

Caractérisation physique et perceptive de bruits routiers urbains pour une meilleure évaluation de la gêne sonore

Physical and perceptual characterization of road traffic noises in urban areas for a better noise annoyance assessment

Julien Morel,

désormais à :

MEDDTL

Mission Bruit et Agents Physiques

Grande Arche

92055 La Défense CEDEX

E-mail : julien.morel@developpement-durable.gouv.fr

Catherine Marquis-Favre

Université de Lyon

Labex Celya

ENTPE/DGCB

rue Maurice Audin

69518 Vaulx-en-Velin CEDEX

E-mail : catherine.marquis@entpe.fr

Marjorie Pierrette

désormais à :

Université Paris Ouest Nanterre La Défense

Laboratoire Psychologie des Processus et des

Conduites Complexes

220, avenue de la République

92002 Nanterre

E-mail : marjorie.pierrette@hotmail.com

Laure-Anne Gille

désormais à :

CETE Ile-de-France

319, avenue Georges Clemenceau

BP 505

77015 Melun CEDEX

E-mail : laure-anne.gille@developpement-durable.gouv.fr

Résumé

Le travail présenté dans ce papier se donne pour objectif de contribuer à l'amélioration des cartes de bruit par le biais d'une caractérisation physique et perceptive des bruits routiers urbains qui soit plus pertinente du point de vue de l'individu. A cet effet, des bruits de passage de véhicules routiers enregistrés in situ, suivant une typologie physique a priori, sont soumis à un panel de sujets via une tâche de catégorisation libre associée à une tâche de verbalisation libre. Les résultats ainsi obtenus permettent de proposer une typologie perceptive et cognitive de bruits de passage de véhicules routiers. Cette typologie a été par la suite confrontée aux résultats d'un test d'évaluation de la dissimilarité, utilisant la méthode de comparaison par paires. Les 7 catégories de la typologie perceptive et cognitive ont ensuite été étudiées séparément du point de vue de la gêne sonore. Des indicateurs de gêne ont été alors proposés pour caractériser chaque catégorie de bruits de passage en prenant en compte leurs spécificités spectrales et temporelles.

Abstract

The work presented in this paper intends to contribute to improve noise maps by a more meaningful characterization of urban road traffic noises. In this aim, in situ recorded pass-by noises, following an a priori physical typology, are submitted to a panel of subjects via a free categorization and free verbalization tasks. This resulted in the proposal of a perceptual and cognitive typology of road traffic pass-by noises that was further confirmed by the results of a pair-wise comparison test. The 7 categories of the perceptual and cognitive typology were then studied separately from noise annoyance point of view. Annoyance indicators were then proposed to characterize each category of vehicle pass-by noises by taking into account their spectral and temporal specificities.

Vers une amélioration des cartes de bruit

Les bruits de l'environnement, et notamment le bruit dû au trafic routier, représentent une préoccupation environnementale majeure au quotidien pour la plupart des individus, notamment en zone urbaine (par exemple [1]). De plus, selon l'OMS, contrairement à d'autres pollutions environnementales, l'exposition aux bruits de l'environnement semble augmenter dans les pays européens [2].

En 2002, la Commission européenne a donné une réponse réglementaire à cette préoccupation en adoptant la Directive 2002/49/CE [3]. Un des objectifs est alors l'information et la communication au grand public quant aux effets des bruits de l'environnement. Une des mesures mises en place oblige chaque grande agglomération européenne (plus de 100 000 habitants) à produire des cartes pour différentes sources de bruit de l'environnement [3].

Ces cartes de bruit représentent la situation d'exposition des populations au moyen de l'indice énergétique L_{den}

(le niveau d'exposition sonore jour-soirée-nuit) [3]. En rapprochant ces cartes de bruit des relations dose-effet proposées dans la littérature [4, 5], on pourrait alors les interpréter comme des cartes de gêne.

Cependant, les enquêtes *in situ* relatives à la gêne sonore révèlent généralement que les indices énergétiques n'expliquent qu'un tiers environ des jugements de gêne donnés par les individus [6, 7]. D'autant plus que ces indices ne peuvent pas rendre compte des spécificités spectrales et temporelles des sources de bruit, qui ont pourtant une influence sur les réponses de gêne données (par exemple [7, 8]), influence qui est démontrée et caractérisée lors d'études conduites en laboratoire (par exemple [9, 10]).

En nous focalisant sur les bruits routiers urbains, l'objectif principal de notre travail est de contribuer à l'amélioration des cartes de bruit par la définition d'indicateurs de gêne qui soient capables de prendre en compte les spécificités pertinentes (spectrales et temporelles) du bruit routier, en complément du simple niveau d'exposition sonore.

Pour atteindre cet objectif, une première étape consiste en l'étude de la gêne due au bruit routier en laboratoire. Cette étude est basée sur une typologie perceptive et cognitive de bruits de passage de véhicules routiers urbains [11].

Dans un premier temps, cette typologie perceptive et cognitive est brièvement décrite dans une section dédiée. L'étude de la gêne due aux bruits de ces différentes catégories est ensuite présentée avec la méthode expérimentale utilisée, les résultats et une discussion des résultats. Enfin, les principales conclusions sont rappelées.

Une typologie perceptive et cognitive de bruits routiers urbains [11]

Les modèles d'émission utilisés pour générer les cartes de bruit sont basés sur des critères physiques (par exemple [12]). Trois d'entre eux ont été croisés pour former une typologie physique *a priori* de bruits routiers urbains :

- «le type de véhicules» détaillé en bus, deux-roues, poids lourds, et véhicules légers,
- «le type d'allures» détaillé en allure accélérée, allure décélérée, et allure stabilisée,
- «le type de morphologies urbaines» détaillé en rue en «U», et rue en tissu ouvert [11].

Dans l'optique d'évaluer la pertinence perceptive d'une telle typologie physique, 57 bruits de passage ont été extraits d'une série d'enregistrements stéréophoniques effectués dans l'agglomération lyonnaise. Les enregistrements ont été réalisés au moyen d'un système ORTF (couple de microphones Schoeps MSTC 64, avec des bonnettes anti-vent BBG windfields), puis stockés sur un enregistreur portable (TASCAM HD-P2, signaux échantillonnés à 44,1 kHz avec une résolution de 24 bits). L'axe du couple ORTF a été placé perpendiculairement à l'axe de la route, à une hauteur d'1,5 m et à au moins 2 m de toute paroi réfléchissante [13]. La durée des bruits de passage extraits (entre 3 et 9 s) est contrainte par :

- la nécessité de contenir uniquement des informations auditives relatives au bruit de passage considéré, et
- la nécessité de contenir suffisamment d'informations auditives pour que le bruit de passage considéré puisse être identifié par des auditeurs.

Les 57 bruits de passage ont été ensuite soumis à un panel de sujets *via* une tâche de catégorisation libre associée à une tâche de verbalisation libre. Cette procédure (cf. [14] pour une description) est particulièrement adaptée à la compréhension des mécanismes psychologiques qui sous-tendent le processus de catégorisation naturelle [15, 16]. L'intérêt est alors de confronter une organisation choisie *a priori* à partir de critères physiques, à une organisation partagée par les individus, en accord avec leurs précédentes expériences sensorielles. Les analyses effectuées (analyse statistique de la catégorisation libre et analyse linguistique des verbalisations libres [11]) ont résulté en la proposition d'une typologie perceptive et cognitive composée de 7 catégories de bruits de passage de véhicules routiers. Ces 7 catégories sont principalement structurées par les critères *a priori* «type de véhicules» et «type d'allures» (cf. 1ère colonne du tableau 1), en relation avec les propriétés acoustiques des stimuli iden-

tifiées par les sujets. Le dernier critère «type de morphologies urbaines» n'a pas joué un rôle significatif dans le processus de catégorisation, même s'il a été identifié par les sujets. Des jugements négatifs ou d'acceptabilité ont été émis à l'encontre des bruits de passage, et reliés à leurs propriétés spectrales et temporelles.

Quatorze bruits de passage ont été ensuite sélectionnés, puis soumis à un nouveau panel de sujets *via* un test d'évaluation de la dissimilarité, utilisant la méthode de comparaison par paires. L'objectif de cette expérience était de tester la robustesse de la typologie perceptive et cognitive proposée. Les analyses statistiques pratiquées sur les jugements de dissimilarité émis ont conduit à l'échelonnement des 14 bruits de passage dans un espace perceptif à 2 dimensions. La première dimension est expliquée par 2 indices décrivant des aspects temporels liés aux différentes allures : la rugosité R liée à l'évolution périodique de l'enveloppe temporelle, et le taux d'accroissement du niveau sonore en fonction du temps lié à l'évolution temporelle globale. La seconde dimension est expliquée par l'identification des véhicules et un indice spectral, l'indice L_{MF} (le niveau de pression sonore équivalent pondéré A entre les bandes de tiers d'octave centrées sur 315 et 1 250 Hz [10]).

La confrontation des résultats des deux expériences décrites ci-dessus appuie la proposition de la typologie perceptive et cognitive. Le critère «type de véhicules» semble être un critère de nature catégorielle lié à l'identification de la source de bruit, et expliqué par un indice spectral décrivant les dissimilarités entre types de véhicules. Le critère «type d'allures» semble être un critère de nature continue expliqué par une variation d'indices temporels décrivant l'évolution périodique de l'enveloppe temporelle, ou l'évolution temporelle globale.

Indicateurs de gêne pour les 7 catégories perceptives et cognitives

En accord avec notre objectif principal, chaque catégorie de la typologie perceptive et cognitive de bruits de passage de véhicules routiers urbains est étudiée séparément du point de vue de la gêne sonore en laboratoire. Sept tests d'évaluation de la gêne sont ainsi mis en place.

Méthode expérimentale

Stimuli

L'objectif de cette expérimentation est de définir des indicateurs de gêne qui soient capables de prendre en compte des facteurs acoustiques qui influencent les réponses de gêne.

Selon les catégories, 4 ou 5 bruits de passage sont sélectionnés, du plus représentatif au moins représentatif, à l'intérieur de chaque catégorie [11]. Les bruits de passage sont ensuite égalisés à 7 valeurs différentes de l'indice $L_{Aeq,T}$ de 50 à 62 dB(A) par pas de 2 dB(A). Cette dynamique est choisie en cohérence avec celle observée au cours d'une enquête *in situ* [17], à laquelle nos résultats seront confrontés dans une future étape.

Ainsi, 2 facteurs expérimentaux sont introduits : «le Niveau Sonore» et «la Source de Bruit», avec respectivement 7 et 4 (ou 5) modalités, pour un nombre de stimuli de 28 (ou 35) suivant la catégorie étudiée (cf. Tableau 1).

Catégorie perceptive	Nombre de bruits de passage sélectionnés	Dynamique de niveaux sonores	Nombre de stimuli
1 : deux-roues à allure stabilisée (6 bruits de passage)	5	De 50 à 62 dB(A) par pas de 2 dB(A)	35
2 : deux-roues à allure accélérée (6 bruits de passage)	5		35
3 : bus, poids lourds et véhicules légers à allure stabilisée (14 bruits de passage)	5		35
4 : deux-roues à allure décélérée (4 bruits de passage)	4		28
5 : bus, poids lourds et véhicules légers à allure décélérée (13 bruits de passage)	5		35
6 : véhicules légers à allure accélérée (4 bruits de passage)	4		28
7 : bus et poids lourds à allure accélérée (10 bruits de passage)	5		35

Tabl. 1: Stimuli pour l'étude de la gêne en laboratoire
Stimuli for the study of annoyance in laboratory conditions

De précédentes études de la gêne sonore en laboratoire ont montré que la durée des stimuli avait une influence limitée sur les jugements de gêne à court terme (par exemple [18, 19]). La durée choisie des bruits de passage, entre 3 et 9 s selon les stimuli (cf. section 2), est donc conservée. Nous faisons l'hypothèse que d'autres caractéristiques des bruits de passage seront prépondérantes par rapport à leur durée, vis-à-vis de la gêne de court terme ressentie.

De plus, nous considérons la situation d'exposition la plus défavorable, i.e. les fenêtres du domicile ouvertes, ou être dans les parties privatives extérieures. Cela signifie qu'aucune correction n'est appliquée aux stimuli pour simuler façades et fenêtres. En effet, le type de façades ou de fenêtres peut avoir une influence sur les jugements auditifs [20,21], donc le choix d'un filtre aurait pu conduire à l'étude d'un cas particulier.

Apparatus

La passation des tests est informatisée. Les tests ont lieu dans une salle dédiée, avec un bruit de fond inférieur à 19 dB(A).

La reproduction des stimuli est stéréophonique et assurée par un système 2.1 : 2 enceintes Dynaudio Acoustics BM5A Active sont associées à un caisson de basses Dynaudio Acoustics BM9S.

En accord avec les recommandations de Bech et Zacharov [22], le sujet est situé face aux enceintes placées à une hauteur de 1,20 m. Les enceintes et le centre de l'axe interaural du sujet forment un triangle équilatéral.

Procédure

Dans ce contexte, la gêne est comprise comme la gêne à court terme, dont les sujets font l'expérience dans une situation imaginaire [23]. On demande alors aux sujets de s'imaginer chez eux en train d'effectuer une activité relaxante qui leur est coutumière (par exemple regarder la télévision, avoir une conversation, etc.).

Les stimuli sont présentés un par un en ordre aléatoire et l'évaluation de la gêne est adaptée de la norme ISO 15666:2003 [24] : les sujets sont invités à utiliser une échelle continue comportant 5 labels numériques équidistants associés à 5 labels verbaux (de 0 «pas du tout», 2,5 «légèrement», 5 «moyennement», 7,5 «beaucoup», à 10 «extrêmement» gênant). Ces différents labels ont pour but de faciliter l'usage de l'échelle de réponse.

Sujets

Trente sujets ont participé à chaque test (19 hommes et 11 femmes, entre 18 et 60 ans). Ils ont été indemnisés pour leur participation.

Les sujets impliqués dans plusieurs tests les ont réalisés à plusieurs jours d'intervalle.

Chaque test a duré environ 20 minutes.

Résultats

Effet des facteurs expérimentaux

Afin d'étudier l'effet des facteurs expérimentaux («Niveau Sonore» et «Source de Bruit») sur les réponses de gêne, des analyses de variance à mesures répétées à 2 facteurs (ANOVA) sont effectuées pour chaque test d'évaluation. Comme attendu, le facteur «Niveau Sonore» a un effet significatif sur les réponses de gêne due à chaque catégorie de bruits de passage de véhicules routiers. Ce facteur explique entre 43% et 60% de la variance constatée dans les réponses de gêne [25], respectivement dues aux bruits de passage de la catégorie 2 (deux-roues à allure accélérée) et aux bruits de passage de la catégorie 1 (deux-roues à allure stabilisée). Pour toutes les catégories, les réponses de gêne augmentent significativement avec l'augmentation du niveau sonore.

Le facteur «Source de Bruit» n'a pas d'effet significatif sur les réponses de gêne due aux bruits de passage de la catégorie 1, et a un effet significatif sur les réponses de gêne due aux bruits de passage des 6 autres catégories.

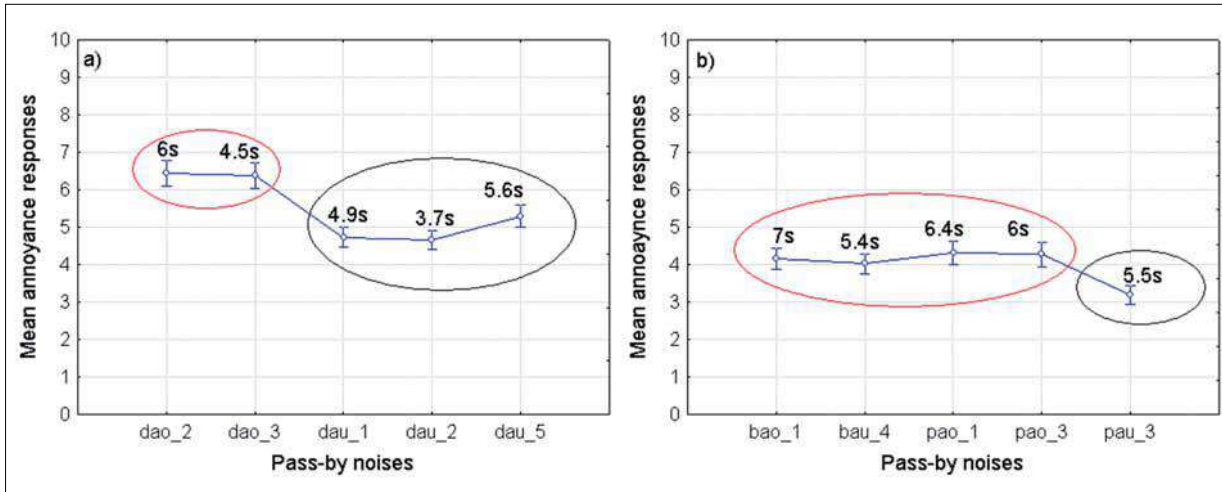


Fig. 1: Effet du facteur «Source de Bruit» pour deux catégories perceptives dont les bruits de passage sont plus ou moins hétérogènes du point de vue de la gêne. Des bruits de passage dont les réponses de gêne ne sont pas significativement différentes (test HSD de Tukey) figurent dans le même cercle. a) catégorie 2 (deux-roues à allure accélérée) ; b) catégorie 7 (bus et poids lourds à allure accélérée). Les barres d'erreur autour des valeurs moyennes représentent l'erreur type.
Effect of the main factor "Noise Source" for 2 perceptual categories with more or less heterogeneity within their pass-by noises. Pass-by noises which cause non significantly different annoyance responses (HSD Tukey) are circled. a) category 2 (two-wheeled vehicles in acceleration). b) category 7 (buses and heavy vehicles in acceleration). Error bars around mean values represent standard error.

Pour ces dernières, ce facteur explique entre 13% et 34% de la variance constatée dans les réponses de gêne respectivement due aux bruits de passage de la catégorie 5 (bus, poids lourds et véhicules légers à allure décélérée), et aux bruits de passage de la catégorie 2. Ces résultats montrent qu'à l'intérieur de l'ensemble des catégories perceptives et cognitives (excepté la catégorie 1), il y a plus ou moins d'hétérogénéité entre les bruits de passage, du point de vue de la gêne qu'ils causent. Cela est illustré sur la figure 1, en prenant l'exemple des bruits de passage de la catégorie 2 (forte hétérogénéité) et de la catégorie 7 (faible hétérogénéité).

La durée des bruits de passage est également indiquée sur la figure 1. L'examen des groupes de bruits de passage significativement différents du point de vue de la gêne, et en lien avec leur durée, montre que celle-ci n'a pas été un critère prioritaire dans la formulation des jugements de gêne, conformément à l'hypothèse faite.

Indicateurs de gêne pour les 7 catégories

Les effets des facteurs expérimentaux sur les réponses de gêne due aux bruits de passage des 7 catégories ont été étudiés dans la section précédente. L'étape suivante consiste à définir des indices qui sont capables de prendre en compte ces effets et, in fine, constituer les indicateurs proposés. A cet effet, des analyses acoustiques et psychoacoustiques des stimuli sont menées et suivies d'analyses de corrélation entre les réponses moyennes de gêne et les valeurs de divers indices acoustiques et psychoacoustiques, existants ou construits suite aux analyses menées sur les stimuli. En fonction des résultats de ces analyses de corrélation, des analyses de régression linéaire (simple ou multiple) suivent.

Catégorie 1: intensité
 Les réponses de gêne due aux bruits de passage de la catégorie 1 sont uniquement influencées significativement par le facteur «Niveau Sonore». En conséquence, nous recherchons uniquement des indices liés au niveau d'exposition sonore. Parmi l'ensemble des indices considérés (par exemple LAeq,T, LCEq, T, LAmx, etc.), c'est la sonie de Zwicker N qui est retenue pour constituer l'indicateur de gêne. L'analyse de régression linéaire pratiquée révèle un coefficient de détermination R² élevé (cf. Tableau 2).

Cat.	Equations de régression pour les indicateurs proposés	R ² (or r ²)	Std. Err.
1	$A_1 = 1.03N^d + 0.18$	0.95 ^d	0.32
2	$A_2 = 16.99N_{15-18}^d + 0.10F^d + 1.45$	0.92 ^d	0.37
3	$A_3 = 1.32N^d - 0.32 N^d - 0.35$	0.97 ^d	0.23
4	$A_4 = 0.88N^d + 0.02R_{max}^b + 0.33$	0.96 ^d	0.29
5	$A_5 = 1.06N^d + 0.08F_{max}^d - 1$	0.95 ^d	0.34
6	$A_6 = 0.29L_{MF}^d - 8.48$	0.95 ^d	0.34
7	$A_7 = 0.95N^d + 0.10F^c - 0.51$	0.94 ^d	0.34

Tabl. 2 : Indicateurs de gêne pour les catégories perceptives de bruits de passage de véhicules routiers. R² (ou r²) est le coefficient de détermination. Std. err. est l'erreur type de l'estimation. b: p<0.05; c: p<0.01; d: p<0.001
Noise annoyance indicators for the perceptual categories of road vehicle pass-by noises. R2 (or r2) is the coefficient of determination. Std. err. is the standard error of the estimate. b: p<0.05; c: p<0.01; d: p<0.001

Catégorie 2: intensité, spécificités spectrales et enveloppe temporelle

Les résultats de l'ANOVA menée sur les réponses de gêne due aux bruits de passage de la catégorie 2 nous amènent à chercher des indices qui sont capables de prendre en compte les effets des facteurs expérimentaux.

Parmi l'ensemble des indices considérés, deux sont à même d'expliquer de manière adéquate les variations constatées dans les réponses de gêne : N_{15-18} (la sonie de Zwicker intégrée entre 15 et 18 Barks), et F (la force de fluctuation moyenne). Le premier indice permet de prendre en compte l'intensité, en particulier le contenu spectral encore important en hautes fréquences, caractéristique des deux-roues. Le second indice est lié à une sensation produite par des variations temporelles rapides et périodiques [26], qui sont liées au bruit du moteur prédominant en zone urbaine, surtout à vitesse modérée et en accélération. L'indicateur proposé associe ces deux indices et résulte en un R^2 élevé (cf. Tableau 2).

Catégorie 3: Intensité et évolution temporelle

Dans le but d'expliquer l'effet du facteur «Niveau Sonore», la sonie de Zwicker N apparaît supérieure à l'indice $L_{Aeq,T}$ (respectivement $r=0,98$; $p<0,001$ et $r=0,93$; $p<0,001$). Le facteur «Source de Bruit» est expliqué par un indice décrivant l'évolution temporelle globale. Cet indice, noté ΔN , est le taux de décroissance de la sonie en fonction du temps. Il représente la pente de la droite de régression calculée entre le temps et les valeurs temporelles de la sonie, après que la valeur maximum soit atteinte.

L'indicateur proposé lie ces indices aux réponses de gêne moyennes et résulte en un coefficient de détermination R^2 élevé (cf. Tableau 2). Pour les bruits de passage de cette catégorie, pour une même intensité perçue, les sujets ont trouvé plus gênants des bruits de passage de véhicules qui mettent plus de temps à partir.

Catégories 4, 5, 7: Intensité et enveloppe temporelle

Pour ces catégories, la sonie de Zwicker N est mieux corrélée aux réponses moyennes de gêne que l'indice $L_{Aeq,T}$, elle est donc choisie pour expliquer le facteur «Niveau Sonore». Le facteur «Source de Bruit» est, quant à lui, principalement expliqué par des indices décrivant le bruit du moteur : R_{max} (rugosité maximum) pour la catégorie 4, F_{max} (force de fluctuation maximum) pour la catégorie 5 et F pour la catégorie 7. La rugosité et la force de fluctuation sont définies de manière similaire, la différence résidant dans la fréquence de modulation en amplitude de l'enveloppe temporelle.

Pour ces catégories, les indicateurs proposés permettent une bonne prédiction des réponses moyennes de gêne (cf. Tableau 2). Les indicateurs proposés traduisent qu'à une intensité perçue égale, les sujets ont jugé plus gênants les bruits de passage produisant une plus forte sensation de rugosité ou de force de fluctuation.

Catégorie 6: intensité et spécificités spectrales

Pour cette catégorie, c'est l'indice L_{MF} (niveau de pression sonore équivalent pondéré A en moyennes fréquences [10]) qui montre la plus haute corrélation avec les réponses moyennes de gêne due aux bruits de passage de la catégorie 6 ($r=0,97$; $p<0,001$). Cet indice est à même de prendre en compte l'influence de l'énergie acoustique liée au facteur «Niveau Sonore», et l'influence du contenu spectral lié au facteur «Source de Bruit».

Pour les bruits de passage de la catégorie 6, plus le contenu spectral en moyennes fréquences est élevé, plus les sujets ont jugé les bruits de passage gênants.

Discussion

Les indicateurs proposés pour caractériser la gêne due aux bruits de passage de chaque catégorie de la typologie perceptive et cognitive sont en accord avec les descriptions verbales données par les sujets au cours de la tâche de verbalisation libre [11]. Par exemple, les bruits de passage de la catégorie 2 ont été jugés «plus stridents» et «beaucoup plus aigus» que les bruits de passage des autres catégories. L'indicateur proposé pour la catégorie 2 inclut l'indice N_{15-18} , qui prend en compte le contenu en hautes fréquences spécifique aux deux-roues.

Nous avons constaté pour l'ensemble des catégories un fort effet du facteur «Niveau Sonore» sur les réponses de gêne. Cet effet est ensuite généralement mieux traduit par la sonie de Zwicker N (ou un indice construit à partir de N) que par l'indice $L_{Aeq,T}$. Cela est cohérent avec les résultats exposés par Nilsson [9] et suggère d'examiner l'opportunité d'utiliser la sonie pour caractériser les bruits de l'environnement.

Dans ce papier, la gêne sonore est étudiée séparément pour les différentes catégories perceptives. Morel et al. [11] ont fait l'hypothèse qu'en zone urbaine, un trafic routier quelconque peut être composé d'un certain nombre de bruits de passage impliqués dans les différentes catégories. Dans une prochaine étape, il conviendrait donc d'étudier la gêne due à un tel trafic reconstitué et, en conséquence, d'évaluer l'efficacité des indicateurs proposés. En effet, Berglund et Nilsson [27] ont trouvé que les réponses de gêne due à un trafic routier global, et récoltées *in situ*, dépendent de la composition du trafic et du pourcentage de présence des différents types de véhicules.

Conclusion

L'objectif principal du travail présenté dans ce papier était de contribuer à l'amélioration des cartes de bruit par la proposition d'indicateurs de gêne sonore qui soient pertinents du point de vue de l'individu. Pour cela, la gêne due à chacune des 7 catégories perceptives et cognitives de bruits de passage de véhicules routiers, proposées dans un précédent papier, a été évaluée en laboratoire. Les principales conclusions sont les suivantes :

- Le niveau sonore, de même que les différences entre bruits de passage à l'intérieur d'une même catégorie ont des effets significatifs sur les réponses de gêne recueillies ;
- Les indicateurs de gêne proposés associent un indice basé sur la sonie de Zwicker N à un indice décrivant des aspects temporels, qui ne peuvent être pris en compte par l'indice $L_{Aeq,T}$. Pour la catégorie 6, le contenu spectral en moyennes fréquences est pertinent pour prédire la gêne ;
- Les indices temporels sont liés à différents aspects : soit l'évolution temporelle globale (catégorie 3), soit les variations périodiques de l'enveloppe temporelle (catégories 2, 4, 5, 7).

Dans une prochaine étape, il serait intéressant de tester ces indicateurs de gêne dans le cas d'un trafic routier reconstitué.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie) qui a financé en partie ces travaux (contrat n°0866C0066).

Références bibliographiques

- [1] TNS SOFRES, "Les Français et les nuisances sonores – principaux résultats". 2010
- [2] World Health Organization, "Burden of disease from environmental noise – quantification of healthy life years lost in Europe". WHO Regional Office for Europe, 2011. 128p.
- [3] Conseil de l'Union Européenne et Parlement Européen, Directive 2002/49/CE de juin 2002 relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement.
- [4] H.M.E. Miedema, C.G. Oudshoorn, "Annoyance from transportation noise: relationships with exposure metrics DNL and DENL and their confidence intervals, *Environmental Health Perspective* 109, 409-416 (2001).
- [5] European Environment Agency, "Good practice guide on noise exposure and potential health effects". EEA Technical Report n°11/2010, 2010. 40p.
- [6] R.F.S. Job, "Community response to noise: a review of factors influencing the relationships between noise exposure and noise reaction", *J. Acoust. Soc. Am.* 83(3), 991-1001 (1988).
- [7] C. Marquis-Favre, E. Prémat, D. Aubrée, "Noise and its effects – a review on qualitative aspects of sound. Part II: Noise and annoyance", *Acta Acustica united with Acustica* 91, 626-642 (2005).
- [8] M. Häberle, D. Dövenner, D. Schmid, "Inquiry on noise causing complaints in residential areas near chemical plants", *Applied Acoustics* 17, 329-344 (1984).
- [9] M.E. Nilsson, "A-weighted sound pressure level as an indicator of short-term loudness or annoyance of road-traffic sound" *J. Sound Vib.* 302, 197-207 (2007).
- [10] M. Alayrac, C. Marquis-Favre, S. Viollon, J. Morel, G. Le Nost, "Annoyance from industrial noise: indicators for a wide variety of industrial sources", *J. Acoust. Soc. Am.* 128, 1128-1139 (2010).
- [11] J. Morel, C. Marquis-Favre, D. Dubois, M. Pierrette, "Road traffic in urban areas, a perceptual and cognitive typology of pass-by noises", *Acta Acustica united with Acustica* 98, 166-178 (2012).
- [12] SETRA, "Prévision du bruit routier. 1 : Calcul des émissions sonores dues au trafic routier". Ministère de l'Ecologie, de l'Energie, du Développement Durable et de la Mer, 2009.
- [13] AFNOR NFS 31-085, "Acoustique – Caractérisation et mesurage du bruit dû au trafic routier". Saint-Denis, 2002.
- [14] P. Gaillard, Laissez-nous trier ! TCL-LabX et les tâches de catégorisation libre de sons. – In: *Le sentir et le dire. Concepts et méthodes en psychologie et linguistique cognitives*. D. Dubois (ed.), L'harmattan (Coll. Sciences Cognitives), Paris (2009).
- [15] D. Dubois, "Categories as acts of meaning: the case of categories in olfaction and audition", *Cognitive Science Quarterly* 1, 35-68 (2000).
- [16] D. Dubois, *Le sentir et le dire : définir l'objet et construire la démarche.* – In: *Le sentir et le dire. Concepts et méthodes en psychologie et linguistique cognitives*. D. Dubois (ed.), L'harmattan (Coll. Sciences Cognitives), Paris (2009).
- [17] M. Pierrette, C. Marquis-Favre, J. Morel, L. Rioux, M. Vallet, S. Viollon, A. Moch, "Noise annoyance due to industrial and road traffic combined noises: a survey and a total annoyance model comparison", *Journal of Environmental Psychology* 32, 178-186 (2012).
- [18] T. Poulsen, "Influence of session length on judged annoyance", *Journal of Sound and Vibration* 145, 217-224 (1991)
- [19] R. Paulsen, "On the influence of the stimulus duration in psychophysical judgment of environmental noises taken in the laboratory", in *Proceedings of InterNoise 1997*, 1175-1178 (1997).
- [20] J. Vos, "A- and C-weighted sound levels as predictors of the annoyance caused by shooting sounds, for various façade attenuation types", *Journal of the Acoustical Society of America* 101, 2677-2685 (2003).
- [21] A. Trolle, C. Marquis-Favre, J. Faure, "An analysis of the effects of structural parameter variations on the auditory perception of environmental noises transmitted through a simulated window", *Applied Acoustics* 69, 1212-1223 (2008)
- [22] S. Bech, N. Zacharov, *Perceptual audio evaluation. Theory, method and application*. Wiley & Sons, Chichester (2006).
- [24] B. Berglund, U. Berglund, T. Lindvall, "Scaling loudness, noisiness and annoyance of aircraft noise", *Journal of the Acoustical Society of America* 57, 930-934 (1975).
- [25] ISO 15666:2003, "Acoustique – évaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques". Genève, 2003.
- [26] P. Dagnélie, *Statistiques théoriques et appliquées. 2. Inférence statistique à une et à deux dimensions*. 2ème édition. De Boeck Université, Bruxelles, (2006).
- [27] H. Fastl, E. Zwicker, *Psycho-acoustics: facts and models* 3rd edition. Springer, Berlin (2007).
- [28] B. Berglund, M.E. Nilsson, "Total annoyance and perceptually discernible noise sources", in *proceedings of InterNoise 2000*, 3541-3544 (2000).