



Étude de l'influence de l'ordre de passage successif des véhicules routiers urbains sur la gêne sonore

L.-A. Gille^{a,b} et C. Marquis-Favre^b

^aCEREMA - DTer d'Ile-de-France, 120 rue de Paris, BP216 Sourdun, 77487 Provins Cedex, France

^bUniversité de Lyon, Labex CeLyA, ENTPE, LGCB, 3 rue Maurice Audin, 69518 Vaulx-En-Velin, France
laure-anne.gille@developpement-durable.gouv.fr

La directive européenne 2002/49/CE impose aux agglomérations de plus de 100 000 habitants de se doter de cartes de bruit stratégiques pour différentes sources de bruits de l'environnement, notamment le trafic routier. Ces cartes représentent les valeurs prises par l'indice L_{den} sur le territoire. Or, les indices énergétiques, tels que le L_{den} , rendent compte d'un seul facteur acoustique, le niveau sonore moyen, et ne permettent d'expliquer que partiellement la gêne exprimée par les riverains (corrélation inférieure à 0.4). Afin d'améliorer la représentation de la gêne, une meilleure compréhension des phénomènes perceptifs s'avère donc nécessaire. Nous proposons d'étudier les phénomènes dus aux caractéristiques acoustiques d'un trafic routier urbain constitué de différents véhicules (VL, PL, 2-roues motorisés). Dans cet article, nous nous interrogeons sur l'influence potentielle de l'ordre de passage successif de différents véhicules d'un trafic routier sur la gêne. En effet, la littérature montre d'une part que la sonie est une base sous-tendant le jugement de gêne et d'autre part que des profils différents d'intensité pour des stimuli de courte durée influencent les jugements de sonie. En d'autres termes, nous désirons évaluer si le jugement de gêne exprimé pour un trafic routier serait différent suivant l'ordre d'apparition successive des véhicules qui le composent. Nous avons donc réalisé en laboratoire un test d'écoute. Les sujets mis en situation évaluaient la gêne de plusieurs séquences sonores comportant 3 véhicules présentés dans des ordres différents. Les séquences sonores étaient construites à partir d'enregistrements stéréophoniques d'un bruit de fond urbain stationnaire et des bruits de passage de véhicules routiers urbains. Cette expérience a conclu à l'absence d'influence de l'ordre de passage successif des véhicules sur les notes de gêne attribuées par les sujets, et ce en considérant des véhicules légers, des véhicules lourds et des 2-roues motorisés.

1 Introduction

La directive européenne 2002/49/EC impose aux agglomérations européennes de plus de 100 000 habitants de produire des cartes de bruits stratégiques pour différentes sources sonores de l'environnement, telles que les sites industriels, les trafics routier, ferroviaire et aérien. Ces cartes de bruits stratégiques utilisent l'indice L_{den} – le niveau sonore équivalent jour-soir-nuit. Grâce aux modèles de gêne basés sur cet indice [11], les cartes de bruit pourraient être interprétées comme des cartes de gêne.

Or, de tels indices énergétiques n'expliquent qu'une faible part de la gêne sonore (entre 30 et 40%) [10]. En effet, d'autres facteurs acoustiques (e.g. les caractéristiques temporelles et fréquentielles des bruits) et non-acoustiques (e.g. la sensibilité au bruit) influencent les réponses de gêne sonore [10]. Une caractérisation de ces autres facteurs s'avère nécessaire pour mieux évaluer et prédire la gêne sonore.

Morel *et al.* [12, 14] ont étudié la gêne due aux bruits de passage routiers urbains suite à un test de catégorisation selon la ressemblance des bruits de passage routiers. Ils ont proposé une typologie perceptive, basée sur le type de véhicules et l'allure. Pour chaque catégorie perceptive de la typologie, des indicateurs de gêne ont été proposés, basés sur différents indices, tels que la sonie, la rugosité, etc. Les caractéristiques temporelles et fréquentielles des bruits de passage sont pris en compte dans les modèles proposés. Leurs travaux ont contribué à la compréhension de la gêne due à des bruits de passage routiers considérés individuellement. Cette contribution est une étape essentielle. Cependant, la gêne due à un trafic routier peut être différente. Afin de mieux évaluer et prédire la gêne due au bruit du trafic routier urbain, nous devons étudier comment certains facteurs acoustiques du bruit du trafic routier peuvent influencer les réponses de gêne sonore. Dans cette étude, nous nous intéressons à l'influence de l'ordre des bruits de passage routiers sur la gêne sonore.

Ainsi, la sonie est une base de la gêne [17] et différentes études [8, 14] ont montré une meilleure corrélation entre la gêne sonore et la sonie qu'entre la gêne sonore et les indices énergétiques. Or, des études [18, 16] sur l'évaluation de la sonie ont montré que des sons présentant des profils

d'intensité sonore différents mais de même niveau sonore équivalent conduisent à des jugements de sonie différents. Compte-tenu du lien entre sonie et gêne sonore, ces effets temporels peuvent contribuer à la gêne sonore due au bruit du trafic routier urbain. Sachant que les différents événements du trafic routier urbain présentent différentes pentes de sonie en fonction du temps, nous proposons d'étudier l'influence de l'ordre de ces événements composant le trafic routier urbain sur la gêne due au bruit du trafic routier urbain.

Le présent article est organisé comme suit : l'expérience est présentée en section 2 ; les résultats sont présentés en section 3 et discutés en section 4.

2 Expérience

L'influence de l'ordre des bruits de passage routiers urbains sur la gêne sonore de court terme est étudiée en conditions contrôllées. Cette étude est réalisée au cours d'une expérience au sein de laquelle l'influence du nombre de véhicules constituant la séquence sonore est également évaluée. Toute l'expérience sera présentée mais seuls les résultats relatifs à l'ordre des bruits de passage seront exposés dans cet article.

2.1 Stimuli

2.1.1 Enregistrement des bruits

Les bruits de passage routiers urbains utilisés ont été enregistrés par Morel *et al.* [12] et le bruit de fond urbain par Trollé *et al.* [20], tôt le matin sans bruit événementiel dans la rue. Tous deux ont été enregistrés à Lyon et dans sa banlieue en utilisant le même protocole et le même matériel.

Un enregistrement monophonique et un enregistrement stéréophonique ont été réalisés en simultané [12, 20].

L'enregistrement stéréophonique a été réalisé au moyen de la technique ORTF qui assure une bonne représentation, une bonne vraisemblance et une reproduction de bonne qualité pour les sources sonores fixes et en mouvement [6] quand elle est associée avec une reproduction sonore stéréophonique.

L'enregistrement monophonique a été réalisé avec un microphone omnidirectionnel calibré afin d'évaluer le niveau

sonore d'enregistrement.

Les microphones ont été placés à une hauteur de 1,5 m et perpendiculairement à l'axe de la route. La distance entre le microphone et les véhicules était variable, de 3 m à 10 m, en fonction de l'architecture urbaine du lieu de l'enregistrement, et de façon à être à plus de 2 m de toute surface réfléchissante [12].

(Pour plus de détails, voir Morel *et al.* [12] et Trollé *et al.* [20]).

2.1.2 Construction des séquences sonores

Dix-sept séquences sont construites : 12 séquences composées de 3 bruits de passage et 5 séquences de 3 minutes avec un nombre de bruits de passage variant de 10 à 50 véhicules, par pas de 10 véhicules. Le niveau sonore de ces 5 dernières séquences variait de 55,4 à 62,5 dB(A).

Nous détaillons ci-après les 12 séquences relatives à l'étude de l'effet potentiel de l'ordre des bruits de passage routiers sur la gêne sonore due au bruit du trafic routier urbain. Ces 12 séquences sont composées de 3 bruits de passage de véhicules à vitesse constante issus de différentes catégories de la typologie perceptive de Morel [12]. Cette typologie de bruits de passage routiers urbains [12] était composée de 7 catégories perceptives (catégorie 1 : deux-roues motorisés à vitesse constante; catégorie 2 : deux-roues motorisés en accélération; catégorie 3 : bus, poids lourds et voitures à vitesse constante; catégorie 4 : deux-roues motorisés en décélération; catégorie 5 : bus, poids lourds et voitures en décélération; catégorie 6 : voiture en accélération; catégorie 7 : bus et poids lourds en décélération) [12].

Le tableau 1 présente les 12 séquences composées de 3 bruits de passage chacune. Ces séquences pouvaient comporter : (1) un deux-roues (catégorie 1), un poids lourd et une voiture (catégorie 3), (2) ou deux voitures (catégorie 3) et un deux-roues (catégorie 1), (3) ou deux voitures et un poids lourd (catégorie 3), (4) ou deux deux-roues (catégorie 1) et un poids lourd (catégorie 3). Pour chaque type de véhicule, le bruit de passage choisi est le bruit de passage à allure constante le plus représentatif de sa catégorie perceptive d'appartenance (*cf.* Morel *et al.* [14]). Pour les séquences comportant 2 types de véhicules, nous avons choisi de répéter la source la plus présente dans un trafic réel observé à Paris, à savoir que les voitures sont plus nombreuses que les deux-roues motorisés, eux-mêmes plus nombreux que les poids lourds. L'ordre des bruits de passage est modifié pour chaque séquence. Pour les séquences avec 2 types de véhicules, le type de véhicule présenté deux fois est soit en début de séquence, soit en fin de séquence. Pour les séquences comportant les 3 types de véhicules, toutes les combinaisons d'ordre des véhicules ont été observées.

Les bruits de passage ont été égalisés à un niveau sonore moyen tenant compte des différences moyennes en niveaux sonores observées *in situ* entre les différents types de véhicules (*cf.* Morel [13]). Le bruit de référence, une voiture en allure fluide, est égalisé à 58 dB(A), le poids lourd à un niveau sonore plus élevé de 7,3 dB(A) et le deux-roues motorisé à un niveau sonore plus élevé de 5,3 dB(A) par rapport au bruit de référence (*cf.* Morel [13]). Le bruit de fond urbain fixé à 40 dB(A) permet d'être masqué par le bruit de passage le moins bruyant. Les profils temporels des 3 bruits de passage utilisés sont donnés en figure 1. Le

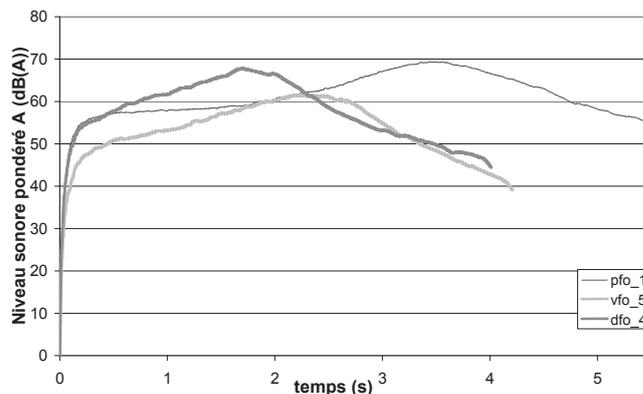


FIGURE 1 – Niveau sonore pondéré A en fonction du temps pour les bruits de passage considérés individuellement

tableau 1 donne, pour chaque séquence, sa durée et son niveau sonore équivalent pondéré A.

Les bruits de passage sont notés (xyz_N) avec x pour le "type de véhicule" (d = deux-roues; p = poids lourds; v = voiture), y pour "l'allure" (a = accélération; d = décélération; f = fluide), z pour "la morphologie de la route" (o = ouverte; u = en U). N est un nombre arbitraire pour différencier les stimuli.

TABLE 1 – Durée et niveau sonore moyen des séquences

séquence	durée (s)	niveau sonore moyen (dB(A))
dfo_4+pfo_1+vfo_5 dfo_4+vfo_5+pfo_1 pfo_1+dfo_4+vfo_5 pfo_1+vfo_5+dfo_4 vfo_5+dfo_4+pfo_1 vfo_5+pfo_1+dfo_4	13,7	64,1
dfo_4+vfo_5+vfo_5 vfo_5+vfo_5+dfo_4	12,4	60,9
pfo_1+vfo_5+vfo_5 vfo_5+vfo_5+pfo_1	13,9	63,0
dfo_4+dfo_4+pfo_1 pfo_1+dfo_4+dfo_4	13,5	64,9

2.1.3 Diffusion des bruits

Aucun filtre simulant la transmission d'une façade n'a été appliqué aux stimuli. En effet, le choix d'un matériau pour le mur et d'un type de fenêtre aurait été un cas particulier de façade, qui pourrait avoir un effet sur le jugement des sujets [19]. De plus, notre choix permet de simuler le pire cas d'une exposition sonore à domicile (par exemple, être à l'intérieur avec les fenêtres ouvertes ou à l'extérieur dans les espaces privés).

2.2 Matériel

Le test se déroule dans une salle semi-anéchoïque, dont le bruit de fond est de 20 dB(A). Pour reproduire les séquences sonores, la salle est équipée d'un système 2.1, composé de deux haut-parleurs Dynaudio Acoustics BM5A Actif associés à un caisson de basses Dynaudio Acoustics BM9S. La position des sujets et des haut-parleurs respectent les recommandations de Bech et Zacharov [2]. Le centre de l'axe interaural et les haut-parleurs forment un triangle équilatéral. Les haut-parleurs sont placés à une hauteur de

1,20 m et le caisson de basses est placé au sol entre les haut-parleurs. Le test est informatisé sous Matlab.

2.3 Procédure

Au début de l'expérience, des instructions écrites sont présentées aux sujets. Il leur est demandé de s'imaginer chez eux, en train de se relaxer (par exemple : en lisant, en regardant la télévision, en ayant une conversation, en faisant du jardinage ou toute autre activité relaxante qui leur est coutumière). Puis, les sujets effectuent un test d'entraînement, suivi par le test. Les séquences sonores sont présentées une à une, en ordre aléatoire. Pour chaque séquence, la situation imaginaire est rappelée aux sujets et la question suivante leur est posée : "Cette séquence sonore vous gênerait-elle ?". L'échelle de réponse est inspirée des recommandations données par la norme ISO 15666 [7]. Pour répondre, il est demandé aux sujets de déplacer un curseur sur une échelle continue allant de 0 à 10, associée à deux descripteurs verbaux ("pas du tout" et "extrêmement"). A la fin du test, les sujets répondent à une tâche de verbalisation relative à la description des séquences sonores présentées. Ils remplissent également un questionnaire relatif à différents facteurs non-acoustiques comme la sensibilité au bruit.

Le test dure environ 30 minutes.

2.4 Sujets

33 sujets ont été recrutés pour ce test : 14 femmes et 19 hommes. Les sujets avaient entre 20 et 56 ans, l'âge moyen était de 32 ans avec un écart-type de 12,5 ans. Les sujets ont tous déclaré avoir une bonne audition et ont été indemnisés pour leur participation.

3 Résultats et discussion

Pour évaluer si l'ordre des bruits de passage au sein du trafic routier urbain a un effet sur les jugements de gêne due au bruit du trafic routier urbain, les notes de gêne relatives aux séquences comportant les mêmes véhicules dans des ordres différents sont comparées grâce à un test-t.

Les différents tests-t conduisent à des résultats non significatifs : l'ordre des bruits de passage des différents véhicules appartenant à des catégories perceptives différentes et présentant des différences de niveau sonore moyen n'a pas d'influence sur la gêne due au bruit du trafic routier urbain.

Au sein des séquences sonores telles que $dfo_{.4}+vfo_{.5}+pfo_{.1}$ et $dfo_{.4}+pfo_{.1}+vfo_{.5}$, le bruit de passage $pfo_{.1}$ est diffusé à un niveau sonore bien plus élevé que le bruit de passage $vfo_{.5}$ et la position de ces deux bruits de passage au cours de la séquence est inversée. Pour l'évaluation de la sonie totale de sons d'une seconde, Pedersen et Ellermeier [15] ont montré que le début et la fin du stimulus influencent plus le jugement des sujets que le milieu. Ainsi, le lien entre la sonie et la gêne sonore [1, 3, 10, 13, 17] laissait à penser que la séquence $dfo_{.4}+vfo_{.5}+pfo_{.1}$ serait jugée plus gênante que la séquence $dfo_{.4}+pfo_{.1}+vfo_{.5}$. Cependant, la présente expérience a montré que cette hypothèse n'est pas vérifiée.

De plus, les bruits de passage utilisés présentent différentes évolutions temporelles du niveau sonore. Ainsi, alors que le bruit de passage $vfo_{.5}$ présente une pente

de croissance (respectivement de décroissance) en niveau sonore de 7,3 dB(A)/s (respectivement de -7,9 dB(A)/s), le bruit de passage $pfo_{.1}$ présente une pente de croissance (respectivement de décroissance) en niveau sonore de 5,0 dB(A)/s (respectivement de -6,9 dB(A)/s). Des études sur l'évaluation de la sonie de sons de même niveau sonore équivalent mais avec des profils d'intensité sonore asymétriques ont montré que les profils croissants sont jugés comme ayant une sonie plus élevée que les profils décroissants [16]. Le lien entre la sonie et la gêne sonore [1, 3, 10, 13, 17] nous avait conduit à faire l'hypothèse que les différences de profils de niveau sonore des bruits de passage des véhicules d'un trafic routier urbain pourraient entraîner des jugements différents de gêne sonore due au bruit de trafic selon l'ordre de passage de ces véhicules. La présente expérience montre que cette hypothèse n'est pas vérifiée, ainsi les séquences $pfo_{.1}+vfo_{.5}+vfo_{.5}$ et $vfo_{.5}+vfo_{.5}+pfo_{.1}$ présentant un même jugement de gêne sonore illustrent les résultats obtenus.

Il faut cependant noter que l'influence de la pente sur l'évaluation de la sonie a été étudiée dans la littérature pour des séquences de même niveau sonore et ne comportant qu'une pente. Or les séquences sonores étudiées dans ce papier sont constituées de 3 bruits de passage présentant chacun un niveau sonore différent, une pente croissante et une pente décroissante. La complexité des séquences simulant un trafic routier urbain peut expliquer en partie la différence observée avec les résultats de la littérature.

Enfin, Dittrich et Oberfeld [5] ont montré un effet de primauté et de récence sur la gêne due à des séquences de 900 ms de bruit large bande variant toutes les 100 ms. D'après Dittrich et Oberfeld [5], l'effet de récence sur la gêne peut s'expliquer par la règle du pic de fin ("peak-end rule") observé par d'autres auteurs lors de l'évaluation rétrospective d'expérience négatives, comme l'exposition à des sons agressifs (*cf.* (Schreiber and Kahneman, 2000)¹ cité dans [5]). Ces auteurs ont montré que de tels jugements sont fortement influencés par la pire partie et par la partie finale de l'épisode. D'après Dittrich et Oberfeld [5], lors de l'évaluation de la gêne impliquant des émotions négatives, le jugement de gêne peut être de la même façon affecté par l'effet de récence. On aurait donc pu s'attendre à ce que les séquences commençant et finissant par un bruit de passage de niveau sonore plus élevé que le bruit de passage du milieu soient jugées plus gênantes que les séquences commençant ou finissant par ce bruit de passage. Ainsi, $dfo_{.4}$ et $pfo_{.1}$ ont un niveau sonore plus élevé que $vfo_{.5}$. Les séquences comme $dfo_{.4}+vfo_{.5}+pfo_{.1}$ et $dfo_{.4}+pfo_{.1}+vfo_{.5}$ auraient donc pu être jugées différemment compte tenu des effets de primauté et de récence. Or, la présente expérience a montré que ces séquences ne présentent pas de notes de gêne, due au bruit du trafic routier, statistiquement différentes. Il semblerait donc que la gêne ressentie pour une séquence sonore de trafic routier soit liée à la présence d'un événement particulièrement remarqué, plutôt que du fait de la position de cet événement au sein de la séquence. Ce résultat rappelle ceux de Schreiber et Kahneman¹, mentionnés dans [5], à savoir que la pire partie de l'épisode influence le jugement. Cette hypothèse est en accord avec les verbalisations des sujets qui ont souligné l'agressivité de certains véhicules :

¹Schreiber, C. A., and Kahneman, D., "Determinants of the remembered utility of aversive sounds," *Journal of Experimental Psychology General*, 129, 27-42, 2000, cité dans [5].

"les sons agressifs, ce sont les mobylettes et les camions".

4 Conclusion

L'expérience réalisée a permis de montrer que l'ordre des bruits de passage au sein d'une séquence de trafic routier urbain n'influence pas les réponses de gêne sonore due au trafic routier urbain. Ce résultat était inattendu dans la mesure où, d'une part, les résultats de la littérature montrent l'effet de différentes pentes temporelles de sonie sur le jugement de sonie totale d'une séquence sonore et d'autre part, la sonie constitue une base sous-tendante de la gêne. Nous nous attendions effectivement à un potentiel effet sur la gêne due au bruit de trafic routier urbain de l'ordre de présentation au sein d'un trafic routier urbain des bruits de passage différents selon leur niveau sonore moyen et selon leurs pentes de niveau sonore. Ce résultat permet de mieux comprendre les mécanismes perceptifs associés à la gêne sonore due au bruit d'un trafic routier urbain composé de différents véhicules (deux-roues motorisé, véhicule léger, poids lourd). Les conséquences de ce résultat présentent un intérêt pour les études sur le terrain : l'ordre de passage des véhicules composant le trafic routier urbain ne sera pas un facteur à prendre en compte pour une amélioration des modèles prédictifs de la gêne sonore.

Remerciements

Ce travail a été réalisé au sein du Labex CeLyA de l'Université de Lyon, géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-10-LABX-0060/ ANR-11-IDEX-0007).

Références

- [1] Alayrac, M., Marquis-Favre, C., Viollon, S., Morel, J. and Le Nost, G., "Annoyance from industrial noise: Indicators for a wide variety of industrial sources", *Journal of the Acoustical Society of America*, **128** (3), 1128–1139, (2010).
- [2] Bech, S. and Zacharov, N., "Perceptual audio evaluation? Theory, method and application," Wiley, Chichester, (2006).
- [3] Berglund, B. and Nilsson, M.E. "Total and source-specific loudness of singular and combined traffic sounds", *Archives of the Center for Sensory Research*, **6** (3), Stockholm University, Sweden, 2001.
- [4] Björkman, M., "Community noise annoyance: Importance of noise levels and the number of noise events", *Journal of Sound and Vibration*, **151** (3), 497–503, (1991).
- [5] Dittrich, K. and Oberfeld, D., "A comparison of the temporal weighting of annoyance and loudness," *The Journal of the Acoustical Society of America*, **126** (6), 3168–3178, (2009).
- [6] Guastavino, C., Larcher, V., Catusseau, G. and Boussard, P., "Spatial audio quality evaluation: comparing transaural, ambisonics and stereo," *Proc 13th International Conference on Auditory Display, Montreal*, (2007).
- [7] ISO 15666, "Acoustics - Assessment of noise annoyance by means of social and socio-acoustic surveys", International Standards Organization, Geneva, (2003).
- [8] Kaczmarek, T. and Preis, A. "Annoyance of time-varying road-traffic noise", *Archives of Acoustics*, **35** (9), 383–393, (2010).
- [9] Lavandier, C. and Defreville, B., "The contribution of Sound Source Characteristics in the Assessment of Urban Sound scapes," *Acta Acustica united with Acustica*, **92**, 912–921 (2006).
- [10] Marquis-Favre, C., Premat, E., Vallet, M. and Aubree, D., "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).
- [11] Miedema, H.M.E. and Oudshoorn, C.G.M. "Annoyance from Transportation Noise: Relationships with Exposure Metrics DNL and DENL and Their Confidence Intervals", *Environmental Health Perspectives*, **109** (4), 409–416, (2001).
- [12] Morel, J., Marquis-Favre, C., Dubois, D. and Pierrette, M., "Road Traffic in Urban Areas: A Perceptual and Cognitive Typology of Pass-By Noises," *Acta Acustica united with Acustica*, **98**, 166–178, (2012).
- [13] Morel, J., "Caractérisation physique et perceptive du bruit routier urbain pour la définition d'indicateurs de gêne sonore en situation de mono-exposition et de multi-exposition en présence de bruit industriel (Physical and perceptual characterization for indicators of annoyance due to urban road traffic noise in isolation and combined with industrial noise.)", Ph.D. dissertation, Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat, (2012).
- [14] Morel, J., Marquis-Favre, C., Pierrette, M. and Gille, L.-A., "Physical and perceptual characterization of road traffic noises in urban areas for a better noise annoyance assessment," *Proc Acoustics 2012 (joint IOA/SFA Meeting)*, Nantes, (2012).
- [15] Pedersen, B. and Ellermeier, W. "Temporal weights in the level discrimination of time-varying sounds", *The Journal of the Acoustical Society of America*, **123** (2), pp. 963–972, (2008).
- [16] Ponsot, E., Susini, P., Saint-Pierre, G. and Meunier, S., "Temporal loudness weights for sounds with increasing and decreasing intensity profiles", *The Journal of the Acoustical Society of America*, **134** (4), EL321–EL326, (2013).
- [17] Powell, C.A., "A summation and inhibition model of annoyance response to multiple community noise sources", Hampton, USA: National Aeronautics and Space Administration, Langley Research Center, NASA Technical Paper 1479, (1979).
- [18] Susini, P., "Perception évolutive et globale de sons non-stationnaires," Université du Maine, (1999).

- [19] Trollé, A., Marquis-Favre, C. and Faure, J., “An analysis of the effects of structural parameter variations on the auditory perception of environmental noises transmitted through a simulated window”, *Applied Acoustics*, **69** (12), 1212–1223, (2008).
- [20] Trollé, A., Marquis-Favre, C. and Klein, A., “Short-term annoyance due to tramway noise: Determination of an acoustical indicator of annoyance via multilevel regression analysis”, *Acta Acustica united with Acustica*, **100**, 34–45, (2014).