITRE 3: LE CONTEXTE INSTITUTIONNEL	5
3.1 Les orientations du gouvernement du Québec en matière d'aménagement du territoire	6
3.2 La Loi sur la sécurité des véhicules automobiles du Canada	7
3.3 Le Code de sécurité routière du Québec	7
3.4 La Loi québécoise sur la qualité de l'environnement	8
3.5 La Loi québécoise des cités et villes et le Code municipal du Québec	9
3.6 La Loi québécoise sur l'aménagement et l'urbanisme	10
3.6.1 Le schéma d'aménagement	11
3.6.2 Le plan d'urbanisme	11
3.6.3 Le programme particulier d'urbanisme	12
3.6.4 Les règlements d'urbanisme	12
3.7 La pratique du ministère des Transports du Québec	15
3.7.1 L'avis ministériel	15
3.7.2 Les plans de transport régionaux	15
3.7.3 La politique sur l'environnement du ministère des Transports	16
3.7.4 La politique sur le bruit routier	17
3.7.4.1 L'approche correctrice	17
3.7.4.2 L'approche de planification intégrée	18
3.7.5 Les normes du ministère des Transports	18
3.7.6 Le traitement des plaintes	19
3.8 Les interventions antérieures du ministère des Transports	20
3.9 Autres organismes	20

TABLE DES MATIÈRES (suite)

CHAPITRE 4: LA MÉTHODOLOGIE DE LA REVUE DE LITTÉRATURE	21
4.1 Le choix des mots-clés	21
4.2 L'élaboration du plan du rapport	21
4.3 La recherche bibliographique	22
4.4 L'élaboration de la grille de lecture	24
4.5 La réalisation de la revue de littérature	24
CHAPITRE 5: LA REVUE ET L'ANALYSE DE LA LITTÉRATURE	25
5.1 La dispersion spatiale du bruit routier	25
5.1.1 Les caractéristiques générales du son	25
5.1.2 Caractérisation de la propagation sonore en milieu extérieur	29
5.1.3 L'influence des obstacles sur la propagation sonore	30
5.1.4 Résumé	33
5.2 Les effets du bruit routier	34
5.2.1 Le bruit et la santé	34
5.2.1.1 Les effets sur l'audition	34
5.2.1.2 Les effets sur le sommeil	35
5.2.1.3 Les effets psychophysiologiques	41
5.2.1.4 Les effets sur la santé mentale	42
5.2.1.5 Les effets sur les performances	44
5.2.1.6 Les effets sur la communication	46
5.2.1.7 Résumé	47
5.2.2 Le bruit et la qualité de vie	48
5.2.2.1 Les nuisances perçues par la population résidante	49
5.2.2.2 Les comportements induits par le bruit	51
5.2.2.3 Les facteurs modulants	52
5.2.2.4 Résumé	53

TABLE DES MATIÈRES (suite)

5.2.3	Le bruit et l'aspect socio-économique	53
5.2.3.1	Approches par évaluation	54
5.2.3.2	Approche hédoniste des valeurs des propriétés	55
5.2.3.3	Aide à la décision	58
5.2.3.4	Résumé	59
5.3	Les techniques de lutte au bruit de la circulation routière	60
5.3.1	La réduction du bruit à la source	60
5.3.2	La régulation du trafic routier	63
5.3.3	Les mesures physiques de réduction du bruit	65
5.3.3.1	Les écrans acoustiques naturels	65
5.3.3.2	Les écrans acoustiques artificiels	66
5.3.3.3	L'isolation des façades	78
5.3.4	La problématique microclimatique associée aux abords des infrastructures routières	82
5.3.5	Résumé	84
5.4	Les stratégies de lutte au bruit de la circulation	85
5.5	L'expérience québécoise	88
CHAPITRE 6: CONCLUSION		101
RÉFÉRENCES		113
ANNEXE I: Liste des mots-clés initiaux		129
ANNEXE II: Niveaux de classement des mots-clés		131
ANNEXE III: Liste des principales banques de données		132
ANNEXE IV: Grille de lecture		139
ANNEXE V: Partie technique sur les aspects économiques du bruit		141

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1: Variables individuelles pouvant moduler les effets du bruit	101
Tableau 2: Les effets reconnus sur la santé physique et mentale	103
Tableau 3: Les effets du bruit sur les pratiques individuelles	104
Tableau 4: Les effets socio-économiques du bruit	105
Tableau 5: La panoplie des options disponibles dans la résolution des problèmes liés au bruit routier	106
Tableau 6: Avantages et inconvénients associés aux différentes options	107
Tableau 7: Différents critères pour évaluer la performance de la stratégie d'intervention appliquée en milieu résidentiel	111

LISTE DES FIGURES

- Figure 1: Mouvements de compression et de raréfaction d'une onde émanant d'une source sonore, représentés graphiquement et spatialement26
- Figure 2: Divers niveaux sonores quotidiens27
- Figure 3: Moyenne des niveaux équivalents continus en présence d'écrans acoustiques parallèles, en fonction de deux hauteurs de récepteur pour des écrans absorbants et réfléchissants32
- Figure 4: Réactions psychomotrices en fonction du niveau d'activation45

LEXIQUE

Bruit rose: bruit à spectre descendant ayant une pente de 3 dB par octave; cette atténuation est nécessaire à la transmission d'une énergie constante à travers un filtre dont la largeur de bande s'accroît progressivement, doublant pour chaque octave.

Coefficient d'absorption acoustique: rapport entre l'énergie sonore absorbée par une surface et l'énergie sonore incidente sur cette surface; il varie entre 0, surface totalement réfléchissante, et 1, surface totalement absorbante.

dB: rapport entre deux pressions, la pression mesurée et la pression de référence (20 microPascals), exprimé sur une échelle logarithmique.

dB(A): niveau sonore mesuré en utilisant un filtre acoustique, qui permet de faire ressortir les sons de fréquence moyenne et d'atténuer les sons graves et très aigus, imitant ainsi la réaction de l'oreille humaine.

Impédance: opposition au transfert d'énergie sonore; l'impédance est composée de la résistance (absorption ou dissipation de l'énergie sonore lorsque le son traverse un milieu donné) et de la réactance (emmagasinage et réflexion de l'énergie sonore).

L_{10} : niveau atteint ou dépassé 10% du temps durant un intervalle de temps donné (niveau maximum ou L_{Amax}).

L_{50} : niveau atteint ou dépassé 50% du temps durant un intervalle de temps donné (niveau de la médiane).

L_{90} : niveau atteint ou dépassé 90% du temps durant un intervalle de temps donné (niveau du bruit de fond).

L_{eq} : niveau d'un son constant transmettant la même énergie, dans un temps donné, qu'un son fluctuant (L_{Aeq} : L_{eq} pondéré A).

Prévalence: nombre de cas de maladie ou de tout autre événement médical, enregistré dans une population déterminée et englobant aussi bien les nouveaux cas que les anciens.

Chapitre 1

INTRODUCTION

La méthode la plus couramment employée actuellement par le ministère des Transports pour combattre le bruit de la circulation en bordure d'infrastructures routières consiste à insérer un élément physique entre la source d'émission et les résidences (murs et buttes antibruit...), dès que le niveau d'énergie sonore dépasse 55 dBA. Cette technique s'avère généralement performante en matière de réduction du bruit et conviviale en milieu de faible densité (en banlieue par exemple). Cependant, dans une perspective globale et intégrée d'aménagement ainsi que de mise en valeur des ressources, l'utilisation exclusive de cette technique en milieu densément peuplé soulève des questions sur le plan de l'efficacité, de l'équité et de la performance économique.

Afin de répondre à ces questions et, s'il y a lieu, d'optimiser la pratique actuelle ou de faire appel à des approches alternatives, le ministère des Transports du Québec a mandaté l'Université de Montréal pour réaliser un projet de recherche et développement dont la première étape correspond à la présente revue et analyse de la littérature. Une étude de cas (étape 2) et un guide méthodologique (étape 3) suivront si jugés pertinents par le comité de supervision ayant été mis sur pied par le Ministère. Ce comité de supervision est formé des responsables du projet et autres représentants au Ministère (MTQ), ainsi que des représentants issus des organismes suivants: Ville de Montréal, Société d'habitation du Québec et Hydro-Québec.

Le présent rapport (l'analyse de la littérature) constitue donc la première étape de ce projet de recherche et développement. Il a pour but de documenter et de discuter des divers effets directs et indirects du bruit routier, de documenter et de discuter des différentes approches au problème du bruit routier dans une perspective d'aménagement intégré et de participation des acteurs, de documenter et de discuter également des diverses techniques de lutte au bruit, et finalement de présenter sommairement les pratiques actuelles du Ministère en matière d'atténuation du bruit routier, les politiques ministérielles en vigueur et les orientations du gouvernement en matière d'aménagement.

Chapitre 2

LES OBJECTIFS DU PROJET DE RECHERCHE

Le projet de recherche et développement a pour objectif général de vérifier les possibilités d'optimiser les pratiques actuelles et d'identifier des stratégies alternatives d'intervention en matière d'atténuation des effets du bruit routier en milieu résidentiel de moyenne et haute densité, conformes aux orientations du gouvernement en matière d'aménagement.

Plus spécifiquement, le projet a pour objectifs d'élaborer une méthodologie applicable à divers types d'environnement urbain de moyenne et haute densité, ainsi qu'à des infrastructures routières existantes ou projetées; et à partir de cette méthodologie, d'identifier des interventions:

- efficaces, afin d'assurer une meilleure adéquation entre, d'une part, les attentes et les comportements des acteurs locaux, et d'autre part, les effets induits sur le plan de la qualité de vie et de la santé;
- équitables, afin de répartir les bénéfices et les inconvénients entre tous les acteurs affectés;
- dont le retour sur l'investissement est important pour la société;
- dont la fiabilité et la durabilité sont équivalentes ou supérieures aux techniques actuellement utilisées par le Ministère.

Finalement, la méthodologie doit être d'utilisation rapide et aisée. Elle doit également faire appel à des techniques disponibles au Québec.

Chapitre 3

LE CONTEXTE INSTITUTIONNEL

La problématique du bruit le long des corridors routiers s'inscrit dans un cadre institutionnel complexe partagé entre divers paliers de gouvernement, divers ministères et organismes publics.

D'une part, la problématique du bruit routier se situe dans l'ensemble plus vaste des préoccupations du gouvernement en matière d'aménagement du territoire. Et, d'autre part, les pouvoirs réglementaires pouvant directement ou indirectement encadrer ou prendre en charge la problématique du bruit sont au nombre de cinq, soit:

- la *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles du Canada*;
- le *Code québécois de sécurité routière*;
- la *Loi québécoise des cités et villes* et le *Code municipal*;
- la *Loi québécoise sur la qualité de l'environnement* et sa réglementation;
- la *Loi québécoise sur l'aménagement et l'urbanisme* et les pouvoirs réglementaires accordés aux municipalités régionales de comté et aux municipalités (schéma d'aménagement, plan d'urbanisme, règlements de lotissement, règlement de zonage, règlement de construction, plan particulier d'urbanisme, etc.).

Plus spécifiquement sous la responsabilité du Ministère, il faut souligner sa politique sur l'environnement, sa politique sur le bruit routier, les normes applicables aux ouvrages routiers et la procédure de traitement des plaintes.

Notons que divers autres pouvoirs ont un effet direct ou indirect sur les niveaux de bruit routier ressentis, notamment ceux découlant de la *Loi sur les économies d'énergie* (isolation thermique et ventilation des immeubles) et ceux ayant trait au pouvoir d'accorder une aide financière à la rénovation.

3.1 Les orientations du gouvernement du Québec en matière d'aménagement du territoire

Dans le cadre de la révision des schémas d'aménagement entreprise par les MRC, conformément aux exigences de la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*, le gouvernement a eu l'occasion de faire connaître les orientations que lui, ses ministères et mandataires, ainsi que les organismes publics, entendent poursuivre en matière d'aménagement. Ces orientations sont présentées dans un document intitulé «Les orientations du gouvernement en matière d'aménagement»¹. Ce document sert de toile de fond pour l'élaboration des avis gouvernementaux à l'égard des schémas d'aménagement révisés. Il intègre les orientations des ministères et des organismes gouvernementaux. Il pose les principes de l'engagement gouvernemental en matière d'aménagement du territoire. Enfin, il explicite les lignes directrices de l'action gouvernementale sur le territoire. Le gouvernement n'est pas le seul acteur en matière d'aménagement; les orientations gouvernementales concernent non seulement le gouvernement mais aussi les MRC et les municipalités.

Les orientations du gouvernement sont regroupées sous trois grands titres, soit «La gestion de l'urbanisation», «Un aménagement du territoire propre à déterminer une mise en valeur intégrée des ressources» et «Le renforcement des structures municipales». Sous le titre «La gestion de l'urbanisation», lequel regroupe les orientations particulièrement pertinentes pour la problématique du bruit routier en milieu résidentiel dense, le gouvernement a retenu dix orientations:

- Privilégier la consolidation des zones urbaines existantes et donner la priorité à la revitalisation des centre-villes et des secteurs anciens.
- Orienter l'extension urbaine dans les parties du territoire pouvant accueillir le développement de façon économique dans le respect de l'environnement.
- Favoriser une approche intégrée du développement pour l'ensemble d'une agglomération urbaine.
- Maintenir et améliorer les équipements et les services collectifs en maximisant leurs retombées sur le milieu urbanisé.
- Améliorer les conditions de l'habitat et les adapter au contexte socio-économique.

¹ *Les orientations du gouvernement en matière d'aménagement du territoire*. Ministère des Affaires municipales, gouvernement du Québec. 1994. 89 pages.

- Protéger, réhabiliter et mettre en valeur le cadre bâti, les espaces publics et éléments du milieu naturel en milieu urbanisé.
- Contribuer à la santé et au bien-être publics ainsi qu'à la protection de l'environnement par une meilleure harmonisation des usages.
- Optimiser, par la planification des espaces industriels et commerciaux, les retombées des investissements publics et privés consentis.
- Arrimer aux objectifs d'aménagement du territoire et de protection de l'environnement la planification des infrastructures et des équipements à caractère public et assurer leur viabilité.

Chacune de ces orientations est suivie d'une mise en contexte et des attentes gouvernementales subséquentes.

3.2 La Loi sur la sécurité des véhicules automobiles du Canada

Le gouvernement fédéral, par la *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles du Canada*, prescrit des normes d'émission sonore que les constructeurs automobiles doivent respecter (CANADA, *Loi sur la sécurité des véhicules automobiles du Canada*, L.R.C., c. M-10, section 1106: Bruit).

3.3 Le Code de sécurité routière du Québec

Le gouvernement du Québec, pour sa part, oblige tout véhicule motorisé à se pourvoir d'un silencieux et d'un système d'échappement en bon état, conformes à toute réglementation applicable au Québec relativement au bruit en vertu de l'article 233 du *Code de la sécurité routière* (L.R.Q., c. C-24-1). L'article 273 du même code permet de plus au gouvernement de prescrire des normes de fabrication, d'installation, d'utilisation et de vente des silencieux.

Le *Code de la sécurité routière* (L.R.Q., c. C-24.2) accorde également des pouvoirs aux municipalités en ce qui a trait à la gestion de la circulation. Le *Code de la sécurité routière* prévoit ceci:

a.626: Une municipalité peut, par règlement ou ordonnance:

[...] 5° prohiber, avec ou sans exception, la circulation de tout véhicule routier dans les chemins et pour la période qu'elle indique, pourvu qu'elle laisse à l'usage de ces véhicules des chemins qui leur permettent de traverser le territoire de la municipalité et que cette prohibition, cet usage et le parcours à suivre soient indiqués par une signalisation ou par un officier de circulation;

[...] 9° établir des règles concernant la circulation des convois routiers sur les chemins publics dont l'entretien est sous sa responsabilité [...]

3.4 La Loi québécoise sur la qualité de l'environnement

Pour sa part, le ministère de l'Environnement et de la Faune a comme responsabilité «d'assurer, dans une perspective de développement durable, la protection de l'environnement ainsi que la conservation et la mise en valeur de la faune et de son habitat» (L.R.Q., chap. M-15.2.1). Il doit élaborer et proposer des politiques visant notamment:

«2° la prévention, la réduction ou la suppression de la contamination de l'eau, de l'air et du sol;...»

Il faut souligner que le bruit est ici considéré comme un contaminant. Le Ministère administre aussi la *Loi sur la qualité de l'environnement* (L.R.Q., chap. Q-2) dont la section X mentionne:

a.94: «Le ministre a pour fonctions de surveiller et de contrôler le bruit. À cette fin il peut construire, ériger, installer et exploiter tout système ou tout équipement nécessaire dans toute municipalité. Il peut également acquérir de gré à gré ou par expropriation tout immeuble requis et conclure toute entente avec toute personne ou municipalité.»

a.95: «Le gouvernement peut adopter des règlements pour: c) prescrire des normes relatives à l'intensité du bruit.»

Cependant, il n'existe actuellement aucune réglementation en matière de bruit routier au Québec découlant de l'application de la *Loi sur la qualité de l'environnement*. Il faut souligner que l'article 31 (section IV.1) prévoit, pour certains types de travaux, l'émission d'un certificat d'autorisation requérant le dépôt d'une étude d'impact sur l'environnement conforme à la directive émise par le ministre de l'Environnement. Cette directive peut comprendre des exigences en ce qui a trait au bruit routier. La délivrance du certificat d'autorisation peut comporter des conditions

de réalisation des travaux ou du projet relatives au bruit routier. Les standards exigés dans le cadre d'études d'impact réfèrent le plus souvent à des standards généralement acceptés par la communauté scientifique et les agences internationales.

3.5 La Loi québécoise des cités et villes et le Code municipal du Québec

La *Loi sur les cités et villes* (L.R.Q., c. C-19) accorde aux municipalités le pouvoir de sanctionner l'usage de véhicules bruyants:

a.415: Le conseil peut faire des règlements:

[...] 35° pour réglementer ou défendre l'usage de voitures bruyantes dans les rues et places publiques;

a.463: [...] 4° Pour réglementer ou prohiber l'usage de cloches, carillons, sifflets et autres choses faisant du bruit, ainsi que l'usage de cloches et de sifflets de locomotives et bateaux à vapeur, l'écoulement de la vapeur et l'émission de la fumée, des escarbilles et des étincelles.

Quant aux municipalités régies par le *Code municipal du Québec* (L.R.Q., c. C-27.1), leurs pouvoirs de réglementation dans le domaine du bruit sont moins précis:

a.546: Toute corporation locale peut faire modifier ou abroger des règlements:

1° Pour définir ce qui constitue une nuisance et pour la faire supprimer, ainsi que pour imposer des amendes aux personnes qui créent ou laissent subsister des nuisances.

Les municipalités utilisent généralement leurs pouvoirs pour interdire les véhicules bruyants ou tout bruit intense, prolongé, excessif ou inutile afin d'assurer la paix ou la tranquillité de leur population résidante. En outre, la *Loi sur les cités et villes* et le *Code de la sécurité routière* (L.R.Q., c. C-24.2) accordent des pouvoirs aux municipalités en ce qui a trait à la gestion de la circulation. La *Loi sur les cités et villes* prévoit ceci:

a.415: Le conseil peut faire des règlements:

[...] 30° Pour réglementer l'usage des bicyclettes et des automobiles dans les limites de la municipalité, et les empêcher de circuler sur certaines rues, sujet, en ce qui concerne les automobiles, aux dispositions contenues dans le Code de sécurité routière (chapitre C-24.2) [...]

Le *Code de la sécurité routière* prévoit ce qui suit:

a.626: Une municipalité peut, par règlement ou ordonnance:

[...] 5° prohiber, avec ou sans exception, la circulation de tout véhicule routier dans les chemins et pour la période qu'elle indique, pourvu qu'elle laisse à l'usage de ces véhicules des chemins qui leur permettent de traverser le territoire de la municipalité et que cette prohibition, cet usage et le parcours à suivre soient indiqués par une signalisation ou par un officier de circulation;

[...] 9° établir des règles concernant la circulation des convois routiers sur les chemins publics dont l'entretien est sous sa responsabilité [...]

Ces pouvoirs permettent de restreindre l'usage de certains types de véhicules (camions, motocyclettes, etc.), à certaines heures et dans certains lieux. Des municipalités ont ainsi établi des parcours précis pour le camionnage en transit sur leur territoire (réseau de camionnage). Cette mesure permet de regrouper certains types de véhicules sur des artères dont les activités riveraines sont moins sensibles aux nuisances de la circulation, et peut améliorer de façon notable la qualité de vie de la population. Les risques de détérioration de l'environnement sonore à proximité des voies désignées doivent également être considérés si ces pouvoirs sont utilisés uniquement pour la gestion de la circulation.

3.6 La Loi québécoise sur l'aménagement et l'urbanisme

Pour être intégrée à une planification d'ensemble et être soutenue par divers outils légaux et techniques d'aménagement, la problématique du bruit doit être analysée et traitée dès le début de la démarche de planification menant à l'adoption des schémas d'aménagement et des plans d'urbanisme.

3.6.1 Le schéma d'aménagement

La *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* permet la prise en considération du bruit de la circulation routière dans le cadre du schéma d'aménagement et du document complémentaire. En effet, le schéma d'aménagement doit obligatoirement² déterminer les voies de circulation dont la présence actuelle ou projetée dans un lieu fait en sorte que l'occupation du sol, à proximité de ce lieu, est soumise à des contraintes majeures, notamment en raison du bruit généré par la circulation routière³. De plus, le schéma d'aménagement doit comprendre un document complémentaire établissant, dans les zones identifiées précédemment, des règles en matière de zonage ou de lotissement auxquelles doivent se conformer les municipalités dont le territoire est compris dans celui de la MRC⁴.

3.6.2 Le plan d'urbanisme

Généralement plus précis que le schéma d'aménagement et appuyé légalement par les règlements d'urbanisme, le plan d'urbanisme demeure le principal moyen d'intégrer la composante sonore aux divers processus de planification.

Des objectifs de protection de la santé, de la sécurité et du bien-être des citoyens aux prises avec des infrastructures routières bruyantes supposent donc certains choix d'aménagement urbain

² *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* L.R.Q., c. A-19.1, art. 5, al. 1 (5).

³ *Détermination des contraintes de nature anthropique*, ministère des Affaires municipales. Mars 1994. 66 pages

⁴ *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme* L.R.Q., c. A-19.1, art. 5, al. 2 (2)-(3). Ces dispositions peuvent être établies en vue de régir ou de prohiber tous les usages du sol, construction, ouvrages, opérations cadastrales ou certains d'entre eux dans les parties du territoire soumises à un climat sonore déterminé.

particuliers aux abords de ces routes. Les contenus obligatoire et facultatif du plan d'urbanisme⁵ permettent de faire un choix dans un cadre d'analyse plus global.

3.6.3 Le programme particulier d'urbanisme

Le programme particulier d'urbanisme peut être considéré comme un outil de planification de l'aménagement urbain dans toute aire d'aménagement désignée comme telle dans le plan d'urbanisme.

Les raisons justifiant l'adoption d'un tel programme concernent surtout la spécificité du secteur en cause, ainsi que les répercussions qui y sont attendues à la suite de la réalisation d'un projet majeur. L'implantation d'une nouvelle route municipale d'importance ou d'un projet résidentiel dans une partie du territoire où le niveau sonore est élevé en sont des exemples intéressants.

3.6.4 Les règlements d'urbanisme

Les règlements de zonage, de lotissement et de construction, dans les plans d'aménagement d'ensemble et les plans d'implantation et d'intégration architecturale, sont essentiellement des moyens de contrôler l'aménagement du territoire et de mettre en application certains objectifs établis dans le plan d'urbanisme sous la forme de normes et de critères à respecter. Ces mesures, avant tout préventives et qualitatives, permettent d'encadrer certaines des techniques de lutte contre le bruit présentées précédemment.

⁵ *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*, L.R.Q., c. A-19.1, art. 83 et 84.

Le règlement de zonage

Le rôle du règlement de zonage est de diviser le territoire en zones ou en secteurs de zone, en vue d'y contrôler l'usage des terrains et des bâtiments ainsi que l'implantation, la forme et l'apparence des constructions.

Le zonage permet de prendre les mesures suivantes:

- la détermination d'un cadre réglementaire pour l'occupation du sol à proximité d'une source de contraintes majeures;
- la séparation spatiale;
- le contrôle des usages;
- la hauteur des bâtiments;
- la conception architecturale;
- les aménagements particuliers.

Le règlement de lotissement

Le règlement de lotissement a pour but essentiel de spécifier pour chaque zone la dimension des lots ou des terrains par catégories de construction ou d'usage.

De façon plus particulière, le règlement de lotissement, tel qu'il est décrit dans la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*, peut contenir des dispositions sur les objets suivants:

- a.115 4.1° Régir ou prohiber toutes les opérations cadastrales ou certaines d'entre elles, compte tenu de la proximité d'un lieu où la présence actuelle ou projetée, d'une voie de circulation fait en sorte que l'occupation du sol à proximité est soumise à des contraintes majeures pour des raisons de sécurité publique, de santé publique ou de bien-être général.

Le règlement de construction

Les municipalités détiennent certains pouvoirs en matière de réglementation de la construction, dont celui qui leur est accordé par la *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*:

a.118 2° D'établir des normes de résistance, de salubrité et de sécurité ou d'isolation de toute construction.

Nombre de municipalités se basent sur les exigences des codes canadien ou québécois. Notons toutefois que ces codes ne comportent aucune exigence en matière d'insonorisation en ce qui concerne les bruits provenant de l'extérieur.

Le règlement sur les plans d'aménagement d'ensemble (PAE)

L'identification, dans le règlement sur les plans d'aménagement d'ensemble (PAE)⁶, des zones devant faire l'objet d'une planification détaillée par les propriétaires permet à la municipalité d'assurer un développement cohérent et durable de ces parties de territoire, et ce, avant toute modification des règlements d'urbanisme.

Le règlement sur les plans d'implantation et d'intégration architecturale (PIA)

L'identification, dans le règlement sur les plans d'implantation et d'intégration architecturale (PIA)⁷, de certains territoires ou catégories de projets devant faire l'objet d'une évaluation qualitative au moment d'une demande de permis ou de certificat, permet à la municipalité d'assurer la qualité de l'implantation et de l'intégration architecturale en tenant compte des particularités de chaque situation.

⁶ *Loi sur l'aménagement et l'urbanisme*, L.R.Q., c. A-19.1, art. 145.9.

⁷ *Id.*, art. 145.15.

3.7 La pratique du ministère des Transports du Québec

La pratique du Ministère en matière de bruit intervient à six moments différents, soit lors de l'envoi d'un avis ministériel impliquant la révision des schémas d'aménagement, lors de la préparation des plans de transport, lors de l'application de sa politique sur l'environnement, lors de l'application de sa politique sur le bruit routier, lors de l'intégration des normes applicables aux ouvrages routiers, et enfin, lors du traitement des plaintes.

3.7.1 L'avis ministériel

Lors de la révision des schémas d'aménagement des municipalités régionales de comté, le ministre des transports émet un avis traitant de son champ de compétence dans le domaine. Par exemple, le ministre peut demander de tenir compte des nouvelles infrastructures de transport dans le schéma révisé.

3.7.2 Les plans de transport régionaux

Le ministère des transports du Québec, dans le cadre de la préparation des plans de transport régionaux, prend en compte un grand nombre d'éléments dont les différentes problématiques liées à l'environnement et à l'aménagement du territoire. Ces problématiques comprennent notamment celle du bruit routier dans la mesure où elle découle de son champs de compétence.

3.7.3 La politique sur l'environnement du ministère des Transports

Le ministère des Transports a adopté en 1992 une politique sur l'environnement⁸. Cette politique découle du plan stratégique élaboré par Transports Québec pour l'ensemble de ses activités et s'intègre à sa mission. Elle contribue également à atteindre les objectifs de la qualité totale au Ministère. En somme, elle confirme l'importance que le Ministère accorde à l'environnement et officialise le virage environnemental qu'il prend en mettant le cap sur le développement durable, tel que défini par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, aussi connue sous le nom de Commission Brundtland.

La politique sur l'environnement du Ministère s'appuie sur sept principes:

- les responsabilités environnementales, notamment l'application des mesures de restauration, d'atténuation ou de compensation pour améliorer ou mettre en valeur l'environnement, et l'élaboration des plans d'action à cet effet;
- la sécurité et la santé publique, notamment la mise en valeur de la recherche visant à déterminer et à réduire les risques environnementaux;
- l'aménagement du territoire, notamment la prise en compte du caractère spécifique des milieux concernés par les interventions du Ministère, et la mise en valeur du milieu de vie lors de la conception des infrastructures de transport;
- par ses décisions et dans ses activités, le Ministère vise à réduire la consommation énergétique et les impacts environnementaux qui y sont associés;
- les relations avec le public, en consultant et en informant les individus, groupes et organismes de façon objective et constante sur ses politiques et ses projets;
- la recherche et le développement en matière d'environnement lié au transport;
- la législation en matière d'environnement lié au transport.

⁸ *La politique sur l'environnement du ministère des Transports du Québec*. Gouvernement du Québec. 1994. 12 pages.

3.7.4 La politique sur le bruit routier

Le ministère des Transports a adopté en 1996 une politique sur le bruit routier⁹. Cette politique découle de la politique sur l'environnement adoptée en 1994 et elle définit la problématique générale, les moyens légaux d'action, une approche correctrice et une approche de planification intégrée. Comme le texte de la Politique l'indique en page 2, «La Politique sur le bruit routier constitue donc une reconnaissance des responsabilités du Ministère en matière d'environnement et vient préciser les règles sur lesquelles il basera ses interventions ».

3.7.4.1 L'approche correctrice

Dans son approche correctrice, le Ministère précise:

- le partage du coût entre le Ministère et les municipalités pour les mesures à mettre en place;
- les zones sujettes à une intervention et celles exclues;
- la réduction minimale anticipée du bruit routier donné en dBA, soit 7 dBA;
- le cheminement d'un dossier (demande).

Cette approche correctrice applicable aux milieux sensibles (milieu résidentiel et institutionnel) pour lesquelles un permis de construction a été obtenu avant l'entrée en vigueur de la Politique, ne définit aucune approche ou technique particulière. En outre, la Politique ne s'applique que lorsque des zones sensibles comportent des espaces extérieurs qui requièrent un climat sonore propice aux activités humaines (cours d'école, parcs de quartier, etc.).

⁹ *La politique sur le bruit routier*. Ministère des Transports du Québec, gouvernement du Québec. 1996. 10 pages.

3.7.4.2 L'approche de planification intégrée

Dans son 2^{ième} volet, la politique sur le bruit routier s'attarde à la problématique du bruit dans le cadre de nouveaux projets de constructions résidentielles et institutionnelles, incluant les projets récréatifs, ainsi qu'aux projets de nouvelles routes incluant la reconstruction de routes existantes avec augmentation de la capacité ou changement de vocation.

Pour les constructions neuves, la Politique réfère à l'obligation faite aux municipalités d'adopter des dispositions réglementaires pour atténuer les impacts sonores en vertu de la Loi sur l'aménagement et l'urbanisme et prévoit la prise en charge des coûts des mesures d'atténuation par les municipalités.

Pour la construction de nouvelles routes, ou leur reconstruction, la Politique précise que le Ministère assume le coût des mesures d'atténuation. Elle précise également les seuils à partir desquels une intervention est requise sans identifier une technique ou une approche particulière.

3.7.5 Les normes du ministère des Transports

Le ministère des Transports s'est doté de normes pour la conception, la construction et l'entretien du réseau routier. Ces normes¹⁰ représentent la meilleure solution applicable dans la très grande majorité des cas, et constituent une référence pour les cas particuliers où des solutions adaptées doivent être élaborées.

Le chapitre 2 «Cadre environnemental» du tome 1 «Conception routière» du cahier des normes traite spécifiquement du milieu sonore (section 2.6.8 «Protection du milieu sonore»). Cette section définit la norme applicable en matière de protection du milieu. Cette norme ne s'applique cependant qu'aux nouvelles routes et à la reconstruction d'une route existante. La norme retenue

¹⁰ *Normes - Ouvrages routiers*. Ministère des Transports, gouvernement du Québec. 1994.

est de 55 dBA et moins à l'extérieur pour les zones sensibles telles que définies à la sous-section 2.6.8.3 «Zones sensibles en milieu urbain», sauf si le niveau sonore ambiant existant avant le projet est plus élevé. Dans ce cas, le niveau sonore ambiant remplace la norme.

Différentes mesures peuvent être adoptées pour contrôler le bruit lorsqu'il est impossible d'éviter une zone sensible. Ces mesures touchent:

- l'émission sonore à la source (le véhicule);
- l'infrastructure routière;
- les protections sonores: espaces tampons; végétation; écrans antibruit (butte, mur ou combinaison des deux).

Le tome IV «Abords de route» des normes du Ministère traite spécifiquement des écrans antibruit. Le chapitre 7 de ce tome, en vigueur depuis juin 1994, présente notamment des principes en matière de protection du milieu sur le plan sonore, des principes généraux d'acoustique, des principes généraux de conception des écrans antibruit (matériaux, sécurité, entretien, structure, et insertion visuelle). Ce chapitre décrit également quelques types d'écrans comme, par exemple, les buttes de terre, les murs acoustique ou encore la combinaison de ces derniers.

3.7.6 Le traitement des plaintes

Le ministère des Transports du Québec intervient en matière de bruit routier par le biais du traitement de plaintes particulières qui lui sont déposées.

Une plainte est recevable, selon les critères du Ministère, si le niveau sonore équivalent mesuré sur une période de 24 heures ($L_{eq,24h}$) à la première rangée de maisons est supérieur ou égal à 65 dBA.

À l'heure actuelle, toute zone polluée par le bruit routier peut bénéficier de mesures d'atténuation même si la construction de cette zone est postérieure à la venue de l'autoroute. Le coût de réalisation de ces mesures est partagé à parts égales entre la municipalité et le Ministère.

3.8 Les interventions antérieures du ministère des Transports

Le Ministère aurait réalisé en tout 14 projets d'atténuation du bruit routier en ayant recours à des écrans pour une longueur totale d'environ 20 km et 4 projets en utilisant des pavages moins bruyants. La première intervention du Ministère remonte à 1981 à Trois-Rivière (autoroute 40), soit un mur de quelques centaines de mètres.

3.9 Autres organismes

Finalement d'autres organismes peuvent, dans les limites de leur champ propre d'activités, prendre en compte la problématique du bruit routier. Il faut mentionner la Société d'habitation du Québec (SHQ) et la Société canadienne d'hypothèque et de logement (SCHL).

Chapitre 4

LA MÉTHODOLOGIE DE LA REVUE DE LITTÉRATURE

Cette section présente la démarche méthodologique suivie pour la revue de littérature. Elle est divisée en cinq parties: le choix des mots-clés, l'élaboration du plan du rapport, la recherche bibliographique, l'élaboration de la grille de lecture et la réalisation de la revue de littérature.

4.1 Le choix des mots-clés

Après avoir consulté quelques documents qui étaient déjà en notre possession (**Lambert et Simonnet**, 1980; **Québec**, 1996a; **OCDE**, 1995; **Berglund et Lindvall**, 1995), nous avons élaboré une première liste de mots-clés très générale (annexe I). Nous avons ensuite conservé les mots qui revenaient le plus souvent, et les avons divisés en trois niveaux de classement (annexe II). Le premier niveau identifiait les sources de dérangement; le second rappelait l'existence même de la problématique; le troisième ciblait les aspects de la vie résidentielle concernés. Cette liste fut envoyée aux chargés de projet et aux chercheurs collaborateurs. Certains mots ont été retirés et d'autres ajoutés. Nous avons principalement retenu les mots-clés suivants: route, road, transport, circulation, traffic, autoroute, highway, automobile, bruit, noise, qualité de vie, quality of life, perception, résidentiel, sleep, écran acoustique, mur antibruit et noise barrier.

4.2 L'élaboration du plan du rapport

À l'aide du devis technique du projet de recherche («Atténuation du bruit routier en milieu résidentiel dense, première étape», présenté par le MTQ à la réunion du lundi 6 mai 1996), nous avons conçu une première version du plan du rapport. Ce plan a été légèrement modifié suite aux

lectures et rencontres avec les chargés de projet, les chercheurs collaborateurs et les responsables du projet au MTQ.

4.3 La recherche bibliographique

a) L'identification des sources de données

Nous avons consulté 25 banques de données sur CD-ROM:

- 23 banques de données regroupant des périodiques et des monographies (à l'Université de Montréal et à la Bibliothèque de Montréal) (annexe III);
- 2 banques de données regroupant les quotidiens suivants: Le Devoir (depuis 1992), La Presse (depuis 1985), Le Soleil (depuis 1992), Le Droit (depuis 1993), The Gazette (depuis 1994).¹¹

Nous avons aussi mené des recherches dans:

- les réseaux informatisés des bibliothèques de l'Université de Montréal (Atrium) et de l'Université du Québec à Montréal (Badadug);
- les micro-fiches répertoriant les thèses canadiennes;
- les publications du gouvernement du Québec (documents concernant les études de cas du Bureau d'audiences publiques sur l'environnement et les politiques du ministère des Transports en matière d'aménagement).

b) Les combinaisons de mots-clés

La recherche par mots-clés s'est effectuée différemment selon les banques de données consultées. Il a été possible, dans certains cas, de faire des combinaisons de mots-clés. En général, les mots

¹¹ Les résultats de la recherche n'ont pas permis de justifier l'ajout d'une section réservée à la revue de presse.

du champ sémantique route (road) ont été reliés entre eux par le mot "ou". Les mots du champ sémantique bruit (noise) et qualité de vie (quality of life) ont aussi été reliés entre eux par le mot "ou". Ces deux sous-groupes ont été liés par le mot "et". Cette démarche a permis d'identifier tous les articles ou monographies contenant à la fois un mot du premier sous-groupe et un mot du second sous-groupe (ex.: "road" et "noise"), en tenant compte des titres des articles ainsi que des sommaires (abstracts). En général, seuls les articles et monographies datant de 1980 à 1996 ont été conservés.

c) La sélection des articles pertinents

À travers toutes ces recherches, nous avons cumulé 6608 titres d'articles ou de monographies. Une première sélection, très générale, a permis de conserver les titres ou les sommaires traitant du bruit et de la route. Ainsi, 1464 titres, soit 22% du nombre initial, ont été retenus. Nous avons procédé par la suite à une seconde sélection, selon la pertinence du titre ou du sommaire (lorsque disponible), ce qui a permis de réduire le nombre de documents à 794, soit 12% du nombre initial. Nous avons regroupé les titres d'articles et de monographies en fonction du plan du rapport, tout en éliminant les documents apparaissant en double ou en triple. Par la suite, nous avons procédé à une troisième sélection basée sur les deux règles suivantes: (1) lorsque plusieurs documents traitaient du même thème, nous ne conservions que les plus récents; (2) lorsque peu de documents étaient trouvés sur un même thème, nous retenions tous les documents, soit ceux qui abordaient aussi le bruit émis par les avions, les trains et l'environnement résidentiel.

La sélection finale inclut 195 articles et 58 monographies trouvés dans les différentes universités de Montréal. Certains documents non disponibles ont été commandés. Toutefois, quelques-uns n'ont pu être consultés puisqu'ils n'étaient toujours pas arrivés lors de l'impression du rapport. Nous en tiendrons compte à l'étape subséquente du projet (étude de cas), s'il y a lieu.

4.4 L'élaboration de la grille de lecture

Afin de nous permettre d'identifier correctement le type de document consulté et de cerner les points importants des différentes études, nous avons élaboré une grille de lecture, soumise ensuite aux chargés de projet. Après quelques modifications, une version finale a été adoptée (annexe IV).

4.5 La réalisation de la revue de littérature

Après lecture des documents, une synthèse des éléments pertinents a été effectuée pour les différents thèmes abordés. Des rencontres avec les chargés de projet ont eu lieu chaque semaine pour faire le point sur l'avancement du rapport. En cours de rédaction, une réunion avec les chercheurs collaborateurs a été convoquée, pendant laquelle nous avons présenté une première ébauche du rapport. Suite à cette réunion, quelques modifications ont été apportées au plan. Enfin, une seconde rencontre a eu lieu avec les chercheurs collaborateurs avant la remise du rapport préliminaire au MTQ.

Chapitre 5

LA REVUE ET L'ANALYSE DE LA LITTÉRATURE

La revue de littérature constitue le corps principal du document. Elle est divisée en six grandes sections. La première concerne les caractéristiques physiques du son et les lois qui régissent sa dispersion spatiale. La seconde section traite des effets du bruit routier reconnus à l'heure actuelle. La troisième section décrit les principales techniques de lutte au bruit de la circulation. Enfin, les sections suivantes font part des principales stratégies d'intervention et de l'expérience québécoise en matière de projets d'infrastructures routières.

5.1 La dispersion spatiale du bruit routier

Cette section cherche à montrer comment le milieu extérieur et les obstacles interagissent sur la propagation sonore. Au préalable, quelques notions permettent de se familiariser avec la dynamique du son.

5.1.1 Les caractéristiques générales du son

Le son peut être défini comme étant une variation de pression, et peut se propager dans différents milieux (air, eau...). Dans le vide, il n'y a aucune propagation de son possible. Pour un milieu donné, deux propriétés régissent la dispersion des ondes sonores: la compressibilité et l'élasticité. De nombreux phénomènes physiques, tels que la propagation de l'onde sonore dans l'air, s'expliquent par la théorie du mouvement ondulatoire. Les vagues de la mer, les ondes radio, les ondes lumineuses en sont d'autres exemples. Dans l'air, les vibrations poussent les molécules dans des mouvements successifs de compression et de raréfaction. Ces déplacements entraînent des

variations du nombre de molécules à certains endroits, pendant qu'ailleurs la pression atmosphérique reste normale. Cette différence de pression est appelée pression acoustique.

Le nombre de mouvements complets de l'onde en une seconde se nomme la fréquence, et s'exprime en cycles par seconde (cps) ou en Hertz (Hz). L'oreille est sensible à des sons variant de 20 à 20 000 Hz (Brüel et Kjaer, 1984). Les sons de fréquence plus élevée deviennent inaudibles pour l'homme, mais sont encore perçus par certains animaux (comme le chien et la chauve-souris).

La longueur d'onde (λ) est la distance entre deux points consécutifs de l'onde où la pression se trouve dans des situations équivalentes (ex.: entre deux sommets consécutifs). La figure 1 illustre les termes abordés ci-haut.

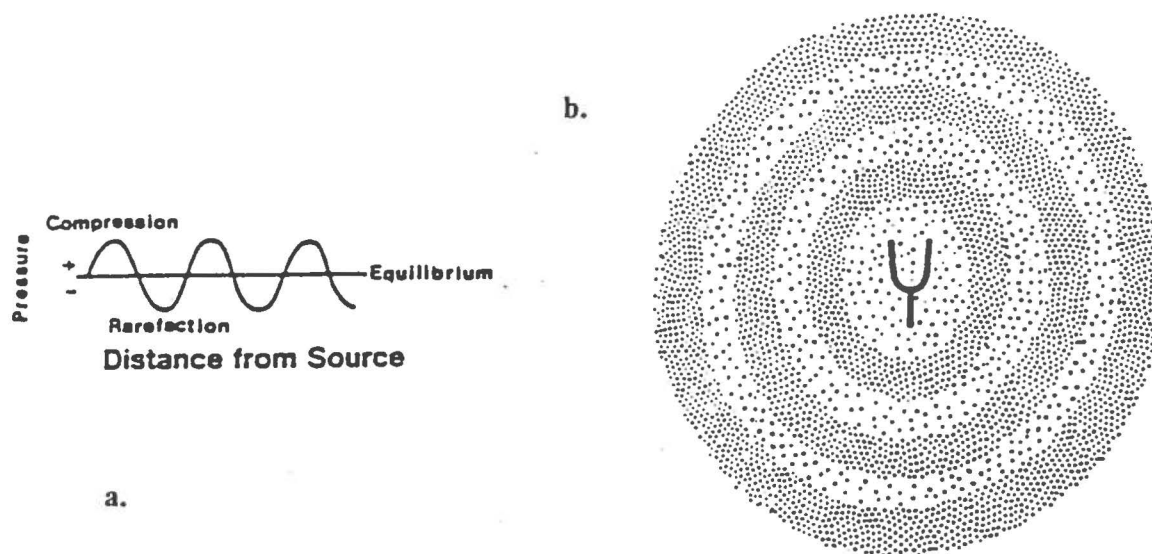


Figure 1. Mouvements de compression et de raréfaction d'une onde émanant d'une source sonore, représentés (a) graphiquement et (b) spatialement (source: Borden et Harris, 1980).

L'intensité est définie en fonction de l'énergie contenue dans une onde sonore. L'amplitude des variations de pression détermine l'intensité du son. L'oreille humaine est capable de détecter d'infimes changements de pression, de l'ordre de 20 microPascals (5 milliards de fois moins que la pression atmosphérique normale). Elle est aussi capable de supporter des pressions un million de fois plus grandes (Brüel et Kjaer, 1984). Une échelle en Pascals nous obligerait à considérer des nombres immenses; c'est pourquoi nous utilisons une échelle logarithmique. Le décibel (dB) est un rapport entre deux pressions: la pression mesurée et la pression de référence (20 microPascals). La figure 2 présente une échelle des niveaux de pression acoustique de différents bruits familiers, exprimés en dB.

QUELQUES NIVEAUX SONORES

HAUT	140 dB	Moteur à réaction (à 25 m)
	130 dB	Moteur d'avion
	120 dB	Perceuse pneumatique
	110 dB	Marteau de forge, usine de béton
	100 dB	Machine à mouler sous pression
	90 dB	Usinage des métaux
	80 dB	Tracteur
	70 dB	Barreau
	60 dB	Conversation
	50 dB	Bruit ambiant
BAS	40 dB	Salle de séjour
	30 dB	Bibliothèque
	20 dB	Chambre à coucher
	10 dB	Forêt, calme

L'unité de mesure du niveau sonore est le décibel (dB). Une atténuation sonore de 10 dB est en général perçue comme une réduction du bruit de 50 % ; si l'on atténue encore ce volume de 10 dB, la réduction sonore perçue du bruit est 75 %, et ainsi de suite.

Figure 2. Divers niveaux sonores quotidiens (source: Sennheiser elektronik KG, 1995).

L'oreille humaine est plus sensible aux sons de fréquence moyenne et élevée qu'aux sons de basse fréquence. Lorsqu'on veut faire ressortir les sons de fréquence moyenne afin d'essayer de traduire la perception des sons par l'humain, on utilise un filtre sonore qui permet d'atténuer les fréquences graves et très aiguës. Les mesures sont alors exprimées en dBA.

Le bruit est défini comme un son nuisible qui crée une sensation auditive désagréable (Poulin, 1987). Pour évaluer une exposition au bruit, on se contente d'une période d'observation variant de quelques minutes à quelques heures. Les niveaux de référence habituellement employés sont L_{90} , L_{50} , L_{10} et L_1 . L_{90} désigne le niveau sonore dépassé pendant 90% du temps de mesure, soit le bruit de fond. L_{50} indique le niveau de la médiane, dépassé 50% du temps. L_{10} signifie que le niveau sonore est dépassé 10% du temps. Enfin, L_1 désigne le niveau du bruit de pointe maximum, dépassé pendant 1% du temps de mesure.

De même, le niveau L_{eq} (niveau de bruit équivalent continu) est souvent employé à des fins pratiques. Il décrit un son variable en le ramenant à un niveau constant pour une période prédéterminée (Poulin, 1987). Des sons de forte intensité peuvent endommager l'oreille humaine de façon permanente (Kryter, 1970). Il est donc important de pouvoir déterminer le potentiel de nocivité d'un environnement sonore. Pour ce faire, il faut connaître le niveau de bruit et la durée d'exposition. Lorsque le niveau de pression acoustique est constant, des mesures prises sur quelques minutes sont suffisantes pour connaître le potentiel de nocivité de l'environnement. Par contre, lorsque les niveaux varient au cours de la journée, plusieurs périodes d'échantillonnage sont nécessaires. À partir de cet ensemble de données, il est possible de calculer une valeur unique: le niveau de bruit continu équivalent. Son contenu énergétique, et ainsi son potentiel de nocivité, sont les mêmes que pour un niveau d'énergie fluctuant (Brüel et Kjaer, 1984).

5.1.2 Caractérisation de la propagation sonore en milieu extérieur

La propagation sonore en milieu extérieur est principalement fonction de la dispersion géométrique, de l'absorption atmosphérique, de l'effet de sol et de la réfraction (Embleton, 1996). Chacun de ces facteurs sera brièvement abordé dans la présente section.

La dispersion géométrique des ondes sonores dépend du type de sources considéré. Les ondes se dispersent de façon sphérique lorsqu'il n'y a qu'une source et que ses dimensions sont petites par rapport à sa distance de réception. La source est alors qualifiée de ponctuelle et le niveau de pression sonore diminue de 6 dB à chaque doublement de la distance. Un avion, un véhicule en marche sont des exemples de sources ponctuelles en mouvement. Les ondes se dispersent de façon cylindrique en présence d'un grand nombre de sources ponctuelles rapprochées les unes des autres. L'ensemble est alors qualifié de source linéaire et le niveau de pression sonore diminue de 3 dB à chaque doublement de la distance. Une série de voitures sur un axe routier constitue un exemple de source linéaire.

L'absorption atmosphérique est causée par une perte d'énergie sonore due à un effet de vibration des molécules d'oxygène et de nitrogène. Son influence diffère principalement selon le pourcentage d'humidité relative et la fréquence. Au-delà de 500 Hz, l'effet est d'au moins 2 dB par km et croît rapidement en fonction de la fréquence (Bass et al., 1990). Toutefois, l'absorption atmosphérique du bruit routier devient significative pour des distances supérieures à 300 m (Rudder et al., 1979).

L'effet d'atténuation du sol agit lorsque les ondes sonores se déplacent plus ou moins horizontalement et près du sol. Son influence dépend de l'angle de l'onde incidente et de l'impédance acoustique du sol. L'angle de l'onde incidente devient plus prononcé à mesure que la source ou le récepteur s'élève au-dessus du sol. Cet effet combiné à un sol de faible impédance a pour conséquence de diminuer l'atténuation sonore. Par exemple, élever le récepteur de 0,02 m à 1,2 m au-dessus d'un sol recouvert de gazon peut diminuer l'atténuation sonore de 15 à 20 dB pour les fréquences supérieures à 800 Hz (Embleton et al., 1976).

La réfraction survient lorsque la vitesse des vents ou celle de la propagation du son est modifiée par les fluctuations de température de l'air. Le jour, lorsque la température au sol est plus élevée que celle de l'air, l'onde sonore est incurvée ou réfractée vers le haut, créant ainsi une zone d'ombre près du sol (avec réduction de l'énergie sonore). La nuit, le phénomène inverse se produit (Wayson et Bowlby, 1990; Hamilton et Harrison, 1991).

D'autres effets climatiques interviennent dans la propagation du son. Les vents descendants peuvent transporter le son sur une grande distance au sol, contrairement aux vents ascendants qui dispersent les ondes sonores dans l'atmosphère; la différence en terme de mesure de bruit peut atteindre 20 à 30 dBA. Enfin, la pluie accentue le bruit causé par le roulement des pneus (Harnapp et Noble, 1987).

5.1.3 L'influence des obstacles sur la propagation sonore

Dans les espaces ouverts, le niveau sonore diminue au fur et à mesure que l'on s'éloigne de la source de bruit. Dans un site fermé, le son émis par la source se propage dans l'air, butte contre un obstacle, revient, butte contre un autre obstacle, etc. (CETUR, 1981). Lorsqu'une onde sonore rencontre un obstacle de dimension finie, deux phénomènes sont susceptibles de se produire, en fonction de la longueur de l'onde et des dimensions de l'obstacle. D'une part, l'onde est renvoyée si sa longueur est petite par rapport à la dimension de l'obstacle; on parle alors de réflexion. L'onde ainsi réfléchie entre en interaction avec l'onde directe, entraînant une augmentation de l'énergie sonore; il y a également formation d'une zone d'ombre de l'autre côté de l'obstacle, accompagnée d'une diminution de l'énergie sonore. D'autre part, l'onde contourne l'obstacle si sa longueur est grande par rapport à la dimension de l'obstacle; on parle alors de diffraction. Quel que soit le phénomène, une partie de l'onde est absorbée, en fonction des matériaux dont est constitué l'obstacle.

La présence d'un obstacle, comme un écran acoustique ou un bâtiment, a pour effet de moduler la propagation sonore, causant ainsi des fluctuations de niveaux de pression sonore plus ou moins

importantes selon les caractéristiques des obstacles, du milieu dans lequel ils se trouvent et du spectre du bruit. L'exemple suivant décrit une situation typique. Supposons un écran acoustique d'une hauteur de 3 m, située à 5 m d'une voie routière dont le point de mesure serait à 30 m derrière l'écran et à 1,2 m du sol. Lorsque le sol de part et d'autre de l'écran est rigide (écran entre une route et un terrain de stationnement pavé), la perte d'énergie sonore est de l'ordre de 12 à 20 dB pour les fréquences situées entre 400 et 4000 Hz. Toutefois, le même écran situé entre une route et un terrain résidentiel recouvert de gazon aura des performances d'atténuation moindres, c'est-à-dire de moins de 10 dB pour la même gamme de fréquences. Cette diminution importante des performances de l'écran est due à une modification de l'effet de sol (Embleton, 1996). Par ailleurs, la présence d'un bâtiment à multiples étages peut augmenter le niveau L_{10} (niveau sonore retrouvé 10% du temps) de l'ordre de 2,5 dBA pour un récepteur situé à 1 m de la façade sans égard à la hauteur de réception. L'augmentation de l'énergie sonore à mesure que l'on s'approche d'un bâtiment à multiples étages est expliquée par les réflexions du bâtiment et du sol (Chew et Lim, 1994).

En présence de deux obstacles, deux scénarios sont possibles: la source et le récepteur peuvent se situer entre les deux obstacles, comme dans le cas de la propagation du bruit urbain entre bâtiments; ou bien le récepteur peut être à l'extérieur du corridor formé par les deux obstacles, comme dans le cas d'écrans acoustiques parallèles près d'une autoroute.

Lorsque deux bâtiments se trouvent de part et d'autre d'une voie routière, le niveau L_{10} peut augmenter de 10 dBA pour un récepteur situé à 1 m de l'une ou l'autre façade sans égard à la hauteur de réception. Cet effet est principalement dû au phénomène de réflexions multiples entre les bâtiments. Plus les constructions sont hautes, plus "l'effet canyon" est important. Il en résulte une augmentation de l'énergie sonore entre les bâtiments, particulièrement lorsque la distance les séparant est petite (Chew et Lim, 1994). D'autre part, Tang et Kuok (1985) ont réalisé une étude sur la distribution verticale du bruit routier entre des édifices de haute taille séparés de 30 m. Ils ont mesuré, pour un niveau sonore L_{10} , une atténuation moyenne de 5,4 dB à 35 m du sol, et de 7,6 dB à 56 m du sol.

Lorsque deux écrans acoustiques parallèles sont implantés près d'une autoroute, on note une dégradation des performances d'atténuation pouvant atteindre 9 dB comparativement à l'utilisation d'un seul écran (Ullrich, 1983, cité dans Bowlby et al., 1987a). Cette dégradation est due aux réflexions multiples entre les écrans. Dans l'exemple montré à la figure 3, la contribution des réflexions multiples s'accroît à mesure que l'on s'élève dans l'espace et que la hauteur des écrans augmente. Ainsi, l'effet de réflexion varie de 3 à 4 dB pour un récepteur situé à 3 m du sol, alors qu'il varie de 0 à 12 dB pour un récepteur placé à 15 m du sol.

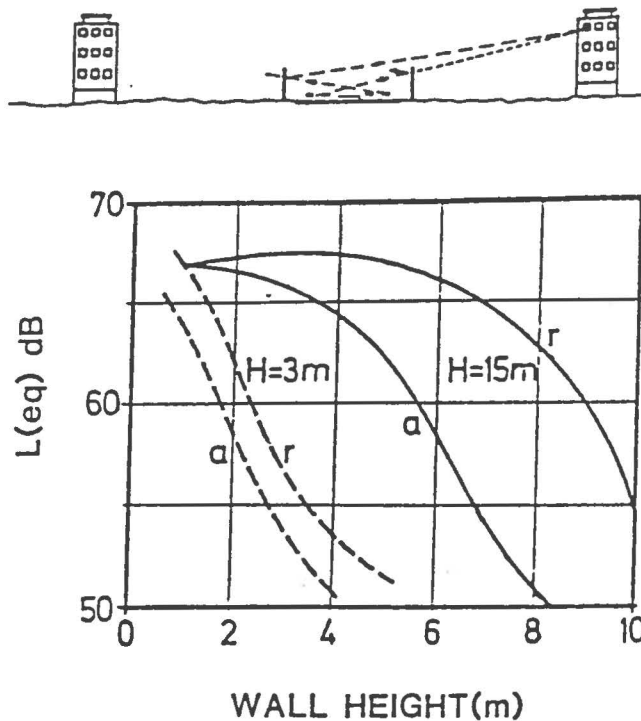


Figure 3: Moyenne des niveaux équivalents continus en présence d'écrans acoustiques parallèles, en fonction de deux hauteurs de récepteur pour des écrans absorbants (a) et réfléchissants (r), où H = hauteur du récepteur au-dessus de la route (source: Reinhold et Burger, cités dans Bowlby et al., 1987a).

Une synthèse des travaux concernant la dégradation des performances des écrans acoustiques parallèles, en bordure des autoroutes, a montré que le phénomène de réflexions multiples pouvait être atténué par l'ajout de matériaux absorbants sur la totalité ou sur une partie de la surface des écrans, ou encore par l'inclinaison de ces derniers (BowIby et al., 1987a). En tenant compte de ces variables physiques et géométriques, ainsi que de plusieurs autres variables acoustiques et topographiques, certains programmes informatiques permettent de faciliter le design des écrans antibruit. Dans le cas de deux écrans parallèles situés de chaque côté de l'autoroute, BowIby et Cohn (1986) précisent que ces programmes s'avèrent des outils de prédiction et d'optimisation valable. Pour sa part, le ministère des Transports du Québec juge que pour les cas d'infrastructures existantes avec des géométries complexes, la méthode informatique doit être utilisée (Québec, 1989). Cependant, il faut mentionner qu'en milieu urbain, le degré de précision de ces programmes demeure faible puisque les conditions d'émission du son et de propagation que l'on y retrouve sont difficiles à simuler (OCDE, 1995).

5.1.4 Résumé

Le son est une variation de pression qui peut se propager dans différents milieux. Le nombre de cycles que parcourt l'onde en une seconde définit sa fréquence. L'humain peut percevoir des sons de 20 à 20 000 Hz. L'intensité du son est mesurée en décibel (dB). On peut aussi l'exprimer en dBA, lorsque le son est filtré pour en faire ressortir les composantes de moyenne fréquence.

Le bruit est défini comme un son nuisible créant une sensation auditive désagréable. Il existe diverses façons de quantifier le niveau d'exposition sonore. La plus connue consiste à calculer une valeur moyenne à partir de plusieurs échantillonnages: le niveau équivalent continu (L_{eq}). Cette valeur décrit un bruit continu ayant le même contenu énergétique qu'un niveau de bruit fluctuant.

Plusieurs facteurs interviennent dans la propagation du son en milieu extérieur: la dispersion géométrique, l'absorption atmosphérique, l'effet de sol et la réfraction. La propagation sonore est

également influencée par la présence d'obstacles, comme les bâtiments ou les murs acoustiques. Il en résulte des fluctuations de niveaux de pression sonore, qui sont plus ou moins importantes selon les caractéristiques des obstacles, du milieu environnant et du spectre du bruit.

5.2 Les effets du bruit routier

Les effets du bruit routier peuvent être ressentis à divers niveaux. Nous les avons divisés selon les trois catégories suivantes: la santé physique et mentale, la qualité de vie et l'aspect socio-économique.

5.2.1 Le bruit et la santé

La revue de littérature nous a permis de déterminer six grands types d'effets sur la santé physique et mentale. Il s'agit des effets sur l'audition, le sommeil, l'aspect psychophysiologique, la santé mentale, les performances et la communication.

5.2.1.1 Les effets sur l'audition

Habituellement, les niveaux de bruit équivalent les plus intenses, mesurés dans les secteurs résidentiels en bordure d'autoroutes ou d'aéroports, se situent entre 65 et 75 dBA (**Berglund et Lindvall, 1995**). Or, **ISO (1990)** considère qu'il n'existe pas de risque de développer une perte d'audition causée par le bruit à des niveaux de bruit équivalent continu de 80 dBA ou moins pendant huit heures. Selon **Berglund et Lindvall (1995)**, il faut plutôt tenir compte de la dose totale de bruit (au travail et à la maison) pour calculer le risque réel.

5.2.1.2 Les effets sur le sommeil

Plusieurs études ont démontré que le bruit du trafic routier peut causer des troubles du sommeil (ex.: **Carter et al.**, 1994; **Hofman et al.**, 1995; **Kawada et Suzuki**, 1995). Par troubles du sommeil, on entend des difficultés à s'endormir, des changements dans les stades du sommeil, un sommeil moins profond, plus d'éveils pendant la nuit et de plus longue durée, plus de mouvements corporels. L'humeur et les performances, dans la journée, peuvent en être affectées. Le bruit de la circulation routière peut être plus ou moins dérangeant selon son intensité et son caractère continu ou intermittent.

a) Les caractéristiques du bruit

Le bruit du trafic routier peut être relativement continu et égal dans le temps, mais il peut aussi s'agir de passages de véhicules lourds produisant des hauts niveaux de bruit de manière intermittente. Certaines études (ex.: **Thiessen**, 1988; **Garcia et al.**, 1992) se sont ainsi intéressées au niveau équivalent de bruit (L_{eq}) en dBA, d'autres au nombre de passages de véhicules (ex.: **Öhrström et Rylander**, 1990) ou encore aux pressions maximales atteintes (ex.: **Carter et al.**, 1994). Une autre recherche (**Arnberg et al.**, 1990) s'est même penchée sur les vibrations produites par les automobiles et les camions. La durée et la fréquence du bruit vont aussi modifier les effets sur le sommeil. Parmi tous ces facteurs, ce sont l'énergie sonore et le caractère intermittent du bruit qui influencent le plus le sommeil, selon **Öhrström et Rylander** (1982). Les niveaux de bruit de la circulation routière sont différents le jour et la nuit, ce qui doit être pris en compte. De plus, pour un même niveau de bruit équivalent le jour, le soir et la nuit, les niveaux maximums de bruit peuvent être différents et induire divers effets (**Björkman**, 1988). Ceux-ci peuvent également varier selon que l'expérimentation a été faite en laboratoire ou sur le terrain. Par exemple, **Stevenson et McKellar** (1989) concluent que les sujets sont de 10 dB moins sensibles aux effets du bruit routier lorsqu'ils sont testés dans leur environnement habituel (leur chambre) plutôt qu'en laboratoire. Les conclusions ou résultats des recherches sont ainsi influencés par les caractéristiques du milieu étudié. **Berglund et Lindvall** (1995) rapportent une recommandation d'ISO selon laquelle le niveau L_{eq} devrait être utilisé pour les études sur le bruit

du trafic routier, même s'il est impossible à l'heure actuelle de tirer de véritables conclusions à partir de cette seule valeur.

b) Les difficultés à s'endormir

Le bruit de la circulation routière a un effet sur le temps nécessaire pour s'endormir. Par exemple, dans le cadre d'une étude menée par **Griefahn** (1986), 36 sujets ont dormi 12 nuits en laboratoire, dans lequel étaient présentés des enregistrements de bruit routier à des niveaux de bruit équivalent variant de 37 à 63,5 dBA. Des différences significatives concernant le temps nécessaire pour s'endormir ont été observées dès 44,5 dBA. Dans une synthèse des recherches réalisées au département d'hygiène environnementale de l'Université de Göteborg (Suède), **Öhrström** et al. (1988) présentent quelques études effectuées en laboratoire ou sur le terrain. Une étude menée sur le terrain montre une différence significative, au niveau du temps pris pour s'endormir, entre des expositions au bruit routier de 72 dBA et de 53 dBA (à l'extérieur). Une seconde étude réalisée en laboratoire rapporte, pour les sujets se disant sensibles au bruit, une augmentation de 45% du temps pris pour s'endormir; l'augmentation est de 13% pour les sujets se disant insensibles au bruit, pour la condition "bruit" (passage de 57 véhicules ayant des niveaux maximums de 58-60 dBA, bruit de fond de 30 dBA) par rapport à la condition "calme" (bruit de fond de 30 dBA).

c) Les changements dans la nature du sommeil

Chez l'humain, le sommeil suit différents stades. Ils peuvent être déterminés à l'aide d'un électro-encéphalogramme (EEG), d'un électro-oculogramme (EOG) et d'un électro-myogramme (EMG), qui mesurent respectivement l'activité électrique du cerveau, des yeux et des muscles. Chaque cycle dure en moyenne 90 minutes et se répète 4 à 5 fois par nuit. Il existe quatre stades, appelés 1,2,3 et 4, et une période nommée REM ("rapid eye movement") durant laquelle on observe principalement une activité électrique des yeux. Le stade 1 est de courte durée et se situe entre l'état d'éveil et le second stade. Ce dernier constitue la moitié du temps de sommeil. Puis suivent les stades 3 et 4. Le quatrième stade représente le sommeil profond. Le stade REM lui

succède. C'est durant cette période que les rêves ont lieu. Les stades 4 et REM constituent les états de sommeil les plus profonds.

Une personne progresse normalement du stade 1 au stade REM avec peu de retours vers l'arrière. **Stevenson et McKellar** (1989) ont observé que plus le bruit du trafic s'amplifie, plus la probabilité de changer de stade de sommeil augmente. Il semble cependant y avoir une certaine adaptation. La probabilité de s'éveiller ou de changer de stade a diminué de moitié après 20 nuits de sommeil avec exposition au bruit. **Griefahn** (1986) arrive à la conclusion qu'une diminution du sommeil REM survient lorsque le niveau équivalent du bruit de la circulation routière atteint 44 dBA. **Arnberg et al.** (1990) ont pour leur part étudié les effets des vibrations sur le sommeil. Ils ont démontré que le cycle du sommeil était modifié de manière significative lors de la condition "vibrations" seulement, et que la durée du stade REM diminuait. Certains auteurs ont étudié l'effet de l'isolation des fenêtres sur le sommeil (**Wilkinson et Campbell**, 1984; **Eberhardt et Akselsson**, 1987). Ils ont observé que les stades 2, 3 et 4 avaient une durée moindre et que le stade 4 était décalé dans le temps lorsque les sujets étaient exposés au bruit.

d) Les éveils durant la nuit

Dans les différentes études, le nombre d'éveils et leur durée sont pris en considération. Ils peuvent être mesurés de deux façons: en demandant la collaboration du sujet (lorsqu'il s'éveille durant la nuit, il doit appuyer sur un bouton), ou en enregistrant l'activité électrique du cerveau à l'aide d'un EEG (passage d'un état de sommeil profond vers un sommeil plus léger). **Griefahn** (1986) a remarqué que non seulement le nombre d'éveils augmentait significativement avec l'élévation des niveaux de bruit routier, mais aussi que les sujets éprouvaient plus de difficultés à s'endormir. Plusieurs études (**Eberhardt et al.**, 1987; **Öhrström et al.**, 1988; **Öhrström et Rylander**, 1990) ont démontré que le nombre d'éveils durant la nuit pouvait doubler lorsque les sujets étaient exposés au bruit du trafic routier. **Eberhardt et al.** (1987) ont notés que la probabilité de s'éveiller diminuait lorsque des bouchons intra-auriculaires étaient utilisés. Aucun effet d'adaptation n'a pu être observé.

e) Les mouvements corporels durant le sommeil

La mesure des mouvements corporels constitue une donnée objective des troubles du sommeil (Muzet et al., 1974, cités dans Berglund et Lindvall, 1995). Les mouvements corporels sont habituellement enregistrés à l'aide d'un accéléromètre (Öhrström et Rylander, 1990; Öhrström et Björkman, 1983). Eberhardt et al. (1987) ont réalisé une expérience avec plusieurs types de bruit du trafic routier. Ils ont observé qu'un bruit continu de 36 ou 45 dBA n'augmentait pas le nombre moyen de mouvements du corps durant la nuit. Toutefois, des bruits intermittents de 45 et 55 dBA induisaient une augmentation significative du nombre de mouvements. Il semble que le nombre moyen de mouvements corporels durant la nuit n'est pas significativement différent dans la condition "calme" par rapport à la condition "bruit". Cependant, le nombre de mouvements du corps dans les minutes suivant les passages de véhicules est lui significativement plus élevé (Öhrström et Björkman, 1988; Öhrström et Rylander, 1990; Öhrström, 1995). Aucun effet d'adaptation n'a été démontré. Öhrström et Björkman (1983) ont observé l'effet engendré par l'isolation des façades des habitations sur les mouvements corporels durant le sommeil. Le niveau de bruit équivalent avant l'isolation était de 35 dBA et après l'isolation de 26 dBA. Ils ont constaté en général une diminution significative du nombre de mouvements du corps après la réduction du bruit.

f) Le rythme cardiaque et la pression sanguine durant le sommeil

Berglund et Lindvall (1995) mentionnent dans leur monographie sur le bruit de la communauté que de faibles niveaux de bruit routier ($40 \text{ dB } L_{A_{\text{max}}}$) peuvent affecter le rythme cardiaque et la pression sanguine. Plusieurs chercheurs ont démontré qu'une exposition au bruit de la circulation routière provoque une augmentation du rythme cardiaque, quoique pas toujours significative (Tulen et al., 1986; Öhrström et Björkman, 1988; Hofman et al., 1995). Carter et al. (1994) n'ont pas établi de relation entre le niveau de bruit équivalent et le rythme cardiaque. Toutefois, ils ont remarqué que le bruit avait un effet sur les arythmies cardiaques chez la moitié des sujets durant le stade 4 du sommeil. Suite à un passage de véhicule, la fréquence des arythmies cardiaques était plus élevée.

g) La qualité subjective du sommeil, l'humeur et les performances

La qualité subjective du sommeil et l'humeur sont habituellement évaluées à l'aide de questionnaires proposés le soir avant de se coucher et/ou le matin en s'éveillant. Les performances sont mesurées au moyen de tests de temps de réaction. La qualité subjective du sommeil semble grandement diminuer lorsque les sujets sont exposés au bruit du trafic routier, même de faible intensité (Griefahn, 1986; Tulen et al., 1986; Eberhardt et Akselsson, 1987; Öhrström et al., 1988; Öhrström et Rylander, 1990; Öhrström, 1995). Eberhardt et al. (1987) concluent que la qualité subjective du sommeil est intimement liée au sommeil REM. Lorsque le temps de sommeil REM est réduit, l'humeur est influencée négativement le jour suivant. Dans les études effectuées sur le terrain, les chercheurs ont constaté une augmentation significative des personnes rapportant une grande fatigue, des maux de tête et des problèmes d'estomac. Ils mentionnent aussi une baisse significative quant au niveau d'humeur. Toutefois, l'humeur n'est pas toujours affectée par l'exposition au bruit du trafic routier. Par exemple, Öhrström et Rylander (1990) n'ont pas noté d'effet sur l'humeur, tandis que Öhrström et al. (1988) avaient observé des changements significatifs d'humeur après une nuit d'exposition au bruit, particulièrement chez les sujets se disant sensibles au bruit. Les performances enregistrées lors de tests de temps de réaction sont peu affectées par une exposition au bruit de la circulation pendant la nuit (Griefahn, 1986; Tulen et al., 1986). Par ailleurs, certains auteurs ont remarqué une diminution, parfois significative, des performances à quelques sous-tests (Wilkinson et Campbell, 1984; Öhrström et al., 1988; Öhrström et Rylander, 1990; Öhrström, 1995). La plupart des auteurs cités attribuent les effets du bruit sur la qualité du sommeil, l'humeur et les performances au nombre de véhicules qui passent durant la nuit plutôt qu'au niveau de pression sonore observé. Il ne semble pas y avoir d'effet d'adaptation.

h) Les effets à long terme sur la santé des troubles du sommeil dus au bruit routier

Berglund et Lindvall (1995) rapportent que même après plusieurs années d'exposition au bruit routier, aucune adaptation complète ne peut être observée. Ils remarquent également que les personnes habitant des quartiers où le bruit extérieur est supérieur à 70 dBA éprouvent plus de

difficultés à s'endormir et font plus souvent usage de somnifères. Les sujets souffrant de troubles du sommeil causés par le bruit routier ont davantage tendance à développer des angines de poitrine et à faire de la haute pression (Ising et Rebentisch, 1993, cités dans Berglund et Lindvall, 1995). Vallet et al. (1983) mentionnent que la majorité des gens ayant longtemps vécu en bordure d'autoroute ont un sommeil de meilleure qualité lorsqu'ils dorment dans un endroit plus calme. Cette amélioration est systématique en ce qui concerne le rythme cardiaque et l'activité électrique du cerveau (réponses enregistrées sur un EEG). Les autres changements sont moins spécifiques et dépendent beaucoup des variations individuelles.

i) Les réactions observées chez certains groupes plus sensibles

Il existe peu d'études concernant la diversité des réactions de certains sous-groupes au bruit de la circulation routière. Rabinowitz et al. (1987) ont noté, d'une part, que les personnes âgées de plus de 50 ans rapportent plus souvent des difficultés à s'endormir que celles de 21 à 50 ans, d'autre part que le pourcentage d'individus qui identifient le bruit comme source principale de dérangement diminue avec l'âge. En effet, en vieillissant, le sommeil devient plus léger (disparition fréquente du stade 4) et par le fait même est plus susceptible d'être troublé par divers stimuli. Cependant, l'acuité auditive diminue avec l'âge, ce qui explique pourquoi le bruit, chez les personnes de 65 ans et plus, n'est cité qu'une fois sur deux comme source principale de dérangement du sommeil, par rapport à trois fois sur quatre pour les plus jeunes. Eberhardt (1988) a étudié les effets du bruit routier sur le sommeil des adultes et des enfants. Il a démontré que les enfants étaient moins sensibles au bruit que les adultes. Ces derniers avaient des réactions d'éveil au passage de véhicules émettant un bruit de 55 dBA, tandis que chez les enfants la même réaction se produisait à 65 dBA. De plus, des effets sur le stade REM du sommeil étaient perceptibles à des niveaux de 45 dBA chez les adultes. Par contre, aucun effet n'était observé chez les enfants à 65 dBA. Berglund et Lindvall (1995) mentionnent que les études prenant en compte les différences en fonction du sexe sont peu concluantes. Garcia et al. (1992) ont réalisé une recherche sur les effets du bruit de la circulation routière sur la santé des femmes au foyer. Les auteurs n'ont pas démontré qu'il existait une relation entre les problèmes de santé des femmes

et le niveau de bruit du trafic routier. **Rabinowitz** et al. (1987) concluent que l'âge est le principal facteur influençant la sensibilité au bruit.

5.2.1.3 Les effets psychophysiologiques

Les travaux sur les effets psychophysiologiques ont porté surtout sur les effets cardio-vasculaires, endocriniens et immunologiques. Il y a très peu d'études concernant les effets du bruit routier sur le stress, même si ce type de bruit est très répandu et reconnu comme étant une grande source de stress et de nuisance (OCDE, 1995). Le bruit engendre d'importantes réactions neuro-végétatives qui se manifestent, en particulier, sur le système cardio-vasculaire. Il en résulte une augmentation du rythme cardiaque. D'autre part, «...il se produit une vasoconstriction des vaisseaux cutanés entraînant une sous-irrigation de l'épiderme dès que le niveau acoustique atteint 70 dB» (**Bergeron**, 1984). Des stimuli auditifs intermittents, imprévisibles ou ayant des pressions maximales variables, peuvent produire des effets plus marqués, même si le niveau de bruit équivalent continu est relativement faible.

En général, les études ne montrent pas de relation significative entre la prévalence des maladies du coeur et le niveau de bruit routier équivalent. **Babisch** et al. (1988, 1993a, 1993b) ont mené une recherche sur plus de 4000 sujets dans deux villes du Royaume-Uni. Ils sont arrivés à la même conclusion pour les deux villes: aucune association ne peut être clairement établie entre la prévalence des troubles cardiaques et le bruit de la circulation routière. Par contre, des différences significatives pour certains facteurs de risque des maladies du coeur ont été mises en évidence. Pour les personnes exposées à des niveaux de bruit compris entre 66 et 70 dBA, le risque relatif de souffrir d'une maladie cardiaque majeure était de 10% plus élevé que pour les personnes exposées à des niveaux de 51 à 55 dBA. Les mêmes auteurs (**Babisch** et al., 1994) ont réalisé une étude identique à Berlin (Allemagne). Les résultats, bien qu'ils ne soient pas significatifs, ont indiqué une légère augmentation du risque de souffrir d'une maladie du coeur, de même que d'ulcères d'estomac, pour une exposition continue à un bruit de 70 dBA et plus.

Une autre étude sur le terrain, effectuée par **Regecovà et Kellerovà** (1995) chez les enfants d'âge préscolaire, montre que ces derniers ont une pression sanguine plus élevée et un rythme cardiaque plus lent lorsqu'ils sont gardés ou demeurent près d'axes routiers importants. Des études en laboratoire (**Parrot et al.**, 1992; **Vera et al.**, 1994) ont permis d'observer que le rythme cardiaque de sujets normaux augmentait lorsqu'ils étaient exposés à des niveaux de 75 à 95 dBA. **Parrot et al.** (1992) ont aussi remarqué que parmi quatre sources de bruit différentes (arme à feu, sonnette, trafic et bruit rose), le bruit de la circulation routière est celui qui provoque la plus importante augmentation du rythme cardiaque pour des niveaux de bruit équivalent.

Peu d'études traitent des effets du bruit routier sur le système neuro-endocrinien. **Soulairac** (1992) mentionne que le bruit en général provoque un état de stress et différentes réactions neuro-endocriniennes. La principale conséquence est l'augmentation de la sécrétion de certaines hormones et de neurotransmetteurs. Ces variations entraînent des modifications au niveau des activités des structures nerveuses centrales qui assurent les régulations endocriniennes et émotionnelles. Des répercussions sur le système immunitaire sont également possibles. Il faut noter enfin que la cessation du bruit ne met pas nécessairement un terme aux troubles engendrés.

Les effets du bruit routier sur les systèmes respiratoire et cardio-vasculaire, sur les réactions de stress, sur les troubles digestifs, ainsi que sur les systèmes immunologique et endocrinien sont difficiles à observer de façon précise. Par ailleurs, on suppose de plus en plus que le bruit a une influence nocive sur la santé à long terme (**Bergeron**, 1984).

5.2.1.4 Les effets sur la santé mentale

Le bruit en général est source de gêne et de nuisance. **Bergeron** (1984) rapporte une étude effectuée en France démontrant que la population place le bruit au premier rang des gênes et nuisances publiques, avant l'insécurité, la pollution atmosphérique et la dégradation de l'environnement visuel. **Stansfeld et al.** (1993) mentionnent que les études sur le bruit routier et le bruit des avions indiquent une augmentation de la gêne avec l'élévation des niveaux de bruit.

Par contre, pour une même exposition à de hauts niveaux de bruit, le nombre de personnes souffrant de dépression, de tension, de troubles du sommeil et d'irritabilité varie selon les différents sous-groupes de population; mais il n'est pas assuré que le bruit soit le seul agent de stress responsable de ces symptômes. Selon Stansfeld et al. (1993), il peut exister un certain biais dans la sélection de la population. Effectivement, on peut supposer que les personnes qui ne supportent pas le bruit n'emménagent pas dans un quartier bruyant ou le quittent si ce dernier le devient. Les individus qui restent sont ceux qui sont résistants aux effets du bruit ou ceux qui n'ont pas les moyens de déménager. Ainsi, d'autres facteurs telles la situation économique, l'éducation et la culture peuvent entrer en ligne de compte.

Des recherches récentes (Stansfeld, 1992; Stansfeld et al., 1993) n'ont pas permis d'établir de lien entre les niveaux de bruit (incluant le bruit du trafic routier) et les désordres psychiatriques. Une association entre la sensibilité au bruit et une tendance à développer des symptômes de détresse psychologique (sentiment dépressif, anxiété, irritabilité et difficulté de concentration) est toutefois mise en évidence autant chez les hommes que chez les femmes. Stansfeld (1992) rapporte également que de 40 à 50% des sujets se considérant comme très sensibles au bruit ont un risque de développer des problèmes psychologiques importants. Cela ne signifie pas pour autant que tous les gens souffrant de désordre psychiatrique ont une très grande sensibilité au bruit, ni que l'ensemble des individus se disant très sensibles au bruit sont atteints de névrose.

Les personnes se disant sensibles au bruit ont des capacités de discrimination sonore plus fines et ont en général davantage conscience du bruit environnant. Il leur est ainsi plus difficile de s'adapter à cet agent de stress, qu'elles trouvent particulièrement menaçant et hors de leur contrôle. La gêne est associée à des symptômes physiques et psychologiques, à des désordres psychiatriques et à une plus grande utilisation des services de santé. La sensibilité au bruit est liée à une vulnérabilité générale aux facteurs de stress environnementaux, à une perception menaçante de l'environnement, à une attitude négative d'envisager la vie, et peut ainsi être considérée comme un indice de vulnérabilité à des désordres psychiatriques mineurs (Stansfeld, 1992).

Une autre méthode, pour évaluer la relation entre les niveaux de bruit et la santé mentale, consiste à examiner la consommation de drogues et de médicaments (tranquillisants, somnifères, narcotiques et barbituriques). **Berglund** et **Lindvall** (1995) font part de deux études contradictoires sur le sujet. La première établit une relation entre habiter un quartier très bruyant (près d'un aéroport) et consommer plus de médicaments; la seconde ne montre pas de lien significatif entre ces deux mêmes variables. Des différences dans la conduite des études et l'interprétation des données pourraient expliquer ces résultats opposés.

5.2.1.5 Les effets sur les performances

Le bruit en général peut interférer avec le travail, les performances, la capacité d'attention et de concentration. **Berglund** et **Lindvall** (1995) rapportent que les tâches demandant une attention soutenue ou une grande capacité de mémorisation sont susceptibles d'être affectées durant une exposition au bruit. Même des bruits de faible ou moyenne intensité, lorsqu'ils ont un caractère intermittent, peuvent influencer négativement les capacités d'attention et de vigilance (**Bergeron**, 1984). Le bruit peut aussi agir comme un agent distrayant. Lors d'une tâche très routinière, la nouveauté du bruit peut avoir un effet positif et tenir la personne en alerte. Cependant, cet effet disparaît lorsque le signal perd son aspect de nouveauté. Le même phénomène peut se produire à l'arrêt d'un bruit familier.

Le bruit peut avoir certains effets positifs. Il peut aider l'individu à canaliser son attention sur une activité particulière (**Bergeron**, 1984). **Broadbent** (cité dans **Bergeron**, 1984) a établi une relation curvilinéaire entre les performances lors d'une tâche psychomotrice et le niveau d'éveil psychophysiologique pendant une exposition sonore. Le bruit, jusqu'à un certain niveau, stimulerait l'individu, ce qui compenserait un manque de sommeil ou de vigilance. Cependant, si l'exposition devient trop élevée, il y a diminution des performances (figure 4).

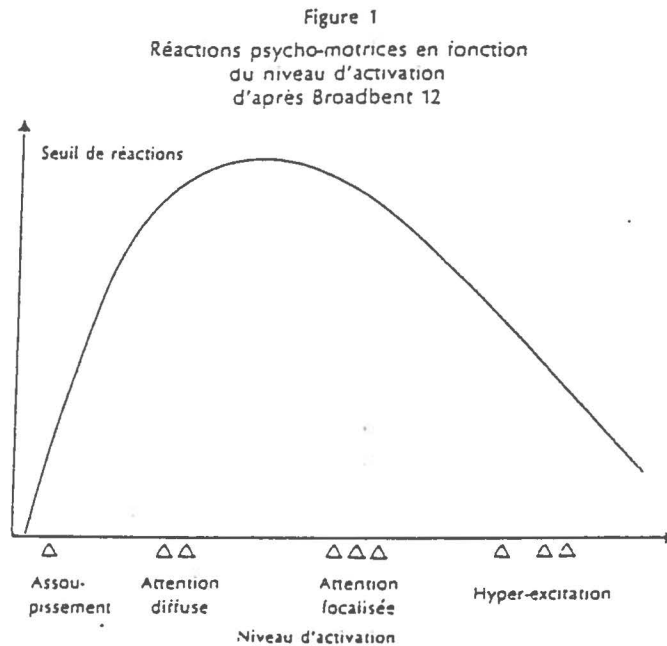


Figure 4. Réactions psychomotrices en fonction du niveau d'activation (source: **Broadbent**, cité dans **Bergeron**, 1984).

Les chercheurs parlent aussi d'effets ultérieurs engendrés par le bruit. **Bergeron** (1984) mentionne que même si le rendement à la tâche n'est pas directement affecté pendant l'exposition au bruit, il peut y avoir des effets nocifs après coup. Par exemple, des sujets sont soumis à différents tests exigeants (casse-tête, résolution de problèmes...). Si cette session d'examens est précédée d'une période de travail (tâches simples) effectuée dans le bruit, la performance quant à la résolution de problèmes plus complexes est affectée sans que celle au travail de bureau le soit.

Quelques études tendent à démontrer l'effet négatif du bruit de la circulation routière sur l'apprentissage. Une recherche effectuée en Espagne (**Sanz et al.**, 1993) chez des élèves de première, troisième et cinquième année du primaire a montré que ceux qui fréquentaient une école moins bruyante avaient une meilleure capacité de concentration. Toutefois, la différence entre les performances n'était significative que pour un groupe d'élèves. Une autre étude (**Egan**

et Reilly, 1981) s'est penchée sur la relation entre la densité du trafic et les performances d'enfants de troisième année à des tests d'anglais. Les résultats indiquent une différence significative entre les performances des enfants. Ceux qui fréquentaient des écoles à proximité desquelles le trafic était élevé (plus de 3300 autos/jour d'école) obtenaient des résultats inférieurs à ceux fréquentant des écoles situées dans les secteurs où le trafic était réduit. Les auteurs associent ces résultats à deux principaux facteurs: le taux de plomb dans l'air et la pollution par le bruit. Berglund et Lindvall (1995) avancent comme hypothèse que les enfants exposés de façon continue au bruit, à l'école ou à la maison, développeraient des déficits de discrimination auditive; pour éviter ce risque, ces auteurs recommandent de ne pas dépasser 35 dBA dans les salles de cours et 55 dBA à l'extérieur (aires de récréation).

On peut supposer aussi que le bruit de la circulation routière a des effets sur le conducteur. En effet, le bruit a un pouvoir masquant; il peut interférer avec certains signaux avertisseurs et gêner la communication. La vision doit compenser ces effets. Il peut y avoir des conséquences sur les capacités d'attention et de vigilance et une augmentation des risques d'accidents (Bergeron, 1984).

5.2.1.6 Les effets sur la communication

Lors d'une conversation, deux personnes se trouvant à une distance d'un mètre l'une de l'autre vont parler à une intensité d'environ 55 dBA (Berglund et Lindvall, 1995). À l'extérieur, pour identifier 100% des mots, la parole doit excéder le bruit ambiant d'au moins 15 à 18 dBA pour une personne ayant une audition normale. Pour les individus ayant une baisse d'acuité auditive, cette différence peut être de 10 dB plus importante. Aniansson et Peterson (1983), après avoir effectué une étude sur l'identification de la parole dans le bruit de la circulation routière concluent que les personnes ayant des problèmes auditifs ne peuvent obtenir, à l'extérieur, une bonne identification de la parole (au moins 75% des mots), lorsque le niveau de bruit est supérieur à 50 dBA. Le niveau correspondant pour les personnes ayant une audition normale est de 60 dBA. Aniansson et al. (1983) ont mené une expérience avec des sujets ayant une acuité auditive

normale et d'autres ayant une baisse d'acuité auditive. Les sujets masculins déficients auditifs étaient significativement plus dérangés par le bruit routier à une intensité de 45 et 55 dBA, lorsque ce dernier interférait avec des activités de communication (ex.: regarder un film à la télévision), que les sujets masculins ayant une audition normale. Ils se disaient aussi plus sensibles au bruit. Toutefois, les niveaux d'inconfort n'étaient pas significativement différents entre les personnes ayant une audition normale et celles ayant une déficience auditive. Après une exposition de deux heures au bruit du trafic routier, des changements d'humeur étaient notés dans tous les groupes. Les personnes ayant une baisse d'audition étaient autant affectées que les personnes ayant une acuité auditive normale. **Aniansson et Björkman (1983)**, tout comme **Peterson et Aniansson (1988)**, ont procédé à une expérience similaire et en ont tiré des conclusions identiques. **Prosser et al. (1991)** ont remarqué que le bruit du trafic routier amplifie les difficultés des personnes déficientes auditives dans une tâche d'identification de la parole, surtout quand le ratio signal/bruit est de 0 ou moins (c'est-à-dire lorsque l'intensité du bruit est égale ou plus forte que celle de la parole). Par exemple, pour un rapport signal/bruit de 0, les personnes déficientes auditives obtiennent moins de 40% dans une tâche d'identification de la parole.

5.2.1.7 Résumé

Le bruit de la circulation routière a plusieurs effets sur la santé physique et mentale. Les impacts les plus importants se retrouvent au niveau du sommeil: difficultés à s'endormir, sommeil plus léger, nombreux éveils durant la nuit, faible qualité subjective du sommeil. Les autres conséquences sur la santé sont moins évidentes. Certaines recherches montrent que le facteur de risque tend à augmenter pour les maladies cardio-vasculaires et la santé mentale. Le bruit routier interfère également avec la communication et les activités demandant de la concentration. Toutes les études s'accordent sur au moins un point: il n'y a pas d'adaptation physiologique complète au bruit de la circulation routière. Le bruit peut être un facteur de nocivité à long terme pour la santé des individus. Toutefois, il faut prendre en considération que ses effets sont variables selon les études consultées et qu'ils dépendent d'une part de l'exposition au bruit (type de bruit, durée,

fréquence, intensité), et d'autre part des facteurs qui se rapportent à l'individu (âge, éducation, revenu, état de santé général).

5.2.2 Le bruit et la qualité de vie

Jusqu'à présent, certaines observations réalisées en laboratoire ont montré comment le bruit de la circulation pouvait perturber la santé physique et mentale de l'être humain. Cependant, sur le plan de la qualité de vie, les impacts du bruit sont généralement plus difficiles à saisir. Il faut se rappeler que la "qualité de vie" ou le "bien-être" sont des notions subjectives qui demandent à être étudiées de façon qualitative plutôt que quantitative. Ainsi, à partir de diverses enquêtes sociales, cette section cherche à montrer comment les riverains perçoivent le bruit routier.

Plusieurs études démontrent l'existence d'une relation entre le bruit de la circulation et la gêne ressentie par la population résidante. Cependant, les niveaux de corrélation varient grandement d'une étude à l'autre et restent généralement faibles en raison des différences sensorielles et perceptives de l'individu. Par contre, la relation entre le niveau d'exposition (au bruit) et le degré de nuisance s'avère beaucoup plus forte. En effet, au-dessus d'un certain seuil, les nuisances perçues tendent à s'homogénéiser. À titre d'exemple, une récente étude (Orlando et al., 1994) a permis d'analyser la perception de plusieurs sujets par rapport au bruit dans divers environnements urbains (résidence, axe de transport, travail), et de comparer les résultats obtenus aux niveaux d'exposition sonore respectifs. L'étude conclut qu'entre 65 et 75 dBA, les sujets perçoivent différemment l'intensité du bruit, mais qu'en haut et en bas de ces seuils, ils expriment un jugement acoustique semblable. Ainsi, entre ces deux seuils, plusieurs autres facteurs (que nous appellerons ici modulateurs) peuvent influencer d'une part la perception des nuisances causées par le bruit, et d'autre part les comportements induits par celui-ci.

5.2.2.1 Les nuisances perçues par la population résidante

Parmi l'ensemble des nuisances dues à la circulation routière pouvant être ressenties à l'intérieur même des habitations (bruits, polluants, odeurs, poussières, vibrations, aveuglement par les phares et modification du paysage), le bruit demeure sans aucun doute le facteur le plus dérangeant (Williams et McCrae, 1995; Migneron, 1982a).

Généralement, l'insatisfaction la plus grande, la plus fréquente et la plus significative apparaît au niveau du sommeil ou de la détente (Koushki et al., 1993; Cohn et Koushki, 1991; Izumi et Yano, 1991; Yano et al., 1991; Orlando et al., 1994; Lambert et Simonnet, 1980; Migneron, 1982a; Aparicio-Ramon et al., 1993; Nemecek et al., 1981). Une grande partie des individus exposés à un bruit de circulation élevé rapportent avoir de la difficulté à s'endormir, relaxer ou tout simplement se reposer. D'autres encore disent s'éveiller en sursaut durant la nuit et parfois ne pas pouvoir se rendormir. On note également une relation, quoique moins significative, au niveau de la détente lors des heures de repas.

Au sujet des activités qui demandent un certain effort de concentration, telles que l'étude, la lecture et l'écoute de la télévision ou de la radio, la population vivant aux abords des voies routières semble également incommodée par le bruit de la circulation (Koushki et al., 1993; Cohn et Koushki, 1991; Izumi et Yano, 1991; Yano et al., 1991; Orlando et al., 1994; Nemecek et al., 1981). Il en est de même pour les conversations téléphoniques ou en tête-à-tête, que ce soit à la maison ou au travail. Une étude effectuée à Hong Kong (Ko, 1981) montre une relation hautement significative entre le niveau d'exposition au bruit de la circulation et la gêne exprimée par les professeurs dans les écoles.

Plusieurs auteurs se sont intéressés aux problèmes de santé soulevés par la population résidante (Koushki et al., 1993; Cohn et Koushki, 1991; Yano et al., 1991; Lambert et Simonnet, 1980; Migneron, 1990). Pour une certaine proportion de la population, un niveau de bruit de circulation élevé entraîne des maux de tête, un sentiment de dépression et des difficultés de digestion

(parfois aussi des douleurs aux jambes). Quant à la nervosité et la perte des facultés auditives, il semble difficile d'en arriver à la même conclusion puisque certaines recherches se contredisent.

Les relations sociales demeurent un aspect important de la qualité de vie. Certains auteurs ont noté qu'un bruit intense pouvait avoir de sérieuses répercussions sur le déroulement normal des activités sociales (Orlando et al., 1994) et causer un risque de dégradation dans les relations humaines (Mignerou, 1990).

D'autres chercheurs se sont plutôt intéressés à l'intégration sociale des individus dans leur quartier. Une étude réalisée à Oklahoma City (St. John et al., 1986) démontre que les caractéristiques de l'environnement résidentiel, telles que le niveau de bruit ou l'esthétique des lieux, étaient en mesure d'influencer significativement le sentiment d'attachement au quartier. De plus, sur le plan de la qualité de vie, on note l'importance des effets de coupure lors d'un réaménagement routier. Loir et Icher (1983) rappellent l'existence de plusieurs types de coupures. Il s'agit des coupures de réseaux de liaison et de communication, des coupures inter-quartiers et intra-quartier, et enfin des coupures par effet sensoriel. Ce dernier type de coupures est principalement expliqué par les effets visuels («l'agrément du paysage et la qualité qui s'en dégage sont brouillés et neutralisés par une emprise qui ne bouche pas la vue, mais qui agresse la sensibilité de l'utilisateur») et les effets sonores («On peut assimiler le bruit à une barrière psychologique invisible qui renforce les autres effets de coupure d'une voie»).

Peu de littérature traite des nuisances ressenties par les utilisateurs des parcs et des lieux publics extérieurs. Néanmoins, Whitelegg (1993) note que certains pays en tiennent compte dans leur politique de lutte au bruit. La Suisse, par exemple, a divisé ses espaces urbains en quatre zones de sensibilité au bruit. De la plus sensible à la moins sensible, nous retrouvons les espaces récréatif, résidentiel, mixte (résidentiel et industriel) et industriel.

Enfin, dans certaines grandes villes, la pollution causée par le bruit affecte sérieusement la perception de la qualité de l'environnement, et par conséquent le sentiment de bien-être éprouvé par les populations qui y vivent. Cohn et Koushki (1991) ont montré qu'aux abords d'un

important corridor routier à Riyad (Arabie Saoudite), près des trois quarts des sujets interrogés se disaient grandement dérangés par le bruit et considéraient cette forme de pollution comme étant un problème environnemental sérieux.

5.2.2.2 Les comportements induits par le bruit

Les comportements relatifs à l'utilisation du logement, tels que la fermeture des fenêtres et le transfert des activités vers les pièces les moins exposées au bruit, demeurent sans aucun doute les actions les plus fréquemment observées (Lambert et Simonnet, 1980; Aparicio-Ramon et al., 1993). En adoptant de tels comportements, les occupants du logis cherchent ainsi à faciliter leur condition de sommeil, de communication et de concentration (TV, radio, étude et lecture).

À un plus haut niveau d'exposition sonore, on note une hausse significative de la consommation de médicaments (Öhrström, 1991; Lambert et Simonnet, 1980), d'une part pour régulariser le rythme cardiaque, et d'autre part pour faciliter le sommeil (somnifères). À cet égard, les sujets les plus sensibles au bruit de la circulation préfèrent plus souvent qu'autrement utiliser des somnifères plutôt que de simples bouchons auriculaires, ce qui à long terme peut avoir des conséquences sur la santé.

D'autres comportements font appel aux ressources extérieures du foyer. Certains individus chercheront à émettre des plaintes auprès des autorités responsables, d'autres à adopter un comportement de fuite en augmentant la fréquence de leurs sorties. Cependant, les études effectuées sur le sujet (Lambert et Simonnet, 1980; Aparicio-Ramon et al., 1993) n'ont pas réussi à démontrer de liens significatifs avec les niveaux sonores d'exposition.

Enfin, lorsque le niveau de bruit devient trop élevé, plusieurs personnes rapportent avoir l'intention de déménager ou d'améliorer l'insonorisation de leur résidence (Lambert et Simonnet, 1980; Georgiades, 1988; Migneron, 1982a; Aparicio-Ramon et al., 1993). Les locataires expriment davantage le désir de quitter les lieux, et les propriétaires celui d'investir dans l'isolation acoustique.

5.2.2.3 Les facteurs modulateurs

Plusieurs auteurs discutent de facteurs pouvant moduler la relation bruit/gêne. Les caractéristiques physiques, telles que la distance d'éloignement de la source, la localisation des pièces de repos (salon et chambres à coucher), ou encore le type de trafic, d'habitat ou de fenêtres, ne seront pas abordées ici puisque celles-ci modifient avant tout le niveau d'exposition sonore. Nous nous concentrerons plutôt sur les facteurs qui se rapportent à l'individu.

Les principaux facteurs socio-démographiques ont été abordés (**Aparicio-Ramon** et al., 1993; **Koushki** et al., 1993; **Lambert** et **Simonnet**, 1980). On note que l'insatisfaction face au bruit de la circulation croît avec le revenu, l'éducation, l'âge, l'affaiblissement de l'état de santé, et enfin qu'elle varie selon la culture de la population concernée.

Certains auteurs ont cherché à démontrer que l'insatisfaction face au bruit était influencée par des facteurs relevant du bien-être de l'individu (**Izumi** et **Yano**, 1991; **Yano** et al., 1991; **Matsumura** et **Rylander**, 1991; **Öhström**, 1991; **Job**, 1988a; **Lambert** et **Simonnet**, 1980). Ces derniers donnent comme exemples la difficulté de concentration, de détente ou de sommeil (sensibilité au bruit), l'anxiété et le stress rattachés à l'emploi, et enfin l'insatisfaction par rapport au quartier. Cependant, au sujet de ce dernier point, une autre étude démontre le contraire, soit que l'environnement résidentiel, les services offerts dans le quartier et les relations avec les voisins n'influencent pas vraiment l'insatisfaction face au bruit de la circulation (**Lévy-Leboyer**, 1987).

Enfin, d'autres chercheurs se sont plutôt intéressés à l'aspect subjectif de l'individu (perception ou représentation des objets et des événements), et à son rôle dans les comportements adoptés envers le bruit routier. Selon certains (**Brown** et al., 1985), le temps influencerait positivement la perception du bruit (théorie de l'adaptation), contrairement à d'autres qui démentent cet argument (**Griffiths** et **Raw**, 1989; **Weistein**, 1982), ou qui pointent plutôt l'attitude comme étant l'élément responsable du comportement (**Vera** et al., 1992; **Job**, 1988a; **Job**, 1988b). En effet, **Mignerot** (1990) rapporte que pour certains individus, le bruit peut être «synonyme de travail, d'activité économique, de vitesse ou de développement», et que pour d'autres, «il constitue un

univers extérieur polluant ne devant pas pénétrer dans leur propre sphère». Une autre recherche (Jörg et Seiler, 1992) montre qu'à des niveaux d'exposition sonore identiques, le bruit du trafic routier est perçu comme étant moins nuisible que le bruit du trafic aérien. Selon les auteurs, le fait que l'automobile soit considérée aux yeux de tous comme inévitable explique sans doute cette réaction. Ainsi, l'on comprend mieux comment la perception de l'individu est en mesure d'influencer la gêne ressentie envers le bruit de la circulation.

5.2.2.4 Résumé

La "qualité de vie" est une notion subjective prenant en compte les perceptions des individus, et doit être ainsi étudiée à partir d'enquêtes sociales. Parmi les nuisances qui affectent la qualité de vie à l'intérieur des habitations, le bruit constitue le facteur le plus dérangeant. Plusieurs études ont mis en évidence l'existence d'une double relation, entre le bruit de la circulation et la gêne ressentie par la population résidant, mais surtout entre le niveau d'exposition au bruit et le degré de nuisance. Le bruit perturbe le sommeil et la détente, les activités nécessitant de la concentration, les conversations téléphoniques ou en tête-à-tête. Il a également une influence sur le déroulement des activités sociales, le sentiment d'attachement au quartier et la perception de la qualité de l'environnement. En conséquence, certains comportements sont induits par le bruit: fermeture des fenêtres, changement de pièce à l'intérieur même du logement, consommation plus importante de médicaments, dépôt de plaintes, déménagement ou amélioration de l'insonorisation des résidences. Enfin, des facteurs modulants se rapportant à l'individu interviennent dans la relation bruit/gêne; ils sont d'ordre socio-démographique, relèvent du bien-être ou se rattachent à la perception des objets et des événements.

5.2.3 Le bruit et l'aspect socio-économique

Le bruit routier engendre également des impacts socio-économiques, qui se chiffrent en coûts. Dans un premier temps, nous verrons brièvement quelles sont les différentes approches de

détermination du coût du bruit (ou valeur de la tranquillité). Par la suite, nous présenterons deux méthodes d'évaluation des coûts pouvant être prises en compte dans les processus de décision. Les aspects plus techniques sont intégrés dans l'annexe V.

5.2.3.1 Approches par évaluation

Exception faite des approches directes de calcul du coût du bruit (annexe V), nous abordons ici les deux approches les plus connues: l'approche des marchés réels et celle des marchés hypothétiques. Elles sont basées sur l'utilisation de techniques d'évaluation pour estimer les coûts externes liés au bruit routier.

a) Approche des marchés réels

Ce type d'approche se base sur des marchés existants afin de fixer un prix (implicite) pour une quantité déterminée de bruit. C'est le cas par exemple de l'approche hédoniste des valeurs des propriétés aux abords d'artères routières importantes par rapport aux prix des propriétés plus éloignées (mais situées dans le même quartier). Sur la base d'une étude de la littérature traitant des approches hédonistes, Nelson (1982) a conclu que les valeurs des propriétés ont baissé de 0,15% à 1,3% par décibel (dBA L_{eq}).

b) Approche des marchés hypothétiques

Cette approche est nécessaire pour les évaluations directes de certains biens qui ne disposent pas de marché réel (comme la qualité de l'environnement). On construit alors un marché hypothétique qui essaie de reproduire les conditions d'un marché réel. La forme la plus connue de ce type de marché est la méthode d'évaluation des biens contingents (EBC) ou méthode de questionnaire.

Schulz (1986) a élaboré un questionnaire dans lequel il a demandé à 4500 Berlinois de révéler leur disposition à payer mensuellement pour différentes qualités de l'air (par ordre croissant de

pureté: smog; Berlin; air d'une grande ville; air d'une petite ville; air de qualité "vacances"). En se basant sur les réponses et sur la qualité de l'air "vacances", **Schulz** a déduit un coût de la pollution atmosphérique équivalent à 50 milliards de DM (1985), soit 3% du PNB.

L'approche dite "hypothétique" reste du point de vue théorique celle qui permet d'estimer la valeur économique totale d'un bien (contingent), c'est-à-dire la somme de la valeur d'usage et de la valeur intrinsèque (beauté d'un parc, valeur de la faune, valeur pour les générations futures, etc.). Cependant, cette approche possède l'inconvénient de ne pas se baser sur de vrais marchés et renferme quelques biais (pour une analyse détaillée de ces biais et de leur correction, voir **Belhadji**, 1994, p. 89-97).

Notons enfin que les deux approches (marchés hypothétiques et marchés réels) peuvent ne pas prendre en compte tous les effets négatifs du bruit. On procède alors au calcul d'une relation analytique entre la nuisance et les effets ressentis, c'est-à-dire qu'on établit une fonction physique et non monétaire des dommages. Cette technique s'avère nécessaire seulement lorsque les effets négatifs d'un phénomène (ici le bruit) sont mal perçus ou mal compris par la population. Lorsqu'on arrive à appliquer un prix à cette relation, on obtient une estimation des dommages monétaires. Par contre, si l'information sur les effets du bruit est complète, l'une des deux approches ci-dessus mentionnées suffirait à estimer le coût du bruit (ou valeur de la tranquillité).

5.2.3.2 Approche hédoniste des valeurs des propriétés

L'approche la plus utilisée dans le domaine qui nous intéresse est l'approche dite "hédoniste", basée sur l'évaluation des propriétés proches des sources de bruit. Elle est le plus souvent limitée à l'impact du bruit en zone résidentielle, mais il serait souhaitable de la généraliser à l'ensemble des espaces (en incluant également les hôpitaux, les écoles, les bureaux, les hôtels et les espaces de récréation).

a) Principe et hypothèses de l'approche hédoniste

Le principe

Selon Bolt et al. (1973), le bruit des voies rapides décroît de 3 à 6 dB pour chaque doublement de la distance à partir de la source de bruit. Cette atténuation du bruit avec l'éloignement s'accompagne d'une augmentation du loyer des logements et du prix des maisons.

Les hypothèses

L'approche hédoniste implique un certain nombre d'hypothèses, que nous allons décrire brièvement.

Individu représentatif

Les individus sont supposés évaluer de la même façon les composantes de leur bien-être; ils ont la même fonction d'utilité. On parle dans ce cas d'un individu représentatif.

Fluidité du marché immobilier

On considère que les prix (ou les loyers) sont connus par les acheteurs et les vendeurs, qui ont un large choix sur le marché immobilier. Les occupants du logis ont une connaissance parfaite des effets de la pollution (sur la santé, à court et à long terme...).

Parfaite mobilité des consommateurs

Les coûts de transactions, liés aux déménagements, sont souvent avancés comme facteur d'explication pour remettre en cause l'hypothèse de mobilité parfaite. En effet, plus les coûts de transactions sont élevés, plus la mobilité observée est restreinte. L'ajustement instantané (déménagement immédiat) est souvent limité, voire impossible à réaliser (contraintes sociales et

professionnelles). Par contre, l'ajustement à plus ou moins long terme est possible. Quand on observe les études empiriques dans ce domaine, on remarque que la majorité d'entre elles sont étalées sur des périodes moyennes de 4 à 5 ans, ce qui donne le temps d'ajustement nécessaire à l'acquisition éventuelle d'une autre résidence (plus tranquille). Aux États-Unis, 20% des foyers déménagent chaque année (dont les deux tiers restent dans la même région métropolitaine). Sur une période de 4 ans, ce taux atteint 40% (Quigley et Weinberg, 1977). Ces observations rendent relativement crédible l'hypothèse de mobilité.

Le bruit est un polluant local

Le bruit est un polluant local et non présent partout. En général, la littérature inclut un éventail de niveaux de bruit assez large et met en évidence le fait que le bruit se trouve accentué dans certaines zones seulement, tout dépendant de l'éloignement de l'autoroute, de son débit de circulation et du type de véhicules qui l'empruntent (Haling et Cohen, 1996). Ainsi, selon les données de la EPA (Environmental Protection Agency, 1972: population urbaine) rapportées par Nelson (1978), 2,2% de la population est exposée à plus de 75 dB (niveaux très élevés), et la différence entre les niveaux de bruit maximums et minimums est d'environ 25 dB dans les diverses études.

b) Taux de dépréciation des propriétés et des logements à valeur locative

Lamure et Lambert (1993) constatent que le taux de dépréciation a sensiblement évolué dans le temps. Ils distinguent trois périodes:

- les années 60, où ce taux est négligeable, voire nul (la méthodologie n'était cependant pas encore au point);
- les années 70, où la dispersion des résultats est importante (ce taux est compris entre 0,14% et 1,05% par décibel) (c.f. annexe 5 pour les études concernées);

- les années 80, où le taux de dépréciation se situe autour de 1% (pour un L_{eq} de jour, **Pommerehne** (1986) calcule un taux de 1 à 1,4% (en 1985) et **Soguel** (1991) un taux de 0,91% (en 1989); pour un L_{eq} moyen, **Streeting** (1990) rapporte un taux de 0,9% (en 1990)).

5.2.3.3 Aide à la décision

Dans plusieurs pays, les coûts dus au bruit de la circulation routière sont pris très au sérieux. Afin de procéder à une prise de décision éclairée dans le cadre d'un projet de lutte contre le bruit, il est important de tenir compte des méthodes d'évaluation des coûts. Il en existe principalement deux: l'analyse coûts-bénéfices et l'analyse coûts-efficacité.

a) Analyse coûts-bénéfices

Cette analyse est possible lorsqu'on arrive à quantifier (en termes monétaires) les deux éléments qui la composent, à savoir les coûts et les bénéfices. Elle consiste à confronter ces éléments découlant de l'application d'un projet particulier. Si les bénéfices sont supérieurs aux coûts, on procède alors à la réalisation du projet. Par exemple, si à l'aide de l'approche hédoniste on trouve un indice de dépréciation des logements égal à 1% par dB, alors la valeur de la tranquillité d'une résidence "moyenne" (100 000 \$) serait de 1000 \$ par dB. Ce chiffre constitue le bénéfice d'une action pouvant réduire le bruit routier d'un décibel. Les bénéfices sont cependant impossibles à évaluer dans certains cas, par exemple lorsque les individus ne connaissent pas les effets à long terme du bruit sur leur santé. À l'opposé, les coûts sont généralement faciles à estimer à partir des données disponibles sur les matières premières et la main d'oeuvre.

Toutes les décisions qui découlent des comportements des individus (choix de résidence entre autres) sont liées à leur degré d'information au moment de la prise de décision. En Allemagne (**Weinberger**, 1992), on a déduit que les personnes bien informées sur les effets du bruit étaient prêtes à payer davantage pour la tranquillité que celles ayant un niveau moyen d'information. Si

des doutes subsistent quant à la précision de la valeur des bénéfices, on peut recourir à la deuxième méthode, à savoir celle de l'analyse coûts-efficacité.

b) Analyse coûts-efficacité

Cette méthode permet d'éviter les difficultés de valorisation monétaire des bénéfices propres à la méthode coûts-bénéfices. On recourt alors à des indicateurs d'impact du bruit. Le principe est la comparaison des coûts pour atteindre un objectif défini. Supposons que l'on soit en présence d'une multitude de solutions et que l'on ne puisse pas évaluer les bénéfices de chacune d'elles. On peut cependant comparer les solutions si on dispose d'une échelle de mesure commune, qui est généralement déterminée en fonction des avantages des différentes solutions. On peut par exemple choisir comme critère d'efficacité la variation du pourcentage de personnes gênées suite à diverses actions d'atténuation du bruit (annexe V).

5.2.3.4 Résumé

Les effets socio-économiques du bruit routier se traduisent en coûts. Deux types d'approche par évaluation permettent de déterminer le coût du bruit: l'approche des marchés réels dont fait partie l'approche hédoniste (évaluation des impacts du bruit sur les valeurs des propriétés), et l'approche des marchés hypothétiques (évaluation des impacts du bruit sur les biens qui ne disposent pas de marché comme la qualité de l'environnement). L'approche hédoniste montre que les prix et les loyers des logements diminuent avec l'augmentation des niveaux sonores et sont par conséquent moins élevés à proximité des voies routières. Deux méthodes principales permettent d'évaluer les coûts dus au bruit: l'analyse coûts-bénéfices et l'analyse coûts-efficacité des projets d'atténuation du bruit.

5.3 Les techniques de lutte au bruit de la circulation routière

Dans cette section, nous abordons brièvement les mesures de lutte au bruit de la circulation visant à réduire le bruit à la source, ou encore à régulariser le trafic. Ensuite, nous élaborons davantage les mesures physiques qui font obstacle au bruit (écrans antibruit, panneaux absorbants ou insonorisation des façades).

En acoustique, il existe une autre technique qui permet de protéger le récepteur contre une nuisance sonore. Cette technique vise à émettre une fréquence inversée par rapport à celle que l'on veut éliminer. Ainsi, dans une pièce fermée, les deux fréquences (en opposition de phase) auront tendance à s'annuler et à donner au récepteur une impression de silence. Cependant, cette technologie demeure exploratoire et ne semble pas être applicable à la lutte au bruit de la circulation puisque les auteurs recensés par la revue de littérature en ont fait aucune mention.

5.3.1 La réduction du bruit à la source

Le bruit à la source provient du moteur et du roulement du pneumatique sur la chaussée. Le bruit du groupe moto-propulseur domine à faible vitesse (< 50 km/h), alors que le bruit de contact entre le pneu et la route domine à plus haute vitesse (OCDE, 1995; IRF, 1992). Pour les véhicules lourds, la vitesse où le bruit de roulement dépasse celui du moteur se situe aux alentours de 80 km/h. Les industries automobiles ont atténué le bruit des moteurs d'environ 7 dB pour les automobiles et de 10 dB pour les camions au cours des dernières décennies (Berge, 1994). Le bruit de roulement représente ainsi la principale source de bruit à vitesse modérée et à grande vitesse (OCDE, 1995; IRF, 1992).

Depuis quelques années, nous assistons à une croissance démographique des municipalités situées en périphérie des villes centrales. Par exemple, en banlieue de Montréal, 16 municipalités ont accueilli plus de 100 000 nouveaux habitants entre 1981 et 1991 (Québec, 1994c). Il en a résulté un développement des réseaux routiers et une utilisation accrue de l'automobile. Plusieurs

habitations se retrouvent en bordure d'autoroutes, sur lesquelles les automobilistes circulent à très haute vitesse. L'intérêt de la recherche est grand dans le développement de surfaces ou de revêtements qui réduiraient le bruit de roulement.

En matière de revêtements, l'OCDE (1995) retient quatre grandes catégories de chaussées employées dans diverses villes à travers le monde. Les chaussées de type A sont constituées de béton bitumineux de 2 ou 3 cm d'épaisseur. Elles portent aussi le nom de chaussées à micro-texture et conviennent aussi bien aux zones urbaines qu'aux routes où il y a peu de circulation de véhicules lourds produisant des bruits de basses fréquences. Le coefficient d'absorption acoustique est très faible (entre 0,0 et 0,1) pour les fréquences de 0 à 2 kHz. En ajoutant des granulats poreux à granulométrie ouverte, on améliore le coefficient (entre 0,2 et 0,35). Polcak (1990) a comparé l'efficacité d'enrobés composés de granulats poreux à granulométrie ouverte ("popcorn pavement") à celle du béton de ciment sur quatre sites aux États-Unis. Le niveau de bruit équivalent était de 2 à 4 dB moindre pour les "surfaces pop-corn". Même si la réduction du niveau de bruit s'est avérée relativement faible, les citoyens ont eu des réactions très positives face à cette amélioration. D'après Polcak, la réduction se situait surtout au niveau des fréquences aiguës (1 à 5 kHz), auxquelles les individus sont habituellement plus sensibles. Pour une diminution de 1 à 2 dB, le coût des chaussées de type A varie de 2 à 19 \$US(1995) le mètre carré (OCDE, 1995).

Les chaussées de type B, C et D sont des chaussées à macro-porosité. Leur coût se situe en général aux alentours de 6 \$US(1995) le mètre carré. À cela, il faut toutefois ajouter les coûts d'entretien (1,3 \$US(1995) par mètre carré par an) et de recyclage (5 \$US(1995) par mètre carré aux huit ans).

Les chaussées de type B sont faites de béton bitumineux drainant d'une épaisseur variant de 3 à 8 cm, la porosité étant d'au moins 20%. Le coefficient d'absorption acoustique varie de 0,2 à 0,6, selon l'épaisseur de la couche, de même que la grosseur et la forme des granulats. IRF (1992) mentionne toutefois que l'asphalte poreux ou drainant se comporte différemment lorsque de rapides changements de température ont lieu. La glace s'y forme plus tôt et elle demeure plus

longtemps que dans le cas de l'asphalte classique. Ce type d'asphalte requiert donc un entretien particulier l'hiver. Il est important de planifier ces services dès la conception de la route.

Une étude de **Meiarashi** et al. (1995) a comparé l'efficacité de l'asphalte drainant et du béton de ciment, pour des automobiles et des camions supportant des charges légères et lourdes. En ce qui concerne les voitures, l'atténuation était de 0 à 5 dB supérieure dans le cas du béton drainant par rapport au béton de ciment (porosité de 15 à 25% et épaisseur de 5 à 10 cm). La porosité n'avait pas d'effet au-dessus de 20%. L'épaisseur n'influait pas la réduction du bruit pour les automobiles. En ce qui concerne les camions légers et lourds, l'atténuation se situait respectivement entre 2 et 4 dB et entre 2 et 5 dB. La porosité ne modifiait pas la réduction du bruit, mais une augmentation de l'épaisseur du béton drainant ajoutait 1 à 2 dB à l'atténuation. Une seconde étude de **Meiarachi** et al. (1996) a porté sur l'effet de l'épaisseur du béton drainant et de la grosseur des granulats sur l'efficacité acoustique. Lorsque les granulats avaient une taille de 10 mm comparativement à 13 mm, on obtenait des atténuations supplémentaires de 1 à 3 dB, 0 à 1 dB et 1 à 2 dB pour les voitures, les camions de petits chargements et les véhicules lourds, respectivement; la réduction totale variait ainsi entre 3 et 9 dB. Par contre, l'épaisseur n'ajoutait que 0 à 1 dB à l'atténuation déjà existante, et jouait plutôt sur le champ fréquentiel d'atténuation. Lorsque l'épaisseur augmentait (40-50 mm), le pic d'absorption maximale se situait aux alentours de 400-500 Hz; lorsque l'épaisseur était plus faible (30 mm), le pic se situait aux environs de 800-1000 Hz. **Watts** (1996c) a étudié, quant à lui, la perception des gens par rapport au bruit généré par le trafic routier sur une surface de béton de ciment et sur une surface bitumineuse. Il a simulé en laboratoire des conditions d'écoute intérieure et extérieure. Il a enregistré le bruit réel de deux sites (A et B) où des surfaces de ciment et de béton bitumineux étaient présentes sur une distance relativement rapprochée. Il a ensuite fait écouter cet enregistrement à 40 sujets, dans un premier temps sans le modifier, puis dans un deuxième temps en égalisant les niveaux de pression acoustique des deux surfaces. Le niveau de bruit de la surface en ciment était d'environ 3 dB supérieur au niveau de bruit de la surface bitumineuse pour les deux sites. La surface de béton de ciment était jugée plus bruyante dans 80% et 90% des cas pour les sites A et B respectivement, pour la condition d'écoute à l'extérieur, et dans 71% et 83% des cas pour la condition d'écoute à l'intérieur. Lorsque le niveau sonore était le même, le pourcentage était

de 50-50. Cependant, les commentaires recueillis à la fin de l'expérimentation faisaient ressortir la discordance et le sifflement du son du trafic routier sur le béton de ciment, malgré les niveaux de pression égaux.

Les chaussées de type C sont constituées d'une ou plusieurs couches d'un revêtement poreux d'épaisseur moyenne ou grande (jusqu'à 50 cm). Le coefficient d'absorption acoustique est influencé par l'épaisseur des couches. Une grande épaisseur est plus efficace sur l'ensemble des fréquences (100-5000 Hz). On obtient de meilleurs résultats lorsque les granulats employés ont une taille maximale de 8 à 11 mm.

La chaussée de type D est dite euphonique. Elle est surtout utilisée en Italie et se compose d'une couche d'enrobé poreux de 4 à 6 cm d'épaisseur, sous laquelle se situe une dalle de béton à armature continue avec des résonateurs de 500 cm³ également espacés sur l'ensemble de la surface. Le coefficient d'absorption acoustique varie entre 0,4 et 0,7 selon les fréquences. Ce type de surface semble très prometteur et l'OCDE (1995) recommande d'en accélérer la recherche et le développement.

Meiarachi et Ishida (1996) ont amélioré un nouveau type de surface développé au départ par Nilsson (cité dans Meiarachi et al., 1996): les chaussées à revêtement poreux élastique, composées de particules de caoutchouc et d'uréthane. Les recherches en sont encore au stade expérimental, n'ayant pas résolu le caractère inflammable de ce type de chaussée. Toutefois, les résultats sont encourageants au niveau de l'atténuation acoustique. À une vitesse de 60 km/h, la réduction du bruit de roulement est de 13 dB pour une voiture et de 6 dB pour un camion.

5.3.2 La régulation du trafic routier

Plusieurs solutions peuvent être envisagées pour diminuer le trafic routier dans les zones résidentielles, comme la synchronisation des feux de circulation, l'utilisation de sens uniques, la fermeture de certaines routes aux véhicules lourds, la réduction de la limite de vitesse...

Cependant, l'atténuation du bruit n'est pas toujours le principal but recherché dans les mesures de régulation du trafic, mais peut apparaître comme un bénéfice secondaire. Il est bien connu que les véhicules lourds produisent plus de bruit que les voitures. Ainsi, dans certains pays d'Europe, des itinéraires réservés aux camions ont été mis en place à l'extérieur des zones urbaines. On peut s'attendre à des réductions de bruit de l'ordre de 2 à 5 dBA (OCDE, 1995). En outre, le niveau de bruit peut également augmenter à certains endroits, comme le démontre une étude réalisée au Danemark (Herrstedt, 1992). Les objectifs de cette étude étaient d'accroître la sécurité, de diminuer le sentiment d'insécurité des habitants et d'améliorer l'environnement local de trois villes. Pour ce faire, plusieurs moyens ont été utilisés: réduction des limites de vitesse à 40 ou 50 km/h (60 km/h à l'origine), ajout de pancartes de mise en garde, de sens uniques, d'îlots directionnels, de carrefours à sens giratoire, de feux de circulation, d'espaces de stationnement et d'arbres, et modification de la configuration des rues. Dans deux des trois villes, les niveaux de bruit équivalents ont été légèrement réduits. Toutefois, à proximité des dos d'ânes artificiels mis en place à l'entrée des zones urbaines, le niveau de bruit avait augmenté de 3 ou 4 dB. Dans la troisième ville, le niveau de bruit est demeuré le même. Une étude effectuée en Israël (Zaidel et al., 1992) rapporte aussi l'utilisation de dos d'ânes artificiels pour réduire la vitesse des automobiles. En général, le niveau de bruit s'est amélioré grâce à la réduction de la vitesse des véhicules et du volume du trafic. Cependant, aux abords des obstacles, le bruit et les vibrations ont légèrement augmenté. Il est donc recommandé d'installer ces saillies à une distance d'au moins 30 m des habitations. Dans une étude réalisée dans le Vieux-Montréal au début des années 80 (Baass, 1980), la solution proposée pour améliorer la qualité de vie de la population résidante (air, bruit, sécurité...) fut un réaménagement des voies de la circulation en forme de U. L'auteur soutenait que cette méthode serait plus efficace que l'introduction de limites de vitesse, de dos d'ânes artificiels et de sens uniques. Ces alternatives peuvent également rendre plus difficile l'enlèvement des ordures, le déneigement, l'accessibilité, le transport en commun... Si elles ne permettent que de faibles réductions du niveau de bruit, ces solutions sont cependant peu coûteuses et ont avantage à être utilisées en complémentarité avec d'autres moyens (isolation des façades, écrans acoustiques...).

5.3.3 Les mesures physiques de réduction du bruit

Il existe plusieurs mesures physiques de contrôle et/ou de réduction du bruit. Par exemple, lors de la réalisation d'une nouvelle route, le tracé aura une influence sur les niveaux de bruit. On peut penser à construire une route en tranchée ou sur un viaduc. L'utilisation de l'espace en bordure des routes est également importante. L'étude du zonage peut permettre de déterminer la nécessité des mesures d'atténuation du bruit (Parsons, 1982). Dans les pages qui suivent, il sera principalement question des mesures utilisées lorsque les routes sont déjà présentes, c'est-à-dire l'implantation d'écrans acoustiques (naturels et artificiels), et l'isolation des façades.

5.3.3.1 Les écrans acoustiques naturels

Les écrans naturels sont constitués d'une bande de végétation plantée d'une manière spécifique et ayant une largeur variable (OCDE, 1995). Ils sont souvent implantés sur des talus, dont la construction peut exiger davantage d'espace. On choisit généralement les espèces de plantes en fonction de leur hauteur, de leur type de feuilles et de leur compatibilité avec le climat.

Le bruit routier peut être réduit grâce à l'absorption et la diffusion du son par la végétation. Cependant, celle-ci doit être relativement haute et dense pour obtenir une réduction significative. L'OCDE (1995) estime l'atténuation du bruit à 3 ou 4 dB dans le cas d'un écran-buisson d'au moins 10 m de large et à 15 ou 16 dB pour un talus de terre avec arbustes de 15 à 18 m de large.

N'assurant pas une protection efficace contre le bruit, les écrans de végétation sont utilisés dans un but avant tout esthétique. Comme ils protègent les riverains de la vision permanente des véhicules et offrent une vue plus agréable que les écrans artificiels, le seuil de tolérance au bruit semble augmenter (Prieur, 1988). À cet égard, Kragh (1981) indique que les plantations d'arbres augmentent la qualité de l'environnement dans les aires résidentielles et réduisent surtout les nuisances d'un point de vue psychologique.

En plus de leur rôle acoustique et surtout esthétique, les écrans de verdure servent de coupe-vent, protègent l'intimité des riverains et améliorent la qualité de l'air en filtrant une partie des particules en suspension dégagées par les véhicules (Varshney et Mitra, 1993). Par ailleurs, les coûts des écrans naturels sont moins élevés que ceux des écrans artificiels. L'acquisition du terrain en constitue la plus grande part, le coût des plantations n'étant pas élevé.

Selon Harris et Cohn (1985), les écrans naturels doivent être considérés comme une alternative viable dans les programmes de réduction du bruit, à condition que la végétation soit entretenue de façon à ce qu'elle reste dense. À propos des buttes de terre, le CETUR (1981) recommande qu'elles soient aménagées en fonction de la nature des espaces protégés, afin de ne pas créer une coupure trop importante avec le paysage urbain.

Il existe également des écrans mixtes, qui sont obtenus en insérant des écrans artificiels (en béton, en acier ou en bois) à des écrans naturels, ou encore en les disposant en haut d'un talus. L'atténuation du bruit peut alors atteindre 16 à 20 dB d'après l'OCDE (1995). La réduction la plus sensible est obtenue avec une combinaison mur solide - butte de terre - arbres, surtout si le problème de bruit est très important (Cook, 1981).

5.3.3.2 Les écrans acoustiques artificiels

Les écrans acoustiques artificiels modifient la trajectoire des ondes sonores, ce qui a pour effet de créer une zone d'ombre derrière les écrans, où la pression sonore est atténuée. Les murs antibruit prennent relativement peu d'espace, mais sont très coûteux. De plus, ils doivent être suffisamment longs et hauts pour diminuer la propagation de l'onde vers le récepteur. Ce moyen est peu efficace pour les étages des bâtiments situés à une hauteur supérieure à celle de l'écran. Il ne doit pas y avoir d'ouvertures dans l'écran car celles-ci laissent s'échapper les émissions sonores (OCDE, 1995; Québec, 1996a). De même, un écran discontinu (entrecoupé par une voie perpendiculaire, un parc...) perd une partie de son efficacité près des zones de coupure.

En général, un écran acoustique réduit la pression sonore d'environ 10 à 15 dB (OCDE, 1995); il entraîne une baisse de 5 dB s'il est au même niveau ou dépasse la ligne de vue entre la chaussée et le récepteur; au-dessus de la ligne de vue, on obtient une atténuation supplémentaire d'environ 1,5 dB pour chaque mètre de hauteur en plus. La longueur d'un écran doit représenter approximativement quatre fois la distance entre le récepteur et l'écran, et sa densité doit être au minimum de 20 kg/m². Lors de la conception d'un mur antibruit, il convient aussi de tenir compte de certains éléments non-acoustiques. L'OCDE (1995) en identifie cinq: l'esthétique, la sécurité routière, l'entretien, la performance structurelle et les coûts de construction. L'efficacité d'un écran est tributaire de plusieurs facteurs, tels son emplacement, sa hauteur et sa longueur, les matériaux utilisés, l'implantation d'un ou deux écrans, leur forme et leur configuration, les effets climatiques...

a) L'emplacement de l'écran

Andrew et al. (1980), après avoir effectué plusieurs tests sur des écrans antibruit, en arrivent à quatre conclusions générales: lorsque le terrain est plat, le rapport bénéfices/coûts est meilleur si le mur est érigé près du récepteur; lorsque l'autoroute se situe à un niveau plus élevé que le récepteur, les bénéfices sont plus grands si le mur est construit le plus près possible de l'autoroute; si l'autoroute est située à un niveau plus bas que le récepteur, la solution idéale consiste à construire l'écran près du récepteur; enfin, s'il y a une butte entre la route et le récepteur, une plus grande efficacité sera obtenue en érigeant l'écran sur cette butte intermédiaire.

b) Le choix des matériaux

Les murs peuvent être réfléchissants ou absorbants, selon les matériaux utilisés. Des panneaux absorbants peuvent aussi être ajoutés aux murs réfléchissants (**Menge**, 1980; **Bar**, 1989). Les bons matériaux absorbants sont aussi isolants (OCDE, 1995). L'Italie a conçu une grille d'évaluation des performances des écrans acoustiques (OCDE, 1995). Parmi les différents types d'écrans analysés, ceux ayant une efficacité optimale (perte par insertion supérieure à 17 dB) sont constitués soit de béton armé, d'aluminium ou d'acier avec un revêtement absorbant, soit d'une

combinaison de ces deux matériaux avec des panneaux transparents, soit de briques ou de bois avec des damiers phoniques en plastique au-dessus de la route.

Les panneaux absorbants sont un bon moyen d'améliorer la perte par insertion des murs réfléchissants. Ils agissent en forçant les molécules d'air à traverser de très minces fibres. Les molécules perdent ainsi de l'énergie et la pression sonore est diminuée (Menge, 1980). L'unité de mesure d'atténuation d'un panneau absorbant est le coefficient d'absorption. Il se situe entre 0 (matériau totalement réfléchissant) et 1 (matériau totalement absorbant). Le choix des matériaux se fait en fonction de leur coefficient d'absorption, de leur résistance physique et acoustique, de leur entretien et de certains aspects sécuritaires telle leur inflammabilité (Menge, 1980). Fahy et al. (1995) ont développé une nouvelle surface modulaire absorbante. Ils mentionnent que les matériaux utilisés jusqu'à maintenant, tels la laine minérale, le bois, les matières fibreuses, sont peu résistants à la détérioration physique. Des moisissures se développent, la poussière et la glace s'accumulent sur le panneau, ce qui réduit ainsi son efficacité. Ils ont décidé d'utiliser un ou plusieurs panneaux superposé(s) à l'écran, tout en laissant des espaces pour former des cavités de résonance et augmenter l'absorption en basses fréquences. Après plusieurs essais, ils ont conçu des surfaces modulaires où le matériel absorbant est protégé par de petites formes géométriques triangulaires apposées en relief sur le panneau. Ces éléments empêchent la détérioration du matériel et augmentent l'atténuation sur une plus grande partie du champs fréquentiel. Malgré le stade encore expérimental de ces recherches, les résultats sont encourageants. Le prototype laisse croire à des coefficients d'absorption variant de 0,6 à 1 selon la bande de fréquences concernée.

Des écrans transparents sont aussi utilisés depuis les années 1970 (Douglass et Drinkwater, 1982). Ils se divisent en trois types: les écrans ajourés, en plastique transparent et en verre (Bar, 1981). Les écrans ajourés sont constitués de plusieurs panneaux opaques distants l'un de l'autre et inclinés sur l'axe vertical, de façon à permettre à l'automobiliste de distinguer le paysage qui se trouve à sa droite. Cette "transparence visuelle" repose sur l'effet stroboscopique produit par la vitesse de déplacement de l'observateur, la distance entre les panneaux ainsi que l'angle d'inclinaison de ces derniers. L'efficacité de ces écrans dépend des matériaux utilisés, de la longueur des panneaux, et encore une fois de leur inclinaison et de la distance entre ceux-ci.

Avec des panneaux absorbants des deux côtés des écrans et dans les meilleures conditions, l'atténuation se situe autour de 10 dB. Les écrans en plastique transparent sont surtout fabriqués à base de polycarbonate. On s'attend aussi à une perte par insertion d'une dizaine de dB. Le verre est plus fragile, mais il résiste mieux que le polycarbonate à la dégradation de la transparence par les rayons ultra-violet (Rocchi et Pedersen, 1990). L'écran transparent doit toujours être utilisé seul, car c'est un matériau très réfléchissant. Son principal inconvénient est l'entretien; si le trafic est très dense, l'écran doit être souvent nettoyé. Le coût de l'entretien peut alors devenir rapidement très important. L'esthétique demeure le plus gros avantage. Un écran transparent ne coupe pas la vue; il laisse pénétrer le soleil et permet d'admirer le paysage. Ainsi, il n'est pas nécessaire d'avoir recours à un design particulier pour briser la monotonie lorsque le paysage présente un point de vue intéressant.

c) La configuration des écrans

Nous retrouvons à travers le monde une multitude de formes d'écrans acoustiques, le but principal étant d'arriver aux barrières les plus efficaces sans nécessairement devoir en augmenter indéfiniment la hauteur. Des études récentes (Watts et al., 1994; Crombie et Hothersall, 1994; Watts, 1996a) ont tenté de trouver de nouvelles configurations d'écrans ayant des qualités acoustiques supérieures, tout en tenant compte de la température, du vent, des précipitations, de l'entretien. Les effets du vent et de la température sur l'efficacité des écrans ont été également abordés par Rosen (1986). Crombie et Hothersall (1994) proposent, au lieu d'un mur acoustique très haut (supérieur à 3 m), d'en mettre deux ou plusieurs de hauteur moindre du même côté de la chaussée. Par exemple, trois écrans de 3 m de hauteur à 3, 9 et 15 m de la source peuvent augmenter la perte par insertion jusqu'à 12,4 dB. Ceci permet de réduire les effets reliés à l'intrusion visuelle, aux corridors de vent et aux problèmes de design des fondations, par rapport à des écrans de hauteur supérieure. De plus, les écrans multiples génèrent des atténuations sur tout le champ fréquentiel, particulièrement pour les hautes fréquences. Cependant, les expériences effectuées ont impliqué des sources et des récepteurs situés au sol seulement. L'efficacité de ces murs pour des sources et des récepteurs situés à des hauteurs différentes est encore ignorée. L'emplacement choisi doit être assez large pour permettre la construction de trois écrans (ils sont

plus efficaces quand la distance entre les murs augmente). L'implantation de trois écrans et non d'un seul s'avère toutefois une solution coûteuse, même si les murs supplémentaires peuvent être de moins grande envergure. **Cohn et al.** (1993) rapportent, dans une synthèse sur différents types d'écrans acoustiques, que les barrières en forme de "T" augmentent la perte par insertion de 2 dB, comparativement à une barrière simple réflexive. Lorsqu'on isole la portion horizontale de la barrière, on augmente la perte par insertion de 1,9 dB supplémentaire. Les auteurs y voient deux principaux avantages: le coût moins élevé, car le mur est de hauteur moindre, et l'aspect esthétique, car ce type d'écran permet une meilleure vue. **Watts et al.** (1994) ont étudié la performance de nombreux types de barrières antibruit: écrans simples de diverses hauteurs, écrans en forme de "T", écrans avec ajout de panneaux multiples ("multiple edge"), et écrans parallèles séparés par des distances différentes. Parmi les plus performants, comparativement à un écran réfléchissant de 2 m de hauteur, nous retrouvons un écran simple de 3 m, un écran absorbant en forme de "T" de 2 m de largeur et de hauteur, un écran absorbant à panneaux multiples de 2 m de largeur et de hauteur (avec des panneaux de 0,5 m de haut), ainsi que les écrans acoustiques absorbants parallèles de 2 m de hauteur, séparés d'une distance d'au moins 8 m. Tous ces écrans assurent en moyenne une perte par insertion de 3 dB de plus que l'écran simple réfléchissant de 2 m de hauteur. Les mesures ont été prises à 1,5 m et 4 m de hauteur. L'expérience fut répétée avec un angle d'incidence de 30°, et les résultats sont sensiblement identiques. **Crombie et al.** (1995) ont spécifiquement étudié les écrans antibruit avec panneaux multiples. Ils en sont arrivés à la conclusion suivante: l'ajout de panneaux relativement petits (0,5 à 1,5 m), placés du côté de la source, augmente de façon significative l'efficacité de l'écran. Des bénéfices sont enregistrés sur tout le spectre et particulièrement en hautes fréquences. L'expérience a aussi permis de démontrer que les études sur le terrain et les modèles de prédiction sont comparables. Les panneaux supplémentaires ont deux avantages principaux: ils permettent de garder la hauteur de l'écran au minimum et peuvent s'ajouter à des barrières déjà existantes, sans danger pour les fondations. Il existe toutefois un léger inconvénient: il faut disposer de l'espace suffisant pour ajouter les panneaux du côté de la source (afin d'obtenir une plus grande efficacité). Enfin, **Watts** (1996a) a testé cette configuration sur trois sites différents. Pour les sites où la performance de l'écran était relativement faible, l'ajout de deux panneaux du côté résidentiel a augmenté de 3 dB la perte par insertion déjà existante. Cependant, pour un endroit où l'écran de 3 m avait été

construit sur une butte de 5 m, l'ajout des panneaux a eu un effet négligeable, étant donné la grande efficacité de ce mur au départ.

d) Un écran versus deux écrans parallèles

Comme il est mentionné à la section 5.1.3, un seul écran acoustique en bordure d'autoroute est généralement plus efficace, pour un récepteur situé dans la zone d'ombre de l'écran, que deux écrans parallèles situés de chaque côté de la chaussée. En effet, **Hajek** (1983) a mené une expérience sur deux murs parallèles de 4,5 m de hauteur, situés à 36,5 m l'un de l'autre. Le fait d'ajouter une barrière augmente la pression sonore non seulement entre les murs, mais aussi à l'extérieur des écrans, en multipliant les réflexions de tous les côtés. **Hajek** mentionne aussi que l'élévation du niveau de bruit à l'intérieur des murs peut affecter la perception de l'automobiliste par rapport aux distances entre les véhicules. L'effet de dégradation de la perte par insertion est plus important si la distance entre le récepteur et l'écran augmente. **Hajek** propose deux solutions pour remédier à la situation: poser des panneaux absorbants sur les murs ou incliner les murs vers le haut de 3 à 10°. **Bowlby** et al. (1987b) ont étudié l'effet des barrières parallèles sur trois sites au Tennessee. Sur le premier site, l'autoroute est située sur une butte et encadrée de deux murs antibruit; sur le second, le terrain est plat; et sur le troisième site, l'autoroute est creusée à même le roc et surplombée de deux barrières. Pour réduire la dégradation de la perte par insertion occasionnée par les réflexions multiples, la solution privilégiée pour les deux premiers endroits a consisté à ajouter des panneaux absorbants sur les écrans acoustiques. Dans le troisième cas, étant donné que les réflexions avaient lieu entre les parois du roc, l'ajout d'un revêtement absorbant ne procurait que peu d'amélioration. La solution choisie a été d'augmenter la hauteur des murs de 0,6 m pour garder le maximum de réflexion à l'intérieur des parois. Une étude plus récente de **Watts** (1996b) a fait le point sur la question; il a expérimenté des barrières acoustiques parallèles réfléchissantes, absorbantes, de différents degrés d'inclinaison et de hauteur. Les diverses expérimentations étaient comparées à la perte par insertion obtenue pour un écran réfléchissant en aluminium de 2 m de hauteur. Par exemple, le fait d'ajouter des panneaux absorbants au deuxième écran élimine l'effet de réflexions multiples des barrières parallèles. Si l'inclinaison des écrans est la solution retenue, elle doit être d'au moins 10° pour retrouver la

perte par insertion d'un seul écran. La solution la plus efficace au point de vue de l'atténuation de la pression sonore consiste en la construction d'un mur absorbant intermédiaire d'une hauteur de 1,25 m, ce qui augmente la perte par insertion d'un décibel. Cependant, cette option peut être difficile à réaliser car elle ne doit pas compromettre la sécurité routière; elle ne doit pas faire obstacle à la route ou à la visibilité du conducteur. Les améliorations apportées par ces solutions ne sont en revanche pas perceptibles pour un récepteur situé à une hauteur de 4,5 m. **Legillon** (cité dans **Bowlby** et al., 1987a) a établi une règle générale concernant la hauteur des murs acoustiques en relation avec la distance les séparant. Lorsque le rapport (hauteur/distance) est de $1/20$, les réflexions sont peu importantes et leur effet est négligeable. Lorsque le ratio se situe entre $1/20$ et $1/10$, la meilleure façon de contrecarrer le phénomène des réflexions multiples est d'incliner légèrement les murs. Quand le rapport est plus petit que $1/10$, deux possibilités peuvent être envisagées: si l'atténuation d'un seul mur est inférieure à 12 dB, il est préférable d'incliner les barrières; si elle est supérieure à 12 dB, la meilleure solution consiste à poser des panneaux absorbants. **Pejaver** et **Shadley** (cités dans **Bowlby** et al., 1987a) ont étudié la dégradation de la perte par insertion pour différents scénarios de barrières parallèles. Ils ont conclu qu'elle augmentait avec la distance du receveur, la hauteur des murs et la diminution de la distance séparant les deux barrières.

e) Les coûts des écrans acoustiques artificiels (OCDE, 1995)

Pour un écran simple absorbant ou réfléchissant, les coûts varient entre 600 et 1600 \$US(1995) par mètre de chaussée, selon la hauteur et les fondations du mur. Pour des écrans acoustiques parallèles, le coût est double, soit de 1200 à 3200 \$US(1995) par mètre de chaussée. Un écran total, constitué d'une double rangée de barrières et de damiers phoniques suspendus au-dessus de la chaussée, coûte en moyenne de 4500 à 6600 \$US(1995) par mètre de chaussée. Les écrans s'avèrent ainsi une solution très coûteuse.

f) L'impact visuel

L'effet visuel des écrans antibruit est un élément important à prendre en considération, tant pour la population résidante que pour les utilisateurs de la route. Comme le rapporte le CETUR (1983), l'une des faces de l'écran «sera perçue à 80 km/h en quelques secondes par un automobiliste, l'autre peut être longée, parcourue ou vue quotidiennement par les riverains».

Un écran haut, érigé près des habitations, peut réduire considérablement l'ensoleillement et le champ visuel des occupants des lieux (OCDE, 1995). Pour contrer cet effet, des écrans à plusieurs niveaux peuvent être envisagés, de même que des aménagements paysagers du côté des habitations. En ce qui concerne la distance d'éloignement de l'habitation, il est recommandé de respecter l'équivalent d'environ quatre fois la hauteur de l'écran (OCDE, 1995). Les matériaux, les textures, les couleurs et l'architecture des écrans doivent autant que possible refléter les caractéristiques de l'environnement local. En zones urbaines, il arrive parfois que les écrans antibruit nuisent à la visibilité commerciale ou institutionnelle locale (p.e. façades de commerces ou de musées). En effet, **Knauer** (1980) rapporte que suite à une consultation publique pour un projet d'écrans acoustiques le long de l'autoroute I-95 à Philadelphie, il a été décidé de ne pas ériger de murs le long d'un tronçon où les commerces y étaient dominants afin que ces derniers puissent y conserver leur visibilité commerciale.

Pour la conduite automobile, il faut tenir compte des effets psychologiques induits par les écrans acoustiques. Il en sera plus plaisant pour l'automobiliste si l'on veille à éviter la monotonie ou encore l'effet de tunnel lors de la conception des écrans. Pour y remédier, il est suggéré de varier la forme, le type de matériau et le traitement de surface des écrans de façon à ce qu'ils puissent s'harmoniser avec le niveau de densité du milieu environnant (urbain, suburbain ou rase campagne) (OCDE, 1995). Enfin, il faut se rappeler que l'intégration des écrans acoustiques dans l'environnement implique une approche multidisciplinaire afin de les rendre à la fois sécuritaires et plaisants visuellement, et ce pour tous les acteurs concernés.

g) La perception des écrans acoustiques

L'impact social des écrans acoustiques se reflète dans les perceptions de la population. Aux études techniques mesurant les niveaux de bruit du trafic routier et analysant les différents modèles d'écrans, s'ajoutent des études sur le terrain ou en laboratoire prenant en compte les perceptions des riverains et des usagers de la route quant à l'efficacité et l'esthétique des murs. Ces enquêtes sociales s'avèrent nécessaires dans la prise de décision concernant les projets de lutte contre le bruit et s'inscrivent souvent dans les processus de participation publique (OCDE, 1995).

Perception de l'efficacité

Les études techniques ont démontré l'efficacité acoustique des écrans. Afin de mesurer le degré de satisfaction des riverains quant à la réduction du bruit principalement, des enquêtes sur le terrain sont menées avant et après la construction des murs. Pour obtenir des résultats fiables, **Hall** (1980) propose deux questionnaires comparatifs (avant et après l'implantation des écrans), destinés dans la mesure du possible aux mêmes répondants.

Les différentes études font ressortir dans l'ensemble une relative satisfaction envers les murs acoustiques en ce qui a trait à la réduction du bruit et des autres nuisances (poussière, gaz d'échappement, déchets, vibrations, aveuglement par lumières et reflets...). Mais le degré de satisfaction varie selon la distance entre les habitations et les corridors routiers, c'est-à-dire selon le niveau d'exposition sonore. Deux études menées par le ministère ontarien des Transports et des Communications au sujet de cinq écrans acoustiques (**Adams et al.**, 1980; **White et Fallis**, 1980) mettent en évidence un taux de satisfaction plus élevé chez la population résidante située à proximité immédiate des axes routiers par rapport à ceux habitant davantage en retrait. Deux études ultérieures publiées par le même ministère montrent que les riverains les plus affectés par les diverses nuisances avant la construction de deux écrans parallèles à Mississauga, c'est-à-dire ceux vivant aux abords immédiats de l'autoroute (**McDonald et Santa-Barbara**, 1982), sont aussi ceux dont la qualité de vie s'est améliorée le plus après la construction (**Blamey**, 1984). Des

résultats similaires ont été obtenus par **Ouimet** (1994) lors de l'étude des écrans de l'autoroute des Laurentides et de l'autoroute Papineau-Leblanc.

Par ailleurs, une étude en laboratoire menée en Ontario auprès de 82 sujets et consistant en l'écoute de deux enregistrements représentant le bruit du trafic avant et après l'implantation d'un mur (à différents niveaux de bruit) a montré que l'avantage d'une barrière acoustique est jugé plus grand quand les niveaux de bruit avant la construction sont plus bas (**May et Osman**, 1980). En d'autres termes, les sujets ont indiqué une préférence pour un mur qui résout un problème modéré de bruit plutôt que pour un mur aussi efficace, mais qui ne résout que partiellement un problème plus important de bruit.

Le degré de satisfaction face à un écran dépend ainsi de la réduction perçue du bruit, laquelle est généralement plus importante à proximité immédiate des axes routiers. L'étude de **Ouimet** (1994), effectuée à Laval, confirme que plus l'atténuation sonore perçue est grande, plus un écran est bien accepté.

Cependant, la construction d'un mur acoustique ne fait que réduire en partie les nuisances et peut ne pas être efficace à une certaine distance (**Kastka et al.**, 1995), tout en créant d'autres problèmes: comportements antisociaux (graffiti), coupure du champ visuel, affaiblissement de la luminosité, entretien et apparence de l'écran (**White et Fallis**, 1980).

Perception de l'esthétique

Si les riverains sont généralement satisfaits de l'efficacité acoustique des écrans artificiels, il n'en est pas toujours de même au niveau de l'esthétique (matériaux, forme, taille, couleur(s)). Les questions d'esthétique ont une influence plus grande sur l'efficacité perçue des écrans que les questions d'acoustique (**Barrass et Cohn**, 1981). L'"atténuation psychologique" du bruit pourrait atteindre 7 dBA lorsque l'écran est bien accepté esthétiquement. Les perceptions négatives quant à l'aspect visuel des murs antibruit (mais aussi leur coût jugé excessif) sont mises en évidence

par **Cohn et Bowlby** (1984) dans une réflexion sur les moyens de rendre cette solution plus acceptable.

Au Québec, l'étude de **Ouimet** (1994) a mis en évidence que la performance est le premier critère d'acceptation d'un écran; mais lorsque l'atténuation est efficace, ce sont les conditions esthétiques qui entrent en jeu de façon prioritaire. La question de l'esthétique est rapidement devenue une préoccupation pour les architectes et les ingénieurs chargés de proposer des modèles de murs (**Hahn**, 1979). L'aspect visuel concerne en premier lieu les riverains, qui ont une vue à l'année longue sur les écrans, mais aussi les usagers de la route (automobilistes, cyclistes, piétons), qui les perçoivent au passage. Pour favoriser l'acceptation des écrans par la population, ceux-ci doivent être en harmonie avec le paysage urbain et ne pas s'imposer de façon exagérée au regard. Dans ce sens, lorsque la structure requiert plus de 4 ou 5 m de hauteur, **Bendtsen** (1994) préconise la mise en place de buttes de terre avec végétation, surplombé d'un écran acoustique si nécessaire. Les études menées aux États-Unis montrent que les écrans naturels sont davantage acceptés par la population que les structures en bois, en béton ou en métal (**Barrass et Cohn**, 1981). **Berthollon et al.** (1989) soulignent, pour leur part, l'importance d'une concertation avec les riverains quant au choix des écrans.

L'importance de la participation publique

La participation des citoyens dans les projets de lutte contre le bruit du trafic routier est reconnue comme une nécessité pour réduire les perceptions négatives concernant les impacts du bruit et les techniques employées pour minimiser ces impacts. Elle est souvent déterminante dans la prise de décisions quant aux mesures de mitigation à apporter. Aux États-Unis, la population s'implique depuis longtemps dans les programmes de réduction du bruit (**Barrass et Cohn**, 1981). Elle est amenée à participer à des séances d'information et de discussion, et à remplir des questionnaires. L'implication des citoyens tôt dans les programmes de lutte au bruit favorise l'acceptation des projets, sans que la satisfaction soit pour autant totale. Au Québec, la population peut s'exprimer sur les projets routiers provinciaux suite à des plaintes, lorsque le ministère des Transports organise des consultations publiques, et lorsque le projet est soumis à la procédure d'évaluation

des impacts et qu'un mandat est accordé au Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (c.f. 5.5).

Ouimet (1994) a interrogé un groupe d'individus vivant en bordure de l'autoroute des Laurentides, dans un secteur non protégé par des murs, où près de la moitié exprimait la nécessité d'un écran antibruit. L'auteur stipule que «...81% des gens interrogés désiraient être informés du projet d'écran acoustique avant que ne débute sa construction: un tiers aimerait être informé par l'entremise des journaux locaux (33%), viennent ensuite les dépliants spéciaux (19%) et les rencontres (20%), les autres ont mentionné les stations de radio, de télévision, les grands quotidiens et les sondages téléphoniques. Quelques résidants (18%) ont déjà signé une pétition relative au bruit provenant de l'autoroute. Plusieurs résidants (68%) souhaitent signer une pétition. La plupart des résidants (77%) ont dit souhaiter avoir l'occasion de se prononcer pour ou contre l'aménagement qui leur serait proposé. Plus de la moitié des résidants souhaitaient participer à une ou des soirées d'information concernant un futur projet de construction d'écran acoustique. Près de la moitié des gens ont dit vouloir être impliqués dans la prise de décision».

Des études de cas mettent en évidence l'importance de l'approche participative dans le succès de la mise en place d'un écran antibruit (Québec, 1994a). À Philadelphie (en Pennsylvanie), la communauté s'est impliquée à toutes les étapes d'un projet majeur d'écrans acoustiques (requête quant à la nécessité du projet, localisation des écrans, choix du modèle) (Knauer, 1980). Une seule année a été nécessaire pour résoudre les principaux problèmes et atteindre un consensus entre toutes les parties concernées, pourtant très divisées au départ, ce qui indique la rapidité à laquelle s'est déroulé le processus. L'implication de la population résidante dans un projet similaire à St. Petersburg (en Floride) a également permis d'obtenir un haut taux d'acceptation (Lindeman, 1985). Enfin, des systèmes de simulation visuelle peuvent maintenant faciliter la participation publique aux projets routiers. Au Japon, le système *Landscad* permet aux citoyens de mieux comprendre les mesures proposées et d'exprimer leurs préférences dans le cadre de projets visant, entre autres, la réduction du volume du trafic (Kubota et Kubota, 1994).

5.3.3.3 L'isolation des façades

Selon l'OCDE (1995), la mise en place d'un écran acoustique en milieu urbain devient parfois difficile (contraintes spatiale et architecturale), ou encore inefficace (lors de la présence d'édifices à étages multiples). Dans de tels cas, l'isolation des façades reste une autre solution possible afin de réduire le bruit à l'intérieur des bâtiments. La plupart des auteurs rapportent qu'une telle pratique s'avère avantageuse en milieu urbain dense et qu'elle est fréquemment employée pour améliorer une situation déjà existante (OCDE, 1995; Bar, 1988; Lambert, 1981). Aux États-Unis, ce sont surtout les bâtiments scolaires qui sont insonorisés contre le bruit routier, alors qu'en Europe cette solution s'applique autant aux logements qu'aux édifices publics (écoles, hôpitaux, bureaux, etc.). Il faut comprendre qu'aux États-Unis, la trame urbaine (prédominance des banlieues) est bien différente de celle que l'on retrouve en Europe.

Cette technique consiste à effectuer des travaux de rénovation sur les façades (et parfois sur le toit) afin d'améliorer le niveau d'insonorisation du bâtiment. En général, les travaux sont effectués sur une seule façade, soit celle qui est la plus exposée au bruit routier. De plus, l'on mise davantage sur l'insonorisation des pièces de repos, d'étude ou de relaxation (chambre à coucher, salon, bureau et salle à dîner). D'ailleurs, avant d'effectuer de tels travaux, il est fortement recommandé (OCDE, 1995) d'évaluer l'effet d'un simple réaménagement des pièces à l'intérieur même du logement. Il va sans dire que de telles préoccupations devraient toujours être prises en considération lors de la conception des bâtiments résidentiels (SCHL, 1981).

Les fenêtres apparaissent souvent comme étant le point le plus faible de l'insonorisation des bâtiments. Contrairement à ce qu'on pourrait croire, il n'y a pas de relation significative entre la surface de vitrage et le niveau d'insonorisation des bâtiments (Mignerou, 1982b). Que ce soit pour les fenêtres ou les portes, Tatusesco (1981) montre plutôt que le niveau d'insonorisation est grandement influencé par la qualité du vitrage ainsi que par le degré d'étanchéité du châssis. En effet, selon le type de fenêtre, l'indice d'affaiblissement du bruit routier peut varier de 21 à 47 dBA. Un vitrage épais (de 8 à 10 mm) donne une performance quasi-égale à celle d'un vitrage double (espacé de 6 mm), soit un affaiblissement sonore d'environ 30 à 34 dBA. Les fenêtres sur

châssis doubles sont les plus efficaces avec un indice d'affaiblissement variant de 45 à 47 dBA. D'ailleurs, il est rapporté que l'ajout d'une fenêtre que l'on superpose au châssis original par l'intérieur (Hogan et Ravnkilde, 1985) ou par l'extérieur (Billera et Cunningham, 1982) améliore grandement l'insonorisation du bâtiment. Ainsi, cette solution permet d'éviter le remplacement complet du châssis original, et par conséquent la réalisation de travaux majeurs à l'intérieur même des murs du bâtiment. Dans le cas des façades qui possèdent une certaine valeur patrimoniale, il faut se rappeler que l'achat de fenêtres et de châssis faits sur mesure demeure très dispendieux. Pour résoudre ce problème, certains auteurs proposent de concevoir un cadre qui puisse répondre aux exigences architecturales du bâtiment et être monté sur un châssis de dimension "standard". À ce sujet, une étude a démontré qu'une telle solution permettait d'atteindre un bon rapport coût-efficacité tout en préservant la valeur historique du bâtiment (DiGeronimo et Goodfriend, 1996).

Les entrées et sorties d'air pour la sècheuse, la ventilation, l'air climatisé ou encore pour le courrier favorisent également la pénétration des ondes sonores à l'intérieur du logement. Comparativement aux chicanes absorbantes, les déflecteurs placés aux entrées et sorties jouent un rôle important puisqu'ils permettent un complément d'isolement acoustique de l'ordre de 7 à 8 dBA (Tatusesco, 1981). Comme autre facteur d'importance au niveau de l'insonorisation, notons celui de la densité des matériaux qui composent les murs des bâtiments. Plus elle sera élevée, plus les matériaux seront en mesure d'empêcher les bruits de passer (SCHL, 1987). Les revêtements extérieurs constitués de matériaux légers comme l'aluminium sont à éviter, alors que les matériaux lourds comme la brique, le ciment, le gypse et le verre sont fortement recommandés (Drouin et Parent, 1989). Une étude réalisée à Denver (près d'un aéroport) a permis de vérifier l'efficacité de certains revêtements extérieurs face au bruit (Hougland, 1990). Il ressort qu'une charpente murale isolée de façon thermique et recouverte d'un matériau léger comme l'aluminium permet une réduction du bruit d'environ 37 dBA, tandis qu'une charpente recouverte de ciment et de brique présente un indice d'affaiblissement sonore de près de 75 dBA. Dans le même sens, le choix de l'isolant thermique est important. En effet, sur le plan acoustique, les matériaux fibreux (laine minérale) enregistrent de meilleures performances que les isolants rigides (polystyrène), puisqu'ils sont en général plus denses (France, 1983).

Il est donc possible de choisir des matériaux de construction qui peuvent servir à la fois d'isolant acoustique et thermique, même si les principes physiques de ces deux propriétés diffèrent grandement (SCHL, 1981). D'ailleurs, dans la lutte au bruit routier, plusieurs auteurs rapportent qu'il est avantageux d'isoler les façades puisque cette solution permet une économie d'énergie (Pétronari et al., 1979; SCHL, 1981; France, 1983; CETUR, 1987). Cet argument semble encore plus convaincant dans le cas des bâtiments insonorisés contre le trafic aérien, puisqu'en général le toit et la plupart des façades doivent être traités. À cet égard, une étude réalisée près de l'aéroport international de Baltimore-Washington démontre que l'insonorisation des résidences permet d'économiser jusqu'à 18% de l'énergie dépensée pour le chauffage, la climatisation et la ventilation (Thompson-Shade, 1990). L'étude stipule aussi que les travaux d'isolation acoustique peuvent procurer à eux seuls jusqu'à 75% du rendement énergétique résultant des normes thermiques de construction de l'American Institute of Architects (AIA).

Par contre, le rehaussement de l'étanchéité des parois, châssis, portes et fenêtres devient un inconvénient au niveau de l'aération du logement. En effet, lors des travaux d'insonorisation, le CETUR (1987) rapporte qu'il est important de se préoccuper de la ventilation des pièces pour les trois raisons suivantes: (1) limiter la condensation - les constructions anciennes sont plus sensibles à ce problème puisqu'elles n'ont pas été conçues de façon à répondre aux normes actuelles d'isolation thermique - et conserver la salubrité et l'hygiène; (2) assurer la sécurité lorsqu'il y a des appareils fonctionnant au gaz; (3) assurer le confort des habitants au niveau des odeurs et de la température ambiante. Ainsi, pour pallier à ce problème, plusieurs auteurs recommandent l'ajout d'un système de ventilation mécanique. D'ailleurs, selon l'OCDE (1995), ce système apparaît comme étant le meilleur. Le confort thermique, en été, peut aussi être amélioré en évitant de faire pénétrer les rayons solaires à l'intérieur du logement. L'ajout de volets ou de stores à l'extérieur du bâtiment en est un bon exemple (Bideau, 1979). Enfin, selon la littérature, les occupants du logis devraient toujours avoir la possibilité d'ouvrir les fenêtres comme dernier recours en temps de canicule.

Sur le plan économique, l'isolation des façades reste difficile à quantifier puisque les coûts dépendent grandement de la spécificité des lieux, du bâtiment et des matériaux utilisés. À titre

d'exemple, l'OCDE (1995) avance qu'ils varient entre 2000 \$US(1995) pour un logement et 50000 \$US(1995) pour une maison individuelle. Bien souvent la valeur patrimoniale d'un bâtiment peut faire augmenter la facture des travaux de rénovation (reproduction de fenêtres antiques par exemple). Néanmoins, en zone urbaine, l'OCDE classe cette solution comme étant moyennement coûteuse, soit l'équivalent du coût de construction d'un écran acoustique avec damiers phoniques au-dessus de la route (environ 6000 \$US(1995)/m pour les deux côtés de la route). Pour mieux évaluer les coûts de réhabilitation d'une façade, le CETUR (1987) propose de tenir compte des critères suivants:

- l'accès du chantier au marché (prix et salaires);
- les possibilités de stockage des matériaux sur place;
- la manutention des matériaux;
- l'importance des opérations (taux de majoration);
- la typologie des bâtiments;
- la difficulté de mise en oeuvre (complications techniques);
- l'organisation du chantier avant les travaux (état d'occupation des logements, relations entre les partenaires).

Peu de documents traitent de la satisfaction résidentielle envers l'isolation des façades. Le CETUR (1987) rapporte que les techniques de ventilation proposées ne semblent pas toujours faire l'unanimité auprès des utilisateurs, plusieurs occupants préférant avant tout obtenir de l'air frais en ouvrant les fenêtres. Néanmoins, le CETUR soutient que les occupants ont généralement le choix d'ouvrir ou de fermer les fenêtres. Ainsi, ils peuvent les fermer lorsque le niveau de bruit devient trop grand et les ouvrir lorsqu'ils quittent le logement ou la pièce, ou lorsqu'ils effectuent des activités qui ne demandent aucun effort de concentration. Quant aux nouvelles fenêtres, le CETUR affirme qu'elles sont en général bien acceptées, puisqu'en plus d'abaisser le niveau du bruit routier, elles permettent de réduire les sifflements causés par le vent, l'infiltration de la poussière et l'intrusion de l'air froid durant l'hiver.

Enfin, une enquête réalisée en Angleterre auprès de 882 sujets a permis de connaître l'opinion de la population concernée par cette solution (Utlely et al., 1986). L'étude indique qu'une grande portion de la population (80%) se disait satisfaite de la réduction du niveau de bruit routier, et qu'une plus grande proportion encore (84%) se montrait globalement satisfaite envers l'isolation des façades. Les fenêtres furent l'élément le plus apprécié, en raison principalement de la réduction de bruit, mais aussi de l'économie d'énergie réalisée. L'aspect le plus délicat de l'étude fut sans doute celui de la ventilation, à peine plus de la moitié de la population (58%) ayant exprimé de la satisfaction. La taille et l'apparence des ventilateurs ainsi que leur apport en courants d'air figuraient parmi les principaux critères d'insatisfaction. Cependant, le bruit généré par les ventilateurs (environ 35 dBA) ne semblait pas vraiment indisposer les occupants des lieux.

5.3.4 La problématique microclimatique associée aux abords des infrastructures routières

Peu nombreuses sont les études qui abordent la problématique microclimatique aux abords des axes routiers. Elle doit être prise en compte dans l'évaluation des techniques de lutte au bruit de la circulation. Des effets microclimatiques sont engendrés par la situation en déblai ou en remblai des routes, l'implantation d'écrans acoustiques et la présence de bâtiments. Il en résulte des changements d'exposition au soleil et au vent, et ainsi des changements de température et d'humidité. À une échelle plus globale, les émissions de polluants des véhicules influencent le climat urbain.

a) Dispersion des polluants en bordure des voies routières et effets sur le climat des villes

Le trafic automobile est aujourd'hui la principale source de pollution de l'air dans les agglomérations urbaines, et contribue notamment à augmenter la température et les précipitations à l'échelle locale (Escourrou, 1991). La qualité de l'air étant devenue une préoccupation, des chercheurs se sont penchés, entre autres, sur la dispersion des polluants et des particules en suspension aux abords des axes routiers. Cependant, le lien avec de possibles effets microclimatiques n'est généralement pas établi. Les processus de transport et de dispersion des

polluants sont surtout fonction des conditions d'émission, du mode de diffusion et des facteurs climatiques (Ménard et al., 1987). L'influence des facteurs climatiques, particulièrement du vent (vitesse, direction) et de la température, a été mise en évidence dans une étude menée en Belgique à proximité d'une artère à trafic intense (Hallez et al., 1989).

b) Influence des emprises routières, des écrans acoustiques et des bâtiments sur le microclimat

La construction d'une route en déblai ou en remblai peut entraîner des effets microclimatiques pour les riverains (Loir et Icher, 1983). Une route en déblai signifie une plus grande exposition au soleil et au vent; à l'opposé, une route en remblai coupe les riverains du soleil (froid et humidité en conséquence), réduit l'influence des vents ou provoque davantage de courants d'air.

L'implantation d'écrans acoustiques, artificiels ou naturels, peut engendrer les mêmes effets sur le microclimat qu'une route en remblai. Les écrans créent aussi des accumulations de neige et modifient le drainage des sols. La plupart des études s'attardent cependant à leurs impacts sur les concentrations de polluants. L'une d'entre elles, menée aux États-Unis, a permis d'évaluer l'impact d'un mur antibruit sur la qualité de l'air et l'accumulation de neige (Lidman, 1985). Il apparaît que l'écran a un effet bénéfique sur la qualité de l'air en retardant la dispersion des particules en suspension, et qu'il ne provoque pas d'accumulations importantes de neige, du fait des turbulences au sol et du déplacement des véhicules. Des chercheurs allemands se sont, quant à eux, intéressés à l'influence de différents types d'écrans acoustiques sur la dispersion des gaz d'échappement (Hölscher et al., 1993).

Par ailleurs, une recherche effectuée aux Pays-Bas indique que les arbres plantés en bordure des rues tendent quelquefois à accroître les concentrations de polluants au niveau des rues (Van Den Hout et al., 1989). Mais les écrans végétaux peuvent aussi permettre de réduire la pollution en filtrant les particules en suspension (Varshney et Mitra, 1993).

Enfin, les bâtiments constituent des obstacles aux mouvements d'air. Selon leur forme et leur orientation, ils modifient la direction et la vitesse des vents (Mirzai et al., 1994). Ainsi, ils ont

une influence importante sur le microclimat et les concentrations de polluants (Van Den Hout et al., 1989). Cette incidence sur les concentrations de polluants est aussi notée par Hoydysh et Dabberdt (1994), qui se sont intéressés aux intersections en zone urbaine.

5.3.5 Résumé

Plusieurs techniques sont employées pour lutter contre le bruit de la circulation routière. L'intervention peut se faire au niveau de la source de bruit: développement des véhicules, revêtement des chaussées (option plus difficile à appliquer dans les pays froids). Une meilleure gestion de la circulation peut aussi permettre de réduire les niveaux de bruit, en introduisant des limites de vitesse et des sens uniques, en interdisant la circulation à certains véhicules, en synchronisant les feux, en redistribuant les flux de véhicules (avec le risque cependant de déplacer les problèmes). Par ailleurs, l'implantation d'une zone tampon entre la route et les résidences évite les investissements de lutte au bruit, mais nécessite un espace important. Les écrans acoustiques naturels et artificiels (ou mixtes) constituent des solutions répandues de lutte au bruit routier. Les écrans naturels sont peu efficaces sur le plan acoustique et requièrent en outre une surface importante. Cependant, il faut ajouter qu'ils améliorent l'effet visuel et demeurent peu coûteux. Les écrans artificiels sont surtout efficaces au niveau du sol et du premier étage. Ils ont cependant certains inconvénients: coût élevé, entretien nécessaire, investissement dans l'aspect esthétique, fermeture du champ visuel valorisé, effets microclimatiques pour les riverains (réduction de l'ensoleillement, baisse de la température, augmentation de l'humidité, corridors de vents). Une autre solution consiste à isoler les façades. Elle est efficace à tous les étages, mais a un coût de revient comparable à celui des écrans artificiels et n'a aucun effet à l'extérieur. Un réaménagement du logis peut être aussi envisagé.

5.4 Les stratégies de lutte au bruit de la circulation

En général, l'État joue un rôle fondamental en matière de lutte contre le bruit routier (Lambert, 1981). En effet, il lui est possible d'intervenir dans des domaines aussi variés que l'administration, la réglementation, la recherche et la voirie. C'est pourquoi il lui revient une grande part de responsabilité dans l'évolution des stratégies de lutte au bruit de la circulation.

Chaque stratégie peut faire appel à diverses techniques de lutte contre le bruit, à différentes politiques de réglementation (niveaux d'émission des véhicules, aménagement des infrastructures routières, insonorisation des bâtiments...), ou encore à différents programmes de sensibilisation auprès du public (comportements au volant, entretien des véhicules...). En d'autres termes, il existe à peu près autant de stratégies qu'il existe de pays. Nous nous concentrerons sur les principales approches observées au sein des pays membres de l'OCDE.

a) Les principales stratégies nationales

Selon l'OCDE (1995), il semble exister deux grandes approches. La première, que l'on qualifie de "volontariste", se traduit par une décentralisation des activités de lutte au bruit, donnant ainsi lieu à des interventions lors des situations les plus critiques. La mise sur pied de vastes programmes de recherche et d'information auprès du public et des constructeurs automobiles caractérise cette approche. L'Australie, la France, l'Italie, l'Allemagne, l'Espagne et les États-Unis suivent ce modèle.

La seconde approche, dite "planificatrice", vise à établir des normes maximales d'exposition au bruit, tout en veillant à ce qu'elles soient respectées. En général, un organisme central gère les programmes de mesure de bruit au niveau des routes et des bâtiments. Cette approche plus centralisatrice semble être suivie par l'Autriche, le Danemark, la Finlande, les Pays-Bas, la Norvège et la Suisse.

Toujours selon l'OCDE, il semble difficile de démontrer laquelle de ces approches est la plus efficace. Néanmoins, nous pouvons dire que l'approche "volontariste" débouche généralement sur une procédure d'ajustement, et que l'approche "planificatrice" oblige la promotion d'actions d'envergure ayant un impact économique important, mais qui engendrent des retombées positives sur l'ensemble de la population.

Dans le cas de l'approche "planificatrice", **Whitelegg** (1993) qualifie le ratio bénéfices/coûts comme étant très élevé. Il prend comme exemple la ville de Zurich (en Suisse) où plusieurs actions ont été nécessaires afin de répondre à de nouvelles normes fédérales relatives au bruit. Ces actions portaient sur la réduction à la source (véhicules et revêtement de la chaussée), la régulation du trafic (déviation de la circulation, diminution de la vitesse permise, attribution de certaines voies aux piétons et au transport en commun), et enfin sur certaines mesures physiques (écrans acoustiques et insonorisation des façades). En plus de réduire les niveaux de bruit, ces actions ont ainsi contribué à augmenter la sécurité sur la route, la qualité de l'air et la qualité de l'environnement en général pour les piétons, cyclistes et riverains. En contre-exemple, prenons le cas de l'Allemagne où, malgré un investissement considérable dans la construction d'écrans, de tunnels, de talus et de tranchées, près de 60% de la population se disait encore dérangée par le bruit routier en 1990 (**Whitelegg**, 1993).

Que l'approche soit de type "volontariste" ou "planificatrice", il apparaît clairement qu'une stratégie diversifiée a plus de chances de succès qu'un plan d'action qui ne comporte qu'un seul moyen de lutte au bruit (**Berge**, 1994). Toutefois, cela ne veut pas dire que, localement, la combinaison de plusieurs techniques soit nécessairement profitable pour l'ensemble de la communauté. Selon l'OCDE (1995), «l'atténuation du bruit obtenue n'est certainement pas égale à la somme de la réduction apportée par chaque mesure prise isolément et, qu'entre autres, chaque mesure de réduction a des coûts différents». En zone semi-urbaine par exemple, l'OCDE stipule que les écrans acoustiques et les chaussées drainantes offrent une excellente complémentarité, et qu'en zone urbaine dense, cette complémentarité disparaît puisque les étages supérieurs des bâtiments restent vulnérables face au bruit de la circulation. Dans un tel cas, l'ajout de damiers phoniques au-dessus de la route ou encore l'isolation des façades deviennent d'autres solutions

complémentaires. Quoiqu'il en soit, lors de la recherche de solutions, il est essentiel de considérer l'ensemble des actions possibles, soit celles qui concernent les véhicules, les comportements, la circulation, les infrastructures, les logements et l'urbanisme (Lambert, 1981). Enfin, les stratégies d'intervention peuvent être subdivisées selon les deux niveaux suivants (Ryu, 1995): les mesures actives (conception des véhicules et des infrastructures routières) et passives (utilisation de l'espace aux abords des voies et conception des bâtiments).

Un autre paramètre semble prendre de plus en plus d'importance dans les stratégies de lutte au bruit de la circulation: il s'agit de la prise en compte du public. En effet, plusieurs auteurs rapportent qu'il est essentiel de faire participer le public à un stade précoce dans l'élaboration d'un projet (OCDE, 1989 et 1995; Tamura et al., 1994). Même si cette étape occasionne des frais supplémentaires, elle semble s'avérer bénéfique pour l'ensemble des acteurs.

b) Vers une approche globale

Le critère bruit est rarement déterminant à lui seul dans le choix d'une stratégie. En effet, il arrive parfois que la lutte au bruit routier puisse engendrer de nouveaux problèmes, ou même au contraire faire apparaître des avantages inespérés (ce qui est plutôt rare). Cela dépend des conditions locales, sociales, culturelles ou même climatiques. L'OCDE (1995) donne l'exemple suivant: «...dans les pays froids par exemple, il paraît difficile d'adopter, en raison des problèmes de gel et glace, des chaussées poreuses alors qu'une politique d'amélioration de l'isolation des fenêtres pourra répondre dans le même temps aux objectifs de programmes d'économies d'énergie; on rencontre la situation exactement inversée dans les pays chauds».

Ayant pris conscience de ces effets indirects, de plus en plus de pays adoptent une approche globale lors de la recherche de solutions (OCDE, 1995). En général, dans une telle perspective, les interactions entre l'environnement, l'économie et les aspects sociologiques doivent être étudiées. D'ailleurs, comme critères d'aide à la décision au niveau des transports terrestres, Lamure et Lambert (1993) proposent la recherche de la qualité de l'environnement (physique et humain), de l'efficacité économique et de l'équité sociale.

5.5 L'expérience québécoise

Il existe au Québec une grande expertise en matière de participation du public lors de la construction de routes. Cette participation se manifeste plus spécifiquement lors de la tenue d'enquêtes, de médiations ou d'audiences publiques menées par le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE). Il faut souligner que le ministère des Transports effectue également des consultations publiques en amont de la procédure menant à un mandat du BAPE ou lors du traitement des plaintes. Il s'agit souvent de consultations ponctuelles et aucun document résumant les résultats de ces consultations et de leur suivi n'était disponible. Dans le cadre de cette révision de l'expérience québécoise, nous tenterons d'analyser comment les questions de bruit ont été prises en compte. Nous mettrons en évidence que les impacts sonores sont une préoccupation typique des projets routiers, que le bruit n'est qu'une composante d'un thème plus large qu'est la qualité de vie, que les concepts qui lui sont rattachés sont souvent difficiles à saisir, que la règle admise de 55 dBA sur 24 h est loin de faire l'unanimité, qu'il existe un souci d'équité et de justice dans ce domaine, et finalement que l'approche participative mérite d'être privilégiée.

a) Le bruit, un enjeu majeur qui touche la qualité de vie et la santé

Depuis la création du BAPE en 1978, pas moins de 33 consultations sur des projets routiers ont été l'objet d'un rapport d'enquête, de médiation ou d'audience publique. Dans la majorité de ces dossiers, le bruit a été mentionné comme un enjeu, mais il se retrouve rarement seul; tant les commissaires que les citoyens le mentionnent comme, soit un élément de la qualité de vie, soit une composante importante de la définition de la santé (c.f. BAPE 1992, rapport #50, p. 68 et suiv.; on résume notamment dans ce rapport les effets du bruit sur la santé physique, psychologique, physiologique et psychosomatique). La question de santé a pris une place particulière dans le cadre de l'audience publique sur le projet de construction de l'échangeur Brière sur l'autoroute 15 et d'une voie de desserte (Saint-Jérôme/Bellefeuille) (BAPE 1995, rapport #100, p. 81). Dans ce cas particulier, une garderie se situe à proximité du projet. À cause de l'impact que peut avoir le bruit sur des enfants en développement, un groupe dit vulnérable, le représentant de la Régie régionale de la santé et des services sociaux des Laurentides a insisté

sur «l'importance de maintenir le niveau de bruit dans les limites de 55 dBA à l'extérieur des garderies».

La pollution sonore générée par le bruit routier constitue une préoccupation constante, sinon omniprésente, dans l'ensemble des projets routiers analysés. Cette situation n'est pas surprenante dans la mesure où il est reconnu que le bruit serait le facteur principal qui caractérise la qualité de l'environnement résidentiel (selon **Carp et al.**, 1976, cités par **Poulin** dans le document préparé pour le **BAPE** dans le cadre du projet de réaménagement du chemin de la Montagne dans la ville de Hull, rapport #23, 1987, annexe 10). Cette question d'omniprésence a d'ailleurs été soulevée au rapport de la commission qui présidait à l'audience publique sur le prolongement de l'autoroute 73 à Stoneham (**BAPE**, rapport #28, 1988, p. 5.15): «Il est en effet remarquable de constater avec quelle unanimité le problème du bruit routier a été soulevé au cours des audiences publiques. Essentiellement, les gens craignent de perdre la tranquillité d'un lieu qu'ils ont choisi bien souvent selon ce critère».

Aborder la qualité de vie de la population résidante en bordure des voies de circulation n'est pas simple. La qualité de vie est un concept multidimensionnel difficile à cerner. Dans son rapport sur le projet de réaménagement de la route 116, tronçon Princeville / Plessisville (**BAPE** 1986, rapport #21, p. 77 et suiv.), la commission traite de cette question. Elle rappelle d'abord que «l'évaluation d'impacts implique toujours certains jugements et que les impacts de différentes natures qui affectent une même personne sont ressentis de façon globale et non séparément». Et elle poursuit: «On constate qu'un grand nombre de [personnes] pourraient subir plus d'un impact à la fois, en rapport à la sécurité, au climat sonore, à la modification de leurs entrées privées, au rapprochement des voies de circulation...». «L'effet cumulatif de plusieurs impacts, mêmes mineurs, ressentis par une même personne, pourrait être perçu comme une atteinte à sa qualité de vie. L'intensité de cette perception dépendrait de l'évaluation et de l'importance relative de chacun des impacts, mais aussi du niveau d'acceptation du projet du MTQ par cette personne».

La démarche employée pour étudier les questions de bruit dans les études d'impacts est de type empirique visant à satisfaire certains critères, ce qui pourrait nuire à la réalisation d'une analyse

sérieuse sur les impacts humains du bruit, en particulier en ce qui concerne l'impact sur la qualité de vie. C'est du moins ce que croit la commission qui s'est penchée sur le projet de réaménagement du chemin de la Montagne dans la ville de Hull (BAPE 1987, rapport #23, p. 5.11): «Dans le cadre des études d'impact, la relation du bruit à la santé et à la qualité de vie ne nous semble pas avoir été étudiée d'une manière formelle. La démarche semble être plus empirique, visant à fixer le niveau sonore existant et le niveau sonore prévisible, quitte à intervenir quand la norme de 55 dBA en $L_{eq,24h}$ est dépassée. Seule une analyse en profondeur des différents aspects du bruit généré par une route et de leur incidence sur la qualité de vie permettrait une vérification de la validité des critères utilisés et un travail soutenu de prévention. Dans les études d'impact, les questions relatives à la santé humaine sont prioritaires et doivent être bien documentées».

b) Des concepts difficiles à saisir

Les concepts associés à la pollution sonore sont difficiles à comprendre; ils demandent souvent l'intervention de spécialistes et la définition de termes comme dBA, son, $L_{eq,24h}$... C'est ainsi que dans plusieurs rapports, la figure illustrant les dBA apparaît, avec d'une part des références à des bruits connus, et d'autre part les doublements d'intensité sonore. De même, les commissions ont eu régulièrement recours, particulièrement entre 1980 et 1988, à des experts sur cette question; certains les ont aidés à mieux comprendre les concepts associés au bruit (c'est le cas du texte de Poulin inclus dans le rapport du BAPE #23 en 1987), d'autres leur ont permis d'obtenir des avis d'experts qui servaient bien souvent à valider ou à compléter les prédictions du MTQ ou du consultant (c'est le cas des différentes interventions de Jean-Gabriel Migneron, rapports du BAPE #21 (1986), 23b (1987) et 28 (1988)). Plus récemment, il semble que les commissions fassent moins appel aux experts sur le bruit; ce changement d'habitude pourrait s'expliquer par le fait que d'une part, le MTQ a publié un livre intitulé *Combattre le bruit de la circulation* qui explique clairement les concepts, et que d'autre part, la majorité des expertises n'ont fait que confirmer les observations du promoteur, tout au moins quand celui-ci est le MTQ. Il faut remarquer que dans certains cas, notamment celui du projet de l'autoroute 55 (BAPE 1993, rapport #71, p. 19), les

requérants ont entrepris eux-mêmes une évaluation sonore et que pour cela, ils ont été assisté d'un groupe expert, le groupe acoustique de l'Université de Sherbrooke.

c) Le risque du changement entraîne diverses réactions

Les citoyens dont l'environnement sonore est directement touché par le projet réagissent fortement au risque de changement. Ils font l'association suivante: un niveau de circulation élevé et croissant génère une augmentation des niveaux de bruit, des vibrations et des poussières, ce qui contribue à la détérioration de leur qualité de vie, ce qui a comme conséquence de diminuer la valeur de leur propriété, ou, s'il s'agit d'un immeuble à logements, d'accroître le taux de vacance, de générer des loyers inférieurs aux attentes des investisseurs, et par conséquent de diminuer les investissements immobiliers dans le secteur sous impact (voir le rapport du BAPE #93 (1995), projet de construction du boulevard La Vérendrye entre l'autoroute 50 et le pont Alonzo-Wright à Gatineau, qui est limpide sur cette question). Comme il est mentionné au rapport #28 du BAPE (1988, p. 5.18), «Il y a donc dans l'évaluation que l'on peut faire de l'impact d'un bruit, une part importante reliée à des considérations d'ordre psychologique. Il ne faut pas oublier qu'en matière de bruit, les sons que nous subissons paraissent toujours plus détestables que ceux que nous choisissons de notre propre gré».

Lorsqu'un risque de changement de l'environnement sonore est envisagé, l'expérience du BAPE montre que les intervenants questionnent généralement la justification du projet, la validité des estimations actuelles et futures de circulation (y compris la proportion de camions lourds), la valeur des estimations des niveaux sonores actuels et projetés. Il semble courant que les riverains des axes routiers croient que leur niveau d'exposition est supérieur à celui mesuré. La valeur du $L_{eq,24h}$, l'écart entre le moment de prise de données et l'audience publique, ou la stratégie de mesure (durée, nombre de prélèvements, moment du jour ou de l'année...) sont alors contestés (ce genre de débat apparaît dans la majorité des rapports consultés).

Plusieurs intervenants se disent prêts à envisager une expropriation plutôt que de subir une diminution de la qualité de vie, contrairement aux personnes expropriées qui se battent pour ne

pas l'être (BAPE 1984, rapport d'enquête 17b, projet de voie de contournement de la ville de Saint-Georges-de-Beauce (route 304)). Lors de la médiation concernant le réaménagement de la route 112-116 entre les échangeurs Charles-Lemoyne et Saint-Hubert, incluant l'échangeur Edna-Maricourt (BAPE 1993, rapport #62, p. 12), une citoyenne vivant en bordure des emprises cumulées d'Hydro-Québec et du MTQ indique qu'elle a choisi ce site à cause de «l'absence de voisins [qui] lui assurait une certaine tranquillité». Considérant que les travaux et le rapprochement des infrastructures lui causeront préjudices, elle demande au ministre de l'Environnement, dans sa requête d'audience, à «être expropriée si une telle action est envisageable ou être dédommée advenant l'impossibilité d'une expropriation». Cette ouverture vers l'expropriation est aussi revenue dans le dossier de l'échangeur Brière (BAPE 1995, rapport #100, p. 98). Finalement, la Loi sur l'expropriation revient constamment sur la sellette; une présentation sommaire de la procédure d'expropriation suivie par le MTQ, telle qu'exprimée en audience publique par une représentante du MTQ, apparaît en annexe dans un rapport du BAPE (1992, rapport #48, annexe 5). Cependant, cette loi ne prévoit pas de procédure pour les gens dont la propriété ne se situe pas directement dans l'emprise du projet, et ce même si leur propriétaire estime subir des préjudices sérieux; cette situation a amené la commission du projet de l'échangeur Brière (BAPE 1995, rapport #100, p. 107) à formuler la recommandation suivante en conclusion de son rapport: «Compte tenu que ces revendications sont courantes dans le cadre de projets routiers, la commission croit qu'une instance appropriée devrait examiner la question de dédommagements et de compensations financières possibles afin de voir s'il y a lieu de proposer au législateur des modifications à la Loi sur l'expropriation».

d) Le critère de 55 dBA $L_{eq,24h}$ fait l'objet de nombreuses discussions

Il n'existe pas actuellement de normes réglementaires quant au niveau de bruit acceptable. En parcourant les rapports du BAPE, on observe qu'il y est question de différentes références: celle de l'OMS en matière de bruit communautaire et de santé (35 dBA à l'intérieur des garderies, 45 dBA à l'extérieur la nuit et 55 dBA à l'extérieur en tout temps), celle de US-EPA qui indique moins de 55 dBA le jour et moins de 45 dBA la nuit, celle de la SCHL en matière de logement qui considère les valeurs entre 45 et 55 dBA comme acceptables, et finalement celle du comité

consultatif fédéral-provincial de l'hygiène du milieu et du travail qui recommande moins de 55 dBA à l'extérieur le jour et moins de 50 dBA à l'extérieur la nuit. Après avoir présenté tous ces critères, la commission sur le projet de construction du boulevard La Vérendrye entre l'autoroute 50 et le pont Alonzo-Wright à Gatineau conclut (BAPE 1995, rapport #93, p. 92): «Ces organismes publiques recommandent donc de ne pas dépasser un niveau sonore de 55 dBA comme normalement acceptable».

Il existe ainsi un certain consensus parmi les experts quant à l'application du critère de 55 dBA sur 24 h, auquel s'associe le MTQ dans le cas de la construction de nouvelles infrastructures en autant que le niveau sonore actuel soit inférieur à 55 dBA. Ce critère a souvent été contesté en commission, comme ce fut le cas lors de l'audience publique sur le prolongement de l'autoroute 73 vers Stoneham (BAPE 1988, rapport #28, annexe 3, texte de J.G. Migneron relaté en p. 5.17), et la construction du tronçon de l'autoroute 50 entre Lachute et Mirabel (BAPE 1990, rapport #35, p. 4.21). Dans le premier cas, la commission rapporte les propos rédigés par l'expert qu'elle a engagé: «...cette évaluation ne tient pas compte de la dynamique des niveaux de bruit. Ceci serait particulièrement vrai durant la nuit lorsque le passage d'un seul camion, alors que le bruit de fond est très bas, produit une pointe sonore très perturbante. Comme l'indique M. Migneron, «nul ne perçoit dans son environnement le niveau théorique et continu de $L_{eq,24h}$. Les bruits perçus sont des événements sonores continuellement fluctuants dans le temps et d'inégales importances. De plus, lorsque l'on écoute une route la nuit, on a déjà oublié le niveau de bruit qu'elle pouvait générer le jour»». Dans le second cas, le rapport mentionne ceci: «Cependant, la commission tient à souligner que si l'intensité sonore se mesure facilement, son impact sur les résidents s'évalue beaucoup plus difficilement. En effet, si l'intensité du bruit est en dessous de 55 décibels (sur 24 heures), cela ne veut pas dire que ce bruit ne sera pas incommode». Dans le dossier d'implantation de voies réservées sur l'estacade, région de Montréal (BAPE 1992, rapport #54, p. 114), la commission en vient à faire la recommandation suivante: «Pour corriger les lacunes de ces méthodes qui sont habituelles et acceptées par les experts du domaine du bruit, la commission estime qu'il y aurait lieu de faire évoluer les techniques dans le sens de la mesure des bruits instantanés, qui sont ceux qui inquiètent la population». Encore plus récemment, une commission du BAPE (1995, rapport #93) énonce ceci: «En ce qui concerne l'aspect normatif

du bruit, la commission est d'avis que ce critère de 55 dBA est un niveau à ne pas dépasser. De plus, le MTQ devrait fournir tous les efforts pour diminuer en deçà de ce critère le niveau sonore lorsque les techniques d'aménagement le permettent». Pour la majorité des gens, cette norme est un maximum tolérable.

La limitation d'intervention appliquée aux environnements sonores les meilleurs peut paraître illogique, comme l'a mentionné la commission sur le projet de réaménagement du chemin de la Montagne dans la ville de Hull (BAPE 1987, rapport #23, p. 5.14): «La Commission estime que la position du promoteur [la ville de Hull] en ce qui touche les mesures d'atténuation du bruit est un peu illogique puisqu'elle prévoit des interventions là où le niveau sonore sera le plus faible et pas d'intervention où il sera le plus fort».

Dans le cas de modifications à des infrastructures existantes, le MTQ vise à ne pas créer d'impacts majeurs au niveau sonore. Cette pratique a aussi été une source de préoccupation pour les intervenants et les commissions. Ainsi, dans le cadre du projet de réaménagement de la route 307 entre les ponts Alonzo-Wright et des Draveurs à Gatineau (BAPE 1992, rapport #51, p. 98), la commission indique ceci: «Actuellement, le climat sonore est assez élevé pour certaines résidences, et l'élargissement à quatre voies aggravera cette situation. La commission déplore que le MTQ n'ait pas proposé de mesures d'atténuation particulières pour ces habitations».

e) Une diversité de mesures pour atténuer le problème du bruit

Dans les cas où le niveau de bruit dépasse les critères admis, plusieurs moyens d'intervention ont été proposés. Certains touchent le contrôle des véhicules: réduction de la vitesse de circulation, interdiction au trafic lourd. Certains s'adressent à la gestion du trafic (gestion optimale de la circulation aux intersections, localisation adéquate des arrêts d'autobus); d'autres visent un meilleur entretien des chaussées. Certains s'appliquent aux critères de design comme la pente, le type de chaussée, le nombre de courbes, l'abaissement des voies ou le changement de variante. D'autres concernent le déplacement des gens incommodés, soit par expropriation (ce qui est possible seulement s'ils sont situés dans l'emprise) ou encore par l'éloignement des résidences des

sources de bruit par le déplacement de celles-ci. Comme l'a mentionné le représentant du MTQ lors de la médiation sur l'autoroute 55 (BAPE 1993, rapport #71, p. 29), cette pratique ne fait pas partie des «us et coutumes» du Ministère; néanmoins, le MTQ s'est engagé «à défrayer les coûts de déplacement de la résidence» (p. 30). Certaines mesures concernent des interventions entre la source de bruit et les gens incommodés. Dans ce dernier cas, il peut s'agir de maintenir une zone tampon, ou de créer des écrans antibruit (buttes, murs, écrans végétaux denses). Finalement, rarement a-t-il été question d'interventions directement sur les bâtiments (doublage des fenêtres, isolation des portes...) (c.f. BAPE 1986, rapport #21, p. 66 ; 1992, rapport #51, p. 98).

Lorsque, malgré toutes les précautions, les problèmes de bruit demeurent, les gens semblent avoir adopté certaines pratiques ou comportements. Le comportement qui semble revenir le plus fréquemment est celui de ne pas pouvoir ouvrir les fenêtres tellement le bruit est important. Une autre adaptation relatée est la "relocalisation" de la chambre à coucher au sein du logement (BAPE 1988, rapport #26, p. 4.17). L'image qui revient le plus fréquemment lorsque le bruit confine les gens à maintenir les fenêtres fermées est celle de l'emprisonnement.

C'est dans le cadre du projet de prolongement de l'autoroute 19, de l'autoroute 440 jusqu'au boulevard Dagenais à Ville de Laval (BAPE 1987, rapport 23b, p. 5.4) qu'a été prévue pour la première fois la construction d'un mur antibruit en même temps que la construction du prolongement de l'autoroute. La commission le mentionna ainsi: «Le Québec en est donc à ses débuts. Toutefois, le ministère des Transports du Québec doit recevoir ici le bénéfice du mérite de son initiative d'avoir prévu, dès le départ, une telle mesure de mitigation. C'est là une première au Québec qui vaut la peine que l'on s'y arrête positivement».

f) Les écrans antibruit, sources de préoccupation

Lorsque la construction de murs antibruit est recommandée, les préoccupations des intervenants s'orientent alors vers leur efficacité, leur aspect visuel, leur impact sur le paysage et leurs conséquences sur la qualité de l'environnement résidentiel (poussières, microclimat...). Apparaît

souvent une préoccupation partagée entre le niveau sonore et l'impact visuel des installations. Au Québec, le service de l'Environnement du ministère des Transports utilise une méthode d'étude visuelle qui, par diverses techniques de montages photographiques, permet de simuler l'envergure spatiale de l'écran antibruit projeté, et ce d'un point de vue pouvant aller jusqu'à 300 m de part et d'autres de l'écran (Stonehouse, 1994). Ensuite, le Ministère évalue l'intensité de l'impact visuel en tenant compte des trois facteurs suivants: la visibilité de l'écran antibruit projeté, l'intérêt visuel du paysage récepteur et, enfin, la valeur attribuée à ce paysage. Selon Stonehouse (1993), l'influence des simulations visuelles «peut être très importante aux étapes de l'évaluation des impacts et de l'établissement des mesures d'atténuation». En effet, l'impact visuel peut parfois être amoindri en choisissant un nouveau tracé, ou encore en procédant à des aménagements paysagers entre le mur et les résidences (BAPE 1995, rapport #93, p. 105). Les questions microclimatiques ont été soulevées lors de l'audience publique du projet de construction du boulevard La Vérendrye entre l'autoroute 50 et le pont Alonzo-Wright à Gatineau (BAPE 1995, rapport #93, p. 105): «Une autre incidence des écrans antibruit qui a fait l'objet d'inquiétude de la part des participants concerne la hausse de la température en période estivale. Le promoteur et les personnes-ressources ne possédant aucune information à ce sujet, cette interrogation demeure sans réponse. En outre, l'influence des écrans sur, notamment, l'ensoleillement et la luminosité ainsi que l'amoncellement supplémentaire de neige balayée par les vents, sont d'autres effets possibles qui ont été mentionnés par les citoyens».

Par ailleurs, les murs antibruit sont aussi parfois associés à une détérioration de la qualité de vie qui peut se répercuter sur la valeur des propriétés ou encore sur le taux de vacance des immeubles à logement. Dans le cadre du projet discuté au rapport #93 du BAPE (1995, p. 39), la commission rapporte cette information transmise par un citoyen: «Après avoir consulté des agents d'immeubles familiers dans le secteur, un résidant de la rue Rayol a précisé qu'il estime que la valeur marchande de sa propriété pourrait diminuer de 10 à 20%».

Suite à la construction de murs, il semblerait que l'amélioration perçue après implantation soit généralement inférieure à l'efficacité réelle obtenue. C'est du moins ce qu'a fait remarquer en cours d'audience un représentant du MTQ (BAPE 1993, rapport #57, p. 82): «La perception

subjective que les gens en ont, une fois installé, est probablement moindre que l'effet acoustique réellement obtenu».

g) Mieux vaut prévenir que guérir

Le BAPE estime que la prévention doit avoir préséance sur l'atténuation, et l'atténuation sur la compensation. Ainsi, il lui apparaît inconcevable que des municipalités aient permis la réalisation de constructions en bordure d'autoroutes projetées depuis plusieurs années, sans avoir pris en compte que des changements surviendraient dans l'environnement sonore. Comme le mentionne la commission dans le rapport sur l'implantation d'une voie d'accès au secteur nord de Trois-Rivières (BAPE 1993, rapport #57, p. 83), elle «ne peut que souscrire à une approche qui privilégie la prévention plutôt que l'atténuation *a posteriori*». Cette même commission cite les exemples de la ville de Québec, qui a adopté un règlement de zonage très restrictif limitant le développement résidentiel en bordure d'autoroute, et de la ville de Calgary, qui «a défini, en bordure des autoroutes, des "zones potentielles d'impact acoustique" [sic] de 135 m dans lesquelles des mesures d'atténuation sont obligatoires pour toute construction résidentielle». Dans cette même veine, Ouimet (1994) rapporte que Ville de Laval exige aux promoteurs de fournir une étude d'impact sonore pour tout projet de développement résidentiel se situant à 150 m ou moins de l'autoroute.

Cependant, dans certains cas exceptionnels, tel celui du projet de construction de l'échangeur Brière sur l'autoroute 15 et d'une voie de desserte (Saint-Jérôme/Bellefeuille) (BAPE 1995, rapport #100, p. 98-99), alors que plusieurs riverains «estimaient qu'ils subiraient des préjudices sérieux» et réclamaient «une compensation financière, voire l'expropriation de [leurs] propriétés», et que «la Loi sur l'expropriation ne prévoit aucune mesure dans ces cas particuliers», la commission estime «...qu'à défaut de pouvoir compenser financièrement selon le degré d'atteinte les propriétaires qui seraient touchés par la réalisation du projet..., le promoteur applique des mesures d'atténuation qui réduisent les impacts identifiés».

Par ailleurs, dans les cas où une incertitude persiste quant à l'importance des impacts sonores, la commission en est venue à proposer l'implantation d'un suivi acoustique, parfois même la création d'un comité de suivi. Ces recommandations sont apparues dans le cadre de la médiation sur le réaménagement de la route 112-116 (BAPE 1993, rapport #62, p. 22-23); une requérante a demandé la réalisation du suivi, la médiatrice a suggéré la création d'un comité, et le MTQ s'est engagé «à considérer les recommandations qui pourront [en] émaner».

h) La gestion du bruit soulève des questions éthiques

À certains moments, dans tous ces débats sur les questions de pollution sonore, des considérations éthiques ont été soulevées, notamment des questions de justice et d'équité. Ces préoccupations s'avèrent régulières lorsque le promoteur désire corriger une situation déplorable en réaménageant son réseau de transport; les principales interventions alors soulevées concernent des questions de justice (ex.: le déplacement du problème de bruit dans la cour du voisin) qui apparaissent souvent lorsque le promoteur veut créer ou diminuer l'importance d'une route collectrice. Ainsi, le rapport de la commission sur le projet de construction du boulevard La Vérendrye entre l'autoroute 50 et le pont Alonzo-Wright à Gatineau (BAPE 1995, rapport #93, p. 31) indique que «les propriétaires des résidences le long de ces rues collectrices considèrent que la situation est injuste». La commission mentionne que les citoyens concernés expriment un sentiment d'iniquité généré par la perte de leur qualité de vie. Le second aspect éthique soulevé en est un d'équité. Dans la situation de médiation concernant la voie de contournement de Bernierville (route 265) (BAPE 1989, rapport #33, p. 5.2), les intervenants étaient prêts à accepter un accroissement du niveau sonore dans un secteur non représenté dans la médiation, sous prétexte que le niveau sonore estimé pour ce secteur ne serait pas supérieur à celui auquel ils seront eux-mêmes exposés suite à la réalisation du projet. Au cours de l'enquête sur le projet de réaménagement de l'échangeur de l'autoroute 15 au km 31, à Mirabel (Saint-Janvier) (BAPE 1988, rapport #27, p. 6.1), la commission propose de «répartir équitablement la circulation» entre deux artères, qui pourraient constituer les deux branches d'un même corridor.

i) La lacune du système, le logement multiétagé

À quelques reprises, la question de l'impact sonore sur les occupants d'immeubles multiétagés a été soulevée. Dans ces cas, le promoteur ne peut que confirmer que l'efficacité des écrans ne concerne que le premier étage (BAPE 1995, rapport #93, p. 101), qu'il n'existe pas actuellement de solutions de type écrans pour les étages supérieurs (BAPE 1995, rapport #100, p. 80). Lorsqu'un propriétaire s'inquiète d'une éventuelle baisse de la valeur de ses loyers, le MTQ lui répond qu'il est très difficile de faire la preuve de l'existence d'une relation causale entre le réaménagement de la route et la baisse des loyers ou le taux de vacance, et que par conséquent il n'est pas possible de prévoir de compensation (BAPE 1995, rapport #91, p. 14).

j) La participation, une approche valorisée

L'approche participative pour trouver une solution au problème du bruit a d'ailleurs souvent été mentionnée, et ce même s'il n'y a dans la communauté aucune opposition au projet. Dans le rapport #35 du BAPE (1990, p. 4.21), il est mentionné que «La commission croit que le promoteur devrait être amené à rencontrer les citoyens touchés afin de discuter ouvertement de l'impact possible de l'autoroute sur leur vie quotidienne, dans le but de déterminer des mesures d'atténuation (et non de compensation) [sic] qui pourraient être apportées». Cette préoccupation est d'ailleurs omniprésente dans les rapports du BAPE. Ainsi, cet organisme, tout en recommandant certaines actions au promoteur, lui suggère «d'impliquer les citoyens concernés dans le choix de la mesure d'atténuation et des considérations esthétiques» (BAPE 1995, rapport #100, p. 81). Certains citoyens proposent «la formation d'une table ronde regroupant des citoyens du quartier et des représentants de la [ville] qui pourraient travailler ensemble à la recherche de solutions réalistes» (BAPE 1995, rapport #93, p. 49), proposition jugée intéressante par la commission (p. 144).

Chapitre 6

CONCLUSION

Cette revue de la littérature nous a permis de mettre en évidence la diversité des facteurs qui influencent la perception du bruit, les effets reconnus du bruit sur différentes composantes de la qualité de vie (dont la santé), et enfin la panoplie des techniques et stratégies appliquées pour contrer la pollution par le bruit routier.

a) La diversité des facteurs modulants

Plusieurs facteurs associés à l'individu peuvent influencer la perception du bruit et le sentiment de nuisance qu'il entraîne (tableau 1).

Tableau 1. Variables individuelles pouvant moduler les effets du bruit.

Variable	Commentaires
Âge	Les personnes de plus de 50 ans ont plus de difficultés à s'endormir mais identifient moins le bruit comme source de dérangement. Les enfants sont moins sensibles au bruit que les adultes. Moins d'effets sur le stade REM (aucun n'a été observé jusqu'à 65 dBA).
Sexe	Les études sont peu concluantes. Aucune différence homme - femme n'a été démontrée.
État de santé mentale	Les personnes dépressives sont plus sensibles au bruit même après avoir surmonté leur dépression.
Acuité auditive	De plus faibles augmentations de bruit peuvent générer de plus grandes difficultés de communication et accroître la gêne.
Sensibilité au bruit	Les personnes les plus sensibles au bruit sont celles qui subissent le plus de gêne et d'inconfort.
Facteurs socio-démographiques	L'insatisfaction face au bruit croît avec le revenu et l'éducation.
Facteurs culturels	La tolérance au bruit varie selon la culture de la population concernée.

Les facteurs les plus reconnus sont l'âge et l'acuité auditive. Par ailleurs, certains facteurs sociaux et culturels peuvent également interagir et modifier les relations. Ces variables individuelles ne

sont toutefois pas les seules à affecter la perception du bruit; il faut en effet ajouter les variables de localisation et les variables architecturales.

b) Les effets reconnus du bruit routier

Les effets du bruit routier sur la qualité de vie des individus concernent d'abord les effets sur la santé (physique et mentale), ensuite les effets sur les pratiques individuelles (performances, communication et comportements) et finalement sur les conséquences économiques.

Les aspects de santé en regard de l'exposition au bruit routier ont été très étudiés, principalement en laboratoire (tableau 2). Le bruit routier, compte tenu des niveaux sonores en cause, ne semble pas contribuer à la perte de l'audition. Les effets les plus probants concernent les difficultés à s'endormir, le nombre d'éveils nocturnes et les modifications de la structure du sommeil. Les études sur le système cardio-vasculaire en sommeil ou en éveil sont nombreuses et convaincantes; on note notamment une augmentation du rythme cardiaque. Les conséquences sur la santé mentale ne sont pas négligeables. Les personnes se disant sensibles au bruit ont plus de risques de développer des symptômes de détresse psychologique. Les individus vivant dans des milieux bruyants tendent à consommer plus de médicaments que ceux vivant dans des milieux calmes.

Les effets sur les performances, la communication et les comportements ont été regroupés sous les pratiques individuelles (tableau 3). Ces études, surtout réalisées sur le terrain, ont mis en évidence de façon indéniable que le bruit interfère avec la communication, qu'il peut nuire à la concentration et qu'il existe de grands écarts entre les individus quant au niveau de nuisance. Par ailleurs, des niveaux sonores élevés vont contribuer à la modification de comportements dans l'espace résidentiel, dont les plus fréquents sont la fermeture des fenêtres et le changement de pièces pour la réalisation d'activités de détente, de repos ou de concentration.

Tableau 2. Les effets reconnus sur la santé physique et mentale.

Variable	Commentaires
Perte d'audition	Peu de risque en deçà d'un niveau de bruit équivalent de 80 dBA.
Difficulté à s'endormir	Différences significatives au-dessus de 44,5 dBA en laboratoire. Les difficultés croissent avec l'élévation des niveaux de bruit et avec son caractère intermittent. Dépend de la sensibilité au bruit.
Effets sur les phases du sommeil	Plus le bruit routier s'amplifie, plus la probabilité de changer de stade de sommeil augmente. Chez les individus étant quotidiennement exposés au bruit, la fréquence des changements dans les stades de sommeil semble diminuer avec le temps. Un bruit continu routier de 45 dBA influence négativement la durée du stade REM, alors que les bruits intermittents agissent plutôt sur les stades précédents.
Éveils nocturnes	Leur nombre augmente avec l'élévation des niveaux de bruit et avec son caractère intermittent.
Mouvements corporels durant le sommeil	Les bruits intermittents de 45 à 55 dBA les augmentent de façon significative, en particulier durant les passages de véhicules.
Rythme cardiaque et pression sanguine durant le sommeil	De faibles niveaux de bruit (L _{Amax} de 40 dBA) peuvent provoquer des effets sur ces variables. Le rythme cardiaque moyen est plus élevé dans les situations les plus bruyantes. La fréquence des arythmies cardiaques peut augmenter durant le stade 4.
Qualité subjective du sommeil	Diminue avec l'augmentation des niveaux de bruit équivalent et avec son caractère intermittent.
Humeur	Diminue avec l'augmentation des niveaux de bruit équivalent et avec son caractère intermittent.
Performance	Un bon sommeil peut améliorer le temps de réaction. Peu concluant.
Usage de somnifères	Croît avec les niveaux sonores extérieurs supérieurs à 70 dBA.
Effets sur le système cardio-vasculaire	Aucune relation significative n'a été démontrée entre la prévalence des maladies du cœur et le niveau de bruit routier. Des différences significatives ont été observées pour certains facteurs de risque. Le risque relatif de souffrir d'une maladie cardiaque majeure est 10% plus élevé pour les personnes exposées à des niveaux de bruit compris entre 66 et 70 dBA par rapport à celles exposées à des niveaux de 51 à 55 dBA. De façon générale, le rythme cardiaque augmente avec l'accroissement de l'exposition sonore.
Effets sur le système endocrinien	Augmentation de la sécrétion de certaines hormones et de neurotransmetteurs.
Effets sur la santé mentale	Une association entre la sensibilité au bruit et une tendance à développer des symptômes de détresse psychologique a été mise en évidence.
Autres effets sur la santé	Un niveau de bruit élevé entraîne des maux de tête, un sentiment de dépression et des difficultés de digestion.

Tableau 3. Les effets du bruit sur les pratiques individuelles.

Variable	Commentaires
Performance au travail	<p>Les tâches demandant une attention soutenue et une grande capacité de mémorisation sont susceptibles d'être affectées durant une exposition au bruit.</p> <p>Un bruit nouveau peut tenir une personne en alerte.</p>
Apprentissage scolaire	<p>Une augmentation du bruit diminue la capacité de concentration des élèves.</p> <p>Les résultats sont contradictoires en ce qui a trait aux performances lors des tests.</p>
Communication	<p>La gêne ressentie est fonction du niveau de bruit de la circulation.</p> <p>Il existe une relation avec effet de seuil entre le niveau d'exposition au bruit et le degré de nuisance, les plus grandes différences de perception entre les individus se situant entre 65 et 75 dBA.</p> <p>Il existe une relation entre le niveau de bruit de la circulation et la gêne exprimée par les professeurs.</p> <p>Les activités de communication (conversation téléphonique ou entre individus...) sont incommodées par le bruit.</p>
Activités de détente	<p>Lors d'activités qui demandent une certaine concentration, la population résidante est incommodée par le bruit de la circulation.</p>
Intégration sociale	<p>Un bruit intense peut avoir des répercussions sur le déroulement normal des activités sociales et causer un risque de dégradation des relations humaines.</p>
Comportements	<p>Les comportements associés au bruit les plus observés dans le logement sont la fermeture des fenêtres et le transfert des activités vers les pièces les moins bruyantes.</p> <p>Aux niveaux d'exposition élevés, plusieurs citoyens expriment l'intention de déménager ou d'améliorer l'insonorisation de leur bâtiment.</p> <p>Les locataires expriment davantage le désir de quitter les lieux.</p>

Enfin, les effets socio-économiques sont colligés au tableau 4. Bien que les pourcentages de perte de valeur varient grandement dans la littérature, il est maintenant reconnu que la valeur des propriétés diminue avec l'accroissement de l'exposition sonore. Par ailleurs, nous devons relier ce fait avec les intentions ou les comportements des propriétaires et locataires qui, sous des expositions sonores élevées, envisagent soit d'investir dans l'isolation des bâtiments, soit de déménager.

Tableau 4. Les effets socio-économiques du bruit.

Variable	Commentaires
Valeur des parcs de logements	La valeur est affectée avec l'augmentation du niveau sonore.
Prix des propriétés et des loyers	Les prix baissent d'environ 1% par dBA au-dessus de certains seuils (les données disponibles concernent davantage les propriétés; peu d'études traitent de la valeur locative).
Investissement correcteur	Sous des niveaux élevés d'exposition, plusieurs propriétaires envisagent d'investir dans l'isolation des bâtiments.
Perte de revenus locatifs	Peut être envisagée à cause de l'intention de déménager manifestée par les locataires.

c) La panoplie des options de lutte au bruit

La revue de la littérature scientifique et l'expérience québécoise ont permis d'identifier une panoplie d'options disponibles de lutte au bruit de la circulation (tableau 5). La planification des programmes et politiques de transport et d'aménagement se situe en amont des projets. Les évaluations environnementales stratégiques permettent de prévenir les éventuels problèmes de bruit. Rappelons que la justification des projets est souvent remise en cause. Dans la mesure du possible, les efforts de conception permettent de réduire les appréhensions sociales de la nuisance du bruit et contribuent à une réduction à la source de l'exposition. La gestion de la circulation est souvent proposée en plus des mesures d'atténuation sonore de type écran ou combinaison butte - écran. Les interventions architecturales atténuent significativement l'exposition au sein des logis; elles ont toutefois été très peu considérées à l'échelle québécoise. Tant les citoyens, les experts que le BAPE reconnaissent que la planification doit être privilégiée par rapport à l'atténuation de l'exposition, laquelle doit également avoir prépondérance sur la compensation.

Tableau 5. La panoplie des options disponibles dans la résolution des problèmes liés au bruit routier.

Catégorie	Options
Planification	Planification régionale du transport routier Planification urbaine du développement Changement de la localisation des projets
Conception de l'ouvrage	Choix du type de chaussée Abaissement de la chaussée Dimension des ouvrages Diminution des pentes Réduction du nombre de courbes
Gestion de la circulation	Redistribution des flux Limitation des vitesses Interdiction totale à certains véhicules Interdiction horaire de circulation Synchronisation des feux
Interventions à la source d'émission	Niveau d'émission sonore des véhicules Contrôle de bonne pratique
Interférence des ondes entre l'émetteur et le récepteur	Zone tampon Écrans végétaux denses Buttes de terre Écrans antibruit
Interventions au niveau du lieu de dérangement	Contrôle des fuites d'air Isolation des fenêtres Calfatrage des portes Réaménagement du logis Intervention aménagiste Déplacement des résidences Expropriation
Compensation	Compensation financière Compensation aménagiste

Chacune de ces options techniques de lutte au bruit comporte un certain nombre d'avantages et d'inconvénients (tableau 6).

Tableau 6. Avantages et inconvénients associés aux différentes options.

Option	Avantages	Inconvénients
Planification	Réduction au minimum des risques de nuisance par la prévention.	
Conception de l'ouvrage	Réduction de l'émission à la source, notamment pour le bruit du contact pneus - chaussée.	Les chaussées poreuses aux meilleures performances sonores semblent plus difficiles à appliquer dans les pays froids à cause du gel et de la glace.
Gestion de la circulation	Élimination des pointes de bruits intermittents. Réduction à la source des niveaux d'émission.	À l'exception de la synchronisation des feux, peu populaire auprès des conducteurs. Une redistribution des flux génère le mécontentement des citoyens le long des voies choisies. Requiert une meilleure surveillance policière.
Interventions à la source	Réduction à la source par le développement des véhicules. Réduction par élimination des pratiques dérangeantes.	Sur les véhicules, n'est possible que par voies réglementaires au niveau national (résultats à long terme). Le contrôle des bonnes pratiques requiert une surveillance.
Zone tampon	Évitement des investissements de lutte au bruit.	Requiert une surface importante entre la route et les résidences.
Écran végétal dense	Réduction du niveau sonore. Visuellement agréable.	Requiert une surface de plus de 30 mètres de large. Investissement dans l'aménagement paysager. Requiert un entretien. Coût élevé en milieu urbain (coût du terrain).
Buttes de terre avec ou sans écran	Réduction efficace au niveau du sol ou du premier étage.	Requiert un espace assez important. Coût moyen.
Écrans antibruit	Réduction efficace au niveau du sol ou du premier étage. Certains modèles peuvent accroître les performances.	Coût élevé. Pas efficaces pour les étages supérieurs, pouvant même accroître les niveaux d'exposition si les écrans sont parallèles ou si des façades favorisent la réflexion des ondes. Requiert un entretien. Fermeture du champ visuel. Création d'un sentiment d'isolement (effet de barrière ou d'être emmuré). Création possible d'un microclimat (réduction de l'ensoleillement, corridors de vent...). Investissement en aménagement paysager.
Isolation des bâtiments et réaménagement du logis	Équitablement efficace pour les occupants de tous les étages. Augmentation de la valeur des propriétés. Aucune altération du champ visuel. Aucune modification à l'organisation spatiale du quartier. Effets directs sur les économies d'énergie.	Peut accroître le sentiment d'emprisonnement. Demande une intervention sur des propriétés privées. Règle les problèmes à l'intérieur des logis mais pas à l'extérieur. Pourrait accroître la valeur locative dans des secteurs défavorisés. Coût élevé.
Expropriation et déplacement des résidences	Règlement définitif du problème.	Coût élevé. Acceptabilité sociale mitigée.
Compensation	Règlement temporaire du problème. Aide à l'acceptation d'un projet si impacts impossibles à atténuer.	Règlement temporaire du problème limité à cette génération de propriétaires ou locataires.

Les options de planification et d'interventions sur la conception même des ouvrages apparaissent préférables à toute autre intervention de mitigation ou de compensation. Les efforts portent ensuite sur la réduction à la source. Compte tenu de l'impossibilité d'intervenir sur les caractéristiques techniques d'émission sonore des véhicules à l'échelle des projets, des actions sur la gestion de la circulation et sur le respect des codes de bonne pratique (ex.: les sirènes ouvertes qu'en situation d'urgence...) permettent de réduire le bruit intermittent, une source importante de nuisance. À défaut de satisfaire les critères en agissant sur la source, les mesures d'atténuation sonore sont privilégiées par rapport aux mesures de compensation. L'ensemble des techniques de type écran permettent de protéger au mieux les espaces extérieurs et récréatifs ainsi que les occupants du premier étage, alors que les interventions sur les bâtiments assurent la qualité du climat sonore à l'intérieur des logis. L'intervention au niveau des bâtiments, malgré qu'elle implique une intervention en propriété privée, génère des retombées positives pour les propriétaires et les locataires, ainsi que des impacts économiques intéressants.

Les options qu'il est souhaitable d'intégrer dans une stratégie locale de lutte au bruit varient en fonction de l'utilisation du sol où a lieu l'insertion du projet. Ainsi, lors de l'évaluation des mesures d'intervention, il faut tenir compte de l'utilisation du sol et du zonage municipal (aires récréative, résidentielle, commerciale, mixte, industrielle, etc.). En effet, il est en général plus pertinent d'intervenir en milieux résidentiel, institutionnel et récréatif.

d) Les approches pour aborder le problème du bruit

La revue de la littérature et l'analyse de l'expérience québécoise ont également permis de mettre en évidence diverses approches utilisées pour aborder les problèmes de bruit routier: l'approche normative et l'approche participative, approches qui ne sont pas pour autant mutuellement exclusives.

Empirique, *l'approche normative* consiste à abaisser les niveaux d'exposition au bruit routier à l'intérieur ou à l'extérieur des résidences sous un seuil donné. Le MTQ fonctionne traditionnellement de cette façon. Dans le cas des routes existantes, après avoir constaté que le

niveau d'exposition sonore ($L_{eq,24h}$) se situe au-delà de 65 dBA, le MTQ cherchera à abaisser le niveau d'exposition d'au moins 7 dBA sous le niveau actuel et à atteindre après intervention un niveau situé sous 65 dBA; ces situations ne peuvent survenir que si la demande d'intervention vient de la part d'une municipalité et si la dite municipalité s'engage à défrayer la moitié des coûts de réalisation. Les interventions privilégiées ont été jusqu'à présent les écrans antibruit, bien que la sélection de chaussées ou le déplacement des résidences aient déjà été appliquée. Dans le cas de la construction de nouvelles routes, des interventions d'atténuation sonore sont requises dans les espaces construits lorsque, selon la méthodologie appliquée par le Ministère, l'impact généré est important.

L'expérience québécoise (c.f. section 5.5, sous-section d) a démontré que le seuil de 55 dBA ($L_{eq,24h}$) est tout à fait discutable, car il ne tient pas compte d'une part des contextes humains et physiques où s'insèrent les infrastructures routières, et d'autre part de la dynamique des sons. Le critère d'évaluation de la performance des mesures utilisées est également technique: on regarde si le niveau prévu d'atténuation a été respecté, ce qui ne correspond pas nécessairement à l'atteinte d'une grande satisfaction de la part de la population résidante ou à une amélioration de leur qualité de vie.

La revue de littérature a également mis en évidence l'importance de la dynamique sonore. Bien que diverses études aient été réalisées en exposant les gens à des niveaux sonores équivalents, plusieurs autres s'intéressent à l'intermittence des bruits de la circulation. Dans un tel contexte, des niveaux de bruit équivalent inférieurs à 55 dBA ne sont pas le gage de l'absence de dérangement ou de nuisance.

L'approche participative consiste à faire participer les gens au processus de choix de développement, ou tout au moins au choix d'évaluation des mesures d'atténuation sonore. Notons qu'il est cependant très difficile de dissocier le bruit des autres composantes de la qualité de vie. Une approche participative globale inclut différents modes de participation du public, depuis les premiers moments du projet jusqu'au suivi des performances après sa réalisation.

Au MTQ, les expériences de participation sont multiples et diverses. Dans le cas de routes existantes pour lesquels des correctifs s'avèrent nécessaires, les municipalités concernées tiennent avec le MTQ des soirées d'information pour exposer la problématique (résultats d'études de pollution sonore) et, s'il y a lieu, les solutions développées par les ingénieurs et autres professionnels, et recueillir les questions et commentaires d'un public qui, en général, a fait pression pour que des mesures correctrices soient apportées; il s'agit alors d'un mode plutôt informel de participation. Dans le cas des projets de nouvelles routes, la soumission des projets les plus importants à la procédure québécoise d'évaluation et d'examen des impacts sur l'environnement assure aux citoyens un droit à l'information et la possibilité de demander la tenue d'une audience publique. Dans la pratique, il est souvent apparu que le ministre de l'Environnement et de la Faune demande au BAPE de tenir enquête pour voir si une médiation est possible entre le promoteur et les requérants. Ainsi, trois différents modes de participation peuvent émerger de la procédure québécoise: (1) une consultation limitée aux documents déposés, (2) une participation à une audience publique ou (3) à une médiation. L'expérience en audience publique a permis de constater que les citoyens remettent souvent en question la justification du projet, demandent des changements dans les projets d'aménagement ou font état du manque de planification de développement, la validité des estimations de circulation routière actuelle ou future, ainsi que l'impact des mesures d'atténuation proposées. Au terme de l'audience, le BAPE rédige des recommandations qui peuvent éventuellement être intégrées au certificat d'autorisation. Dans le cas de la médiation, il apparaît que les requérants défendent alors leurs intérêts privés et que, lorsqu'une entente intervient, elle engage les parties. Lorsque la médiation fonctionne, les parties contribuent alors directement à la prise de décision pour leur mieux-être.

Cependant, ces modes de participation ne satisfont pas les critères d'une approche participative globale. Tout d'abord, ils se situent trop en aval des choix de développement. Ensuite, ils surviennent trop tard dans le processus alors que le projet est déjà élaboré et les mesures d'atténuation proposées. Finalement, ils n'incluent généralement pas les citoyens dans l'évaluation des performances après réalisation. De plus, l'évaluation des performances ne tient pas compte de l'opinion des citoyens concernés.

e) Les critères pour évaluer la performance d'une stratégie locale d'intervention

Divers critères existent pour évaluer la performance d'une stratégie locale d'intervention. Le tableau 7 les collige en les regroupant selon leur type. Les critères normatifs et techniques sont bien connus du MTQ et couramment appliqués. Les critères psychosociaux et économiques ont peu été pris en considération jusqu'à maintenant. Ils impliquent une connaissance approfondie de l'espace d'insertion du projet avant même sa réalisation; ils requièrent une approche participative qui favorise la définition de l'espace social d'insertion du projet et la reconnaissance des préoccupations locales. Ils tiennent compte finalement de l'unicité de chacun des projets, caractéristique essentielle compte tenu de la pluralité des variables en cause dans la perception de la nuisance attribuée au bruit.

Tableau 7. Différents critères pour évaluer la performance de la stratégie d'intervention appliquée en milieu résidentiel.

Type de critères	Critères
Critères normatifs	Abaissement du niveau d'exposition sonore dans le quartier sous un seuil donné (55 dBA ou 65 dBA).
Critères techniques	Réduction effective de l'exposition au bruit d'au moins 7 dBA.
Critères sociaux	Satisfaction de la population résidante vivant à moins de 150 m des voies de circulation (c.f. section 5.5, sous-section g). Amélioration de la qualité de vie générale dans le quartier (exposition sonore, aspect visuel, accessibilité...).
	Congruence entre les attentes de la population du quartier et la réalisation de la stratégie.
Critères économiques	Maximisation des retours sur l'investissement. Accroissement de la valeur des propriétés.

f) Le rôle du cadre institutionnel

La revue de littérature montre aussi l'importance du cadre institutionnel dans la lutte au bruit routier. En effet, que les mesures soient préventives (conception des véhicules et des infrastructures routières) ou réactives et correctives (utilisation de l'espace aux abords des voies et conception des bâtiments), les stratégies d'intervention nécessitent bien souvent l'application de divers codes, lois et règlements.

Dans la recherche de solutions, les différentes orientations gouvernementales, paragouvernementales ou municipales sont toutes aussi importantes. À ce titre, prenons l'exemple *des orientations du gouvernement du Québec en matière d'aménagement du territoire*. D'une part, ces dernières s'inscrivent dans un contexte de concertation plus large (gouvernement du Québec, MRC et municipalités), et d'autre part, elles tendent vers une optimisation globale du bilan environnemental (approche intégrée pour l'ensemble de l'agglomération, amélioration des équipements collectifs en maximisant les retombées sur le milieu urbanisé, amélioration des conditions d'habitat en tenant compte du contexte socio-économique, réhabilitation et mise en valeur du cadre bâti et des espaces publics, contribution à la santé et au bien-être public, etc.).

Enfin, s'appuyant sur les principes du développement durable, la *politique sur l'environnement du ministère des Transports* favorise également une approche globale au problème du bruit routier. On n'a qu'à penser aux diverses responsabilités environnementales, sociales et économiques qu'elle soutient (adoption de mesures de restauration, d'atténuation ou de compensation pour améliorer ou mettre en valeur l'environnement physique et humain; prise en compte du milieu de vie des riverains, de leurs droits et de leurs opinions lors de la conception d'infrastructures de transport; et enfin recherche de l'efficacité énergétique).

RÉFÉRENCES

- Adams, M. (1980). Overview of MTC noise barrier social survey research. Ontario, Canada: 57 pages.
- Andrew, C., May, D., Osman, M. (1980). Highway noise barrier location for maximum benefit/cost. *Journal of Sound and Vibration*, 71(1): 59-64.
- Aniansson, G., Björkman, M. (1983). Traffic noise annoyance and speech intelligibility in persons with normal and persons with impaired hearing. *Journal of Sound and Vibration*, 88(1): Academic Press Limited: 99-106.
- Aniansson, G., Peterson, Y. (1983). Speech intelligibility of normal listeners and persons with impaired hearing in traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 90(3): 341-360.
- Aniansson, G., Pettersson, K., Peterson, Y. (1983). Traffic noise annoyance and noise sensitivity in persons with normal and impaired hearing. *Journal of Sound and Vibration*, 88(1): 85-97.
- Aparicio-Ramon, D., Suarez-Varela, M., Garcia, A., Gonzalez, A., Ruano, L., Sanchez, A., Caraco, E. (1993). Subjective annoyance caused by environmental noise. *Journal of Environmental Pathology, Toxicology and Oncology*, 12(4): 237-243.
- Arnberg, P., Bennerhult, O., Eberhardt, J. (1990). Sleep disturbances caused by vibrations from heavy road traffic. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88(3): 1486-1493.
- Baass, K. (1980). Amélioration de la qualité de la vie dans un vieux quartier résidentiel grâce à un réaménagement de la circulation. Udm-Centre de recherche sur les transports, Publication #168, Montréal, Canada: 34 pages.
- Babisch, W., Ising, H., Gallacher, J., Elwood, P. (1988). Traffic noise and cardiovascular risk: the caerphilly study, first phase. Outdoor noise levels and risk factors. *Archives of Environmental Health*, 43(6): 407-414.
- Babisch, W., Ising, H., Gallacher, J., Sharp, D., Baker, I. (1993a). Traffic noise and cardiovascular risk: the speedwell study, first phase. Outdoor noise levels and risk factors. *Archives of Environmental Health*, 48(6): 401-405.
- Babisch, W., Ising, H., Elwood, P., Sharp, D., Bainton, D. (1993b). Traffic noise and cardiovascular risk: the caerphilly and speedwell studies, second phase. Risk estimation, prevalence, and incidence of ischemic heart disease. *Archives of Environmental Health*, 48(6): 406-413.

Babisch, W., Ising, H., Kruppa, B., Wiens, D. (1994). The incidence of myocardial infarction and its relation to road traffic noise -- The Berlin case-control studies. *Environment International*, 20(4): 469-474.

BAPE (1984) Rapport d'enquête non-numéroté (entre #17 et #18). Voie de contournement - Ville de Saint-Georges-de-Beauce (6211-06-02).

BAPE (1986) Rapport d'enquête et d'audience publique #21. Projet de réaménagement de la route 116, tronçon Princeville/Plessiville (6211-06-32).

BAPE (1987) Rapport d'enquête et d'audience publique #23. Réaménagement du chemin de la Montagne entre le boulevard Taché et Saint-Raymond par la ville de Hull (6211-06-A4).

BAPE (1987) Rapport d'enquête non-numéroté (entre #23 et #24). Prolongement autoroute #19, de l'autoroute #440 au boulevard Dagenais (6211-06-79).

BAPE (1988) Rapport d'audience # 26. Projet d'urbanisation de la route 173 à St-Georges-de-Beauce (6211-06-A9).

BAPE (1988) Rapport d'enquête # 27. Projet de réaménagement de l'échangeur de l'autoroute 15 au kilomètre 31 à Mirabel (Saint-Janvier) (6211-06-74).

BAPE (1988) Rapport d'enquête et d'audience publique #28. Prolongement de l'autoroute 73 vers Stoneham (6211-06-04).

BAPE (1989) Rapport d'enquête #33. Contournement de Bernierville (rte 265) (6211-06-45).

BAPE (1990) Rapport d'enquête et d'audience publique #35. Construction du tronçon de l'autoroute 50 entre Lachute et Mirabel (6211-06-C9).

BAPE (1992) Rapport d'enquête et d'audience publique #48. Projet de réaménagement de cinq sections de la route 155 entre Grandes-Piles et La Tuque (6211-06-G1).

BAPE (1992) Rapport d'enquête et d'audience publique #50. Projet de dragage et d'enlèvement des îlots de la baie des îles du lac Dupuis (6211-06-82).

BAPE (1992) Rapport d'enquête et d'audience publique #51. Projet de réaménagement de la route 307 entre les ponts Alonzo-Wright et des Draveurs à Gatineau (6211-06-25).

BAPE (1992) Rapport d'enquête et d'audience publique #54. Implantation de voies réservées sur l'estacade, région de Montréal (6211-06-F6).

BAPE (1993) Rapport d'enquête et d'audience publique #57. Implantation d'une voie d'accès au secteur nord de Trois-Rivières (6211-06-G6).

- BAPE (1993) Rapport de médiation #62. Réaménagement de la route 112-116 entre les échangeurs Charles-Lemoyne et Saint-Hubert, incluant l'échangeur Edna-Maricourt (6211-06-78).
- BAPE (1993) Rapport d'enquête et de médiation #71. Autoroute 55: doublement de la chaussée entre Bromptonville et l'intersection avec le chemin de la Rivière (6211-06-D5).
- BAPE (1995) Rapport d'enquête et de médiation #91. Réaménagement de la route 337 de l'autoroute 640 au chemin Martin-Newton (6211-06-E2).
- BAPE (1995) Rapport d'enquête et d'audience publique #93. Projet d'établissement d'un dépôt de matériaux secs à Saint-Pie (6211-06-I4).
- BAPE (1996) Rapport d'enquête et d'audience publique #100. Projet de construction de l'échangeur Brière sur l'autoroute 15 et d'une voie de desserte (6211-06-I3).
- Bar, P. (1981). Les écrans acoustiques transparents: Un moyen de réduire la nuisance acoustique sans engendrer de pollution visuelle *Le Moniteur des travaux publics du bâtiment*, 9 Février: 53-56.
- Bar, P. (1988). Réduction du bruit en milieu urbain. *Aménagement et Nature*, 73(88): 17-19.
- Bar, P. (1989). Pour une approche rationnelle des écrans acoustiques. *Revue générale des aéroports*, (664): 13-17.
- Barrass, A., Cohn, L. (1981). Noise abatement and public policy decisions: A case study - I-440 in Nashville. *Transportation Research Record*, 789: 40-45.
- Bass, H., Sutherland, L., Zuckerwar, A. (1990). Outdoor sound propagation over ground of finite impedance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 88: 2019- 2021.
- Belhadji, E.B. (1994). Études sur la valeur de la vie et de la sécurité: théorie et application au transport. Thèse de doctorat en sciences économiques, Centre de Recherche sur les Transports CRT-94-62, Université de Montréal, Montréal: 261 pages.
- Bendtsen, H. (1994). Visual principles for the design of noise barriers. *The Science of the Total Environment*, 146/147: Elsevier Science B.V.: 67-71.
- Berge, T. (1994). Vehicle-noise-emission limits -- Influence on traffic noise levels past and future. *Noise Control Engineering*, 42(2): 53-58.
- Bergeron, J. (1984). Plaidoyer pour l'oreille. *Interface*, 5(2): 14-17.

- Berglund, B., Lindvall, T., eds. (1995). Community noise. *Archives of the Center for Sensory Research*, 2(1): Jannes Shabbtryck, Stockholm, Sweden: 195 pages.
- Berthollon, P., Ducerf, J., Marc, J., Souplet, P. (1989). Esthétique des écrans antibruit. *Revue générale des routes et des aéroports*, (664): 7-12.
- Billera, D., Cunningham, B. (1982). NJ-18 Freeway and Rutgers University classrooms: unique construction noise mitigation experience. *Transportation Research Record*, 865: 19-25.
- Björkman, M. (1988). Maximum noise levels in road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 127(3): 583-587.
- Blamey, C. (1984). Pour A.R.A. Consultants. Parallel noise barrier evaluation survey of residents and drivers -- Phase II "after" study final report, réalisé pour le ministère des Transports et Communications, Ontario, Canada, 76 pages.
- Bolt Beranek et Newman Inc. (1973). Fundamentals and abatement of highway traffic noise. PB-222-703: National Technical Information Service, Springfield, U.S.A.
- Borden, G., Harris, K. (1980). Speech science primer: physiology, acoustics, and perception of speech. Williams et Wilkins, Baltimore, U.S.A.: 297 pages.
- Bowlby, W., Cohn, L. (1986). A model for insertion loss degradation for parallel highway noise barriers. *Journal of the Acoustical Society of America*, 80(3): 855-868.
- Bowlby, W., Cohn, L., Harris, R. (1987a). A review of studies of insertion loss degradation for parallel highway noise barriers. *Noise Control Engineering Journal*, 28: 40-53.
- Bowlby, W., Cohn, L., Harris, R. (1987b). Design method for parallel traffic noise barriers. *Journal of Transportation Engineering*, 113(6): 672-685.
- Brown, A., Hall, A., Kyle-Little, J. (1985). Response to a reduction in traffic noise exposure. *Journal of Sound and Vibration*, 94(2): 235-246.
- Brüel et Kjaer inc. (1984). Mesures acoustiques. Denmark, 42 pages.
- Carter, N., Ingham, P., Tran, K. (1994). A field study of the effects of traffic noise on heart rate and cardiac arrhythmia during sleep. *Journal of Sound and Vibration*, 169(2): 211-227.
- CETUR - Centre d'Études des Transports Urbains - (1981). Bruit et formes urbaines, propagation du bruit routier dans les tissus urbains: 143 pages.
- CETUR - Centre d'Études des Transports Urbains - (1983). Approche sensible pour l'aménagement des infrastructures de déplacements: 48 pages.

- CETUR - Centre d'Études des Transports Urbains - (1987). Amélioration de l'isolation acoustique des façades: 91 pages.
- Chew, C., Lim, K. (1994). Facade effects on the traffic noise from the expressway. *Applied Acoustics*, 41: 47-62.
- Cohn, L., Bowlby, W. (1984). Minimizing highway noise barrier intrusion. *Journal of Environmental Engineering*, 110(3): 534-549.
- Cohn, L., Harris, R., Rolfer, R., Duncan, D., Woosley, R. (1993). Special noise barrier applications. *Transportation Research Record*, 1416: 69-74.
- Cohn, L., Koushki, P. (1991). Social attitudes and traffic noise: a study in Riyadh, Saudi Arabia. *Journal of Urban Affairs*, 13(2): 233-242.
- Cook, D. (1981). Role of plant materials in traffic noise control. *Transportation Research Record*, 789: 35-40.
- Crombie, D., Hothersall, D. (1994). The performance of multiple noise barriers. *Journal of Sound and Vibration*, 176(4): 459-473.
- Crombie, D., Hothersall, D., Chandler-Wilde, S. (1995). Multiple-edge noise barriers. *Applied Acoustics*, 44: 353-367.
- DiGeronimo, S., Goodfriend, L. (1996). Noise reduction retrofit on historic structures. *Transportation Research Record*, 1559: 26-28.
- Douglass, R., Drinkwater, J. (1982). Transparent noise barriers along I-95 in Baltimore City, Maryland. *Transportation Research Record*, 865: 16-19.
- Drouin, G., Parent, G. (1989). L'oreille polluée. *Québec Science*: 24-29.
- Eberhardt, J. (1988). The influence of road traffic noise on sleep. *Journal of Sound and Vibration*, 127(3): 449-455.
- Eberhardt, J., Akselsson, K. (1987). The disturbance by road traffic noise of the sleep of young male adults as recorded in the home. *Journal of Sound and Vibration*, 114(3): 417-343.
- Eberhardt, J., Strale, L., Berlin, M. (1987). The influence of continuous and intermittent traffic noise on sleep. *Journal of Sound and Vibration*, 116(3): 445-464.
- Egan, O., Reilly, R. (1981). Traffic density and scholastic achievement. *The Irish Journal of Education*, 15(2): 70-78.

- Embleton, T. (1996). Tutorial on sound propagation outdoors. *Journal of the Acoustical Society of America*, 100(1): 31-48.
- Embleton, T., Piercy, J., Olson, N. (1976). Outdoor sound propagation over ground of finite impedance. *Journal of the Acoustical Society of America*, 59: 267-277.
- Escourrou, G. (1991). *Le climat et la ville*. Nathan, Paris, France: 190 pages.
- Fahy, F., Ramble, D., Walker, J. (1995). Development of a novel modular form of sound absorbent facing for traffic noisebarriers. *Applied Acoustics*, 44: 39-51.
- France (1983). *Acoustique urbaine - Bruit et vie urbaine*. Ministère de l'Environnement, gouvernement de la France, Paris: 48 pages.
- Garcia, A.-M. et al. (1992). Effets bruit de la circulation routière urbaine sur la santé d'une population de femmes au foyer. *Population*, 47(2): 483-488.
- Georgiades, Y. (1988). L'automobile facteur de dégradation de l'environnement. *Les Cahiers Scientifiques du Transport*, (17-18): 155-182.
- Griefahn, B. (1986). A critical load for nocturnal high-intensity road traffic noise. *American Journal of Industrial Medicine*, 9: 261-269.
- Griffiths, I., Raw, G. (1989). Adaptation to changes in traffic noise exposure. *Journal of Sound and Vibration*, 132(2): 331-336.
- Hahn, J. (1979). Les écrans antibruit doivent aussi être esthétiques. *Revue générale des routes et des aéroports*, (559): 5-14.
- Hajek, J. (1983). Effects of parallel highway noise barriers. *Transportation Research Record*, 937: 45-52.
- Haling, D., Cohen, H. (1996). Residential noise damage costs caused by motor vehicles. *Transportation Research Record*, 1559: 84-93.
- Hall, F. (1980). Attitudes toward noise barriers before and after construction. *Transportation Research Record*, 740: 7-9.
- Hallez, S., Thiessen, L., Derouane, A., Verduyn, G. (1989). L'influence du vent et de la température sur les concentrations en Pb dans l'air urbain: Cas d'un site situé sous l'influence directe du trafic intense. *The Science of the Total Environment*, 86: 265-271.
- Hamilton, R., Harrison, R. (1991). *Highway pollution: Studies in environmental science*. 44: Elsevier, Amsterdam: 510 pages.

- Harnapp, V.R., Noble, A.G. (1987). Noise pollution. *GeoJournal*, 14(2): 217-226.
- Harris, R., Cohn, L. (1985). Use of vegetation for abatement of highway traffic noise. *Journal of Urban Planning and Development*, 111(1): 34-48.
- Herrstedt, L. (1992). Traffic calming design - A speed management method: danish experiences on environmentally adapted through roads. *Accident Analysis and Prevention*, 24(1): 3-16.
- Hofman, W., Kumar, A., Tulen, J. (1995). Cardiac reactivity to traffic noise during sleep in man. *Journal of Sound and Vibration*, 179(4): 577-589.
- Hogan, C., Ravnkilde, J. (1985). Design of acoustical insulation for existing residences in the vicinity of San Jose Municipal Airport. *Transportation Research Record*, 1033: 54-59.
- Hölscher, N., Höffer, R., Niemann, H., Brilon, W., Romberg, E. (1993). Wind tunnel experiment on micro-scale dispersion of exhausts from motorways. *The Science of the Total Environment*, 134: 71-79.
- Houglund, D. (1990). Airport noise insulation of homes surrounding Stapleton International Airport. *Transportation Research Record*, 1255: 3-11.
- Hoydysh, W., Dabberdt, W. (1994). Concentration fields at urban intersections: fluid modeling studies. *Atmospheric Environment*, 28(11): 1849-1860.
- IRF (1992). Working group on interaction of vehicles, tyres and pavement - Contribution toward reduction of traffic noise: 79 pages.
- ISO (1990). Acoustics - Determination of occupational noise exposure and estimation of noise inducing hearing impairment. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardization, International Standard ISO (999: 199 OCE).
- Izumi, K., Yano, T. (1991). Community response to road traffic noise: social survey in three cities in Hokkaido. *Journal of Sound and Vibration*, 151(3): 505-512.
- Job, R. (1988a). Community response to noise: a review of factors influencing the relationship between noise exposure and reaction. *Journal of the Acoustical Society of America*, 83(3): 991-1001.
- Job, R. (1988b). Over-reaction to changes in noise exposure: the possible effect of attitude. *Journal of Sound and Vibration*, 126(3): 550-552.
- Jörg, U., Seiler, A. (1992). Résultats d'une enquête relative à la gêne subjective due à l'impact cumulé du bruit du trafic routier et des avions. *Médecine et Hygiène*, 50: 3383-3385.

- Kastka, J., Buchta, E., Ritterstaedt, U., Paulsen, R., Mau, U. (1995). The long term effect of noise protection barriers on the annoyance response of residents. *Journal of Sound and Vibration*, 184(5): 823-852.
- Kawada, T., Suzuki, S. (1995). Instantaneous change in sleep stage with noise of a passing truck. *Perceptual and Motor Skills*, 80: 1031-1040.
- Knauer, H. (1980). Noise barriers adjacent to I-95 in Philadelphia. *Transportation Research Record*, 740: 13-21.
- Ko, N. (1981). Letters to the editor: responses of teachers to road traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 77(1): 133-136.
- Koushki, P., Cohn, L., Felimban, A. (1993). Urban traffic noise in Riyadh, Saudi Arabia: Perceptions and attitudes. *Journal of Transportation Engineering - ASCE*, 119(5): 751-762.
- Kragh, J. (1981). Road traffic noise attenuation by belts of trees. *Journal of Sound and Vibration*, 74(2): 235-241.
- Kryter, K. (1970). *The effects of noise on man*. Academic Press, New York.
- Kubota, Y., Kubota, H. (1994). Effectiveness of the LANDSCAD system for the citizen-participation process in traffic-environmental improvements in residential areas. *Environmental and Planning B: Planning and Design*, 21: 109-120.
- Lambert, J. (1981). Analyse économique de l'intervention de l'état en matière de lutte contre le bruit de la circulation automobile. Thèse de doctorat, Université de Paris-Dauphine, France: 172 pages.
- Lambert, J., Simonnet, F. (1980). Comportements dans l'habitat soumis au bruit de circulation. *Rapport de Recherche*, (47): 145 pages.
- Lamure, C., Lambert, J. (1993). Impact des transports terrestres sur l'environnement: Méthodes d'évaluation et coûts sociaux. *Synthèse INRETS*, (23): 101 pages.
- Lévy-Leboyer, C. (1987). Gênes dues au bruit et satisfaction environnementale. *Psychologie Française*, 32(1-2): 77-84.
- Lidman, J. (1985). Effect of a noise wall on snow accumulation and air quality. *Transportation Research Record*, 1033: 79-88.
- Lindeman, W. (1985). Community involvement in the noise barrier selection process: A case study. *Transportation Research Record*, 1033: 25-33.

- Loir, C., Icher, J. (1983). Les effets de coupure de voies routières et autoroutières en milieu urbain et périurbain. CETUR - CETE de Bordeaux, France: 131 pages.
- Matsumura, Y., Rylander, R. (1991). Noise sensitivity and road traffic annoyance in a population sample. *Journal of Sound and Vibration*, 151(3): 415-419.
- May, D., Osman, M. (1980). Highway noise barrier perceived benefit. *Journal of Sound and Vibration*, 70(2): 153-165.
- McDonald, J., Santa-Barbara, J. (1982). Noise barrier test site - QEW/Cawthra road - Before barrier social survey. Ontario, Canada: 57 pages.
- Meiarashi, S., Ishida, M. (1996). Noise reduction characteristics of porous elastic road surfaces. *Applied Acoustics*, 47(3): 239-250.
- Meiarashi, S., Ishida, M., Nakashiba, F., Niimi, H., Hasebe, M., Nakatsuji, T. (1996). Improvement in the effect of drainage asphalt road surface on noise reduction. *Applied Acoustics*, 47(3): 189-204.
- Meiarashi, S., Nakashiba, F., Niimi, H., Hasebe, M., Nakatsuji, T. (1995). Quantitative comparison between noise reduction factors of drainage asphalt pavement. *Applied Acoustics*, 44: 165-179.
- Ménard, T., Delaunay, D., Bennouna, K. (1987). Dispersion des polluants: Présentation de modèles, une étude expérimentale en rue Canyon. Colloque "Pollution de l'air par les transports": *Pollution atmosphérique* (spécial), Paris, France: 179-197.
- Menge, C. (1980). Sound-absorption treatments for highway noise barriers. *Transportation Research Record*, 740: 10-13.
- Mignerón, J.-G. (1982a). Impact psychologique et économique du bruit des autoroutes urbaines pour les secteurs résidentiels les plus proches. Centre de Recherches en Aménagement et en Développement - Université Laval, (7): 112 pages.
- Mignerón, J.-G. (1982b). Évaluation du bruit de la circulation automobile dans les logements situés en bordure des autoroutes urbaines. Centre de Recherches en Aménagement et en Développement - Université Laval, (3): 27 pages.
- Mignerón, J.-G. (1990). Le bruit de la circulation routière, ses effets éventuels sur la santé et sa perception par les résidents voisins des principaux corridors. *Collection Environnement et Géologie*, 10: 286-304.
- Mirzai, H., Harvey, J., Jones, C. (1994). Wind tunnel investigation of dispersion of pollutants due to wind flow around a small building. *Atmospheric Environment*, 28(11): 1819-1826.

- Nelson, J. (1978). Economic analysis of transportation noise abatement. Ballinger Publishing Company, Cambridge, U.S.A.: 264 pages.
- Nelson, J.P. (1982). Highway noise and property values: a survey of recent evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, (5): 117-138.
- Nemecek, J., Wehrli, B., Turrian, V. (1981). Effects of the noise of street traffic in Switzerland: a review of four surveys. *Journal of Sound and Vibration*, 78(2): 223-234.
- OCDE (1989). Environnement et infra-structures de transport. Rapport de la soixante-dix-neuvième table ronde d'Économie des Transports: 161 pages.
- OCDE (1995). La réduction du bruit aux abords des voies routières. Recherche en matière de routes et de transports routiers, Paris, France: 178 pages.
- Öhrström, E. (1991). Psycho-social effects of traffic noise exposure. *Journal of Sound and Vibration*, 151(3): 513-517.
- Öhrström, E. (1995). Effects of low levels of road traffic noise during the night: a laboratory study on number of events, maximum noise levels and noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration*, 179(4): 603-615.
- Öhrström, E., Björkman, M. (1983). Sleep disturbance before and after traffic attenuation in an apartment building. *Journal of the Acoustical Society of America*, 73(3): 877-879.
- Öhrström, E., Björkman, M. (1988). Effects of noise-disturbed sleep -- a laboratory study on habituation and subjective noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration*, 122(2): 277-290.
- Öhrström, E., Rylander, R. (1982). Sleep disturbance effects of traffic noise: a laboratory study on after effects. *Journal of Sound and Vibration*, 84: 87-103.
- Öhrström, E., Rylander, R. (1990). Sleep disturbance by road traffic noise -- a laboratory study on number of noise events. *Journal of Sound and Vibration*, 143(1): 93- 101.
- Öhrström, E., Rylander, R., Björkman, M. (1988). Effects of night time road traffic noise - an overview of laboratory and field studies on noise dose and subjective noise sensitivity. *Journal of Sound and Vibration*, 127(3): 441-448.
- Orlando, P., Perdelli, F., Cristina, M., Piromalli, W. (1994). Environmental and personal monitoring of exposure to urban noise and community response. *European Journal of Epidemiology*, 10: 549-554.

- Ouimet, G. (1994). Acceptation sociale d'écrans acoustiques en bordure d'autoroutes: le cas de Ville de Laval (Québec). Mémoire présenté à l'Université de Montréal en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences en Géographie: 124 pages.
- Parrot, J., Petiot, J., Lobreau, J., Smolik, H. (1992). Cardiovascular effects of impulse noise, road traffic noise, and intermittent pink noise at $L_{Aeq}=75$ dB, as a function of sex, age, level of anxiety: comparative study. *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 63: 477-484.
- Parsons, D. (1982). Noise control through land use planning: the Calgary case. *Transportation Research Record*, 865: 49-52.
- Peterson, Y., Aniansson, G. (1988). Noise sensitivity and annoyance caused by traffic noise in persons with impaired hearing. *Journal of Sound and Vibration*, 127(3): 543-548.
- Pétronigari, J., Bideau, E., Bar, P. (1979). Quand, pour lutter contre les bruits routiers, la solution passe par l'amélioration de l'isolement acoustique des façades: Processus d'études. *Revue générale des routes et des aérodromes*, (559): 17-25.
- Polcak, K. (1990). Field testing of the effectiveness of open-graded asphalt pavement in reducing tire noise from highway vehicles. *Transportation Research Record*, 1255: 94-101.
- Pommerrehne, W.W. (1986). Der Monetäre Wert einer Flug und Strassenlärmreduktion: eine Empirische Analyse auf der Grundlage Individueller Präferenzen. Umweltbundesamt, Kosten der Umweltverschmutzung, Berlin, Allemagne.
- Poulin, A. (1987). Le bruit. Préparé à la demande du BAPE et présenté en annexes du rapport no 23: 8 pages.
- Prieur, B. (1988). Les végétaux compléments des écrans acoustiques, *La Revue Municipale*: 12-15.
- Prosser, S., Turrini, M., Arslan, E. (1991). Effects of different noises on speech discrimination by the elderly. *Acta Otolaryngologica*, Suppl. 476: 136-142.
- Québec. Loi sur l'aménagement et l'urbanisme, L.R.Q., c. A-19.1. Gouvernement du Québec.
- Québec (1989). Étude de pollution sonore pour des infrastructures routières existantes. Méthodologie. Service de l'Environnement, ministère des Transports, gouvernement du Québec: 27 pages + annexes.

- Québec (1994a). La perception des écrans sonores. Municipalités de Sainte-Foy et de Québec. Rapport d'analyse des données provenant d'une enquête menée auprès des populations en été 1988. Étude dirigée par Carolle Bouchard. Ministère des Transports, gouvernement du Québec: 54 pages + annexes.
- Québec (1994b). La politique sur l'environnement du ministère des Transports du Québec. Gouvernement du Québec: 12 pages.
- Québec (1994c). Les orientations du gouvernement en matière d'aménagement: pour un aménagement concerté du territoire. Ministère des Affaires municipales, gouvernement du Québec: 89 pages.
- Québec (1994d). Normes - Ouvrages routiers. Ministère des Transports, gouvernement du Québec.
- Québec (1996a). Combattre le bruit de la circulation routière: techniques d'aménagement et interventions municipales, 2^{ième} édition. Service de l'Environnement, ministère des Transports, gouvernement du Québec: 95 pages.
- Québec (1996b). La politique sur le bruit routier. Ministère des Transports du Québec, gouvernement du Québec: 10 pages.
- Quigley, J.M., Weinberg, D.H. (1977). Intra-urban residential mobility: a review and synthesis. *International Regional Science Review*, 2: 41-66.
- Rabinowitz, J., Bakonyi, M., Bocquet, J., Meyer, G., Olivetti, R., Rey, P. (1987). Gêne due au bruit dans les habitations. III - Acuité auditive, sommeil et sensibilité au bruit. *Médecine et Hygiène*, 45: 3236-3244.
- Regecovà, V., Kellervà, E. (1995). Effects of urban noise pollution on blood pressure and heart rate in preschool children. *Journal of Hypertension*, 13: 405-412.
- Rocchi, S., Pedersen, S. (1990). Feasibility of transparent noise barriers. *Transportation Research Record*, 1255: 87-93.
- Rosen, M. (1986). Contribution à l'étude des effets du vent et d'un gradient de température sur l'efficacité des écrans acoustiques. Thèse de doctorat: 117 pages.
- Rudder, F., Lam, D., Chueng, P. (1979). User's manuel: FHWA level II highway traffic noise prediction model, Stamina 1.0., Fed. Highway Admin., rep. No. FHWA-RD: 78-138.
- Ryu, Y. (1995). The environmental impact of transport in metropolitan areas. *Regional Development Dialogue*, 16(1): 89-95.

- Sanz, S., Garcia A.-M., Garcia. A. (1993). Road traffic noise around schools: a risk for pupil's performance? *International Archives of Occupational and Environmental Health*, 65: 205-207.
- SCHL (1981). Le bruit du trafic routier et ferroviaire: ses effets sur l'habitation. Société canadienne d'hypothèque et de logement - Division de la recherche technique et Division des recherches en bâtiment du Conseil national de recherches du Canada. Ottawa: 121 pages.
- SCHL (1987). L'isolement acoustique. Société canadienne d'hypothèques et de logement. Ottawa: 35 pages.
- Schulz, W. (1986). Die Kosten der Luftverschmutzung aus der Sicht der betroffenen Bevölkerung. Umweltbundesamt, Kosten der Umweltverschmutzung, Berlin, Allemagne.
- Sennheiser elektronik KG (1995). NoiseGard HMEC 45-CA, Allemagne: 50 pages.
- Soguel, N. (1991). Évaluation du coût social du bruit généré par le trafic routier en ville de Neuchâtel. Rapport IRER (9105), Suisse.
- Soulairac, A. (1992). Le bruit: aspects neuro-endocriniens. *Bulletin de l'Académie Nationale de Médecine*, 176(3):401-405.
- St. John, C., Austin, D., Baba, Y. (1986). The question of community attachment. *Revisited Sociological Spectrum*, 6: 411-431.
- Stansfeld, S. (1992). Noise, noise sensitivity and psychiatric disorder: epidemiological and psychophysiological studies. In: *Psychological Medicine*, Cambridge University Press, New York, États-Unis: 44 pages.
- Stansfeld, S., Sharp, D., Gallacher, J., Babisch, W. (1993). Road traffic noise, noise sensitivity and psychological disorder. *Psychological Medicine*, 23: 977-985.
- Stevenson, D., McKellar, N. (1989). The effect of traffic noise on sleep of young adults in their homes. *Journal of the Acoustical Society of America*, 85(2): 768-771.
- Stonehouse, D. (1993). Techniques de simulation visuelle pour une intégration harmonieuse de la route au paysage. Dans: 28^{ième} congrès annuel de l'A.Q.T.R. Exposé des communications. Tome 1. Association québécoise du transport et des routes inc., Montréal: 36-51.
- Stonehouse, D. (1994). Méthode d'étude visuelle d'écran antibruit. Communication prononcée dans le cadre du XIV^{ième} congrès annuel de l'Association internationale pour l'évaluation des impacts (IAIA). Document disponible auprès de l'auteur, Montréal, service de l'Environnement, ministère des Transports, gouvernement du Québec: 5 pages.

- Streetering (1990). A survey of the hedonic price technique. Resource Assessment Commission, Canberra, Australie.
- Tamura, H., Fujita, S., Koi, H. (1994). Decision analysis for environmental impact assessment and consensus formation among conflicting multiple agents -- Including case studies for road traffic. *The Science of the Total Environment*, 153: 203-210.
- Tang, S.H., Kuok, M.H. (1985). Vertical distribution of L_{10} traffic noise levels along roads flanked by high-rise structures. *Journal of Sound and Vibration*, 100(1): 146-148.
- Tatusesco, D. (1981). Protection acoustique des bâtiments contre les bruits de circulation: Application de l'arrêté de 1978. Eyrolles, Paris, France: 88 pages.
- Thiessen, G. (1988). Effect of traffic noise on the cyclical nature of sleep. *Journal of the Acoustical Society of America*, 84(5): 1741-1743.
- Thompson-Shade, N. (1990). Sound insulation and thermal performance modifications: case study for three dwellings near BWI Airport. *Transportation Research Record*, 1255: 12-18.
- Tulen, J., Kumar, A., Jurriëns, A. (1986). Psychophysiological acoustics of indoor sound due to traffic noise during sleep. *Journal of Sound and Vibration*, 110(1): 129-141.
- Utley, W., Buller, I., Keighley, E., Sargent, J. (1986). The effectiveness and acceptability measures for insulating dwellings against traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 109(1): 1-18.
- Vallet, M., Gagneux, J., Blanchet, V., Favre, B., Labiale, G. (1983). Long term sleep disturbance due to traffic noise. *Journal of Sound and Vibration*, 90(2): 173-191.
- Van Den Hout, K., Baars, H., Duijm, N. (1989). Effects of buildings and trees on air pollution by road traffic. Proceedings of the 8th World Clean Air Congress: man and his ecosystem, 3, Brasser LJ, Mulder WC (eds), Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, The Netherlands: 227-232.
- Varshney, C., Mitra, I. (1993). Importance of hedges in improving urban air quality. *Landscape and Urban Planning*, 25: 75-83.
- Vera, M., Vila, J., Godoy, J. (1992). Physiological and subjective effects of traffic noise: the role of negative self-statement. *International Journal of Psychophysiology*, 12: 267-279.
- Vera, M., Vila, J., Godoy, J. (1994). Cardiovascular effects of traffic noise: the role of negative self-statements. *Psychological Medicine*, 24: 817-827.

- Watts, G. (1996a). Acoustic performance of a multiple edge noise barrier profile at motorway sites. *Applied Acoustics*, 47: 47-66.
- Watts, G. (1996b). Acoustic performance of parallel traffic noise barriers. *Applied Acoustics*, 47(2): 95-119.
- Watts, G. (1996c). Perception of exterior noise from traffic running on concrete and bituminous road surfacings. *Journal of Sound and Vibration*, 191(3): 415-430.
- Watts, G., Crombie, D., Hothersall, D. (1994). Acoustic performance of new designs of traffic noise barriers full scale tests. *Journal of Sound and Vibration*, 177(3): 289-305.
- Wayson, R., Bowlby, W. (1990). Atmospheric effects on traffic noise propagation. *Transportation Research Record*, 1255: 59-72.
- Weinberger, M. (1992). Gesamtwirtschaftliche Kosten des Lärms in der Bundesrepublik Deutschland. *Z. Lärmbekämpfung* 39, Allemagne.
- Weinstein, N. (1982). Community noise problems: evidence against adaptation. *Journal of Environmental Psychology*, 2: 87-97.
- White, J., Fallis, A. (1980). Noise barrier social impact study: Highway 401 between Don Valley Parkway and Victoria Park Avenue. Ontario, Canada: 53 pages.
- Whitelegg, J. (1993). Transport for a sustainable future: the case for Europe. Belhaven Press, London, Great Britain: 202 pages.
- Wilkinson, R., Campbell, K. (1984). Effects of traffic noise and quality of sleep: assessment by EEG, subjective report, or performance the next day. *Journal of the Acoustical Society of America*, 75(2): 468-475.
- Williams, I., McCrae, I. (1995). Road traffic nuisance in residential and commercial areas. *The Science of the Total Environment*, 169: 75-82.
- Yano, T., Yamashita, T., Izumi, K. (1991). Community response to road traffic noise in Kumamoto. *Journal of Sound and Vibration*, 151(3): 487-495.
- Zaidel, D., Hakkert, A., Pistiner, A. (1992). The use of road humps for moderating speeds on urban streets. *Accident Analysis and Prevention*, 24(1): 45-56.

ANNEXE I: LISTE DES MOTS-CLÉS INITIAUX

Caractères réguliers: mots-clés français

Caractères *en italique*: mots-clés anglais

Caractères **en gras**: mots-clés français et anglais

<i>abatement</i>	corridor(s)	<i>health</i>
<i>acoustic(s)</i>	coût(s)	<i>hearing(s)</i>
acoustique(s)	dérangement(s)	<i>highway(s)</i>
adaptation	désagrément(s)	<i>home(s)</i>
affaiblissement	diminution	<i>house(s)</i>
aménagement(s)	dissipation	<i>human(s)</i>
amoindrissement	distance(s)	impact(s)
<i>annoyance(s)</i>	<i>disturbance(s)</i>	indicateur(s)
antibruit	école(s)	influence(s)
arbre(s)	<i>economic(s)</i>	<i>insomnia</i>
<i>assessment(s)</i>	économique(s)	insomnie
atténuation	écran(s)	insonorisation
attitude(s)	<i>effect(s)</i>	<i>involvement(s)</i>
auditif(ive)(s)	effet(s)	<i>landscape(s)</i>
automobile(s)	émission(s)	législation
autoroute(s)	enfant(s)	logement(s)
barrière(s)	<i>environment(s)</i>	lutte
<i>behaviour</i>	<i>environmental(s)</i>	<i>measurement(s)</i>
<i>belt(s)</i>	environnement(s)	médical(e)(s)(aux)
bien-être	environnemental(e)(s)(aux)	mesure(s)
bruit(s)	équitable(s)	mitigation
<i>building(s)</i>	<i>equitability</i>	modèle(s)
cardio-vasculaire	évaluation(s)	moteur(s)
<i>cardiovascular(s)</i>	exposition(s)	motorisé(s)
<i>change(s)</i>	<i>exposure(s)</i>	mur(s)
changement(s)	facteur(s)	<i>night(s)</i>
<i>children(s)</i>	<i>factor(s)</i>	<i>noise(s)</i>
circulation	fréquence(s)	nuisance(s)
communauté(s)	<i>frequency</i>	nuit(s)
<i>community(ies)</i>	gêne(s)	paysage(s)
<i>complaint(s)</i>	<i>guideline(s)</i>	<i>people(s)</i>
comportement(s)	habitat(s)	perception
conséquence(s)	habitation(s)	performance(s)
contrôle(s)	habitude(s)	personne(s)

perspective(s)
perturbation(s)
 plainte(s)
 planification
pollution
population(s)
prédiction(s)
préjudice(s)
prévalence
préventif(ive)(s)
 prévention
 prévision(s)
price(s)
 prix
problème(s)
propagation
psychosocial
psychological(s)
 psychologie
 psychologique(s)
psychology
 qualité de vie
quality of life
 quiet
réaction(s)
réaménagement(s)

réduction(s)
régulation(s)
reliability
 résidant(s)
 résidence(s)
resident(s)
residential(s)
 résidentiel(le)(s)
response(s)
 revêtement(s)
 riverain(e)(s)
road(s)
 route(s)
 routier(ière)(s)
 santé
school(s)
 sécurité
 sensibilité
 sensible(s)
sensitive(s)
sensivity
sleep
social(e)(s)(aux)
 sommeil
 son(s)
 sonore(s)

sound(s)
source(s)
stress
subjectif(ive)(s)
 subjectivité
subjectivity
symptôme(s)
traffic(s)
 tranquillité
transport(s)
transportation(s)
traumatisme(s)
tree(s)
 urbain(e)(s)
urban(s)
 valeur(s)
value(s)
végétal(e)(s)(aux)
végétation
vehicle(s)
 véhicule(s)
vibration(s)
wall(s)
well-being

ANNEXE II: NIVEAUX DE CLASSEMENT DES MOTS-CLÉS

- 1 - Sources de dérangement
- 2 - Rappel de la problématique
- 3 - Aspects concernés par le dérangement

PREMIER NIVEAU

bruit(s)
circulation
noise(s)
road(s)
route(ier)(ière)(s)
traffic(s)
transport(s)...

DEUXIÈME NIVEAU

annoyance(s)
effect(s)
nuisance(s)
impact(s)...

TROISIÈME NIVEAU

quality of life
sleep
social(e)(s)...

ANNEXE III: LISTE DES PRINCIPALES BANQUES DE DONNÉES

Les CD-ROM à l'UdeM (voir pages suivantes pour plus d'informations):

- ANTHROPOLOGICAL LITERATURE ON DISC
- BIBLIOGRAPHIE DU QUÉBEC
- BIBLIOGRAPHIE NATIONALE FRANÇAISE
- BOOKS IN PRINT PLUS
- CD-THÈSES
- CINAHL
- CURRENT CONTENTS SEARCH
- DISSERTATION ABSTRACTS ONDISC
- ECONLIT
- ESOP
- EUROCAT ON CD-ROM
- FRANCIS
- GEOBASE
- INDEX TO UNITED NATIONS DOCUMENTATION AND PUBLICATION
- MEDLINE
- MICROLOG
- PAIS ON SilverPlatter
- POLYCAT (ÉCOLE POLYTECHNIQUE)
- PSYCHO INFO
- SCIENCE CITATION INDEX
- SOCIAL SCIENCES CITATION INDEX
- SOCIAL SCIENCES INDEX
- SOCIAL WORK ABSTRACTS PLUS
- SOCIOFILE
- STATISTIQUES FINANCIÈRES INTERNATIONALES
- URBADISC

Les réseaux de bibliothèques (monographies, mémoires et thèses):

- UdeM (Atrium)
- UQAM (Badadug)

Les quotidiens:

- LA PRESSE (sur CD-ROM à l'UdeM depuis 1985)
- LE DEVOIR (sur CD-ROM à l'UdeM depuis 1992)
- LE DROIT (sur CD-ROM à l'UdeM depuis 1993)
- LE SOLEIL (sur CD-ROM à l'UdeM depuis 1992)
- THE GAZETTE (sur CD-ROM à l'UdeM depuis 1994)

Les bureaux du gouvernement du Québec:

- BAPE (Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement)
- MTQ (Ministère des Transports du Québec)

NOM DE LA BASE : ACTUALITÉ - QUÉBEC.
TYPE DE DONNÉES : Texte intégral.
LOGICIEL(S) : CDR.
PÉRIODE COUV. : 1992-.
LANGUE(S) : Française.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Mensuelle.
IMPRIMÉ(S) : La Presse, Le Soleil, Le Devoir, Le Droit, L'Actualité et VOIR.
RÉSUMÉ : Texte intégral des principaux journaux de langue française du Québec: La Presse, Le Soleil, Le Devoir, Le Droit, L'Actualité et VOIR.
SUJET(S) : Actualités & informations.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines (Réseau local).

NOM DE LA BASE : ANTHROPOLOGICAL LITERATURE ON DISC (Disponible au courant de l'année 1995-1996).
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : .
PÉRIODE COUV. : 1984-.
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Annuelle.
IMPRIMÉ(S) : Anthropological literature.
RÉSUMÉ : Compte plus de 93 000 références d'articles de périodiques, de monographies, de rapports, d'essais, etc. reliés à l'anthropologie et compilés par la Harvard University's Tozzer Library .
SUJET(S) : Anthropologie.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines.

NOM DE LA BASE : BIBLIOGRAPHIE NATIONALE FRANÇAISE.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : Online Computer Systems.
PÉRIODE COUV. : 1970-.
LANGUE(S) : Française.
COUV. GÉOGRAPH. : France.
MISE À JOUR : Trimestrielle.
IMPRIMÉ(S) : Bibliographie de la France; Publications Officielles.
RÉSUMÉ : Recense plus de 650 000 livres publiés en France et reçus à la bibliothèque nationale par le dépôt légal depuis 1970.
SUJET(S) : Bibliographie nationale.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines.

NOM DE LA BASE : BOOKS IN PRINT PLUS.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : Bowker Plus Systems.
PÉRIODE COUV. : Informations courantes.
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : États-Unis et monde anglo-saxon.
MISE À JOUR : mensuelle.
IMPRIMÉ(S) : Books in Print; Books in Print Supplement; Forthcoming Books.
RÉSUMÉ : Recense près de deux millions de livres publiés par des éditeurs américains ou distribués aux États-Unis et disponibles actuellement sur le marché américain.
SUJET(S) : Livres.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines (Réseau local).

- NOM DE LA BASE** : CD-THESES.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) :
PÉRIODE COUV. : 1972-
LANGUE(S) : Française.
COUV. GÉOGRAPH. : France.
MISE À JOUR : Annuelle.
IMPRIMÉ(S) :
RÉSUMÉ : Recense plus de 170 000 thèses soutenues en France depuis 1972, dans toutes les disciplines.
SUJET(S) : Thèses & mémoires.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines.
- NOM DE LA BASE** : CINAHL (Cumulated index to nursing and allied health literature).
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : CD-PLUS.
PÉRIODE COUV. : 1983-
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Pays anglophones seulement.
MISE À JOUR : Bimestrielle.
IMPRIMÉ(S) : Cumulative Index to Nursing & Allied Health Literature.
RÉSUMÉ : Compte environ 160 000 références avec résumé des articles de langue anglaise publiés dans plus de 550 périodiques reliés aux sciences infirmières et aux services médicaux.
SUJET(S) : Médecine /Sciences infirmières & para-médicales.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Toutes les bibliothèques (Hermès).
- NOM DE LA BASE** : CURRENT CONTENTS SEARCH.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : CD-PLUS.
PÉRIODE COUV. : Six derniers mois.
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Hebdomadaire.
IMPRIMÉ(S) : Current Contents.
RÉSUMÉ : Recense les articles de périodiques énumérés dans les tables des matières d'environ 6 900 périodiques reliés à tous les domaines de la connaissance.
SUJET(S) : Sciences sociales & humaines/Sciences biomédicales/Sciences & technologie.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Toutes les bibliothèques (Hermès).
- NOM DE LA BASE** : DISSERTATION ABSTRACTS ONDISC.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : UMI Search/Retrieval Software (ProQuest).
PÉRIODE COUV. : 1861-
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Semestrielle.
IMPRIMÉ(S) : Dissertation Abstracts International; American Doctoral Dissertations; Comprehensive Dissertation Index; Masters Abstracts (depuis 1988).
RÉSUMÉ : Recense les thèses de doctoral produites dans les institutions et universités américaines ainsi que par plus de 200 institutions étrangères. Depuis 1980 la plupart des références de thèses ont un résumé descriptif.
SUJET(S) : Thèses & mémoires.
BIBLIOTHÈQUE(S) : E.P.C. ; Lettres & sciences humaines (Réseau local).

- NOM DE LA BASE** : ECONLIT.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : SPIRS-PC (SilverPlatter).
PÉRIODE COUV. : 1969-.
LANGUE(S) : Anglaise (avec titre dans la langue d'origine).
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Trimestrielle.
IMPRIMÉ(S) : Journal of Economic Literature; Index of Economic Articles in Journals and Collective Volumes.
RÉSUMÉ : Compte plus de 282 000 références, avec résumés, d'articles de périodiques reliés au domaine des sciences économiques. Dépouille plus de 400 périodiques.
SUJET(S) : Economie.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines (Réseau local).
- NOM DE LA BASE** : ESOP (Disponible au courant de l'année 1995-1996).
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : Data Trek.
PÉRIODE COUV. : 1945-.
LANGUE(S) : Française.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Trimestrielle.
IMPRIMÉ(S) :
RÉSUMÉ : Compte plus de 78 000 références d'articles de périodiques reliés aux sciences économiques, sociales et politiques.
SUJET(S) : Science politique/Sciences sociales & sciences humaines/Economie.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines.
- NOM DE LA BASE** : EUROCAT ON CD-ROM.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : Headfast.
PÉRIODE COUV. : 1985-.
LANGUE(S) : Langues des pays de l'Union européenne (sauf le grec).
COUV. GÉOGRAPH. : Union européenne.
MISE À JOUR : Trimestrielle.
IMPRIMÉ(S) :
RÉSUMÉ : Catalogue complet des documents et publications des Communautés européennes et de textes choisis. Extraits du Journal officiel des Communautés européennes.
SUJET(S) : Politique & science politique/Economie/Actualités & Informations.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines, publications officielles (3e étage).
- NOM DE LA BASE** : FRANCIS.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : GTL.
PÉRIODE COUV. : 1984-.
LANGUE(S) : Française et anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Annuelle.
IMPRIMÉ(S) : Correspond à plus de 22 bulletins analytiques FRANCIS publiés par le CNRS-INIST.
RÉSUMÉ : Base de données multidisciplinaire sur les arts, les sciences humaines, les sciences sociales, les sciences économiques et les sciences administratives. Regroupe 22 bases de données spécialisées et compte au total plus de 1.5 million de références.
SUJET(S) : Arts et humanités /Economie /Education & formation /Langage & linguistique /Sciences sociales & humaines /Sociologie.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines (Réseau local).

- NOM DE LA BASE** : GEOBASE (Disponible au courant de l'année 1995-1996).
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : SPIRS-PC (SilverPlatter).
PÉRIODE COUV. : 1980-
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Trimestrielle.
IMPRIMÉ(S) : Correspond à plusieurs bulletins analytiques publiés par Elsevier Science B.V.
- RÉSUMÉ** : Compte près de 500 000 références provenant de périodiques, de monographies et de thèses reliés aux sciences de la terre et à la géographie. Couvre des domaines tels que la cartographie, la climatologie, la démographie, l'écologie, l'environnement, l'hydrologie, la geomorphologie, etc.
- SUJET(S)** : Géographie/Sciences de la terre.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Géographie.
-
- NOM DE LA BASE** : INDEX TO UNITED NATIONS DOCUMENTS AND PUBLICATIONS.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : NewsBank/Readex.
PÉRIODE COUV. : 1990-
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale (Pays membres des Nations Unies).
MISE À JOUR : Mensuelle.
IMPRIMÉ(S) : UNDOC current Index & autres.
RÉSUMÉ : Recense la documentation produite par les Nations Unies depuis 1990.
- SUJET(S)** : Nations Unies - Publications.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines, publications officielles (3e étage).
-
- NOM DE LA BASE** : MEDLINE.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : CD-PLUS.
PÉRIODE COUV. : 1966-
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Mensuelle.
IMPRIMÉ(S) : Correspond à Index Medicus; Index to Dental Literature; International Nursing Index.
- RÉSUMÉ** : Documentation internationale reliée à la médecine et aux sciences biomédicales incluant la recherche, la pratique clinique, l'administration, les politiques et les services de santé. Dépouille plus de 3 500 périodiques.
- SUJET(S)** : Médecine/ Sciences biomédicales.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Toutes les bibliothèques (Hermès).
-
- NOM DE LA BASE** : MICROLOG.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : Dataware.
PÉRIODE COUV. : 1982-
LANGUE(S) : Française et anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Canada.
MISE À JOUR : Semestrielle.
IMPRIMÉ(S) : Microlog; Canadian Research Index.
RÉSUMÉ : Documentation et rapports de recherche des gouvernements fédéral et provinciaux et des administrations municipales. Publications gouvernementales canadiennes.
- SUJET(S)** : Publications gouvernementales - (Canada).
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines, publications officielles (3e étage).

NOM DE LA BASE : PAIS ON SilverPlatter.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : SPIRS-PC (SilverPlatter).
PÉRIODE COUV. : 1972-
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Trimestrielle.
IMPRIMÉ(S) : PAIS International in Print.
RÉSUMÉ : Compte plus de 385 000 références traitant des affaires et de l'administration publique sur les secteurs économique, politique et social.
SUJET(S) : Commerce & industrie - (International)/Economie/Politique & science politique/Sciences sociales & humaines.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines (Réseau local).

NOM DE LA BASE : PERIODISC LA PRESSE.
TYPE DE DONNÉES : Texte intégral.
LOGICIEL(S) : Windows.
PÉRIODE COUV. : 1985-1991.
LANGUE(S) : Française.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR :
IMPRIMÉ(S) : La Presse.
RÉSUMÉ : Texte intégral des articles parus dans le journal La Presse.
SUJET(S) : Actualités & informations.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines.

NOM DE LA BASE : PSYCLIT.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : SPIRS-PC (SilverPlatter).
PÉRIODE COUV. : 1974-
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Trimestrielle.
IMPRIMÉ(S) : Psychological Abstracts (Sauf les thèses).
RÉSUMÉ : Recense la documentation périodique (articles de périodiques) reliée au domaine de la psychologie et des sciences du comportement. Depuis 1987 dépeuille les monographies reliées au domaine.
SUJET(S) : Psychologie & sciences du comportement.
BIBLIOTHÈQUE(S) : E.P.C. : Psycho-éducation.

NOM DE LA BASE : SCIENCE CITATION INDEX - COMPACT DISC EDITION.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : SCI CDE.
PÉRIODE COUV. : 1980-
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Trimestrielle.
IMPRIMÉ(S) : Science Citation Index et (en partie) Current Contents.
RÉSUMÉ : Recense la documentation internationale reliée à une centaine de disciplines scientifiques ou technologiques incluant les sciences biomédicales, la médecine clinique et le génie. Dépeuille plus de 3300 périodiques. Le logiciel d'interrogation est spécialement conçu afin de pouvoir chercher des références en fonction d'auteurs ou d'oeuvres cités.
SUJET(S) : Science & technologie.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Santé.

NOM DE LA BASE : SOCIAL SCIENCES CITATION INDEX - COMPACT DISC EDITION.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : SCI COE.
PÉRIODE COUV. : 1981-.
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Trimestrielle.
IMPRIMÉ(S) : Social Sciences Citation Index.
RÉSUMÉ : Recense la documentation internationale reliée aux sciences humaines et aux sciences sociales. Dépouille plus de 1400 périodiques. Le logiciel d'interrogation est spécialement conçu afin de pouvoir chercher des références en fonction d'auteurs ou d'oeuvres cités.
SUJET(S) : Sciences sociales & humaines.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines.

NOM DE LA BASE : SOCIAL SCIENCES INDEX.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : Wilsondisc.
PÉRIODE COUV. : 1983-.
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : mensuelle.
IMPRIMÉ(S) : Social science index.
RÉSUMÉ : Recense la documentation internationale reliée aux sciences humaines et aux sciences sociales. Compte plus de 376 000 références.
SUJET(S) : Sciences sociales & humaines.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines.

NOM DE LA BASE : SOCIOFILE.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : SPIRS-PC (SilverPlatter).
PÉRIODE COUV. : 1974-.
LANGUE(S) : Anglaise.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : Trois fois par année.
IMPRIMÉ(S) : Sociological Abstracts; Social Planning, Policy & Development Abstracts.
RÉSUMÉ : Dépouille près de 2 900 périodiques ou documents périodiques reliés au domaine de la sociologie, des sciences sociales et des disciplines qui leurs sont connexes.
SUJET(S) : Sociologie /Service social.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Lettres & sciences humaines (Réseau local).

NOM DE LA BASE : URBADISC.
TYPE DE DONNÉES : Références bibliographiques.
LOGICIEL(S) : CD-Answer.
PÉRIODE COUV. : 1970-.
LANGUE(S) : Multilingue.
COUV. GÉOGRAPH. : Internationale.
MISE À JOUR : .
IMPRIMÉ(S) : .
RÉSUMÉ : Recense plus de 350 000 références reliées à l'urbanisme, à l'architecture et domaines connexes.
SUJET(S) : Architecture/Urbanisme.
BIBLIOTHÈQUE(S) : Aménagement.

ANNEXE IV: GRILLE DE LECTURE

Pour une revue de littérature ou un commentaire

Titre:

Auteur(s) ou organisme(s):

Ville, province, pays:

Format du document? article rapport livre

Genre? revue de littérature commentaire

EFFET(S) DU BRUIT ROUTIER

Santé (physique et psychologique):

Qualité de vie:

Aspect socio-économique:

Autres facteurs de nuisances rattachés au bruit (saison, microclimat, environnement urbain, etc.):

LUTTE CONTRE LE BRUIT ROUTIER

Technique(s):

Performance(s):

Coût(s):

Conséquence(s) (qualité de vie, structure territoriale, tissu social, équité et coût social, paysage urbain, microclimat, approche participative...):

Interventions en matière de réduction des nuisances causées par le bruit (stratégies technique, légale, institutionnelle, etc.):

Pour une étude spécifique

Titre:

Auteur(s) ou organisme(s):

Ville, province, pays:

Format du document? article rapport livreGenre? étude en laboratoire étude sur le terrainType? cas/témoin cohorte enquête sociale

Objectif de l'étude:

Effets étudiés:

Méthodologie:

Facteurs contrôlés:

Conditions expérimentales (fréquence, durée, échantillon):

Conclusions, perspectives et limites:

Si étude d'une réalisation technique:

Information? avant pendant après

Retombées sur le projet:

Approche participative? avant pendant après

Retombées sur le projet:

Enquête? avant pendant après

Retombées (aspects sonore, socio-économique, climatique, qualité de vie, etc.):

Plaintes? avant pendant après

Description:

Solutions envisagées? avant pendant après

Description:

ANNEXE V: PARTIE TECHNIQUE SUR LES ASPECTS ÉCONOMIQUES DU BRUIT

Préparée par El Bachir Belhadji, Ph.D.

I. - Effets externes et coûts sociaux de la circulation routière

a) Définition d'un effet externe

Un effet externe a lieu lorsque la fonction d'utilité d'un agent économique contient une variable (réelle), dont la valeur dépend du comportement d'un autre agent économique qui ne prend pas ces effets en considération lors de son processus de décisions.

Exemple: la fonction d'utilité de l'agent récepteur U_R contient la variable réelle "quantité de bruit" Q_B , qui est générée lors de l'activité de transport Q_T de l'agent émetteur dont la fonction d'utilité est U_E .

Agent R: $U_R = f(Q_B, \text{autres biens})$.

Agent E: $U_E = f(Q_T(Q_B), \text{autres biens})$.

b) Façons de réduire les externalités (négatives)

Réduire la quantité d'activité (de transport) de façon à ce que le coût marginal social soit égal au bénéfice marginal.

- Imposer une taxe à la Pigou sur l'activité.

c) Les effets des coûts externes du bruit routier

Le bruit routier possède trois effets principaux:

- Effet intra-sectoriel: cet effet est constitué principalement du bruit que les automobilistes s'imposent mutuellement; il est négligeable du fait que les bruits générés par les moteurs sont relativement identiques (sauf ceux des véhicules lourds).
- Effet sur l'environnement écologique: telles les fuites des oiseaux des secteurs à taux de bruit élevé; cet effet reste également négligeable si on s'attarde à une problématique de présence de bruit dans un milieu urbain.
- Effet sur l'environnement social: il s'agit de l'effet le plus important car il affecte le bien-être des individus (manque de sommeil, anxiété...).

Examinons les coûts externes du bruit routier sur l'environnement. Il existe trois méthodes principales pour réduire le bruit:

- Réduire l'activité.
- Le producteur (ou émetteur) peut s'engager dans des activités pour "abaisser" le bruit (notées A).
- La victime peut entreprendre des activités de "défense" contre le bruit (notées D).

Bien sûr, les gouvernements peuvent intervenir pour garantir l'application d'une ou plusieurs des actions citées ci-dessus.

d) La théorie

Les effets d'efficacité des coûts externes

Soit un modèle constitué du producteur (ou émetteur) de bruit et de la victime.
La fonction de bien-être du producteur est:

$$W^P = PB(Q) - PC(Q) - A = NPB(Q) - A \quad [1]$$

La fonction de bien-être de la victime est:

$$W^V = -CE(Q, A, D) - D \quad [2]$$

où:

Q: niveau d'activité (de transport).

PB: bénéfice privé lié à l'activité de transport.

PC: coût privé lié à l'activité de transport.

CE: coût externe qui dépend de Q, A et D.

La fonction de bien-être social est donnée par la somme des fonctions individuelles (équations 1 et 2):

$$W = W^P + W^V = NPB(Q) - CE(Q, A, D) - A - D \quad [3]$$

Les conditions de premier ordre (CPO) nous donnent:

$$\begin{aligned} W_Q = 0 & \text{ ---> } CE_Q = NPB_Q \\ W_A = 0 & \text{ ---> } CE_A = -1 \\ W_D = 0 & \text{ ---> } CE_D = -1 \end{aligned}$$

Ces trois conditions doivent simultanément être rencontrées pour assurer un optimum social à la Pareto (efficacité à la Pareto). L'interprétation est la suivante: une réduction dans les coûts

externes revient au même pour les trois méthodes de réduction du bruit (Q plus faible, A ou D plus élevés).

Certains auteurs (Verhoef, 1993) ont montré que la victime avait un comportement efficace (selon les CPO ci-dessus) s'il n'y a pas de compensation. Cependant, le comportement du producteur ne sera pas efficace. Un niveau trop élevé d'activité sera choisi, et un niveau équivalent à 0 sera choisi pour les activités d'abaissement (A). Dans ce cas, l'intervention gouvernementale doit être concentrée sur la réduction de l'activité Q et la stimulation des activités d'abaissement A. Il faudrait aussi être prudent quant aux politiques de compensation des victimes.

Remarquons cependant que les applications empiriques ne concernent généralement pas cet aspect d'efficacité ou d'optimalité des marchés, car l'estimation des relations de l'équation 3 et des CPO est très difficile.

Les effets d'équité des coûts externes

Le bruit routier généré par les automobilistes nuit au bien-être des riverains, alors que celui des automobilistes augmente (par le biais de la satisfaction de leurs besoins en transport). La façon de rééquilibrer ces différences va s'opérer par le biais de compensations diverses directes ou indirectes: c'est ce qu'on appelle les effets d'équité.

Ces effets d'équité concernent les effets redistributifs implicites pour résoudre le problème de bruit. C'est le cas de la facture impayée. À la différence des effets d'efficacité où les auteurs ont de la difficulté dans leurs applications, ces effets d'équité reçoivent l'attention d'une majorité d'entre eux.

e) Estimations empiriques

Il n'y a pas d'études empiriques qui s'intéressent à l'optimalité; par contre beaucoup d'entre elles impliquent l'effet redistributif (équité) dû aux coûts externes. Souvent, c'est le coût externe brut (CE + D) qui est mesuré. Dans plusieurs cas, on n'estime que D et on ignore EC, ce qui donne des sous-estimations. Des prolongements de ces mesures sont constitués dans certaines études par le niveau d'abaissement A.

Deux principales approches se partagent ce domaine d'estimation:

Approche directe

Elle consiste à prendre en considération le coût réel ou potentiel des activités d'abaissement (A) et de défense (D) pour représenter les coûts externes. Deux stratégies de calcul découlent de cette approche:

Stratégie des activités réelles

Elle consiste à interpréter les dépenses réelles de défense D ou d'abaissement A comme représentant les dispositions à payer des victimes pour réduire le bruit à des niveaux acceptables (coût externe). Comme dans presque tous les cas, il reste toujours des coûts externes non éliminés; on considère que cette approche sous-estime les vrais coûts externes.

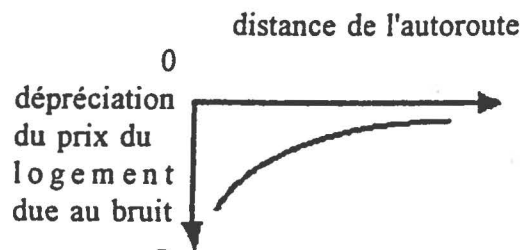
Stratégie des activités potentielles

Elle consiste à évaluer les programmes potentiels de défense et d'abaissement nécessaires à la réduction de l'externalité à un niveau "raisonnable". Le défaut de cette approche est aussi lié à ce que l'on appelle niveau "raisonnable"; dans le cas où il reste un niveau positif de coûts externes, on sous-estimera alors les vrais coûts.

Pour le cas du bruit, on note des différences majeures entre les niveaux de bruit considérés comme non gênants: on retient en général un Leq de jour entre 55 dBA et 65 dBA. Dans de nombreux pays, les administrations routières adoptent un niveau réglementaire de 65 dBA comme seuil de gêne pour les constructions de routes. Dans ce cas, on néglige une fraction importante de la population gênée. En Allemagne (Schulz, 1989), l'estimation de la dépréciation du parc de logements se trouve affectée par un facteur de 3 lorsqu'on fait varier le niveau seuil de 55 dBA à 65 dBA.

Approche par évaluation (vue en détail à la section 5.2.3)Principe de l'approche hédoniste

La courbe des prix des logements a la forme suivante:



soit:

V = vecteur des prix des maisons.

Q = vecteur des caractéristiques de l'environnement.

Q_j = niveau de tranquillité.

Z = autres caractéristiques de la maison.

alors,

$$V=V(Q, Z) \quad [4]$$

et dV/dQ_j représente le prix implicite de la tranquillité, ou l'accroissement de la dépense nécessaire à l'obtention d'une réduction d'un décibel dans le niveau du bruit.

II - Quelques notions sur les formes fonctionnelles dans le cadre de l'approche hédoniste

En plus de limiter son échantillon à un ensemble homogène de logements, il faudrait suffisamment de variabilité dans les niveaux de bruit afin de dégager un prix implicite du bruit qui soit représentatif et significatif, et que le coefficient de l'indice du bruit (pour les niveaux élevés notamment) ait un nombre important de degrés de liberté. Il reste cependant que le niveau seuil du bruit en deçà duquel il n'y a pas de nuisance est encore un problème non résolu dans la littérature. Quelques études ont cependant considéré qu'il existe un certain niveau où le bruit n'est plus perçu comme une intrusion: ce niveau se situe entre 50 et 60 dBA.

Formes fonctionnelles

Supposons les trois formes fonctionnelles suivantes, où nous possédons seulement deux caractéristiques z_1 et z_2 :

$$\begin{aligned} \text{linéaire:} & \quad p = b_0 + b_1 z_1 + b_2 z_2 \\ \text{semi-log:} & \quad \ln p = b_0 + b_1 z_1 + b_2 z_2 \\ \text{log-log:} & \quad \ln p = \ln b_0 + b_1 \ln z_1 + b_2 \ln z_2 \end{aligned}$$

où,

P : prix des maisons pour les "n" observations (nous avons supprimé l'indice d'observations afin d'alléger la notation).

z_1 : caractéristique du bruit.

z_2 : autre caractéristique de résidence.

Les prix hédonistes marginaux sont donnés par $\delta P / \delta z_k$, $k = 1, 2$; ils sont évalués selon les valeurs numériques z_1 et z_2 . En ce qui concerne la caractéristique z_1 , ces prix sont respectivement b_1 , $b_1 P$ et $b_1(P/z_1)$. Alors que le modèle linéaire implique des prix marginaux constants, le modèle semi-log implique des prix marginaux monotones croissants en P . Le modèle log-log implique des prix marginaux qui peuvent être constants, croissants ou décroissants, en fonction de la valeur du ratio P/z_1 , et qui ne peuvent évidemment pas être des variables indépendantes lors du choix du modèle log-log. Cependant, les deux premiers modèles (linéaire et semi-log) possèdent l'avantage de fournir des prix relatifs constants, ce qui garantit une contrainte budgétaire linéaire (donc compatible avec la théorie traditionnelle du consommateur). Les prix relatifs du modèle log-log ne sont pas constants et dépendent du rapport z_2/z_1 .

Bien que les prix marginaux des deux derniers modèles (semi-log et log-log) ne soient pas constants, il ne s'ensuit pas que les ménages sont en position de monopsonne (un "seul" acheteur pouvant influencer les prix par ses décisions d'achat) sur le marché de l'immobilier. Ces inconstances dans les prix peuvent refléter les limites techniques et institutionnelles sur le marché

de l'immobilier. Si on pouvait diviser les caractéristiques des résidences et les revendre sous de multiples combinaisons, et s'il n'y avait pas de contraintes institutionnelles telles que le zonage par exemple, il y aurait forcément une relation linéaire des prix hédonistes. Enfin, on pourrait donc avancer que bien que le modèle linéaire soit le plus attrayant du point de vue théorique, ceci ne nous empêche pas de tester la relation pour les autres modèles aussi.

Chaque auteur propose une forme fonctionnelle spécifique pour évaluer le prix implicite du bruit. **Boulès (1996)** répertorie cinq formes fonctionnelles: linéaire, linéaire-log, log-linéaire, log-log et transformations Box-Cox. La formulation Box-Cox consiste à transformer une ou plusieurs variables, dans le but de trouver la forme fonctionnelle la plus appropriée en prenant en considération la nature des données. Cette transformation peut s'effectuer sur la variable dépendante, les variables indépendantes ou les deux en même temps. Après avoir utilisé les différentes formes pour ses estimations, **Boulès (1996)** conclut que la forme Box-Cox est supérieure.

III - Le modèle

Nous reprenons ici une des formes fonctionnelles adoptée par **Nelson (1982)** afin de donner une idée de la méthodologie empirique. Une possible relation entre le niveau de nuisance (subjective) et le niveau de bruit (objectif) peut être la suivante:

$$A = C_0 e^{c_1 L} u_1$$

où,

A: niveau de nuisance subjective dû à la circulation.

L: indice de bruit.

C1: constante.

e: valeur népérienne.

u_1 : terme d'erreur stochastique.

Si on suppose que la relation hédoniste est multiplicative, alors:

$$V = b_0 Z^{b_1} A^{b_2} u_2$$

où,

V: valeur de la propriété.

Z: vecteur des caractéristiques physiques et de quartier.

u_2 : terme d'erreur stochastique.

En prenant les ln et en substituant pour le ln de A, on obtient:

$$\ln V = d_0 + d_1 \ln Z + d_2 L + u_3$$

où,

$d_2 = b_2 c_1$ (et ainsi de suite).

$dV/dL = d_2 V$: coût du dommage dû au bruit.

a) Indice de dépréciation des logements (NDSI):

Si on considère deux propriétés résidentielles identiques qui diffèrent seulement par leur exposition au bruit, alors le montant absolu de la dépréciation du logement par décibel peut être défini comme suit:

$$D = \frac{\text{différence entre les valeurs due au bruit}}{\text{différence dans l'exposition au bruit}}$$

L'indice de dépréciation est obtenu en divisant D par la valeur de la propriété:

$$\text{NDSI} = \frac{D}{\text{valeur de la propriété}} \times 100$$

Dans la littérature, l'éventail de ces indices se situe entre 0,08% et 1,05% par décibel (ajusté pour la mesure en L_{eq}), avec une moyenne de 0,4% par décibel. On peut alors avancer qu'une résidence exposée à 75 dB (L_{eq}) se vendra en moyenne 8% moins chère qu'une résidence exposée à 55 dB.

b) Résultats de la littérature

Le tableau A est une synthèse des résultats et des hypothèses de travail concernant les prix hédonistes des logements.

IV - Problèmes économétriques

Lors des régressions multiples, certains problèmes statistiques ou économétriques peuvent émerger.

a) Multicollinéarité

Une situation de multicollinéarité peut revêtir deux aspects:

- Une situation où une variable explicative est hautement corrélée avec une autre ou avec une combinaison linéaire d'autres variables du modèle.
- Une situation où l'effet de multicollinéarité est de produire des erreurs-type élevées pour les coefficients estimés.

Tableau A. Revue des modèles d'équations hédonistes.

Étude	Mesure bruit	Données	Nbre obs.	Var. dép.	Var. indép.	Résultats	NDSI
Allen (1980)	dummy 70dB L10 L10 - L90 TNI	ventes indiv. 1977-79 défl. 1978	206 et 207	prix rés. défl. ln prix	espace, nbre sdb, nbre cheminées, âge, style sous-sol et construction	rég. linéaire: 94\$/dB, semi-log NDSI=0.15%, log-log:101\$/dB	0.14% 0.15%
Anderson et Wise (1977)	NPL (4jrs: oct. à nov. 1971)	ventes indiv. 1969-71 défl. 1970 questionnaire 1965-71	25, 50, 32, 45, 100, 137, 81, 146	ln prix défl.	nbre pièces et sdb, âge, design, visibilité auto- route, mobilité (var. ln)	42\$/dB et 129\$/dB pour rés. 30 000\$, pooling: 75\$/dB	0.14% 0.43% pooled: 0.25%.
Bailey (1977)	ln distance de l'autoroute jusqu'à 1000'	ventes indiv. 1968-76	90	ln prix	design, financement par administration des vétérans, trend.	var. prix=+7.5% si rés. à 1000' (par rapport aux rés. au pied de l'autoroute)	0.3% (pour chaque dB sup. à 55 dB)
Gamble et al (1974)	NPL (4jrs: oct. à nov. 1971)	ventes indiv. 1969-71 défl. 1970	32, 54, 39, 75	prix défl.	nbre étages, pièces, nbre sdb, âge, construction design, s-s	646\$/dB 141\$/dB pooled:82\$/dB	0.43% 0.21% pooled:0.26%.
Hall et al (1978) (Toronto)	Leq 24 hrs (jrs de semaine)	ventes indiv. 1975-77	pooled: 21	prix-prix moyen	nbre pièces, nbre sdb, garage (grandeur), piscine, trend.	650\$/dB (pour 2 sites sur 6 qui sont significatifs)	1.05%
Langley (1976, 1980)	en fonction des distances de l'autoroute	ventes indiv. 1962-1972 défl. 1962	620 impacts I 99 adjacentes A 957 controles C	indice de prix (Bailey Muth et Nourse, 1963)	aucune (voir Bailey Muth et Nourse, 1963)	I=1026\$ moins que C (1971), A=1650\$ moins que C (1970)	0.32% (diff. entre A et C)

Tableau A (suite). Revue des modèles d'équations hédonistes.

Nelson (1978)	Ldn	valeur médiane des propriétés selon propriétaires en avril 1970	456 blocs de recensement 456 (Ldn sup 39) 420 (Ldn sup 50)	ln prix médian du bloc	pièces, espace, âge, plomberie, air clim., race quartier, rivière, accessibilité, utilisation sol, pollution air (var. ln excepté Ldn et dummy)		0.60% (Ldn sup à 39 dB) 0.87% (Ldn sup à 50dB)
Palmquist (1980, 1981)	L10, distance de l'autoroute	ventes indiv. 1962-76 1958-76 1950-78 déf.	4785 2823 645	indice de prix (Bailey, Muth et Nourse, 1963)	diff. catégories d'espace, nbre pièces, commodités, âge, distance parc, cheminées, arbres, assoc. loisirs, s-s, garage, chauff., plancher, mesure de la qualité	résultats similaires aux approches hédonistes pour les mêmes régions, réduction prix par 2.5dB: 1.20% 0.75% 0.20%	0.48% 0.30% 0.08%, différences dues à l'hétérogénéité dans les revenus
Vaughan et Huckins (1975)	Leq, pression sonore proche de Leq (5 minutes)	ventes indiv. 1971-72	233 sites	prix ln prix	espace vie, nbre garages, largeur lot, âge, construction design, distance centre-ville, distance lac, nbre lots par bloc (densité), nbre fenêtres cassées, loisirs, pollution air (var. linéaires)	meilleurs résultats avec un niveau ambiant du bruit=50dB: 135\$-166\$/dB, meilleur estimé= 140\$/dB, forme semi-log: 0.41%-0.80%, meilleur estimé: 0.65%/dB	0.65%

Certaines mesures peuvent cependant être mises de l'avant afin de déceler une possible multicollinéarité:

- Le test de corrélation simple: la corrélation n'est pas dommageable aussi longtemps que le coefficient $r_{ij}^2 \leq R^2$, où r_{ij}^2 représente la corrélation entre deux variables i et j , et R^2 le coefficient de détermination.
- Le test du déterminant normalisé: la valeur du déterminant de la matrice de corrélation des variables explicatives sera proche de zéro quand le degré de multicollinéarité est élevé, et proche de un lorsque celui-ci est faible; l'inconvénient de cette méthode est de ne pas connaître la valeur minimale du déterminant qui rend la multicollinéarité intolérable (O'Hagan et McCabe, 1975, p. 370).

Dans le problème qui nous intéresse, les individus choisissent une résidence en fonction d'un certain nombre de caractéristiques (hors trafic routier) et aussi en fonction du trafic routier. Ce dernier entraîne néanmoins plusieurs types de pollution dont les plus importantes sont la pollution par le bruit, la pollution atmosphérique et la pollution visuelle. Lors de la régression de l'équation hédoniste, il faudrait inclure tous les types de pollution afin de tenir compte du choix global du consommateur. Dans plusieurs articles se concentrant sur le bruit, on a négligé les deux derniers types de pollution, à savoir la pollution visuelle et la pollution atmosphérique. Les raisons évoquées sont que les variables explicatives de ces trois types de pollution sont intercorrélées entre elles. Une façon de résoudre ce problème est de construire un indice composite qui regroupe en une seule variable des mesures de pollution atmosphérique, visuelle et par le bruit. Bien sûr, dans ce cas là, on ne peut isoler l'effet du bruit, et le coefficient estimé reflète le prix de la pollution causé par le trafic routier en général. Il faudra alors être très prudent lors de la sélection des variables explicatives.

b) "Outliers" et hétéroscédasticité

Afin de tester l'existence des "outliers" (observations très éloignées de la moyenne) et l'hétéroscédasticité, on reproduit le graphique des résidus estimés sur la variable dépendante prédite et chacune des variables indépendantes, et on examinera ces relations.

c) Tests de conformité avec les données

Dans le but de vérifier la vraisemblance de certains coefficients, nous pouvons -à partir de données diverses (Statistique Canada, données de cadastre de la ville, de la Société d'hypothèque et de logements, etc.) - vérifier la concordance des résultats de notre modèle avec les données statistiques de sources diverses. Ainsi, par exemple, nous pouvons confronter la valeur d'une chambre additionnelle extrapolée à partir de notre modèle avec celle de statistiques indépendantes. La valeur du mètre carré de propriété selon notre modèle peut aussi être comparée à celle publiée par les courtiers en propriété par exemple.

Si les tests de vérification de certaines valeurs de variables explicatives s'avèrent concluants, il s'ensuit que le modèle choisi et les données recueillies rendent bien compte des réalités actuelles.

V - Limites de l'approche hédoniste

Lorsqu'un bien est transigé sur un marché, le prix est déterminé par la confrontation de l'offre et de la demande. Si on se concentre sur la partie "demande" du marché, on remarque que le prix fixé correspond à la disposition à payer du dernier acquéreur du bien; une partie de la demande ne sera jamais satisfaite (tous les points qui correspondent à une disposition à payer inférieure au prix fixé), alors que l'autre partie (mis à part le cas limite du dernier acquéreur) est prête à payer un montant supérieur au prix du marché. Cette différence est appelée "surplus du consommateur". On pourra alors écrire la relation suivante: disposition à payer = prix du marché + surplus du consommateur.

Lorsqu'on utilise la méthode des prix hédonistes, on se base sur les prix du marché afin de déterminer le coût du bruit. Or, comme on vient de le voir, les individus qui paient un prix "x" pour se déplacer vers une résidence plus tranquille sont prêts à payer en réalité un prix supérieur à "x" (sauf l'individu marginal). Les dommages (en termes monétaires) évalués à partir de cette méthode seraient donc inférieurs aux dommages subis par le propriétaire, puisqu'ils ne tiennent pas compte du surplus du consommateur. On ignore cependant la valeur de ce surplus qui, nous dit-on, peut atteindre 40% du prix du marché (Abelson, 1981).

VI - Comparaison entre l'approche coût-bénéfice (CB) et l'approche coût- efficacité (CE)

Supposons que l'on soit en présence d'une multitude de solutions et que l'on ne puisse pas évaluer les bénéfices de chacune d'elles. On peut cependant comparer les solutions si on dispose d'une échelle de mesure commune, qui est généralement choisie en fonction des services rendus par les différentes solutions. Si on note C_i le coût de la solution "i" et E_i son efficacité (service rendu en termes unitaires), alors la différence de l'utilité de la collectivité est:

$$\delta U = -C_i + p E_i$$

où "p" est la valeur monétaire inconnue de l'unité d'efficacité E.

Le problème décisionnel se situe à deux niveaux:

- Si les solutions sont indépendantes, alors on classera celles-ci par ordre croissant du rapport C_i/E_i et on s'arrêtera à l'épuisement des crédits.
- Si les solutions sont mutuellement exclusives, alors on choisira celle qui minimise le rapport C_i/E_i .

Si l'État retient une solution particulière "i", du fait que son rapport C_i/E_i est le plus faible, alors l'État dicte implicitement un prix d'efficacité "p".

En effet, s'il choisit la solution "i", il s'ensuit que:

$$C_i/E_i \leq p$$

car il se base sur le principe que la collectivité doit retirer un bien-être positif de cette solution, c'est-à-dire:

$$\delta U = -C_i + p E_i \geq 0$$

C'est par le biais de ce choix implicite de la valeur de "p" (inconnu jusqu'ici) qu'on fait le lien entre l'approche coûts-bénéfices (où "p" est connu) et l'approche coûts-efficacité (où "p" est inconnu). Si l'État fait un choix implicite de "p" qui concorde exactement avec le "p" calculé à partir des préférences révélées des individus, alors les deux méthodes coïncident. Si, par contre, les valeurs "p" (implicites et calculées) ne coïncident pas, alors on risque de retenir des solutions non optimales (ou de ne pas retenir des solutions optimales). En effet, si à partir de données sur les préférences des individus (logements hédonistes par exemple), on calcule un prix d'efficacité égal à p', alors la solution sera retenue si $-C_i + p' E_i \geq 0$. Si l'État évalue cette solution en retenant la valeur implicite p différente de p', on aura deux cas:

- si $p > p' \rightarrow -C_i + p E_i > -C_i + p' E_i \geq 0$; cette surestimation des bénéfices va conduire l'État à retenir des solutions qui ne sont pas optimales (et peut-être non rentables du point de vue de la collectivité);
- si $p < p' \rightarrow -C_i + p E_i < -C_i + p' E_i \geq 0$; cette sous-estimation va faire que l'État va négliger certaines solutions rentables (du point de vue de la collectivité).

Ainsi, cette approche "coûts-efficacité" n'est pas optimale du point de vue de la notion de rentabilité. Néanmoins, elle permet de classer des solutions par ordre de priorité en fonction d'un critère particulier (unité d'efficacité).

Pour ce qui est du problème du bruit routier, nous pouvons relever deux exemples d'unités de mesure du concept d'efficacité.

Approche CE: le critère de gêne

Supposons qu'on dispose de plusieurs façons de réduire le bruit. Chacune d'elles a des impacts différents sur la population. On peut choisir comme critère d'efficacité la variation dans le nombre de personnes gênées suite aux diverses actions d'atténuation du bruit. Ainsi, pour chaque action, on calculera l'indice suivant:

$$I = \frac{E}{C} = \frac{G_0 - G_1}{C} = \frac{\Delta G}{C}$$

où,

G_0 : nombre de personnes très gênées par le bruit avant le projet en question.

G_1 : nombre de personnes très gênées par le bruit après le projet en question.

Le pourcentage des personnes très gênées est estimé dans la littérature de la façon suivante¹²:

$$\%G = 6.7 \left[2^{\frac{L_i - 55}{10}} - 1 \right]$$

Si on considère que le seuil de gêne est de 55 dBA et que P_i est la population exposée au niveau de bruit L_i , alors l'indice d'efficacité (E) sera égal à:

$$E = \Delta G = \left[\sum P_i \left[6.7 \left[2^{\frac{L_i - 55}{10}} - 1 \right] \right] \right]_0 - \left[\sum P_i \left[6.7 \left[2^{\frac{L_i - 55}{10}} - 1 \right] \right] \right]_1$$

Approche CE: le critère d'exposition

Un indice proche du précédent est celui du critère d'exposition (Maurin, 1976).

En effet, cet indice d'efficacité peut s'écrire sous la forme:

$$E = I_0 - I_1 = \Delta I$$

où I_0 et I_1 sont les valeurs de l'indice avant et après protection contre le bruit, respectivement. Cet indice peut s'écrire sous la forme: $I_i = P_i \phi(L_i)$ où P_i est la population exposée au niveau de bruit L_i , et $\phi(L_i)$ est une fonction de bruyance sonore. Des travaux physiologiques indiquent que la sensation subjective de bruyance double chaque fois que le bruit augmente de 10 dB (Stevens, 1955). Ainsi, un son de 60 dB est perçu comme étant deux fois plus bruyant qu'un son de 50 dB (et 4 fois plus bruyant qu'un son de 40 dB) pour la même fréquence.

Cette relation a donné naissance à la fonction de bruyance suivante:

$$\phi(L_i) = 2^{\frac{L_i - L_s}{10}}$$

où L_s est le niveau seuil du bruit équivalent à une gêne nulle.

¹² Cette formule est l'approximation qu'ont fait A. Alexandre et J. Ph. Barde (1978) de l'équation de Th. Schultz (1978) qui estimait le pourcentage des personnes très gênées. Il est de la forme:

$$\%G = 0.8553 L_{dn} - 0.0401 L_{dn}^2 + 0.00047 L_{dn}^3$$

Le rapport "coûts-efficacité" N prendrait alors la forme suivante:

$$N = \frac{E}{C} = \frac{I_0 - I_1}{C} = \frac{\left[\sum P_i \cdot 2^{\frac{L_i - L_0}{10}} \right]_0 - \left[\sum P_i \cdot 2^{\frac{L_i - L_1}{10}} \right]_1}{C}$$

En conclusion, on peut dire que l'approche des marchés hypothétiques (méthode par questionnaire) semble la méthode la plus "naturelle" à employer afin d'évaluer la valeur de la tranquillité des citoyens touchés par tout projet routier. Cette méthode possède néanmoins l'inconvénient de ne pas avoir beaucoup d'applications dans le domaine qui nous intéresse. Par contre, la méthode hédoniste des prix des propriétés a été utilisée dans la majorité des études traitant de notre sujet. Toutefois, puisque cette dernière approche comporte certaines limites, il serait souhaitable de considérer les deux méthodes (par questionnaire et approche hédoniste) dans l'analyse économique d'un projet routier (selon la nature des données, les résultats de la littérature, etc.).

RÉFÉRENCES

- Allen, G.R. (1980). Relationships between highway noise, noise mitigation, and residential property values. FHWA/VA-81/1: Virginia Highways and Transportation Research Council, Charlottesville, U.S.A.
- Anderson, R.J., Wise, D.E. (1977). The effects of highway noise and accessibility in residential property values. DOT-FH-11-8841: National Technical Information Service, Springfield, U.S.A.
- Bailey, M.J. (1977). Report on pilot study: Highway noise and property values. University of Maryland.
- Boulès, T. (1996). L'évaluation environnementale: une application directe de la méthode des prix hédoniques. Mémoire de maîtrise, Sciences de la gestion, Écoles des Hautes Études Commerciales, Montréal, Canada.
- Gamble, H.B. et al. (1974). The influence of highway environmental effects on residential property values. Institute for Research on Land and Water Resources, University Park, U.S.A.
- Hall, F., Breston, B., Taylor SM. (1978). Effects of highway noise on residential property values. *Transportation Research Record*, 686: 38-43.

- Langly, C.J. (1976). Adverse impacts on the Washington Beltway on residential property values. *Land Economics*, 52: 54-65.
- Maurin (1976). Évaluation de l'environnement, indices et indicateurs d'impact dus au bruit de circulation. IRT-CERNE.
- Nelson, J. (1978). Economic analysis of transportation noise abatement. Ballinger Publishing Company, Cambridge, U.S.A.: 264 pages.
- Nelson, J.P. (1982). Highway noise and property values: A survey of recent evidence. *Journal of Transport Economics and Policy*, (5): 117-138.
- Palmquist, R.B. (1980). Impacts of highway improvements on property values in Washington. WA-RD-37.1: National Technical Information Service, Springfield, U.S.A.
- Palmquist, R.B. (1981). Measuring environmental effects on property values without hedonic regressions. *Journal of Urban Economics*.
- Schulz, W. (1989). Die sozialen kosten des autoverkehrs. Die Kosten des Lärms, UBA Auto 2000, Berlin.
- Stevens, S.S. (1955). The measurement of loudness. *Journal of the Acoustical Society of America*, 27: 377-405.
- Vaughan, R.J., Huckins, L. (1975). The economics of expressway noise pollution abatement. P-5475: The Rand Corporation, Santa Monica, U.S.A.
- Verhoef, E. (1994). External effects and social costs of road transport. *Transportation Research - A*, 28A(4): 273-287.