

Ajout de masquage pour réduire la gêne liée au bruit de réfection d'une autoroute

par Tony LEROUX*, Ph. D., Jean-Pierre GAGNÉ*, Ph. D., Pierre ANDRÉ**, Ph. D. & Line GAMACHE*** ing.

Dans un projet de recherche, l'efficacité et la faisabilité d'une approche de masquage visant à rendre moins dérangeants les bruits de réfection d'une autoroute métropolitaine ont été étudiées.

Cette approche de masquage par l'utilisation de différents fonds sonores a été implantée dans l'environnement physique autour de l'autoroute.

Le ministère des Transports du Québec (MTQ) a réalisé des travaux de réfection majeurs d'une autoroute métropolitaine (autoroute Décarie, A-15, à Montréal) entre avril et novembre 2003. Pendant ces travaux, la circulation routière a été interrompue entre 22 h 00 et 5 h 00. Dans le quartier aux abords de l'infrastructure routière, les niveaux de bruit ambiant lors de la fermeture de l'A-15 sont passés de 75 à 55 dB (A) (L_{Aeq}). Cette diminution importante du bruit ambiant a mis en évidence les bruits générés par les travaux de réfection. Des résidents du quartier se sont plaints de ces bruits, rapportant notamment des difficultés à trouver le sommeil. Le MTQ a voulu explorer la possibilité de réduire la gêne ressentie par les riverains par l'introduction, dans le quartier exposé, d'un fond sonore continu pouvant masquer les bruits intermittents générés par les travaux de réfection.

Les résultats mettent en évidence un bénéfice de cette approche dans la réduction de la gêne ressentie. Des deux fonds sonores étudiés dans la phase de diffusion, le signal « Océan » a été davantage apprécié par les participants à l'étude, autant pour sa qualité subjective agréable que pour son utilité globale à réduire le sentiment de gêne.

1. Bruit de construction/bruit de circulation

La nature des bruits générés par les travaux de construction diffère des bruits routiers tant par leur allure temporelle que par leur contenu spectral. En effet, les bruits de construction sont généralement intermittents par opposition au bruit relativement continu de la circulation routière. Une simple visite du chantier a permis de constater que plusieurs des bruits de construction ont un contenu spectral riche

en hautes fréquences ce qui contraste nettement avec l'environnement sonore de basse fréquence avec lequel sont familiers les riverains de l'A-15. Par ailleurs, les avertisseurs de recul des véhicules du chantier comportent une composante tonale émergeant très nettement du bruit ambiant.

Le passage d'un environnement sonore relativement stable et prévisible à une ambiance marquée par l'intermittence de sources sonores inhabituelles et imprévisibles pourrait expliquer en grande partie les plaintes exprimées par les résidents en bordure de l'autoroute.

1.1 Conséquences du bruit des travaux

Une méta-analyse de la littérature scientifique réalisée par l'Organisation mondiale de la santé [1] rapporte un certain nombre d'études expérimentales ayant porté sur les effets des bruits intermittents en particulier sur le sommeil [7] [8] [9] [17] [19] [23]. Cette analyse révèle que les gens sont généralement plus dérangés par les bruits intermittents que par les bruits continus. Ainsi, un niveau de bruit continu de 30 dB (A) (L_{Aeq-8h}) est suffisant pour induire des modifications de la structure du sommeil, alors que pour un bruit intermittent ces effets apparaissent pour des niveaux inférieurs de 5 à 10 dB. Ces données constituent le fondement des recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (2001) quant au niveau et au nombre d'événements nocturnes permettant d'assurer la qualité du sommeil.

Au premier abord, l'idée d'ajouter de l'énergie sonore pour réduire la gêne peut sembler farfelue. Toutefois, plusieurs études ont déjà démontré que le niveau global de bruit (L_{Aeq}) est très faiblement corrélé avec la gêne ressentie, en particulier lorsque les sources sonores sont intermittentes comme celles retrouvées sur le chantier de construction de l'A-15 [2] [10] [11] [14] [15].

* École d'orthophonie et d'audiologie, Université de Montréal
 ** Département de géographie, Université de Montréal
 *** Ministère des transports du Québec

L'approche envisagée dans ce projet a donc été l'ajout d'un fond sonore masquant permettant de reconstituer une ambiance sonore stable, prévisible et reconnue par les riverains pour son caractère agréable.

Ce projet a été réalisé en **trois phases**. Dans la **phase I**, les environnements physique, acoustique et humain ont été caractérisés. Dans la **phase II**, des séances d'écoute en laboratoire ont été réalisées pour évaluer les composantes psychoacoustiques de fonds sonores masquants. Enfin, dans la **phase III**, ces fonds sonores masquants ont été diffusés dans une zone restreinte de l'environnement exposé aux bruits de réfection de l'A-15 dans le but d'évaluer l'efficacité et la faisabilité de l'approche de masquage.

2. Phase I : caractérisation de l'environnement

Le bruit émis par des travaux de construction ne présente pas nécessairement la même signature spectrale d'un chantier à l'autre. De plus, l'organisation de l'espace hôte influence l'environnement sonore. Compte tenu de l'importance du contexte, il s'avère nécessaire de caractériser l'environnement physique, l'ambiance sonore, la composition démographique et la gêne ressentie par les populations vivant à proximité des chantiers.

2.1 Environnement physique

Le quadrilatère à l'étude est présenté dans la figure 1. L'environnement bâti se compose principalement d'édifices de deux étages (duplex, cottages), de quelques constructions de trois étages et de tours d'habitation (plus de dix étages). Quelques édifices ont une vocation commerciale ou communautaire ; la plupart sont situés aux extrémités des îlots d'habitations.

Les travaux de réfection ont été réalisés principalement aux endroits signalés sur la figure par un véhicule lourd. Les résidences les plus exposées au bruit des travaux sont celles situées près de ces deux pôles. Les cercles jaunes indiquent les endroits où des mesures de bruit ont été prises. Enfin, les mégaphones de couleur lilas précisent les points de diffusion des fonds sonores masquants.

2.2 Environnement acoustique

Pour caractériser le contexte acoustique propre au quadrilatère à l'étude, des échantillons sonores ont été recueillis sur le chantier. Des mesures de bruit ont aussi été faites à 35 endroits différents autour du chantier durant la nuit, alors que les travaux de construction avaient cours et que la circulation routière était interrompue. Ces données seront comparées aux critères du MTQ (ministère des Transports du Québec) limitant les niveaux de bruit de réfection routière. Un sommaire du contexte acoustique sera enfin proposé.

■ Échantillons sonores du bruit de chantier

Les échantillons sonores sont composés des sources suivantes : avertisseur de recul, marteau piqueur, ancreuse, véhicules lourds, sciage de béton,

ventilation en tunnel et hydrodémolition. Ils ont été recueillis à l'aide d'un enregistreur numérique, relié à un microphone de 2,5 cm. Les données ont été conservées sur un support magnéto-optique et transférées à un système de traitement de données 01 dB composé d'un ordinateur muni d'une carte de traitement de signal. Ce système joue le rôle d'un sonomètre intégrateur de classe 1 permettant de calculer le niveau de pression acoustique équivalent pondéré A (L_{Aeq}), le niveau de pression crête L_{Amax} , les spectres en bandes d'octave, de tiers d'octave et en bandes fines. L'enregistreur numérique a été calibré avant et après chaque session de mesure à l'aide d'une source étalon. La caractérisation acoustique de certaines sources sonores a été faite à l'aide du logiciel Cool Edit Pro 2.1.

De façon subjective, les visites sur le chantier ont permis d'identifier les avertisseurs de recul comme émergeant le plus nettement de l'ambiance sonore entourant le chantier de réfection de l'A-15. Selon les divers échantillons d'avertisseur de recul recueillis, la signature spectrale est caractérisée par une composante tonale variant entre 1 214 et 1 592 Hz. La figure 2 montre le spectre d'un avertisseur de recul typique du chantier de réfection de l'A-15.

L'analyse spectrale des autres sources sonores a été effectuée, mais aucune dominance tonale n'a pu être identifiée pour ces sources. Leur analyse révèle un bruit de bande large présentant un contenu plus ou moins riche en hautes fréquences. Leur densité spectrale en hautes fréquences dépend principalement du mode de génération. Lorsque celui-ci implique des impacts, comme par exemple le marteau piqueur ou l'ancreuse, la densité spectrale en hautes fréquences est plus importante.

■ Mesures de bruit dans le quadrilatère pendant les travaux

Les mesures ont été prises conformément à la norme ISO-1996 (1987) *Caractérisation et mesurage du bruit de l'environnement*, en suivant le mode de propagation sonore dans l'environnement en fixant un point de référence virtuel au centre linéaire de la voie rapide. Les données recueillies correspondent au L_{Aeq-T} . Des mesures ont été prises dans la rue à 35 endroits répartis à environ 50 et 100 m de part et d'autre de l'infrastructure routière en réfection pendant la nuit du 19 juin et du 30 juillet 2003 (voir figure 1). La durée de mesure du niveau de bruit a varié selon la nature de l'ambiance sonore. Lorsque celle-ci était stable, la durée a été fixée à 5 min (L_{Aeq-5m}). Autrement, la durée utilisée a été au minimum de 10 min ($L_{Aeq-10m}$). Selon leur localisation, les niveaux mesurés ont varié entre 52,6 et 70,0 dB (A) pour une moyenne de 60,3 dB (A).

■ Critères du MTQ limitant les niveaux de bruit de réfection routière

Les niveaux sonores, présentés dans le tableau 1, représentent les limites à ne pas dépasser. Ils sont mesurés à cinq mètres du bâtiment à protéger (habitation, école, hôpital, etc.) ou à la limite de propriété, si le bâtiment est situé à moins de cinq mètres de l'infrastructure routière. Les informations fournies par le MTQ montrent que le niveau de bruit nocturne se situe autour de 75 dB (A) lorsque l'A-15 est en opération normale.

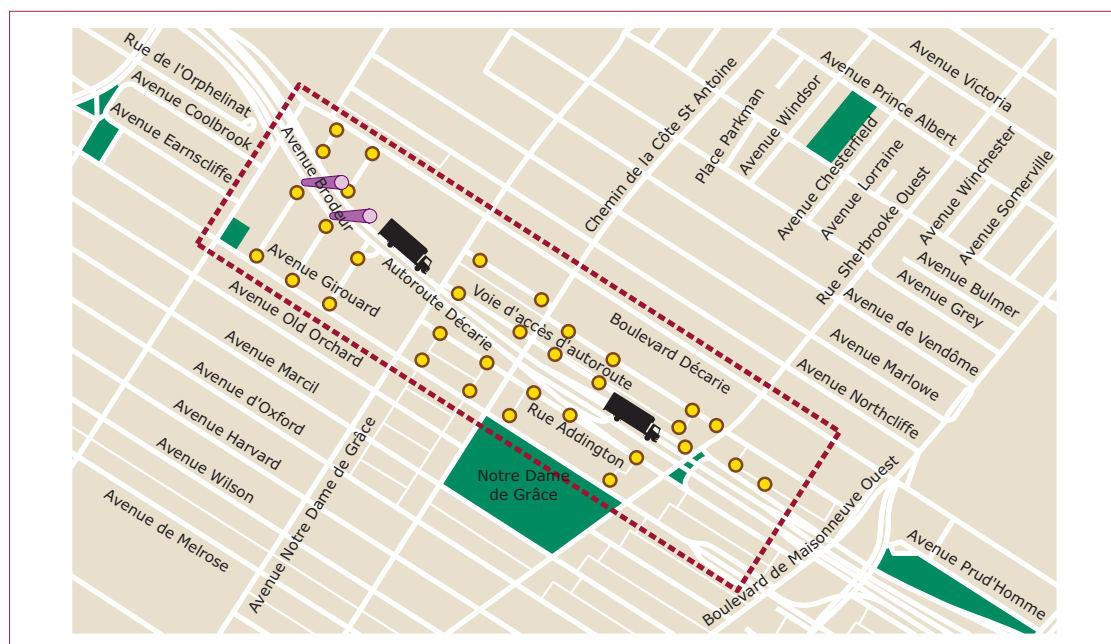


Figure 1 – Plan du quadrilatère à l'étude

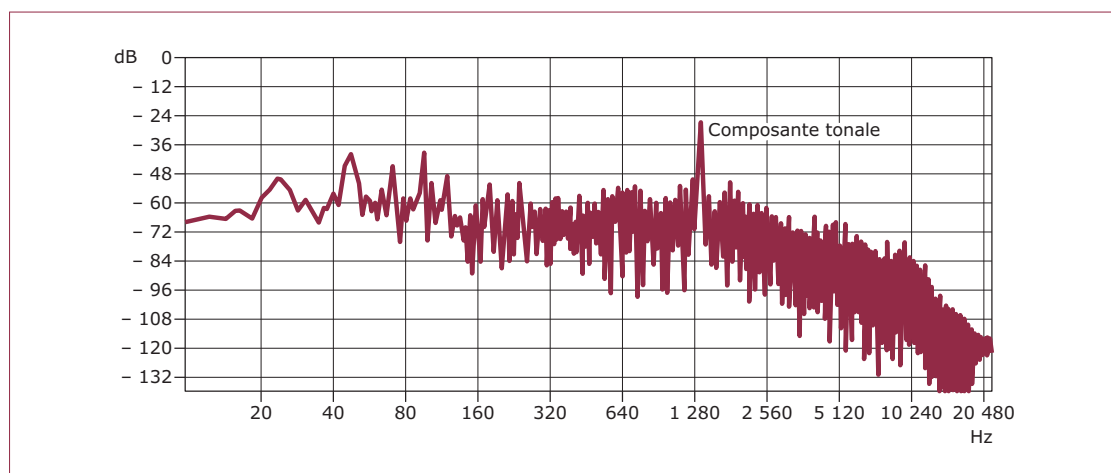


Figure 2 – Analyse spectrale en bandes fines d'un avertisseur de recul représentatif

Pour les périodes d'observation, tous les niveaux de bruit mesurés respectent les normes établies par le MTQ [16]. Le niveau mesuré le plus élevé était de 70 dB (A). Malgré la conformité aux critères du MTQ, certains bruits reliés au chantier de réfection étaient facilement perceptibles (avertisseurs de recul, scie, marteau piqueur) à plusieurs des points d'échantillonnage. Une analyse des enregistrements numériques a permis d'isoler les bruits provenant du chantier de réfection afin de vérifier si leur présence influençait le niveau du bruit ambiant. Cette analyse montre qu'aucune différence importante (généra-

lement moins de 1 dB) n'a été notée dans le niveau du bruit entre les périodes où les bruits du chantier étaient audibles et ceux où ils étaient inaudibles.

Par conséquent, les mesures d'émergence des diverses sources sonores ont été faites à l'aide d'une analyse spectrale permettant d'isoler des composantes tonales. Cependant, seules les composantes tonales de l'avertisseur de recul ont pu être identifiées alors que les autres sources produisaient un bruit de bande large difficile à distinguer du bruit ambiant sur une base spectrale. À l'aide du logiciel Cool Edit Pro 2.1, on a donc mesuré le niveau

Tableau 1 – Normes du MTQ pour les chantiers de réfection routière

Période	Niveau sonore autorisé	Indicateurs
7 h 00 à 19 h 00 (jour)	Le plus élevé de 75 dB (A) ou le niveau de bruit ambiant sans travaux + 5 dB (A)	L_{10} (1) avec une durée d'échantillonnage de 20 min Les niveaux de bruit ambiant sont représentés par un $L_{Aeq,24h}$ mesuré à deux reprises pendant deux jours non consécutifs avant le début des travaux de construction. Le $L_{Aeq,24h}$ est décomposé pour chacune des périodes de jour, de soirée et de nuit.
19 h 01 à 22 h 00 (soirée)	Niveau de bruit ambiant sans travaux + 5 dB (A)	L_{10}
22 h 01 à 06 h 59 (nuit)	Niveau de bruit ambiant sans travaux + 5 dB (A)	L_{10}

(1) Indicateur qui signifie que pendant 10 % du temps d'échantillonnage, les niveaux sonores excèdent le seuil spécifié.

d'émergence de la signature spectrale et des valeurs crêtes de pression sonore des avertisseurs de recul par rapport au bruit ambiant aux différents endroits de mesure où se retrouvait cette source. Selon les échantillons, les valeurs d'émergence spectrale des avertisseurs de recul variaient entre 17 et 34 dB (A). Ces valeurs d'émergence ont été calculées à partir du niveau sonore de la composante tonale (voir figure 2) en la comparant avec les niveaux sonores retrouvés à une distance spectrale d'une octave de part et d'autre de la composante tonale. L'émergence observée pour les avertisseurs de recul se situe bien au-delà de ce qui est généralement nécessaire pour assurer la détection d'un signal, soit un rapport signal sur bruit de 12 dB [12] [18] [26].

■ Sommaire du contexte acoustique du quadrilatère à l'étude

L'opération normale de la voie rapide de l'A-15 durant la nuit génère des niveaux de bruit ambiants se situant à environ 75 dB (A). Les données recueillies montrent, selon les endroits de mesure, une réduction moyenne du niveau du bruit ambiant de l'ordre de 10 dB (A). Toutefois, les données recueillies dans le quadrilatère à l'étude montrent également que des sources de bruit intermittentes, en particulier les avertisseurs de recul, peuvent être perçues à grande distance en raison d'une émergence spectrale se situant nettement au-dessus des valeurs minimales de détection chez l'être humain. Pour les autres sources de bruit comme ceux générés par le marteau piqueur, l'ancreuse et l'hydrodémolition, c'est la forte densité spectrale de haute fréquence qui permet à ces signaux d'être distingués du bruit ambiant habituel, même si ces signaux ne peuvent être distingués sur la base des pressions sonores en dB (A).

En résumé, les travaux de réfection de l'A-15 entraînent dans le quadrilatère visé par l'étude une modification importante de l'environnement sonore auquel sont généralement exposés les résidents. Nos résultats montrent que la réalisation de travaux de réfection la nuit, alors que l'A-15 est fermée, transforme un environnement sonore relativement stable et prévisible en une ambiance marquée par l'émergence intermittente de sources sonores inhabituelles

et imprévisibles. De plus, la composition spectrale de ces sources est riche en sons de hautes fréquences, ce qui entraîne habituellement une gêne plus grande. Bien que le niveau sonore, mesuré aux résidences, se situe à l'intérieur des limites acceptables du MTQ, le caractère intermittent et l'allure du spectre sont de nature à entraîner un sentiment de gêne accru, touchant particulièrement la qualité du sommeil [1] [8] [9].

2.3 Environnement humain

■ Données démographiques

Selon Statistiques Canada (2001), la population du quadrilatère est constituée, de façon globale, d'un pourcentage plus élevé de femmes (52 %), de personnes âgées entre 15 et 34 ans (37 % de l'échantillon), de personnes se décrivant comme unilingue (65 %), dont la majorité de langue anglaise (35 %), 35 % de personnes se décrivant comme bilingue, dont la majorité parle le français et l'anglais (19 %). Près de la moitié des résidents, surtout locataires (> 75 %), vivent seuls et près d'un tiers partagent leur logement avec une deuxième personne. Une majorité de résidents détient un baccalauréat ou un diplôme d'études supérieures (52 %) et la presque totalité disposent d'un revenu (97 %) dont le niveau moyen brut s'élève à 29 365 \$CA.

■ Enquête sur les habitudes de vie et la perception de la gêne ressentie

Quatre-vingt-dix-neuf résidents vivant à proximité des endroits de mesure ont été interviewés directement à leur domicile. Les résidents étaient informés du projet à l'aide d'un dépliant et devaient consentir à participer en signant un formulaire. Les données recueillies ont été codées, numérisées et analysées avec le logiciel statistique SPSS. Le questionnaire et l'ensemble du projet ont été approuvés par le Comité d'éthique sur la recherche sur les êtres humains de la Faculté de médecine de l'Université de Montréal (CERFM-48-(03)-4#98). Le questionnaire est divisé en cinq grandes sections : la première vise à obtenir de l'information sur le type d'habitation et à décrire l'occupation des lieux, la deuxième est

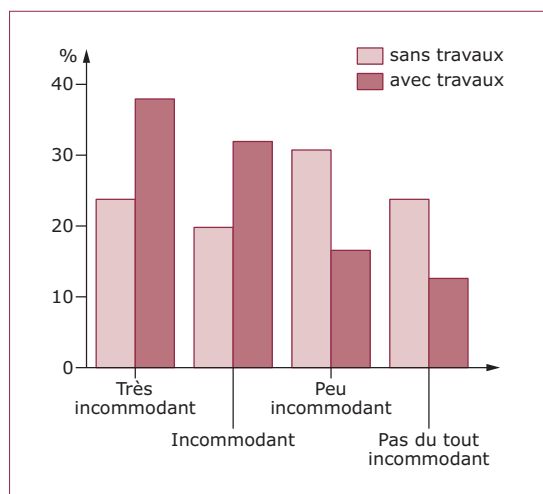


Figure 3 – Perception des résidents quant à la gêne ressentie (phase I, n = 99)

consacrée à la description et à l'appréciation de l'environnement sonore durant les travaux de réfection à l'extérieur et à l'intérieur de l'habitation, la troisième vise à identifier les activités et les comportements qui sont modifiés par la présence du bruit, la quatrième permet de recueillir des données sociodémographiques et finalement, la cinquième partie interroge les participants sur leur appréciation générale du quartier et leur intention de continuer ou non à y demeurer.

■ Résultats de l'enquête sur la gêne associée au bruit de construction

Les résidents interrogés sont en majorité incommodés ou très incommodés par le bruit des

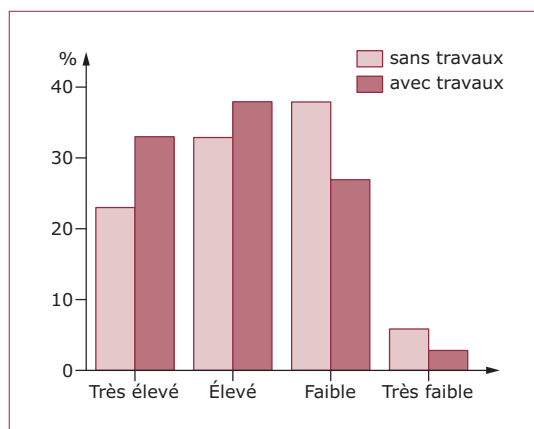


Figure 4 – Perception des résidents quant à l'intensité du bruit (phase I, n = 99)

travaux comparativement au bruit habituel de circulation sur l'A-15 (sans travaux) (figure 3). Ils perçoivent aussi l'intensité du bruit comme plus élevée pendant les travaux (figure 4).

Lors de leur évaluation de l'effet général des travaux de réfection de l'A-15, 70 % des résidents jugent l'ambiance sonore et la qualité de leur environnement détériorées. Les sources sonores identifiées comme plus dérangeantes sont les sons générés par les marteaux piqueurs, les avertisseurs de recul des véhicules et le sciage de béton.

Le bruit des travaux a des conséquences sur le quotidien des répondants (figure 5). La difficulté à s'endormir et les réveils nocturnes sont parmi les conséquences que plus de 45 % des résidents disent éprouver souvent. Certaines personnes rapportent des difficultés à se concentrer et à communiquer.

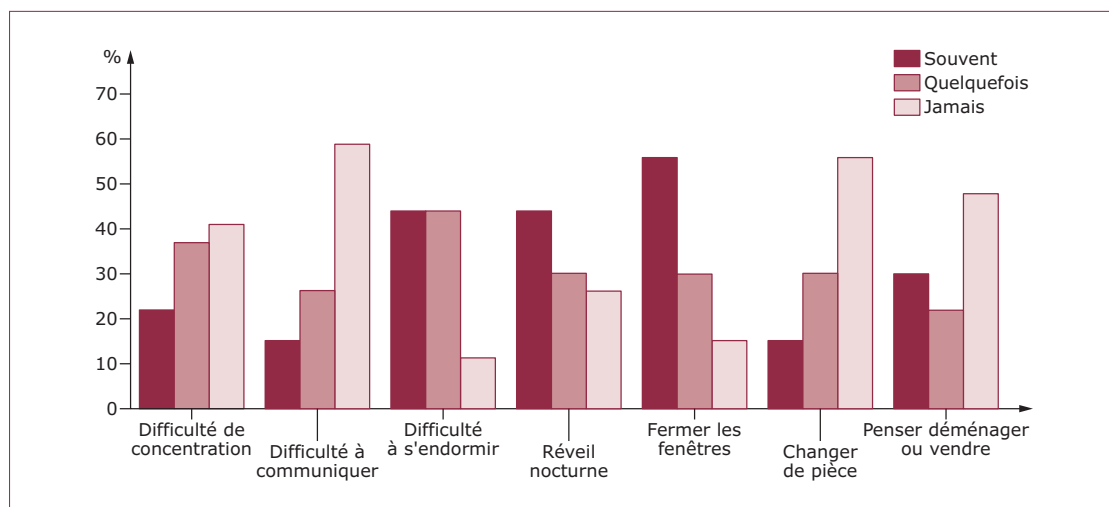


Figure 5 – Conséquences de l'exposition au bruit rapportées par des riverains de l'A-15 (phase I, n = 99)

En conséquence du bruit des travaux (voir figure 5) qui affecte surtout leur sommeil, près de 70 % des répondants rapportent fermer leurs fenêtres. Une proportion de 30 % des répondants affirment avoir entrepris une démarche quelconque dans le but de réduire leur exposition au bruit. Le moyen le plus fréquemment utilisé est l'emploi d'un climatiseur permettant de fermer les fenêtres, donc de réduire l'intrusion du bruit extérieur (et ce en dépit des niveaux de bruit élevés habituellement engendrés par ces appareils). Une proportion importante des répondants utilise les protecteurs auditifs seuls ou en combinaison avec d'autres moyens. Plusieurs participants (environ 25 %) optent pour une hausse du niveau de certaines sources sonores à l'intérieur de leur domicile de façon à masquer les sources extérieures. Enfin, près de 20 % d'entre eux songent souvent à vendre ou déménager.

Bien qu'une proportion importante de répondants juge que l'ambiance sonore et la qualité générale de l'environnement se soient détériorées durant les travaux, environ un tiers seulement des répondants a porté plainte.

Les résultats de l'enquête de perception corroborent les résultats de l'analyse environnementale et permettent de faire le lien entre le caractère intermittent et l'allure spectrale particulière des sources sonores générées par les travaux de réfection et les sentiments de gêne exprimés par les résidents du quadrilatère à l'étude.

3. Phase II : séances d'écoute en laboratoire

La simulation en laboratoire avait pour principal objectif d'évaluer, auprès de trois groupes de sujets, la perception subjective de sources sonores préalablement enregistrées sur le chantier lors de la phase I et présentées dans divers fonds sonores pressentis efficaces pour réduire la gêne ressentie lors des travaux. Cette étape a permis d'identifier les paramètres acoustiques des fonds sonores, permettant d'optimiser leur potentiel masquant ainsi que les fonds les plus prometteurs pour la réalisation de la phase III. L'approche méthodologique et les résultats en lien avec les simulations en laboratoire sont abordés ci-après.

3.1 Confection des fonds sonores masquants

Sur la base des quelques informations tirées d'une recension des écrits scientifiques [5] [25] [27], une recherche de divers sons masquants a été effectuée principalement à l'aide des disques compacts des collections *Nature Whispers* et *Premium Music Collection* contenant de la musique de relaxation. Les autres sons sélectionnés proviennent d'un site internet fournissant des sons de diverses origines (<http://www.audiolicense.net>). La durée, le spectre et l'intensité de certains sons ont été modifiés à l'aide du logiciel Cool Edit Pro 2.1.

3.2 Participants

Trois groupes de participants ont été sélectionnés afin d'établir l'appréciation et l'efficacité des fonds

sonores retenus. Le **groupe 1** était composé de 20 jeunes adultes recrutés parmi la clientèle universitaire, le **groupe 2** de 17 résidents du quadrilatère à l'étude (plaignants et non-plaignants) et le **groupe 3** de 20 personnes ne résidant pas dans le quadrilatère à l'étude et n'étant pas exposées quotidiennement de manière importante au bruit routier ou à des travaux de réfection. La composition de ce groupe s'apparentait aux caractéristiques démographiques observées dans le quadrilatère à l'étude. Les personnes du groupe 3 ont été recrutées à partir d'une annonce publiée dans un hebdomadaire local. Tous les sujets ont pris connaissance et signé un formulaire de consentement. Ils ont tous reçu une compensation financière pour leur participation à ce projet de recherche.

3.3 Déroulement des séances d'écoute

Les sujets ont été placés dans un environnement physique conforme à la section 2.3 « Agencement de l'espace » de la méthode développée par l'Union européenne de radiodiffusion (UER) « Évaluation subjective de la qualité du son – Systèmes et méthodes de l'UER ». Dans cet environnement, les sujets ont été placés à égale distance de deux haut-parleurs. Ils devaient évaluer un ensemble de dimensions affectives reliées au caractère dérangeant des sources sonores enregistrées sur le chantier de réfection de l'A-15 et de douze fonds sonores différents. Le logiciel CRC-SEAQ (System for the Evaluation of Audio Quality : Système d'évaluation de la qualité audio) développé par le Centre de recherche sur les communications du Canada a été utilisé pour gérer la présentation des signaux sonores et recueillir l'évaluation des sujets. Dans tous les cas, les sujets ont eu la possibilité de réécouter les sons et de changer les cotes attribuées autant de fois que souhaité.

Les sujets ont d'abord été exposés à une liste écrite d'adjectifs positifs servant à former un contexte d'évaluation : reposant (*resting*), délassant (*resting*), relaxant (*relaxing*), détendant (*loosening*), apaisant (*soothing*), calmant (*calming*) et tranquillisant (*reassuring*). Le choix de ces adjectifs a été fait à partir des observations de Dubois [6] portant sur la catégorisation des phénomènes acoustiques et leurs représentations cognitives. À partir du logiciel SEAQ, douze sons masquants ont été présentés seuls (sans les sources sonores enregistrées sur le chantier) pour que les sujets puissent coter leur appréciation de chacun de ces sons. Le caractère agréable des sources sonores a été évalué sur une échelle continue (0 à 100) présentant 5 points d'ancrage : très désagréable, désagréable, peu agréable, agréable et très agréable.

Dans une seconde ronde d'évaluation, les sujets ont été exposés à une liste écrite d'adjectifs négatifs servant à former le contexte d'évaluation : irritant (*angry*), énervant (*annoying*), obsédant (*obsessed*), assommant (*boring*), distrayant (*distracting*), perturbant (*upset*), gênant (*embarrassing*), provoquant (*arousing*), incommodant (*bothering*), pénible (*tiresome*) et déplaisant (*unpleasant*).

Une fois ce contexte établi, les sujets ont comparé, auditivement, une source sonore non masquée (référence établie comme très dérangeante dans le contexte d'évaluation) avec la même source sonore

Tableau 2 – Appréciation moyenne des fonds sonores présentés seuls et en présence du bruit du chantier (n = 57)

Appréciation des fonds sonores présentés seuls (%)		Appréciation avec bruit du chantier rapport signal/bruit = 5 (%)	
Eau et criquets	71,6	77,2	Chute constante
Océan	65,2	76,6	Cascades
Pluie	60,1	75,5	Océan
Chute constante	57,7	75,2	Pluie avec réverbération
Vagues	50,3	75,1	Grenouilles
Grenouilles	44,5	74,7	Circulation intense sous la pluie
Feuilles dans le vent	44,1	73,5	Feuilles dans le vent
Pluie avec réverbération	36,5	73,2	Vagues
Cascades	35,5	71,7	Circulation sous la bruine
Circulation intense sous la pluie	33,9	69,0	Pluie
Circulation sous la bruine	31,6	65,3	Eau et criquets
Chute de pluie sur pavé	30,0	60,2	Chute de pluie sur pavé

présentée dans chacun des douze fonds sonores masquants. La source sonore qui représente la référence est constituée par divers bruits enregistrés sur le chantier de construction. Le caractère dérangeant des sources sonores présentées avec un fond masquant a été évalué contre la référence sur une échelle continue (0 à 100) présentant 5 points d'ancrage de la gêne ressentie : très dérangeant, dérangeant, peu dérangeant, faiblement dérangeant, perceptible mais non dérangeant. Par ailleurs, l'influence du niveau sonore du fond masquant a été étudiée sous deux rapports d'intensité entre la référence et les fonds masquants (0 dB et - 5 dB). Dans le dernier cas, l'intensité des fonds masquants était 5 dB plus élevée que celle de la référence.

3.4 Résultats des séances d'écoute

L'analyse des résultats montre le comportement relativement similaire des trois groupes quant à l'appréciation des fonds sonores masquants. Il semble que les différents facteurs confondants, comme le fait de résider ou non près de l'A-15, d'être un plaignant, ou d'être plus âgé, n'aient pas d'influence statistiquement significative sur l'appréciation.

Sur la base du critère d'appréciation, le tableau 2 (colonnes de gauche) montre que cinq fonds sonores ont dépassé le niveau de 50 unités sur l'échelle d'appréciation. Les fonds sonores les plus appréciés sont, en ordre décroissant : « Eau et criquets », « Océan », « Pluie », « Chute constante » et « Vagues ». Les trois fonds sonores les moins appréciés : « Circulation intense sous la pluie », « Circulation sous la bruine » et « Chute de pluie sur pavé » comportent tous un bruit de circulation routière présenté dans diverses conditions environnementales faisant varier le spectre sonore et l'intensité.

Pour ce qui est de l'appréciation du caractère dérangeant des bruits de construction présentés avec un fond sonore masquant, les participants du groupe

de résidents de l'A-15 (groupe 2) jugent en moyenne que tous les fonds sonores ont un caractère dérangeant et ce, davantage que les deux autres groupes de participants (jeunes adultes et non-résidents). Toutefois, les tendances observées pour ce groupe de résidents sont relativement similaires aux deux autres groupes quand on leur demande de déterminer les fonds sonores les moins dérangeants. Le rapport signal/bruit influence l'appréciation du caractère gênant des bruits de construction présentés avec un fond sonore masquant pour les trois groupes. Un rapport signal/bruit de 0 correspond à des niveaux de gêne relativement élevés (entre dérangeant et peu dérangeant) alors qu'un rapport signal/bruit de 5 correspond à une gêne moins importante (faiblement dérangeant) et ce pour les trois groupes. Cette diminution est de l'ordre de 40 unités sur l'échelle d'appréciation. Comme le montre le tableau 2 (colonne de droite), l'ensemble des fonds sonores reçoit une appréciation comparable pour ce qui est de leur efficacité à masquer les bruits de construction, sauf pour « Eau et criquets » et « Chute de pluie sur pavé » qui sont jugés moins efficaces par les participants.

Ces résultats supportent la sélection de deux fonds sonores distincts pour la poursuite de notre étude. Ce choix est basé sur deux critères : 1) le caractère subjectivement agréable selon les participants et 2) l'efficacité perçue dans la réduction de la gêne ressentie par effet de masquage des fonds sonores sur les bruits enregistrés sur le chantier de construction.

Une analyse statistique de rang de Friedman [4] [20], intégrant à la fois les jugements d'appréciation et d'efficacité de masquage, a été réalisée. Le fond sonore « Océan » est celui qui obtient le rang moyen le plus élevé (8,27) suivi par « Chute constante » (7,53) ($\chi^2 = 129,8$; $p < 0,01$). Les fonds sonores qui arrivent en queue de peloton sont ceux qui comprennent un bruit de circulation routière (rangs moyens < 6).

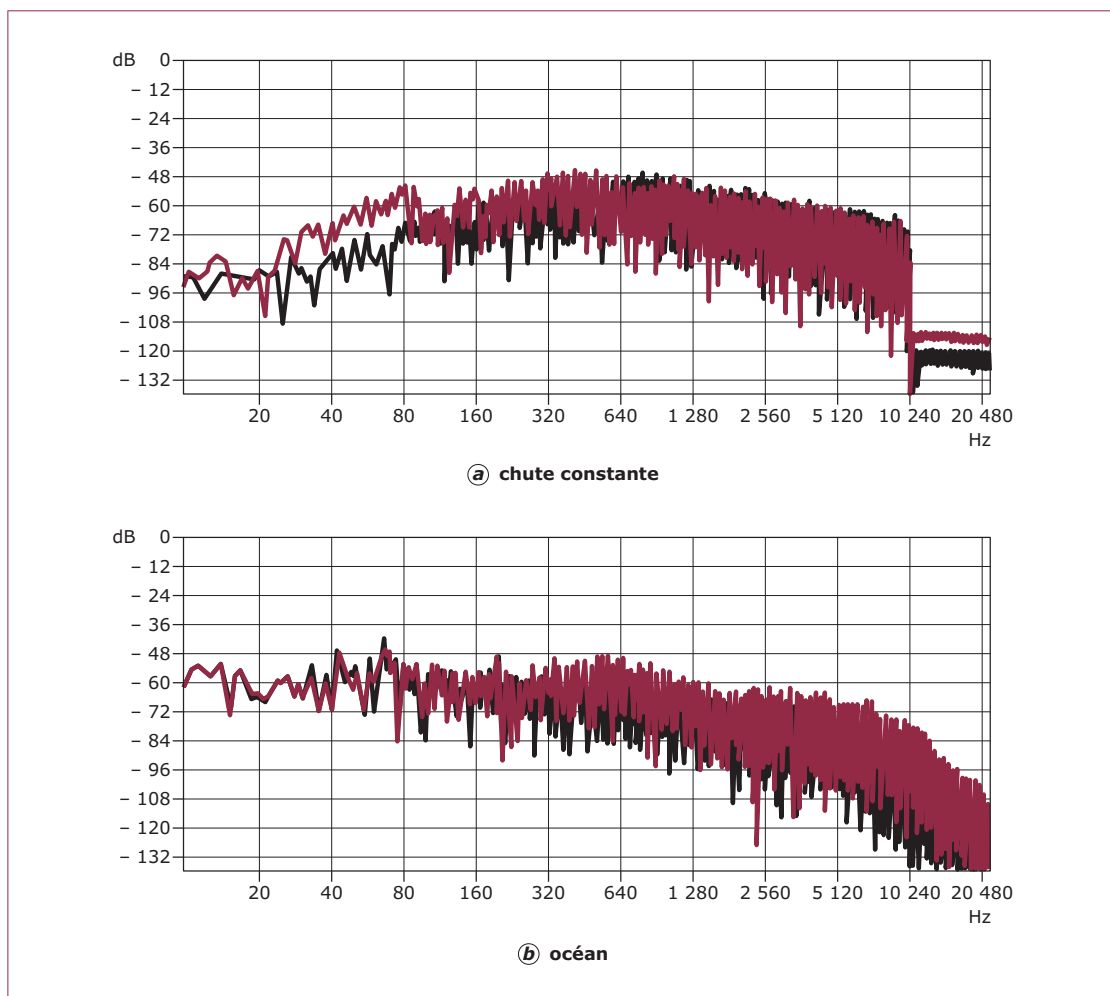
4. Phase III : diffusion dans l'environnement

Cette étape consiste en la mise en place d'un système de diffusion sonore permettant de reproduire, sur le terrain, les conditions propices identifiées lors des séances d'écoute. Parallèlement, des données ont été recueillies sur la perception de la gêne ressentie par les résidents en présence d'un fond sonore. Rappelons que ce sont les fonds sonores « Chute constante » et « Océan » qui ont été utilisés. Les spectres sonores de ces signaux sont présentés sur la figure 6.

4.1 Mise en place du système de diffusion

En collaboration avec la firme Solotech de Montréal, un système de diffusion sonore a été

installé à deux endroits différents dans le quadrilatère pour une période totale de 15 nuits, réparties entre le 30 septembre et le 17 octobre 2003 (voir figure 1). Le système de diffusion est constitué d'une unité de quatre enceintes acoustiques de 1 m de hauteur installées dans la baie arrière d'un camion. Les enceintes sont orientées sur un arc de cercle de façon à obtenir une diffusion la plus uniforme possible sur un angle de dispersion d'environ 90° à une distance minimale de 30 m. À l'un des points de diffusion, une seconde unité de sonorisation a été installée après la première semaine de sonorisation de façon à améliorer l'uniformité des niveaux de diffusion dans l'environnement (à partir du 5 octobre 2003). Cette deuxième unité est constituée de deux enceintes acoustiques identiques à celles de la première unité à laquelle elle est reliée avec un système de délai permettant de contrer l'effet de la distance (impression d'écho) entre les deux unités de diffusion.



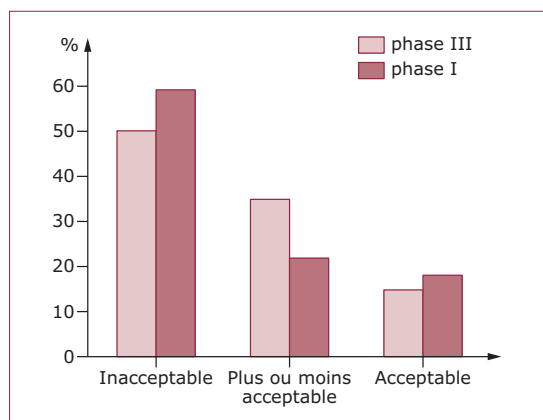


Figure 7 – Perception du niveau de bruit des travaux la nuit (phase III vs phase I)

4.2 Fonds sonores et conditions de diffusion

Les niveaux de diffusion des fonds sonores « Océan » et « Chute constante » ont été ajustés quotidiennement au niveau du bruit ambiant généré par les travaux de réfection effectués à l'aide de mesures sonométriques. Des mesures préliminaires ont montré qu'un rapport signal/bruit de 5 dB était pratiquement inaudible dans l'environnement contrairement à la situation testée en laboratoire. Ce rapport a donc été haussé à 10 dB. Les périodes de diffusion se sont étendues de 22 h 00 à 5 h 00 ou plus tôt, au moment où la circulation routière était rétablie sur la voie rapide. Au début de chaque nuit de diffusion, des mesures sonométriques étaient prises à l'aide d'un sonomètre intégrateur.

L'ordre de diffusion des fonds sonores a été déterminé par tirage au sort et réparti sur dix nuits entre le 28 septembre et le 17 octobre 2003. Par ailleurs, cinq nuits sans diffusion dans l'environnement ont été réparties aléatoirement durant cette même période.

4.3 Enquête sur la gêne pendant la diffusion

À partir de visites faites directement dans le secteur visé, 29 participants ont été recrutés pour participer à l'étude de la gêne ressentie lors de la diffusion des fonds masquants. Lors de ces visites, les résidents étaient informés de l'étude à l'aide d'un dépliant qui leur était remis. Les résidents qui souhaitent participer devaient lire et signer un formulaire de consentement. En général, la composition de cet échantillon de participants était comparable aux données sociodémographiques fournies par Statistiques Canada pour cette zone.

Les participants ont été aléatoirement divisés en trois groupes qui ont tous été soumis à la diffusion extérieure. Les deux premiers groupes étaient aussi soumis à une diffusion intérieure dont les résultats ne sont pas présentés ici.

Un questionnaire autoadministré a été remis aux participants pour recueillir quotidiennement leur perception de l'ambiance sonore reliée aux travaux et

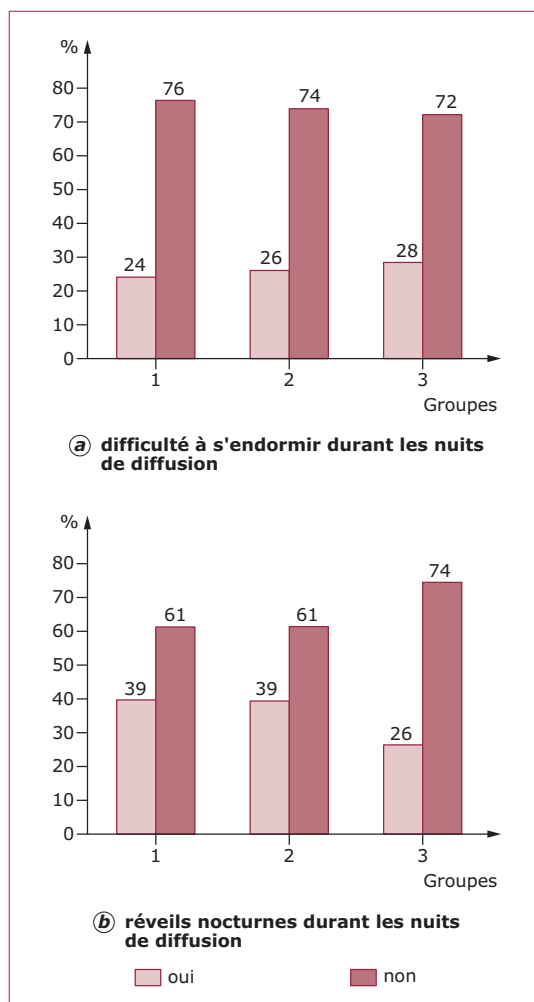


Figure 8 – Difficulté à s'endormir et réveils nocturnes durant les nuits de diffusion

ses conséquences sur leur qualité de vie ainsi que leur perception de l'acceptabilité des fonds sonores diffusés, de leur efficacité et de leur utilité.

■ Perception de l'ambiance sonore liée aux travaux et conséquences sur leur qualité de vie

Les répondants de la phase III se sont répartis d'une manière similaire aux participants de la phase I pour ce qui est de la perception du bruit pendant la nuit : la proportion jugeant que le niveau est inacceptable a diminué d'environ 10 % alors que la proportion jugeant le niveau plus ou moins acceptable a grimpé d'autant (figure 7). Cette variation n'est pas significative ($\chi^2 = 4,15, p > 0,05$) et permet de constater que le bruit généré par les travaux constitue toujours une source de gêne importante pour les résidents.

En ce qui a trait aux effets du niveau de bruit et de la gêne ressentie durant les nuits de diffusion, la figure 8 montre que la proportion des participants

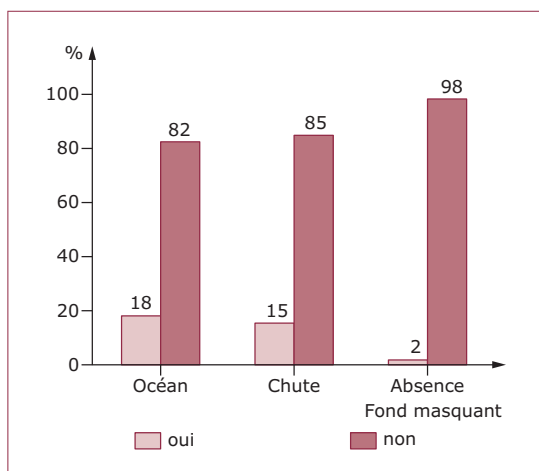


Figure 9 – Détection de la présence des fonds sonores (n = 29)

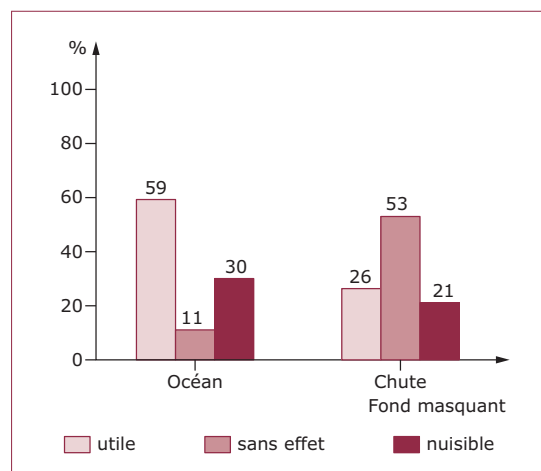


Figure 11 – Utilité perçue des fonds masquants (n = 29)

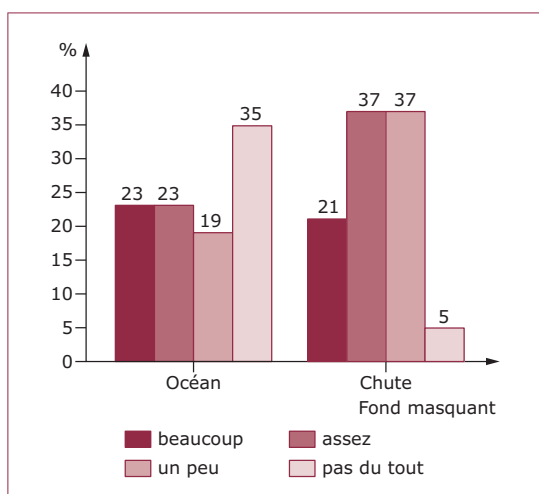


Figure 10 – Jugement de l'efficacité des fonds sonores (n = 29)

qui rapportent des difficultés à s'endormir varie entre 24 et 28 % d'un groupe à l'autre. Pour ce qui est de la proportion des participants qui rapportent des réveils nocturnes, les taux varient de 26 à 39 %. Si l'on compare ces taux à ceux qui ont été rapportés avant la période de diffusion, on note une diminution appréciable puisque ces taux se situaient légèrement au-dessus de 45 % avant la diffusion (montrés à la figure 5). Il semble donc qu'une réduction de la gêne puisse être associée à la diffusion lorsque la gêne est définie à partir d'indicateurs de qualité du sommeil.

■ Perception sur l'acceptabilité, l'efficacité et l'utilité des fonds sonores diffusés

Les répondants n'étaient pas informés des jours spécifiques de diffusion des fonds sonores masquants (figure 9). Entre 15 et 18 % des répondants ont perçu

leur présence lorsqu'ils étaient effectivement diffusés dans l'environnement, alors que 98 % ont noté leur absence effective les jours de non diffusion.

Les deux fonds sonores ne sont pas perçus de façon identique par les participants. Le fond sonore « Chute constante » est jugé plus masquant (beaucoup et assez) que le fond « Océan » dans une proportion respective de 58 et 46 % (figure 10). Cette observation contraste avec l'évaluation de l'utilité de l'effet masquant (qui inclut le caractère agréable et masquant du son) avec 59 % pour le fond « Océan » contre 26 % pour le fond « Chute constante » (figure 11). Enfin, plus de 20 % des participants ont jugé nuisible l'un ou l'autre des fonds sonores diffusés.

En **résumé**, les résultats obtenus auprès du groupe de 29 participants exposés à la diffusion des fonds sonores masquants montrent que :

- la présence des fonds sonores n'est pas facilement détectée et, en corollaire, ne génère pas de sentiment de gêne au-delà de ce qui était déjà associé au bruit des travaux de construction ;
- le fond sonore « Océan » est perçu par une majorité des répondants comme ayant peu ou pas d'effet masquant du bruit extérieur, mais comme étant utile pour réduire la gêne ;
- le fond sonore « Chute constante » est perçu par une majorité des répondants comme ayant assez ou beaucoup d'effet masquant du bruit extérieur, mais comme étant inefficace pour réduire la gêne durant les travaux.

5. Conclusion

Dans ce projet de recherche, l'efficacité et la faisabilité d'une approche de masquage visant à rendre moins dérangeants les bruits de réfection de l'A-15 ont été étudiées. Cette approche de masquage par l'utilisation de différents fonds sonores a été implantée dans l'environnement physique autour de l'A-15.

Bien que les conditions de réalisation de la diffusion dans l'environnement aient pu être limitées par des conditions climatiques relativement fraîches, les résultats mettent en évidence l'intérêt de cette approche dans la réduction de la gêne ressentie par les résidents, lorsque celle-ci est définie par des indicateurs de qualité du sommeil. Même si la diffusion des fonds sonores a augmenté, en moyenne de 10 dB (A), le niveau ambiant du bruit, les données recueillies auprès des résidents montrent que cette approche a permis de réduire la gêne générée par les sons intermittents riches en hautes fréquences provenant des travaux de réfection de l'A-15.

Lorsque l'on considère les résultats obtenus en laboratoire et lors de la diffusion sur le terrain, le fond sonore « Océan » a été jugé plus favorablement que le fond « Chute constante » sur les dimensions combinées d'acceptabilité, d'efficacité de masquage et de sentiment d'utilité pour réduire la gêne ressentie. Les résultats de l'étude ne permettent toutefois pas de préciser toutes les caractéristiques acoustiques qui permettent de réduire la gêne ressentie durant l'exposition à un bruit environnemental jugé dérangeant. D'autres études seront nécessaires pour préciser les dimensions acoustiques (niveau global, spectre, signature temporelle) et non acoustiques (contexte, culture, émotions) qui permettent de mieux définir le caractère agréable des fonds sonores.

Les résultats de cette étude montrent qu'il est possible, en introduisant un fond sonore continu, de réduire la gêne ressentie lors de l'exposition à des bruits intermittents caractérisés par des composantes spectrales riches en hautes fréquences.

Bibliographie

- [1] BERGLUND (B.), LINDVALL (T.) et SCHWELA (D.H.) (eds). – *Guidelines for community noise*. Organisation mondiale de la santé. Genève, 159 p. (2001).
- [2] BRADLEY (J.S.). – *Annoyance caused by constant-amplitude and amplitude-modulated sounds containing rumble*. Noise Control Eng. J. 42, p. 203-208 (1994).
- [3] Centre de recherche sur les communications du Canada. CRC-SEAQ. Informations disponibles à partir de ce site : <http://www.crc.ca/fr/html/aas/home/products/products>.
- [4] CLEMEN (R.T.). – *Making hard decisions. An introduction to decision analysis*. Boston, PWS-Kent Publishing Company, 557 p. (1991).
- [5] DERBAL (R.). – *Phénomène d'effet de masque sonore en sites urbains. Cas des fontaines dans les places publiques*. DEA en Ambiances Architecturales et Urbaines. Grenoble, 145 p. + 76 p. ann. (1993).
- [6] DUBOIS (D.) (éd.). – *Catégorisation et cognition : de la perception au discours*. Paris. Kimé (1997).
- [7] FINEGOLD (L.S.), HARRIS (C.S.) et von GIERKE (H.E.). – *Community annoyance and sleep disturbance : updated criteria for assessing the impacts of general transportation noise on people*. Noise Control Engineering. vol. 42 (1), p. 25-30 (1994).
- [8] GRIEFAHN (B.) et MUZET (A.). – *Noise induced sleep disturbances and their effects on health*. Journal of Sound and Vibration, vol. 59 (1), p. 99-106 (1978).
- [9] GRIEFAHN (B.). – *Noise control during the night*. Acoustics Australia, vol. 20 (2), p. 43-47 (1992).
- [10] GRIFFITHS (I.D.). – *Review of community response to noise*. In Noise as a public health problem, G. Rossi, (ed.) vol. 2, p. 1031-1047, Milan : Centro Ricerche e Studi Amplifon (1983).
- [11] HALL (F.L.), BIRNIE (S.E.), TAYLOR (S.E.) et PALMER (J.E.). – *Direct comparison of community response to road traffic noise*. Journal of Acoustical Society of America, vol. 70, p. 1690-1698 (1981).
- [12] HÉTU (R.), LAROCHE (C.), TRAN QUOC (H.) et LAROCQUE (R.). – *Facilitation à l'accès à un logiciel portant sur la détection des avertisseurs sonores en milieu de travail bruyant*. Rapport final de subvention IRSST, PE-90-11, Montréal (1991).
- [13] International Standard Organization ISO 1996-3. – *Acoustique – Caractérisation et mesure du bruit de l'environnement – Partie 3 : Application aux limites de bruit*. 3 p. (1987).
- [14] MIEDEMA (H.M.E.). – *Response functions for environmental noise*. In Noise as a Public Health Problem, M. Vallet (ed.) vol. 3, p. 428-433, Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (INRETS), Arcueil, France (1993).
- [15] MIEDEMA (H.M.E.) et VOS (H.). – *Exposure response functions for transportation noise*. Journal of Acoustical Society of America. 104, p. 3432-3445 (1998).
- [16] Ministère du transport du Québec. – *Politique sur le bruit routier*. Service de l'environnement, Gouvernement du Québec, 17 p. (1998).
- [17] PASSCHIER-VERMEER (W.). – *Noise and health, The Hague : Health Council of the Netherlands*. Publication n° 93/02E, review prepared by TNO Institute of Preventive Health Care, Leiden, p. 79-83 (1993).
- [18] PATTERSON (R.D.). – *Guidelines for auditory warning systems on civil aircraft*. CAA Paper 82017, Civil Aviation Authority, London (1982).
- [19] PEARSON (K.S.), BARBER (D.S.), TABACHNICK (B.G.) et FIDDELL (S.). – *Predicting noise-induced sleep disturbance*. Journal of Acoustical Society of America, vol. 97 (1), p. 331-338 (1995).
- [20] RASHID (M.M.) et BAGCHI (A.). – *Robust analysis of one-way repeated measures designs with multiple replications per cell*. Statistica Sinica, 7, p. 647-667 (1996).
- [21] Statistiques Canada (Recensement 2001). – Données accessibles à partir de ce site : <http://www12.statcan.ca/francais/census01/Products/Standard/Index.cfm>
- [22] Systèmes et méthodes de l'UER. – *Évaluation subjective de la qualité du son* - Hoeg W., Christensen L. & Walker R. (1997). Revue Technique de l'Union européenne de radiodiffusion, p. 40-50, Hiver (1997).
- [23] VALLET (M.) et VERNET (I.). – *Night aircraft noise index and sleep research results*. In A. Lawrence (ed.), Inter-Noise 91. The Cost of Noise, vol. 1, p. 207-210. Noise Control Foundation, Poughkeepsie, NY, USA (1991).
- [24] VERSFELD (N.J.), VOS (J.) et GEURTSSEN (F.W.M.). – *Annoyance of individual vehicle pass-by noise for light and heavy vehicles*. Acoustical Society of America, 128th Meeting, 5aNS9 (1994).
- [25] VINET (J.). – *Les effets de l'eau et de la végétation dans la régulation des ambiances urbaines*. Centre de recherche méthodologique d'architecture. Nantes, 164 p. (1999).
- [26] WILKINS (P.) et MARTIN (A.M.). – *The effect of hearing protection on the perception of warning sounds* (Les effets de la protection contre le bruit sur la perception des signaux avertisseurs). Proceedings of the International Symposium on Personal Hearing Protection in Industry. New York. Raven Press (1981).
- [27] WOLOSZYN (P.), PICAUT (J.), LEGOUIS (T.), RAIMBAULT (M.), PENEAU (J.P.), BERENGIER (M.), SIMON (L.), Le POLLES (T.), AYRAULT (C.) et ARMENIO (S.). – *Plate-forme expérimentale pour un simulateur des ambiances sonores urbaines*. Acoustique et Techniques, 26, p. 16-22 (2001).