



Evaluation des émissions sonores de deux-roues motorisés en conditions urbaines de fonctionnement

R. Chatagnon et J. Lelong

IFSTTAR-AME-LAE, 25 avenue François Mitterrand, Case 24, 69675 Bron, France
roger.chatagnon@ifsttar.fr

Les deux-roues motorisés, bien que représentant une part réduite du trafic routier, sont fréquemment cités par les Français se disant gênés par le bruit des transports. Le projet de recherche Ascoot (2011-2015) vise à améliorer les connaissances scientifiques sur le sujet, notamment en réalisant des mesures de bruit au passage et de puissance acoustique sur des deux-roues motorisés en conditions réelles d'utilisation : à vitesse stabilisée, en accélération et en décélération. Des lois d'émission acoustiques ont été établies pour un panel de dix scooters. L'analyse de ces lois montre une asymétrie latérale des émissions sonores pouvant atteindre 3 dB(A) pour certains véhicules. A vitesse stabilisée, les scooters les plus bruyants sont les véhicules de plus petites cylindrées. Par contre, en phase d'accélération les scooters les plus bruyants sont, pour une vitesse de passage donnée, ceux disposant de la cylindrée la plus élevée. L'accélération provoque une importante hausse des émissions sonores pouvant atteindre 16 dB(A) à faible vitesse. Le mode de conduite de ce type de véhicule est particulièrement important puisque qu'un scooter peut, en fonction de sa cylindrée, se révéler moins bruyant qu'un véhicule léger lorsqu'il circule à vitesse stabilisée ou plus bruyant qu'un poids lourd en accélération pleine charge.

1 Introduction

De nombreux travaux ont été menés depuis les années 60 sur les émissions sonores des moyens de transport : véhicule léger, poids lourds, train, tramway. Peu de recherches ont cependant abordé le cas des deux-roues motorisés. Compte tenu de leur importance grandissante relative dans le trafic total et en l'absence d'information sur le volume de trafic réel, notamment en milieu urbain, cette catégorie de véhicules n'a pas été prise en compte dans les modèles de prévision de bruit. La question du bruit émis par les deux-roues motorisés reste cependant une préoccupation importante de la population puisque ces véhicules sont cités en deuxième position par 43% des Français se disant gênés par le bruit des transports [1] (après les véhicules légers mais avant les poids lourds).

Dans un contexte de la congestion de la circulation de plus en plus forte en milieu urbain, de nombreux usagers recourent aux deux-roues motorisés, et plus particulièrement aux scooters. Au 1^{er} Janvier 2012, le Ministère de l'Ecologie, du Développement Durable et de l'Energie a publié des chiffres officiels faisant état d'un parc roulant bien plus important que les estimations réalisées jusque-là [2]. Des études récentes indiquent que les deux-roues motorisés peuvent représenter jusqu'à 30 % du trafic total aux heures de pointe sur certains axes franciliens [3].

L'objectif de cet article est de présenter une partie des résultats obtenus dans un des volets du projet de recherche PREDIT ASCOOT (2011-2015) visant à évaluer les émissions sonores d'un panel de dix scooters représentatif des meilleures ventes en France en 2010 [4]. Les trois premières parties de cet article décrivent le panel de scooters, les dispositifs et protocoles expérimentaux, et la méthodologie de calcul des lois d'émission de chaque véhicule. L'analyse de trois paramètres importants influençant les émissions sonores des scooters est présentée dans la quatrième partie. La comparaison des émissions sonores des scooters à celles des véhicules légers et des poids lourds fait l'objet de la dernière partie.

2 Description du panel de scooters

Le panel de véhicules analysés est composé de dix scooters d'occasions à motorisation thermique conformes à la réglementation en vigueur. Ils sont représentatifs des meilleures statistiques de ventes en 2010 et représentent plusieurs constructeurs [4]. Dans un souci de confidentialité, les véhicules ne sont pas identifiés dans cet article (cf Tableau 1). Ce panel est composé de :

- quatre scooters de cylindrée 50 cm³ : deux motorisations 2 temps (2T) et deux motorisations 4 temps (4T),
- quatre scooters de cylindrée 125 cm³,
- deux scooters de cylindrée supérieure à 125 cm³.

Tableau 1 - caractéristiques techniques des 10 scooters.

Nom	Cylindrée (cm ³)	Moteur	Puissance (kW)
S50-2T-A	50 cm ³	2T	4
S50-2T-B			4
S50-4T-C		4T	2,8
S50-4T-D			3,6
S125-A	125 cm ³	4T	11
S125-B			11
S125-C			11
S125-D			9,5
M-A	500 cm ³	4T	36
M-B	400 cm ³	4T	25

Les dix scooters disposent d'une Transmission à Variation Continue (CVT) qui joue le rôle d'une boîte de vitesse automatique mais avec un nombre infini de rapports. La transition entre les démultiplications est progressive, en fonction du régime moteur et de la vitesse du véhicule.

3 Evaluation des émissions sonores : dispositif et protocole expérimentaux

3.1 Description générale du dispositif expérimental

La campagne expérimentale est réalisée sur une piste d'essai dont le revêtement est un béton bitumineux semi-grenu (BBSG 0/10) représentatif des revêtements routiers employés en milieu urbain en France. Deux dispositifs acoustiques déployés sur une zone de mesure de 20m de longueur, évaluent le bruit au passage des scooters suivant le dispositif expérimental indiqué dans la Figure 1. Des couples de cellules infrarouge / plaques réfléchissantes permettent d'estimer la vitesse du scooter au droit de chaque dispositif acoustique. Le régime moteur est déterminé en continu à l'aide d'une pince ampérométrique fixée sur le câble d'alimentation de la bougie.

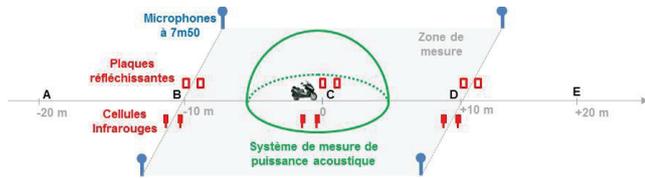


Figure 1 - dispositif expérimental déployé dans le cadre du projet Ascoot.

3.2 Mesures à 7m50

Quatre microphones sont situés à 7,5 m de l'axe de passage du scooter et 1,2 m de hauteur conformément aux prescriptions décrites dans les normes de mesure du bruit routier [5,6]. Ils sont positionnés par couple de part et d'autre de l'axe de passage des scooters aux deux extrémités de la zone de mesure (cf Figure 1). Les niveaux de bruit globaux maximums pondérés A (L_{Amax}) sont déterminés pour chaque passage. Le spectre tiers d'octave à l'instant où le niveau de bruit est maximal est également évalué (gamme de fréquence couverte : 50 Hz-10 kHz). Seuls les niveaux excédant le niveau de bruit de fond d'au moins 10 dB(A) ont été exploités.

3.3 Mesures de puissance et de directivité acoustiques

La méthode retenue par l'IFSTTAR pour caractériser les puissance et directivité acoustiques des véhicules routiers [7] présente l'avantage de pouvoir être employée sur des véhicules en mouvement. Elle consiste à mesurer le niveau de pression acoustique en dix-sept points répartis sur un hémisphère de 4,57 m de rayon (cf Figure 2).

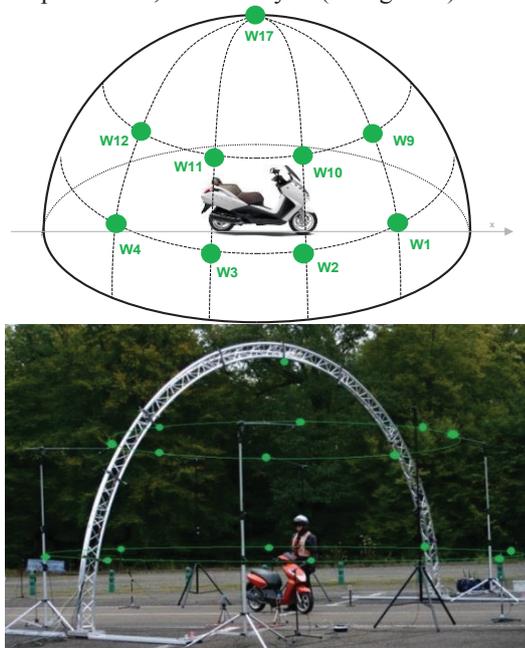


Figure 2 - système de mesure de puissance et de directivité acoustiques.

Pour chaque passage de scooter, la puissance acoustique L_{WA} est calculée à partir des niveaux de bruit mesurés par chacun des dix-sept microphones au moment du passage du véhicule au centre de l'hémisphère et associés à chaque aire élémentaire correspondante :

$$L_{WA} = 10 * \log \left[\sum_{i=1}^{17} \frac{S_T/17}{S_0} 10^{Lp(i)/10} \right] \quad (1)$$

où S_T est l'aire de l'hémisphère et S_0 la surface de référence ($1m^2$).

Ce dispositif a également permis de déterminer la directivité horizontale dans les deux plans où sont situés les microphones (1,08m et 3,23m de hauteur conformément à la Figure 3).

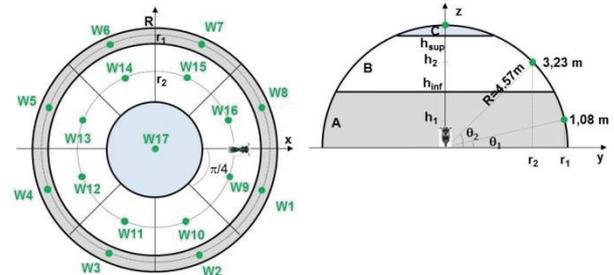


Figure 3 - position des microphones du système de mesure de puissance et de directivité acoustiques.

3.4 Protocole expérimental

Les émissions sonores des différents véhicules sont évaluées en balayant toute leur plage de fonctionnement. Pour cela, les mesures sont réalisées sur chaque scooter circulant à différentes allures suivant un protocole similaire décrit par la norme de mesure de bruit au passage sur des véhicules maîtrisés [6].

Passages à vitesse stabilisée

Chaque véhicule réalise des passages sur la plage de vitesse $[v_m, V_M]$ par pas de 10 km/h où :

- $v_m = 10$ km/h,
- $V_M = 45$ km/h pour les scooters de cylindrée 50 cm^3 ,
90 km/h pour les scooters de cylindrée 125 cm^3 et
110 km/h pour les scooters de cylindrée supérieure à 125 cm^3 .

Passages en phase d'accélération

Deux séries de mesures sont réalisées sur des scooters accélérant au maximum de leur capacité :

- Départ arrêté : le scooter se positionne à l'arrêt au point A situé 10 mètres avant l'entrée de la zone de mesure puis accélère jusqu'au point D situé à la sortie de la zone de mesure (cf Figure 1).
- Départ lancé : le scooter approche à vitesse stabilisée puis accélère lorsqu'il arrive au point A situé 10 m avant la zone de mesure. Les mesures sont réalisées en balayant plusieurs vitesses d'approches : 10, 20 et 30 km/h pour les scooters de cylindrée 50 cm^3 et 30,50 et 70 km/h pour les scooters de cylindrée supérieure (cf Figure 1).

Passages en phase de décélération

Les scooters approchent à vitesse stabilisée puis le pilote laisse le véhicule décélérer sans freiner lorsqu'il arrive au point A situé 10 m avant la zone de mesure (cf Figure 1). La vitesse d'approche est de 45 km/h pour les scooters de cylindrée 50 cm^3 et 90 km/h pour les scooters de cylindrée supérieure.

4 Résultats

L'exploitation des mesures réalisées permet d'établir des lois d'émission pour chaque allure et chaque scooter. Ces lois sont représentées par une régression quadratique en fonction du logarithme de la vitesse et sont définies en niveau global et pour chaque bande de tiers d'octave comprise entre 50 Hz et 10 kHz. L'évolution du niveau de bruit maximal au passage L_{Amax} est décrite par l'Eq 2, celle du niveau de puissance acoustique L_{WA} par l'Eq 3.

$$L_{Amax}(v, a, c) = \alpha_{ac} + \beta_{ac} \log\left(\frac{v}{v_{ref}}\right) + \gamma_{ac} \log^2\left(\frac{v}{v_{ref}}\right) \quad (2)$$

$$L_{WA}(v, a) = \theta_a + \vartheta_a \log\left(\frac{v}{v_{ref}}\right) + \mu_a \log^2\left(\frac{v}{v_{ref}}\right) \quad (3)$$

Où α , β , γ , θ , ϑ et μ sont les coefficients des régressions, a représente l'allure du scooter (vitesse stabilisée, accélération ou décélération), c le côté du véhicule (gauche ou droite), et v_{ref} est la vitesse référence : 30 km/h pour les scooters de cylindrée 50 cm³ et 70 km/h pour les plus scooters de cylindrée supérieure.

Un exemple des lois d'évolution du L_{Amax} et du L_{WA} pour différentes allures d'un scooter de cylindrée 125 cm³ est présenté dans la Figure 4.

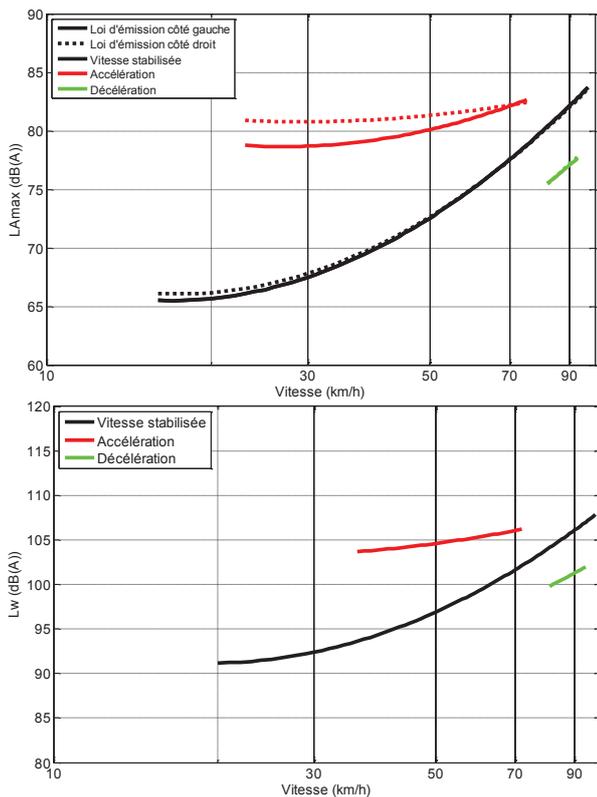


Figure 4 - loi d'évolution du L_{Amax} (en haut) et du L_{WA} (en bas) pour différents allures du scooter de cylindrée 125 cm³ S125A.

5 Analyse des émissions sonores du panel de scooter

L'analyse des lois d'émission retenues pour les dix scooters du panel a permis d'identifier certains paramètres ayant une influence sur le niveau de bruit global maximal

au passage [8] ou sur le niveau de puissance acoustique global [9]. L'influence de trois de ces paramètres est présentée ici :

- le côté mesuré,
- la cylindrée,
- l'accélération du véhicule.

5.1 Asymétrie des émissions sonores

L'analyse des lois d'évolution du L_{Amax} pour différentes allures du scooter S125-A montre que le niveau de bruit global est plus élevé côté droit du véhicule (cf Figure 4). Cette asymétrie est maximale à basse vitesse et diminue jusqu'à devenir négligeable à haute vitesse. Elle est également plus marquée en accélération qu'à vitesse stabilisée.

On observe la même asymétrie sur l'ensemble des dix scooters analysés qui disposent tous d'un seul pot d'échappement situé sur le côté droit du véhicule. La Figure 5 représente cette asymétrie pour les dix scooters du panel circulant à différentes allures. L'asymétrie peut atteindre 3,1 dB(A) en accélération. Elle est globalement plus faible à vitesse stabilisée (inférieure à 2,4 dB(A)) ou en décélération (inférieure à 1,8 dB(A)).

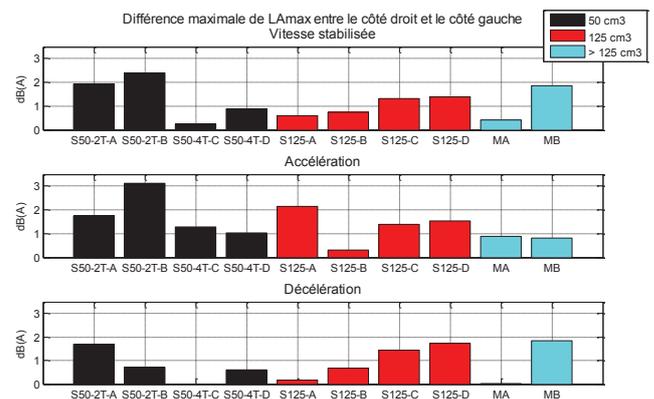


Figure 5 - asymétrie maximale des dix scooters analysés circulant à différentes allures.

Les deux scooters équipés d'une motorisation 2T présentent une asymétrie plus marquée que ceux équipés d'une motorisation 4T. En revanche, cette asymétrie est indépendante de la cylindrée du véhicule.

La Figure 6 montre les directivités relatives pour les vitesses minimales et maximales de chaque allure du scooter S50-2T-B qui présente la plus forte asymétrie. Ces directivités sont représentées en prenant pour référence 0 dB(A) le niveau de bruit mesuré par le microphone situé au sommet de l'hémisphère (microphone W17 sur la Figure 3). En décélération, seul le diagramme évalué à la vitesse maximale est représenté. L'analyse de ces diagrammes confirme que le bruit émis par ce scooter est plus élevé côté droit. On observe également que les émissions sonores sont plus importantes à 1,08 m de hauteur et à l'arrière du véhicule.

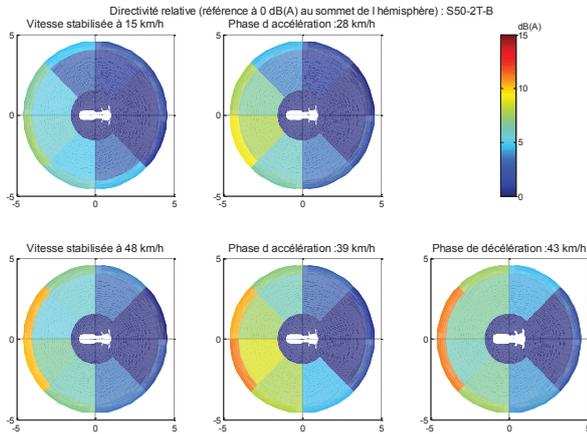


Figure 6 - directivité relative du scooter S50-2T-B pour différentes allures et vitesses de passages.

5.2 Influence de la cylindrée du scooter

La Figure 7 représente des nuages dans lesquels s'inscrivent toutes les régressions des scooters de même cylindrée. Cette figure montre que l'influence de la cylindrée des scooters sur le niveau de bruit global maximal au passage (L_{Amax}) dépend de l'allure du véhicule.

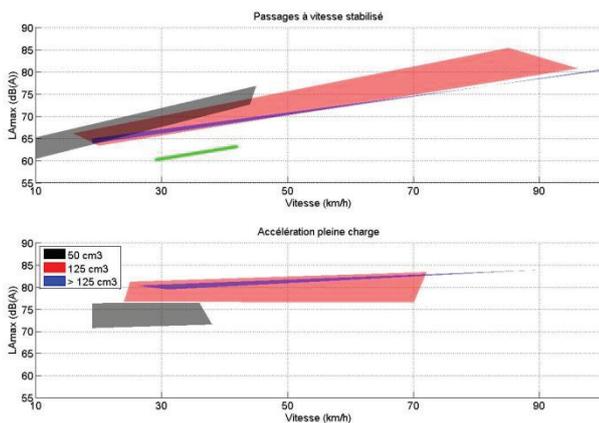


Figure 7 - comparaison du niveau de bruit global maximal au passage (L_{Amax}) des scooters de différentes cylindrées pour différentes allures (côté droit véhicule).

A vitesse stabilisée, un scooter est d'autant plus bruyant que sa cylindrée est faible. En effet, pour une vitesse donnée, le régime moteur atteint par de tels scooters est plus élevé que celui atteint par des scooters de cylindrée supérieure.

En phase d'accélération pleine charge, un scooter est d'autant plus bruyant que sa cylindrée est forte. En effet, pour une vitesse donnée, le régime moteur atteint par les scooters de forte cylindrée est significativement plus élevé que celui des scooters de cylindrée 50 cm^3 .

5.3 Influence de l'accélération pleine charge

L'accélération provoque une augmentation du niveau de bruit par rapport à un passage réalisé à vitesse instantanée stabilisée identique. Cette hausse de L_{Amax} est maximale à faible vitesse et décroît jusqu'à devenir négligeable lorsque le véhicule atteint sa vitesse maximale (cf Figure 8).

L'augmentation du L_{Amax} est plus élevée pour les véhicules de fortes cylindrées disposant d'un couple moteur important. Elle atteint :

- 9 dB(A) pour les scooters de cylindrée 50 cm^3 ,
- 16 dB(A) pour les scooters de cylindrée 125 cm^3 ,
- 14 dB(A) pour les scooters de cylindrée supérieure à 125 cm^3 .

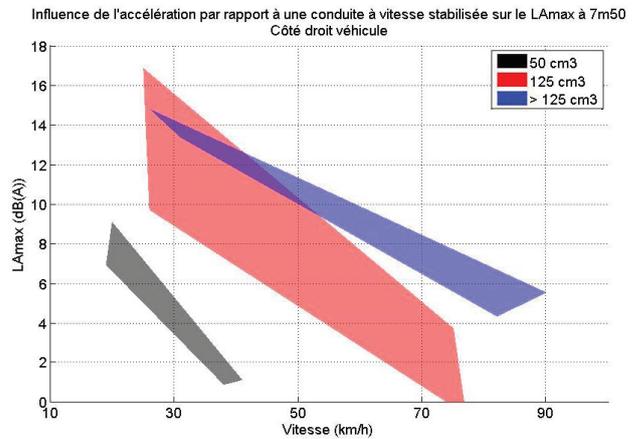


Figure 8 - influence de l'accélération pleine charge sur le L_{Amax} à 7m50 (côté droit véhicule) par rapport à un passage réalisé à la même vitesse stabilisée.

6 Comparaison des émissions sonores des scooters à celles des véhicules légers et des poids lourds

Les comparaisons ont été réalisées en calculant pour des scooters de même cylindrée la moyenne énergétique des L_{Amax} mesurés sur le côté le plus bruyant. Les niveaux moyennés sont comparés, pour des vitesses caractéristiques, aux niveaux d'émission sonore des deux catégories de véhicules considérées par la Nouvelle Méthode de Prédiction du Bruit routier (NMPB08) [10] :

- véhicules légers (VL) : véhicules de moins de 3,5 t,
- poids lourds (PL) : véhicules de 3,5 t ou plus.

Le revêtement de la piste d'essai correspond à un revêtement de type R2 dans la classification de la NMPB08.

6.1 Comparaison des émissions sonores des scooters à celles des véhicules légers et des poids lourds à vitesse stabilisée

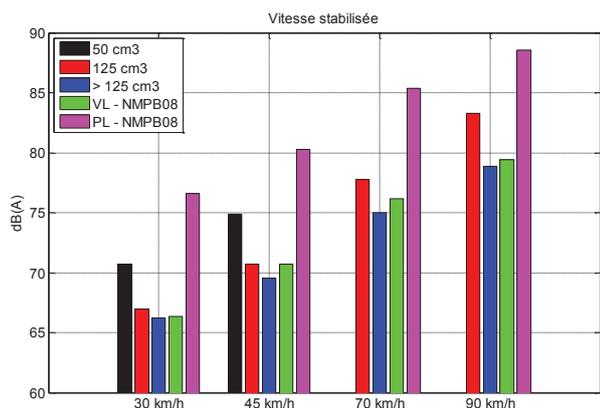


Figure 9 - Comparaison du L_{Amax} à vitesse stabilisée pour différents véhicules « moyens » représentatifs de leurs catégories.

A vitesse stabilisée, les scooters s'avèrent moins bruyants qu'un poids lourd quelle que soit leur cylindrée. En revanche, si les scooters de cylindrée 50cm³ sont plus bruyants qu'un véhicule léger (+ 4,2 dB(A) à 45 km/h), les scooters de cylindrée supérieure à 125 cm³ se révèlent aussi bruyants voire un peu moins bruyants qu'un VL. Les scooters de cylindrée 125 cm³ présentent des niveaux de bruit équivalents à ceux des véhicules légers à basse vitesse et sont plus bruyants à 90 km/h (+ 3,9 dB(A) à 90 km/h).

6.2 Comparaison des émissions sonores des scooters à celles des véhicules légers et des poids lourds en accélération

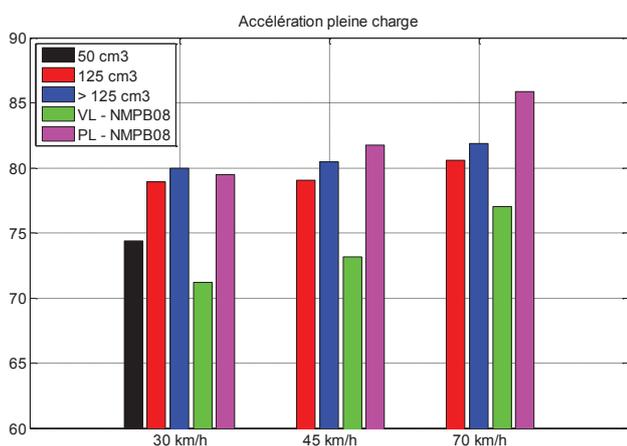


Figure 10 - Comparaison du L_{Amax} en accélération pleine charge pour différents véhicules « moyens » représentatifs de leurs catégories.

Lors d'une accélération pleine charge, les scooters sont plus bruyants que les VL quelle que soit leur cylindrée et la vitesse de passage. Les écarts sont plus importants à basse vitesse qu'à haute vitesse : +7,8 dB(A) à 30 km/h et +3,6 dB(A) à 70 pour un scooters de cylindrée 125 cm³. A 30 km/h, les scooters de cylindrée 125 cm³ ou de cylindrée supérieure présentent des émissions sonores équivalentes à celles d'un PL lors des accélérations pleines

charge. En revanche ils restent moins bruyants pour des accélérations réalisées à des vitesses plus élevées.

6.3 Augmentation des niveaux de bruit dû à l'accélération

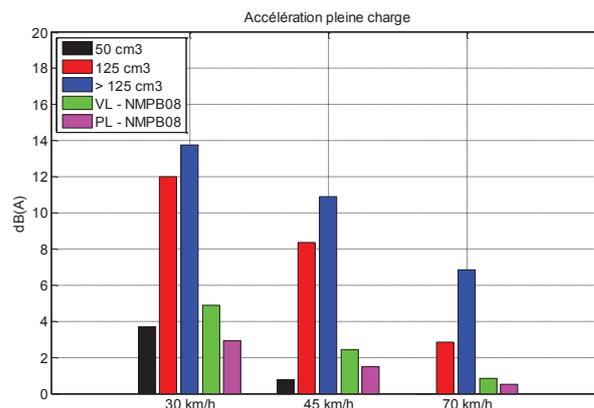


Figure 11 - Influence de l'accélération pleine charge par rapport à un passage à vitesse stabilisée sur le L_{Amax} pour différents véhicules « moyens » représentatifs de leurs catégories.

L'accélération pleine charge d'un véhicule léger ou d'un poids lourd provoque, comme pour les scooters (cf § 5.3), une hausse du L_{Amax} par rapport à un passage réalisé à la même à vitesse instantanée stabilisée (cf Figure 11). Cette hausse est également plus importante à basse vitesse et décroît jusqu'à devenir négligeable lorsque le véhicule atteint sa vitesse maximale. L'influence de l'accélération est significativement plus sensible pour les scooters de cylindrée supérieure ou égale à 125 cm³ que pour les véhicules légers et les poids lourds. En effet, à 30 km/h une accélération pleine charge provoque une hausse du niveau de bruit global maximal au passage (L_{Amax}) de :

- +2,9 dB(A) pour un PL,
- +4,9 dB(A) pour un VL,
- respectivement de +12 et +13,8 dB(A) pour les scooters de cylindrée 125 cm³ et pour les scooters de cylindrée supérieure.

7 Conclusion

Cette étude, qui s'inscrit dans le cadre d'un des volets du projet de recherche PREDIT ASCOOT (2011-2015), a permis d'évaluer le niveau de bruit maximal au passage L_{Amax} et le niveau de puissance acoustique L_{WA} d'un panel de dix scooters représentatifs des meilleures ventes en France en 2010 [4]. Des lois d'émission, représentées par une régression quadratique en fonction du logarithme de la vitesse, ont été établies pour chaque allure et chaque scooter. L'analyse de lois d'émission obtenues a permis d'identifier certains paramètres ayant un impact sur les émissions sonores de ce type de véhicule. L'influence de trois de ces paramètres a été présentée dans cet article.

Le bruit émis par chacun des dix scooters du panel est plus élevé du côté droit où est positionné l'unique système d'échappement. Cette asymétrie est maximale à basse vitesse et diminue jusqu'à devenir négligeable à haute

vitesse. Elle est également plus marquée en accélération (jusqu'à 3,1 dB(A)) qu'à vitesse stabilisée (inférieure à 2,4 dB(A)).

L'influence de la cylindrée des scooters sur le niveau de bruit global maximal au passage (L_{Amax}) dépend de l'allure du véhicule. A vitesse stabilisée, un scooter est d'autant plus bruyant que sa cylindrée est faible. En phase d'accélération pleine charge, on observe la tendance inverse, un scooter est d'autant plus bruyant que sa cylindrée est forte.

L'accélération pleine charge provoque une augmentation du niveau de bruit par rapport à un passage réalisé à vitesse instantanée stabilisée identique. Cette hausse de L_{Amax} est maximale à faible vitesse (jusqu'à 16 dB(A) pour les scooters de cylindrée 125 cm³) et décroît jusqu'à devenir négligeable lorsque le véhicule atteint sa vitesse maximale.

Les lois d'émission des dix scooters analysés ont été comparées à celles retenues par la nouvelle méthode de prévision du bruit routier (NMPB08) [10] pour les VL et les PL. Les scooters sont globalement plus bruyants que les VL mais moins bruyants que le PL. On observe cependant que les scooters de cylindrées supérieures à 125 cm³ peuvent se révéler moins bruyant qu'un VL à vitesse stabilisée et aussi bruyant qu'un PL lors des phases d'accélération à faible vitesse. L'augmentation des niveaux de bruit dû à l'accélération est significativement plus élevée pour les scooters que pour les autres catégories de véhicules. A 30 km/h une accélération pleine charge provoque une hausse du niveau de bruit global maximal au passage (L_{Amax}) de :

- +2,9 dB(A) pour un PL,
- +4,9 dB(A) pour un VL,
- respectivement de +12 et +13,8 dB(A) pour les scooters de cylindrée 125 cm³ et pour les scooters de cylindrée supérieure.

L'évaluation des émissions sonores d'un panel de dix scooters a également permis d'alimenter d'autres volets du projet Ascot, en particulier par l'élaboration d'un modèle acoustique simplifié de scooter afin de l'intégrer dans un outil d'évaluation dynamique de bruit de trafic.

Remerciements

Ce travail a été financé par l'ADEME et labélisé par le groupe opérationnel 1 du PREDIT. Il a été réalisé au sein du Labex CeLyA de l'Université de Lyon, géré par l'Agence Nationale de la Recherche (ANR-10-LABX-0060/ANR-11-IDEX-0007).

Références

- [1] Lambert J., Philipps-Bertin C, Les nuisances environnementales des transports : résultats d'une enquête nationale, Les Collections de l'INRETS, Rapport n°278 (2009).
- [2] Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie. Les deux-roues motorisés au 1er janvier 2012. Chiffres & statistiques n° 400 (2013)
- [3] CETE Ile-de-France, Étude du trafic des deux-roues motorisés en Ile-de-France, 37p (2012).
- [4] Etat de l'art, bruit des deux-roues motorisés, livrable du lot1 du projet ASCOOT rapport ASCOOT-11R1L1, 61 p (2011).
- [5] ISO 362-1:2007, « Measurement of noise emitted by acceleration road vehicles – Engineering method, Part1 : M and N categories » (2007).
- [6] NF S31-119-2, « Caractérisation in situ des qualités acoustiques des revêtements de chaussée – Mesurages acoustiques au passage – Partie 2 : véhicules maîtrisés (2000).
- [7] Hamet J.F, Bruyère J.C, Pachiaudi G. Puissance et directivité acoustiques du bruit de contact pneu/chaussée, méthode de mesure, rapport INRETS NNB 8601, 48 p (1986).
- [8] Chatagnon R, Lelong J. Emissions sonores d'un échantillon de scooters : mesures à 7m50, livrable du lot 2 du projet de recherche ASCOOT, rapport ASCOOT-12R1L2, 72p (2012).
- [9] Chatagnon R, Lelong J. Mesures de puissance et de directivité acoustiques d'un échantillon de scooters, livrable du lot 2 du projet de recherche ASCOOT, rapport ASCOOT-12R2L22, 72p (2012).
- [10] Nouvelle Méthode de Prévision du Bruit routier, calcul des émissions sonores dues au trafic routier, prévision des niveaux sonores, guide méthodologique publié par le SETRA, 122 p (2009).