



HAL
open science

Contribution environnementale des signaux d’alerte (AVAS) des véhicules électriques : confrontation aux modèles de prévision sonore aux vitesses urbaines

Marie-Agnès Pallas, Maria Capatina, Adrien Le Bellec, Julien Cesbron

► To cite this version:

Marie-Agnès Pallas, Maria Capatina, Adrien Le Bellec, Julien Cesbron. Contribution environnementale des signaux d’alerte (AVAS) des véhicules électriques : confrontation aux modèles de prévision sonore aux vitesses urbaines. 16ème Congrès Français d’Acoustique, CFA2022, Société Française d’Acoustique; Laboratoire de Mécanique et d’Acoustique, Apr 2022, Marseille, France. hal-03848393

HAL Id: hal-03848393

<https://hal.science/hal-03848393v1>

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^{ème} Congrès Français d'Acoustique
11-15 Avril 2022, Marseille

Contribution environnementale des signaux d'alerte (AVAS) des véhicules électriques : confrontation aux modèles de prévision sonore aux vitesses urbaines

M.-A. Pallas ^a, M. Capatina ^a, A. Le Bellec ^a, J. Cesbron ^b

^a Univ Gustave Eiffel, CEREMA, Univ Lyon, UMRAE, F-69675 Bron, France

^b Univ Gustave Eiffel, CEREMA, UMRAE, F-44344 Bouguenais, France,



Dans le contexte actuel de vive préoccupation sur les changements climatiques et l'impact néfaste des énergies fossiles, les véhicules électriques (VE) représentent une part fortement croissante du parc de véhicules légers en circulation sur le réseau routier, en particulier en zone urbaine. Offrant par ailleurs un bruit de propulsion faible relativement aux véhicules conventionnels, ils constituent une solution de réduction du bruit de trafic routier aux vitesses pratiquées en ville, le bruit de roulement lié au contact pneumatique-chaussée devenant par suite la source sonore principale. Le revers de ce silence relatif, affectant la sécurité des usagers vulnérables de l'espace urbain (piétons, cyclistes...), réside dans la moindre détectabilité auditive de l'arrivée d'un VE dans un paysage sonore urbain foisonnant. Par conséquent, une réglementation impose aux VE d'être équipés d'un signal d'alerte (AVAS) continu fonctionnant en dessous de 20 km/h, dont le niveau sonore minimal ainsi que certaines caractéristiques fréquentielles sont stipulés.

L'étude présentée s'intéresse à la contribution sonore des VE dans l'environnement lorsque le système AVAS est en fonctionnement. En s'appuyant sur des expérimentations effectuées sur piste d'essai jusqu'à 30 km/h, elle évalue l'émission sonore pour quelques signaux AVAS au passage de VE, en considérant la latéralité de l'émission, l'impact global et fréquentiel sur plusieurs indicateurs acoustiques du bruit reçu à différentes distances en champ proche. Alors que la modélisation des véhicules électriques dans les méthodes de prévision sonore nationale ou européenne est encore un sujet ouvert, les résultats obtenus sur les véhicules testés avec ou sans AVAS sont comparés aux modèles existant pour les véhicules conventionnels (CNOSSOS, NMPB) dans la gamme des très faibles vitesses qui tendent à se généraliser en zone urbaine. L'objectif ici est d'explorer la pertinence d'un modèle spécifique aux VE dans le cas où l'AVAS est actif.

1 Introduction

Le marché automobile affiche une forte croissance de la part des véhicules électrifiés rechargeables (véhicules électriques et hybrides rechargeables) au détriment de celle des véhicules légers à motorisation thermique conventionnelle. A titre d'exemple, elle est évaluée à 15% en France pour l'année 2021 [1]. Ces véhicules sont reconnus pour la faible contribution sonore liée à leur propulsion, le bruit de roulement constituant la source de bruit principale sur une large gamme de vitesses. Aux très faibles vitesses, leur silence relatif peut présenter un risque pour les usagers vulnérables tels que les piétons et les cyclistes. En conséquence, une réglementation impose d'équiper ces véhicules d'un signal sonore d'alerte (AVAS), actif en dessous de 20 km/h et en marche arrière. De nombreuses études se sont penchées sur les aspects perceptifs de ces signaux, dans l'objectif d'améliorer la sécurité des usagers. En revanche, leur contribution environnementale a été relativement peu abordée.

L'étude présentée s'attache à analyser de façon détaillée les caractéristiques de l'émission sonore d'un véhicule électrique circulant à faible vitesse, en considérant la latéralité du signal, ses spécificités temporelles et fréquentielles, l'influence de la vitesse ou de la distance. Par ailleurs, l'intérêt de prendre en compte la contribution de l'AVAS dans les méthodes de prévision sonore préconisées dans les réglementations française et européenne est exploré. En effet, les modèles d'émission associés à ces méthodes sont représentatifs des véhicules à moteur thermiques. L'introduction des véhicules électriques dans ces modèles n'est pas encore effective. Les niveaux sonores mesurés sur une Renault Zoe, offrant le choix entre plusieurs signaux AVAS, en circulation à faible vitesse sont comparés aux modèles NMPB2008 et CNOSSOS-FR, respectivement dédiés en France aux études d'impact d'infrastructures routières et à la production des cartes de bruit stratégiques.

Après une présentation succincte des systèmes d'alerte sonore AVAS (§2), l'approche expérimentale mise en oeuvre dans l'étude est décrite (§3). Les caractéristiques sonores observées sur le véhicule testé à faible vitesse avec et sans fonctionnement de l'AVAS sont synthétisées (§4). Puis les indicateurs acoustiques mesurés sont mis en regard des modèles d'émission intégrés aux méthodes de prévision NMPB2008 et CNOSSOS-FR (§5).

2 Quelques éléments réglementaires sur l'AVAS

Intégralement en vigueur depuis 2021, la réglementation européenne impose aux nouveaux véhicules électriques et hybrides d'émettre un signal sonore artificiel depuis le démarrage jusqu'à 20 km/h et en marche arrière [2, 3]. Il est possible de désactiver temporairement ce signal. Le signal sonore de l'AVAS doit être continu et informer l'utilisateur du comportement du véhicule au moyen d'un décalage fréquentiel synchronisé avec la vitesse.

En marche avant, un niveau sonore global minimum de 50 dB(A) à 10 km/h est requis (resp. 56 dB(A) à 20 km/h), mesuré à une distance de 2 m de l'axe de la voie de circulation et à une hauteur de 1.2 m, sans toutefois excéder 75 dB(A). L'installation d'un AVAS n'est pas nécessaire si le véhicule seul génère déjà par lui-même un niveau sonore excédant d'au moins 3 dB(A) les valeurs minimales précédentes.

Dans sa composition fréquentielle, le signal AVAS doit produire des niveaux sonores minimaux dans deux bandes de tiers d'octave de la gamme 160-5000 Hz, dont l'une au moins est supérieure à 1600 Hz.

3 Approche expérimentale

Pour investiguer le signal AVAS d'un véhicule électrique, des mesures acoustiques au passage de ce véhicule à faible vitesse ont été effectuées sur piste d'essai, dans des conditions en accord à la fois avec la procédure d'homologation des systèmes AVAS et avec les mesures environnementales en conditions contrôlées.

Site d'essai La piste d'essai est située sur le site des Fromentaux de Transpolis, dans un secteur adapté aux conditions de champ libre. Le revêtement routier est de type BBSG 0/10, disponible sur une grande largeur et proposant ainsi une surface continue sans rupture d'impédance entre le véhicule et les capteurs acoustiques. Il diffère du revêtement préconisé par la procédure d'homologation AVAS, spécifiant une surface ISO 10844, sans grand impact aux vitesses testées où le bruit de roulement reste faible.

Les conditions météorologiques étaient conformes aux préconisations des normes. La qualité du bruit de fond, essentielle lors de la mesure d'événements particulièrement peu bruyants, a été évaluée en niveau global à $L_{Aeq,T} = 40.9 \text{ dB(A)}$.

Dispositif expérimental Les capteurs acoustiques consistent en 6 microphones séparés en deux sous-ensembles répartis de part et d'autre de la voie de circulation. D'un côté, trois microphones sont situés à 2 m de l'axe de la voie, distants entre eux de 5 m. Sur le côté opposé, trois autres microphones sont disposés face au microphone central à 2 m précédent, à des distances variables de l'axe de la voie, respectivement 2 m (conforme à [3]), 4 m et 7.5 m (conforme à [4]). Tous les microphones sont à une hauteur de 1.2 m.

Des informations cinématiques sont obtenues au moyen de trois cellules infrarouges, placées au droit des trois microphones alignés à 2 m, associées à deux plaques réfléchissantes disposées de chaque côté du véhicule. Les signaux correspondants permettent de repérer la position du véhicule en synchronisation avec les signaux acoustiques et de déterminer sa vitesse. Un télémètre complète ces informations pour repérer la position latérale du véhicule relativement à l'axe de la voie.

Véhicule électrique et AVAS Le véhicule testé est une Renault Zoe. Il dispose d'un système AVAS, qui peut être désactivé, et permet le choix entre trois signaux sonores, soit Voice Sport, Voice Pure ou Voice Glam selon la dénomination par le constructeur. Les situations testées dans cette étude concernent les choix Voice Pure (noté ici AVAS VP), Voice Glam (AVAS VG) et AVAS désactivé (AVAS off).

Conditions expérimentales Pour les trois situations AVAS considérées (off, VP, VG), des enregistrements ont été effectués au passage du véhicule à vitesse constante entre 8 et 30 km/h, dans les deux sens de circulation, avec fenêtres fermées et sans fonctionnement de la ventilation. Le signal AVAS s'interrompt automatiquement au-delà de 25 km/h

environ, pour rejoindre la situation 'AVAS off'. Etant donné les faibles niveaux sonores, les enregistrements identifiés comme perturbés par des éléments sonores externes ont été écartés.

4 Caractéristiques sonores du véhicule à faible vitesse

Les grandeurs acoustiques analysées sont essentiellement la signature temporelle $L_{AFast}(t)$ et la valeur maximale L_{Amax} de cette signature sur les différents microphones, en niveau global et par tiers d'octave.

4.1 Emission sonore sans AVAS

En circulation sans AVAS, il n'a pas été constaté de différence latérale notable et le véhicule peut être considéré comme acoustiquement symétrique. Les mesures temporelles en niveau global à 2 m montrent la succession de deux maximums associés aux passages des deux essieux devant le microphone, le second étant prédominant malgré la présence du moteur électrique et des roues motrices à l'avant du véhicule. Ceci est en accord avec d'autres études sur l'analyse des sources d'une Renault Zoe [5]. A la distance 4 m, la différenciation du passage des deux essieux n'est pratiquement plus visible. Elle disparaît complètement à 7.5 m. A titre indicatif bien que le revêtement diffère ici de celui de la norme, les niveaux max. constatés à 2 m excèdent le niveau minimum réglementaire augmenté de la marge de 3 dB à 20 km/h mais restent insuffisants à 10 km/h, justifiant ainsi la nécessité de l'usage de l'AVAS vis-à-vis de la réglementation.

A toutes les distances testées, on constate une croissance du niveau sonore L_{Amax} linéaire avec $\log(vitesse)$. Ceci est conforme au comportement connu des véhicules à vitesse plus élevée, en particulier les véhicules électriques [6]. A 7.5 m, la dispersion des mesures est faible et la pente de la régression calculée sur l'intervalle [8-30 km/h] est 31.8 dB(A)/décade, cohérente avec des résultats disponibles dans la littérature à des vitesses supérieures [6].

4.2 Emission sonore avec signal AVAS

Les signaux associés aux deux choix d'AVAS se caractérisent par une modulation d'amplitude, qui conduit à une forte dispersion des niveaux max. détectés, liée à la conjonction de la position du véhicule vis-à-vis du microphone et de l'amplitude fluctuante du signal AVAS. Les niveaux sonores obtenus dans la configuration AVAS VP sont en général supérieurs et plus dispersés que ceux d'AVAS VG. On observe des niveaux plus élevés vers le côté droit en comparaison du côté gauche du véhicule, également de façon plus accentuée pour AVAS VP. Ces différences latérales se réduisent vers 20-25 km/h, probablement en raison de la contribution plus élevée du bruit de roulement. Ces comportements sont visibles sur les figures 1 à 3 pour des mesures à la distance 7.5 m. Dans la suite, les traitements sont effectués sans différenciation latérale pour

une condition AVAS donnée.

Une comparaison des spectres mesurés à 2 m montre des contenus fréquentiels différents suivant les configurations testées. Par exemple à 12 km/h, le contenu spectral pour un fonctionnement sans AVAS a un support large bande sans composante à bande étroite significative, et un maximum à 800 Hz, compatible avec une contribution du bruit de roulement. En revanche, le spectre associé à AVAS VP présente une forte prédominance des tiers d'octave 200 à 500 Hz incluant plusieurs raies fréquentielles. A la même vitesse, le spectre associé à la situation AVAS VG se caractérise par un ensemble de raies distribuées sur une bande plus large, de 160 à 1600 Hz. L'émergence des raies diminue avec la vitesse, en comparaison à une circulation sans AVAS, disparaissant quasiment à 20 km/h dans le cas AVAS VG et persistant jusqu'à 25 km/h pour AVAS VP.

Observé sur le L_{Amax} à 7.5 m, le niveau sonore du véhicule à 10 km/h augmente de 10 dB(A) avec le fonctionnement de l'AVAS VP et de 5.5 dB(A) avec celui de AVAS VG. Cet accroissement est respectivement de 5.5 dB(A) et 1.5 dB(A) à 20 km/h.

5 Confrontation aux modèles de prévision sonore

Même si l'utilisation des modèles de prévision sonore à ces faibles vitesses est marginale, il est légitime de considérer leur représentativité dans le contexte urbain actuel, où se généralisent à des échelles variables les zones de limitation de vitesse à 30 km/h et où sont aussi aménagées des zones de rencontre limitant la circulation à 20 km/h.

5.1 Méthode NMPB2008

La méthode de prévision NMPB2008 est préconisée pour les études d'impact environnemental en France. Elle comporte un modèle d'émission sonore des véhicules légers, comprenant une composante 'bruit moteur' et une composante 'bruit de roulement', toutes deux fonctions de la vitesse [7]. Le bruit total est la somme énergétique de ces deux composantes. Ce modèle est représentatif de l'émission sonore d'un véhicule léger moyen à motorisation thermique. Elaboré vers les années 2000, il ne prend pas en compte les véhicules électriques, encore très marginaux à cette période.

A vitesse stabilisée, les lois d'émission mises à disposition sont valables pour des vitesses supérieures à 20 km/h. La méthode suppose qu'au dessous de cette vitesse, les véhicules sont en accélération ou en décélération, respectivement sur un tronçon de démarrage ou d'arrêt. Pour les besoins de cette étude à vitesse constante, considérant d'une part le modèle NMPB2008 statuant un bruit moteur constant aux vitesses inférieures à 30 km/h et d'autre part le modèle de bruit de roulement au regard du comportement sonore observé sur le VE sans AVAS, le modèle d'émission NMPB2008 a été extrapolé jusqu'à la vitesse 8 km/h.

Etant donné le revêtement routier BBSG 0/10 du site de mesure, les résultats sont comparés au modèle d'émission

sonore NMPB2008 calculé pour la classe de revêtements R2 non drainants.

5.2 Modèle CNOSSOS-FR

CNOSSOS-EU est la méthode européenne commune pour la production des cartes de bruit stratégique. Sa transposition CNOSSOS-FR spécifiant les coefficients adaptés au trafic et aux infrastructures routières françaises est disponible dans l'arrêté du 4 avril 2006, récemment modifié [8]. Le modèle d'émission sonore des véhicules routiers à vitesse constante est constitué d'une composante 'bruit de propulsion' et d'une composante 'bruit de roulement', chacune étant fonction de la vitesse et définies par bande d'octave de 63 Hz à 8000 Hz. Le bruit global est calculé par sommation énergétique des deux composantes sur toutes les bandes d'octave. Les coefficients des lois d'émission sonore déterminés pour le contexte français CNOSSOS-FR conduisent à des niveaux globaux assez proches de ceux de NMPB2008 aux vitesses supérieures à 20 km/h.

Si la méthode européenne prévoit une catégorie de véhicules ouverte pour des besoins futurs, par exemple les véhicules électriques, elle n'est pas renseignée en l'état actuel. Seuls sont pris en compte les véhicules légers à motorisation thermique, définis dans la catégorie 1. Les lois d'émission disponibles sont valables pour des vitesses supérieures à 20 km. Aux vitesses inférieures à 20 km/h, la méthode CNOSSOS-EU indique que les niveaux de puissance sont identiques à ceux calculés à 20 km/h.

Pour la comparaison des mesures effectuées sur le véhicule électrique, le modèle CNOSSOS-FR est utilisé pour la catégorie de revêtements routiers R2 non drainant.

5.3 Comparaison des mesures avec les modèles

Pour les trois conditions de circulation de la Renault Zoe (AVAS off, AVAS VP, AVAS VG), on considère la droite de régression calculée sur le niveau maximal relevé au passage du véhicule, en fonction de la vitesse. Cette droite est comparée au bruit total (propulsion + roulement) calculé par la méthode NMPB2008 et par la méthode CNOSSOS-FR. Les deux modèles donnent des prévisions proches à 20 km/h, mais se différencient aux vitesses inférieures.

Lorsque le signal AVAS est désactivé, on note la similitude de la pente de la droite de régression issue des mesures et de celle de la composante 'bruit de roulement' de la NMPB2008 (Figure 1). Les deux droites parallèles sont toutefois distantes de plus de 7 dB(A). Différents facteurs peuvent intervenir dans cet écart. Il convient de rappeler que la modélisation du bruit de roulement de la méthode NMPB2008 est basée sur des statistiques par classe de revêtements. La classe R2 regroupe différentes techniques de revêtements (voir Figure 2.5 de [7]). Chaque technique dans la classe présente elle-même une dispersion associée aux réalisations du revêtement et, pour une réalisation du revêtement considéré, intervient la spécificité du véhicule, en particulier le comportement lié à ses pneumatiques. Des

analyses de la texture effectuées par ailleurs sur ce site Transpolis indiquent que cette réalisation du revêtement de Transpolis est peu bruyante dans sa catégorie.

Ainsi, une prévision de l'émission sonore sur ce site avec le modèle total NMPB2008 extrapolé conduirait à surévaluer le niveau sonore à 7.5 m de plus de 15 dB(A) à 10 km/h et de plus de 10 dB(A) à 20 km/h. Ces écarts sont encore plus élevés avec le modèle CNOSSOS-FR en raison de la contribution de la composante de propulsion (+18 dB(A) à 10 km/h et environ +11 dB(A) à 20 km/h). La prise en compte du bruit de propulsion issue des véhicules thermiques est fortement pénalisante dans ce cas. Cette surévaluation est répartie sur toutes les bandes tiers d'octave.

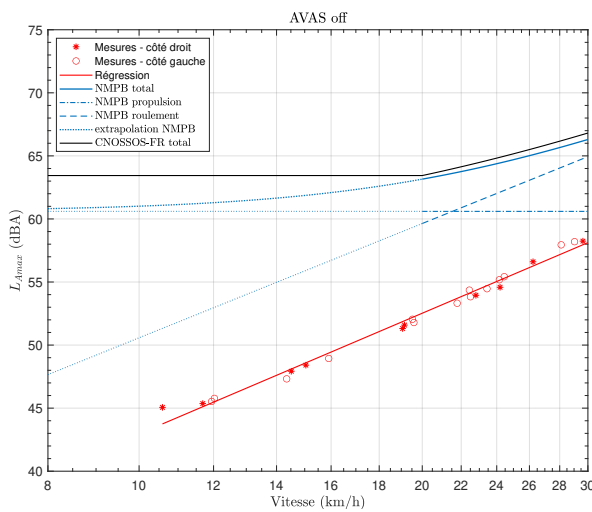


FIGURE 1 – Comparaison des mesures sur la Renault ZOE (AVAS off) avec les modèles de prévision NMPB2008 et CNOSSOS-FR.

Le fonctionnement de l'AVAS VP augmente les niveaux d'émission. Toutefois les prévisions par le modèle NMPB2008 surestime la moyenne mesurée de 8 dB(A) à 10 km/h et de 5 dB(A) à 20 km/h. En fréquence, la qualité de la prévision est inégale en fonction de la bande tiers d'octave. Si on se limite à la contribution du bruit de roulement NMPB2008, les écarts en niveau global au dessous de 20 km/h sont tantôt positifs et tantôt négatifs, pour un écart moyen proche de 0 sur l'intervalle de vitesses considéré ici. Quant au modèle CNOSSOS-FR, il surévalue la situation mesurée de plus de 10 dB(A) à 10 km/h.

Enfin, la situation impliquant l'AVAS VG conduit à des écarts plus importants entre les mesures et les modèles de prévision que la situation précédente. On relève une surévaluation de 12.4 dB(A) par NMPB2008 et de 14.8 dB(A) par CNOSSOS-FR à 10 km/h (environ 9 dB(A) à 20 km/h).

6 Conclusion

Conformément à la réglementation en vigueur, les systèmes d'alerte sonore AVAS font désormais partie

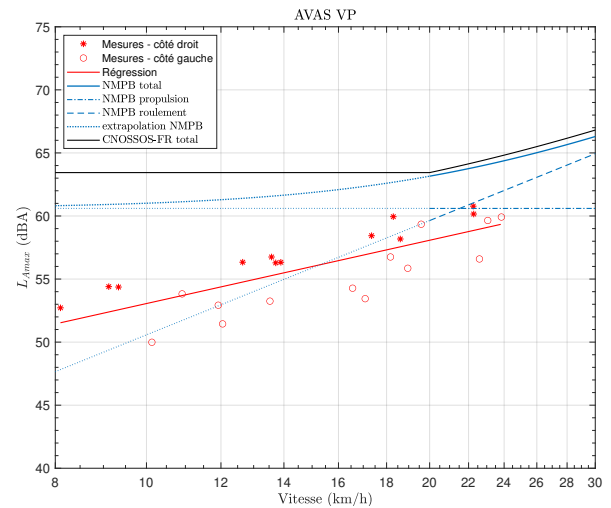


FIGURE 2 – Comparaison des mesures sur la Renault ZOE (AVAS VP) avec les modèles de prévision NMPB2008 et CNOSSOS-FR.

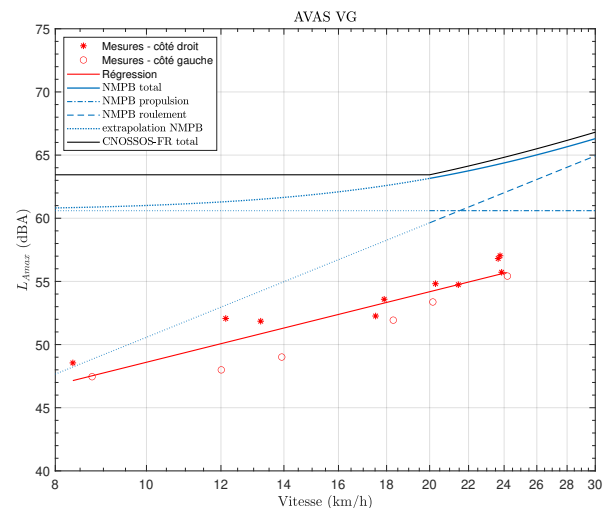


FIGURE 3 – Comparaison des mesures sur la Renault ZOE (AVAS VG) avec les modèles de prévision NMPB2008 et CNOSSOS-FR.

intégrante de l'usage des véhicules électriques à faible vitesse. Le fonctionnement de ce signal AVAS modifie de façon significative les niveaux sonores émis par le véhicule électrique testé dans cette étude. Les modèles d'émission des méthodes de prévision NMPB2008 et CNOSSOS-FR, basées sur l'émission sonore des véhicules thermiques, surestiment la contribution sonore de ce véhicule avec AVAS, de 8 à 12 dB(A) à 10 km/h pour la NMPB2008 extrapolée à cette vitesse, de 10 à 15 dB(A) pour CNOSSOS-FR à 10 km/h. A 20 km/h, la surévaluation est de l'ordre de 9 à 10 dB(A) par les deux méthodes. Pour une vision plus globale du parc de véhicules électriques, une analyse similaire peut être envisagée sur d'autres modèles de véhicules.

Dans le cas des cartes de bruit stratégiques, donnant lieu à l'établissement de plans de prévention (PPBE), les

niveaux de bruit considérés dans ce contexte à faible vitesse n'ont pas d'impact sur la nécessité d'actions de réduction. En revanche, les surévaluations constatées pourraient masquer ou rendre compte de façon erronée de la situation relativement apaisée de zones urbaines où les vitesses de circulation sont limitées, dans un contexte actuel et futur où la part des véhicules électriques est fortement croissante, ou bien si les conditions d'accès sont restreintes aux véhicules électriques et hybrides.

Remerciements

Cette étude a été soutenue par le LabEx CeLyA de l'Université de Lyon, géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-10-LABX-0060/ANR-11-IDEX-0007). Ce soutien est grandement apprécié.

Références

- [1] <https://www.avery-france.org/publications/>
- [2] Commission delegated Regulation (EU) 2017/1576 of 26 June 2017 amending Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council as regards the Acoustic Vehicle Alerting System requirements for vehicle EU-type approval, *Official Journal of the European Union* L 239, pp. 3–7, Sep. 19 (2017).
- [3] Regulation (EU) No 540/2014 of the European Parliament and of the Council of 16 April 2014 on the sound level of motor vehicles and of replacement silencing systems, and amending Directive 2007/46/EC and repealing Directive 70/157/EEC, *Official Journal of the European Union* L 158, pp. 131–195, May 27 (2014).
- [4] NF S31-119-2, Acoustique - Caractérisation in situ des qualités acoustiques des revêtements de chaussées - Mesurages acoustiques au passage - Partie 2 : procédure véhicule maîtrisé, AFNOR (2000).
- [5] J. Cesbron, M.-A. Pallas et al., *Electric Vehicle noise control by Assessment and optimisation of tyre/road interaction – Prototype implementation and tyre/road noise performances*, Deliverable B2, Project LIFE E-VIA (2022).
- [6] J. Cesbron, S. Bianchetti et al., Road surface influence on electric vehicle noise emission at urban speed, *Noise Mapping* 8(1), 217-227 (2021).
- [7] F. Besnard, J.-F. Hamet et al., *Prévision du bruit routier – 1 - Calcul des émissions sonores dues au trafic routier*, SETRA/Cerema (2009).
- [8] Arrêté du 4 avril 2006 relatif à l'établissement des cartes de bruit et des plans de prévention du bruit dans l'environnement, modifié par arrêté du 23 décembre 2021.