

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Emission acoustique des deux-roues motorisés : scooters et cyclomoteurs

Loïc TOUSSAINT^{1,3}, Guillaume DUTILLEUX^{1,3}, Hubert LEFEVRE^{2,3}

¹ ERA32 "Acoustique" LCPC, Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Strasbourg, 11 rue Jean Mentelin, F-67035 Strasbourg

² Laboratoire Régional des Ponts et Chaussées de Clermont-Ferrand, 8-10 rue Palissy, F-63017 Clermont-Ferrand Cedex 02

³ {loic.toussaint,guillaume.dutilleux,hubert.lefevre}@developpement-durable.gouv.fr

Les deux-roues motorisés ont une place particulière dans le paysage sonore urbain. Bien qu'ils représentent une faible part de la circulation routière et du niveau sonore global engendré par une infrastructure, ils suscitent de nombreuses plaintes. L'émission sonore de ces véhicules reste toutefois mal connue. Deux programmes de recherche LCPC permettent d'y voir plus clair. Dans ce cadre, des cyclomoteurs et des scooters de cylindrée variant de 50 à 125 cm³ ont été étudiés au passage sur piste à différentes allures de circulation. En première approximation, un scooter peut être représenté par une source ponctuelle omnidirectionnelle. La hauteur de la source équivalente d'un véhicule est située proche du sol. A allure stabilisée, une loi de puissance à deux parties : $a \times \log_{10}(V/V_{ref}) + b$ où v est la vitesse, s'applique bien à ces véhicules. En allure accélérée, on constate que la pente de la loi de puissance tend vers zéro. Les véhicules de cylindrée 50 cm³ et 125 cm³ ont une signature spectrale propre à chacun et se différencie fortement des véhicules légers en basses et hautes fréquences.

1 Introduction

Le parc de deux-roues à moteur en France (Figure 1) comptait 2.480.000 véhicules en 2005. Il se compose de deux grandes familles :

- les cyclomoteurs au nombre de 1.303.000, véhicules de faible puissance, dont la cylindrée ne dépasse pas 50 cm³ pour une vitesse maximale de 45 km/h à la construction ;
- les motocyclettes au nombre de 1.177.000 qui comprennent trois catégories de véhicules
 1. les motocyclettes légères (MTL) de cylindrée inférieure à 125 cm³ ;
 2. les motocyclettes limitées en puissance à 25 kilowatts (MTT1) ;
 3. les motocyclettes de grosses cylindrée d'une puissance supérieure à 25 kilowatts (MTT2).

On peut remarquer sur la figure 1 que les scooters (cyclomoteur caractérisé par des roues de faible diamètre) dont la cylindrée est inférieure à 50 cm³ représentent plus d'un quart des véhicules.

En 2005, l'ensemble de ce parc de deux-roues motorisés constituait moins de 7% du parc automobile français estimé à 36 millions de véhicules. En Europe, les deux-roues motorisés représentent 11% du parc automobile [1]. Toutefois, malgré cette faible part dans le trafic global, il est important de connaître l'émission acoustique de ces véhicules, notamment pour les modéliser en milieu urbain car ils suscitent de nombreuses plaintes [2], et ce mode de transport est en progression.

L'émission acoustique des 2-roues motorisés est mal connue. Les travaux de recherche récents sont assez rares. Les 2-roues ont été abordés dans le projet IMAGINE [3] ou l'opération de recherche LCPC

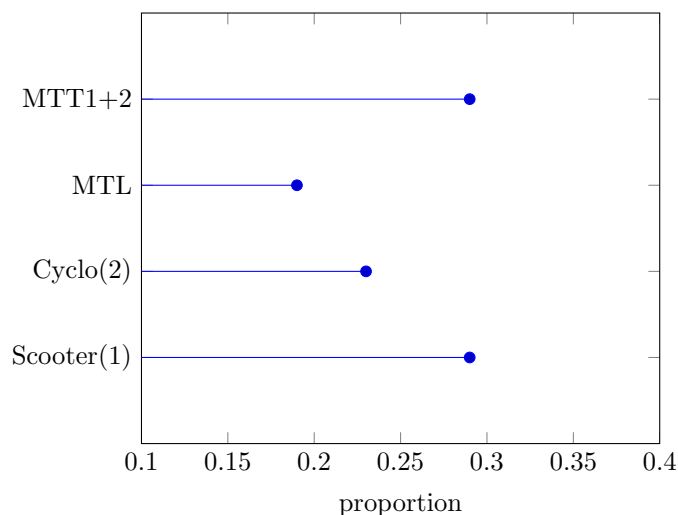


FIGURE 1 – répartition du parc de deux-roues motorisés en France (chiffre 2005).

(1)=scooters<50cm³, (2)=cyclos traditionnels et à boîte mécanique.

"Aménagement et ambiances urbaines" [4] qui a montré que le modèle de source monopolaire proposé par Favre [5] semble le plus approprié pour ces véhicules et que le bruit d'origine mécanique est prépondérant.

Différentes expérimentations ont été menées ces dernières années par les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées sur des véhicules de cylindrée inférieure ou égale à 125 cm³. Elles avaient pour objectifs d'évaluer l'influence de paramètres comme la cylindrée, le kilométrage, la marque, l'allure et en finalité arriver à établir des lois d'émission sonore. En parallèle, sur l'une des campagnes, la hauteur de la source équivalente a été déterminée.

Cette communication qui en présente quelques résultats est organisée en quatre parties. La première décrit les campagnes expérimentales. La deuxième donne les résultats en terme d'émission acoustique. La troisième traite de la hauteur de source équivalente. Enfin une comparaison avec les véhicules légers est proposée.

2 Description des campagnes

2.1 Protocole de mesure

Sur deux sites, plusieurs campagnes de mesures ont été réalisées en s'inspirant de la norme NF EN ISO 11819-1 [6]. On mesure les niveaux de pression à 7,5 m de l'axe de la voie et à 1,2 m de hauteur. En parallèle, la vitesse des véhicules est relevée à l'aide d'un cinémomètre radar. Ces mesures sont effectuées dans chaque sens de circulation. Les deux sites de mesure présentent un bruit ambiant inférieur à 45 dB(A) donc négligeable ici, une topographie horizontale, pas de discontinuité d'impédance entre la source et le microphone. La couche de roulement est un revêtement traditionnel à granulométrie 0/10.

Pour la détermination de la hauteur de source équivalente, sur l'un des sites, un second microphone est positionné à 3,75m de l'axe de la voie et à 1,2m de hauteur [8].

2.2 Véhicules

Les véhicules ont des cylindrées comprises entre 50 et 125 cm³. Ils n'ont subi aucune modification matérielle par rapport à la sortie d'usine. On dénombre un cyclomoteur traditionnel et dix-sept scooters (Table 1). La motorisation est de type 2 temps mono-cylindre pour les cylindrées 50 cm³ et 4 temps mono-cylindre pour les cylindrées supérieures. La position de l'échappement est dans le sens de la circulation. On distingue trois scooters de même marque, modèle et année (J, K, L), six autres identiques mais dont l'année de fabrication est différente. Le kilométrage est compris entre 3 et 27140 km. Ces véhicules sont donc représentatifs du parc de véhicules en circulation sachant que le kilométrage annuel moyen est de 3000 km pour un cyclomoteur, 4000 km pour une motocyclette et la durée de vie moyenne égale à 7 ans.

2.3 Déroulement des acquisitions

Les véhicules maîtrisés circulent par défaut à vitesse stabilisée dans chaque sens (sens 1 - côté échappement et inversement). Pour certains véhicules, des passages sont effectués en accélération et décélération suivant une procédure décrite dans la directive 70/157/CEE [7] :

1. le véhicule est amené à 10 mètres avant le droit du microphone à vitesse stabilisée ;
2. à partir de ce point, la manette des gaz est ouverte à fond pour le cas de l'accélération ou bien coupée dans le cas de la décélération.

A chaque passage, on enregistre les signaux de pression à l'aide d'une chaîne d'acquisition de classe 1. Un

Index	Cylindrée (cm ³)	Type	Marque/ Modèle	Km	Site
A	125	S	O/sa	2250	1
B	125	S	O/sa	6750	1
C	125	S	O/ge	14315	2
D	125	S	Y/cy	27140	2
E	125	S	O/su	950	2
F	100	S	H/sc	15240	2
G	50	C	O/vo	15	1
H	50	S	O/sp	190	1
I	50	S	O/vi	550	1
J	50	S	O/lu	3025	2
K	50	S	O/lu	2590	2
L	50	S	O/lu	7750	2
M	50	S	O/vi	3	2
N	50	S	O/vi	24750	2
O	50	S	O/vi	8060	2
P	50	S	O/vi	17905	2
Q	50	S	O/vi	20115	2
R	50	S	N/fi	12950	2

TABLE 1 – description des véhicules
(C=cyclomoteur traditionnel, S=scooter)

calibrage de chaque voie est réalisé avant et après chaque mesure. Pour chaque passage, la vitesse du véhicule est mesurée par un cinémomètre radar de type Mesta 208. En moyenne, dix passages par sens de circulation et par véhicule ont été réalisés lors de ces campagnes.

2.4 Dépouillement

Pour chaque passage, on calcule le niveau de pression acoustique FAST pondéré A à l'aide de la pondération temporelle F selon l'équation 1. Le niveau maximal L_{Amax} est ensuite relevé. On procède ensuite à une analyse par régression linéaire des niveaux en fonction de la vitesse en utilisant les couples de données comprenant le niveau L_{Amax} et le logarithme décimal de la vitesse [6]. Une courbe de régression est tracée par sens et deux sens confondus. Le même traitement est réalisé sur le signal filtré par tiers d'octave sur les tiers de fréquence nominales allant de 100 à 5000 Hz.

Pour le calcul de la hauteur de source équivalente, le principe est décrit dans l'article [8], en faisant l'hypothèse d'"instantané sonore", c'est à dire que le véhicule est immobile. Aucune correction d'effet Doppler n'est appliquée.

$$L_{A,FAST}(t) = 10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t-\tau}{0.125}} \frac{p_A^2(\tau)}{p_0^2} d\tau \right) \quad (1)$$

3 Émission acoustique

3.1 Vitesse stabilisée

Les résultats des régressions selon l'équation 2 sont présentés dans la Table 2 par véhicule et par sens de circulation. Quel que soit le véhicule considéré, le coefficient de détermination r^2 est supérieur à 0.85 ce qui représente une bonne corrélation entre les données de

	b (LA_{max})			a (pente)		
	sens1	sens2	2 sens	sens1	sens2	2 sens
A	74.3	75.3	74.8	25	30	27
B	75.9	77.3	76.5	26	26	26
C	74.9	74.5	74.7	23	25	24
D	74.7	72.7	73.6	37	34	35
E	74.5	72.9	73.9	43	31	38
F	77.2	75.9	76.5	38	42	40
G	75.3	73.6	74.3	34	34	34
H	77.7	74.1	75.5	34	23	26
I	78.3	76.8	77.5	19	35	33
J	80.0	78.2	79.1	34	39	31
K	80.0	78.0	79.0	39	32	35
L	79.9	75.8	78.2	44	25	35
M	76.7	75.4	76.7	18	16	18
N	76.8	78.8	77.8	27	40	35
O	73.6	73.8	73.8	8	12	10
P	79.7	76.0	78.4	49	35	42
Q	77.0	75.0	76.0	24	18	21
R	73.7	71.5	72.6	38	25	30

TABLE 2 – résultats à vitesse stabilisée
(sens 1 : côté échappement, sens 2 : opposé)

mesures L_{Amax} et la prédiction par le modèle.

$$a \times \log_{10}\left(\frac{V}{V_{ref}}\right) + b \quad (2)$$

avec :

- a la pente de la droite de régression ;
- b l'ordonnée à l'origine en dB(A) ;
- V_{ref} la vitesse de référence égale à 50 km/h.

L'analyse de ces résultats permet de faire les remarques suivantes sur les niveaux en dB(A) :

- globalement les niveaux mesurés côté échappement sont en moyenne plus élevés de 1,3 dB(A) par rapport au sens opposé, le carénage du moteur peut expliquer cette légère différence ;
- les niveaux LA_{max} sur les cylindrées inférieures à 50 cm³ sont plus élevés par rapport aux cylindrées supérieures. Cela s'explique notamment par un régime moteur plus élevé pour une même vitesse lorsque la cylindrée diminue ;
- la dispersion des niveaux sur un même modèle de même âge reste limitée (moins de 1 dB(A) pour les véhicules J, K et L) ;
- l'étendue des valeurs relevées sur six scooters de même marque et modèle (O/vi) est de 4,5 dB(A). Il n'a pas été établi de relation âge/kilométrage/année ;
- les valeurs des pentes sont très variables d'un véhicule à l'autre et dans une moindre mesure d'un sens à l'autre, pour un véhicule donné.

Le spectre des 50 cm³ se différencie des 125 cm³ notamment par des fréquences marquées sur les tiers d'octave 125 et 250 Hz (Figure 4).

3.2 En accélération/décélération

Sur certains véhicules, des passages en accélération et décélération suivant la procédure décrite au pa-

ragraphe 3.3 sont réalisés. La table 3 présente les différences par rapport à l'allure stabilisée à 30 et 50 km/h. Cela confirme l'importance de l'allure comme facteur influençant largement le niveau sonore. On constate en accélération que la différence tend vers zéro pour la vitesse maximale de circulation du véhicule. Ceci est illustré sur la figure 2.

	[Accélération-Stabilisé]		[Décélération-Stabilisé]	
	30 km/h	50 km/h	30 km/h	50 km/h
A	11.2	7.4	-2.2	-1
B	12.6	6.2	-4.7	-5
I	5.4	2	-8.7	-6.4
J	3.8	0	-	-
M	2.5	1.5	-	-
Q	4.3	2	-	-

TABLE 3 – Ecart en dB(A) à différentes allures et vitesses.

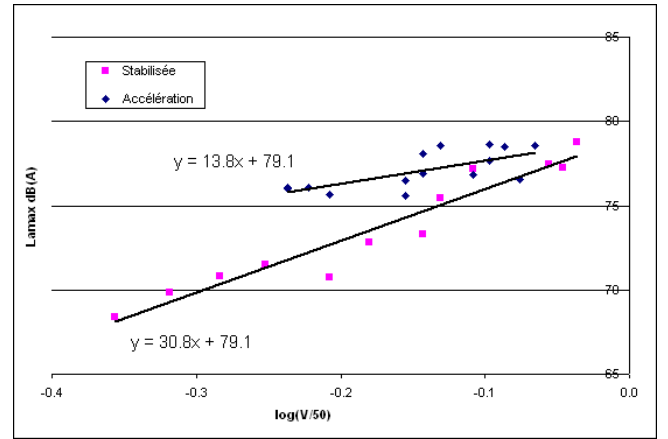


FIGURE 2 – Droite de régression sur le véhicule J, en accélération et à vitesse stabilisée.

4 Hauteur de source [8]

La table 4 présente les résultats moyens obtenus sur les véhicules A, G et H. L'optimisation conduit une hauteur de source équivalente très proche du sol (1 cm), comme le montre la figure 3.

	Hauteur de source (m)		Ecart-type	
	sens 1	sens 2	sens 1	sens 2
A	0.02	0.02	0.02	0.01
G	0.02	0.01	0.01	0
H	0.01	0.01	0	0

TABLE 4 – Hauteur de source équivalente et écart-type moyen associé pour 3 scooters

5 Comparaison à l'émission des véhicules légers

Une comparaison avec l'émission des véhicules légers (VL) pour l'allure stabilisée afin d'estimer les différences

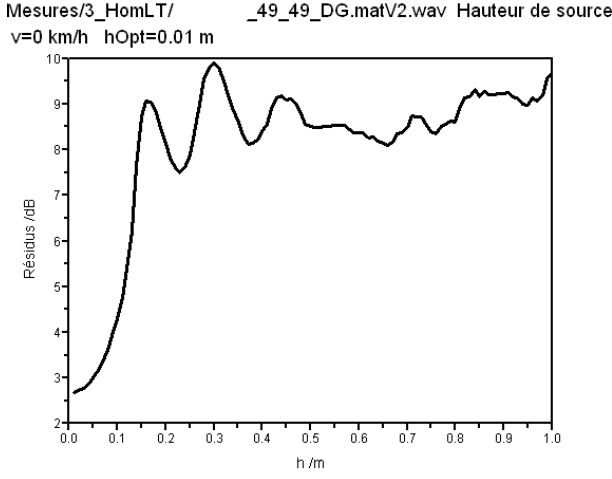


FIGURE 3 – Mesure de hauteur de source équivalente - fonction coût typique pour les petites cylindrées.

de niveaux par bande de tiers d'octave et en dB(A) a été menée. Contrairement aux motocyclettes, le bruit de roulement sur les VL est la source de bruit prépondérante même à la vitesse de 50 km/h. Le guide [9] définit des valeurs d'émission pour trois classes de revêtements. La Table 5 présente les écarts sur le niveau LA_{max} entre les véhicules C et Q représentatifs de chaque cylindrée et la valeur VL sur un revêtement similaire à celui de l'expérimentation dit intermédiaire (R2) d'âge 5 ans selon [9]. Il correspond à un revêtement typique du réseau routier français.

	VL sur R2 âge=5ans	Scooter C 125cm ³	Scooter Q 50cm ³
LA_{max} en dB(A)	71,1	74,7	76

TABLE 5 – Niveaux à 50km/h pour un VL et deux scooters représentatifs.

Au niveau spectral, la figure 4 présente les spectres normalisés à 70 dB(A) mesurés sur les véhicules C et Q et indiqué dans le guide [9] pour les VL sur revêtements non drainants.

L'analyse spectrale montre sur le scooter Q la présence d'une tonalité marquée à 125 Hz tel que définie dans la norme [10]. Le calcul du spectre en bandes fines par FFT avec fenêtre de Hanning sur 22050 points autour du LA_{max} permet de visualiser une fréquence fondamentale à 118 Hz et ses harmoniques (Figure 5). Ces fréquences correspondent au bruit du moteur. En effet à 45 km/h, le régime moteur est de 7000 tr/mn ce qui produit une fréquence centrale autour de 117 Hz.

6 Conclusion

Cette recherche s'est concentrée sur les des deux-roues de petite cylindrée, notamment les scooters. L'exploitation des niveaux LA_{max} montre que les niveaux les plus importants sont relevés sur la plus petite cylindrée (inférieure à 50 cm³). L'émission sonore n'est pas symétrique, avec un niveau de puissance plus élevé côté

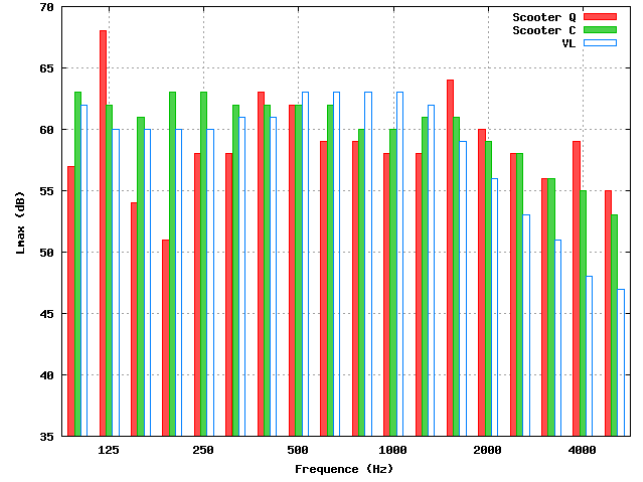


FIGURE 4 – Spectre en linéaire correspondant à une valeur de 70 dB(A) de deux scooters et un VL moyen.

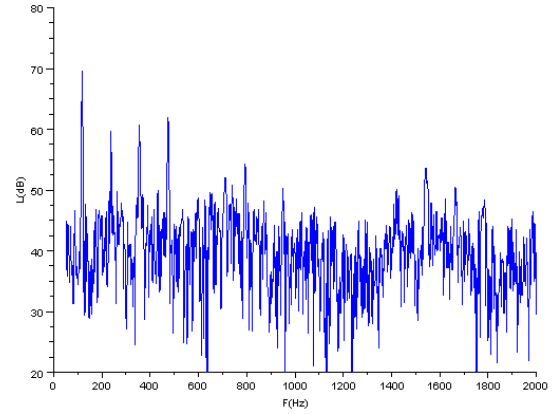


FIGURE 5 – Spectres en bandes fines du scooter Q circulant à 45 km/h.

droit. Les niveaux pour l'allure accélérée sont supérieurs de plus de 5 dB(A) à l'allure stabilisée. La hauteur de source équivalente pour modéliser ces véhicules est proche du sol.

Une comparaison a aussi été menée avec les véhicules légers à faible vitesse. Les valeurs sur les deux-roues à vitesse stabilisée sont supérieures de 4 dB(A) à un véhicule léger et plus de 10 dB sur certaines bandes de tiers d'octave. Leur signature spectrale est très spécifique avec la présence pour certains d'entre eux de tonalités marquées. Comme la part du trafic deux-roues est faible, l'indicateur LA_{eq} n'est peut être pas le plus pertinent pour évaluer la gêne introduite. D'autres indicateurs doivent être recherchés tant au niveau global que spectral.

En parallèle des expérimentations similaires ont portés sur les grosses cylindrées [11] afin de caractériser l'émission acoustique et la directivité de ces sources.

D'autres résultats sont encore à exploiter, dans le but d'établir des abaques d'émission sonore des deux-roues de petites cylindrées. Des données complémentaires en cours d'analyse compléteront ces échantillons pour aboutir à un modèle pour ces véhicules. Il n'est pas ex-

clu de devoir distinguer les cylindrées inférieures à 50 cm³ et celles qui sont comprises entre 50 et 125 cm³ car nous avons vu que ces deux groupes de véhicules ont des niveaux tant en global que spectral bien distinct. Le modèle nécessitera aussi de distinguer pour chaque abaque trois allures (stabilisée, accélération et décélération).

Remerciements

Cette recherche a été financée par le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées dans le cadre de l'opération de recherche 11M061 "Prévoir le bruit en milieu urbain" (2006-2009).

Références

- [1] "Striving against traffic noise - How powered two-wheelers can contribute", juin 2004, 14p.
- [2] "Motorcycle noise, the curious silence - a report by the motorcycle industry", International Motorcycle Manufacturers Association (IMMA), juin 1996, 32p.
- [3] "Noise measurements of Powered Two-Wheelers", Bert PEETERS, IMAGINE Report IMA52MO-042411-MP01, Vught (NL), 18 Mai 2005.
- [4] "Approches physiques de l'impact sonore des aménagements urbains", Judicaël PICAUT, LCPC, 2005.
- [5] "Méthode pour établir la relation entre le bruit émis par les véhicules routiers et l'impact de ce bruit sur les populations exposées", Bernard FAVRE, Thèse de doctorat, Université Claude Bernard de Lyon I, 1984.
- [6] NF EN 11819-1 Acoustique : "Mesurage des revêtements de chaussées sur le bruit émis par la circulation - partie 1 méthode statistique au passage", mars 2002.
- [7] Directive 70/157/CEE du Conseil des Communautés Européennes, du 6 février 1970, concernant le rapprochement des législations des Etats membres relatives au niveau sonore admissible et au dispositif des véhicules à moteur.
- [8] "Source height determination for several sources at the same height", Francis GOLAY, Guillaume DUTILLEUX, David ECOTIERE, soumis à Acta Acustica après révision.
- [9] Prévision du bruit routier, partie 1 : calcul des émissions sonores dues au trafic routier, Setra, juin 2009.
- [10] Norme française NF S31-010 : caractérisation et mesurage des bruits de l'environnement, AFNOR, décembre 1996.
- [11] Emission acoustique des deux-roues motorisés : cas des grosses cylindrées. Hubert LEFEVRE, Loïc TOUSSAINT, Guillaume DUTILLEUX, Laurianne BARGUET, CFA 2010, Lyon.