



**HAL**  
open science

## Espace acoustique perceptif des bruits de pneus

Thibaut Marin-Cudraz, Etienne Parizet, Juan Jesus García

► **To cite this version:**

Thibaut Marin-Cudraz, Etienne Parizet, Juan Jesus García. Espace acoustique perceptif des bruits de pneus. 16ème Congrès Français d'Acoustique, (CFA) 2022, Société Française d'Acoustique; Laboratoire de Mécanique et d'Acoustique, Apr 2022, Marseille, France. hal-03848505

**HAL Id: hal-03848505**

**<https://hal.science/hal-03848505v1>**

Submitted on 10 Nov 2022

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



16<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique  
11-15 Avril 2022, Marseille

## Espace acoustique perceptif des bruits de pneus

T. Marin-Cudraz<sup>a</sup>, E. Parizet<sup>a</sup> et J.J. García<sup>b</sup>

<sup>a</sup>INSA Lyon - LVA, 25 bis av. Jean Capelle, 69100 Villeurbanne, France

<sup>b</sup>Applus+ IDIADA, PO Box 20 Santa Oliva, 43710 Tarragone, Espagne



Le bruit du trafic routier représente la part majoritaire du bruit environnemental urbain perçu et a d'importantes conséquences sur la santé. Les bruit de roulement des pneus des véhicules contribue grandement aux sons routiers perçus. Les sculptures des pneus de véhicules légers sont déjà conçues pour minimiser les bruits émis depuis une dizaine d'années. Ce n'est pas encore le cas des poids lourds. Le projet européen LEON-T a pour but de minimiser les nuisances des pneumatiques de poids lourds, notamment sonore. En préalable à une étude des effets du bruit de pneumatique sur le sommeil, une expérience a été menée pour déterminer les paramètres du timbre de tels bruits. Le jeu de données utilisés a été obtenu par une série d'enregistrements sur une piste normalisée en utilisant des pneus de tailles variées. Ces stimuli ont été présentés au casque, dans une tâche de tri libre. La présentation montrera les résultats de cette expérience, notamment les corrélations entre paramètres acoustiques et structure de l'espace perceptif déterminés à partir des groupes formés par les participants.

## 1 Introduction

Les bruits générés par le trafic routier ont des impacts négatifs sur le sommeil et peuvent générer des réponses de stress physiologique : (changement du fonctionnement cardiaque, pression sanguine, viscosité, coagulation et contenu en lipides et glucides du sang) [1,2]. Sur le long terme, les risques de maladies cardiovasculaires telle que des crises cardiaques peuvent augmenter [3].

Le bruit des moteurs thermiques a été réduit au cours des dernières années [4] et va même tendre à disparaître si la part des véhicules électriques devient majoritaire dans le parc automobile. Il convient donc d'étudier la deuxième source de bruit provenant des véhicules : le bruit de roulement des pneus.

Un des objectifs du projet européen LEON-T (Low particle Emissions and IOW Noise Tyres) est de comprendre et de minimiser l'impact des bruits de roulement des pneus sur le sommeil. L'intérêt sera porté plus particulièrement sur l'effet des différents paramètres psychoacoustiques de ces bruits sur la santé cardiovasculaire pendant le sommeil en fonction de différents scénarios de trafic routier.

Les pneus disponibles sur le marché ont une grande diversité d'usages et de sculptures, influençant les bruits de roulement générés [5]. Il est donc nécessaire d'étudier la diversité acoustique de ces bruits afin de créer des scénarios de trafic routier représentatif. Ce présent article présente une expérience préliminaire de tri libre au casque pour identifier les paramètres psychoacoustiques permettant de distinguer les bruits de pneus. Le scénario imaginé pour les expériences sur le sommeil étant en intérieur (dans une chambre), une comparaison de deux scénarios d'écoute (en extérieur et intérieur) sera effectuée pour étudier l'influence du scénario sur la perception des bruits de roulement.

## 2 Stimuli

### 2.1 Simulation d'une écoute en extérieur

Les 33 stimuli sonores ont été tirés de la série d'enregistrements effectuée par Applus+ IDIADA pour le projet LEON-T sur leur piste respectant la norme ISO 10844:2014. Ces bruits de roulement ont été obtenus pour différents types de véhicules (voiture, van et poids lourds). Pour les pneus de poids lourds, diverses utilisations (pneus d'été, pneus hiver alpin et pneus hiver nordiques) et positions

(utilisation pour de la direction ou pour de la traction). Comme le microphone se trouvait à 7,5 mètres de la piste d'enregistrement, les bruits résultants étaient idéaux pour simuler un scénario d'écoute où l'auditeur serait proche de la route (niveau compris entre 67,46 dB(A) et 79,93 dB(A)), c'est-à-dire la condition « extérieure ».

### 2.2 Simulation d'une écoute en intérieur

Les 33 stimuli de la condition « intérieure » ont été produits de manière à simuler un scénario au sein duquel l'auditeur se trouverait dans une chambre à coucher (niveau des bruits compris entre 26,69 dB(A) et 38,94 dB(A)). À l'aide d'un logiciel spécialisé dans l'acoustique du bâtiment (AcouBAT de Cypres), l'isolation acoustique d'une façade a été simulé pour représenter un mur dont les caractéristiques sont trouvables partout en Europe tout en permettant une atténuation globale de 43 dB, ce qui satisfait à toutes les réglementations minimales actuelles concernant le bruit extérieur en Europe [6]. Le profil fréquentiel de l'affaiblissement acoustique R a permis de le transformer en un filtre fréquentiel et de l'appliquer aux 33 stimuli de la condition extérieure.

## 3 Protocole du tri libre

53 étudiants de l'INSA Lyon se sont portés volontaires pour participer à l'expérience. La tâche de tri libre se faisait au casque (Sennheiser HD650) et utilisait une interface graphique développée en interne (utilisant Python [7] et tKinter [8]) où les participants pouvaient déplacer librement et écouter les sons (convertis en WAV à 16 bits avec une fréquence d'échantillonnage de 44100 Hz), représentés par des nombres (Fig.1). Le dispositif expérimental a été calibré au préalable avec une tête d'enregistrement binaurale associée à des microphones de mesure (Neutrik-Cortex Instruments 'MANIKIN MK1') reliés à un système OROS OR38, afin que les niveaux entendus par les participants correspondent à la réalité des enregistrements.

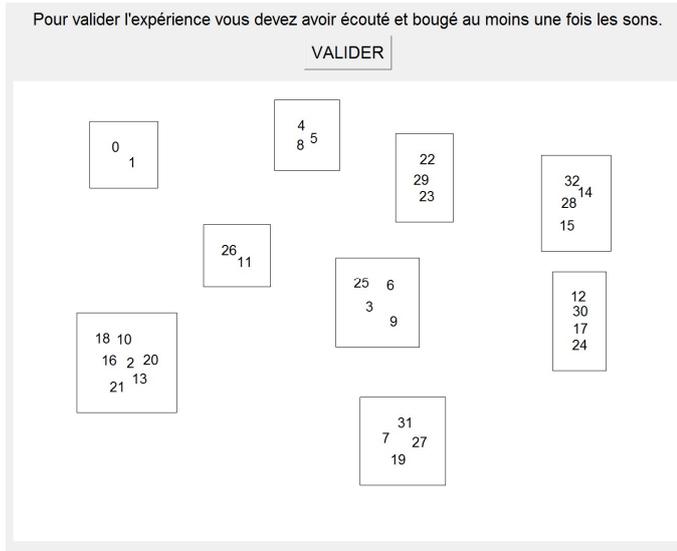


Figure 1 – Une tâche de tri libre finie. Les différents sons sont identifiés en fonction des rectangles noirs. Pour valider la tâche, chaque son devait être déplacé et écouté au moins une fois.

Pour chaque scénario d'écoute (extérieur et intérieur), le participant devait trier les sons en fonction de leur similarité : chaque groupe représente les sons qui lui semblent similaires, homogènes selon sa perception et suffisamment différents du reste (voir Fig.2 pour l'état de l'interface lorsque le regroupement est terminé). Lorsque la première tâche de tri était validée, le participant devait répéter la tâche pour l'autre scénario d'écoute. L'ordre des deux scénarios d'écoute ainsi que l'attribution des sons à chaque numéro dans chaque scénario particulier étaient aléatoires. À la fin de l'expérience, le/la participant(e) a été brièvement interrogé(e) pour expliquer avec ses propres mots quels critères il/elle avait utilisé pour regrouper les sons.

### 4 Résultats du tri libre

À la fin des expériences, des matrices de concordance individuelles ont été construites à partir des résultats des participants aux tâches de tri libre pour chaque condition. Les matrices ont été calculées selon la règle suivante : si le/la participant(e) a regroupé deux bruits ensemble, alors la valeur de la matrice pour cette paire est 0, si les bruits sont dans des groupes différents, la valeur est 1. Nous avons ainsi obtenu 106 matrices triangulaires. Pour chaque condition, nous avons fait la moyenne des 53 matrices correspondantes, ce qui a donné deux matrices de concordance moyenne, dont les valeurs à l'intérieur représentent le nombre de fois où deux bruits ont été regroupés ensemble : plus la valeur associée à la paire est proche de 0, plus les bruits ont été regroupés ensemble.

Les deux matrices de concordance moyenne ont été utilisées comme matrices de distance de dissimilarité pour effectuer un clustering agglomératif hiérarchique [9], un algorithme qui organise les données en groupes (clusters) en les fusionnant selon leur similarité, ce qui donne des arbres

de classification (Fig.2,3). Plus les bruits étaient regroupés ensemble par les participants, plus ils avaient de chances d'appartenir au même cluster. Le nombre de clusters, c'est-à-dire l'endroit où les arbres peuvent être coupés, a été déterminé en utilisant le critère de la silhouette moyenne maximale [10] pour chaque coupe possible de l'arbre : il va de -1 (tous les clusters sont mal séparés) à 1 (tous les clusters sont bien définis et homogènes). Nous avons constaté que le critère de silhouette maximale était atteint pour un nombre de 5 clusters (silhouette moyenne : 0,27) pour le scénario extérieur et de 2 clusters (silhouette moyenne : 0,32) pour le scénario intérieur (Fig.2,3).

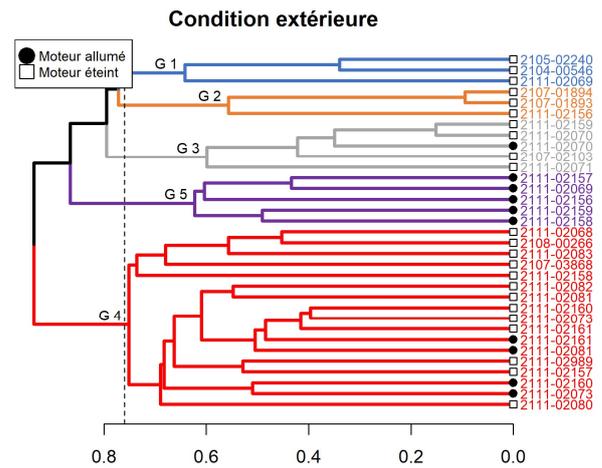


Figure 2 – Arbre de classification des bruits de pneus pour le scénario extérieur. Le numéro d'identification du bruit ainsi que l'état du moteur durant l'enregistrement (en marche ou arrêté) est indiqué à l'extrémité de chaque branche (les feuilles). Plus deux bruits sont rapprochés sur l'arbre, plus ils ont été regroupés ensemble fréquemment cours de l'expérience. La ligne pointillée montre la coupe de l'arbre sélectionnée à l'aide du critère de silhouette, résultant en 5 clusters, dont les noms sont indiqués sur l'arbre. Ils sont également désignés par des couleurs différentes.

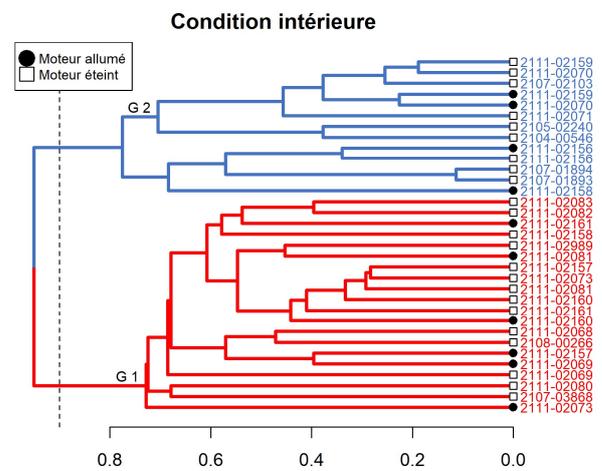


Figure 3 – Arbre de classification des bruits de pneus pour le scénario intérieur.

## 5 Profils psychoacoustiques des groupes formés

Différents paramètres psychoacoustiques ont été mesurés avec Artemis 13.2 (Head acoustics) pour étudier l'espace acoustique des bruits de pneus, c'est-à-dire les différences de chaque paramètre psychoacoustique entre les différents clusters identifiés lors de l'expérience. On a mesuré la rugosité, l'acuité (sharpness), la sonie, la tonalité, la fréquence centrale et la fréquence tonale la plus basse. Ces paramètres avec les réponses que nous avons obtenues lors de l'entretien post-expérience : les participants ont utilisé des critères étroitement liés ou analogues à ceux qui ont été sélectionnés.

La fréquence centroïde spectrale est le centre de masse, c'est-à-dire la moyenne pondérée, d'un spectre de fréquences. La fréquence tonale la plus basse (fréquence tonale sur Fig.4,5) a été définie comme suit : si le bruit est atonal (tonalité < 0,1 tuHMS), elle est fixée à 0 Hz, si le son est tonal (tonalité ≥ 0,1 tuHMS), alors la tonalité spécifique - la tonalité en fonction de la fréquence - est calculée et la fréquence la plus basse qui présente une tonalité est prise. Ce paramètre permet de distinguer les bruits présentant une tonalité des bruits atonaux mais aussi d'identifier un effet du moteur (généralement présent dans les très basses fréquences) sur la tonalité perçue.

Les différents clusters identifiés pour chaque scénario ont des profils psychoacoustiques différents (Fig.4,5). En particulier, il est intéressant de noter que le cluster 4, le moins tonal, contient tous les véhicules légers, et se retrouve dans le cluster 2 de la condition intérieure.

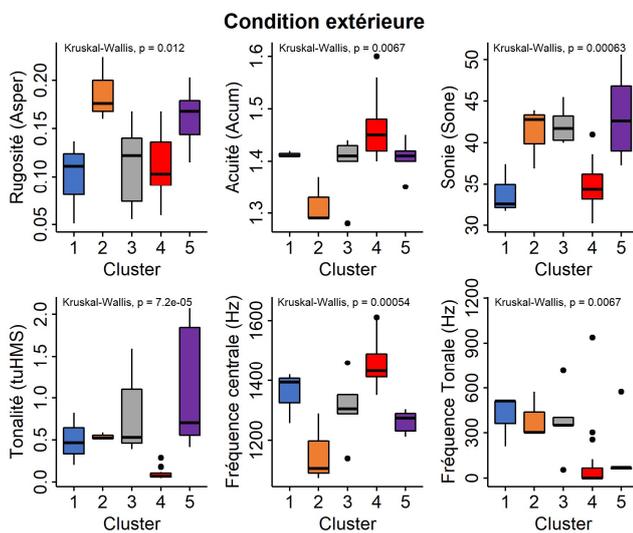


Figure 4 – Répartition des paramètres psychoacoustiques dans chaque cluster trouvé pour le scénario d'écoute extérieure. Les valeurs en haut de chaque boxplot sont le résultat d'une ANOVA non-paramétrique (test de Kruskal-Wallis) et indiquent que chaque paramètre est différent dans au moins un des clusters.

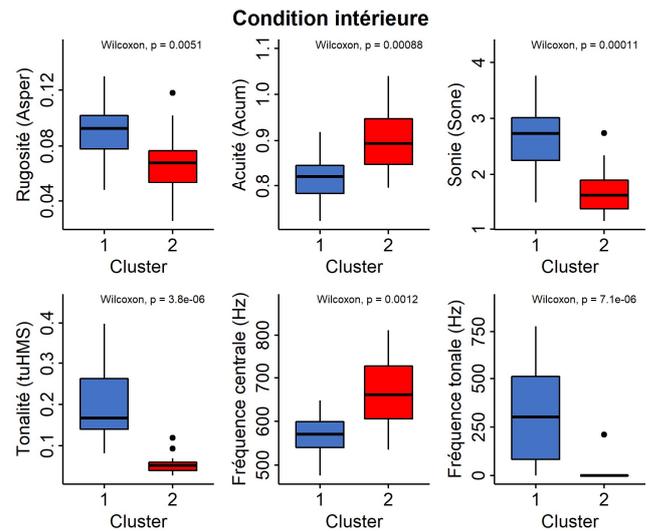


Figure 5 – Comparaison des paramètres psychoacoustiques de chaque cluster trouvé pour le scénario d'écoute intérieure. Les valeurs en haut de chaque boxplot sont le résultat d'un test de comparaison non-paramétrique (test de Wilcoxon) et indiquent que chaque paramètre est différent entre les deux clusters.

## 6 Conclusion

Cette étude a montré que les bruits de roulement de pneus étaient divers et que cette diversité était perçue par des auditeurs humains. Ceux-ci se basent sur différents paramètres psychoacoustiques pour regrouper les bruits en fonction de la similarité perçue.

Le scénario d'écoute a également influencé la perception des bruits de pneus, puisque le nombre de groupe identifié est différent.

Ces résultats vont permettre la synthèse de stimuli simulant des conditions de trafics réalistes pour étudier l'impact des bruits de pneus sur le sommeil. Présenter plusieurs bruits de pneus différents permettra de simuler le passage de différents véhicules. Ces sons seront synthétisés en faisant varier les valeurs des différents paramètres psychoacoustiques étudiés ici.

## Remerciements

Merci à tous les 53 participants de l'expérience. Cet article fait partie d'un projet de recherche qui a reçu des fonds du programme de recherche et d'innovation Horizon 2020 de l'Union Européenne dans le cadre de la convention de subvention No 955387.

## Références

[1] T. Münzel, T. Gori, W. Babisch et M. Basner, Cardiovascular effects of environmental noise exposure, *European heart journal*, 35.13, 829-836 (2014).  
 [2] W. Babisch, The noise/stress concept, risk assessment and research needs, *Noise and health* 4.16, 1 (2002).

- [3] W. Babisch, Updated exposure-response relationship between road traffic noise and coronary heart diseases: a meta-analysis, *Noise and Health* 16.68, 1 (2014).
- [4] B. Favre, et E. Parizet, L'Acoustique des Véhicules Routiers, *Acoustique et Techniques* 40 (2005).
- [5] J. A. Ejsmont, U. Sandberg & S. Taryma, Influence of tread pattern on tire/road noise, *SAE Transactions*, 632-640 (1984).
- [6] A. Alonso, R. Suárez, J. Patricio, R. Escandón & J. J. Sendra, Acoustic retrofit strategies of windows in facades of residential buildings: Requirements and recommendations to reduce exposure to environmental noise. *Journal of Building Engineering*, 41, 102773 (2021).
- [7] G. Van Rossum, & F. L. Drake Jr, Python reference manual, Centrum voor Wiskunde en Informatica Amsterdam (1995). [www.python.org](http://www.python.org)
- [8] F. Lundh, An introduction to tkinter (1999). [www.pythonware.com/library/tkinter/introduction/Index.htm](http://www.pythonware.com/library/tkinter/introduction/Index.htm)
- [9] J.A. Hartigan, *Clustering Algorithms*, Wiley, New York (1975).
- [10] P.J. Rousseeuw, Silhouettes: A graphical aid to the interpretation and validation of cluster analysis, *Journal of computational and applied mathematics*, 20, 53–65, (1987).