

## CFA/VISHNO 2016

**ASCOOT: Acoustique des deux-roues motorisés**

C. Clerc<sup>a</sup>, M. Thivant<sup>a</sup>, Q. Gauthier<sup>b</sup>, D. Jamin<sup>b</sup>, J. Lelong<sup>c</sup>, R.  
Chatagnon<sup>b</sup>, P. Champelovier<sup>c</sup> et R. Blanchet<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Vibratec, 18 chemin du Petit Bois, 69130 Ecully, France

<sup>b</sup>Peugeot Scooter, 103 rue du 17 novembre, 23350 Mandeure, France

<sup>c</sup>IFSTTAR, AME, LAE, Université de Lyon/CeLyA, 25, avenue F. Mitterrand, Case 24,  
Cité des Mobilités, F-69675 Bron, France

[christian.clerc@vibratec.fr](mailto:christian.clerc@vibratec.fr)



LE MANS

Le projet Ascoot, soutenu par l'ADEME, a pour objet l'acoustique des 2 roues motorisés (2RM) en milieu urbain, de la conception des véhicules à la perception par les riverains. Ce projet pluridisciplinaire a mobilisé des capacités de mesures sur piste et sur banc, de modélisation, de prototypage, de développement logiciel, mais également d'études de perception du bruit. En premier lieu, des mesures acoustiques et vibratoire sur piste et au banc ont été conduites pour caractériser les véhicules puis pour valider les prototypes dont le développement a été appuyé par des modèles vibro-acoustiques. L'intégration des sources acoustiques 2RM dans un modèle de simulation du bruit de trafic et des études de la perception du bruit pour comprendre les mécanismes de la gêne ont ensuite permis une évaluation qualitative de la performance des prototypes. Les principaux résultats du projet sont discutés en termes de connaissance des bruits de trafic et de leur perception, de modèle de trafic, de solutions de réduction de bruit (implantées sur 2 véhicules). Une attention particulière est portée à la valeur ajoutée de la pluridisciplinarité du projet (analyse mécanique et acoustique, modèle d'impact et psychologie-acoustique), qui permet d'établir une continuité de la problématique industrielle à l'impact sur l'homme.

## 1 Introduction

Les deux-roues motorisés (2RM) offrent une alternative intéressante pour décongestionner le trafic en milieu urbain et sont en forte augmentation dans certaines grandes agglomérations européennes. Cependant le bruit des 2RM est perçu comme une gêne importante pour l'habitant et les normes sont de plus en plus contraignantes pour l'industriel. Le projet Ascoot a donc pour objet l'acoustique des 2RM et leur impact en milieu urbain tant du point de vue de la quantification de l'émission acoustique que de celui de la perception. Pour ce faire le projet fait appel à différentes disciplines des sciences physiques mais également des sciences de l'humain. Un objectif est de donner les clés au constructeur pour améliorer ses véhicules, non seulement dans le sens de la législation mais également dans celui de la perception, un autre est de développer les outils qui permettront d'évaluer l'impact des 2RM dans la circulation urbaine. La mise en œuvre de cette démarche se déroule en 4 étapes. La première consiste à caractériser les 2-roues au banc et sur piste, la seconde s'intéresse à l'introduction des 2-roues dans un modèle de simulation de bruit de trafic, la troisième est consacrée à la réalisation et la mesure de prototypes. La quatrième étape porte sur l'étude de perception des 2RM (véhicules série et prototypes), seuls ou insérés dans un trafic. Les résultats de l'étude et les perspectives offertes par le projet sont discutés en fin de document.

## 2 Caractérisation acoustique et vibratoire des 2RM

### 2.1 Mesures sur piste

Dans un premier temps des mesures de caractérisation ont été réalisées sur piste pour 10 scooters de cylindrées comprises en 50cm<sup>3</sup> et 400cm<sup>3</sup> auxquels a été ajouté un scooter électrique. La figure 1 présente le dispositif de mesure utilisé qui permet de caractériser la directivité et le niveau de rayonnement des véhicules pour différents points de fonctionnement [1]. Outre la comparaison des différents véhicules, l'influence de différents paramètres comme la cylindrée, la vitesse ou l'accélération est observée. Cette étape est déterminante pour fixer les objectifs des prototypes (§4) et fournir les données d'entrée au modèle de trafic (§3).

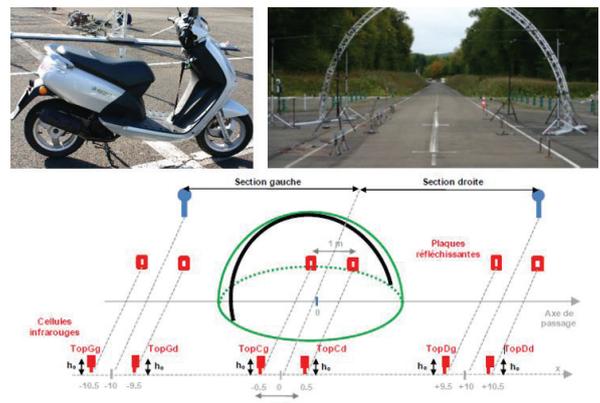


Figure 1 : dispositif de mesures sur piste

Le niveau de puissance au passage (1) est calculé à l'aide de la relation suivante :

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

où  $S_T$  est la surface de l'hémisphère et  $S_0$  la surface de référence (1m<sup>2</sup>).

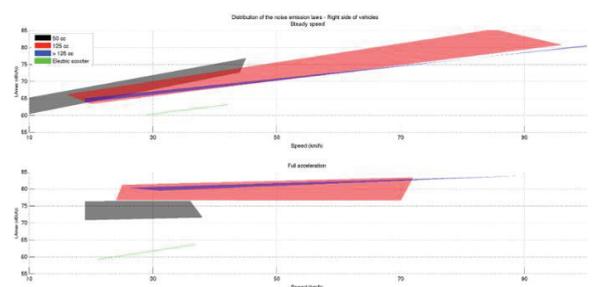


Figure 2 : Distribution de puissance pour différentes cylindrées de véhicules

La figure 2 montre la distribution de puissance pour les différentes familles de scooters (gris 50 cm<sup>3</sup>, rose 125 cm<sup>3</sup>, bleu >125 cm<sup>3</sup>, vert motorisation électrique), à vitesse constante (haut) et en accélération maximale (bas). Tandis qu'à vitesse constante (<45km/h) le bruit décroît avec la cylindrée, c'est l'inverse qui peut être observé en pleine accélération [1]. Dans le premier cas, c'est le régime moteur, décroissant avec la cylindrée, qui est déterminant dans le second cas c'est l'amplitude d'accélération qui est déterminante.

## 2.2 Mesures sur banc

Dans un second temps, 4 véhicules, 2 de 50cm<sup>3</sup> et 2 de 125 cm<sup>3</sup> (1 véhicule cible et 1 véhicule de base pour chaque démonstrateur), ont été étudiés sur un banc à rouleaux en utilisant une antenne d'holographie acoustique de 36 microphones (figure 3) [2].

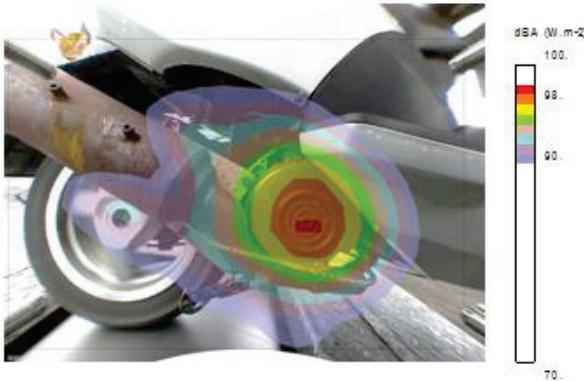


Figure 3 : Holographie sur un scooter 50 cm<sup>3</sup> 2T 30km/h et pleine charge

Les mesures permettent de localiser les principales sources acoustiques (peau et bouche de l'échappement, carter moteur, carter transmissions ...) en fonction des différentes conditions de fonctionnement. Cette étape permet de hiérarchiser les organes à travailler et optimiser pour les prototypes.

## 2.2 Analyse vibroacoustique

Les organes sélectionnés à l'issue des mesures au banc font ensuite l'objet de mesures spécifiques opérationnelles (banc moteur) ou sous excitation artificielle [2].

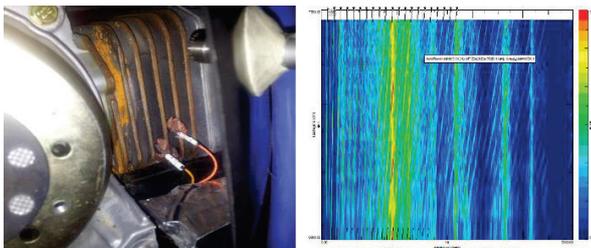


Figure 4 : Mesure vibratoire opérationnelle. Accélération sur le ventilateur de refroidissement

Les réponses opérationnelles et les fonctions de réponse en fréquence, ainsi mesurés ont mis en évidence différents axes de travail potentiels. Par exemple, pour le 50cm<sup>3</sup>, un apport d'amortissement sur le bloc cylindre (amortissement d'origine est inférieur à 1%) et une amélioration de l'isolation acoustique du carter sont 2 voies pour réduire significativement la contribution de la source acoustique moteur.

Des modèles numériques aux Eléments Finis sont également réalisés. Une fois recalés sur des analyses modales expérimentales (figure 5), ces modèles peuvent être utilisés en confiance pour évaluer de nouvelles conceptions de structure.

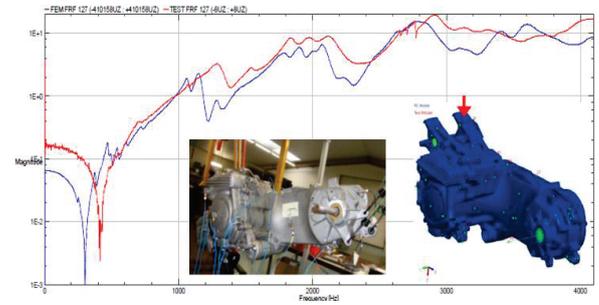


Figure 5 : Analyse Modale Expérimentale et recalage d'un modèle Eléments Finis d'un GMP 125 cm<sup>3</sup>

D'autres paramètres tels que l'atténuation (TL) du silencieux 125cm<sup>3</sup> ont également été étudiés. Les résultats ont permis de définir les actions à réaliser pour les démonstrateurs de scooters silencieux (§4).

## 3 Simulation du déploiement en milieu urbain

L'objectif de ce volet du projet est d'évaluer l'impact des scooters dans le bruit généré par le trafic en milieu urbain en utilisant un outil basé sur une description dynamique de l'écoulement du trafic dans une artère couplée avec des lois d'émission des véhicules considérés (véhicules légers et scooters) et un modèle de propagation du bruit [3]. L'artère considérée est découpée en cellules d'une dizaine de mètres de longueur pour lesquelles sont déterminés à l'instant t de la simulation le nombre de véhicules légers et de scooters présents (au travers de la concentration K) ainsi que leurs paramètres cinématiques (vitesse, allure). La connaissance de ces paramètres associée aux lois d'émission permet de calculer la puissance acoustique totale émise par la cellule à l'instant t :

$$L_{W_{T,j}}(t) = [K_j(t)L_{W_{L,j}}(t)] \oplus \left[ \sum_{\oplus i} L_{W_{S,j}}(t) \right] \quad (2)$$

L'émission acoustique d'une cellule est assimilée à celle d'une ligne source dont la longueur est celle de la cellule. Pour un observateur situé au point P et « voyant » la cellule n°j sous l'angle d'exposition  $\alpha_j$ , le LAeq<sub>1s</sub> s'écrit, pour l'ensemble des cellules :

$$LAeq_{1s}(t) = 10 \log \left( \sum_j \alpha_j L_{W_{T,j}}(t) \right) \quad (3)$$

Les hypothèses de trafic retenues sont basées i) pour les VL sur les comptages effectués lors de la validation expérimentale du modèle d'évaluation dynamique du bruit de trafic [3] et ii) pour les scooters sur des comptages spécifiques réalisés sur l'artère modélisée (fig. 4). Les cycles des feux tricolores ont une durée de 1 minute, avec des phases verte et rouge de 30 secondes chacune. Les signaux tricolores sont phasés entre eux suivant le principe de l'onde verte, parcourable à la vitesse de 40 km/h. les scénarios simulés ont été définis, avec des compositions de trafic de scooters incluant des scooters 50 cm<sup>3</sup> 2T de série et/ou prototypés et des scooters 125 cm<sup>3</sup> de série.

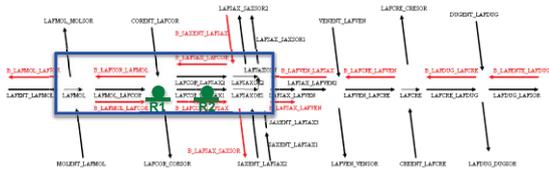


Figure 6 : Simulation de déploiement en milieu urbain. Schéma de l'artère modélisée et implantation des récepteurs.

En sortie du modèle, les niveaux de bruit sont exprimés en LAeq1s qui ont été analysés sous la forme de distributions des occurrences de niveaux. Cette approche offre l'avantage de préserver l'aspect évènementiel contrairement à une agrégation de type LAeqT mieux adaptée à une approche cartographique telle que celle demandée par la Directive Européenne sur le Bruit 2002/49/CE. Pour les deux récepteurs considérés, les simulations ont été effectuées par périodes d'une heure, correspondant aux heures pleines (HP) et aux heures creuses (HC). La figure 5 illustre deux exemples de distributions obtenues pour le récepteur situé à proximité d'un feu tricolore et avec un trafic de scooters composé de 100% de véhicule 50 cm<sup>3</sup> de série (graphique de gauche) et de 100% de véhicules prototypés (graphique de droite) en l'absence de véhicules légers. Le gain de 3 dB mesuré sur le démonstrateur est bien reproduit par le modèle sur les niveaux les plus élevés (démarrage). Les résultats obtenus pour les autres scénarios montrent que :

- lorsque l'on compare les scénarios prenant en compte l'émission des VL avec ceux où cette émission est supposée nulle, on s'aperçoit que les occurrences de niveaux de bruit les plus élevés demeurent, ce qui tendrait à montrer que l'impact des scooters est dominant lors des phases de redémarrage.
- les occurrences de niveaux de bruit les plus élevés sont plus nombreuses - et les niveaux de bruit sont également plus élevés - en heure creuse qu'en heure pleine. Ceci peut s'expliquer par un volume global de trafic plus faible en heure creuse impliquant des redémarrages plus rapides et une vitesse d'écoulement de trafic plus élevée.

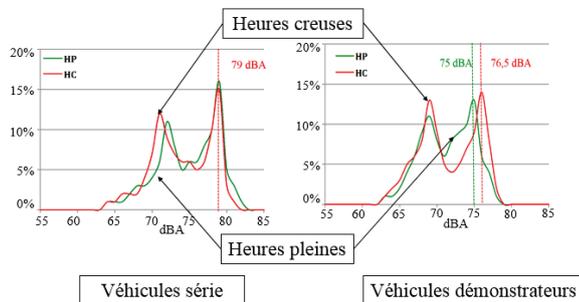


Figure 7: Exemple de distribution de niveaux obtenus en heure pleine (en vert) et en heure creuse (en rouge) pour un trafic de scooters 50 cm<sup>3</sup> composé de véhicules de série (à gauche) et de véhicules prototypés (à droite).

## 4 Démonstrateurs

Deux véhicules prototypes ou démonstrateurs ont été réalisés sur la base d'un véhicule 50cm<sup>3</sup> et d'un véhicule 125cm<sup>3</sup> de Peugeot Scooters. Le travail a porté sur les sources identifiées par les essais et s'est appuyé sur des modèles de matrices de transfert ou des modèles Eléments Finis (cf. §2).

Basé sur des mesures de pression cylindre et un modèle de calcul des efforts au vilebrequin, une étude a été conduite sur la corrélation entre l'avance à l'allumage, la pression cylindre et les efforts aux paliers. Si un travail important reste à accomplir pour aller jusqu'au calcul du bruit rayonné, la méthodologie semble prometteuse et pourrait, à terme, apporter une aide dans le cycle de conception des moteurs.

Plusieurs pièces modifiées ou nouvelles ont été prototypées pour être montées sur véhicule. Ces solutions ont été établies dans le respect des performances véhicules, sur la base des résultats précédents et des expériences respectives de Vibratex et de Peugeot Scooters :

- Installation d'un couvercle en plastique avec feutre et mousse pour calfeutrer les pièces résonantes.
- Modification de matière pour limiter le jeu entre les pièces et donc les chocs (couple piston/cylindre en aluminium/aluminium plutôt qu'en aluminium/fonte)
- Conception différente du refroidissement moteur (modification de turbine, amortissement des mouvements d'ailettes de refroidissement, lame de mousse pour limiter l'émissivité...) (figure 8)
- Modification du silencieux d'échappement afin d'optimiser l'amortissement des ondes sonores émises.

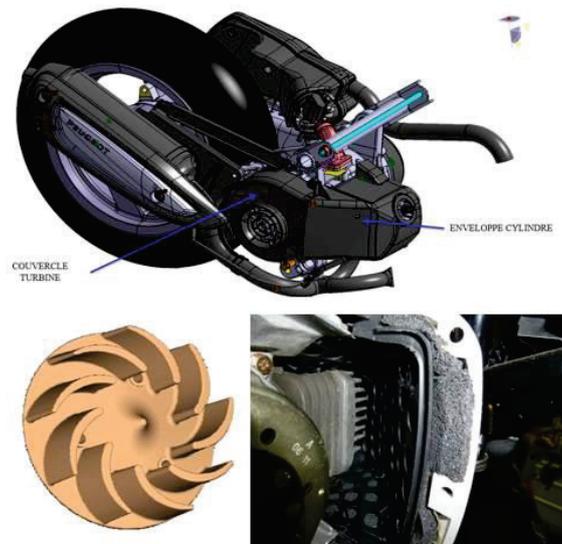


Figure 8: Exemple de prototypage sur ensemble GMP. Modification de la turbine de refroidissement ou de l'enveloppe cylindre

Les véhicules équipés des pièces prototypées ont ensuite fait l'objet de mesures sur piste (figure 9) afin d'évaluer la performance acoustique objective des 2 démonstrateurs et de fournir des données « démonstrateurs » pour le modèle de trafic et l'analyse de perception.

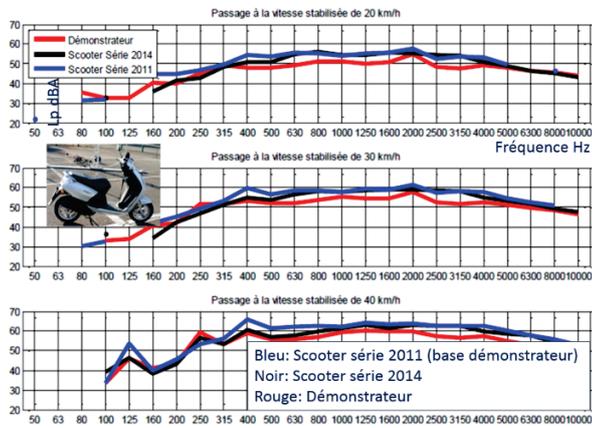


Figure 9 : Mesure au passage à vitesses stabilisées du Vivacity 50cm<sup>3</sup>

Les résultats de la figure 9 montrent un gain sensible (3dB) et répétitif du démonstrateur par rapport au véhicule de série 2011 (base du démonstrateur) ou par rapport à un véhicule de série 2014.

### 5 Perception des modifications apportées au bruit des 2RM

Une expérimentation a ensuite été menée dans le Laboratoire de Simulation et d'Évaluation de l'Environnement (LSEE) de l'IFSTTAR-LTE, auprès de 97 participants (non utilisateurs de 2RM), dans le but d'étudier leur perception des modifications acoustiques apportées aux 2RM. Le laboratoire est constitué d'un salon dans lequel l'environnement audiovisuel est restitué : le son, diffusé par un système de front d'ondes, et les images proviennent de la fenêtre (fig.10).



Figure 10: Modélisation 3D du LSEE

Les participants ont été placés en situation de riverain habitant au rez-de chaussée d'un immeuble situé en ville. Quatre séquences sonores de 15 minutes ont été réalisées à partir des enregistrements sonores de 2 configurations de trafic urbain (dense ou faible) et de 2 types de 2RM (50 cm3 de série et 50cm3 démonstrateur). Sur la base des comptages effectués sur le lieu d'enregistrement du trafic 8 scooters à vitesse stabilisée ont été intégrés dans les séquences.



Photo 1 : Salon expérimental du Laboratoire de Simulation et d'Évaluation de l'Environnement (LSEE) de l'IFSTTAR-LTE où se sont déroulées les expérimentations

Les participants ont évalué et comparé les 4 séquences. Pendant la diffusion des séquences, ils ont lu des magazines. A l'issue de la diffusion de chacune des séquences, ils ont répondu à un questionnaire sur tablette. Dans un deuxième temps, ils ont écouté et comparé le passage de 2RM (50cm<sup>3</sup> et 125cm<sup>3</sup>) de série et le passage de leur version démonstrateur, véhicules seuls sans le bruit urbain.

Les résultats obtenus ont montré que lorsque l'on a sollicité une écoute attentive des passages de 2RM seuls, de légères différences relatives aux modifications acoustiques ont été décelées : 70 % des personnes interrogées ont bien décelé une différence entre les 2RM de série et les 2RM démonstrateurs. Par contre il n'y avait pas de consensus sur ce qui les différençait (plus fort, plus présent ...).

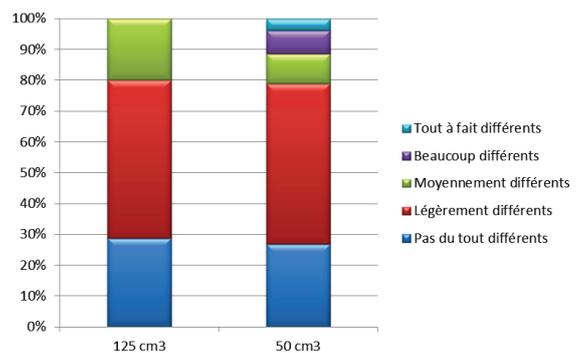


Figure 11 : Répartition des réponses concernant les différences entre les passages isolés de deux-roues motorisés

Quand ces mêmes passages de 2RM (50 cm3 série ou 50cm3 démonstrateur) ont été insérés dans un trafic urbain, les différences perçues étaient moins manifestes. En effet, le bruit des 2RM a été décrit de la même façon pour toutes les séquences : il n'existe pas de différence significative en fonction du type de 2RM ni en fonction de la densité du trafic. Les analyses des comparaisons effectuées par les participants eux-mêmes montrent la même répartition des réponses : quelle que soit la condition de trafic, les séquences avec les 50 cm3 démonstrateurs sont jugées différentes (de légèrement à

moyennement différentes) de celles avec les 50cm<sup>3</sup> de série. Mais il n'y a pas eu de consensus lorsqu'il s'est agi de caractériser ces différentes en termes de force (plus/moins/aussi fort), présence ou du caractère supportable/insupportable du bruit des 2RM.

Même si les résultats obtenus ici ne sont fondés que pour une allure spécifique de passage de 2RM qui est celle de la vitesse stabilisée, ils ont cependant bien montré la pertinence de valider des modifications apportées sur le bruit à la source dans un environnement sonore idoine (insérés dans un trafic). Par ailleurs, une différence de 3dB, qui peut s'avérer capitale pour l'homologation d'un véhicule, n'est sans doute pas suffisante pour être perceptible lorsque les 2RM sont mêlés à d'autres véhicules. Dans un objectif de consolider ces résultats, il serait sans doute opportun de tester la perception des améliorations apportées au bruit des 2RM à différentes allures (accélération, démarrage aux feux en particulier, décélération), dans des situations où ce bruit émerge, mais aussi avec un pourcentage de 2RM plus élevé.

## 6 Conclusion

Le projet Ascoot a abordé d'une manière assez large la problématique de l'impact acoustique des 2 roues sur l'homme en milieu urbain, le développement de modèles prédictifs de bruit de trafic et la performance industrielle. Il a permis d'enrichir la connaissance des bruits de trafic et de leur perception, de poser les bases d'un modèle de trafic intégrant les 2 roues et d'établir un premier guide de conception silencieuse. Des solutions de réduction de bruit ont été implantées sur 2 véhicules : leur impact a été évalué, en termes de bruit au passage, mais également en termes de perception par les riverains. La valeur ajoutée de la pluridisciplinarité du projet (analyse mécanique et acoustique, modèle d'impact et perception du bruit) a permis d'établir une continuité de la problématique industrielle à l'impact sur l'homme. Les connaissances acquises et les développements réalisés ont défini les bases d'une méthodologie complète pour prendre en compte la perception des riverains dès le stade de la conception.

Dans une perspective d'évolution de la mobilité urbaine et péri-urbaine, au côté des modes doux et des transports en communs, les 2RM occupent une place importante. Dans ce contexte, les résultats du projet Ascoot permettent d'envisager la conception d'un 2RM innovant doté d'une signature sonore acceptable à la fois par l'utilisateur et le riverain.

## Remerciements

Les travaux du projet ASCOOT ont été réalisés grâce au soutien financier de l'ADEME et du programme PREDIT4.

## Références

- [1] J. Lelong, R. Chatagnon, C. Clerc, D. Jamin, M. Seigner, M. Thivant : Towards a reduction of noise emission of powered two-wheels, Part 1. Proceedings of Internoise 2014, Melbourne
- [2] M. Thivant, C. Clerc, D. Jamin, Q. Gauthier, J. Lelong, R. Chatagnon : Towards a reduction of noise emission of powered two-wheels, Part 2. Proceedings of Internoise 2014, Melbourne
- [3] Leclercq et al Estimation dynamique du bruit de circulation en milieu urbain : étude d'un cas réel. Rapport final. *Rapport INRETS/LICIT/CSTB N°0801, 2008.*