

EVALUATION DE L'EMISSION SONORE DES VÉHICULES MOTORISÉS PRIS INDIVIDUELLEMENT ET CIRCULANT EN RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE



DÉCEMBRE 2021

EVALUATION DE L'EMISSION SONORE DES VÉHICULES MOTORISÉS PRIS INDIVIDUELLEMENT ET CIRCULANT EN RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE

Introduction	5
Méthodologie	6
1. Choix des sites de mesure.....	6
2. Mesures acoustiques	6
3. Synchronisation et Analyse des mesures	7
Résultats	8
1. Preliminaires	8
2. Résultats acoustiques globaux	9
3. Influence de la vitesse et de l'accélération des véhicules	11
4. Influence de la catégorie des véhicules	11
5. Influence du type de moteur des véhicules	14
6. Influence de la norme Euro et de l'âge des véhicules	16
7. Influence de la masse et de la puissance des véhicules	18
Synthèse et perspectives	19
Annexe A	20



CONTENU

Le présent rapport porte sur les mesures acoustiques du bruit des passages de véhicules réalisées en automne 2020 par le service Données Bruit de Bruxelles Environnement. Ce rapport est construit de la manière suivante :

- L'introduction : Le contexte général de la lutte contre bruit en Région de Bruxelles-Capitale est rappelé après avoir expliqué l'opportunité et l'intérêt de cette campagne de mesure particulière.
- La méthodologie : Le choix des sites étudiés, la manière dont les mesures acoustiques ont été réalisées, leur synchronisation et les analyses effectuées sont détaillés.
- Les résultats : Les constats sur les niveaux sonores en fonction des différents paramètres influençant sont présentés et commentés.
- La synthèse et les perspectives : Les principaux résultats sont synthétisés et les suites à donner à cette campagne de mesure sont envisagées.

OBJECTIF

Ce rapport a pour but de présenter la méthodologie et les résultats des mesures acoustiques réalisées conjointement à la campagne The Real Urban Emissions (TRUE) visant à évaluer les émissions de polluants atmosphériques de plusieurs milliers de véhicules circulant en Région de Bruxelles-Capitale.

PUBLIC-CIBLE

Tout public intéressé par les émissions sonores des véhicules.



INTRODUCTION

Entre octobre et novembre 2020, une campagne de mesures intitulée The Real Urban Emissions (TRUE) a été réalisée en Région de Bruxelles-Capitale. Cette campagne, menée par la Fondation de la Fédération Internationale de l'Automobile (FIA Foundation) et l'International Council on Clean Transportation (ICCT), soutenue par Bruxelles Environnement, a évalué les émissions de polluants atmosphériques, gaz à effets de serre et particules fines, de plus de 130.000 véhicules circulant en Région bruxelloise. Les résultats de cette étude ont permis notamment d'évaluer l'efficacité de la mise en place de la Low Emission Zone (LEZ) en Région de Bruxelles-Capitale.

Simultanément aux mesures de rejets polluants, le Département Bruit de Bruxelles Environnement a réalisé des mesures des niveaux sonores aux passages des véhicules. L'intérêt de cette campagne réside dans l'accès aux données de chaque véhicule mesuré, vitesse et accélération au passage, mais aussi modèle, type de véhicules, année de mise en circulation, etc. ; ce qui a rendu inédit ces mesures de bruit. En effet, habituellement, le bruit lié au trafic routier est mesuré et analysé sans distinction entre les véhicules, considéré comme une source de bruit continue, sans la possibilité de tirer des conclusions sur quels sont les véhicules les plus bruyants, quels sont les moins bruyants.

Rappelons que le bruit émis par le trafic routier est la première source de pollution sonore en Région de Bruxelles-Capitale, exposant près de 64 % de la population à un niveau sonore moyen pour 24h00 (L_{den}) supérieur à 55 dBA comme le montre la dernière cartographie du bruit routier reprise à la Figure 1. Ce niveau de 55 dBA est susceptible d'amener une gêne importante et, depuis 2018, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) recommande fortement de réduire les niveaux sonores produits par le trafic routier à moins de 53 dBA L_{den} , car un niveau sonore supérieur à cette valeur est associé à des effets néfastes sur la santé. Dès lors, monitorer le bruit du trafic routier et cibler les catégories de véhicules bruyants prend tout son sens.

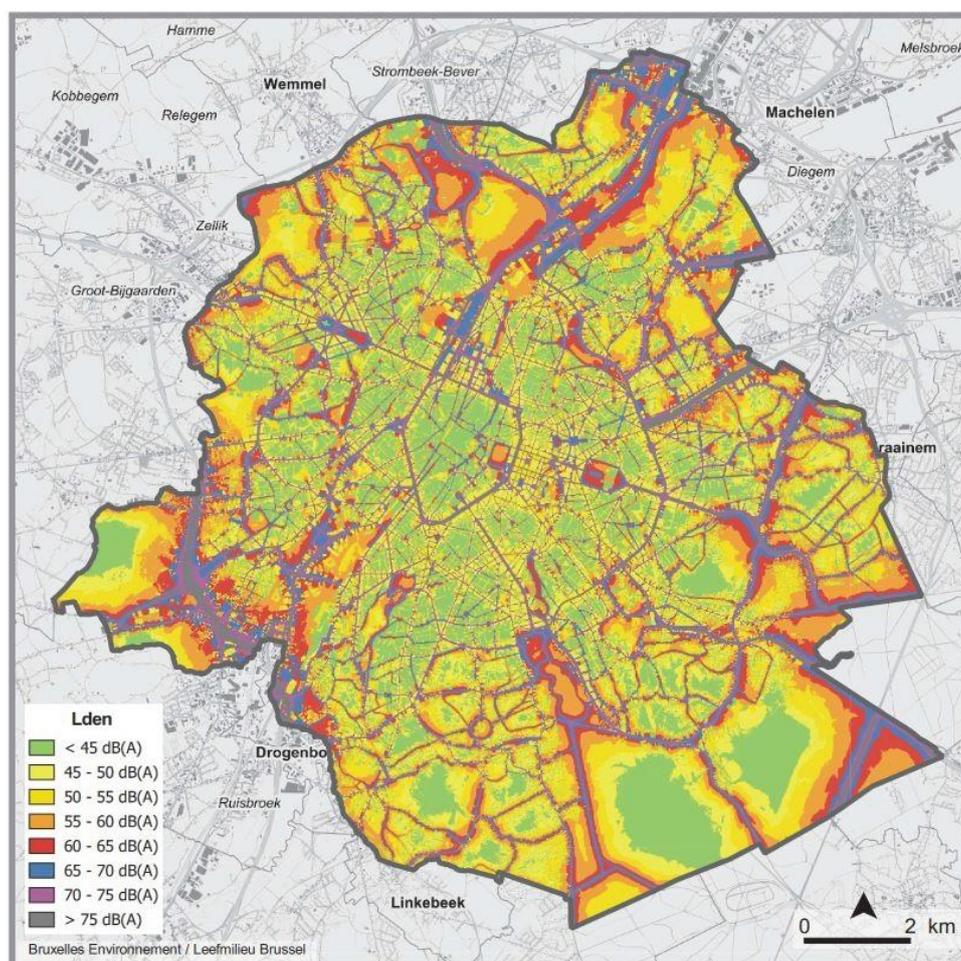


Figure 1 : Cartographie du bruit routier en Région de Bruxelles-Capitale – Année 2016 – Indicateur L_{den} ¹.

¹ https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/Carto_bruit_routier_Bxl2016_BIL

MÉTHODOLOGIE

1. CHOIX DES SITES DE MESURE

Pour la campagne TRUE, plusieurs points de mesure ont été identifiés et utilisés pour permettre les mesures de polluants atmosphériques ainsi que la vitesse et l'accélération aux passages des véhicules et la reconnaissance des plaques d'immatriculation. Les mesures sur place ont été réalisées par l'entreprise Securoad et les données des véhicules fournis par la Division Immatriculation des Véhicules (DIV) du Service Public Fédéral Mobilité (SPF Mobilité). Différentes contraintes ont guidé au choix des sites de mesure, notamment avoir un débit important de véhicules (amélioration statistique) et une seule bande de circulation (contrainte technique).

Pour les mesures acoustiques, même si les celles-ci étaient réalisées à courte distance, il était nécessaire de choisir des endroits de mesure caractérisés par un bruit résiduel² suffisamment faible pour permettre d'identifier distinctement l'émergence des passages des véhicules. C'est pourquoi plusieurs sites de mesure n'ont pas été retenus à cause de la proximité d'autres bandes de circulation où les véhicules passaient parfois à plus grande vitesse que la bande de circulation étudiée. Il n'y avait pas d'autre contrainte, que ce soit pour la sécurité du matériel (l'équipe de Securoad était sur place pendant toute la durée des mesures) ou son alimentation électrique (matériel sur batterie).

Le choix final s'est porté sur les points de mesure BRU001 et BRU001a situés tous les deux en sortie de rond-point, respectivement rue des Deux Gares et boulevard Industriel comme illustré sur la vue aérienne de la Figure 2. A noter que des mesures ont également été réalisées boulevard Graindor à côté d'un dépôt de bus. L'objectif était de d'analyser ces derniers avec précision mais le peu de passages finalement enregistrés avec les sonomètres n'a pas permis une analyse pertinente.

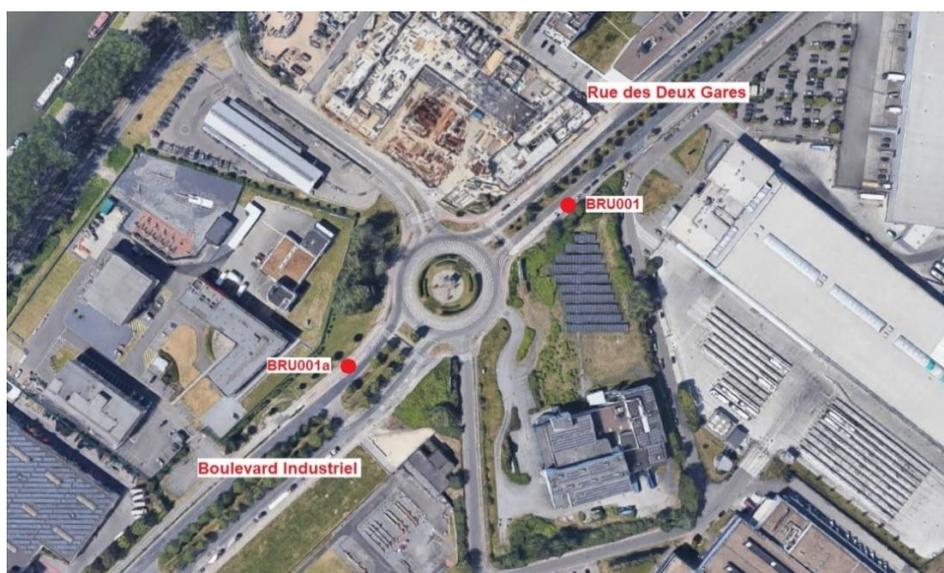


Figure 2 : Vue aérienne [Google Maps – 07/12/2021] du rond-point autour duquel étaient positionnés les deux points de mesure BRU001 et BRU001a.

2. MESURES ACOUSTIQUES

Les mesures acoustiques ont été réalisées au moyen d'un sonomètre de classe 1³ (type FUSION de la marque 01dB) branché sur batteries et le microphone déporté muni d'une boule anti-vent (voir Figure 3). Le sonomètre et les batteries étaient installés dans une valise étanche fermée au moyen d'un cadenas. Le microphone était maintenu à 1,4 m. de haut sur un mât stable. Ce dernier était installé à environ 5 m. du milieu de la bande de circulation analysée, pour les deux points de mesure. Au lancement et à la fin des mesures journalières, une calibration a été effectuée au moyen d'un calibre acoustique de classe 1⁴ (type CAL21 de la marque 01dB, niveau sonore de 94dB à 1 kHz) afin d'assurer une déviation inférieure à 0,5 dB lors des mesures.

² Ensemble des bruits présents en l'absence du ou des bruits étudiés

³ Classe 1 selon les spécifications de la norme IEC 61672-1

⁴ Classe 1 selon les spécifications de la norme IEC 60942



Figure 3 : Matériel de mesure acoustique à l'endroit de mesure BRU001a : microphone déporté avec sa boule anti-vent, mât et valise étanche.

L'indice acoustique mesuré est le niveau de pression équivalent pondéré A par périodes d'intégration de 100 ms $L_{Aeq,100ms}$, ainsi que son spectre en bandes de tiers d'octave sur les mêmes périodes. La période d'intégration a été choisie de manière à obtenir une dynamique suffisante pour repérer différents passages de véhicules proches.

3. SYNCHRONISATION ET ANALYSE DES MESURES

Le sonomètre utilisé était réglé temporellement, date et heure à la seconde près, par signal GPS et un ajustement était automatiquement réalisé lorsqu'il y a un décalage temporel avec les horloges des satellites GPS. Les différents matériels utilisés par Securoad (mesure de polluants, mesure de vitesse et d'accélération, enregistrement des plaques) étaient synchronisés entre eux mais indépendants du sonomètre.

Afin de synchroniser les deux jeux de données indépendants, un codage manuel a été réalisé au tout début et en toute fin de chaque mesure journalière de bruit avec transcription des plaques d'immatriculation sur une dizaine de véhicules. Les données fournies par Securoad comportaient pour chaque véhicule un identifiant unique (lié à la plaque) et l'heure enregistrée par leurs instruments. Les analyses ont donc pu se faire en réajustant les données du sonomètre grâce au calcul du décalage temporel constaté pour les véhicules codés manuellement.

La correspondance, via un codage, des données des sonomètres et des données de Securoad a dû être réalisée manuellement, minute après minute, étant donné les incertitudes qui pouvaient apparaître suite à un bruit résiduel trop important ou à de légers décalages temporels dus à des longueurs de véhicules différents (une moto versus un semi-remorque) ou à plusieurs passages de véhicules proches. En cas d'incertitude sur l'identité d'un passage ou de passages peu émergeant dans le signal acoustique (inférieur à 5 dB par rapport au bruit résiduel), il n'y a eu aucun codage.

Le codage des véhicules étant réalisé manuellement et les émergences dans le signal acoustique présentant des différences importantes en fonction de la succession ou non d'autres véhicules et du bruit résiduel, la durée des codages pouvait varier de moins d'une seconde à plusieurs secondes. C'est pourquoi notre choix d'indice acoustique pour caractériser un passage de véhicule s'est porté sur le niveau maximum des $L_{Aeq,100ms}$ codés pour ce passage, noté L_{Amax} . Les résultats qui suivent sont donc tous exprimés au départ des L_{Amax} .

RÉSULTATS

De nombreuses observations ont pu être tirées à la suite des mesures acoustiques du passage des véhicules étudiés. Cette section présente d'abord les journées sur lesquelles les différentes analyses ont été effectuées pour ensuite passer aux résultats acoustiques à proprement dit. Ces derniers sont partagés en sections en fonction des paramètres ou caractéristiques mis en avant.

1. PRÉLIMINAIRES

Des mesures acoustiques ont été réalisées au même moment que les mesures de Securoad les 15/10, 28/10 et 30/10/2020 pour le point de mesure BRU001 ; les 22/10, 23/10, 12/11 et 13/11/2020 pour le point de mesure BRU001A. Des problèmes de codage et de mesure ont empêché la bonne synchronisation de toutes les journées de mesure. Trois journées ont pu être synchronisées et analysées. Les informations concernant ces mesures sont données dans le Tableau 1 ci-dessous.

Tableau 1 : Informations générales relatives aux trois journées de mesure synchronisées.

Date	Jeudi 15/10/2020	Vendredi 23/10/2020	Vendredi 13/11/2020
Point de mesure	BRU001	BRU001A	BRU001A
Conditions météorologiques	Vitesse max du vent 5,4 m/s Pas de précipitations	Vitesse max du vent < 5 m/s Pas de précipitations, route humide	Vitesse max du vent < 5 m/s Légère pluie avant les mesures, route humide
Début de la mesure	09:05:38	11:24:05	09:59:05
Fin de la mesure	16:17:15	15:50:39	15:27:25
Calibration	Ok	Ok	Ok
Nombre de passages codés et corrélés	3 858	2 246	2 939

Ainsi, 9 043 passages de véhicules ont été identifiés et pour lesquels un L_{Amax} a pu être déterminé en plus de toutes les données fournies par Securoad. Une analyse rapide des vitesses, accélérations et, surtout, des niveaux L_{Amax} a montré que les trois jeux de données des trois jours de mesure synchronisés ne pouvaient pas être analysés en un seul et unique ensemble de données : il existe des différences notables entre les mesures réalisées le jeudi 15/10 à l'endroit BRU001 et celles, semblables entre elles, les vendredis 23/10 et 13/11 à BRU001A. La Figure 4 montre les médianes, les 1^{er} et 3^{ème} quartiles⁵ des niveaux L_{Amax} mesurés pour ces trois journées de mesure. Les médianes pour BRU001A sont semblables entre elles et statistiquement différentes à celle pour BRU001. Dès lors, les analyses qui suivent sont présentées en deux séries séparées : la série 1 pour le point BRU001 et la série 2 pour le point BRU001A.

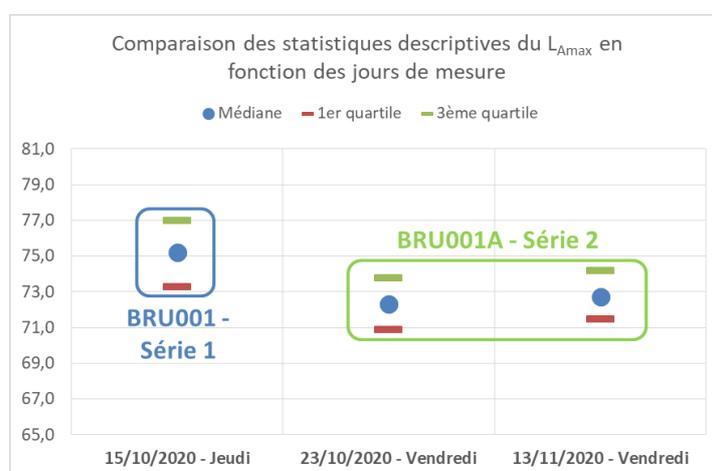


Figure 4 : Statistiques descriptives (médianes et 1^{er} et 3^{ème} quartiles) des niveaux L_{Amax} en dBA par journée de mesure.

⁵ Pour rappel, la valeur du 1^{er} quartile est dépassée par 75 % de l'ensemble des valeurs de la série, la médiane par 50 % et le 3^{ème} quartile par 25 %. L'intervalle définit entre le 1^{er} et le 3^{ème} quartile comprend la moitié des valeurs de la série.

Les différences observées dans les résultats de mesure entre les deux endroits BRU001 et BRU001A sont dues à des configurations de trafic en sortie de rond-point différentes (BRU001 présente un arrêt de bus, contrairement à BRU001A) et au matériel de mesure placé à des distances différentes de ces sorties. Ainsi les distributions des vitesses et des accélérations mesurées pour les deux séries de mesure définies (voir les graphiques de la Figure 5) montrent que les vitesses sont globalement plus élevées pour la série 1, mais les accélérations plus importantes pour la série 2.

Précisément :

- Série 1 (distributions bleues) : la **vitesse médiane est de 37,4 km/h** et 90 % des valeurs sont comprises dans l'intervalle [23,3 ; 48,0] km/h ; l'**accélération médiane est de 0,6 m/s²** et 90 % des valeurs sont comprises dans l'intervalle [-0,3 ; 1,4] m/s².
- Série 2 (distribution verte) : la **vitesse médiane est de 32,8 km/h** et 90 % des valeurs sont comprises dans l'intervalle [24,5 ; 41,0] km/h ; l'**accélération médiane est de 1,0 m/s²** et 90 % des valeurs sont comprises dans l'intervalle [0,3 ; 1,9] m/s².

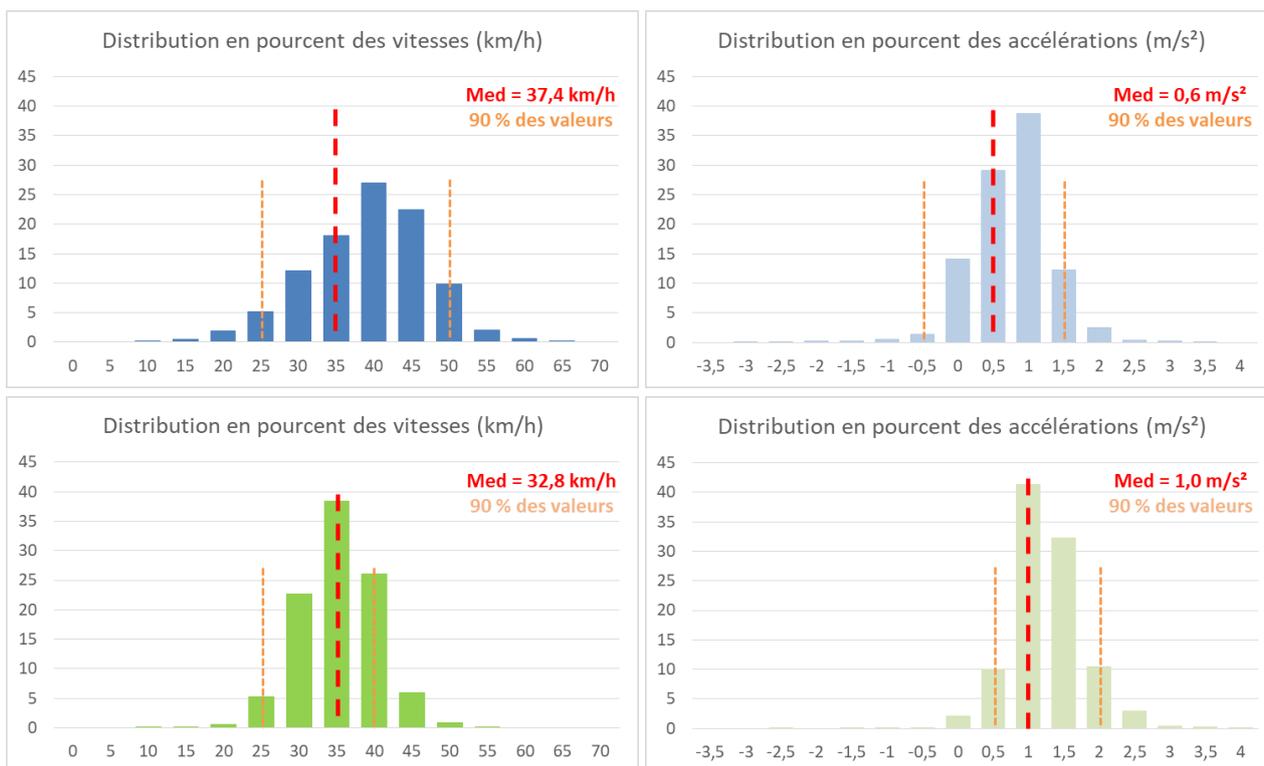


Figure 5 : Distribution (%) des vitesses par pas de 5 km/h pour la série 1 (dessus à droite) et pour la série 2 (dessous à droite) ainsi que les distributions (%) des accélérations par pas de 0,5 m/s² pour la série 1 (dessus à gauche) et pour la série 2 (dessous à droite).

Les résultats des mesures acoustiques présentés ci-après sont donc des résultats pour des **passages de véhicules en sortie de rond-point, en vitesse modérée et en accélération**.

2. RÉSULTATS ACOUSTIQUES GLOBAUX

Le graphique de la Figure 6 représente la distribution en pourcents des niveaux L_{Amax} par pas de 2 dBA pour les deux séries de mesure. La médiane des L_{Amax} pour la série 1 est de 75,3 dBA et 90 % des passages sont compris entre 70 et 81 dBA. Elle est de 72,6 dBA pour la série 2 et 90 % des passages sont compris entre 69 et 77 dBA. Sur l'échelle des niveaux sonores, 70 dBA est considéré comme bruyant et 80 dBA comme très bruyant.

La série 1, caractérisée par des niveaux plus importants, est celle aussi pour laquelle des vitesses plus grandes ont été mesurées, alors que les accélérations étaient moins importantes que pour la série 2. L'analyse des niveaux en fonction de ces deux paramètres mérite qu'on s'y attarde (cf. section suivante).

En termes de composantes fréquentielles des passages de véhicules, aucune émergence particulière n'apparaît comme le montre les deux graphiques de la Figure 7 sur lesquels sont tracés les niveaux statistiques

L_{A10} , L_{A75} , L_{A50} , L_{A25} et L_{A90} ⁶ en fonction des bandes de tiers d'octave pour les deux séries. Le bruit des véhicules peut être caractérisé comme un bruit à large bande spectrale dont les composantes principales se situent entre 400 Hz et 3150 Hz.

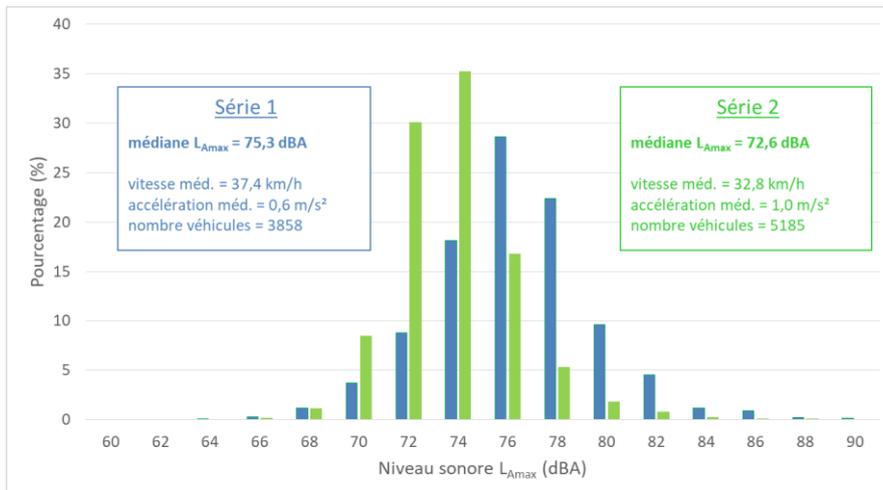


Figure 6 : Distributions en pourcents des niveaux sonores maximaux des passages de véhicules par classe de 2 dBA pour les deux séries de mesure.

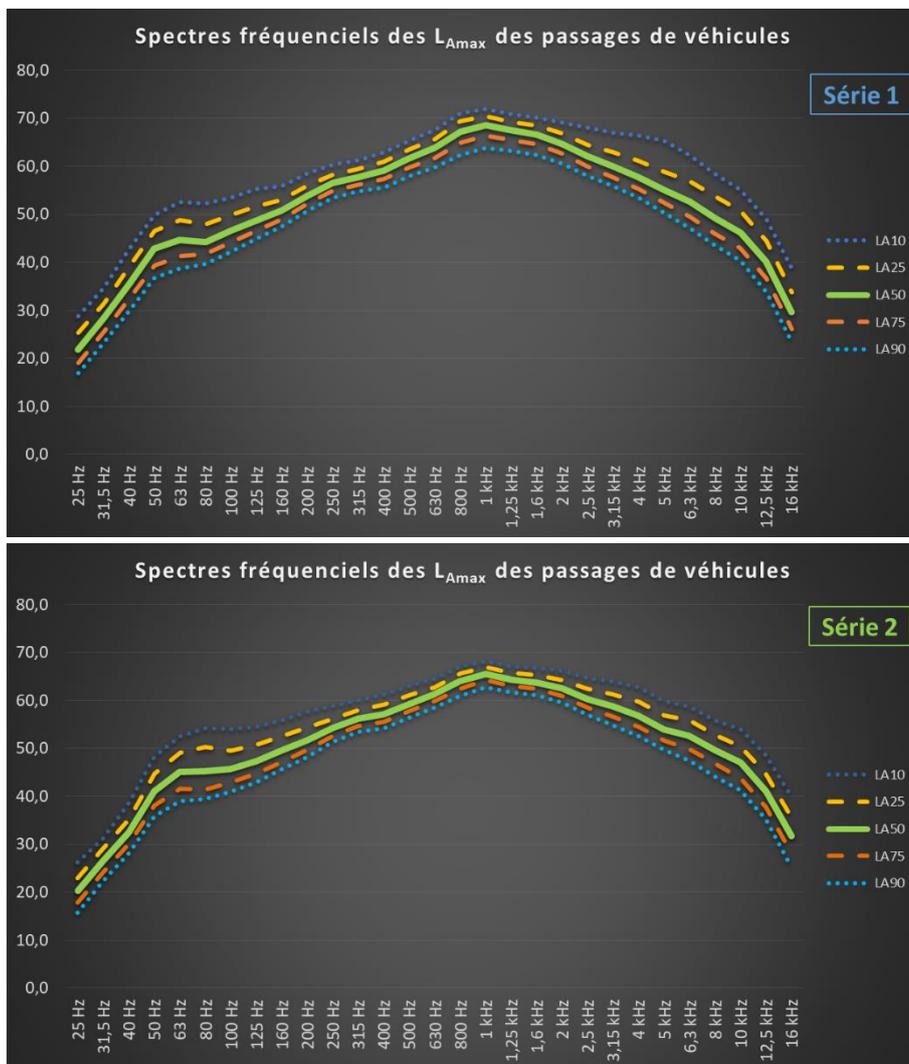


Figure 7 : Spectres en bandes de tiers d'octave des niveaux statistiques L_{A10} , L_{A75} , L_{A50} , L_{A25} et L_{A90} calculés sur l'ensemble des spectres de chaque passage de véhicules pour les deux séries de mesure.

⁶ Dans cette étude, le niveau statistique L_{Ax} est le niveau qui sera dépassé x % du temps par l'ensemble des L_{Amax} . Le L_{A50} est le niveau médian et 80 % des L_{Amax} seront compris entre les niveaux L_{A90} et L_{A10} .



3. INFLUENCE DE LA VITESSE ET DE L'ACCÉLÉRATION DES VÉHICULES

Les graphiques de la Figure 8 permettent de se rendre compte de la corrélation qu'il existe entre la vitesse et l'accélération des véhicules d'une part et le niveau sonore L_{Amax} mesuré pour les deux séries d'autre part. Sur chaque graphique apparaissent l'équation de la droite de régression linéaire ainsi que le coefficient de corrélation linéaire au carré, R^2 , dont la valeur donne une idée de la qualité de la prédiction par régression.

Le niveau L_{Amax} est nettement corrélé avec la vitesse des véhicules pour la série 1, série qui est caractérisée par des vitesses plus importantes (médiane à 37,4 km/h) et des accélérations moindres que la série 2. Cette dépendance à la vitesse est la signature d'un bruit de roulement (bruit produit par le contact pneu - route) prépondérant dans le bruit mesuré.

Le niveau L_{Amax} de la série 2 est un peu mieux corrélé à l'accélération par rapport à la vitesse. La série 2 présente des vitesses moins élevées (médiane à 32,8 km/h) et des accélérations plus grandes que la série 1, le premier bruit est par conséquent le bruit issu du moteur.

En conséquence, la diminution de vitesse est donc efficace pour réduire le bruit des véhicules à moins d'être sous les 30 km/h, vitesse à partir de laquelle l'accélération, et donc le comportement au volant et le type de véhicules, influence principalement le bruit produit.



Figure 8 : Niveaux L_{Amax} en fonction de la vitesse (à gauche) ou en fonction de l'accélération (à droite) pour la série 1 (dessus) et la série 2 (dessous). Pour chaque graphique, l'équation de la droite de régression est donnée ainsi que le R^2 .

Au vu de l'influence de la vitesse et de l'accélération des véhicules sur le niveau sonore, il est nécessaire d'avoir toujours une idée de la distribution de ces deux paramètres lors de l'analyse de l'influence d'autres paramètres, telle que présentée ci-après.

4. INFLUENCE DE LA CATÉGORIE DES VÉHICULES

L'influence de la catégorie des véhicules sur le niveau L_{Amax} peut être décelée par observation de la distribution des niveaux pour ces catégories. Les distributions en pourcent pour les deux séries et par pas de 2 dBA sont tracées à la Figure 9.

Pour la série 1, les voitures particulières (catégorie M1 en rouge) et les utilitaires et camionnettes (N1 en mauve) ont des distributions similaires et des médianes proches (0,6 dBA de différence). Les motos (L3e en

bleu) ont quant à elle une distribution décalée vers des niveaux sonores plus importants avec une médiane à +3,6 dBA par rapport aux voitures, tout comme les bus et cars (M3 en vert) à +3,5 dBA et les camions de plus de 3,5 tonnes (N2 en jaune et N3 en gris) à +6,7 dBA.

Les constats sont similaires pour la série 2 avec toutefois des écarts plus importants entre les médianes des L_{Amax} par catégorie par rapport à celle de la catégorie des voitures (M1) :

- +1,4 dBA pour les camionnettes (N1),
- +4,4 dBA pour les motos (L3e),
- +4,3 dBA pour les cars et bus (M3),
- +8,2 dBA pour les camions entre 3,5 et 12 tonnes (N2).

A noter que cette dernière catégorie ne comporte que douze véhicules qui ont été validés (faiblesse statistique). D'autres catégories étaient présentes mais en nombres encore inférieurs et ne sont donc pas représentées ici.

Un coup d'œil aux statistiques descriptives des vitesses et accélérations par catégories de véhicules pour les deux séries de mesure (les graphiques ont été placés à la Figure 16 de l'annexe A pour plus de clarté dans le corps du texte) montre des vitesses nettement inférieures pour les catégories de bus et cars (M3) et des camions intermédiaires (N2). Etant donné la dépendance du niveau sonore avec la vitesse des véhicules, les écarts de niveaux avec la catégorie des voitures (M1) seraient encore plus grands pour des vitesses similaires.

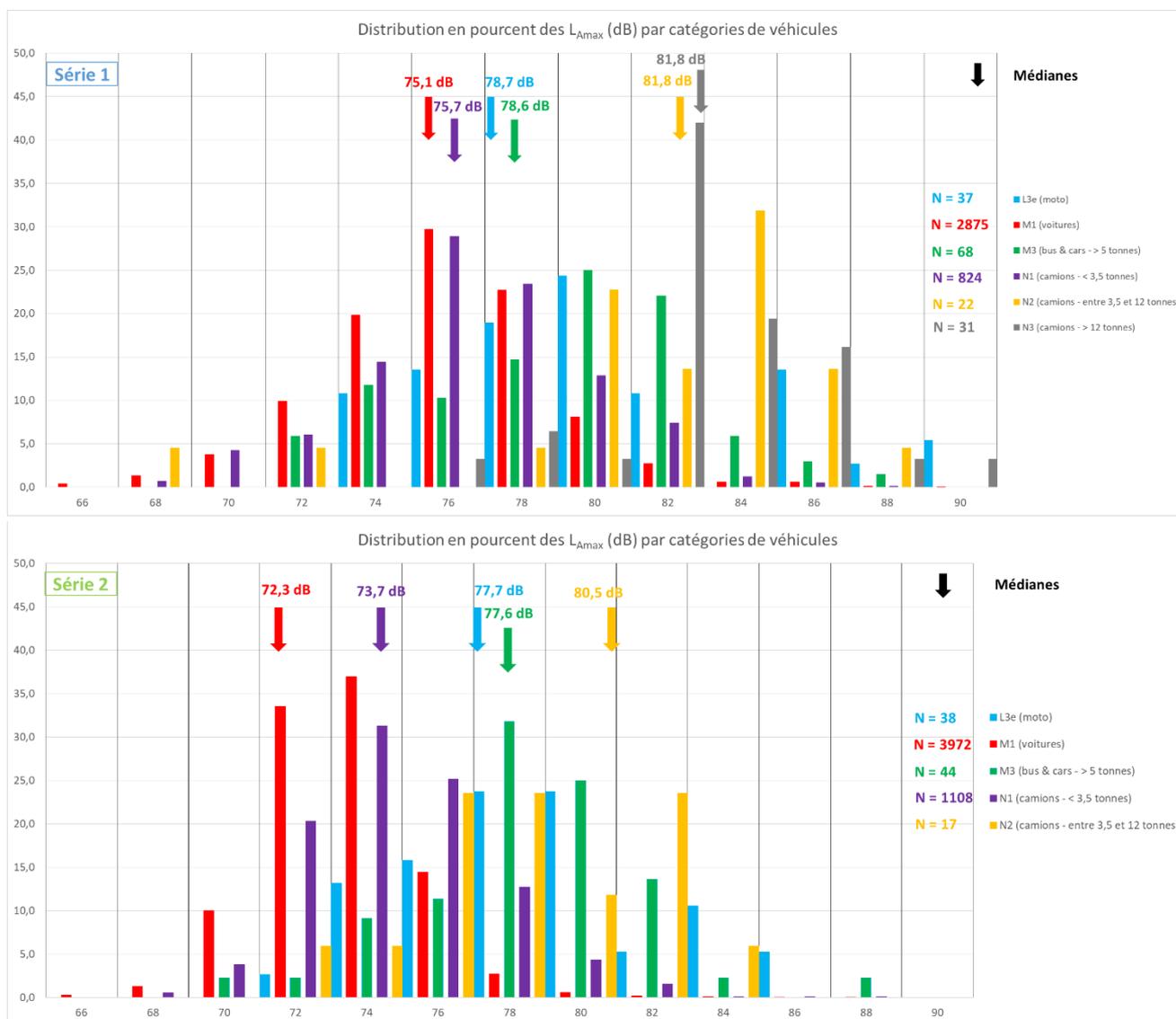


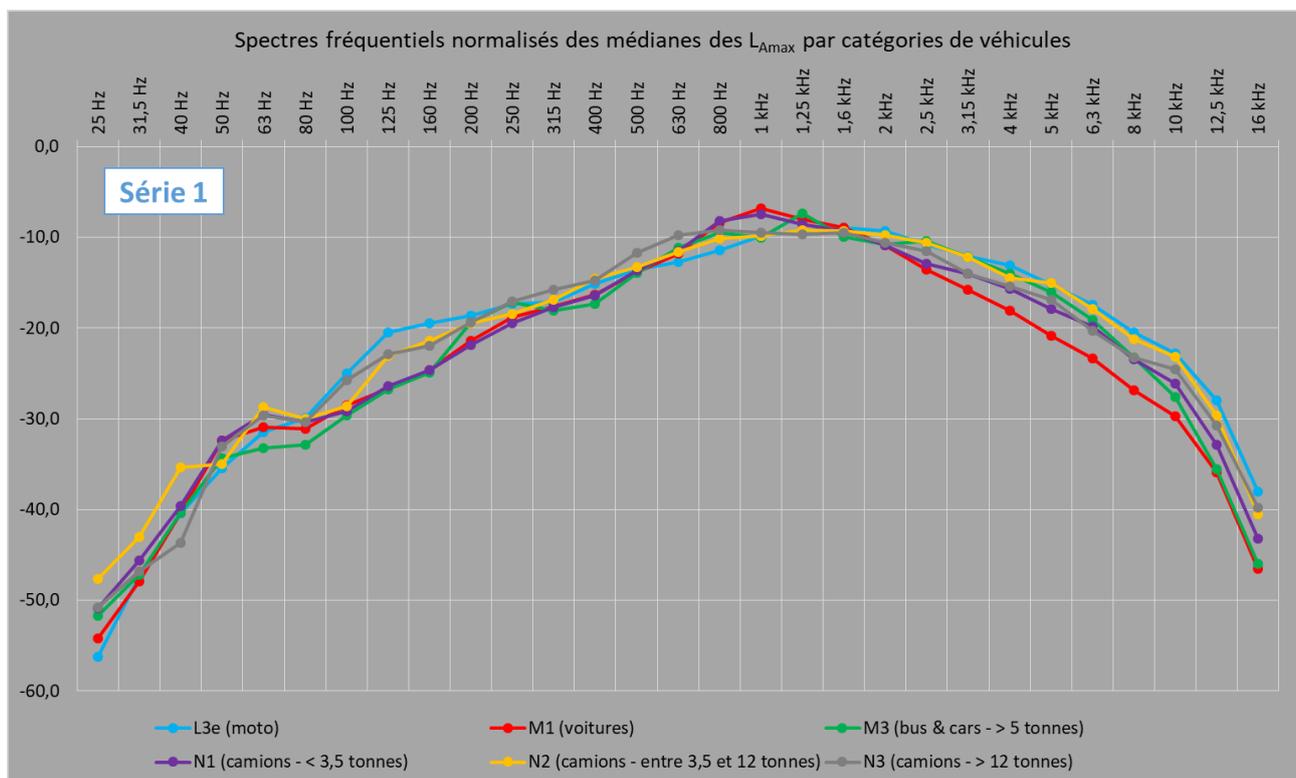
Figure 9 : Distribution pour la série 1 (dessus) et la série 2 (dessous) des niveaux L_{Amax} par pas de 2 dBA pour les différentes catégories de véhicules. Le nombre de véhicules par catégorie est précisé sur les graphiques ainsi que la valeur de la médiane (flèches verticales).

Le Tableau 2 reprend pour les deux séries d'une part le pourcentage des catégories représentées sur l'ensemble des véhicules identifiés et, d'autre part, le pourcentage des catégories représentées sur les véhicules particulièrement bruyants – dont le niveau sonore est supérieur ou égal à la médiane + 10 dBA. Pour la série 1, il s'agit des véhicules dont le $L_{Amax} \geq 85,3$ dBA (24 véhicules) ; pour la série 2, les véhicules dont le $L_{Amax} \geq 82,6$ dBA (13 véhicules). La catégorie L3e (motos) contient dans les deux cas une part importante des véhicules les plus bruyants alors qu'ils sont peu représentés initialement sur l'ensemble des véhicules. Dans une moindre mesure, les catégories des véhicules lourds (M3, N2 et N1) sont surreprésentées dans les véhicules bruyants.

Tableau 2 : Pourcentages de présence des catégories de véhicules sur l'ensemble des véhicules identifiés (1^{ère} colonne) et sur les véhicules particulièrement bruyants - ayant un L_{Amax} supérieur à la médiane + 10 dBA (2^{ème} colonne).

	Série 1		Série 2	
	% catégories sur tous les véhicules identifiés	% catégories sur tous les véhicules avec $L_{Amax} \geq$ Médiane + 10 dBA	% catégories sur tous les véhicules identifiés	% catégories sur tous les véhicules avec $L_{Amax} \geq$ Médiane + 10 dBA
L3e (motos)	0,96	25,00	0,73	38,46
M1 (voitures)	74,54	45,83	76,69	30,77
M3 (bus & cars)	1,76	4,17	0,85	7,69
N1 (camions < 3,5 tonnes)	21,36	8,33	21,39	15,38
N2 (camions entre 3,5 et 12 tonnes)	0,57	8,33	0,33	7,69
N3 (camions > 12 tonnes)	0,80	8,33	/	/

La Figure 10 ci-dessous présente les spectres en bandes de tiers d'octave par catégories de véhicules pour les deux séries de mesure. Les spectres ont été calculés sur base des médianes des L_{Amax} et ont été normalisés à 0 dBA afin de mettre en évidence des bruits particuliers sans influence du niveau sonore global. Aucun spectre n'est caractérisé par une émergence fréquentielle particulière. Les utilitaires et camionnettes (N1) ont un spectre semblable aux voitures (M1) mais avec des niveaux toujours plus élevés en hautes fréquences (bruits aigus) à partir de 2,5 kHz. Les motos (L3e) et dans une moindre mesure les camions (N2 et N3) ont un spectre plus large que les voitures et une élévation nette des niveaux sonores à partir des basses fréquences autour de 100 Hz (bruits graves).



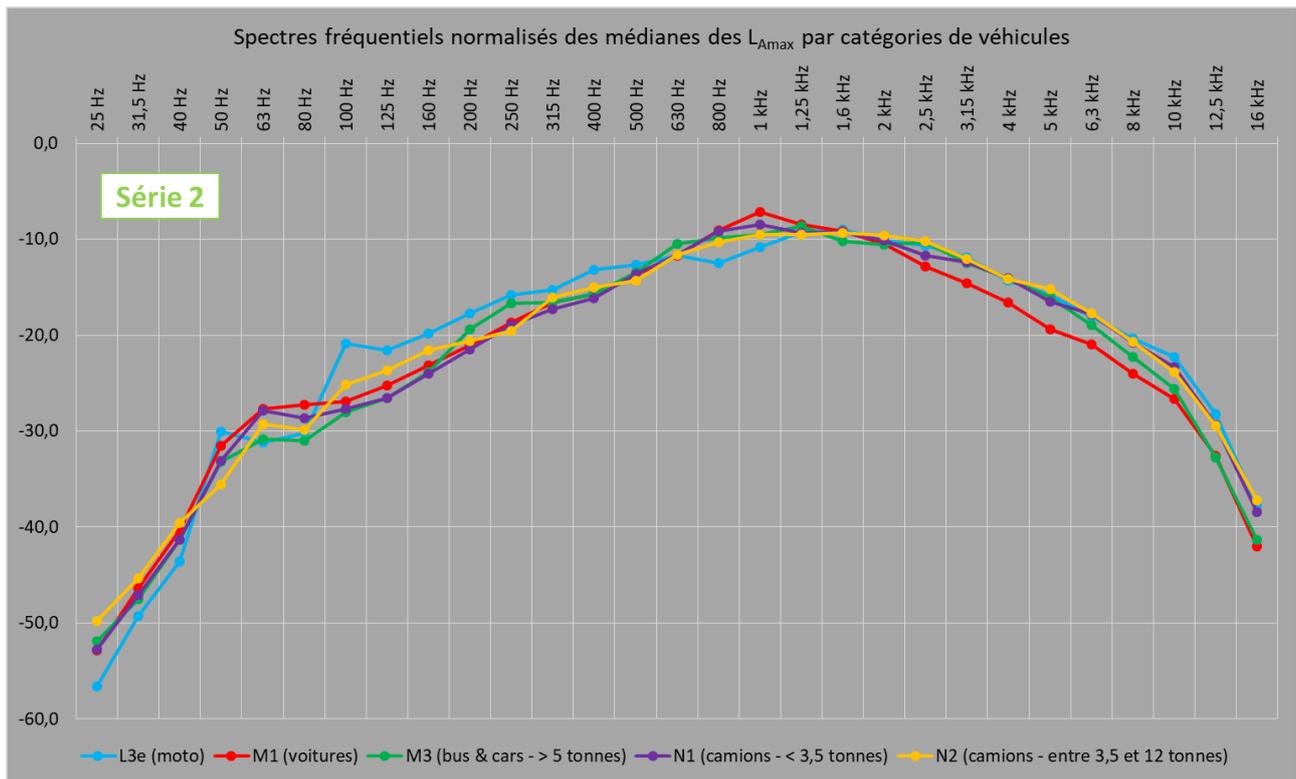


Figure 10 : Spectres normalisés en bandes de tiers d'octave par catégories de véhicule pour la série 1 (gauche) et la série 2 (droite).

5. INFLUENCE DU TYPE DE MOTEUR DES VÉHICULES

Les distributions en pourcent des niveaux L_{Amax} par types de véhicules par pas de 2 dBA et pour les deux séries sont tracées à la Figure 11. Quatre types de véhicules y sont représentés (véhicules à essence, au diesel, électriques et hybrides), les véhicules LPG et CNG étant trop peu nombreux, ils ne sont donc pas pris en compte.

Pour la série 1, des distributions très semblables et des médianes proches sont observées : 74,3 dBA (électrique) < 74,9 dBA (essence) < 75,1 dBA (hybride) < 75,5 dBA (diesel). C'est-à-dire que l'écart entre les différentes médianes est de maximum 1,2 dBA, ce qui, en termes auditifs ou de sensations sonores, est une différence très difficilement perceptible.

Pour la série 2, le constat est similaire mais dans un ordre différent pour ce qui est de la valeur des médianes et avec des écarts plus importants : 71,7 dBA (hybride) < 71,8 dBA (essence) < 72,9 dBA (diesel) < 73,6 dBA (électrique) et donc un écart de 1,9 dBA.

Les véhicules à essence présentent des niveaux légèrement inférieurs aux véhicules roulant au diesel. Ce constat est identique aux deux séries et corroboré sur un très grand nombre de véhicules (plusieurs milliers).

Les véhicules hybrides, grâce à l'analyse de leurs émissions de particules, montrent des fonctionnements en partie thermique, en partie électrique, suivant le véhicule. Dans ce deuxième cas, comme pour les véhicules électriques, il apparaît étonnant que les niveaux sonores ne soient pas plus bas, ces véhicules étant réputés silencieux car sans moteur à explosion. D'autant plus pour la série 2, influencée en premier par un bruit de moteur, mais dont la médiane pour les véhicules électriques est la plus élevée.

Les graphiques des vitesses et accélérations par types de véhicules (Figure 17 à l'annexe A) ne sont pas caractérisés par des différences qui pourraient expliquer une influence d'un de ces deux paramètres. La distribution des niveaux sonores de la série 2 pour les véhicules électriques présente une remontée à la classe de 80 dBA et un pourcentage aux classes de niveaux sonores plus élevés qui influencent vers le haut la valeur de la médiane. Une des explications possibles est que ces classes sont composées de véhicules électriques « sportifs » de grande puissance (Tesla et Porsche). De manière générale, le nombre de véhicules « sportifs » est majoritaire pour les véhicules électriques, ce qui n'est pas le cas pour les véhicules à essences ou au diesel. Ces véhicules sont caractérisés par une puissance et une masse plus importantes, ce dernier facteur

ayant une influence sur le bruit de roulement émis. De plus, certains constructeurs automobiles ajoutent des bruits supplémentaires à leurs véhicules lors de leur accélération pour donner l'impression d'accélération des véhicules à moteurs thermiques⁷. Ces différents éléments pourraient expliquer les constats réalisés lors de l'analyse des véhicules électriques. Ce type de véhicules étant toutefois peu représentés (26 et 21 véhicules), des mesures sur un nombre plus importants de véhicules électriques seraient nécessaires pour confirmer ces résultats et hypothèses.

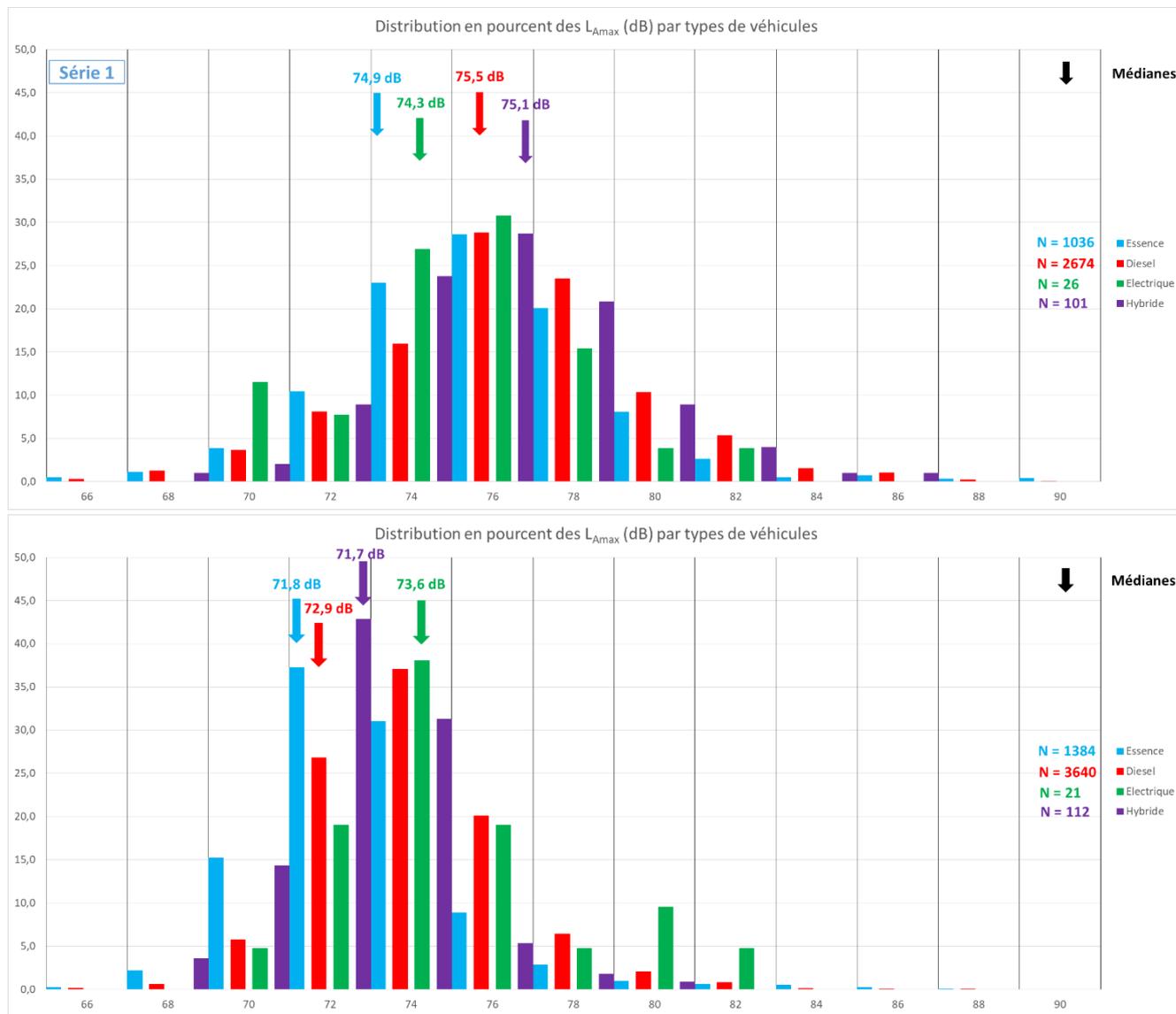


Figure 11 : Distribution pour la série 1 (dessus) et la série 2 (dessous) des niveaux L_{Amax} par pas de 2 dBA pour les différents types de véhicules. Le nombre de véhicules par catégorie est précisé sur les graphiques ainsi que la valeur de la médiane (flèches verticales).

La Figure 12 montre les spectres normalisés en bandes de tiers d'octave par types de véhicules pour les deux séries de mesure. Dans les bandes de fréquences dominantes (400 Hz à 2,5 kHz), il n'y a pas de différences notables. Seuls apparaissent pour les véhicules électriques des composantes moins élevées en très basses fréquences par rapport aux autres types de véhicules et un comportement en haute fréquence différencié entre les deux séries.

⁷ Ce bruit est un bruit supplémentaire au bruit artificiel imposé aux fabricants pour des questions de sécurité des autres usagers lorsque les véhicules électriques se déplacent à faible vitesse.

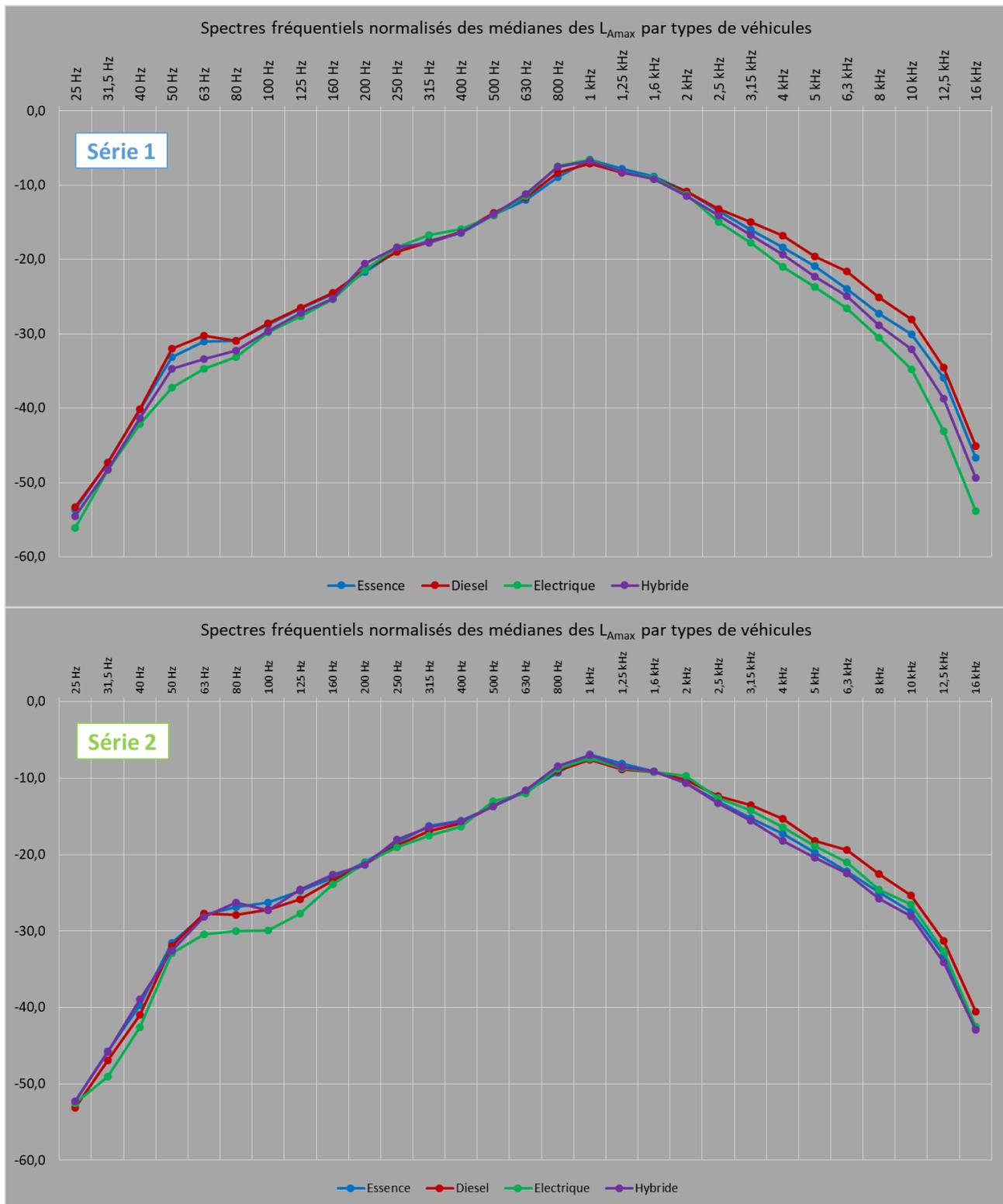


Figure 12 : Spectres normalisés en bandes de tiers d'octave par types de véhicule pour la série 1 (gauche) et la série 2 (droite).

6. INFLUENCE DE LA NORME EURO ET DE L'ÂGE DES VÉHICULES

La norme européenne d'émission (norme Euro) d'un véhicule fixe les limites maximales de rejets polluants (gaz et particules fines), ces limites étant devenues plus strictes avec les années. En s'intéressant aux émissions sonores des véhicules en fonction de leur norme Euro, peu de différences sont constatées comme le montre les distributions en pourcent des L_{Amax} par normes Euro et pour les deux séries (voir Figure 13). En effet, les distributions sont très similaires et les médianes proches : l'écart maximum entre les médianes pour la série 1 est de 1,6 dBA et pour la série 2 de 1,2 dBA. Les vitesses et accélérations par normes Euro ne présentant pas

de différences statistiques (voir Figure 18 de l'annexe A), l'amélioration des véhicules en termes de polluants atmosphériques n'a pas été de pair avec une nette amélioration en termes d'émissions sonores.

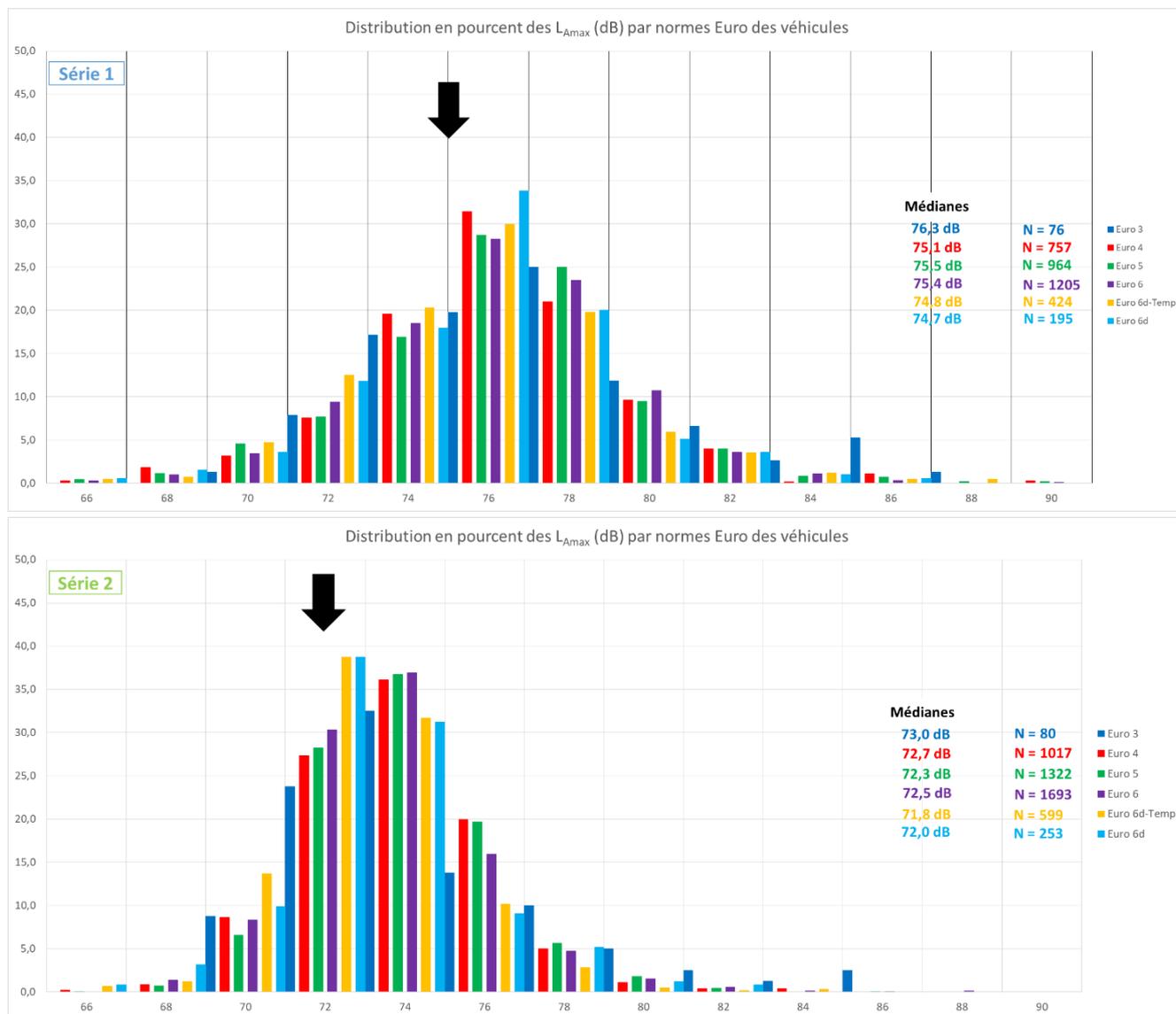


Figure 13 : Distribution pour la série 1 (dessus) et la série 2 (dessous) des niveaux L_{Amax} par pas de 2 dBA pour les différentes normes Euro de véhicules. Le nombre de véhicules par catégorie est précisé sur les graphiques ainsi que la valeur de la médiane (flèche verticale).

Une manière plus fine d'appréhender ce constat est d'analyser les niveaux sonores en fonction de l'année de mise en circulation des véhicules, les différentes normes Euro étant imposées en fonction de ces années. Les graphiques de la Figure 14 montrent cette évolution pour les deux séries, avec en orange la médiane pour chaque année. Ici aussi les écarts maximaux entre médianes sont réduits : 1,7 dBA pour la série 1 et 1,3 dBA pour la série 2. De plus, le coefficient de corrélation linéaire de chacune entre le L_{Amax} et l'année de mise en circulation tend vers 0 (-0,0077 pour la série 1 et -0,028 pour la série 2), ce qui signifie qu'une variation de l'année de mise en circulation ne va pas de pair avec une variation du niveau sonore.

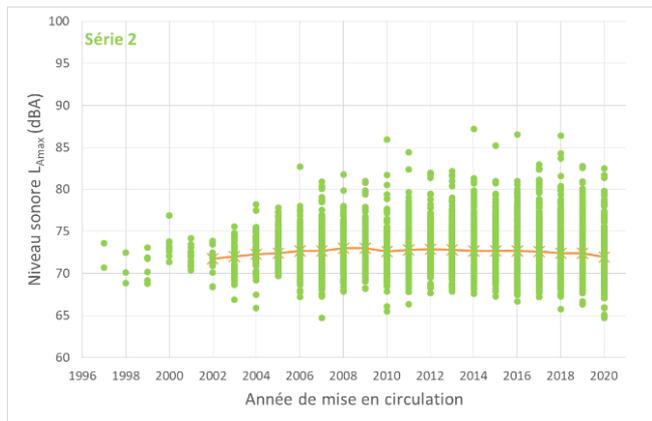
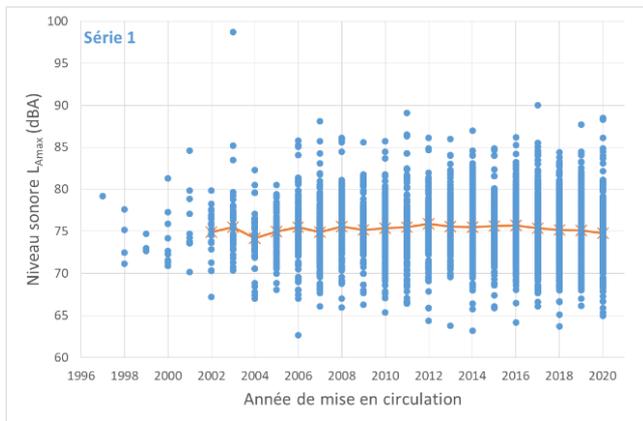


Figure 14 : Niveaux sonores L_{Amax} en fonction de l'année de mise en circulation des véhicules pour les deux séries de mesure. Les croix orange reliées entre elles représentent la médiane des L_{Amax} pour chaque année.

7. INFLUENCE DE LA MASSE ET DE LA PUISSANCE DES VÉHICULES

Les derniers paramètres étudiés sont la puissance des véhicules et leur masse à vide en ordre de marche⁸. Les graphiques pour les niveaux L_{Amax} en fonction de ces deux paramètres (puissance à gauche, masse à droite) pour les deux séries (série 1 en haut, série 2 en bas) sont tracés à la Figure 15. La présence de nombreux véhicules de type voiture particulière standard donne sur les graphiques des concentrations importantes de points autour de 100 kW (pour la puissance) ou 2000 kg (pour la masse à vide en ordre de marche) et trop peu à des valeurs plus importantes pour voir apparaitre une évolution claire et marquée, même si la tendance est à l'augmentation des niveaux sonores en fonction de ces deux paramètres.

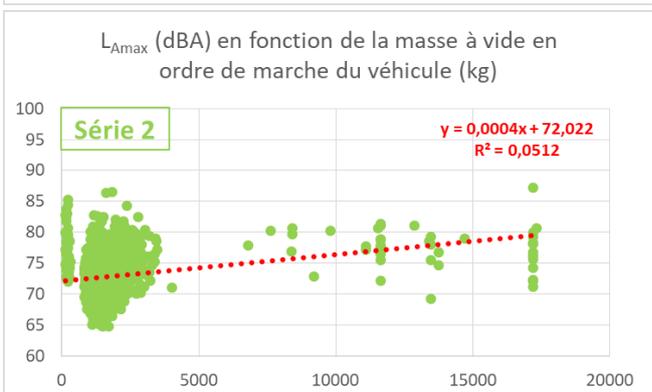
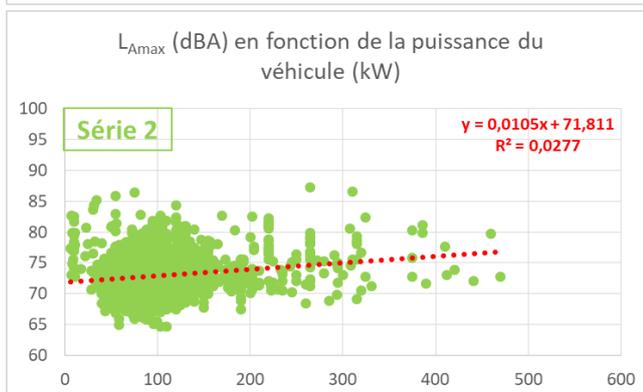
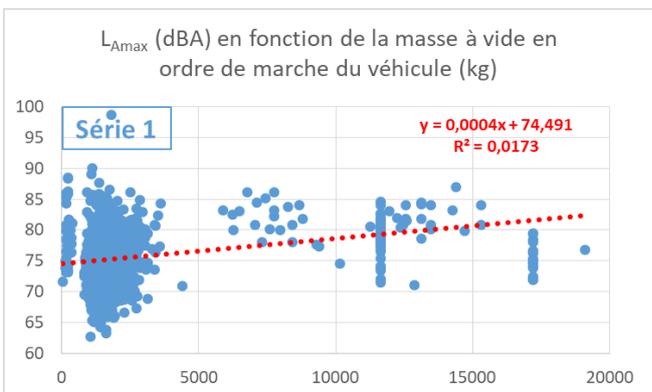
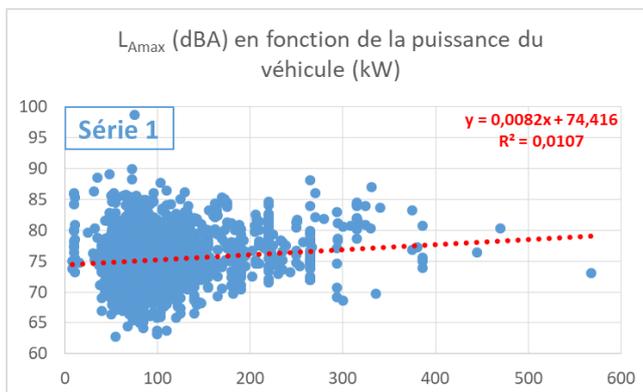


Figure 15 : Niveaux L_{Amax} en fonction de puissance du véhicule (à gauche) ou en fonction de la masse à vide (à droite) pour la série 1 (dessus) et la série 2 (dessous). Pour chaque graphique, l'équation de la droite de régression est donnée ainsi que le R^2 .

⁸ Masse du véhicule incluant les consommables (dont le carburant), les fluides fonctionnels, les outillages et une personne qui conduit le véhicule (sauf catégorie M1).

SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

La campagne de mesure TRUE réalisée en automne 2020 a permis au Service Données Bruit de Bruxelles Environnement de réaliser une campagne de mesure acoustique du bruit routier pour lequel chaque véhicule pouvait être caractérisé dans son déplacement (vitesse et accélération) et ses attributs (types de moteur, catégorie de véhicule, masse, puissance, etc.). Deux points de mesure ont été utilisés et ont permis l'analyse de deux séries de données de plusieurs milliers de véhicules. Le bruit des véhicules a été mesuré en sortie de rond-point, en vitesse modérée, majoritairement entre 30 et 40 km/h, et en accélération. Chaque passage a été caractérisé par son niveau maximal L_{Amax} .

Dans ces conditions, les analyses menées mettent en évidence l'influence ou non de différents paramètres :

- La vitesse est le premier facteur influençant le niveau sonore. Réduire la vitesse de son véhicule diminue le bruit de roulement émis. A vitesse plus faible, l'accélération devient prépondérante et le bruit de moteur, lié au comportement du conducteur, prend le dessus dans le bruit total. Le passage généralisé à la zone 30 en Région de Bruxelles-Capitale est donc bénéfique d'un point de vue des émissions sonores.
- La catégorie dans laquelle appartiennent les véhicules a son influence sur les niveaux sonores :
 - Un utilitaire ou une camionnette (N1) = une voiture (M1) + 1 dBA
 - Une moto (L3e) = une voiture (M1) + 4 dBA
 - Un bus ou un car (M3) \geq une voiture (M1) + 4 dBA
 - Un camion de +3,5 tonnes (N2 et N3) \geq une voiture (M1) + 7,5 dBA

La catégorie des motos (L3e) est la catégorie dont la représentation dans l'ensemble des véhicules augmente le plus lors de l'identification des véhicules les plus bruyants.

- Les types de moteur, thermique, hybride et électrique, n'ont que peu d'influence dans les niveaux sonores. Les véhicules roulant à l'essence sont légèrement moins bruyants que ceux au diesel, de l'ordre de 1 dBA ou moins, ce qui n'est pas auditivement perceptible. Les véhicules électriques (ou hybrides en mode électrique) ne montrent pas des niveaux nettement inférieurs, mais plutôt des niveaux équivalents voire supérieurs. Plusieurs hypothèses ont été avancées pour expliquer ce constat inattendu : masse des véhicules plus importante, proportion de véhicules « sportifs » plus élevée que pour les véhicules à moteur thermique, addition de bruits artificiels. Une étude complémentaire centrée sur les véhicules électriques paraît indispensable.
- La norme Euro ou l'année de mise en circulation des véhicules n'a pas d'influence (ou très faiblement) sur les niveaux sonores mesurés. L'évolution des véhicules avec les années, certaine en ce qui concerne la réduction des émissions de polluants atmosphériques, ne va pas de pair avec une réduction des niveaux sonores. La mise en œuvre de la LEZ ne devrait donc pas apporter une amélioration quant aux émissions sonores.
- L'augmentation de la masse à vide en ordre de marche et/ou de la puissance des véhicules donne des véhicules plus bruyants, mais difficilement quantifiables par cette étude.

L'analyse spectrale des niveaux sonores en bandes de tiers d'octave montrent que le bruit routier est un bruit à large bande spectrale compris principalement entre 400 Hz et 3 150 Hz. La catégorie de véhicules fait apparaître quelques différences dans les spectres : plus étendus en hautes et basses fréquences, notamment vers 100 Hz, pour les motos et les camions par rapport aux voitures particulières. Aucune émergence particulière ou bruit spécifique n'a été mis en évidence, globalement ou en fonction des paramètres étudiés.

Les résultats de cette étude montrent tout l'intérêt d'analyser plus finement le bruit routier, de ne plus considérer celui-ci comme produit par un flot de véhicules, mais comme le résultat d'un nombre important de véhicules individuels, chacun avec ses caractéristiques. Cette campagne montre aussi la difficulté qu'il existe de réaliser cette analyse avec un sonomètre classique qu'il est nécessaire de synchroniser avec d'autres instruments de mesure. De cette manière, un codage manuel chronophage doit encore être réalisé pour identifier chaque passage dans les traces acoustiques. De ce point de vue, le développement actuel des « radars » acoustiques a tout son intérêt.



ANNEXE A

1) Statistiques descriptives des vitesses et des accélérations pour les deux séries par catégories de véhicules



Figure 16 : Statistiques descriptives des vitesses (à gauche) et des accélérations (à droite) pour la série 1 (dessus) et la série 2 (dessous) par catégories de véhicules : L3e (motos), M1 (voitures), M3 (bus & cars > 5 tonnes), N1 (camions < 3,5 tonnes), N2 (camions entre 3,5 et 12 tonnes) et M3 (camions > 12 tonnes).

2) Statistiques descriptives des vitesses et des accélérations pour les deux séries par types de moteur



Figure 17 : Statistiques descriptives des vitesses (à gauche) et des accélérations (à droite) pour la série 1 (dessus) et la série 2 (dessous) par types de moteur des véhicules : essence, diesel, électrique et hybride.

3) Statistiques descriptives des vitesses et des accélérations pour les deux séries par normes Euro des véhicules



Figure 18 : Statistiques descriptives des vitesses (à gauche) et des accélérations (à droite) pour la série 1 (dessus) et la série 2 (dessous) par normes Euro des véhicules : **Euro 3**, **Euro 4**, **Euro 5**, **Euro 6**, **Euro 6d-Temp** et **Euro 6d**.

INFO



bruxelles
environnement
.brussels 

02 775 75 75

WWW.BRUXELLESENVIRONNEMENT.BE

Rédaction : Benoît Fauville

Comité de lecture : Catherine Lecointre, Fabienne Saelmackers

E-mail : bruit.autorisations@environnement.brussels

Ed. Resp. : F. Fontaine et B. Dewulf – Av du Port 86C/3000- 1000 Bruxelles