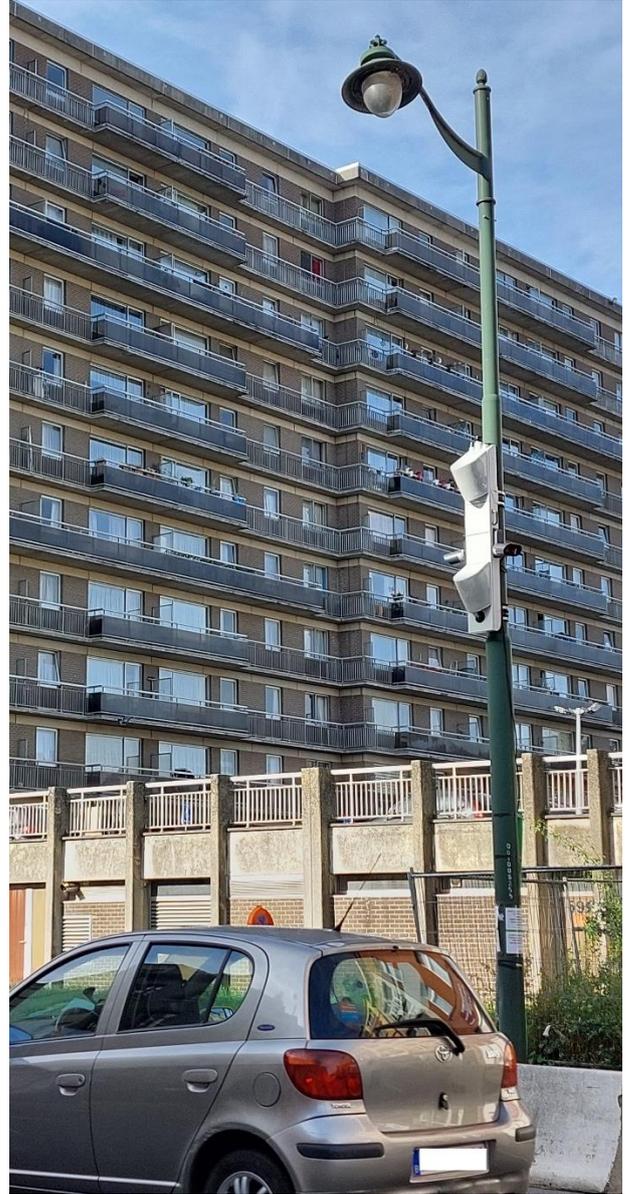


EXPÉRIMENTATION DE DEUX RADARS SONORES EN RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE



FEVRIER 2024

EXPÉRIMENTATION DE DEUX RADARS SONORES EN RÉGION DE BRUXELLES-CAPITALE

Introduction	4
Méthodologie	6
1. Choix des sites de mesure.....	6
2. Mesures acoustiques	8
2.1 Radar dBFlash : localisation 1, avenue Louis Bertrand, Schaerbeek.	8
2.2 Radar Hydre : localisation 2, Chaussée de Mons, Anderlecht.	10
3. Synchronisation et Analyse des mesures	12
Résultats	13
1. Préliminaires	13
2. Analyse des données du radar dBFlash, avenue Louis Bertrand	14
2.1 Résultats acoustiques globaux	14
2.2 Influence de la vitesse des véhicules.....	15
2.3 Influence de la catégorie des véhicules.....	16
2.4 Influence du type de moteur des véhicules	18
2.5 Influence de l'âge des véhicules	20
2.6 Influence de la masse et de la puissance des véhicules	20
3. Analyse données du radar Hydre, Chaussée de Mons	21
3.1 Résultats acoustiques globaux	21
3.2 Influence de la vitesse des véhicules.....	22
3.3 Influence de la catégorie des véhicules.....	23
3.4 Influence du type de moteur des véhicules	25
3.5 Influence de l'âge des véhicules	27
3.6 Influence de la masse et de la puissance des véhicules	27
Synthèse et perspectives	28
Annexe A	30
Annexe B	31

CONTENU

Le présent rapport porte sur l'évaluation des émissions sonores des véhicules motorisés mesurés au moyen de deux radars sonores installés en Région de Bruxelles-Capitale au printemps et à l'automne 2023.

Ce rapport est construit de la manière suivante :

L'introduction : le contexte général de la lutte contre bruit en Région de Bruxelles-Capitale (RBC dans la suite de ce document) 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 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 en partenariat avec des concepteurs de radars sonores, MicrodB et Bruitparif, afin d'évaluer le niveau sonore de plusieurs milliers de véhicules circulant en Région de Bruxelles-Capitale et ce à des fins expérimentales.

PUBLIC-CIBLE

Tout public intéressé par les émissions sonores des véhicules.



INTRODUCTION

Une campagne de mesures intitulée The Real Urban Emissions (TRUE) a été réalisée à l'automne 2020 en RBC (campagne dite « REMOTE SENSING »¹). Simultanément aux mesures de rejets polluants atmosphériques, le service données bruit de Bruxelles Environnement (BE dans la suite du document) à l'aide de sonomètres de précision standard, avait réalisé des mesures des niveaux sonores aux passages des véhicules (cf. rapport²). L'intérêt de cette campagne résidait 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 à l'époque 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 pouvoir identifier quel type de véhicules est potentiellement plus bruyant ou moins bruyant : les stations de mesures permanentes actuellement installées en RBC mesurent les niveaux de bruit globaux produits pour l'ensemble des véhicules passant à proximité de la station.

Dans la continuité de cette précédente campagne Remote Sensing, BE s'est intéressé aux nouvelles technologies émergentes des radars anti-bruit ou radars sonores, plus précis et surtout plus autonomes dans la détection de véhicules bruyants en comparaison aux sonomètres classiques nécessitant plus d'opérations manuelles. Il s'agissait de voir dans quelle mesure cette technologie automatisée pourrait s'appliquer dans un milieu urbain avec un trafic dense, mais aussi de compléter et confirmer les résultats de la précédente campagne de mesure. Il s'agissait donc bien d'une campagne de mesures à but scientifique et non répressif qui devait également permettre d'analyser le fonctionnement des appareils, leur facilité d'installation, ainsi que leur robustesse.

Le marché public lancé par BE a permis de tester deux radars sonores. Le radar « dBFlash » de la société MicrodB ainsi que le radar « Hydre » de la société Bruitparif. Au regard de tests en cours en France, trois radars sonores devaient être évalués. Finalement, un des trois fournisseurs de radar a préféré ne pas participer à l'expérience.

Les applications futures potentielles de ce type de radars sont multiples : données statistiques, suivi de plaintes, mise en œuvre de législations spécifiques avec éventuellement des sanctions ciblant les véhicules les plus bruyants.

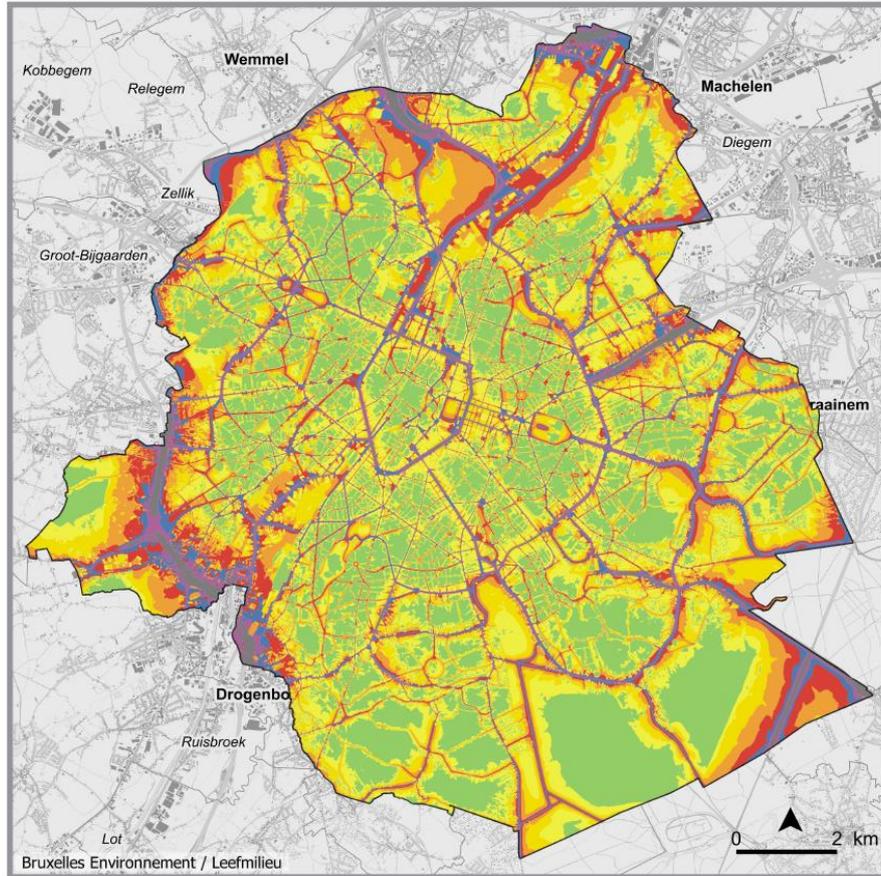
Étant donné l'utilisation temporaire des plaques d'immatriculation, permettant l'accès aux caractéristiques techniques de chaque véhicule mesuré, un soin particulier a été apporté au respect total du Règlement Général de Protection des Données afin que les plaques d'immatriculation exclusivement utilisées dans le cadre de cette expérience ne soient jamais conservées et que les véhicules mentionnés soient, au final, totalement anonymisés.

Enfin, rappelons que le bruit émis par le trafic routier est la première source de pollution sonore en RBC, exposant près de 30 % de la population à un niveau sonore moyen pour 24h (L_{den}) supérieur à 55 dBA comme le montre la dernière cartographie du bruit routier reprise à la Figure 1. Il est à noter que cette cartographie porte sur l'année de référence 2021 (exigence européenne), année encore impactée par le Covid et le télétravail généralisé, ce qui a limité durant un certain temps le débit du trafic routier. La zone 30 km/h mise en application sur l'ensemble de la Région au 1^{er} janvier 2021 a quant à elle eu un impact positif à long terme sur cette exposition (en 2016, 64% de la population était exposé à ce niveau supérieur à 55 dBA). 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} , un niveau sonore supérieur à cette valeur étant associé à des effets néfastes sur la santé. Monitorer le bruit du trafic routier et cibler les catégories de véhicules bruyants prend dès lors tout son sens.

¹ <https://environnement.brussels/pro/nos-actions/plans-et-politiques-regionales/remote-sensing-ou-teledetection-un-outil-de-mesure-des-emissions-des-vehicules-en-conditions-reelles>

² https://document.environnement.brussels/opac_css/elecfile/RAP_20220111_BruitRemoteSensing.pdf





Fond de plan / Achtergrond : Brussels UrbIS © - CIRB-CIBG -- © IGN-NGI

Figure 1 : Cartographie du bruit routier en Région de Bruxelles-Capitale – Année 2021 – Indicateur L_{den} ³.

³ <https://geodata.environment.brussels/client/view/623a55a5-d762-413f-aacd-e862f995dad3>



MÉTHODOLOGIE

1. CHOIX DES SITES DE MESURE

Les radars sonores ont été placés le long de voiries à trafic modéré ou élevé, et ont mesuré en continu pendant un peu plus d'un mois, le bruit produit par le passage des véhicules.

Les contraintes techniques à respecter pour le choix des emplacements étaient les suivantes :

- Ces radars, ayant un poids de 25 kg (dBFlash) et de 42 kg (Hydre), doivent être installés sur un poteau solide et permettre une hauteur minimale de 4 mètres (radar dBFlash) et de 7 mètres (radar Hydre). Afin d'exploiter les poteaux d'éclairage de la RBC, sans ajouter de poteau supplémentaire dans le paysage urbain, ce critère a pris une place non négligeable dans le processus d'analyse de localisations adéquates.
- Pour raison de sécurité, une alimentation électrique 230V AC est nécessaire en provenance de la même basse tension que celle du poteau d'éclairage (contrainte de Sibelga) dans le cas où l'électricité n'est pas directement ponctionnée sur le poteau.
- Le système doit être suffisamment éloigné de toute surface verticale (mur, façade,...) afin d'éviter toute réflexion du bruit.
- Aucun stationnement ne doit avoir lieu sous le radar afin d'éviter qu'un véhicule haut n'obstrue le champs de vision des caméras.
- Le système ne doit pas se situer sur des bornes centrales (pour éviter le bruit « arrière » parasitant le radar).
- Le système ne doit pas se situer à proximité directe d'un carrefour (avec des voitures à l'arrêt, avec des changements de direction, etc.)
- Il est nécessaire d'avoir une vue dégagée (absence d'arbre, de panneau de signalisation encombrant qui masquerait partiellement les prises de vue, etc.).

A préconiser:

- Un trafic avec un débit important de véhicules, ce qui permet une amélioration statistique des types de véhicules (passages de motos, sirènes de véhicules d'urgence, etc.)
- Un minimum de 2 bandes de circulation (en opposition à 1 bande pour la campagne « Remote Sensing ») a également fait partie des critères communs recherchés.

Contrairement à la campagne Remote Sensing, pour ces mesures acoustiques, le radar sonore n'impose pas de choisir des endroits de mesure caractérisés par un bruit résiduel⁴ faible permettant d'identifier distinctement l'émergence des passages des véhicules. Le radar prend en compte ce type de nuisance.

Le matériel ne nécessite pas non plus la présence d'un opérateur sur place, les radars sonores étant placés en hauteur, hors de portée d'éventuels vandales, dans un coffret sécurisé.

Tout en tenant compte de ces critères, les différentes communes de la RBC ont été contactées pour participer à l'expérience. BE a alors sélectionné des propositions de localisation respectant les critères énoncés ci-dessus, en commun accord avec le fabricant du radar, Sibelga, Bruxelles Mobilité et la commune intéressée. Des propositions de voirie d'Anderlecht et de Schaerbeek ont été retenues. Il s'agit de deux voiries limitée à 30 km/h.

⁴ Ensemble des bruits présents en l'absence du ou des bruits étudiés



Localisation 1 (Schaerbeek) : Avenue Louis Bertrand, à proximité de l'arrêt de bus « Crossing », côté parc Josaphat. Voirie Communale. Radar dBFlash.

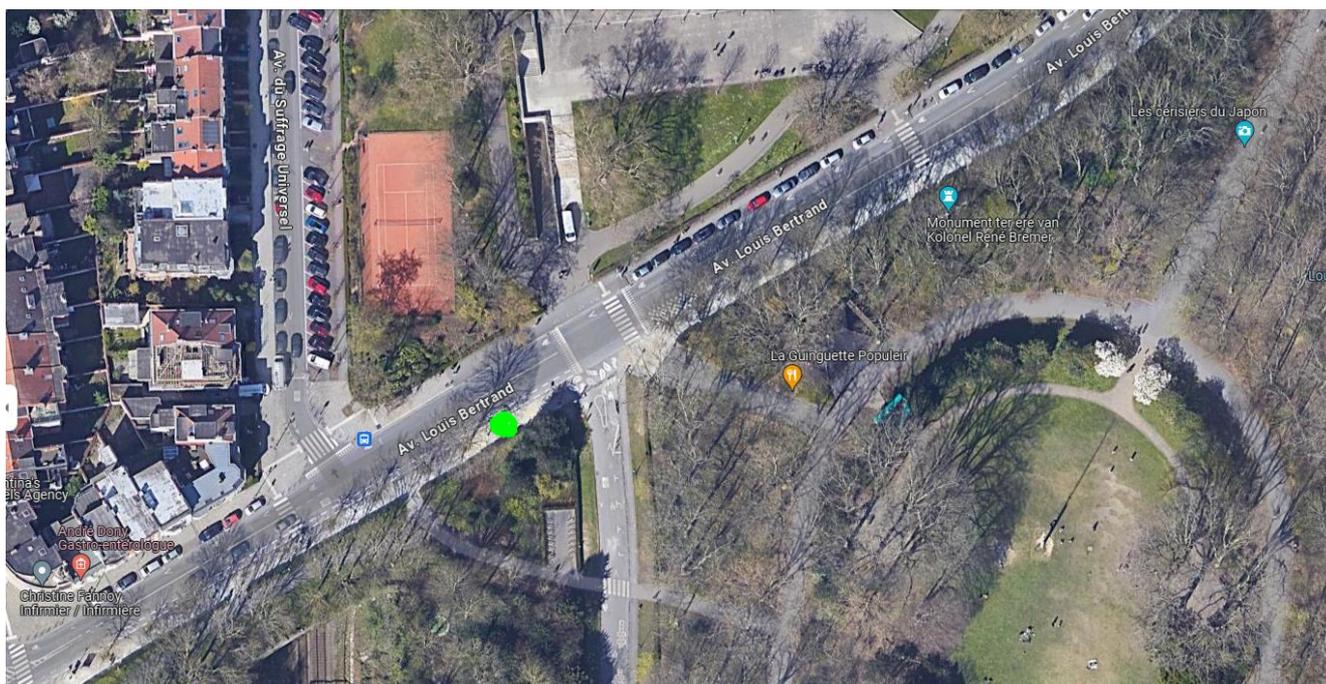


Figure 2 : Vue aérienne de la position du radar dBFlash [Google Maps – 07/12/2023].

Suite à l'analyse de robustesse et de hauteur des poteaux d'éclairage de Sibelga (gestionnaire de l'éclairage des voiries communales), seul le radar dBflash, vu son poids plus faible (25 kg) et dans une moindre mesure, sa hauteur nécessaire d'installation plus basse (entre 4 et 5m), pouvait être installé sur un poteau d'éclairage du réseau communal.

L'avenue Louis Bertrand possède un type de poteau d'éclairage adéquat, faisant partie des lauréats d'une longue liste inédite et hétérogène de poteaux d'éclairage, élaborée et mise à disposition par Sibelga dans le cadre de cette expérience. En effet, il s'est avéré que peu de poteaux permettaient en théorie le support de ce radar qui, pourtant, était le plus léger.

Une analyse interne à BE de la densité du trafic a confirmé que cette voirie serait un bon candidat pour ce test. Le fournisseur de radar, MicrodB, a également confirmé que l'emplacement était adéquat.

Il est à noter que la nuit, l'électricité du poteau d'éclairage aurait permis d'alimenter le radar et de recharger ses éventuelles batteries, mais le radar dBFlash ne permettant pas l'utilisation de batteries, une alimentation électrique locale provisoire, à l'aide d'un coffret de chantier, a dû dès lors être installée à proximité du radar par BE et Sibelga.

Localisation 2 (Anderlecht): Chaussée de Mons, à proximité du numéro 587. Voirie Régionale. Radar Hyde.



Figure 3 : Vue aérienne du point où était positionné le radar Hyde [Google Maps – 07/12/2023].

Aucun poteau d'éclairage de l'ensemble des voiries régionales de RBC, gérée par Bruxelles Mobilités (BM), ne semblait convenir à l'installation des 2 radars proposés de cette expérience.

Le radar Hyde, 50kg, permet l'usage de batteries en journée (et d'utiliser directement l'électricité d'un poteau d'éclairage la nuit, tout en rechargeant les batteries pour la journée). Sans batterie, le poids du radar tombe alors à 42 kg. La possibilité d'installer le radar sur un poteau de chantier dimensionné pour le radar a été envisagée mais finalement abandonnée. Le radar, sans batterie, a finalement été installé sur un poteau d'éclairage avec l'accord de BM.

Une analyse interne de BE de densité de trafic a confirmé que la Chaussée de Mons serait un bon candidat pour cette expérience. Le fournisseur de radar, BruitParif, a également confirmé que l'emplacement était adéquat. Une alimentation électrique locale provisoire, à l'aide d'un coffret de chantier, a dû être installée à proximité du poteau d'éclairage via BE et Sibelga.

2. MESURES ACOUSTIQUES

2.1 Radar dBFlash : localisation 1, avenue Louis Bertrand, Schaerbeek.

Les mesures acoustiques ont été réalisées au moyen du radar dit « dBFlash », composé d'un module de mesure constitué d'une antenne de 58 microphones MEMs (Micro Electro Mechanical System) synchronisée à un sonomètre de classe 1⁵, d'une caméra vidéo de contexte monitorant la scène, d'un instrument de mesure météorologique, d'un module d'identification de véhicule par lecture automatique de plaque d'immatriculation (LAPI) composés de 2 systèmes orientés dans chaque direction de circulation, ainsi qu'un boîtier de traitement regroupant l'unité de calcul logicielle et de transfert des données (télétransmission) (Figure 4).

Tous les traitements sont réalisés au sein de l'appareil et ne nécessitent aucun recours à un système extérieur. Le radar est donc autonome. Une vision à distance du pc était possible pour maintenance et interventions éventuelles.

⁵ Classe 1 selon les spécifications de la norme IEC 61672-1

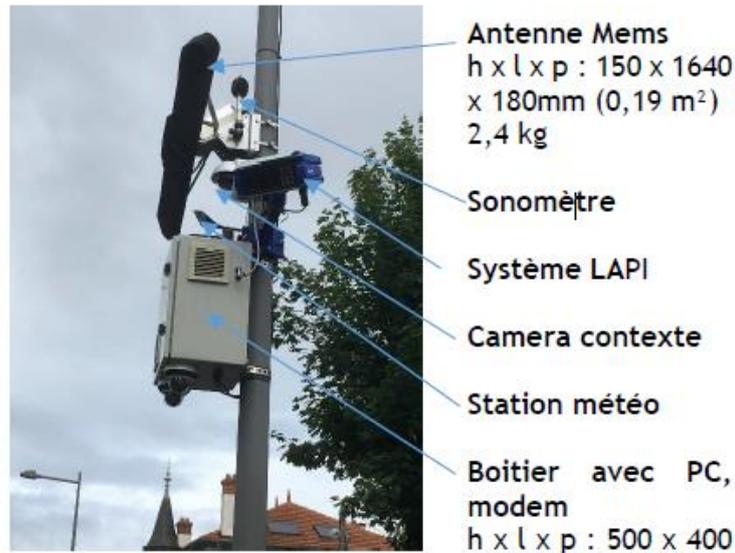


Figure 4 : Schéma du radar dBFlash

Le radar sonore dBFlash peut mesurer les véhicules circulant sur une voie à deux sens de circulation. Ce radar quantifie en un point référence, le niveau de bruit maximal d'un véhicule au passage devant le dispositif de mesure dans une zone de contrôle de 10 mètres de longueur. Ce point référence est à 7,5 mètres (conformément aux normes bruit de passage de la législation française, le radar ayant été développé dans ce contexte), proche de la position du sonomètre et de l'antenne. Il donne également une estimation de la vitesse de passage du véhicule.

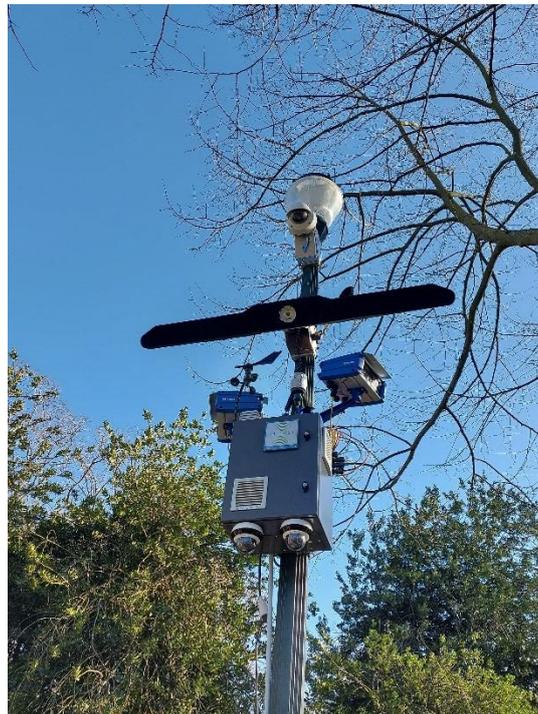


Figure 5 : Radar dBFlash à l'Avenue Louis Bertrand (localisation 1)

Le rôle du microphone de classe 1, est de mesurer en continu le niveau bruit ambiant de référence, de manière omnidirectionnel, sans distinction des différentes sources de bruit. Ce sonomètre permet de contrôler l'exactitude des niveaux sonores calculés par l'antenne directive et de limiter les traitements si le seuil de déclenchement n'est pas franchi par le sonomètre. Le niveau de bruit retenu et transmis est celui calculé par l'antenne directive (MEM's) et non le sonomètre. Dans une version future et homologuée, c'est le sonomètre de classe 1 qui fournira le niveau mesuré officiel. Point de vue robustesse, lors d'une période de vent plus importante, l'antenne directive a perdu l'usage de quelques micro's MEM's sans pour autant impacter le résultat des mesures.

Le radar sonore dBFlash a pour but d'estimer correctement le niveau sonore d'un véhicule, même en présence d'autres véhicules. Pour cette expérience, le fabricant MicrodB a demandé si possible de préconiser, autour de la zone de contrôle des véhicules, les endroits calmes, sans arrêts de bus, zones de livraison, travaux, obstacles sur la chaussée, animaux bruyants, etc. afin d'optimiser les chances de détection.

Un traitement logiciel de séparation des sources sonores associé à la mesure du passage de véhicule avec l'antenne de microphone directive permet d'estimer le niveau sonore maximal devant l'antenne de mesure dans la zone de contrôle tout en s'affranchissant des autres sources de bruit extérieures à cette zone (véhicules proches et autres source de bruit). C'est un point essentiel en comparaison aux mesures effectuées avec un sonomètre classique.

Il est à noter que le fabricant annonce dans le futur, l'utilisation de l'IA qui permettra encore d'améliorer la distinction des véhicules du reste de l'environnement sonore et d'éliminer les sources de bruits parasites.

La seconde fonctionnalité essentielle du radar sonore dBFlash est de corriger le bruit préalablement évalué au passage du véhicule en tenant compte de la distance et des conditions météorologiques.

Même s'il est initialement prévu pour la mesure des véhicules les plus bruyants, ce radar a permis de descendre les seuils de détection jusqu'à 55 dBA afin de détecter le plus de véhicules possibles, y compris les moins bruyants.

La partie haute du radar était située à moins de 5 m du sol, la hauteur ayant un impact sur la portée de la mesure, le bas du coffret, robuste, était placé à 3,5 m du sol afin d'être hors de portée des passants. L'installation du système ainsi que sa configuration a nécessité une journée complète et l'utilisation d'une nacelle élévatrice.

2.2 Radar Hydre : localisation 2, Chaussée de Mons, Anderlecht.

Le radar sonore « Hydre » se compose de différents sous-systèmes et d'une unité centrale (pc). Le sous-système de détection acoustique repose sur la combinaison de deux modules (goniomètres) acoustiques, haut et bas, utilisant la technologie « méduse » (conçue par BruitParif), installés verticalement l'un au-dessus de l'autre à une distance d'un mètre (voir Figure 6 ci-dessous).

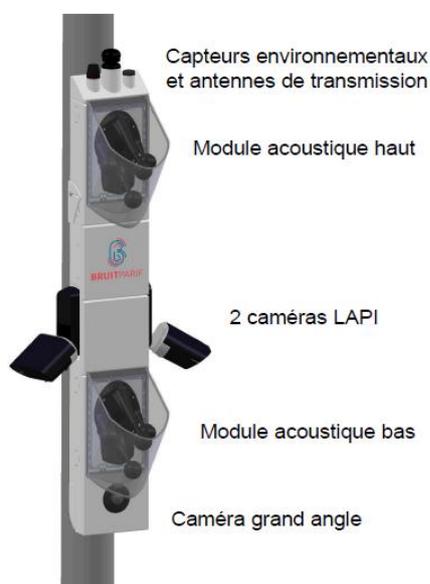


Figure 6 : Schéma du radar Hydre.

Chaque goniomètre est composé de quatre microphones de type MEMS. Ces goniomètres sont hébergés chacun au sein d'une cage métallique acoustiquement transparente qui permet de les protéger des potentiels actes de vandalisme. Les goniomètres permettent de déterminer la direction de provenance du bruit dominant. Un seul goniomètre ne permet pas de déterminer correctement la distance à la source, c'est la raison pour laquelle deux goniomètres sont placés verticalement à 1 mètre l'un de l'autre.

Dans le futur, le produit final homologué utilisera des dispositifs acoustiques de classe 1. Cependant, à ce stade, les dispositifs acoustiques intégrés dans le prototype de radar sonore Hydre sont de classe 2.

Le radar sonore Hydre est, en théorie, capable de surveiller, selon les conditions, jusqu'à 4 voies en simultanément sur une distance de 15 mètres de part et d'autre du dispositif. Point de vue robuste, lors d'une période de vent plus importante, le radar n'a subi aucun dommage.

L'ensemble des composants du radar sonore Hydre est hébergé au sein d'une structure métallique robuste qui contient également l'unité centrale de traitement et de télétransmission sécurisée et chiffrée des données. Tous les traitements sont réalisés au sein de l'appareil et ne nécessitent aucun recours à un système extérieur. Le radar est donc autonome.



Figure 7 : Radar Hydre à la chaussée de Mons (localisation 2).

Le radar sonore Hydre intègre une caméra grand angle permettant d'avoir une vue à 180° de l'ensemble de l'axe routier surveillé afin de pouvoir détecter les véhicules présents dans la scène, de suivre leur trajectoire et de réaliser une photographie de la scène complète au moment du bruit maximal émis par le véhicule.

Le radar sonore Hydre intègre un sous-système composé de deux caméras dédiées à la lecture automatisée des plaques d'immatriculation (LAPI) des véhicules par l'avant et l'arrière du véhicule ou dans chaque sens de passage. Ces caméras LAPI sont positionnées de part et d'autre du radar sonore.

Le radar sonore Hydre dispose d'une fonctionnalité lui permettant d'estimer correctement le niveau sonore d'un véhicule, même en présence d'autres véhicules ou d'autres sources de bruit en présence, dès lors que ce véhicule peut être considéré, sur une partie du temps, comme la source de bruit qui domine la scène sonore. En cela, la mesure réalisée par le radar sonore Hydre se distingue de la mesure du bruit ambiant qui pourrait être réalisée par un sonomètre classique intégrant à chaque instant toutes les sources sonores en présence.

Ce radar a permis de descendre de manière limitée les seuils de détection, jusqu'à 68 dBA, car la technologie de ce radar semble plus adaptée pour les véhicules les plus bruyants. Cette limitation a pour conséquence que le nombre de voitures mesurées est relativement faible en comparaison avec le radar dBFlash.

La seconde fonctionnalité essentielle du radar sonore Hydre est de corriger le bruit préalablement évalué au passage du véhicule en tenant compte de la distance mais aussi des conditions météorologiques. Cependant, il est à noter que les capteurs environnementaux n'ont pas été configurés par Bruitparif dans le cadre de cette expérimentation. Cette correction n'a donc pas pu être effectuée.

Le radar sonore Hydre quantifie en un point référence, le niveau de bruit maximal d'un véhicule au passage devant le dispositif de mesure. Ce point référence est à 7,6 mètres et ramené par BE à 7,5 mètres (conformément aux normes bruit de passage de la législation française, point de référence de cette expérience), proche de la position du sonomètre et de l'antenne. Le radar donne également une estimation de la vitesse de passage des véhicules.

La partie haute du radar se situe approximativement à 6 m du sol, le bas du coffret est à 4 m afin d'être hors de portée des passants.



L'installation du système ainsi que sa configuration a duré 2h et nécessité l'utilisation d'une nacelle élévatrice. Une hauteur de 7 m de poteau est nécessaire à l'installation.

3. SYNCHRONISATION ET ANALYSE DES MESURES

Les caractéristiques techniques des véhicules sont fournies en partie par le radar lui-même et de manière plus complète par la Division Immatriculation des Véhicules (DIV) du Service Public Fédéral Mobilité (SPF Mobilité), partenaire pour cette expérimentation.

Les radars utilisés lors de cette expérience étaient réglés temporellement, date et heure à la seconde près, par synchronisation Internet pour le dBFlash et par synchronisation GPS pour l'Hydre. Les différents composants utilisés au sein de ces 2 types de radars étaient parfaitement synchronisés entre eux.

Les données acoustiques récoltées par les radars étaient liées de manière automatique, c'est-à-dire sans codage manuel (gain de temps par rapport à la campagne Remote Sensing), avec la plaque d'immatriculation du véhicule détecté. Ces données acoustiques, fournies par les radars, comportaient pour chaque véhicule un identifiant unique (lié à la plaque d'immatriculation) ainsi que l'heure de passage de ce véhicule.

Le résultat de cette correspondance automatique, soit des décibels (dB) liés chacun à un identifiant unique, a ensuite été envoyée à la DIV par BE. La DIV, à l'aide des plaques d'immatriculation, a ensuite, par l'intermédiaire de Paradigme, retourné la base de données enrichie des caractéristiques des véhicules à BE, mais uniquement avec l'identifiant unique en retour. La plaque d'immatriculation n'étant plus nécessaire, celle-ci a été effacée de toutes les données. Cet échange a permis d'associer de manière non-équivoque et anonyme, les caractéristiques techniques du véhicule aux données acoustiques du radar, point de départ de l'analyse des mesures.

Il devrait être possible, à l'avenir, que le radar envoie directement ses données par télétransmission à la DIV (via Paradigm), sans intermédiaire (BE) comme ce fut le cas lors de cette expérience.



RÉSULTATS

De nombreuses observations ont pu être tirées à la suite des mesures acoustiques du passage des véhicules. Cette section présente d'abord quelques chiffres généraux tirés des deux séries de mesures pour ensuite passer aux résultats acoustiques à proprement parlé. Ces derniers sont partagés en sous-sections en fonction des paramètres ou caractéristiques mis en avant.

1. PRÉLIMINAIRES

Les mesures se sont déroulées en deux fois. Une première campagne de mesures acoustiques a été réalisée du 20/02/2023 au 31/03/2023 pour le radar dBFlash, avenue Louis Bertrand à Schaerbeek. Une seconde campagne de mesure a été effectuée du 07/11/2023 au 14/12/2023 pour le radar Hydre, chaussée de Mons à Anderlecht. Les informations concernant ces mesures sont données dans le Tableau 1 ci-dessous.

Date	Du 20/02/2023 au 31/03/2023	Du 07/11/2023 au 14/12/2023
Point de mesure	Radar dBFlash : Avenue Louis Bertrand, Schaerbeek	Radar Hydre : Chaussée de Mons, Anderlecht
Début de la mesure	20/02/2023 22:21	07/11/2023 18:55
Fin de la mesure	31/03/2023 08:22	14/12/2023 22:08
Nombre de passages corrélés et validés	12370	3909

Tableau 1 : Informations générales relatives des deux campagnes de mesure synchronisées.

Au total, environ 16300 passages de véhicules ont été identifiés pour lesquels sont déterminés un niveau sonore L_{AFmax}^6 , une vitesse de passage et les données fournies par la DIV (date d'immatriculation, type de motorisation, catégorie de véhicule, masse en ordre de marche, puissance nette, etc.). Vu le nombre de véhicules détectés et validés, il s'avère que le radar dBFlash a permis d'analyser beaucoup plus de véhicules grâce à un seuil de détection beaucoup plus bas que celui du radar Hydre.

Pour rappel, ces radars sont initialement conçus pour détecter les véhicules les plus bruyants, au-dessus de seuils relativement élevés (84 dB pour les expérimentations menées en France). Dans le cadre spécifique de cette expérience, cet objectif initial a été détourné en abaissant les seuils le plus bas possible, afin d'avoir une base de donnée la plus grande possible en détectant également les véhicules les moins bruyants.

Etant donné l'absence de configuration de capteurs météorologiques pour le radar Hydre, par soucis de comparaison, les données météo du radar dBFlash, bien que présentes, n'ont pas été exploitées.

Les analyses des mesures effectuées par les deux radars, sont présentées séparément, dans l'ordre chronologique : le radar dBFlash (Avenue Louis Bertrand, Schaerbeek) et ensuite le radar Hydre (Chaussée de Mons, Anderlecht). En effet, la comparaison directe des résultats de mesure aux deux localisations n'est pas aisée :

- Les deux voiries étant assez différentes dans leur configuration et leur trafic, les vitesses des véhicules présentent des distributions trop différentes pour permettre une comparaison des niveaux sonores absolus (comme l'a montré la campagne de mesure Remote Sensing, l'influence de la vitesse des véhicules sur les niveaux sonores mesurés ne peut être négligée). Comme montré sur la Figure 8, 90 % des véhicules ont une vitesse comprise entre les classes de 20 et 35 km/h avenue Louis Bertrand (radar dBFlash) avec une médiane égale à 25 km/h, alors qu'elle est comprise entre les classes de 20 et 60 km/h chaussée de Mons (radar Hydre) avec une médiane égale à 36 km/h.
- Les seuils de détection acoustique, et donc la sélection des véhicules mesurés, sont différents (voir Tableau 2). Le dBFlash a eu, pour une grande majorité des véhicules mesurés, un seuil de détection à 55 dBA alors que celui de l'Hydre a varié entre 76 et 68 dBA. Cette différence a un influence sur les résultats comme expliqué par la suite.

⁶ Le niveau sonore maximal mesuré au passage avec la pondération temporelle Fast et application de la pondération fréquentielle A. Les unités utilisées sont les « dBA » afin de rappeler l'utilisation de la pondération A.



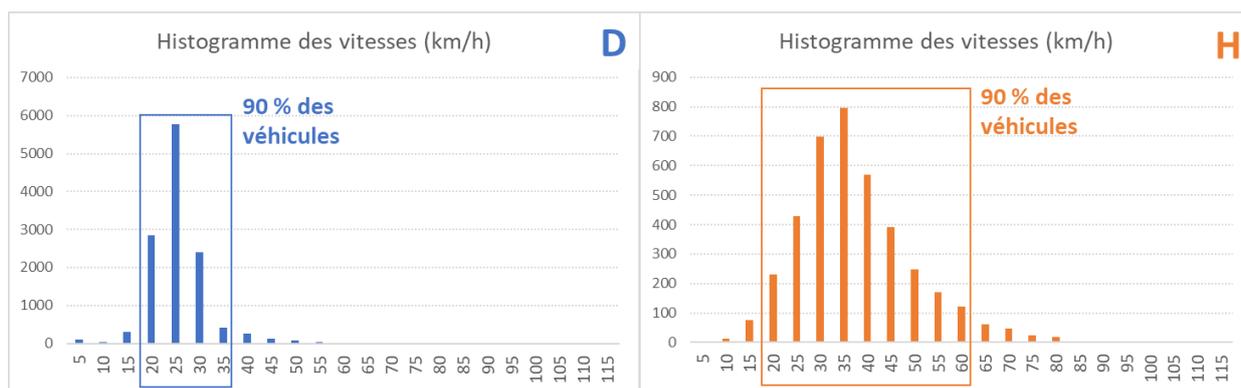


Figure 8 : Histogramme des vitesses par classe de 5 km/h pour le dBFlash - localisation 1 (à gauche - D) et pour l'Hydre - localisation 2 (à droite - H).

dBFlash		Hydre	
Seuil de détection (dBA)	% de détection des véhicules	Seuil de détection (dBA)	% de détection des véhicules
68	3,1	76	43,6
65	0,1	75	4,8
60	0,2	68	51,6
55	96,6		

Tableau 2 : Seuils de détection acoustiques et pourcentage de détection des véhicules correspondants.

2. ANALYSE DES DONNÉES DU RADAR DBFLASH, AVENUE LOUIS BERTRAND

2.1 Résultats acoustiques globaux

Le graphique de la Figure 9 représente la distribution des niveaux L_{AFmax} par pas de 2 dBA pour les 12370 passages identifiés. 90 % des passages sont compris entre les classes de 60 et 66 dBA, c'est-à-dire des niveaux sonores perçus comme relativement bruyants à bruyant⁷. Les statistiques descriptives sont les suivantes :

- Minimum : 60,9 dBA
- Centile⁸ 05 : 62,9 dBA
- Centile 25 : 64,7 dBA
- **Médiane : 64,7 dBA**
- Centile 75 : 66,8 dBA
- Centile 95 : 66,8 dBA
- Maximum : 109,7 dBA

La grande majorité des véhicules ont des niveaux sonores compris dans une faible gamme, avec une minorité de véhicules (0,25 %) au-dessus de 90 dBA. Pour comparaison, 90 dBA est le niveau maximum autorisé pour une sirène la nuit à 7 m d'un véhicule d'urgence en RBC.

L'influence de différents paramètres (vitesse au passage, catégorie de véhicule, type de motorisation, année de 1^{ère} immatriculation, masse et puissance du véhicule) est analysée dans les sections suivantes.

⁷ Voir [Fiche documentée – Bruit – 2. Notions acoustiques et indices de gêne, Bruxelles Environnement](#).

⁸ Le centile 05 est la valeur supérieure pour 5 % de l'ensemble des valeurs, le centile 25 est la valeur supérieure pour 25 % de l'ensemble des valeurs, le centile 50 ou **médiane** est la valeur supérieure pour 50 % de l'ensemble des valeurs, etc.

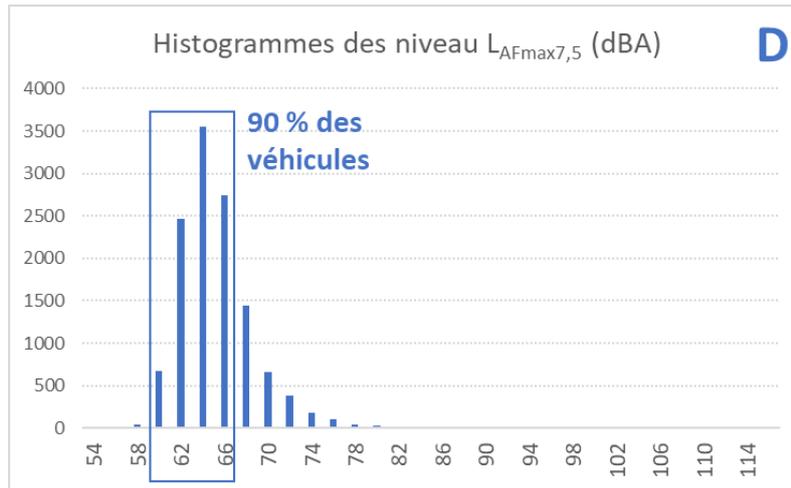


Figure 9 : Histogramme des niveaux sonores maximaux des passages des véhicules par classe de 2 dBA. Le « D » identifie les graphes relatifs au dBFlash.

2.2 Influence de la vitesse des véhicules

Le graphiques de la Figure 10 montre l'évolution du niveau sonore maximum en fonction de la vitesse au passage des véhicules. Sur le graphique apparaît 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. Cette valeur est faible bien qu'il y ait une tendance à avoir une augmentation du niveau sonore avec la vitesse et donc du bruit de roulement (bruit produit par le contact du pneu avec la route). Ceci peut s'expliquer par un ensemble de véhicules caractérisés avec une vitesse très basse (entre 0 et 5 km/h) qui peut être due à des véhicules à l'arrêt redémarrant (forte influence de l'accélération) ou qui sont peut-être erronées (cas limite de traitement de l'appareil). Pour rappel, la campagne Remote Sensing mettait en évidence l'influence première de l'accélération pour les véhicules à moindre vitesse, donnée non fournie par les appareils ici testés.

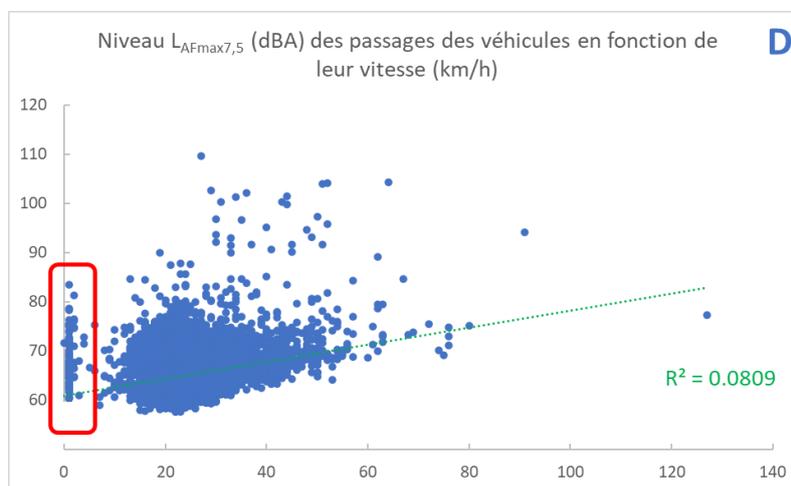


Figure 10 : Niveaux L_{AFmax} en fonction de la vitesse au passage des véhicules.

La faible valeur du R^2 s'explique également par une série de véhicules avec des niveaux particulièrement élevés pour des vitesses parfois modérées. Un des avantages du dBFlash est la possibilité d'aller ré-écouter de courts extraits sonores des passages identifiés ainsi que d'avoir un visuel. Dès lors, un focus est possible sur les passages posant question comme montré à la Figure 11. Aucun passage ayant un niveau supérieur ou égal à 90 dBA n'est dû à un bruit de roulement particulièrement élevé ou à une accélération très importante du véhicule, mais est dû soit à la présence de sirènes (véhicules d'urgence), soit à des klaxons ou encore à un pot d'échappement frottant sur la route. Bien qu'il n'est pas envisageable de vérifier un à un les milliers de passages, cette fonctionnalité du radar permet la vérification des passages qui sortent des valeurs habituelles.

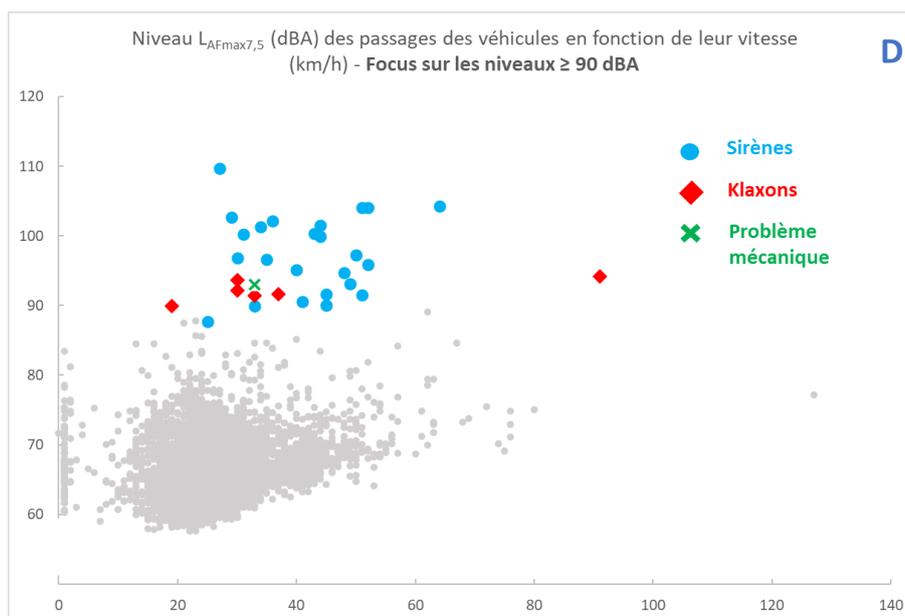


Figure 11 : Niveaux L_{AFmax} en fonction de la vitesse au passage des véhicules - analyses des niveaux ≥ 90 dBA.

Au vu de l'influence de la vitesse des véhicules sur le niveau sonore (hors niveaux élevés), il est nécessaire d'avoir toujours une idée de la distribution de celle-ci lors de l'analyse de l'influence d'autres paramètres, telle que présentée ci-après.

2.3 Influence de la catégorie des véhicules

L'influence de la catégorie des véhicules sur le niveau L_{AFmax} peut être mise en évidence par l'observation de la distribution des niveaux pour ces catégories. Les distributions en pourcent par pas de 2 dBA sont tracées les unes à la suite des autres à la Figure 12. Sur chacun des graphes, une catégorie de véhicules est mise en évidence avec le nombre de véhicules (N) dont il est question dans cette catégorie et le niveau sonore médian.

Les véhicules se répartissent de la manière suivante par catégories :

- L : catégorie générale comprenant les catégories L1 à L7 (motos, mobylettes, sidecar, tricycles et quadricycles à moteurs). Aux deux localisations, la grande majorité des véhicules composant cette catégorie étaient des motos (L3).
- M1 : véhicules de transport de personnes de 8 personnes au maximum (voitures)
- M2 & M3 : véhicules de transport de personnes de plus de 8 personnes et d'une masse inférieures à 5 tonnes (M2 - vans et petits bus) et supérieures à 5 tonnes (M3 - bus et cars). Pour des raisons statistiques, ces deux catégories ont été regroupées.
- N1 : véhicules pour le transport de marchandises d'une masse inférieure à 3,5 tonnes (utilitaires et camionnettes)
- N2 : véhicules pour le transport de marchandises d'une masse comprise entre 3,5 tonnes et 12 tonnes (camions)
- N3 : véhicules pour le transport de marchandises d'une masse supérieure à 12 tonnes (gros camions et semi-remorques)

Les histogrammes pour les catégories L et M2 & M3 présentent des distributions s'éloignant d'une gaussienne contrairement aux autres catégories, ce qui est dû à des vitesses distribuées sur une grande gamme de vitesse pour le pourcentage de motos (catégorie L) et au regroupement des deux catégories (catégorie M2 & M3).

A cette localisation, par rapport à la catégorie des voitures (M1), catégorie incluant la grande majorité des véhicules :

- Moto (L) = voiture (M1) + 5,5 dBA,
- Vans & cars (M2 & M3) = voiture (M1) + 4,1 dBA,
- Camionnette (N1) = voiture (M1) + 0,7 dBA,
- Camion (N2) = voiture (M1) + 6,9 dBA,
- Gros camion (N3) = voiture (M1) + 8,4 dBA.

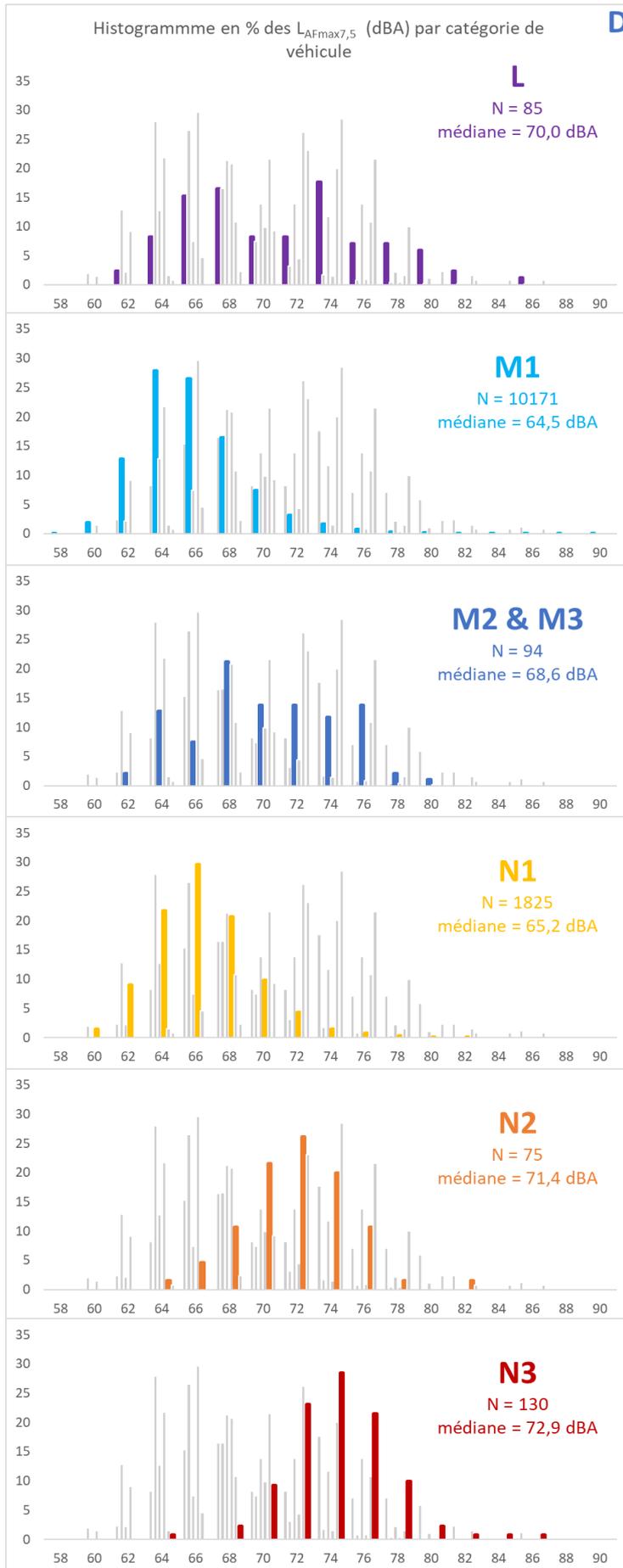


Figure 12 : Histogramme en % des niveaux L_{AFmax} par catégorie de véhicule.



Toutefois, ces constats doivent être considérés connaissant les vitesses des véhicules. Les statistiques descriptives des vitesses par catégories de véhicules (voir graphique de la Figure 25 placé en annexe A pour plus de clarté dans le corps du texte) montrent des vitesses inférieures pour les catégories de véhicules lourds (N2, N3 et M2 & M3) et supérieures pour les motos (L) par rapport aux catégories principales M1 et N1. Sur base des résultats de mesure, il est possible dans certains cas d'approximer le niveau sonore médian pour des vitesses identiques (voir annexe B).

2.4 Influence du type de moteur des véhicules

Les distributions en pourcents des niveaux L_{AFmax} par types de motorisation des véhicules par classe de 2 dBA sont tracées à la Figure 13 les unes à la suite des autres : diesel, essence, LPG et CNG (regroupées pour des raisons statistiques), hybride et électrique. Les distributions ont des formes similaires les unes par rapport aux autres. Pour chacune, le nombre de véhicules concernés (N) et la médiane sont inscrits. Les médianes diffèrent peu, sur une étendue de 1 dBA⁹, avec du moins bruyant au plus bruyant : 64,3 dBA (essence) < 64,6 dBA (hybride) < 64,9 dBA (diesel) < 65,1 dBA (LPG/CNG) < 65,3 dBA (électrique). Les vitesses par catégories sont semblables comme le montre la Figure 26 de l'Annexe A.

Ces constats, étonnants concernant les véhicules hybrides et les véhicules électriques intuitivement plus silencieux, sont les mêmes que lors de la campagne de mesure Remote Sensing. Les véhicules hybrides pouvant fonctionner en mode thermique, le peu de différences des niveaux sonores avec des véhicules thermiques classiques pourraient aisément s'expliquer. Il n'en va pas de même avec les véhicules électriques qui n'ont pas de bruit de moteur hormis l'AVAS¹⁰ jusqu'à minimum 20 km/h. A vitesse plus élevée, le bruit de roulement devenant la principale source de bruit quel que soit la motorisation du véhicule, celui-ci serait semblable. Les différences d'émission sonore viendraient dans la masses des véhicules. En effet, pour la masse¹¹ des véhicules en fonction de leur motorisation, pour la catégorie des voitures (M1) afin d'éviter de comparer des voitures avec des camions (voir Figure 14), on voit que celle-ci est globalement la plus élevée pour les véhicules électriques et la moins élevée pour les véhicules essences. A noter que les niveaux médians sont légèrement différents pour cette catégorie de véhicules : 64,3 dBA (essence + LPG/CNG) < 64,5 dBA (hybride) < 64,6 dBA (diesel) < 65,3 (électrique). La pneumatique (type et dimensions) pourrait avoir également un rôle.

⁹ Une différence de 1 dB pour un même bruit n'est pas perceptible pour une oreille moyenne.

¹⁰ Acoustic Vehicle Alerting System est un système émettant un bruit semblable aux véhicules thermiques de même catégorie à basse vitesse pour des raisons de sécurité des usagers de la route. Il est obligatoire dans l'Union européenne et dans d'autres pays.

¹¹ Il s'agit ici de la masse en ordre de marche, c'est-à-dire la masse du véhicule avec ses accessoires mais sans fret, ni passagers et ni carburant.



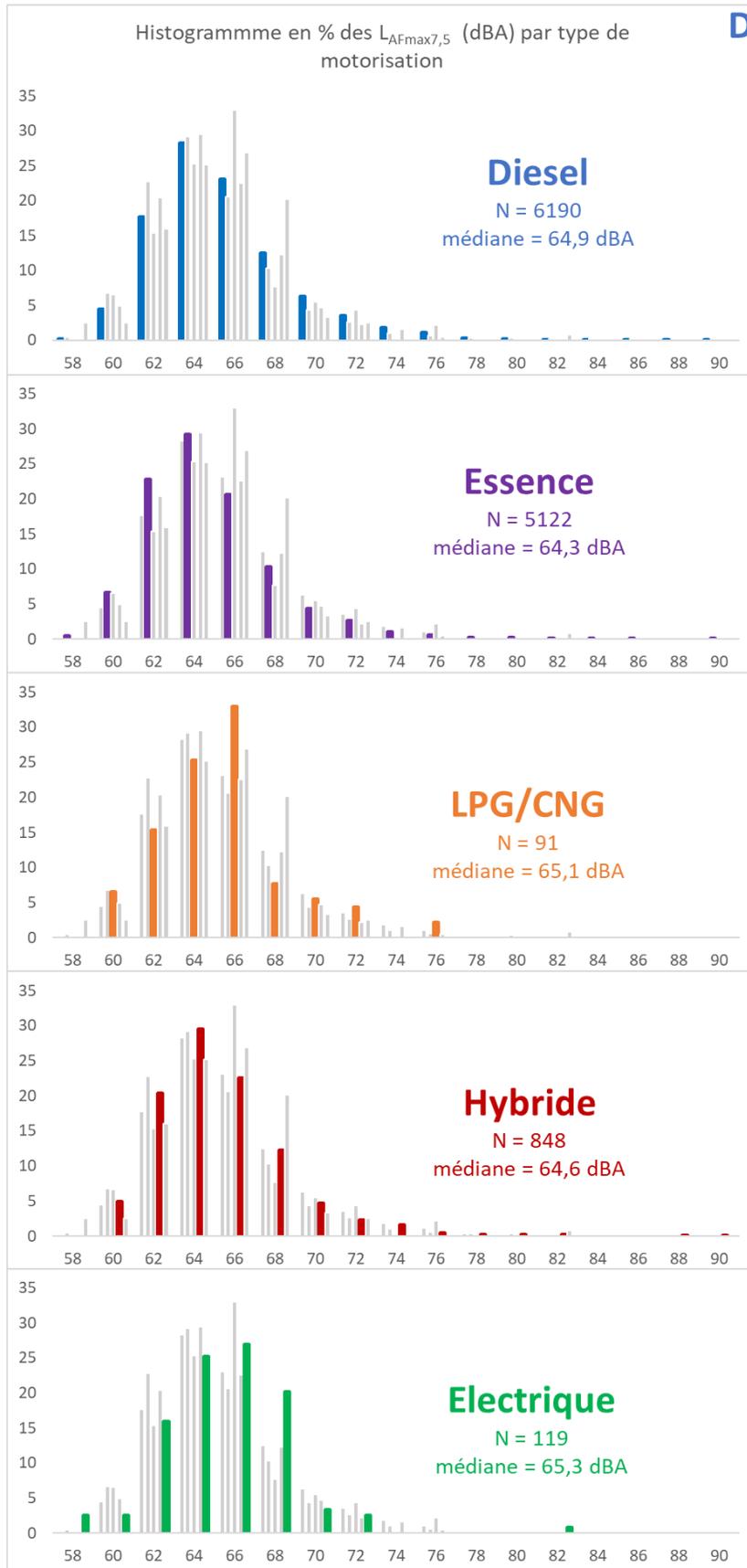


Figure 13 : Histogramme en % des niveaux L_{AFmax} par type de motorisation des véhicules.



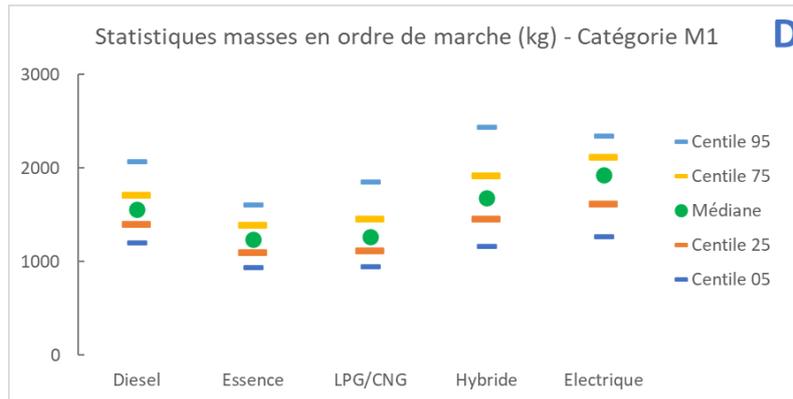


Figure 14 : Statistiques descriptives des masses en ordre de marche (kg) des véhicules de la catégorie des voitures (M1).

2.5 Influence de l'âge des véhicules

Via la date de 1^{ère} immatriculation, il est possible de voir d'avoir une idée de l'influence de l'âge du véhicule sur les niveaux sonores mesurés. La Figure 15 montre les L_{AFmax} en fonction de l'année de 1^{ère} immatriculation, les croix vertes représentant le niveau médian pour chaque année. L'étendue des niveaux médians est de 1,2 dBA entre 2002 et 2023 (années avec plus de 30 véhicules), avec pour 2022 et 2023 un niveau médian de 64,3 dBA et pour les 10 années précédentes un niveau médian de 64,7 dBA (+0,4 dBA). Malgré ce dernier constat, sur l'ensemble des années, une variation de l'année de mise en circulation ne va pas de pair avec une variation significative du niveau sonore.

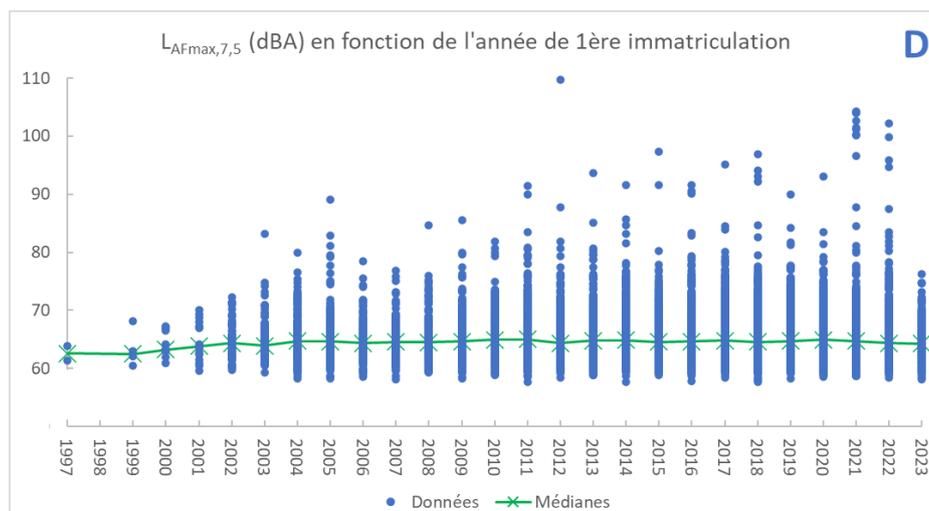


Figure 15 : Niveaux sonores L_{AFmax} en fonction de l'année de 1^{ère} immatriculation des véhicules. Les croix vertes reliées entre elles représentent la médiane des L_{AFmax} pour chaque année.

2.6 Influence de la masse et de la puissance des véhicules

Les derniers paramètres étudiés sont la puissance nette des véhicules et leur masse en ordre de marche. Les graphiques pour les niveaux L_{AFmax} en fonction de ces deux paramètres (puissance à gauche, masse à droite) sont tracés à la Figure 16. Considérant que les valeurs supérieures ou égales à 90 dBA ne sont pas dus aux bruits de roulement et de motorisation, aucune tendance ne se dessine pour le niveau sonore en fonction de la puissance nette. A noter que ce dernier paramètre perd de son sens ou ne peut plus simplement être comparé entre des véhicules thermiques et des véhicules électriques. Pour ce qui est de la masse, les véhicules lourds, après 5 000 kg, ont des niveaux qui ne descendent pas aussi bas (autour de 60 dBA) que les véhicules sous les 5 000 kg.

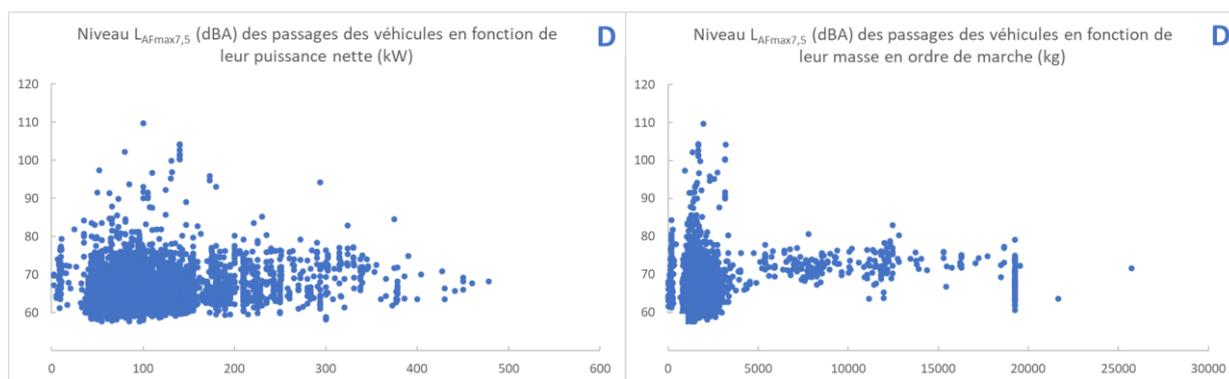


Figure 16 : L_{AFmax} en fonction de la puissance nette (à gauche) et de la masse en ordre de marche (droite) des véhicules.

3. ANALYSE DONNÉES DU RADAR HYDRE, CHAUSSÉE DE MONS

3.1 Résultats acoustiques globaux

Le graphique de la Figure 17 représente la distribution des niveaux L_{AFmax} par pas de 2 dBA pour les 3909 passages identifiés. 90 % des passages sont compris entre les classes de 70 et 86 dBA, c'est-à-dire des niveaux sonores perçus comme bruyants, voire très bruyants. Globalement, les niveaux sont de l'ordre de 10 dBA supérieurs à ceux mesurés à la 1^{ère} localisation avec le dBFlash vu les vitesses au passage plus importantes (cf. Figure 8). La distribution s'éloigne d'une gaussienne, en cause des seuils de détection multiples. Les statistiques descriptives sont les suivantes :

- Minimum : 68,1 dBA
- Centile 05 : 69,5 dBA
- Centile 25 : 72,3 dBA
- **Médiane : 76,6 dBA**
- Centile 75 : 78,8 dBA
- Centile 95 : 85,1 dBA
- Maximum : 110,2 dBA

La grande majorité des véhicules ont des niveaux sonores compris dans une gamme d'une quinzaine de décibels, avec 3,17 % des véhicules au-dessus de 90 dBA. Il y a proportionnellement plus de valeurs dans les niveaux très élevés dans les mesures de l'Hydre que dans celles du dBFlash et, hors valeurs extrêmes, l'étendue y est plus grande.

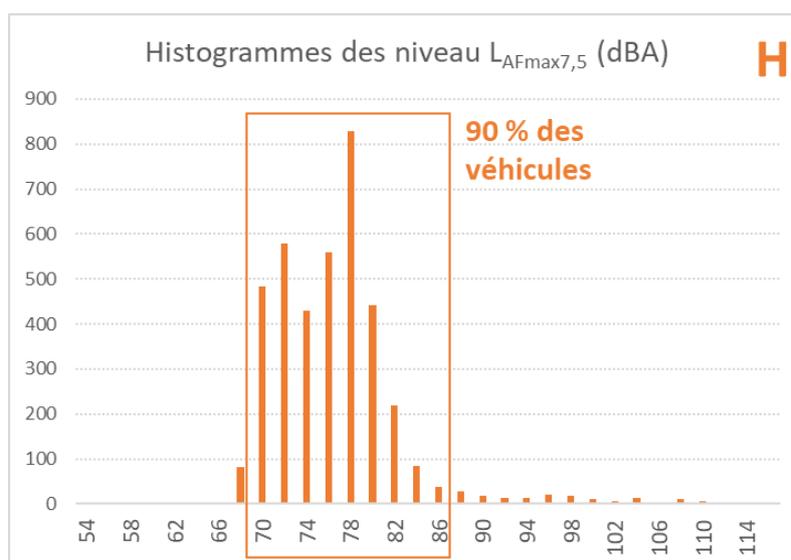


Figure 17 : Histogramme des niveaux sonores maximaux des passages des véhicules par classe de 2 dBA. Le « H » identifie les graphes relatifs à l'Hydre.

L'influence de différents paramètres (vitesse au passage, catégorie de véhicule, type de motorisation, année de 1^{ère} immatriculation, masse et puissance du véhicule) est analysée aux sections suivantes.

3.2 Influence de la vitesse des véhicules

Le graphique de la Figure 18 montre l'évolution du niveau sonore maximum en fonction de la vitesse au passage des véhicules. La droite de régression linéaire y est tracée et le coefficient de corrélation linéaire au carré, R^2 , est indiqué. Il y a une meilleure tendance à avoir une augmentation du niveau sonore avec la vitesse qu'à la 1^{ère} localisation. Cette tendance, signature du bruit de roulement, est plus marquée au-delà de 40 km/h (dispersion plus large en-dessous). L'influence du seuil de détection est nettement visible dans le plat à 68 dBA, quelle que soit la vitesse.

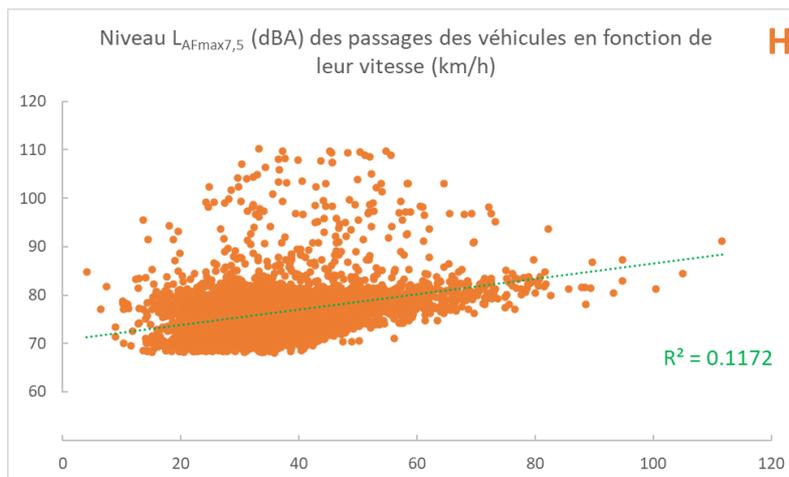


Figure 18 : Niveaux L_{AFmax} en fonction de la vitesse au passage des véhicules.

La valeur assez moyenne du R^2 , bien que meilleure qu'avec le dBFlash, s'explique ici par une série de valeurs supérieures ou égales à 90 dBA, pas nécessairement liées à des vitesses élevées. Comme pour le dBFlash, il est possible d'aller ré-écouter des extraits sonores et même vidéos. Ces passages sont mis en évidence au graphique de la Figure 19. En grande majorité (77 %), ils sont dus à des sirènes de véhicules de pompiers, de police ou des ambulances. Le bruit provenant des motos vient ensuite pour 13 % des passages avec un niveau supérieur ou égal à 90 dBA. Trois de ces passages étaient initialement attribués à des voitures, les motos étant cachées ou trop proches de ces véhicules pour que le radar sonore ne fasse la distinction. Les voitures (bruits d'échappement ou de motorisation) et les camions (bruits de soupape ou de motorisation) viennent ensuite. On note peu de klaxons ou de problème mécanique dans les passages analysés.

On constate que pour les motos, les voitures et les camions mis en évidence, le bruit est dû à la motorisation principalement, elle-même liée en grande partie l'accélération ou au type-même de conduite des véhicules. Enfin, le bruit du passage de la voiture à 112 km/h s'élevant à 91 dBA provient d'un véhicule électrique roulant sur la chaussée détrempeée. Les bruits de roulement et d'éclaboussements sont nettement perceptibles.

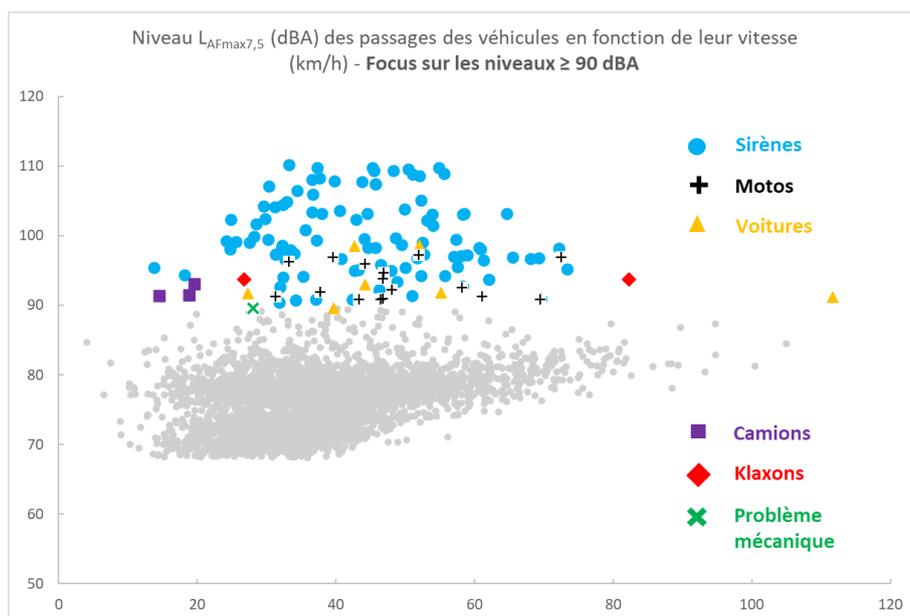


Figure 19 : Niveaux L_{AFmax} en fonction de la vitesse au passage des véhicules – analyses des niveaux ≥ 90 dBA.

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

3.3 Influence de la catégorie des véhicules

L'influence de la catégorie des véhicules sur le niveau L_{AFmax} peut être mise en évidence par l'observation de la distribution des niveaux pour ces catégories. Les distributions en pourcent pas de 2 dBA sont tracées les unes à la suite des autres à la Figure 20. Sur chacun des graphes, une catégorie de véhicules est mise en évidence avec le nombre de véhicules dont il est question dans cette catégorie et la valeur médiane du niveau sonore.

Les véhicules sont répartis dans les mêmes catégories que pour le dBFlash : L (motos principalement), M1 (voitures), M2 & M3 (vans, bus et cars), N1 (utilitaires et camionnettes), N2 (camions) et N3 (gros camions et semi-remorques).

Mises à part pour les catégories N2 et N3, les histogrammes des différentes catégories montrent des distributions non uniformes à cause de la détection des véhicules par des seuils très différents (76 et 75 dBA d'une part et, d'autre part, 68 dBA). Ces distributions plus complexes rendent la comparaison entre catégories moins aisées. En effet, sur base des seules médianes, par rapport à la catégorie des voitures (M1), catégorie incluant la grande majorité des véhicules :

- Moto (L) = voiture (M1) + 2,7 dBA,
- Vans & cars (M2 & M3) = voiture (M1) + 0,8 dBA,
- Camionnette (N1) = voiture (M1) – 1,4 dBA,
- Camion (N2) = voiture (M1) + 2,9 dBA,
- Gros camion (N3) = voiture (M1) + 3,3 dBA.

Les écarts entre catégories sont considérablement réduits par rapport aux résultats du dBFlash, et la catégorie N1 présente même une médiane inférieure à celle de la catégorie M1¹² ! Les statistiques descriptives des vitesses au passage des véhicules par catégories, résumées à la Figure 25 de l'annexe A, mettent en lumière des vitesses plus élevées pour la catégorie M1 par rapport aux autres catégories en comparaison à ce qui a été mesuré par le dBFlash : vitesse aussi importante que pour les motos (+ 5 km/h pour le dBFlash), + 4 km/h par rapport aux camionnettes (+ 1 km/h pour le dBFlash), + 10 km/h par rapport aux bus, cars, camions et gros camions (+ 4 km/h pour le dBflash). L'influence de la vitesse, donc du bruit de roulement, a toute son importance ici.

¹² Un calcul des médianes a été réalisé en enlevant les valeurs $L_{AFmax} > 90$ dBA afin d'éliminer un effet éventuel des véhicules particulièrement bruyants pour des raisons autres que le bruit de roulement ou de motorisation, mais les résultats restent identiques. Le choix de la médiane est donc bien justifié par rapport aux valeurs extrêmes.

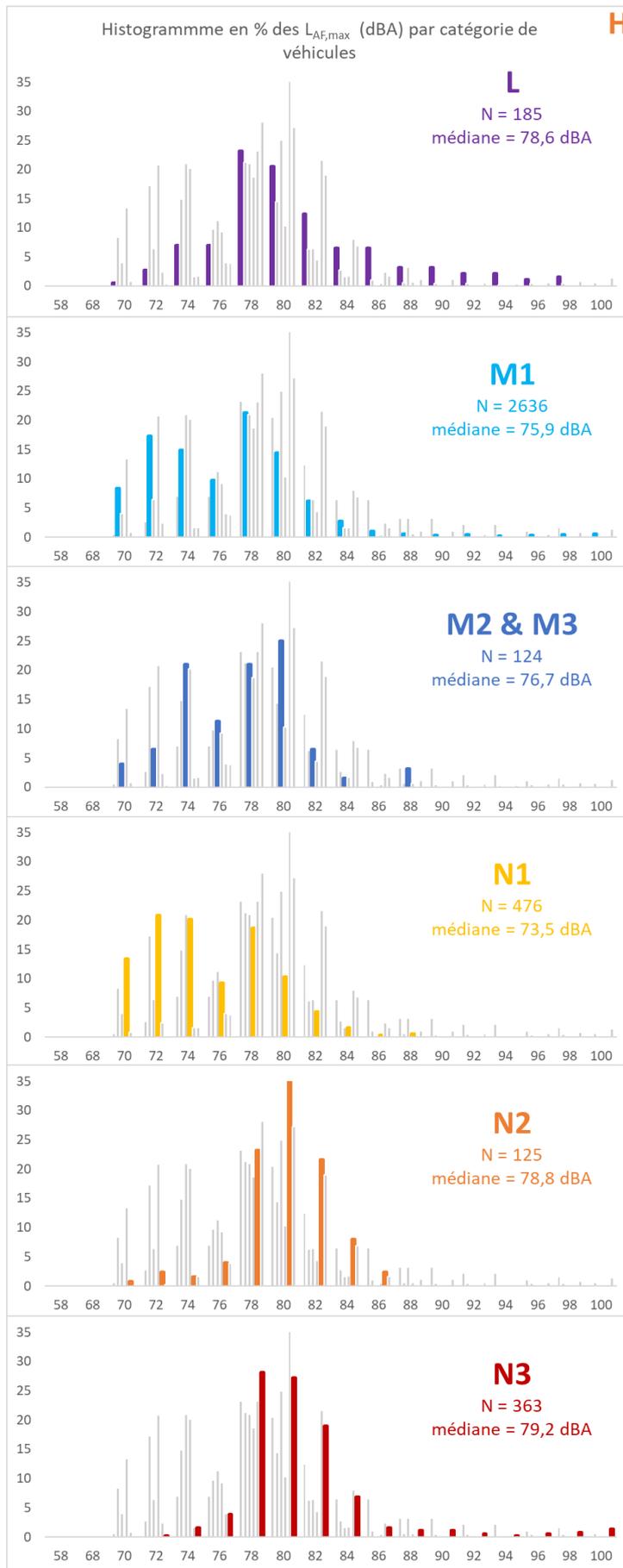


Figure 20 : Histogramme en % des niveaux $L_{AF,max}$ par catégorie de véhicules.



3.4 Influence du type de moteur des véhicules

Les distributions en pourcents des niveaux L_{AFmax} par types de motorisation des véhicules par classe de 2 dBA sont tracées à la Figure 21 les unes à la suite des autres : diesel, essence, hybride et électrique. Le nombre de véhicules LPG/CNG était trop faible pour faire apparaître la distribution (7 véhicules) et le nombre de véhicules électriques est faible (26). Les distributions ont des formes similaires les unes par rapport aux autres, influencées par les changements de seuil de détection. Les médianes diffèrent peu, sur une étendue de 2,2 dBA, avec du moins bruyant au plus bruyant : 75,7 dBA (essence) < 76,7 dBA (hybride) < 76,9 dBA (diesel) < 77,9 dBA (électrique).

Pour les mesures réalisées par l'Hydre, comme pour le dBFlash, les voitures électriques sont plus bruyantes, avec cette fois un écart plus marqué. En plus d'avoir des véhicules plus lourds pour une même catégorie de véhicules comme montré sur la Figure 22, les vitesses sont également plus importantes toute catégorie confondue (voir Annexe A Figure 26). Sans faire de supposition quant au comportement des conducteurs de véhicules électriques par rapport à la vitesse, mentionnons que ces véhicules ont un couple nettement plus important que les véhicules thermiques et permettent d'atteindre la vitesse de pointe plus rapidement, ce qui pourrait expliquer cette différence dans les vitesses au passage.



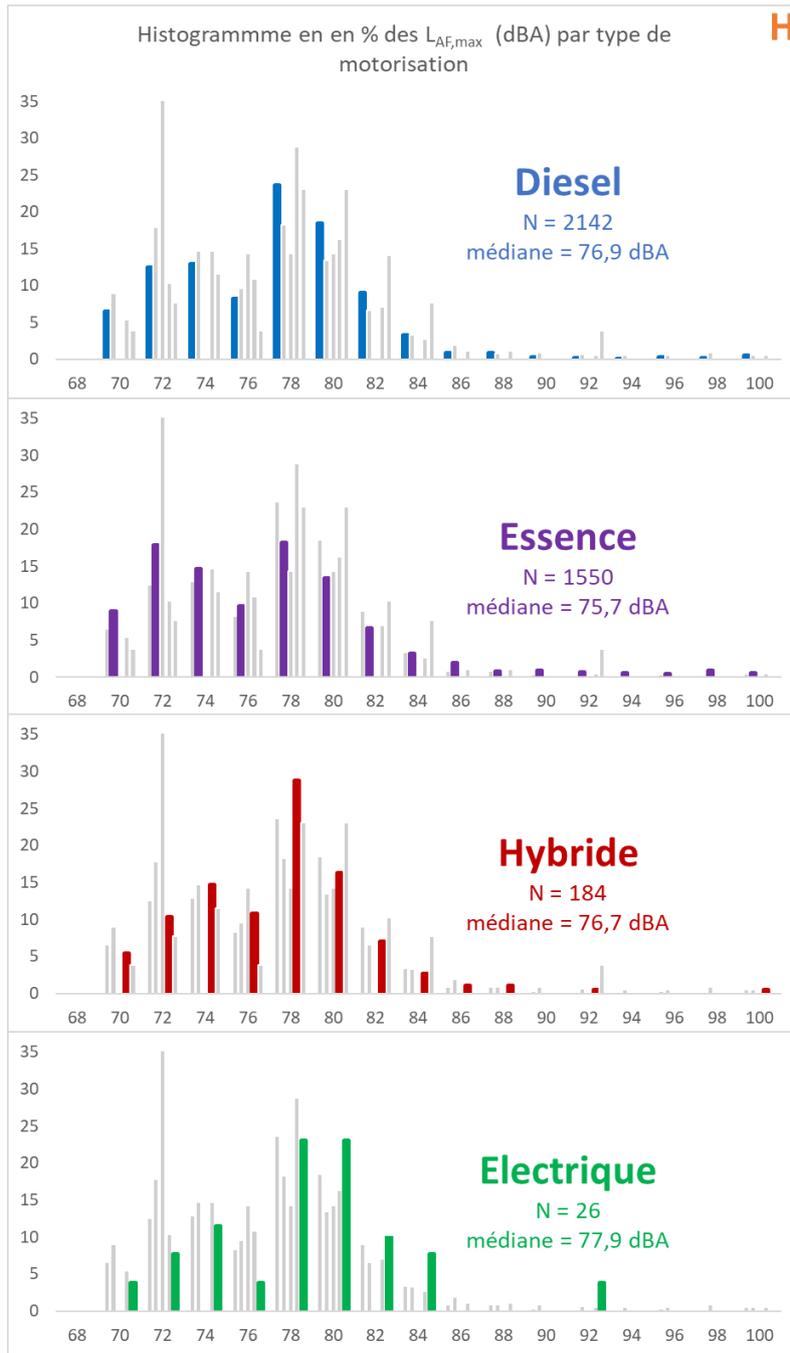


Figure 21 : Histogramme en % des niveaux $L_{AF,max}$ par type de motorisation des véhicules.

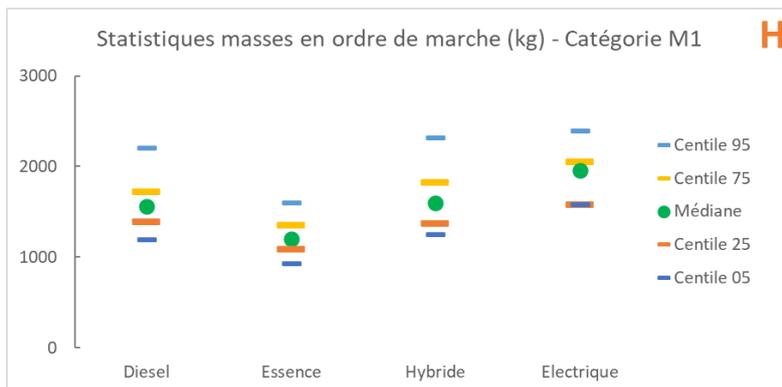


Figure 22 : Statistiques descriptives des masses en ordre de marche (kg) des véhicules de la catégorie des voitures (M1).



3.5 Influence de l'âge des véhicules

La Figure 23 montre les L_{AFmax} en fonction de l'année de 1^{ère} immatriculation, les croix vertes représentant le niveau médian pour chaque année. L'étendue des niveaux médians est de 3,6 dBA entre 2003 et 2023 (années avec plus de 30 véhicules). Celle-ci se réduit à 1,7 dBA entre les années 2009 à 2023 avec un niveau de 76,7 dBA, années avec un niveau plus élevées que les précédentes. Les années 2022 et 2023 ne se démarquent pas par rapport aux dix années précédentes. En-dehors des plus vieilles années sous représentées, l'âge des véhicules n'a pas d'effet positif, ils seraient même dans ce cas dégradant en termes de niveaux sonores mesurés.

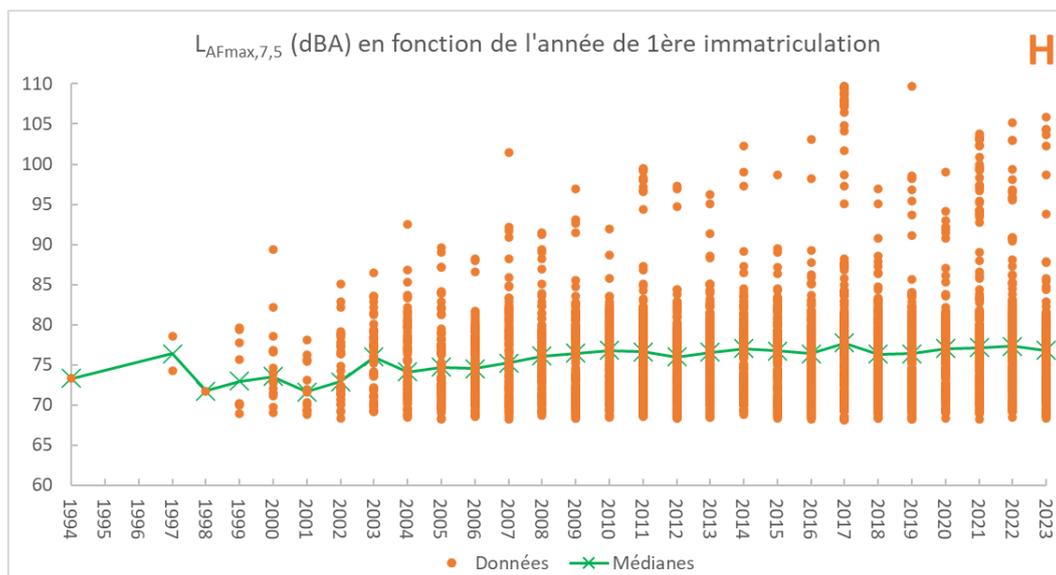


Figure 23 : Niveaux sonores L_{AFmax} en fonction de l'année de 1^{ère} immatriculation des véhicules. Les croix vertes reliées entre elles représentent la médiane des L_{AFmax} pour chaque année.

3.6 Influence de la masse et de la puissance des véhicules

Les derniers paramètres sont la puissance nette des véhicules et leur masse en ordre de marche. Les graphiques pour les niveaux L_{AFmax} en fonction de ces deux paramètres (puissance à gauche, masse à droite) sont tracés à la Figure 24. Aucune tendance ne se dessine mis à part un niveau sonore minimum plus élevés pour les véhicules de plus de 5 000 kg par rapport à ceux en-dessous (cf. graphe de droite) ou pour les véhicules de plus de 200 kW par rapport à ceux en-dessous (cf. graphe de gauche).

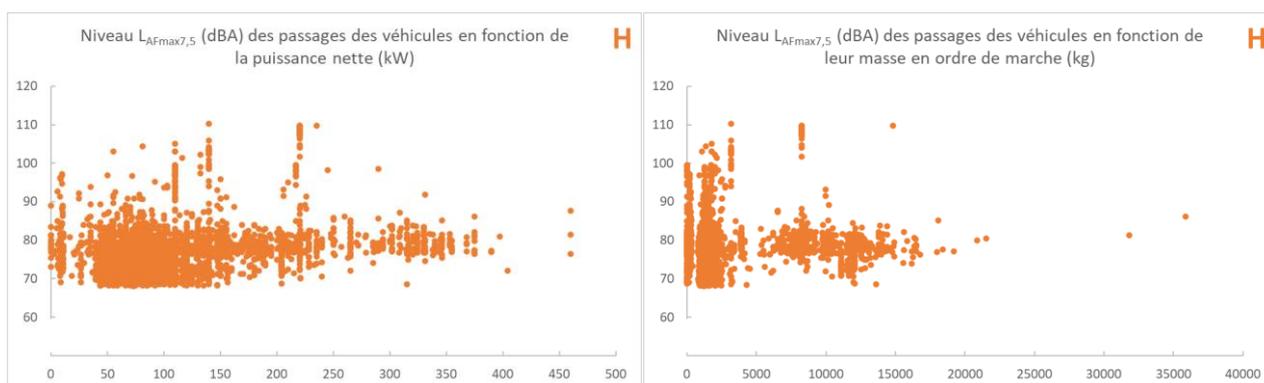


Figure 24 : L_{AFmax} en fonction de la puissance nette (à gauche) et de la masse en ordre de marche (droite) des véhicules.

SYNTHÈSE ET PERSPECTIVES

Cette double campagne de mesure a permis au service Données Bruit de Bruxelles Environnement de se familiariser aux technologies des radars sonores par l'installation et l'utilisation du dBFlash développé par MicrodB et de l'Hydre par BruitParif. Développés pour cibler au départ les véhicules particulièrement bruyants, ces mesures ont détourné l'utilisation première des appareils pour permettre l'analyse d'un très grand nombre de passages de véhicules afin de cibler les véhicules calmes/bruyants et les facteurs influents. Ces résultats s'ajoutent à ceux obtenus lors de la campagne Remote Sensing, confortant en grande partie les conclusions de cette 1^{ère} campagne de mesure.

L'appareil dBFlash a été placé avenue Louis Bertrand à Schaerbeek et l'Hydre chaussée de Mons à Anderlecht, chacun durant un mois et demi environ. Le fonctionnement des appareils, leurs seuils de détection et la différence de configuration des rues impliquent qu'il n'est pas possible de comparer directement les résultats entre eux. Il est néanmoins intéressant dans cette synthèse de mettre les résultats en parallèle afin de dégager certaines tendances :

- La vitesse est le premier facteur influençant le niveau sonore car modifiant l'émission sonore dû au bruit de roulement. Réduire sa vitesse permet de réduire le niveau sonore à moins d'être à très basse vitesse, dans quel cas le bruit de la motorisation lié aux accélérations est prépondérant.
 - Les passages de véhicules générant des niveaux sonores supérieurs ou égales à 90 dBA sont dus majoritairement à des bruits événementiels différents des bruits de motorisation et de roulement classiques : sirènes, klaxons, problèmes mécaniques. Toutefois, certains véhicules ont montré des niveaux de bruit élevés sans être dus à des bruits anormaux supplémentaires, principalement des motos.
 - La catégorie des véhicules a son influence sur les niveaux sonores, toutefois, entre les deux localisations ou même avec la campagne Remote Sensing, les résultats diffèrent à cause notamment du type de trafic sur les rues concernées et la vitesse des véhicules. Certaines tendances concernant les niveaux sonores peuvent être tirées, considérant une même vitesse des véhicules :
 - Un utilitaire ou une camionnette (N1) génère globalement des niveaux de bruit similaires à une voiture (M1)
 - Une moto (L) ou un bus ou un car (M2 & M3) génère des niveaux de bruit supérieurs à une voiture (M1) :
 - L : + 2,7 à + 5,5 dBA
 - M2 & M3 : + 0,8 à + 4,1 dBA
 - Un camion (N2) ou un gros camion (N3) est génère des niveaux de bruit nettement supérieurs à une voiture (M1) :
 - N2 : + 2,9 à + 6,9 dBA
 - N3 : + 3,3 à + 8,4 dBA
- Les écarts absolus entre une catégorie avec celle des voitures (M1) dépendent de la localisation.

- Le type de motorisation, sans avoir présenté des différences importantes (maximum 2 dBA) entre deux, influence légèrement les émissions sonores avec, du moins bruyants au plus bruyants : essence, hybride et diesel, CNG/LPG et enfin électrique. Les véhicules électriques ne montrent pas des niveaux inférieurs, mais plutôt des niveaux équivalents voire supérieurs. L'émission sonore est due au bruit de roulement à moins qu'un bruit artificiel ne soit enclenché automatiquement à basse vitesse (20 km/h). A vitesse plus élevée, la masse plus importante des véhicules électrique pourrait jouer sur l'augmentation du bruit de roulement.
- L'année de mise en circulation des véhicules n'a pas d'influence notable sur les niveaux sonores mesurés. L'évolution des véhicules avec les années ne va pas de pair avec une réduction des niveaux sonores.
- Les véhicules lourds (> 5 tonnes) présentent un niveau sonore minimum plus élevé que les véhicules plus légers, mais sans qu'il y ait une relation proportionnelle entre la masse en ordre de marche des véhicules et le niveau sonore.



Comme pour la campagne Remote Sensing, les mesures et l'analyse du bruit routier, dû à chaque véhicule pris individuellement, permettent de mettre en évidence les véhicules bruyants/calmes et d'objectiver ou non certaines croyances (bruit des véhicules plus anciens, véhicules électriques, etc.). L'utilisation de radars sonores, même détournés de leur but initial, a permis la mesure et l'analyse de plusieurs milliers de véhicules. L'installation de ce type d'appareils implique toutefois toute une série d'exigences ou de contraintes techniques ne permettant pas une installation aisée et à n'importe quelle localisation, mais la robustesse et la fiabilité de ces radars a pu être constatée et appréciée.



ANNEXE A

1) Statistiques descriptives des vitesses par catégories de véhicules identifiés au dBFlash et à l'Hydre

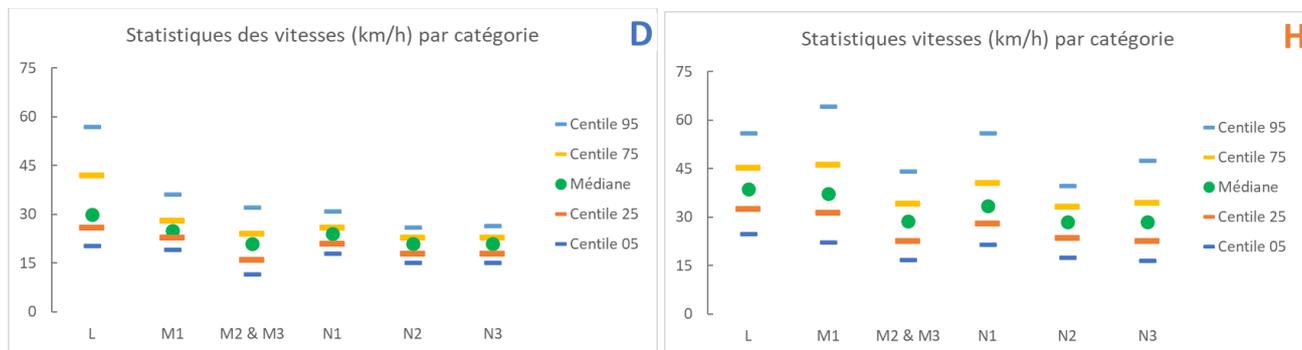


Figure 25 : Statistiques descriptives des vitesses au passage des véhicules (km/h) pour le dBFlash (gauche) et l'Hydre (droite) par catégories.

2) Statistiques descriptives des vitesses par types de motorisation des véhicules identifiés au dBFlash et à l'Hydre

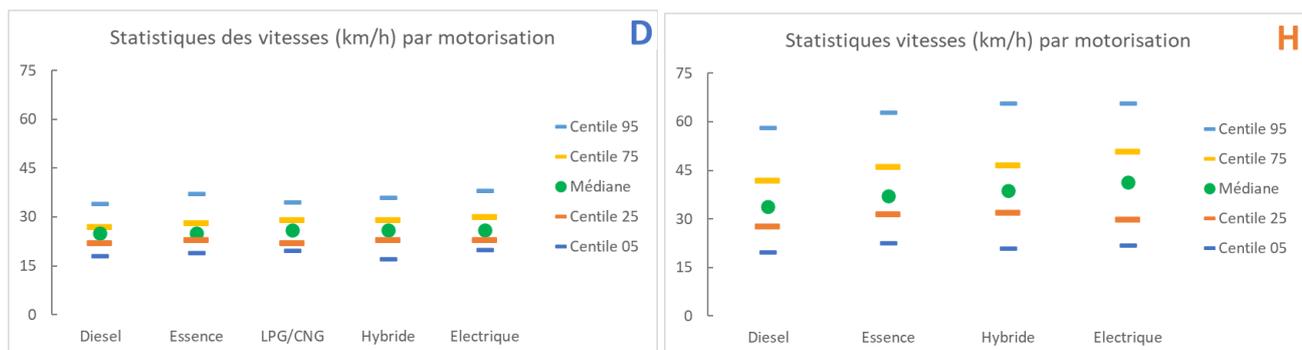


Figure 26 : Statistiques descriptives des vitesses au passage des véhicules (km/h) pour le dBFlash (gauche) et l'Hydre (droite) par motorisations.

ANNEXE B

Afin d'obtenir une comparaison à vitesse égale de véhicules appartenant à différentes catégories caractérisées par des vitesses différentes, on peut approximer la valeur médiane du L_{AFmax} d'une catégorie sur base de la droite de régression et utiliser la même vitesse (médiane) que la catégorie de comparaison. Par exemple, la régression linéaire du niveau sonores à partir de la vitesse au passage pour les motos (L) est de qualité ($R^2 = 0,20$) comme montré sur le graphe de la Figure 27. A partir de l'équation de la droite de régression, et en prenant la vitesse médiane de la catégorie M1 (25 km/h), on obtient un niveau de 68,3 dBA. Ainsi, la différence avec la catégorie M1 passe de 5,5 dBA à 3,8 dBA. Toutefois, à ces vitesses, et d'autant plus pour les motos, l'accélération du véhicule a également une influence qu'il faudrait prendre en compte via un modèle de régression multiple.

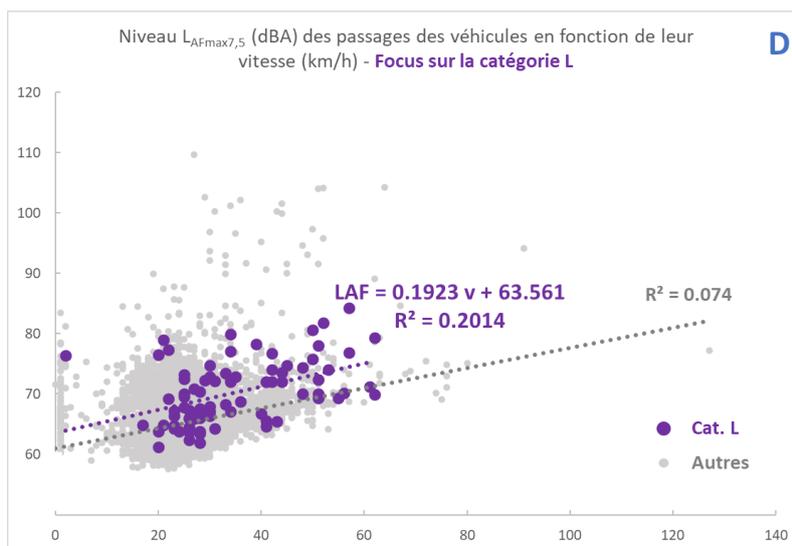


Figure 27 : Niveaux L_{AFmax} en fonction de la vitesse au passage des véhicules - analyses pour la catégorie des motos (L).



02 775 75 75
WWW.BRUXELLESENVIRONNEMENT.BE

Rédaction : Benoît Fauville, Sébastien Lange
Comité de lecture : Catherine Lecointre
E-mail : bruit.autorisations@environnement.brussels
Ed. Resp. : B. Dewulf – Av du Port 86C/3000- 1000 Bruxelles

