

# ASCOOT

## Vibroacoustique des deux-roues motorisés

**C. CLERC, M. THIVANT<sup>a</sup>, Q. GAUTHIER, D. JAMIN<sup>b</sup>  
J. LELONG, R. CHATAGNON, P. CHAMPELOVIER, R. BLANCHET<sup>c</sup>**

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

b. PEUGEOT SCOOTER [quentin.gauthier@peugeot scooters.com](mailto:quentin.gauthier@peugeot scooters.com) ;

c. IFSTTAR [joel.lelong@ifsttar.fr](mailto:joel.lelong@ifsttar.fr), [patricia.champelovier@ifsttar.fr](mailto:patricia.champelovier@ifsttar.fr)

### Résumé :

*Le projet Ascot a eu pour objet l'acoustique des 2 roues en milieu urbain, de la conception à la perception par les riverains. Ce projet pluridisciplinaire a mobilisé des capacités de mesures sur piste et sur banc, de modélisation et de prototypage, de développement logiciel, mais également d'études de perception acoustique. Les principaux résultats ont été : une première insertion des 2-Roues dans les modèles de prédiction de bruit de trafic, la réalisation de 2 démonstrateurs plus silencieux, une étude de la perception des 2 roues dans le trafic. La perception par les riverains d'une réduction significative d'émission sonore mesurée sur un démonstrateur a notamment pu être analysée.*

### Abstract :

*The goal of Ascot project was to study the noise generated by the powered two-wheels vehicles (P2W) in the urban traffic from the design stage to the perception by the residents. On-road and roller bench measurements, FE simulation, software development but also psycho-acoustic analysis were needed for the project. A first model of P2W acoustic source has been inserted in a traffic simulation software, 2 operating prototypes has been built. The obtained acoustic abatement has been simulated in the traffic simulation software and its impact on the resident analyzed.*

**Mots clefs : 2-roues, scooter, vibro-acoustique, acoustique, perception acoustique, trafic**

## 1 Introduction

Le projet Acoustique des SCOOTers et des motocycles (ASCOOT) a été financé par l'ADEME et labélisé par le groupe opérationnel 1 (énergie et environnement) du PREDIT 4 (Programme de recherche et d'innovation dans les transports terrestres). Il a fait l'objet d'une convention entre ADEME et un consortium composé de Peugeot Scooters, IFSTTAR et Vibratex ; il vise à développer des connaissances sur les émissions sonores des deux-roues motorisés et des méthodologies qui permettront la réduction du niveau de bruit global et l'amélioration de la perception des deux-roues motorisés en milieu urbain sans dégradation de leur performance. Pour atteindre ce double objectif de performance industrielle et d'environnement, le projet aura nécessité la mise en œuvre de techniques d'expérimentation, de simulation et de prototypage ainsi que d'analyse de perception acoustique. Ces différentes étapes sont décrites ci-après.

## 2 Déroulement des travaux

### 2.1 Analyse Expérimentale

Après une étude bibliographique ayant confirmé les axes d'étude et le choix d'un panel de 11 véhicules, des mesures ont été réalisées pour caractériser la vibroacoustique des 2-roues avec le double objectif de comprendre les mécanismes et d'acquérir les données nécessaires au projet ([1],[2]). Des mesures de bruit au passage (fig.1) ont été réalisées pour différentes configurations de microphones qui ont permis d'établir une caractérisation des 11 véhicules du panel (fig.2) et d'acquérir les données nécessaires aux études de perception et au modèle de trafic.

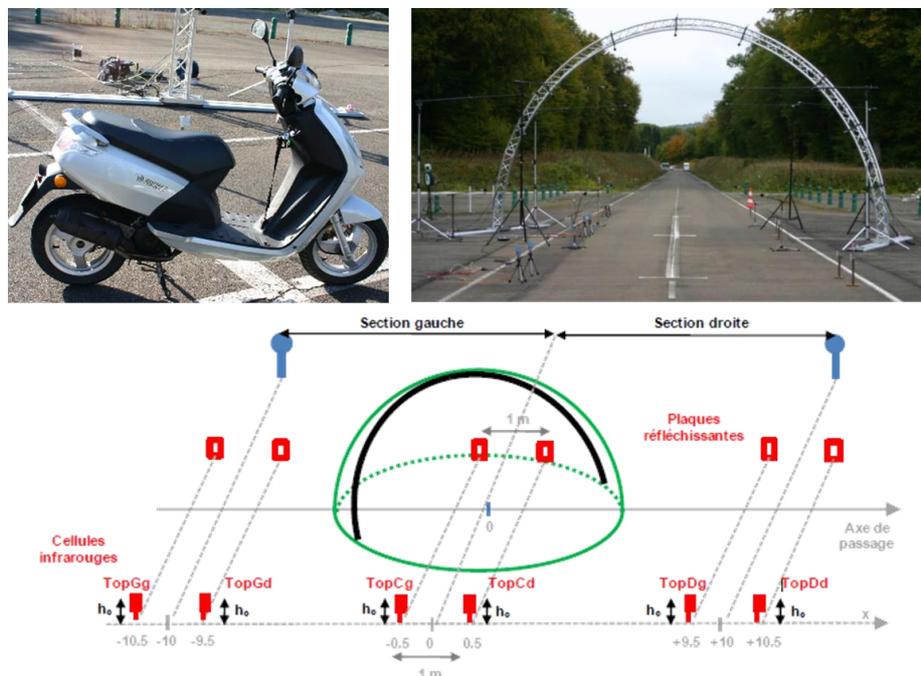


Figure 1 : Véhicule Peugeot Vivacity 50cm<sup>3</sup> et dispositif expérimental des mesures sur piste

Des mesures sur banc à rouleaux, basées sur des mesures d'accéléromètre, de microphones et d'antennes holographique, ont fournis les données nécessaires à l'identification et la hiérarchisation des sources acoustiques des 2 véhicules servant de base aux démonstrateurs (fig.3).

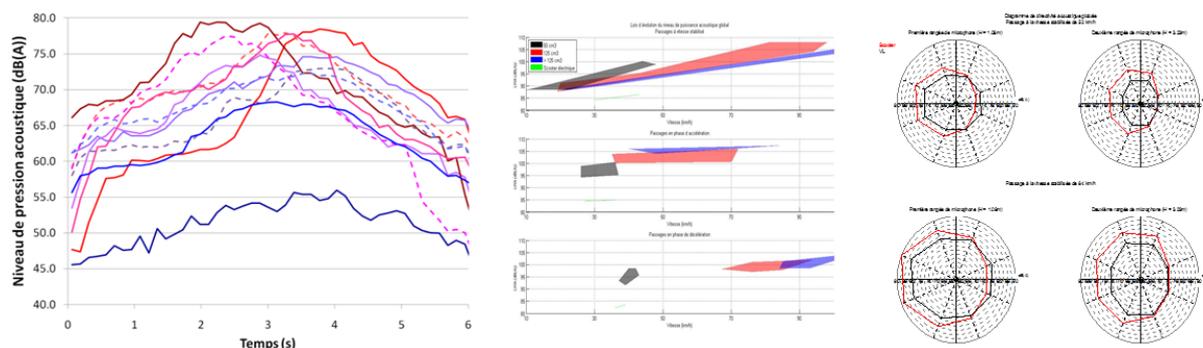


Figure 2 : Mesures sur pistes, de gauche à droite : niveaux acoustiques des différents véhicules, puissance en fonction de la cylindrée, comparaison de directivités deux-roues et automobile

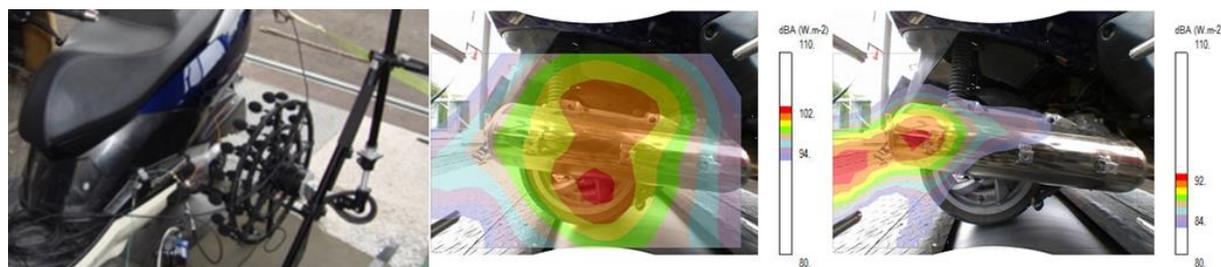


Figure 3 : Mesures sur banc à rouleaux, imagerie : localisation de la source échappement en fonction de la fréquence

## 2.2 Simulation de déploiement en milieu urbain

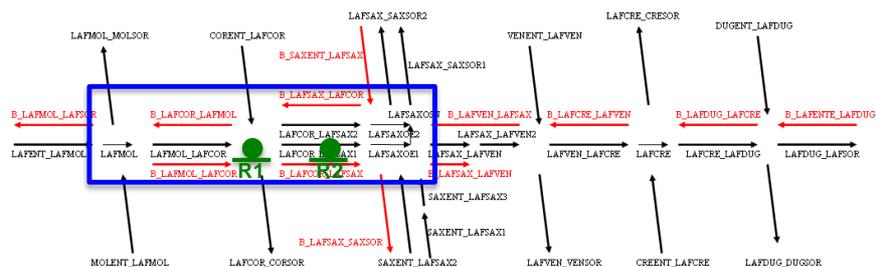
L'objectif de ce volet du projet est d'évaluer l'impact des scooters dans le bruit généré par le trafic en milieu urbain en utilisant un outil basé sur une description dynamique de l'écoulement du trafic dans une artère couplée avec des lois d'émission des véhicules considérés (véhicules légers et scooters) et un modèle de propagation du bruit [3]. L'artère considérée est découpée en cellules d'une dizaine de mètres de longueurs pour lesquelles sont déterminées 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  $t$  :

$$L_{W_{r,j}}(t) = \left[ K_j(t) L_{W_{L,j}}(t) \right] \oplus \left[ \sum_{\oplus i} L_{W_{S,i}}(t) \right] \quad (1)$$

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  $n^o j$  sous l'angle d'exposition  $\alpha_j$ , le  $LAeq_{1s}$  s'écrit, pour l'ensemble des cellules :

$$LAeq_{1s}(t) = 10 \log \left( \sum_j \alpha_j L_{W_{r,j}}(t) \right) \quad (2)$$

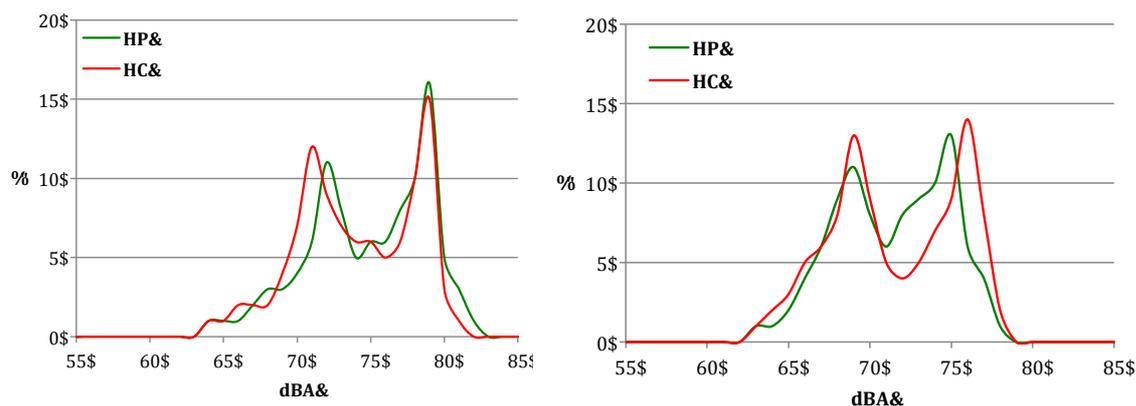
Les hypothèses de trafic retenues sont basées sur i) pour les VL sur les comptages effectués lors de la validation expérimentale du modèle d'évaluation dynamique du bruit de trafic [3] et ii) pour les scooters sur des comptages spécifiques réalisée sur l'artère modélisée (fig. 4). Les cycles des feux 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 4 : 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  $L_{Aeq_{1s}}$  qui ont été analysés sous la forme de distributions des occurrences de niveaux. Cette approche offre l'avantage de préserver l'aspect événementiel contrairement à une agrégation de type  $L_{Aeq_T}$  mieux adaptées 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  $cm^3$  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 5 Exemple de distribution de niveaux obtenus en heure pleine (en vert) et en heure creuse (en rouge) au niveau du récepteur R1 (cf fig. 4) pour un trafic de scooters 50  $cm^3$  composé de véhicules de série (à gauche) et de véhicules prototypés (à droite).**

## 2.3 Démonstrateur

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, eux-mêmes recalés sur des Analyses Modales Expérimentales (figure 6).

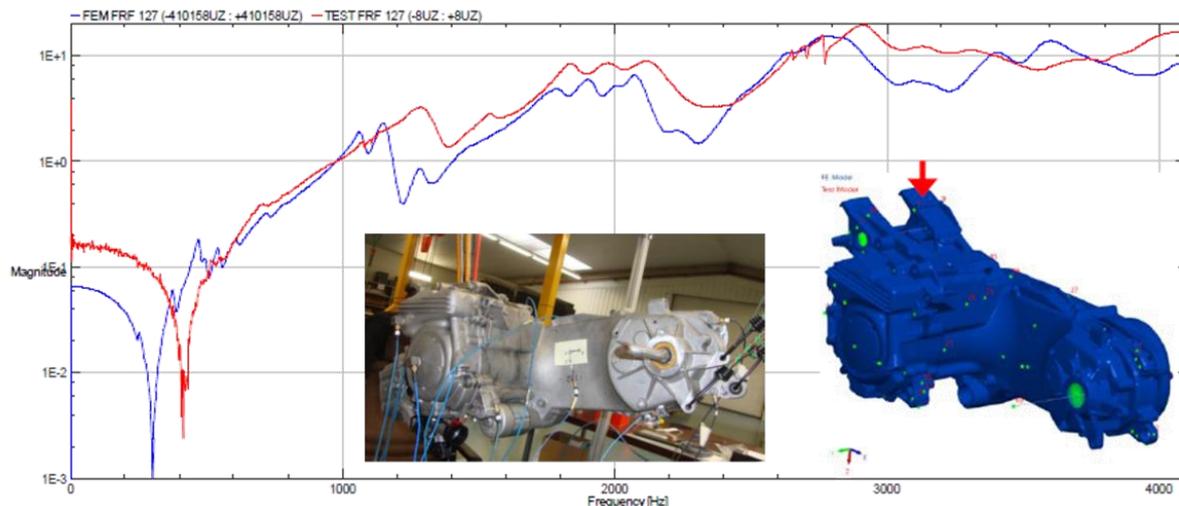


Figure 6 : Analyse Vibro-acoustique du moteur : Analyse Modale Expérimentale (centre), Modèle Eléments Finis d'ensemble (droite) et comparaison de FRF calculée (bleu) et mesurée (rouge)

Un travail sur la corrélation entre l'avance à l'allumage, la pression cylindre et les efforts aux paliers a été réalisé. Il s'est appuyé sur des mesures de pression cylindre et sur un modèle de calcul des efforts aux paliers du vilebrequin.

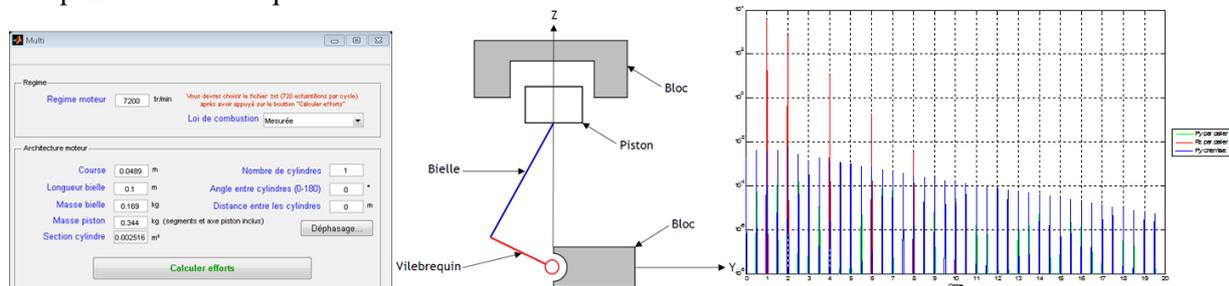


Figure 7 : Programme de calcul des efforts au palier (gauche et centre) et efforts en fonction des ordres moteurs (droite)

La démonstration a été faite du gain acoustique potentiel mais des travaux supplémentaires devront être réalisés pour trouver le meilleur compromis entre la performance du véhicule, sa consommation et le bruit rayonné.

La méthodologie déployée est prometteuse et doit permettre à terme une optimisation complète par calcul, en lui adjoignant un modèle de calcul de la pression cylindre et de performance du moteur, qui écourterait la longue phase de mise au point expérimentale de la combustion moteur.

Par ailleurs, un certain nombre de pièces modifiées 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 :

- Couvercle 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 différentes du refroidissement moteur (modification de turbine, amortissement des mouvements d'ailettes de refroidissement, lame de mousse pour limiter l'émissivité...)
- Modification du silencieux d'échappement afin d'optimiser l'amortissement des ondes sonores émises.

Les véhicules équipés des pièces prototypées ont ensuite fait l'objet de mesures (cf. figure 8) 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.

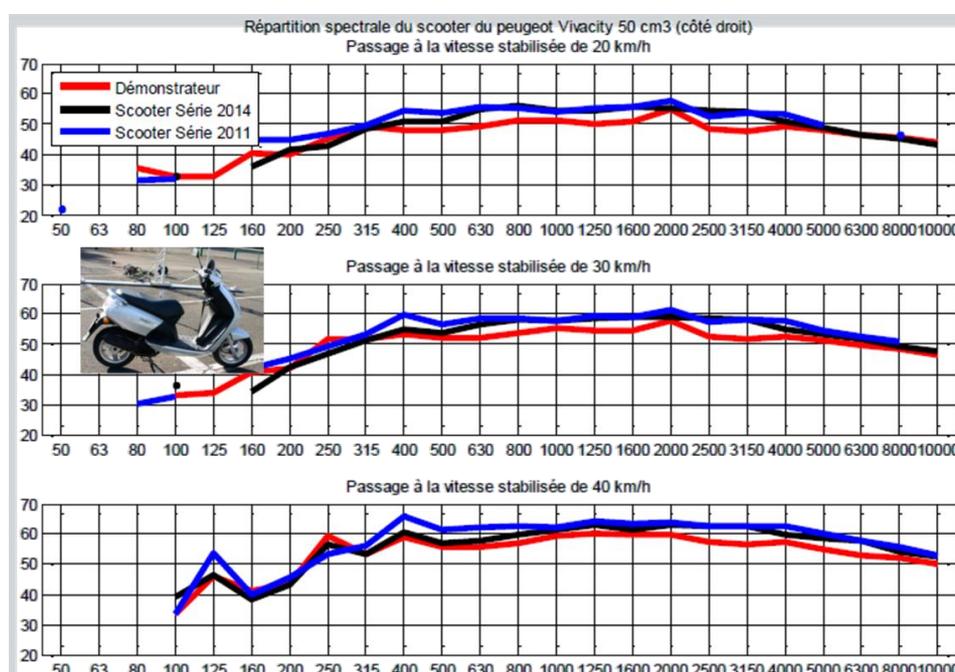


Figure 8 : Mesure au passage à vitesses stabilisées du Vivacity 50cm<sup>3</sup>

Les résultats de la figure ci-dessus montre un gain sensible (3dBA) du démonstrateur par rapport au véhicule de série 2011 (base du démonstrateur) ou par rapport à un véhicule de série 2014.

## 2.4 Perception des modifications apportées au bruit des 2 roues

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 2R), dans le but d'étudier leur perception des modifications acoustiques apportées aux 2R. 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.9).



**Figure 9: Modélisation 3D du LSEE**

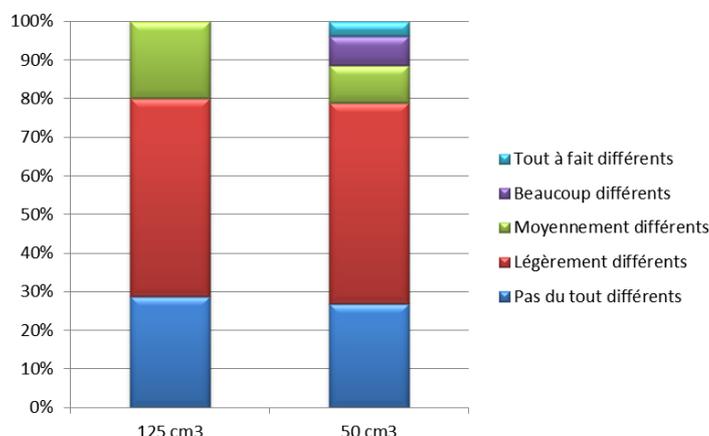
Les participants ont été placés en situation de riverain habitant au rez-de chaussée d'un immeuble situé en ville. Quatre séquences sonores de 15 minutes ont été réalisées à partir des enregistrements sonores de 2 configurations de trafic urbain (dense ou faible) et de 2 types de 2R (50 cm<sup>3</sup> de série et 50cm<sup>3</sup> 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 2R (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 2R seuls, de légères différences relatives aux modifications acoustiques ont été décelées : 70 % des personnes interrogées ont bien décelé une différence entre les 2R de série et les 2R démonstrateur. Par contre il n'y avait pas de consensus sur ce qui les différenciait (plus fort, plus présent ...).



**Figure 10 : Répartition des réponses concernant les différences entre les passages isolés de deux-roues motorisés**

Quand ces mêmes passages de 2R (50 cm<sup>3</sup> série ou 50cm<sup>3</sup> démonstrateur) ont été insérés dans un trafic urbain, les différences perçues étaient moins manifestes. En effet, le bruit des 2R a été décrit de la même façon pour toutes les séquences : il n'existe pas de différence significative en fonction du type de 2R 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 cm<sup>3</sup> démonstrateur 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 2R.

Même si les résultats obtenus ici ne sont fondés que pour une allure spécifique de passage de 2R motorisés 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 2R 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 2R à différentes allures (accélération, démarrage aux feux en particulier, décélération), dans des situations où ce bruit émerge, mais aussi avec un pourcentage de 2R plus élevé.

### 3 Conclusion

Le projet Ascot 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 d'environnement urbain 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 psycho-acoustique) 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.

### Références

- [1] R. Chatagnon, J. Lelong : Evaluation des émissions sonores de deux-roues motorisés en conditions urbaines de fonctionnement. 12<sup>ème</sup> Congrès Français d'Acoustique, Poitiers, 2014
- [2] R. Chatagnon, J. Lelong : Evaluation des émissions sonores de deux-roues motorisés en conditions urbaines de fonctionnement. Acoustique et Technique, 76, 2014
- [3] 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.
- [4] 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.

### Remerciements

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