



ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Energie



Rapport final du projet



Rapport ASCOOT-15R2L0
Mars 2015

Les Auteurs :

Patricia CHAMPELOVIER
Ingénieur de Recherche en Psychologie environnementale
IFSTTAR-AME-Laboratoire Transports, Environnement
25 Avenue François Mitterrand
Case 24 - 69675 BRON Cedex
patricia.champelovier@ifsttar.fr

Roger Chatagnon
Ingénieur d'études en acoustique au Laboratoire d'Acoustique Environnementale
IFSTTAR
Département Aménagement Mobilité Transports
Laboratoire d'Acoustique Environnementale
25 Avenue François Mitterrand – Case 24
69675 Bron CEDEX
roger.chatagnon@ifsttar.fr

Joël Lelong
Chargé de recherche au Laboratoire d'Acoustique Environnementale
IFSTTAR
Département Aménagement Mobilité Transports
Laboratoire d'Acoustique Environnementale
25, avenue François Mitterrand – Case 24, 69675 Bron cedex
joel.lelong@ifsttar.fr

David JAMIN
Chef de projets Vie Série et Avance de phase
Peugeot Motocycles
Rue du 17 Novembre – 25706 - Valentigney
david.jamin@peugeotscooters.com

Quentin GAUTHIER
Ingénieur Expérimentation Moteur – Direction Recherche et Développement/Projet
Peugeot Scooters
103, rue du 17 novembre, 25350 Mandeuire
quentin.gauthier@peugeotscooters.com

Michaël THIVANT
Docteur ingénieur en acoustique – Département Opérations
VIBRATEC
28, chemin du petit bois, 69130 ECULLY
michael.thivant@vibratec.fr

Christian CLERC
Directeur Scientifique
VIBRATEC
28, chemin du petit bois, 69130 ECULLY
christian.clerc@vibratec.fr

Table des Matières

RESUME	5
1. CONTEXTE ET OBJECTIFS	8
1.1 DONNEES CONTRACTUELLES.....	8
1.2 PARTENAIRES.....	8
1.3 OBJECTIFS ET TACHES PRINCIPALES	8
1.3.1 <i>Objectifs</i>	8
1.3.2 <i>Tâches principales</i>	10
1.4 REFERENCES PROJET	11
2 LOT 1 : ETAT DE L'ART	13
2.1 DEFINITION ET CLASSIFICATION DES DEUX-ROUES MOTORISES	13
2.2 HOMOLOGATION ET REGLEMENTATION DES DEUX-ROUES MOTORISES	15
2.3 DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON DE SCOOTERS RETENUS	17
2.4 RETOUR D'EXPERIENCE INDUSTRIELLE	24
2.5 EMISSIONS SONORES DES DEUX-ROUES MOTORISES	25
2.6 PERCEPTION DU BRUIT DES DEUX-ROUES MOTORISES	27
3 LOT 2 : CARACTERISATION EXPERIMENTALE DES VEHICULES.....	29
3.1 EVALUATION DES CONDITIONS DE FONCTIONNEMENT	29
3.2 EVALUATION DES EMISSIONS SONORES SUR PISTE.....	29
3.3 MESURES BINAURALES SUR PISTE	33
3.4 MESURES DE CONTRIBUTIONS	36
3.4.1 <i>Objectif de la tâche</i>	36
3.4.2 <i>Principaux résultats</i>	36
3.4.3 <i>Localisation des sources</i>	37
3.4.3.1 Vivacity 50cc	37
3.4.3.2 Citystar 125cc	39
4 LOT 3 : PERCEPTION SONORE PAR LE PILOTE ET LE PIETON	42
4.1 OBJECTIFS ET METHODOLOGIE	42
4.2 CORRELATION DE LA PERCEPTION SONORE AVEC DES INDICATEURS PSYCHOMETRIQUES.....	44
4.2.1 <i>Point de vue du piéton, départs arrêtés</i>	44
4.2.2 <i>Point de vue du piéton, passage en vitesse stabilisée</i>	46
4.2.3 <i>Point de vue du pilote</i>	47
4.2.3.1 Véhicules 50 cc	48
4.2.3.2 Véhicules 125 cc.....	49
4.2.3.3 Véhicules 125 cc et plus.....	50
4.3 SYNTHESE DES TESTS PERCEPTIFS	51
5 LOT 4 : MODELE DE TRAFIC.....	52
5.1 INTRODUCTION	52
5.2 LE MODELE D'EVALUATION DYNAMIQUE DE BRUIT DE TRAFIC.....	52
5.2.1 <i>Le modèle LWR</i>	52
5.2.2 <i>Résolution numérique Lagrangien du modèle LWR</i>	55
5.2.3 <i>Extension du modèle LWR implémenté dans Symubruit</i>	56
5.2.4 <i>Diagramme fondamental</i>	56
5.2.5 <i>Définition du réseau</i>	57
5.2.6 <i>Spécificités pour la modélisation du trafic de scooters</i>	57
5.2.7 <i>Calcul des émissions de bruit par cellule acoustique</i>	58
5.3 SCENARIOS SIMULES	59
5.3.1 <i>Les paramètres de simulation</i>	59
5.3.2 <i>Implantation des récepteurs</i>	61

5.3.3	<i>Les scénarios envisagés</i>	61
5.4	RESULTATS DES SIMULATIONS.....	62
5.4.1	<i>Démarche générale d'analyse des résultats</i>	62
5.4.2	<i>Analyse des distributions des niveaux LAeq1s</i>	62
5.5	CONCLUSION ET PERSPECTIVES	65
6	LOT5 : DEMONSTRATEURS SILENCIEUX	66
6.1	DIAGNOSTIC VIBRO-ACOUSTIQUE.....	66
6.2	MODELISATION ET EVALUATION DES AMELIORATIONS.....	68
6.3	REALISATION DES VEHICULES.....	70
6.3.1	<i>Vivacity 50cc</i>	71
6.3.2	<i>Citystar 125cc</i>	72
6.4	EVALUATION ANALYSE DES ECARTS	73
6.5	GUIDE DE CONCEPTION SILENCIEUSE.....	76
6.5.1	<i>Connaissance des sources acoustiques d'un scooter</i>	76
6.5.1.1	Source 1 : Le moteur.....	76
6.5.1.2	Source 2 : La ligne d'air.....	78
6.5.1.3	Source 3 : La transmission.....	78
6.5.2	<i>Retour sur expérience</i>	79
6.5.2.1	Le bruit à la source.....	79
6.5.2.2	Le silencieux d'échappement.....	79
6.5.2.3	Rayonnement des carters	80
7	LOT 6 : PERCEPTION DES 2 ROUES DANS L'ENVIRONNEMENT SONORE URBAIN.....	82
7.1	REALISATION DES SEQUENCES SONORES.....	83
7.2	REALISATION DES EXPERIMENTATIONS.....	85
7.3	LA PERCEPTION DU BRUIT DES DEUX-ROUES MOTORISES	85
7.4	LA PERCEPTION DES AMELIORATIONS ACOUSTIQUES DU BRUIT DES DEUX-ROUES MOTORISES A TRAVERS L'ECOUTE DE PASSAGES ISOLEES.....	87
7.5	PERCEPTION DU BRUIT DES DEUX-ROUES MOTORISES INSERES DANS UN TRAFIC.....	88
7.6	LA GENE DUE AU BRUIT DES DEUX ROUES	89
7.7	LES EFFETS DU BRUIT DES DEUX-ROUES MOTORISES SUR LES ACTIVITES.....	90
7.8	CONCLUSION.....	91
8	BILAN ET PERSPECTIVES.....	92
8.1	ETAT DES LIVRABLES	92
8.2	RESULTATS (AVANCEES SCIENTIFIQUES, TECHNIQUES ET INDUSTRIELLES) ET CONCLUSIONS	94
8.3	PERSPECTIVES.....	96
8.4	DIFFUSION	97

Résumé

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 ([1]) entre ADEME et un consortium composé de Peugeot Scooters, IFSTTAR et Vibratéc.

Ce projet 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 des deux-roues motorisés en milieu urbain sans dégradation de leur performance,
- l'optimisation qualitative (émission sonore et confort) et la réduction d'impact généré en milieu urbain.

Les différents éléments nécessaires à l'atteinte de ces objectifs sont :

- la caractérisation de sources acoustiques « 2 roues » et leur intégration dans un modèle de simulation de bruit de trafic
- l'identification et la hiérarchisation des différentes sources de bruit des deux roues
- la réalisation et l'évaluation de 2 démonstrateurs prototypes de Scooter optimisés acoustiquement
- la mise en place d'un guide de conception silencieuse pour les 2 roues
- l'amélioration de la compréhension de la perception du bruit des 2 roues motorisées dans l'environnement sonore urbain.

Pour réaliser le travail, le projet s'est appuyé sur 6 lots techniques (le lot 0 étant consacré au pilotage et à la coordination du projet) :

- Lot 1 : Etat de l'art. Bibliographie des différentes études sur le bruit des 2 roues et en intégrant le retour d'expérience industriel.
- Lot 2 : Qualifier le bruit émis par un lot de 11 2 roues. Campagnes expérimentales sur pistes et sur banc à rouleaux.
- Lot 3 : Analyse de la perception Piéton/Conducteur (hors environnement urbain).
- Lot 4 : Simulation de déploiement en milieu urbain. En se basant sur les différentes mesures, développer un modèle de Scooter en tant que source acoustique et l'implanter dans un logiciel de simulation de bruit de trafic.
- Lot 5 : Optimisation des véhicules. Mettre en œuvre des solutions de réduction de bruit sur 2 véhicules (50 cm³ et 125 cm³) et établir des règles de conception silencieuse.
- Lot 6 : Perception du bruit des 2 roues dans l'environnement sonore urbain. Evaluation de séquences sonores réalisées à partir d'enregistrements en ville et sur piste (véhicules « démonstrateurs silencieux ») par des participants mis en situation de riverains, dans le laboratoire de d'Evaluation et de Simulation de l'Environnement du LTE.

Les principaux résultats obtenus sont :

- 11 scooters mesurés et caractérisés. Ces mesures ont permis de préciser les objectifs à atteindre, de mieux comprendre l'acoustique des 2 roues et de fournir les données d'entrée nécessaires aux autres lots.
- L'analyse binaurale a permis au constructeur de connaître les sons les mieux perçus par l'utilisateur ou le piéton.
- 2 démonstrateurs de véhicules silencieux ont été réalisés et mesurés. Résultats prometteurs sur le 50 cm³ (-3 dBA). Résultats mitigés sur le 125 cm³. La compréhension des écarts permet de définir les actions correctives à mettre en œuvre par la suite. Un guide de conception silencieuse a été établi.
- La perception des 2 roues comme contributeur significatif au bruit de trafic a été confirmée. Leur signature acoustique particulière accroît cette perception. Les différences mesurées perçues entre 50 cm³ série et prototype s'estompent quand le véhicule est inséré dans le trafic. D'autres scénarios de trafic seront nécessaires pour améliorer l'analyse de la perception et la corrélérer à la signature du véhicule.

Conclusions et perspectives

Le projet Ascoot a permis d'aborder 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 (réalisation de démonstrateurs). 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 pour l'industriel.

Les perspectives de poursuite et de valorisation de ces travaux sont :

- Développer le modèle de trafic dans un contexte intermodal, en s'appuyant notamment sur des mesures embarquées.
- Evaluer plus complètement la perception des 2 roues dans le trafic en diversifiant les scénarios de circulation.
- Développer des véhicules compétitifs silencieux et mieux acceptés en intégrant l'optimisation de la signature acoustique au stade de la conception et en appliquant les actions correctives esquissées dans ASCOOT y compris les attentes des riverains.

Regroupées dans un projet pluridisciplinaire, ces actions permettraient de développer des 2 roues respectueux du bien-être des citoyens, tout en répondant au besoin de la compétitivité industrielle, en passant par l'accroissement de connaissances utiles tant sur le plan de l'acoustique et de la perception de la gêne occasionnée. Le 2 roues, de par sa plus faible empreinte écologique et son encombrement réduit, est un élément majeur de réponse à l'amélioration du trafic urbain et à la réduction de son impact sur le citoyen. Cela passe par une plus grande acceptabilité et donc notamment la réduction de son empreinte sonore.

Diffusion

La diffusion des travaux de Ascoot s'est appuyée en premier lieu sur 4 communications scientifiques présentées aux congrès Internoise et CFA. 2 autres communications sont en préparation pour le congrès ISCV22 (Florence juillet 2015).

Le projet a également été présenté via un Poster aux journées du PREDIT qui se sont tenues les 16 & 17 avril 2013.

Enfin, des communications sont envisagées dans des magazines plus généralistes tels que 360°R&D et dans une revue scientifique internationale.

1. Contexte et objectifs

1.1 Données contractuelles

Organisme financeur : ADEME

Convention ADEME n°1017C0017-ASCOOT du 30/06/2011 ([1])

Labellisé par : PREDIT4 (groupe 1) courrier en date du 16/12/2010 ([2])

Date de dépôt du dossier : 30/03/2010

Date de fin de projet (initiale) : 30/08/14 (durée 38 mois) ([1])

Date de fin après avenant : 30/04/15 (soit une durée totale de 46 mois)

Dépenses éligibles : 1 127 789.56€, montant d'aide accordé : 683 280.46€ ([1], [3])

1.2 Partenaires

Le projet est réalisé par un consortium constitué de

- Peugeot Scooters (ou Peugeot Motorcycles ou PMTC)
- IFSTTAR (ex INRETS)
- VIBRATEC

Le responsable de l'exécution de l'opération pour Vibrattec est Christian CLERC.

Le responsable de l'exécution de l'opération pour l'ADEME est Emmanuel THIBIER.

Le responsable de l'exécution de l'opération pour Peugeot Motorcycles est David JAMIN

Le responsable de l'exécution de l'opération pour l'IFSTTAR est Joel LELONG.

1.3 Objectifs et tâches principales

Les objectifs et les principaux lots sont détaillés dans l'annexe technique de la convention ([4]).

1.3.1 Objectifs

Le programme ASCOOT vise à développer des connaissances et des méthodologies qui permettront :

- La réduction du niveau de bruit global des 2 roues en milieu urbain sans dégradation de leur performance.
- L'optimisation qualitative (émission sonore et confort) et la réduction d'impact généré par les 2 roues en milieu urbain.

Plus concrètement, le présent projet a pour ambition de :

- Capitaliser les savoir-faire acquis sur l'acoustique des 2 roues,
- développer des méthodologies de caractérisation expérimentale précises et rapides,
- caractériser la signature acoustique d'un parc représentatif de véhicules 2 roues urbains (en ville hors voirie rapide) et identifier sur véhicule les sources vibro-acoustiques et les phénomènes physiques associés,
- utiliser les modèles de prédiction du trafic pour évaluer l'impact du 2 roue au niveau des riverains,
- étudier la perception sonore des 2 roues par le pilote et le piéton et établir des critères objectifs servant à la mise en place de cahier des charges pour les industriels,
- réaliser et valider 2 démonstrateurs de véhicule offrant un rapport performance/signature acoustique optimisé en termes de niveau de bruit, perception et confort,
- étudier en laboratoire la perception des 2 roues par des participants mis en situation de riverains afin d'évaluer leur impact avant et après les améliorations apportées.

1.4 Références Projet

- [1]- Convention ADEME n°1017C0017- Projet ASCOOT : Acoustique des scooters et motocycles. 30 juin 2011
- [2]- PREDIT4/GO1/LABEL/ASCOOT- Appel à propositions « Bruit et nuisances sonores » - Lettre de labellisation du projet Ascoot du 16 décembre 2010.
- [3]- Annexe financière - Convention ADEME n°1017C0017
Projet ASCOOT : Acoustique des scooters et motocycles. 30 juin 2011
- [4]- Annexe technique - Convention ADEME n°1017C0017
Projet ASCOOT : Acoustique des scooters et motocycles. 30 juin 2011
- [5]- ASCOOT_11R1_L1 - Etat de l'art Bruit des 2 roues motorisés
Livrable 1 – décembre 2011
- [6] ASCOOT_12R1L2 – Emissions sonores d'un échantillon de scooters
Mesures à 7m50- Livrable 2 - Avril 2012
- [7]- ASCOOT_12R1L23 - Perception sonore des deux roues : Mesures Binaurales
Livrable 3 – Juillet 2012
- [8]- ASCOOT_12R2L22 - Mesures de puissance et de directivité acoustiques d'un échantillon de scooters – Livrable 4 – novembre 2012
- [9]- ASCOOT_13R1L24 - Caractérisation des véhicules : Mesures de contributions
Livrable 5– mars 2013
- [10]- ASCOOT_13R1L0 – Rapport d'avancement à mi-parcours
Livrable 6 – mars 2013
- [11]- ASCOOT_14R1L33 – Perception sonore des 2 roues : tests perceptifs
Livrable 7 – avril 2014
- [12]- ASCOOT_14R1L4 – Simulation de déploiement en milieu urbain
Livrable 8 – mars 2015
- [13]- ASCOOT_14R1L51 – Diagnostic vibro-acoustique sur scooters Citystar 125cm³
et Vivacity 50cm³ – Livrable 9 – mars 2014
- [14]- ASCOOT_15R1L52 – Modélisation de la motorisation d'un scooter de 125cm³
Livrable 10 – mars 2015
- [15]- ASCOOT_14R1L53 – Définition des prototypes 50cm³ et 125cm³
Livrable 11 – février 2015
- [16]- ASCOOT_14R1L54 – Validation des émissions sonores des démonstrateurs
Mesures à 7m50– décembre 2014

[17]- ASCOOT_15R1_L55 – Guide de conception silencieuse
Livable 13 – février 2015

[18]- ASCOOT_15R1_L6 – Perception du bruit des deux roues insérés dans
l'environnement sonore urbain - Livable 14 – Mars 2015

[19]- ASCOOT_15R1_L0 – Rapport Final
Livable 15 – Mars 2015

2 Lot 1 : état de l'art

Référence : Livrable 1 ref.([5]) : ASCOOT_11R1L1

2.1 Définition et classification des deux-roues motorisés

Le terme deux-roues motorisé regroupe une grande diversité de véhicules présentant des caractéristiques techniques et des usages très variés, qui nécessitent d'être détaillés puisqu'ils ont un impact sur leurs émissions sonores. L'article R311-1 du code de la route regroupe les véhicules terrestres à moteur dans plusieurs catégories administratives. Les deux-roues motorisés appartiennent à la catégorie L correspondant aux véhicules à moteur à deux ou trois roues et quadricycles à moteur. La législation distingue 3 principales catégories de deux-roues motorisés : les cyclomoteurs, les motocyclettes légères, les motocyclettes.

Les cyclomoteurs

En France, les deux-roues motorisés ayant une cylindrée inférieure à 50 cm³ peuvent être conduits, sans permis de conduire, par toute personne âgée de plus de 14 ans, et disposant d'un Brevet de sécurité routière (BSR) lorsqu'elles sont nées après le 31 décembre 1987. Le BSR est composé d'une partie théorique dispensée par l'éducation nationale aux élèves des classes de 5^{ème} et d'une partie pratique d'un minimum de 5 heures. L'immatriculation est devenue obligatoire sur les véhicules neufs depuis le 1^{er} Juillet 2004, et sur l'ensemble du parc roulant depuis le 1^{er} Janvier 2011.

Ce sont des véhicules de faibles dimensions aux performances relativement limitées (vitesse \leq 45 km/h), ce qui conduit de nombreux propriétaires à les débrider (échappement, alimentation...). Les cyclomoteurs sont équipés de moteurs monocylindres deux-temps (2T) ou quatre-temps (4T) à refroidissement par air ou liquide, à carburateur ou injection avec transmission automatique (scooters) ou boîtes manuelles (petites motos multi-vitesses). La plupart des cyclomoteurs sont actuellement équipés :

- de moteurs 2T qui présentent l'avantage d'être plus performants et moins coûteux que les motorisations 4T,
- de transmission automatique.

Cependant, l'évolution des normes de pollution pousse les constructeurs à proposer de plus en plus souvent des motorisations 4T, et probablement à abandonner la solution à carburateur dès la mise en application d'Euro3. Le marché des multi-vitesses est quant à lui en baisse constante (véhicules souvent «débridés» pénalisant le niveau sonore urbain).

Les motocyclettes légères

Les motocyclettes légères sont des véhicules de cylindrée comprise entre 50 et 125 cm³ et de puissance maximale de 11 kW. Ils correspondent à la catégorie MTL et peuvent être conduits à partir de :

- 16 ans avec un permis moins de 125 cm³(A1),
- 18 ans avec un permis moto (A),
- 20 ans avec un permis voiture (B) depuis plus de 2 ans.

La réglementation est en évolution pour les titulaires du permis B qui souhaitent conduire une motocyclette légère, puisqu'ils doivent suivre une formation obligatoire de 7 heures à partir du 1^{er} janvier 2011¹. L'immatriculation de ces véhicules est obligatoire.

Le parc de motocyclettes légères connaît ces dernières années une forte croissance notamment en ville où de nombreuses personnes se tournent vers ce mode de transport alternatif au véhicule léger (embouteillage, réduction du coût de transport) grâce à la possibilité de conduire ce type de véhicule avec un permis voiture (B). L'offre commerciale s'étoffe et s'adapte aux nouveaux usagers en proposant notamment de nombreux modèles de scooters de plus en plus équipés et confortables. En effet, ce type véhicule est particulièrement adapté à cette nouvelle demande puisqu'il est relativement facile à conduire, maniable, et présente de nombreux aspects pratiques (protection contre la pluie, espace de rangement). La majorité des 125 cm³ sont équipés de motorisation thermique 4T. En effet, cette dernière tend à remplacer les moteurs 2T sous la pression des nouvelles normes anti-pollution.

Les motocyclettes

Les motocyclettes de plus de 125 cm³ correspondent à des deux-roues dont la puissance n'excède pas :

- 25 kW (34 ch) pour la catégorie MTT1,
- 73.6 kW (100 ch) pour la catégorie MTT2.

Ces véhicules nécessitent un permis spécifique, le permis « moto » (A) :

- à partir de 18 ans pour la catégorie MTT1, puis après 2 années d'expérience pour la catégorie MTT2,
- à partir de 21 ans avec un accès direct à la catégorie MTT2.

L'immatriculation de ces véhicules est obligatoire. Les motocyclettes disposent de deux types de motorisation : en général un moteur 2T lorsque la cylindrée est inférieure à 250 cm³, et un moteur 4T pour les cylindrées supérieures. Cependant la grande majorité des véhicules récents sont vendus avec un moteur 4T en raison des normes antipollution de plus en plus sévères, ce qui tend à faire disparaître les moteurs 2T.

¹ sauf si le titulaire a été assuré pour la conduite d'une 125 cm³ sur une période quelconque entre le 1er janvier 2006 et le 31 décembre 2010.

Elles disposent généralement de 2 ou 4 cylindres. Certains modèles, plus rares, peuvent posséder 1 ou 3 cylindres.

Cas particulier du scooter

Compte tenu de l'analyse des ventes de deux-roues motorisés en France en 2010 et des véhicules analysés dans le cadre du projet Ascot, il paraît nécessaire d'apporter des précisions sur le cas particulier des scooters. Ce type de véhicule peut, en fonction de sa cylindrée, correspondre à chacune des trois catégories administratives (cyclomoteur, motocyclette légère, motocyclettes de plus forte cylindrée). Il est caractérisé par :

- de petites roues² le rendant très maniable et donc particulièrement adapté à la conduite en ville,
- une carrosserie protectrice des intempéries pour le pilote et des capacités de rangement sous la selle, un cadre ouvert avec plancher plat ou pont central,
- un moteur oscillant ou fixe dans le châssis avec variateur automatique,
- des commandes de frein AV et AR au guidon (ou au pied pour la catégorie tricycle).

Ce type de véhicule en pleine expansion correspond au véhicule urbain par excellence. L'offre de motorisation des scooters est très diverse puisqu'elle couvre l'ensemble de l'offre des deux-roues (la cylindrée des scooters atteint aujourd'hui 650 cm³), et qu'elle ne cesse de croître.

2.2 Homologation et réglementation des deux-roues motorisés

Le bruit généré par les deux-roues motorisés fait l'objet en France d'un arrêté depuis avril 1972. Le texte de référence pour la réception des deux-roues motorisés est la directive 2002/24/CE qui introduit le principe de réception à l'échelle européenne en remplacement des réceptions nationales. Depuis juin 2003, tous les véhicules neufs européens doivent être homologués et respecter les valeurs limites de niveau de bruit indiquées dans le Tableau 2-1.

Type de véhicule		Valeur limite dB(A)
Cyclomoteur	Vitesse ≤ 25 km/h	66
	Vitesse > 25 km/h	71
	3 roues	76
Motocyclette	Cylindrée ≤ 80 cm ³	75
	80 cm ³ < Cylindrée < 175 cm ³	77
	Cylindrée > 175 cm ³	80
Tricycle	Cylindrée > 50 cm ³	80

Tableau 2-1 : valeurs limites de bruit à l'homologation des deux-roues motorisés

² La tendance actuelle est à l'augmentation des tailles de roues (16" maxi) pour une meilleure stabilité.

Deux types d'essais, dont le principe général est commun à toutes les catégories de véhicules routiers, sont réalisés lors des homologations :

- Mesure du bruit émis par un véhicule à l'arrêt**
 Cet essai consiste à mesurer le niveau de bruit à proximité du pot d'échappement d'un véhicule à l'arrêt dont le moteur fonctionne à un régime donné. Cette valeur est inscrite sur la carte grise du véhicule, ce qui permet notamment aux forces de l'ordre de vérifier la conformité du véhicule vis-à-vis du bruit émis.
- Mesure du bruit émis par un véhicule en mouvement**
 Le bruit émis par le véhicule en phase d'accélération est comparé aux valeurs limites indiquées dans le Tableau 2-2, ce qui permet, le cas échéant, d'homologuer le type de véhicule lors de sa mise en vente sur le marché.

Les valeurs limites de niveau de bruit des autres principaux types de véhicules sont rappelées dans le Tableau 2-2.

Type de véhicule		Valeur limite dB(A)
Véhicule léger		74
Poids lourd	Puissance \leq 75 kW	77
	75 kW < Puissance < 150 kW	78
	Puissance > 150 kW	80

Tableau 2-2 : valeurs limites de bruit à l'homologation des véhicules légers et des poids lourds

Il est important de noter que les niveaux de bruit mesurés lors de l'homologation sont obtenus sur des véhicules circulant en phase de pleine accélération et ne sont pas forcément représentatifs des usages courants.

Homologation des pots d'échappement

Les dispositifs d'échappement vendus en France doivent être homologués suivant des dispositions communautaires (directives 97/24/CE). En général, ces silencieux de remplacement sont homologués pour être adaptés sur un ou plusieurs véhicules spécifiques.

Bien qu'illégal, deux pratiques sont couramment observées chez les usagers de deux-roues motorisés : l'utilisation de pots non homologués et le débridage qui permettent d'améliorer les performances du deux-roues mais qui peuvent provoquer une hausse significative des émissions sonores.

2.3 Description de l'échantillon de scooters retenus

Un des objectifs du projet Ascoot est d'évaluer les émissions sonores d'un échantillon de 11 véhicules représentatifs de deux-roues motorisés. Initialement cet échantillon devait être composé de 9 scooters et de deux motocyclettes traditionnelles. Suite à la rédaction de cet état de l'art, il a été décidé de remplacer les 2 motocycles prévus initialement par deux scooters de forte cylindrée pour les raisons suivantes :

- L'analyse des ventes de deux-roues en France en 2010 montre une forte croissance des ventes de scooters, particulièrement en milieu urbain. Il est donc nécessaire de sélectionner un grand nombre de ce type de véhicule puisque le projet Ascoot vise à caractériser un échantillon de véhicules représentatifs d'un usage en milieu urbain.
- Le retour d'expérience industriel montre que la différence d'architecture entre les motocyclettes et les scooters fait apparaître des sources potentielles de bruit relativement différentes. De plus, ces différences notables (notamment au niveau de la transmission) impliqueraient d'adapter les protocoles expérimentaux pour chaque type de véhicule.
- Enfin, la sélection de seulement deux motocycles ne permet pas de prendre en compte la grande variété technologique équipant ce type de véhicule.

Au vu de l'échantillon relativement restreint de véhicules, il a été décidé de ne sélectionner que des véhicules de type scooter³ (mais en évaluant des véhicules de fortes cylindrées). Bien que de nombreux deux-roues motorisés soient modifiés illégalement, il a été décidé d'évaluer uniquement des scooters disposant de leurs équipements d'origine et respectant la réglementation dans le cadre du projet Ascoot. En effet, l'impact de ces modifications sur les émissions sonores, qui peut se révéler particulièrement important (entre 5 et 20 dB(A)), n'est plus à démontrer. De plus, la résolution de ce problème est d'ores et déjà identifiée puisqu'elle consiste à faire respecter les réglementations en vigueur.

Cet échantillon, établi par Peugeot Scooter, est composé de véhicules d'occasions⁴ disponibles dans son parc d'analyse concurrence et représentatif des meilleures références du marché. Les 11 véhicules retenus, dont les caractéristiques techniques détaillées sont fournies dans les Tableau 2-3 et Tableau 2-4, sont tous de type scooter :

- 4 véhicules de cylindrée 50 cm³,
- 4 véhicules de cylindrée 125 cm³
- 2 véhicules de cylindrée supérieure à 125 cm³,
- 1 scooter électrique.

³ L'analyse des émissions sonores des motocycles pourra faire l'objet d'une étude spécifique.

⁴ A l'exception du scooter électrique qui est un véhicule neuf.

Description des quatre scooters de cylindrée 50 cm³

L'échantillon des 4 scooters de cylindrée 50 cm³ est composé de :

- **2 véhicules à motorisation 2T (70 % des ventes de véhicules de cylindrée 50 cm³ en France)**

PEUGEOT Vivacity

Ce véhicule (à gauche sur la Figure 2-1) est représentatif de toute la gamme PEUGEOT puisque son moteur équipe de nombreux autres modèles.

PIAGGIO Zip

Ce véhicule (à droite sur la Figure 2-1) disposant d'une technologie PIAGGIO constitue la plus grosse progression de l'année 2010 sur le segment des véhicules de cylindrée 50 cm³.



Figure 2-1 : scooters 50 cm³ 2T. Peugeot Vivacity (à gauche), et Piaggio Zip (à droite)

- **2 véhicules à motorisation 4T**

PEUGEOT Kisbee

Ce véhicule (à gauche sur la Figure 2-2) a été lancé en 2010 et se place dans les 5 premières ventes en France sur 2011.

HONDA Zoomer

Ce véhicule (à droite sur la Figure 2-2) est la référence du marché en termes de technologie de motorisation (injection, 4T 3 soupapes, alerno-démarrreur). Cependant, il ne représente qu'une infime partie du marché du fait de son prix élevé et de son design décalé (absence de carrosserie, châssis tubulaire apparent, freins à tambour). HONDA travaille depuis des décennies à l'amélioration du niveau et de la qualité sonore de ses véhicules. Le Honda Zoomer représente ainsi la référence absolue en termes de sonorité et de qualité chez les constructeurs de 2 roues.



Figure 2-2 : scooters 50 cm3 4T. Peugeot Kisbee (à gauche), et Honda Zoomer (à droite)

Description des quatre scooters de cylindrée 125 cm³

PEUGEOT CITYSTAR

Ce motorcycle (en haut à gauche sur la Figure 2-3) dispose d'une motorisation très performante en termes d'accélération et de vitesse maximale. Cette motorisation est représentative de la gamme PEUGEOT puisqu'elle équipe également les SATELIS et les GEOPOLIS fortement représentés dans le parc roulant Français.

HONDA PCX

Ce véhicule représente la plus forte progression des ventes en Europe du fait de sa technologie et de son prix particulièrement attractif étant fabriqué en Malaisie (en haut à droite sur la Figure 2-3).

YAMAHA Xmax

Il est le véhicule le plus immatriculé en France depuis 4 ans et est régulièrement restylé (en bas à gauche de la Figure 2-3). Il offre une motorisation agréable (néanmoins limitée en vitesse maximale) et représente un des meilleurs compromis du marché en termes de style, espace de rangement, qualité.

SYM VS

Le SYM VS (en bas à droite de la Figure 2-3) est un véhicule de milieu de gamme intermédiaire entre :

- des véhicules haut de gamme (plus onéreux) des grands constructeurs (HONDA, PIAGGIO, YAMAHA, PEUGEOT),
- des véhicules bas de gamme (à plus bas coût) Chinois aux performances relativement faibles (5,5kW).

Il représente un bon compromis prix / performance / fiabilité / compacité (à 8kW alors que la réglementation permet d'aller jusqu'à 11 kW pour cette catégorie) avec un moteur 4T 4 soupapes refroidi par Air.



Figure 2-3 : scooters 125 cm³. En haut : Peugeot Citystar (à gauche), Honda PCX (à droite)
En bas : Yamaha Xmax (à gauche), Sym VS (à droite)

Description des deux scooters de cylindrée supérieure à 125 cm³

Les deux véhicules testés sont fortement présents dans les grandes agglomérations en particulier à Paris.

YAMAHA Tmax

Disposant d'une cylindrée de 500 cm³, ce scooter racé et typé sportif est le véhicule de référence dans les agglomérations (à gauche sur la Figure 2-4).

Son moteur bicylindre fixe dans le châssis lui confère un bruit relativement « onctueux » par rapport aux autres scooters majoritairement équipés d'un monocylindre pendulaire.

PIAGGIO MP3 LT (Catégorie tricycle)

Ce véhicule 3 roues de 400 cm³ (à droite sur la Figure 2-4) a connu une explosion des ventes entre 2009 et 2010 pratiquement exclusivement dans la région Parisienne (il peut être conduit avec un permis de conduire B). Les ventes se stabilisent actuellement et commencent à toucher de nombreuses autres agglomérations Françaises.



Figure 2-4 : scooters de plus de 125 cm³. Yamaha Tmax (à gauche), Piaggio MP3 (à droite)

Description du scooter électrique

Le **Peugeot E-Vivacity** (cf Figure 2-5), limité par la réglementation à 45 km/h et équivalent à la catégorie des 50 cm³, est représentatif d'une catégorie appelée à se développer dans les années à venir dans les centres villes (2 kW électrique). Il est équipé d'un bruiteur destiné à se signaler aux piétons qui n'ont pas entendu le véhicule arriver. Son prédécesseur (Peugeot Scootelec) a obtenu le trophée du «Décibel d'Or» en 1996.



Figure 2-5 : scooter électrique Peugeot E-Vivacity

Le scooter électrique étant particulièrement silencieux (absence de bruit dû à une motorisation thermique), il sera analysé avec un second jeu de pneumatiques (pneus « neiges ») afin d'évaluer l'éventuelle influence des pneumatiques sur l'émission sonore.

Marque	Modèle	Catégorie	Cylindrée cm ³	Puissance kW	Moteur 2T/4T	Nb cylindres	Nb soupapes
Peugeot	Vivacity	50 cm ³	50	4	2T	1	0
Piaggio	Zip		50	4	2T	1	0
Peugeot	Kisbee		50	2,8	4T	1	2
Honda	Zoomer		50	3,6	4T	1	4
Peugeot	Citystar	125 cm ³	125	11	4T	1	4
Honda	PCX		125	11	4T	1	4
Yamaha	Xmax		125	11	4T	1	4
Sym	VS		125	9,5	4T	1	4
Yamaha	Tmax	> 125 cm ³	500	36	4T	2 en lignes	8
Piaggio	MP3		400	25	4T	1	4
Peugeot	e-vivacity	50 cm ³	/	2 (électrique)	électrique brushless asynchrone	0	0

Tableau 2-3 : caractéristiques techniques de la motorisation des 11 scooters analysés

Marque	Modèle	Carburateur	Refroidissement	Autre	Boîte de vitesses
Peugeot	Vivacity	Carburateur	Air	Vmax 45 km/h	Automatique CVT ⁵
Piaggio	Zip	Carburateur	Air	Vmax 45km/h	Automatique CVT
Peugeot	Kisbee	Carburateur	Air	Vmax 45km/h	Automatique CVT
Honda	Zoomer	Injection	Liquide	Vmax 45 km/h	Automatique CVT
Peugeot	Citystar	Injection électronique	Liquide	Vmax 118km/h	Automatique CVT
Honda	PCX	Injection	Liquide	V Max 110km/h Alterno démarreur	Automatique CVT
Yamaha	Xmax	Injection	Liquide	Vmax 115km/h	Automatique CVT
Sym	VS	Carburateur	Air	Vmax 102km/h	Automatique CVT
Yamaha	Tmax	Injection	Liquide	Vmax 165km/h moteur fixe	Automatique CVT
Piaggio	MP3	Injection pendulaire	Liquide	Vmax 145km/h moteur pendulaire	Automatique CVT
Peugeot	e-vivacity	/	Air	Vmax 45km/h 2 Batteries Li-Ion 48V	Variation électronique courroie synchrone + train pignon rapport fixe

Tableau 2-4 : autres caractéristiques techniques des 11 scooters analysés

Un des objectifs du projet Ascot est également de réaliser deux démonstrateurs (un dans la catégorie 50 cm³ et l'autre dans les 125 cm³) de scooter optimisés acoustiquement sans dégrader leurs performances. Pour cela, des analyses plus fines (enregistrements holophoniques et sur banc à rouleau notamment) seront conduites sur des véhicules pilotes⁶ et sur 2 autres véhicules cibles choisis parmi les plus silencieux de leur catégorie :

- Catégorie des 50 cm³ 2T :
 - Véhicule pilote (base du 1^{er} démonstrateur) : le **Peugeot Vivacity**,
 - Véhicule cible concurrent : le **Piaggio Zip**.
- Catégorie des 125 cm³ 4T :
 - Véhicule pilote (base du 2^{ème} démonstrateur) : le **Peugeot Citystar**,
 - Véhicule cible concurrent : le **Honda PCX**.

⁵ Continuously Variable Transmission (transmission à variation continue).

⁶ Les deux véhicules pilotes seront optimisés acoustiquement afin de réaliser deux démonstrateurs.

2.4 Retour d'expérience industrielle

L'objectif de cette partie est de faire un bilan des études réalisées par Vibratec sur le comportement vibro-acoustique des Scooters. Ce bilan est basé sur 18 études acoustiques et vibratoires réalisées pour le compte de Peugeot Scooters et complété par quelques enseignements techniques obtenus au cours d'autres études confidentielles concernant les deux-roues motorisés chez Vibratec.

La synthèse des études les plus pertinentes vis-à-vis du projet Ascot a permis d'identifier un certain nombre de sources principales d'excitations solidiennes et aériennes qui génèrent du bruit en moyennes fréquences (500 à 2000 Hz), ainsi que des contre-mesures à mettre en œuvre pour réduire le bruit ou les vibrations :

- Bruit solidien :
 - excitation due au pilon moteur ou aux forces inertielles ainsi que les déformées en torsion du vilebrequin couplées avec celles du carter moteur,
 - excitation de la transmission et couplage avec les couvercles.
- Bruit aérien : rayonnement du corps des silencieux excité par les pulsations de pression à l'échappement et bruit d'aspiration (dans certain cas).

Cette synthèse bibliographique a permis à Vibratec d'identifier la méthodologie la plus pertinente à déployer dans le cadre du projet Ascot. La démarche de synthèse acoustique consistant à réaliser un état des lieux sur des véhicules existant sous forme de hiérarchisation des sources et des voies de passage devrait donner à Peugeot Scooter une certaine autonomie du point de vue de la conception acoustique de ses véhicules. De plus, la capitalisation des connaissances a permis d'identifier les sources principales potentielles d'excitations solidiennes et aériennes ainsi que d'éventuelles contre-mesures à mettre en œuvre pour réduire le bruit ou les vibrations. Les études réalisées par Vibratec sur les aspects gêne acoustique sont exclusivement concentrées sur les utilisateurs de ces véhicules. Le projet Ascot permet d'améliorer le protocole expérimental employé en prenant en compte la fonction de transfert du casque du pilote et en positionnant des microphones à des positions plus représentatives (7,5 m de l'axe de passage).

2.5 Emissions sonores des deux-roues motorisés

La synthèse bibliographique des différents projets de recherche portant sur le bruit des deux-roues motorisés a confirmé qu'il existe peu d'études scientifiques sur les émissions sonores de ce type de véhicule. Les études identifiées, sont parfois anciennes, succinctes et émanent d'organismes relativement diversifiés :

- associations de constructeurs (IMMA et ACEM),
- Observatoire du Bruit (BruitParif),
- laboratoires européens (projet de recherches IMAGINE et SILENCE),
- laboratoires de recherches Français (INRETS et LCPC).

Quels que soient les intervenants, le constat est relativement unanime sur l'analyse de la problématique du bruit des deux-roues motorisés, et les solutions permettant d'améliorer la situation actuelle sont clairement identifiées :

- Le problème principal concerne les modifications illégales régulièrement réalisées sur ce type de véhicule et qui peuvent provoquer des hausses du niveau de bruit particulièrement élevées (entre 5 et 20 dB(A)). La plupart des autres voies d'améliorations sont conditionnées par la résolution de ce problème.
- Le mode de conduite influence fortement le niveau de bruit émis par un deux-roues motorisé (augmentation jusqu'à 10 dB(A)). Il est donc important de sensibiliser les conducteurs sur ce point.
- Les solutions technologiques permettant une réduction du bruit des deux-roues sans dégrader leurs performances sont d'ores et déjà connues mais peuvent difficilement être appliquées car elles doivent aussi prendre en compte d'autres contraintes (sécurité, espace disponible, pollution, coût, etc...)

Mesures sur des véhicules du trafic

Bien que les deux-roues motorisés contribuent peu au niveau de bruit « moyen » mesuré sur une journée, ils constituent une importante source potentielle de gêne en raison de fortes émergences (jusqu'à 25 dB(A)) mesurées lors d'évènement relativement isolés. Des études réalisées en bord de route sur des véhicules du trafic montrent que le niveau de bruit maximal au passage des deux-roues motorisés est plus élevé que celui des véhicules légers (jusqu'à 6 dB(A)) mais est inférieur à celui des poids lourds (entre 3 et 10 dB(A)).

Mesures sur véhicules maîtrisées

Les études réalisées sur des véhicules circulant à vitesse stabilisée en conditions maîtrisées confirment que les deux-roues motorisés de cylindrée inférieure à 125 cm³ sont plus bruyants que les véhicules légers (entre 2 et 10 dB(A)) quelle que soit la vitesse de passage (l'écart décroît lorsque la vitesse augmente). Les véhicules de cylindrée supérieure à 125 cm³ sont également plus bruyants que les véhicules légers en dessous de 80 km/h (6 dB(A)), mais ils peuvent se révéler équivalents voire plus silencieux à forte vitesse. Les poids lourds sont plus bruyants que les deux-roues motorisés quelles que soient leurs cylindrées (écart pouvant être supérieur à 10 dB(A)). Les émissions sonores des cyclomoteurs sont supérieures d'environ 2 dB(A) à celui des motocycles et sont relativement différentes d'un point de vue contenu fréquentiel.

Effet de l'accélération

L'accélération des deux-roues motorisés provoque une hausse de niveau de bruit plus élevée (entre 6 et 15 dB(A)) que pour les autres catégories de véhicules. De plus, contrairement aux véhicules légers et aux poids lourds où l'effet de l'accélération décroît lorsque la vitesse augmente, les fortes capacités d'accélération de ce type de véhicule provoquent une hausse du niveau de bruit relativement importante jusqu'à des vitesses élevées (100 km/h).

L'étude bibliographique a confirmé qu'il existe peu d'études scientifiques ou projets de recherches sur les émissions sonores des deux-roues motorisés. Ce qui conforte l'intérêt du projet Ascot. Elle a également confirmé la pertinence du protocole de mesures consistant à évaluer les émissions sonores sur des deux-roues motorisés circulant à différentes allures en conditions maîtrisées. En effet, le protocole utilisé par l'IFSTTAR dans le cadre du projet ASCOOT permet :

- de compléter les résultats disponibles dans la littérature,
- d'obtenir des informations supplémentaires non disponibles dans la bibliographie actuellement (l'évaluation de la puissance acoustique émise sur des deux-roues motorisés à différentes allures).

2.6 Perception du bruit des deux-roues motorisés

Les données concernant la perception et les réactions des populations au bruit des scooters sont quasi inexistantes et on notera que c'est l'aspect sécurité qui est prépondérant dans les recherches sur ce mode de transport. Par ailleurs, si l'on s'intéresse plus largement à la perception du bruit émis par les deux-roues, on se heurte à des problèmes de définition. En effet, selon les pays, selon les articles, il peut aussi bien s'agir de motos avec des cylindrées pouvant aller de 75 à 500 cm³, voire plus, de vélomoteurs, ou autres cyclomoteurs et motocyclettes, très rarement de scooters et sans que pour autant dans les articles des précisions soient données. Le terme générique de deux-roues motorisés semble le plus adapté et le plus commun, englobant ainsi l'ensemble des véhicules à deux roues possédant un moteur. Les recherches sur la perception des deux-roues motorisés sont peu nombreuses, peu précises et le plus souvent non exclusives. En effet, la plupart du temps, elles abordent le bruit des deux-roues motorisés comme faisant partie d'un environnement sonore plus large qui est celui du bruit du trafic routier, ce dernier, le plus souvent urbain. De plus, dans ces contextes, les résultats que l'on peut observer concernant spécifiquement les deux-roues motorisés ne sont jamais obtenus dans l'objectif d'une meilleure compréhension de la perception du bruit des deux-roues motorisés, mais davantage dans celui d'améliorer les connaissances sur le trafic en général, de comparer les caractéristiques de différents types de bruit (voiture, bus, trains, poids lourds ...), ou de travailler sur les descripteurs acoustiques permettant de prédire la gêne due au bruit. Il reste constant que les deux-roues motorisés sont fortement associés aux déplacements en ville.

Même si la synthèse bibliographique sur la perception du bruit des deux-roues motorisés s'est avérée limitée, elle a cependant permis de mettre en évidence un certain nombre de points importants :

- que le bruit des deux-roues motorisés est considéré comme une nuisance prépondérante en particulier en milieu urbain,
- que cette source de bruit spécifique est considérée comme étant la plus gênante lorsqu'elle est comparée à d'autres moyens de transport, que ce soit en laboratoire ou à travers des enquêtes,
- une perception « négative » due aussi à l'image que l'on a du conducteur de deux roues
- que ce type de bruit est très facilement identifié et aisément repérable dans un trafic et cela même à des distances importantes et qu'il est de ce fait d'autant plus gênant,
- qu'à un certain niveau, la perception du bruit des deux roues devient dominante dans la gêne exprimée.

Les données obtenues dans la littérature montrent à la fois l'importance de la gêne ressentie par les populations vis-à-vis du bruit des deux roues motorisés, et le faible intérêt porté dans les recherches à ce constat. Les expérimentations qui seront proposées devraient permettre de mieux comprendre les mécanismes de perception de ce type de bruit dans l'environnement sonore urbain et d'identifier les processus psychologiques mis en jeu dans des situations de trafic différentes (circulation plus ou moins dense et donc bruit de fond urbain plus ou moins présent). On retiendra l'importance des représentations que l'on a des conducteurs de deux-roues sur la gêne exprimée mais aussi que les caractéristiques acoustiques de ce type de véhicule étaient facilement repérables par les riverains. Il faudra donc prendre en compte ces dimensions dans la compréhension de la gêne.

3 Lot 2 : caractérisation expérimentale des véhicules

Référence [6] – Livrable 2 rapport ASCOOT_12R1L2
 Référence [7] – Livrable 3 rapport ASCOOT_12R1L23
 Référence [8] – Livrable 4 rapport ASCOOT_12R1L22
 Référence [9] – Livrable 5 rapport ASCOOT_12R1L24

3.1 Evaluation des conditions de fonctionnement

Les partenaires ont envisagé la mise en œuvre d'essais spécifiques en circulation urbaine pour déterminer les conditions de fonctionnement représentatives de l'utilisation des 2 roues en usage urbain. Il s'avère que ces conditions sont fortement dépendantes du véhicule ainsi que du style de conduite du pilote.

L'utilisation de la procédure World Motorcycle Test Cycle a été également évoquée. Finalement, il a été décidé de réaliser les mesures de manière exhaustive, à différentes allures : à vitesse stabilisée, en phase d'accélération, de décélération, et à l'arrêt.

3.2 Evaluation des émissions sonores sur piste

Livrable 2 ref. ([6]) : ASCOOT_12R1L2 Livrable 4 ref.([8]) : ASCOOT_12R2L22

L'évaluation des émissions sonores des scooters est réalisée à l'aide du dispositif expérimental représenté par la Figure 3-1.

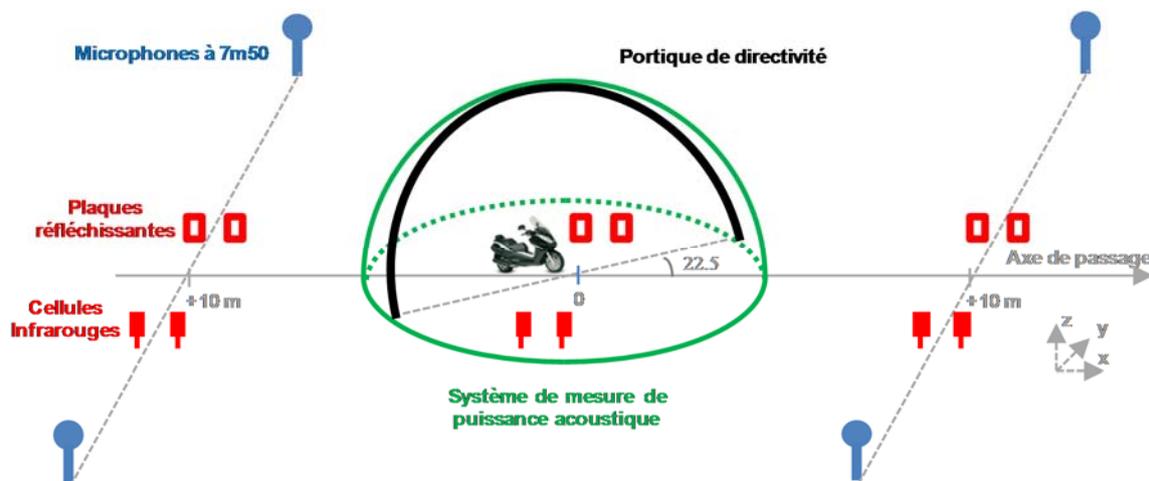


Figure 3.1 : dispositif expérimental déployé dans le cadre du projet Ascoot

Ce dispositif expérimental est constitué de trois principaux équipements utilisés simultanément et réalisant différents types de mesures acoustiques et cinématiques sur une zone de mesure de 20 m de longueur :

6 couples cellule infrarouge / réflecteur

Cet équipement permet d'évaluer les vitesses et accélérations des scooters au droit des différents systèmes de mesures acoustiques.

4 microphones à 7m⁵⁰⁷ [6]

Cet équipement permet d'établir les lois d'émission acoustique de chaque véhicule à différentes allures (vitesse stabilisée, à l'arrêt, en accélération et en décélération). Que ce soit en niveau global maximal au passage (L_{Amax} cf Figure 3-1) ou par bandes de tiers d'octave.

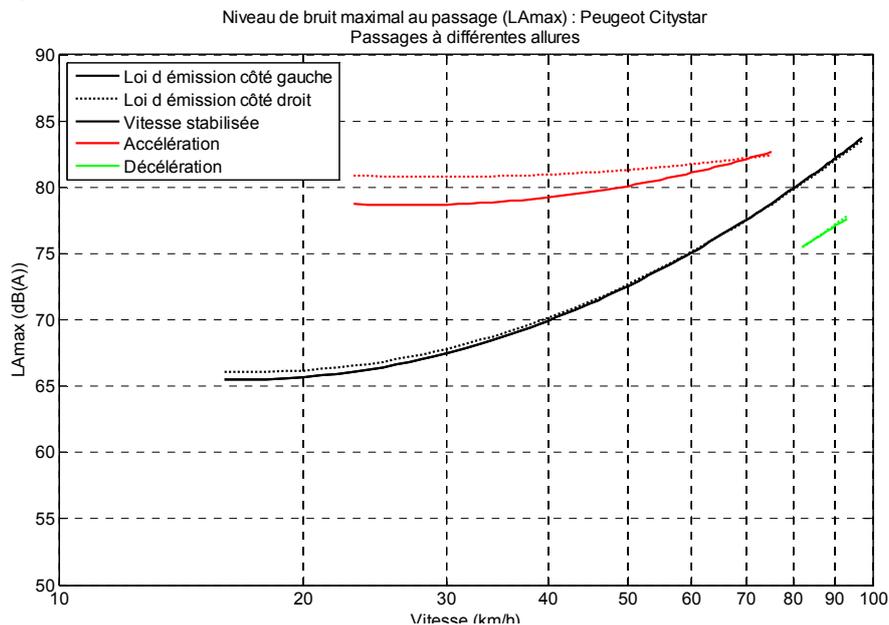


Figure 3-1 : exemple de lois d'émission (niveau global) du Peugeot Citystar à différentes allures

⁷ Position conforme à la norme ISO-362 d'homologation du bruit émis par les véhicules routiers (7.5 m de l'axe de passage du véhicule analysé et 1.2 m de hauteur).

Système de mesure de puissance acoustique (17 microphones) [8]

Permet d'évaluer la puissance acoustique au passage des véhicules pour différentes allures (niveau global et par bande de tiers d'octave) et d'analyser la directivité acoustique (cf. Figure 3-2).

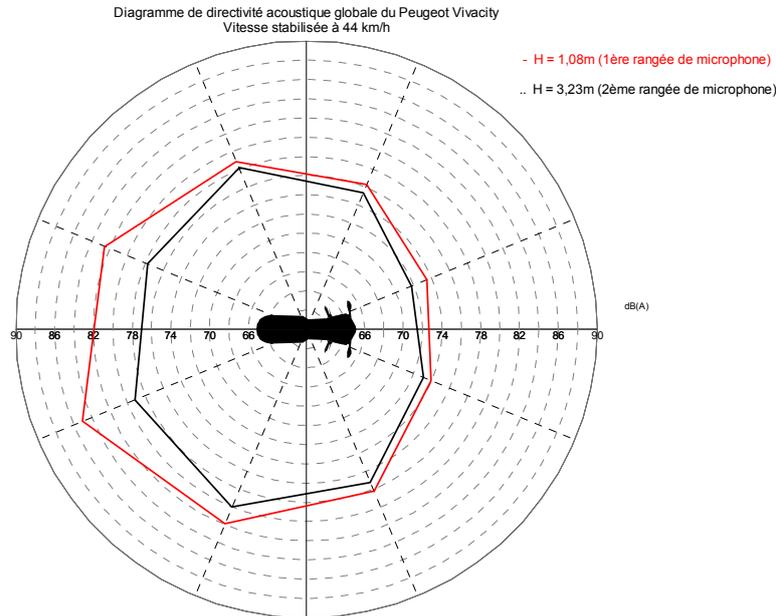


Figure 3-2 : diagramme de directivité acoustique globale. Cas du Peugeot Vivacity circulant à la vitesse stabilisée de 44 km/h

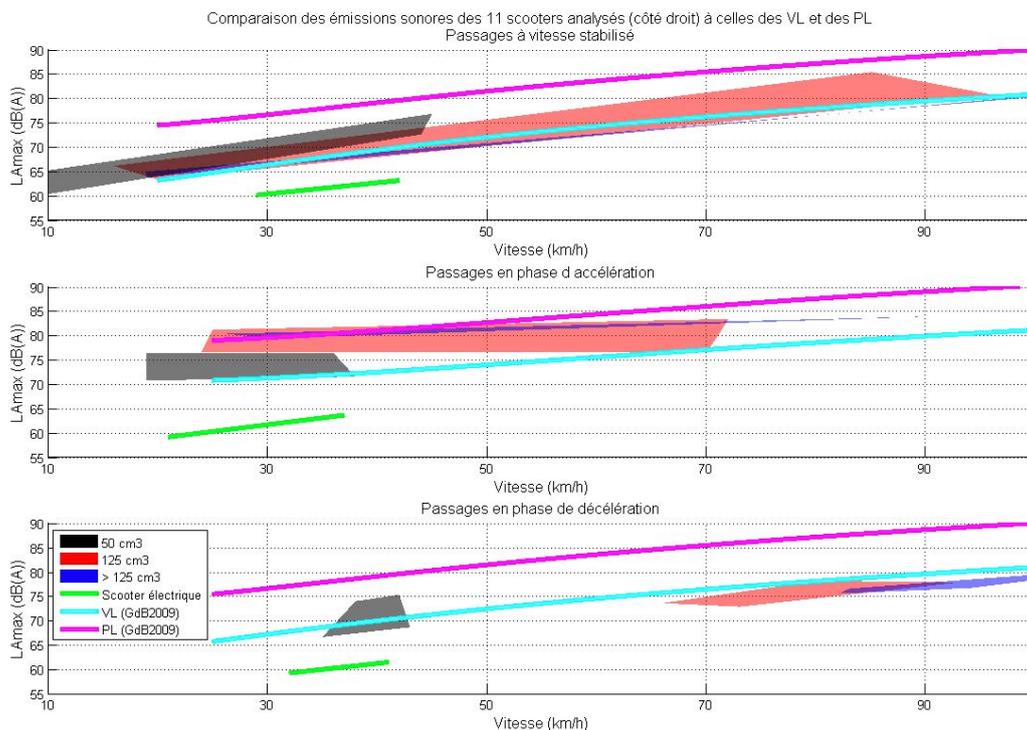


Figure 3-3 : comparaison des lois d'émission des 11 scooters analysés aux lois d'émission définies par le guide du bruit 2009 pour les véhicules légers et les poids lourds

L'analyse des lois d'émission obtenues pour les 11 scooters (cf. Figure 3-3) permet d'analyser les paramètres influençant le niveau de bruit émis par ce type de véhicule.

Influence de la cylindrée du véhicule

Bien que les scooters les plus bruyants de chaque catégorie aient des niveaux de bruit équivalents à ceux des scooters les plus silencieux de la catégorie de cylindrée supérieure, les tendances suivantes peuvent être observées :

- En phase d'accélération, plus la cylindrée du véhicule augmente, plus le niveau de bruit global émis par les scooters est élevé.
- A vitesse stabilisée, on observe la tendance inverse : pour une vitesse de passage donnée, plus la cylindrée du scooter est élevée, moins le véhicule est bruyant.

Influence du côté du véhicule

Pour les **10 scooters** équipés d'un moteur **thermique** et d'un seul et unique pot d'échappement du côté droit du véhicule, le **bruit émis est plus élevé du côté droit** du scooter (jusqu'à 2.3 dB(A)).

Influence de l'accélération

L'accélération provoque une hausse des émissions sonores particulièrement élevée à basse vitesse, et qui diminue lorsque la vitesse de passage augmente jusqu'à devenir négligeable lorsque le véhicule atteint sa vitesse maximale (impossibilité d'accélérer). La hausse de LA_{max} par rapport à une conduite à vitesse stabilisée est plus élevée pour les véhicules disposant de fortes capacités d'accélération (cylindrée élevée), elle peut atteindre 9 dB(A) pour les 50 cm³ et 14 à 16 dB(A) pour les cylindrées supérieures.

Influence de la décélération

La décélération provoque une baisse des émissions sonores des scooters pouvant aller jusqu'à 6 dB(A).

Influence de la motorisation 2T/4T

Les mesures réalisées sur l'échantillon de 4 scooters 50 cm³ n'ont pas permis de mettre en évidence une éventuelle influence de la motorisation 2T ou 4T sur les émissions sonores.

Signature spectrale des scooters thermiques

L'analyse du contenu fréquentiel des émissions sonores des scooters thermiques montre la présence d'un comportement harmonique dont la fréquence du fondamental est liée à la vitesse rotation du moteur. Ces harmoniques présentes quelles que soient les conditions de fonctionnement du véhicule, émergent de manière significative pour les véhicules de forte cylindrée et dans les configurations où le bruit moteur est élevé (forte vitesse de passage ou accélération). Le régime moteur des scooters thermiques étant relativement constant lorsqu'ils circulent en phase d'accélération, le niveau de bruit global et la signature spectrale reste identique quelle que soit la vitesse de passage du scooter. Cette signature spectrale caractéristique (signal harmonique) favorise la reconnaissance de ce type de véhicule par rapport aux autres types de véhicules routiers.

Influence de la motorisation électrique

La comparaison du scooter électrique (Peugeot e-Vivacity) avec son équivalent thermique (Peugeot Vivacity) montre des réductions du niveau de bruit global pouvant atteindre 12.3 dB(A) à vitesse stabilisée, 15.7 dB(A) en phase d'accélération et 13.4 dB(A) en phase de décélération.

Comparaison des émissions sonores des scooters à celles des véhicules légers

A vitesse stabilisée, un scooter est plus bruyant qu'un VL lorsque sa cylindrée est de 50 cm³, en revanche il est plus silencieux lorsque sa cylindrée dépasse les 125 cm³. Pour la catégorie des 125 cm³, un scooter peut (en fonction du modèle) être équivalent ou moins bruyant qu'un VL. En phase d'accélération un scooter est globalement plus bruyant qu'un véhicule léger.

Une analyse du contenu fréquentiel des émissions sonores montre, que contrairement au véhicule léger où il devient négligeable à haute vitesse, le bruit moteur reste présent sur toute la plage de fonctionnement du scooter (présence d'harmoniques moteur pour des vitesses de passage élevées).

Comparaison des émissions sonores des scooters à celles des Poids lourds

A vitesse stabilisée, un scooter est moins bruyant qu'un poids lourd. En phase d'accélération, un scooter est moins bruyant qu'un poids lourd au-dessus de 50 km/h, et équivalent voir plus bruyant à faible vitesse.

Les fortes capacités d'accélération des scooters provoquent, pour une vitesse de passage donnée, une hausse des émissions sonores plus élevées que pour les véhicules légers ou les poids lourds. L'augmentation du LA_{max} peut atteindre :

- 3.5 dB(A) pour les VL,
- 6 dB(A) pour les PL,
- 9 dB(A) pour les 50 cm³,
- 14 à 16 dB(A) pour les cylindrées supérieures.

3.3 Mesures binaurales sur piste

L'objet de ce livrable étant la préparation des jurys d'écoute pour les tests de qualité sonores, les différents signaux enregistrés en bord de piste lors des essais à Bavans en Octobre 2011 ont été sélectionnés en fonction de leur pertinence, triés en fonction de la qualité de restitution, analysés en regard de critères de niveaux sonores et psycho-acoustiques et préparés pour être utilisés par le test de jury (comparaison par paires).

Les principaux résultats sont :

- Seuls les passages à 50 km/h stabilisés et les accélérations départ arrêté ont été retenus pour le test de jury pour éviter d'alourdir les tests et biaiser les résultats. Ces situations de vie sont les plus courantes ou les plus pénalisantes pour les véhicules testés.
- Les principaux résultats pour les passages à 50 km/h en bord de piste sont :
 - Les 50 cm³ sont plus bruyants que les autres véhicules,
 - Les deux temps sont plus bruyants que les quatre temps pour les 50 cm³,

- Les niveaux en dB(A) et la sonie donnent les mêmes tendances,
 - Les autres critères psycho-acoustiques calculés (acuité, rugosité, centre de gravité spectral) ne donnent pas de tendance mais caractérisent la spécificité de chacun des véhicules. Le Piaggio MP3 semble être le véhicule démontrant les performances acoustiques les moins favorables ; à l'opposé le Sym Vs semble être le véhicule le mieux noté.
- Les principaux résultats pour les départs arrêtés en bord de piste sont :
 - Le départ arrêté comprend deux phases distinctes : la phase de « décollage », quand la transmission continue glisse vers son rapport cible, et la phase d'accélération pleine charge,
 - Les hiérarchisations des niveaux de bruit relatifs à chacune des phases ne sont pas identiques pour une même cylindrée. Cependant on constate que les niveaux de bruit sont plus élevés quand la cylindrée augmente,
 - L'acuité ne permet pas de discriminer a priori les différents véhicules. On note une sensible dégradation pour le Piaggio Zip et le Peugeot Vivacity,
 - La rugosité ne permet pas de discriminer les différents véhicules.
 - Du point de vue du pilote à 50 km/h :
 - Le type de casque et l'interaction du casque avec le flux d'air en roulage perturbe la perception du bruit des scooters de manière très significative. On ne peut pas utiliser les signaux enregistrés dans le casque pour analyser le bruit des véhicules ou les comparer entre eux,
 - A défaut, un microphone localisé au niveau des tableaux de bord des véhicules à l'abri du flux d'air a été utilisé,
 - En accord avec les résultats en bord de piste, les 50 cm³ sont plus bruyants que les autres véhicules,
 - La différence de niveaux de bruit entre les différents véhicules de même cylindrée est moins marquée qu'en bord de piste,
 - Les critères psycho-acoustiques d'acuité, centre de gravité spectral et de rugosité ne permettent pas de discriminer les différents véhicules.

Les échantillons de sons pour les différents véhicules et les deux conditions de roulage seront utilisés pour le jury de test (voir §4).

Les échantillons de sons pour les jurys d'écoute sont les suivants :

Marque	Nom modèle	Cylindrée (cm ³)	Motorisation	Fichiers sons passage à 50 km/h	Fichiers sons départ arrêté
Peugeot	e_vivacity	Assimilé 50	électrique		
Honda	Zoomer	50	4T		
Peugeot	Kisbee	50	4T		
Piaggio	Zip	50	2T		
Peugeot	Vivacity	50	2T		
Honda	PCX	125	4T		
Yamaha	Xmax	125	4T		
Peugeot	citystar	125	4T		
Sym	VS	125	4T		
Piaggio	MP3	400	4T		
Yamaha	Tmax	500	4T		

Tableau 3-1 : Enregistrements binauraux

3.4 Mesures de contributions

3.4.1 Objectif de la tâche

L'objectif de cette tâche est de quantifier et de hiérarchiser les contributions des différentes sources sonores sur les deux scooters pilotes (scooters à optimiser), ainsi que sur les deux véhicules cibles identifiés dans les mêmes catégories.

Les contributions des différents organes des deux-roues sont mesurées en termes de niveaux et de contenus fréquentiels, dans une optique d'optimisation des véhicules PEUGEOT SCOOTERS.

3.4.2 Principaux résultats

Le diagnostic a principalement été basé sur des mesures utilisant une antenne holographique et une reproduction des conditions de bruit au passage sur un banc à rouleaux. Cette campagne d'essai a donc des limites importantes :

- L'instrumentation utilisée permet d'identifier le rayonnement acoustique extérieur du système analysé. Elle ne permet pas de caractériser les sources d'excitations internes telles que le bruit de combustion, les forces d'inertie transmises aux paliers, les engrènements ou d'autres sources éventuelles.
- Les rayonnements de certains carters ne sont pas mesurables en raison du manque d'accessibilité (cadre ou carénages), de la présence du sol et du rouleau.
- Le champ de vision des antennes acoustiques est limité à un cône devant l'antenne et sous-estime les sources extérieures à ce cône, particulièrement lorsque celles-ci sont directives (exemple de la bouche d'échappement).

Malgré ces difficultés, les analyses permettent de mettre en évidence les contributions en rayonnement des différents organes du scooter :

- En particulier pour l'ensemble des véhicules étudiés la forte contribution du corps du moteur (carters, grilles...) et des carters de transmission excités principalement par les forces générées par la combustion,
- Le bruit de bouche d'échappement du Citystar 125cc, bien que sous-estimé par les cartographies acoustiques, a été décelé par un microphone proche de la bouche, permettant d'en estimer la puissance.
- Les autres excitations (bruit de transmission, respiration moteur : admission,) demeurent des sources secondaires.

3.4.3 Localisation des sources

La localisation des sources de rayonnement est réalisée par l'analyse des cartographies en intensités acoustiques des faces latérales du scooter et des spectres de puissances acoustiques.

Une synthèse des résultats est présentée pour les 2 véhicules Peugeot Scooter (Vivacity 50cc et Citystar 125cc). Les résultats sur les véhicules de référence concurrents sont disponible dans le livrable 5 ref.([9]) : ASCOOT_13R1L24.

3.4.3.1 Vivacity 50cc

Côté gauche, l'antenne est centrée sur le milieu du carter de transmission permettant de prendre en compte toute la zone susceptible d'émettre du bruit. Du côté droit du véhicule, nous procédons en 2 acquisitions :

- La cartographie arrière qualifie le bruit émis à la bouche d'échappement,
- La cartographie avant concerne les autres sources (potentiellement le moteur, le silencieux...).

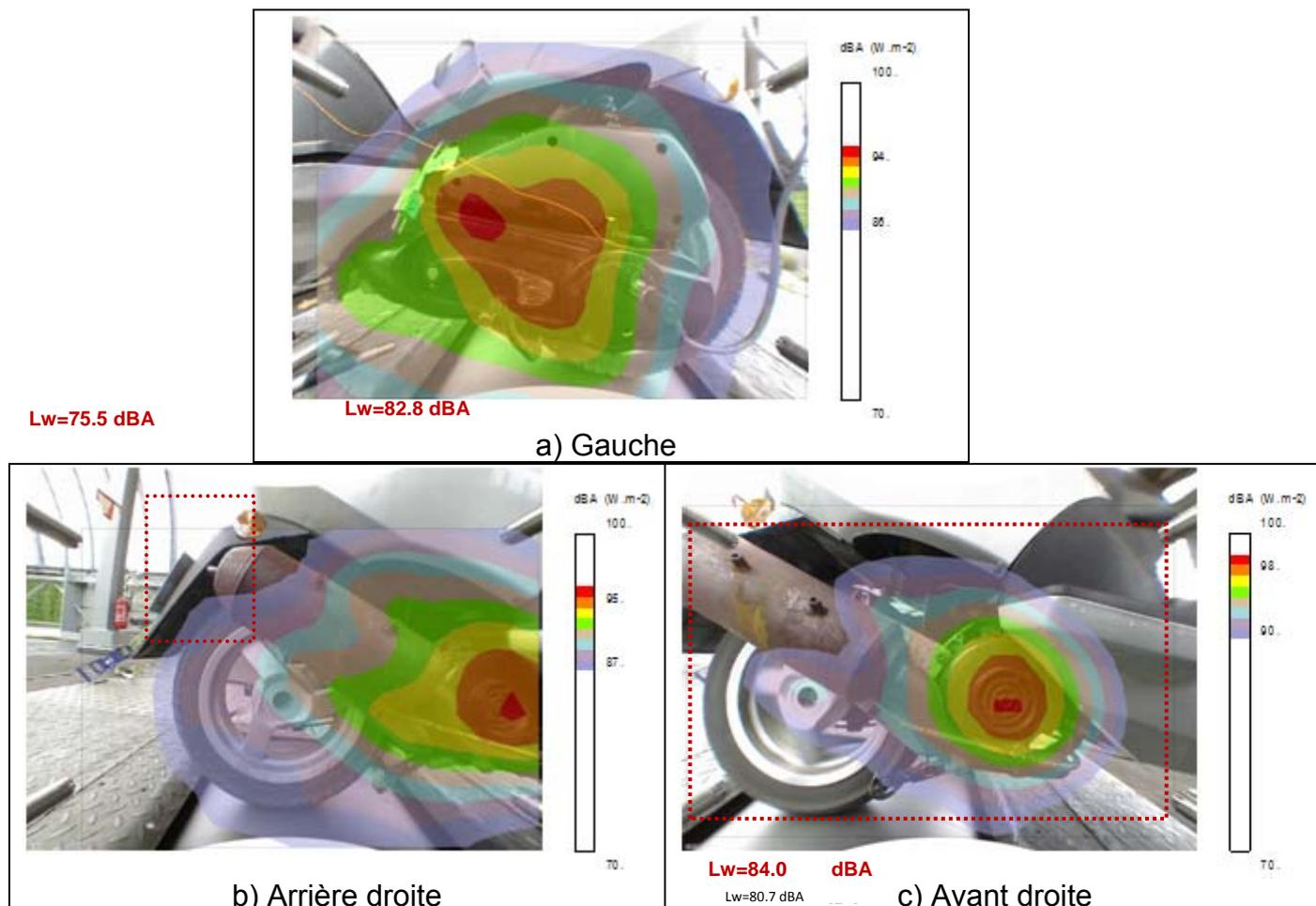


Figure 3-4 : Cartographie en intensité acoustique – Echelle en dBA réf. 1 pW/m² - Conditions : 30 km/h – PC

Le bruit à droite du véhicule est principalement rayonné par le bloc moteur via la grille de ventilation. La bouche d'échappement et le silencieux ne contribuent pas de manière significative au bruit.

On observe un rayonnement de la boîte relais côté droit du véhicule entre 2 kHz et 2.5 kHz.

Côté gauche, le bruit est principalement émis dans la partie avant du carter de transmission. Les cartographies ne sont pas très indicatives, il n'est pas possible de déterminer si le bruit est émis par le carter de transmission ou s'il provient des carters du moteur.

Un essai complémentaire est réalisé avec le carénage déposé afin de préciser ce point. Le circuit PULSAIR est également déplacé en dehors de la zone de mesure). L'intensité maximale (94 dBA) est visualisée au même endroit et avec le même niveau que sur la cartographie avec carénage. La zone principale d'émission (de 90 à 94 dBA) est bien située dans la zone avant du carter de transmission et à sa périphérie (flancs et carters moteur...). La bouche d'admission d'air n'est pas concernée.

Vitesse (km/h)	Fréq. moteur (Hz)	Côté gauche	Lw (dBA)	Côté droit	Lw (dBA) Avant/ Arrière (cf. Figure 3-5)
10	105	[100 Hz] : BAA [500-1 kHz] : Zone carter transmission [1 kHz– 4 kHz] : ouverture entre carénage moteur et carter	81.3	[315-1.6kHz] Grille carter moteur [2 - 2.5 kHz] : Egalement Boîte relais	Av :84.9 Arr :75.6
30	108	[100- 125 Hz] : BAA [500-1 kHz] : Zone carter transmission [1 kHz– 4 kHz] : ouverture entre carénage moteur et carter	82.8	[315-1.6kHz] Grille carter moteur [2 - 2.5 kHz] : Egalement Boîte relais	Av :84 Arr :75.5
45	134	[100- 125 Hz] : BAA [250 -1 kHz] : Zone carter transmission [1 kHz– 4 kHz] : Zone carter transmission Emission plus marquée à l'avant	85.9	[315-1.6kHz] Grille carter moteur [2 - 2.5 kHz] : Egalement Boîte relais	Av :88.9 Arr :79.4

**Tableau 3-2 : Observations et localisations des sources – Essais pleine charge
PEUGEOT VIVACITY 50cc**

Pour réduire le niveau sonore du PEUGEOT VIVACITY 50CC, il faut donc principalement travailler sur la zone « moteur » du côté droit (carter + grille).

3.4.3.2 Citystar 125cc

Les cartographies globales et par bandes de fréquences sont calculées pour les 3 vitesses (30 km/h, 50 km/h et 70 km/h) dans des conditions de pleine charge. Nous présentons ci-dessous les tracés à 50 km/h.

Les cartographies pour les 3 vitesses de roulage sont présentées en annexe 5 du livrable ref. [9].

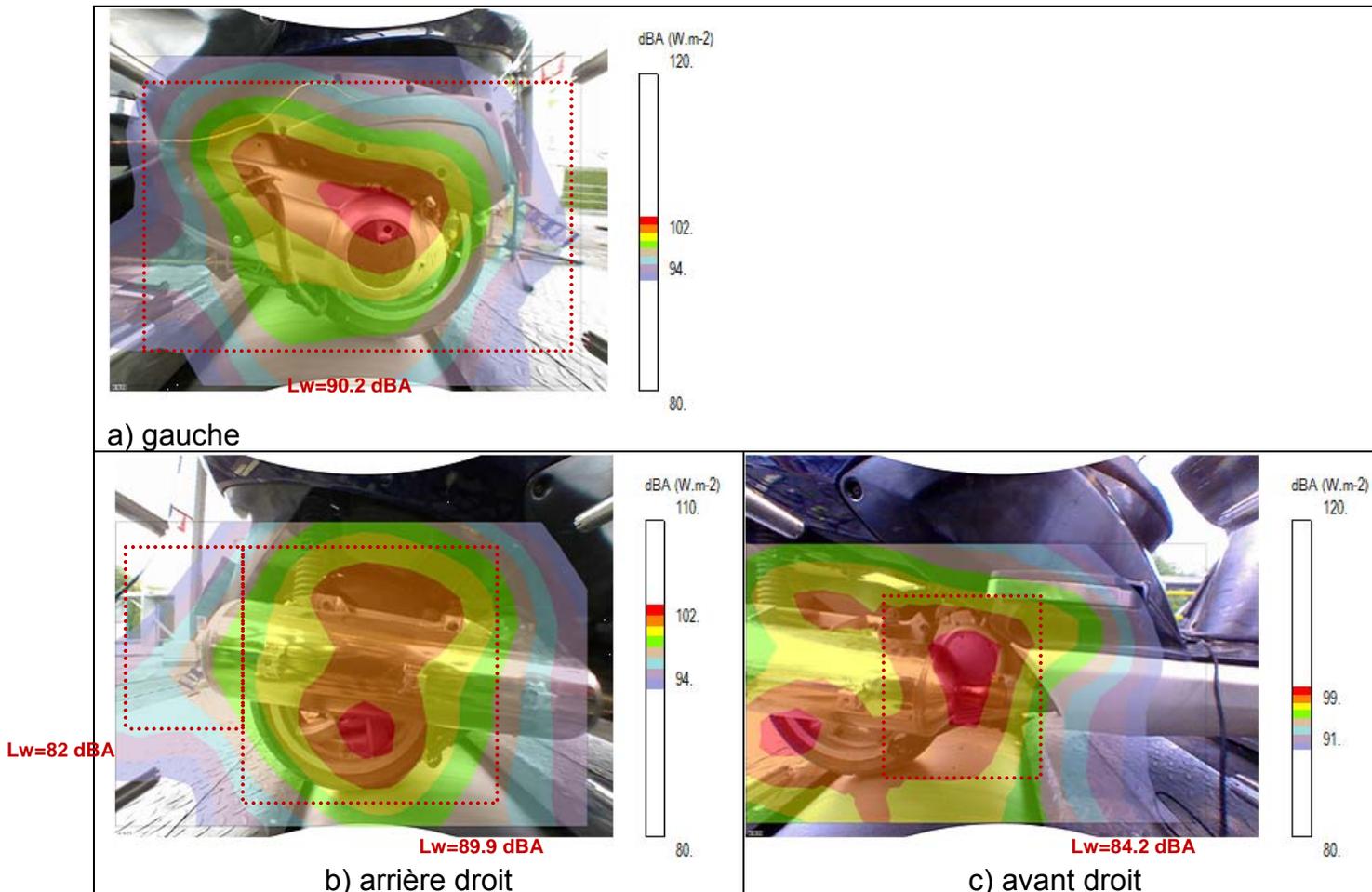


Figure 3-5 : Cartographie en intensité acoustique – Echelle en dBA réf. 1 pW/m^2 - Conditions : 50 km/h – PC

Les zones mises en relief sur la figure côté gauche du véhicule correspondent au carter de transmission.

Ces observations sont effectuées pour chacune des 3 vitesses étudiées.

Deux positions d'antenne sont nécessaires pour couvrir les sources potentielles sur le côté droit: de la fin du carénage masquant le cylindre moteur, jusqu'au silencieux d'échappement.

On observe sur les cartographies différentes zones de rayonnement ref[9]:

- A basse fréquence (Tiers d'octave 160 Hz) le bruit a sa source en sortie du silencieux d'échappement,

- Le corps du silencieux serait une source très significative entre 400 et 600 Hz. L'émergence de l'ordre 4 à 492 Hz pour l'essai à 50 km/h et de l'ordre 3.5 à 464 Hz pour l'essai à 70 km/h proviendrait du rayonnement de la partie centrale,
- les cartographies réalisées à l'arrière entre 1 kHz et 2 kHz pointent les zones au-dessus et en dessous du silencieux. Il est difficile de savoir si cela provient d'un rayonnement de l'échappement ou si l'échappement fait écran à une émission par le carter moteur ou de transmission,
- sur les cartographies de la zone avant, le carter (magnéto) semble également être émetteur entre 1250 Hz et 2 kHz.

Le Tableau 3-3 présente une synthèse des localisations par holographie sur le Citystar 125cc.

Vitesse (km/h)	Fréq. moteur (Hz)	Côté gauche	Lw (dBA)	Côté droit	Lw (dBA) Avant/ Milieu/Arrière
30	113	[1000 - 1250 Hz] : milieu du carter de transmission [1600 Hz] : carter zone arrière	90.1	[80-250 Hz] : bouche échappement [500 Hz] : virole silencieux, [1000 - 2000 Hz] : • carter de transmission face intérieure (ou silencieux) • bas moteur	Av :81.1 Milieu :84.2 Arr :78.3
50	123	[1000 - 1250 Hz] : milieu du carter de transmission [1600 Hz] : carter zone arrière [2 kHz] : carter zone arrière	90.5	Même constat qu'à 30 km/h	Av :84.2 Milieu :89.9 Arr :81.7
70	1325	[1000 Hz] : milieu du carter de transmission [1250 Hz - 1600 Hz] : carter zones avant et arrière	93.1	Même constat qu'à 30 km/h	Av :86.1 Milieu :91.0 Arr :81.7

Tableau 3-3 : Observations et localisations des sources sur le Citystar 125cc – Essais pleine charge (zone arrière : bouche ; zone milieu : corps silencieux ; zone avant : carter)

Les sources sonores situées en dehors de la zone couverte par la HDCAM peuvent cependant être à l'origine d'une incertitude. Notamment, il s'avère que la bouche d'échappement est la source de bruit prédominante du Citystar 125cc, mais étant fortement directive en direction de l'arrière du véhicule, elle est sous-estimée par la mesure avec des antennes disposées sur le côté. La puissance de la bouche d'échappement, estimée à partir de la pression enregistrée par un microphone proche, est finalement du même ordre que la puissance rayonnée par chacun des côtés du véhicule (Figure 3-6).

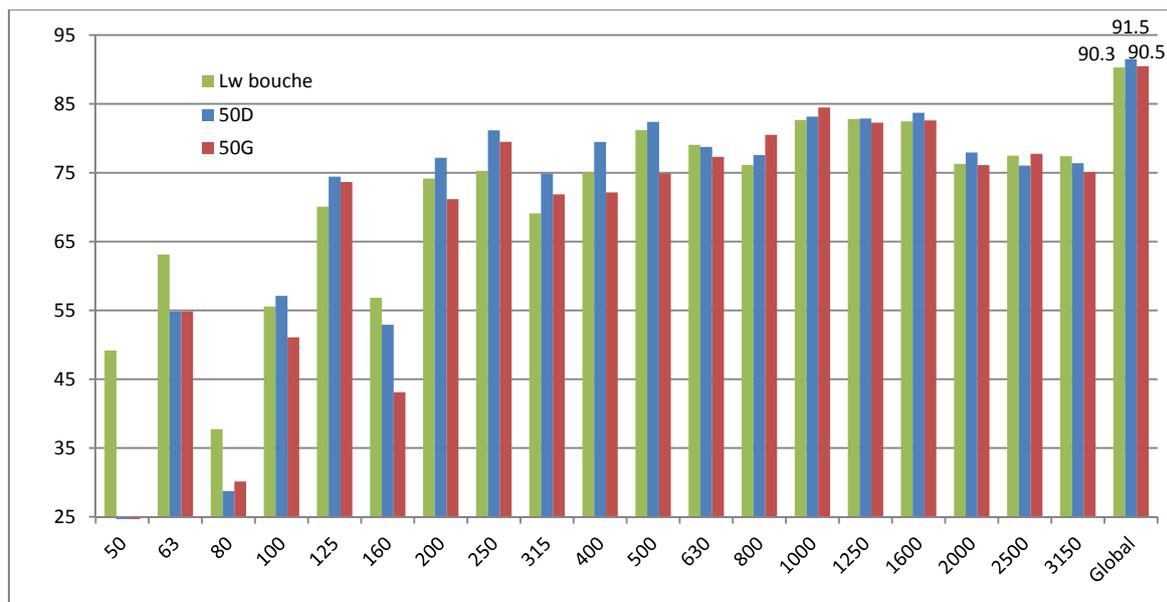


Figure 3-6 : Comparaison de la puissance acoustique estimée de la bouche d'échappement avec les puissances calculées à partir de l'imagerie coté droit et coté gauche 125cc Citystar à 50km/h PC

4 Lot 3 : Perception sonore par le pilote et le piéton

Référence [11] – Livrable 7 – Rapport ASCOOT_14R1L3

4.1 Objectifs et méthodologie

L'objectif de ce lot est de qualifier la perception sonore pour les piétons ainsi que pour les conducteurs.

La démarche utilisée est la suivante :

- Test par jury, permettant un classement subjectif des sons des véhicules,
- Calcul d'indicateurs psychométriques, constituant une évaluation objective basée sur le traitement des signaux,
- Corrélation de la perception sonore avec des indicateurs psychométriques.

Le test par jury est basé sur la comparaison par paires de séquences courtes. Ces séquences sont issues des mesures de la phase 2.3, l'objectif étant de guider la conception des démonstrateurs vers des solutions améliorant la perception des véhicules.

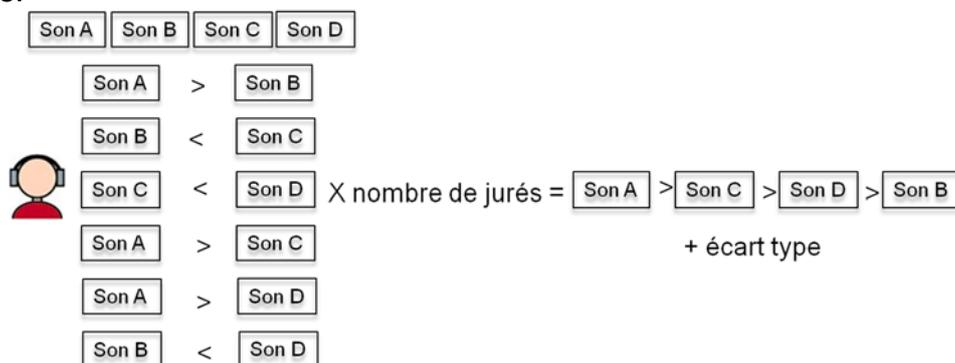


Figure 4-1 : synoptique du test par jury

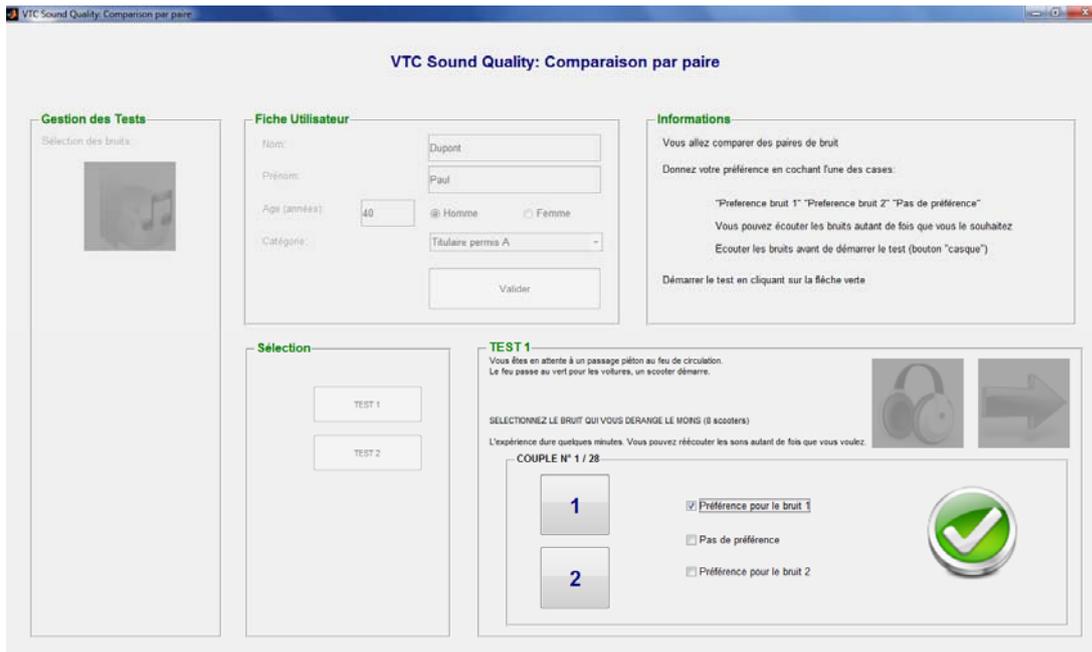


Figure 4-2 : IHM du logiciel de qualité sonore Vibrattec VTCSQ

Les résultats sont présentés sur les figures ci-dessous, pour 2 conditions de fonctionnement usuelles (départ arrêté et passage à vitesse stabilisée).

L'échelle de préférence va de 0 à 1. Le maximum de 1 correspond à un son qui est systématiquement jugé le meilleur par tous les jurés.

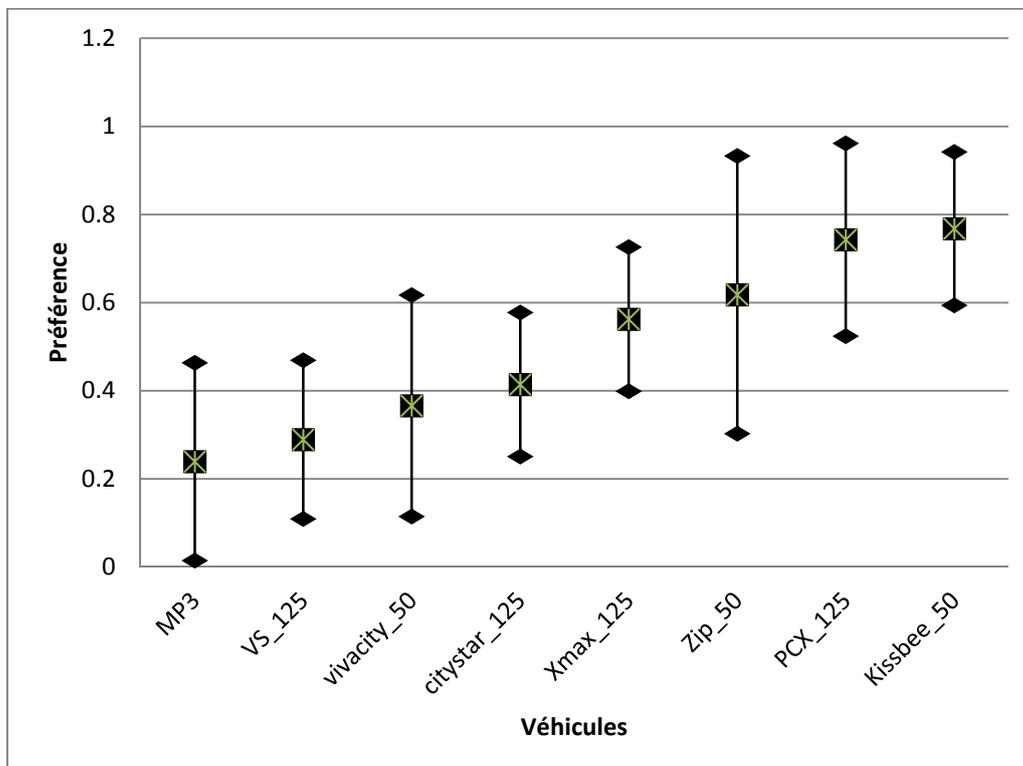


Figure 4-3 : préférence du jury test pour le départ arrêté

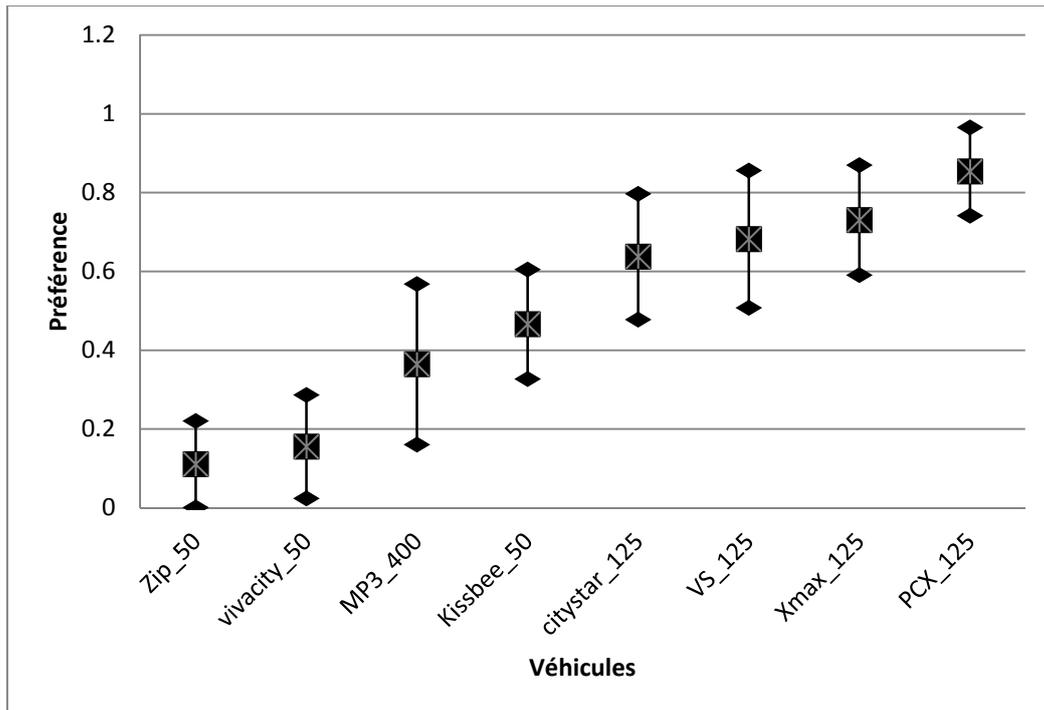


Figure 4-4 : préférence du jury test pour passage à vitesse stabilisée

4.2 Corrélation de la perception sonore avec des indicateurs psychométriques

Dans ce qui suit, on reporte les résultats de la préférence du jury d'écoute en fonction des différents critères psycho-acoustiques calculés. L'objectif est de pouvoir interpréter les résultats de ces jurys et tenter d'extraire des lois de préférence permettant d'expliquer le classement des véhicules.

Les indicateurs suivants ont été calculés : sonie, centre de gravité spectrale, émergences fréquentielles.

4.2.1 Point de vue du piéton, départs arrêtés

Pour les véhicules 4T, on constate une très bonne corrélation de la sonie maximale lors d'un départ arrêté avec la préférence du jury (Figure 4-5).

La particularité des 2T provient de l'acuité (voir Figure 4-6). Les deux temps générant une explosion par tour (au lieu d'une explosion tous les deux tours pour les quatre temps), ils possèdent un son plus aigu généralement amplifié par l'échappement qui est « accordé » avec le moteur.

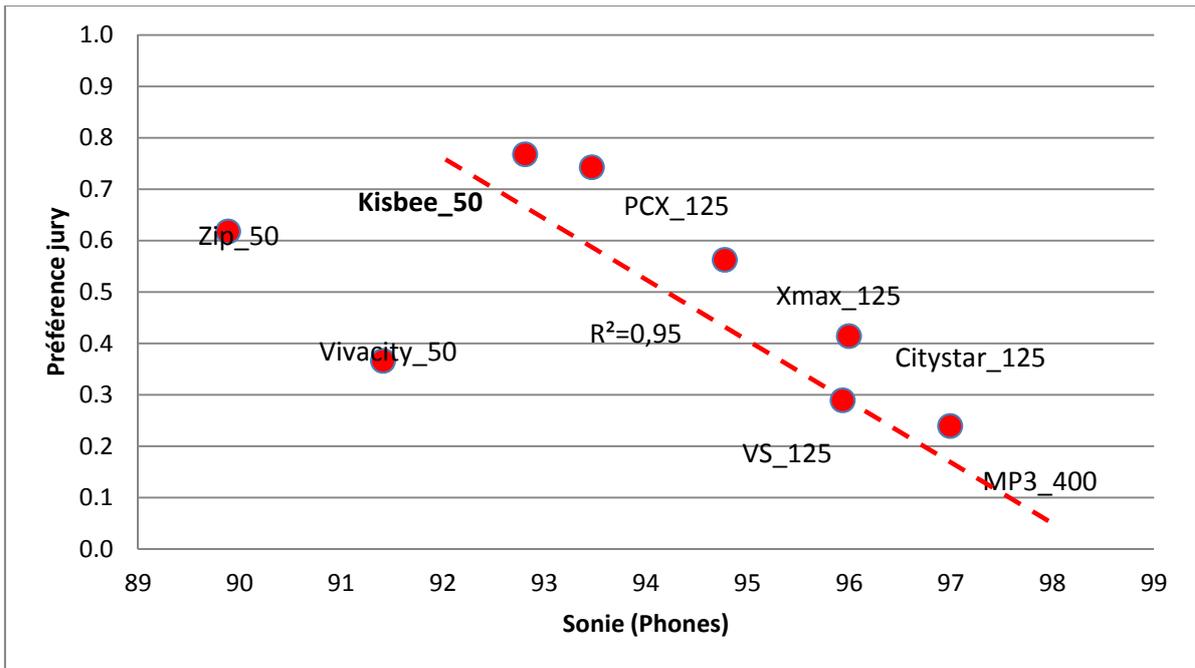


Figure 4-5 : corrélation préférence Jury / sonie maximale en accélération pleine charge
2^{ème} palier– Départ arrêté

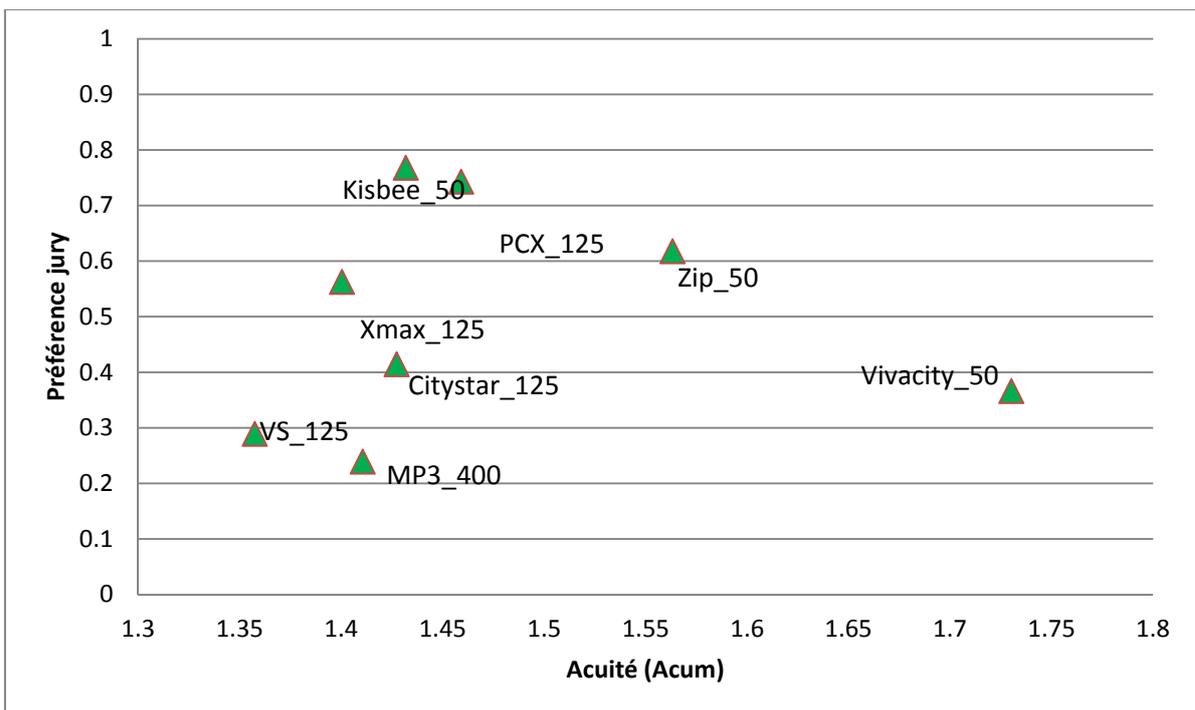


Figure 4-6 : Corrélation préférence Jury / acuité accélération en pleine charge– départ arrêté

4.2.2 Point de vue du piéton, passage en vitesse stabilisée

Pour les passages à vitesse stabilisée, on retrouve un comportement très similaire :

- Figure 4-7 : il y a une forte corrélation entre la préférence et la sonie, mais avec une dispersion qui est plus importante autour de la droite de régression, cependant la corrélation est satisfaisante (0.81). Par contre les groupes sont bien marqués (50cc 2T : les moins bien cotés, les 125 cc 4T : les mieux cotés).
- Figure 4-8 : on observe une moins bonne corrélation avec l'acuité, on constate que les points sont proches de la droite de régression. Cependant comme pour les départs arrêtés, les niveaux d'acuité sont assez similaires entre les différents véhicules.

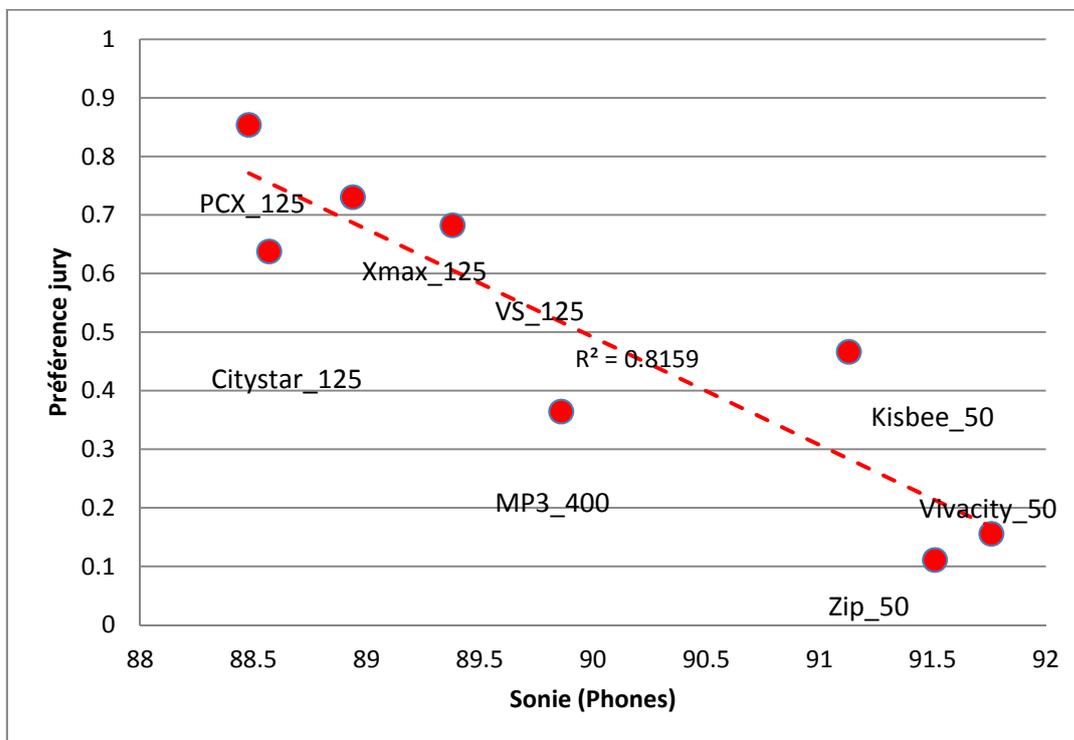


Figure 4-7 : Corrélation préférence Jury / sonie maximale – Vitesse stabilisée

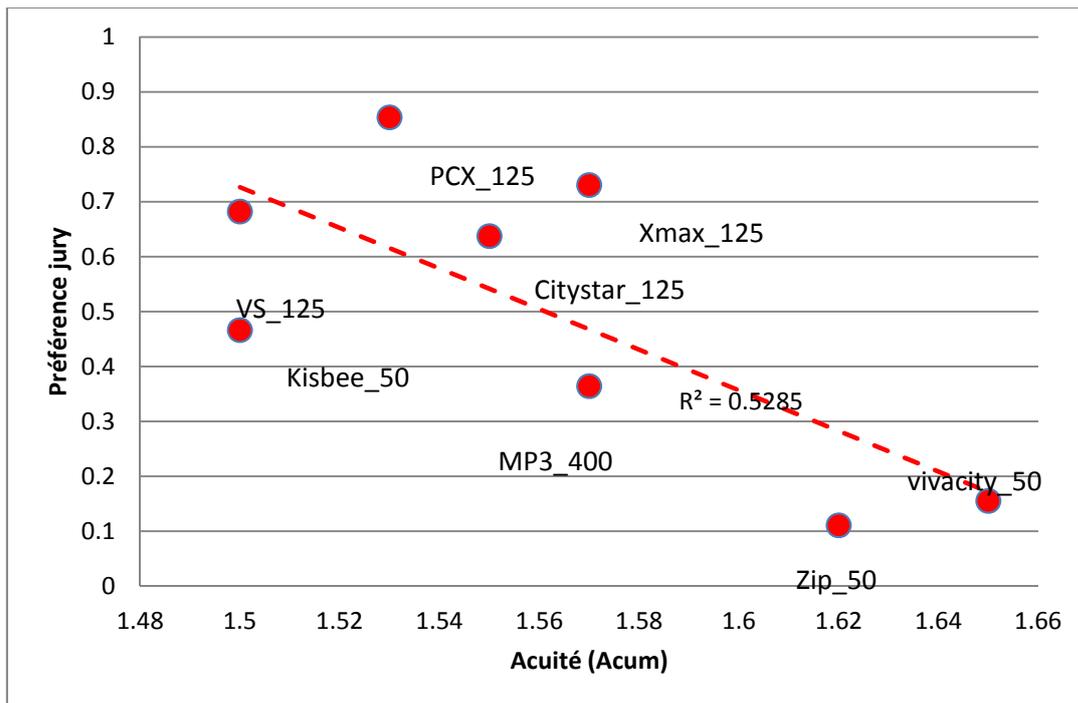


Figure 4-8 : Corrélation préférence Jury / acuité– Vitesse stabilisée

4.2.3 Point de vue du pilote

Du point de vue du pilote ou de l'acheteur potentiel d'un scooter, l'objectif n'est plus de caractériser la gêne, mais à l'opposé, l'agrément. Il s'agit d'évaluer la qualité perçue lors d'un essai souvent rapide chez le concessionnaire.

- Les véhicules ont été comparés par groupes plus restreints :
 - Groupe des 50 cc,
 - Groupe des 125 cc,
 - Groupe des 125 cc et plus.
- Certains véhicules « atypiques » ont été retirés du panel pour éviter d'alourdir les tests.

4.2.3.1 Véhicules 50 cc

A vitesse stabilisée le classement est le suivant :

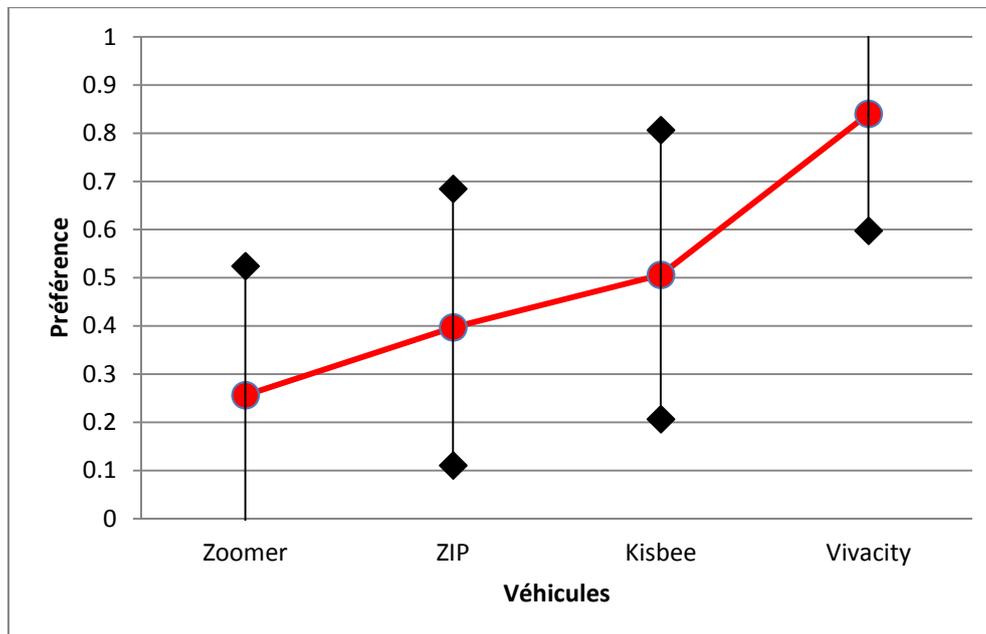


Figure 4-9 : préférence du jury test pilote 50 cc à 45 km/h

La préférence par groupe donné en Figure 4-10 montre que :

- le Peugeot Vivacity est unanimement apprécié,
- entre le Piaggio Zip (2T) et le Peugeot Kisbee (4T), le groupe des permis A (motards) n'a pas de préférence par rapport au groupe des permis B qui préfère nettement le 4T,
- le Honda Zoomer est mal noté par tous les groupes.

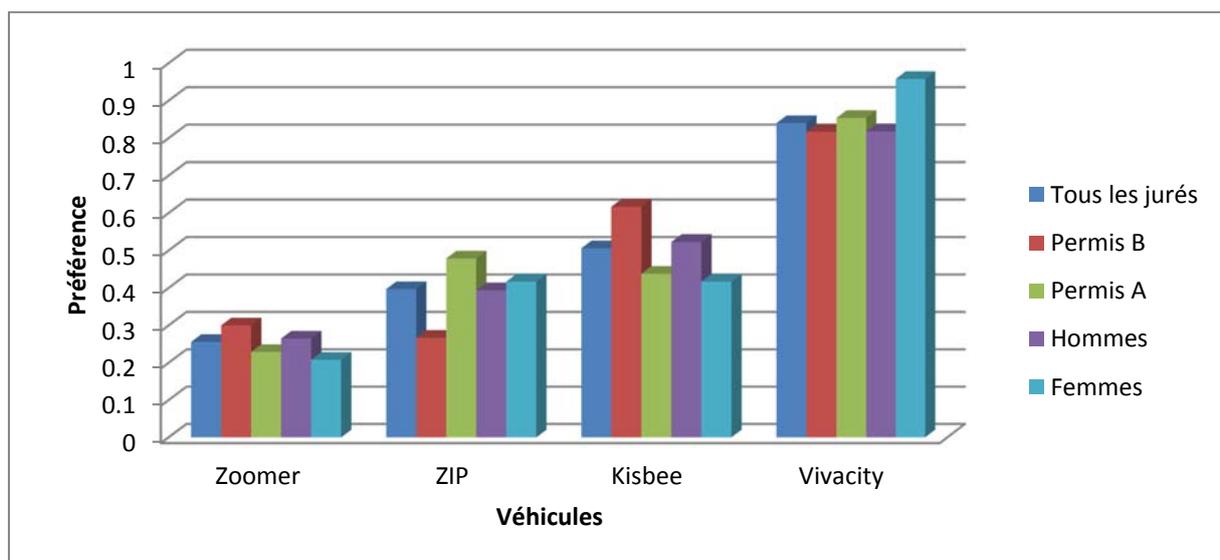


Figure 4-10 : préférence du jury test pilote 50cc à 45 km/h par groupe

4.2.3.2 Véhicules 125 cc

Les principales constatations sont :

- Le Peugeot Citystar se place en deuxième position,
- Le Yamaha Xmax et le Sym VS sont nettement moins appréciés que les deux autres véhicules.

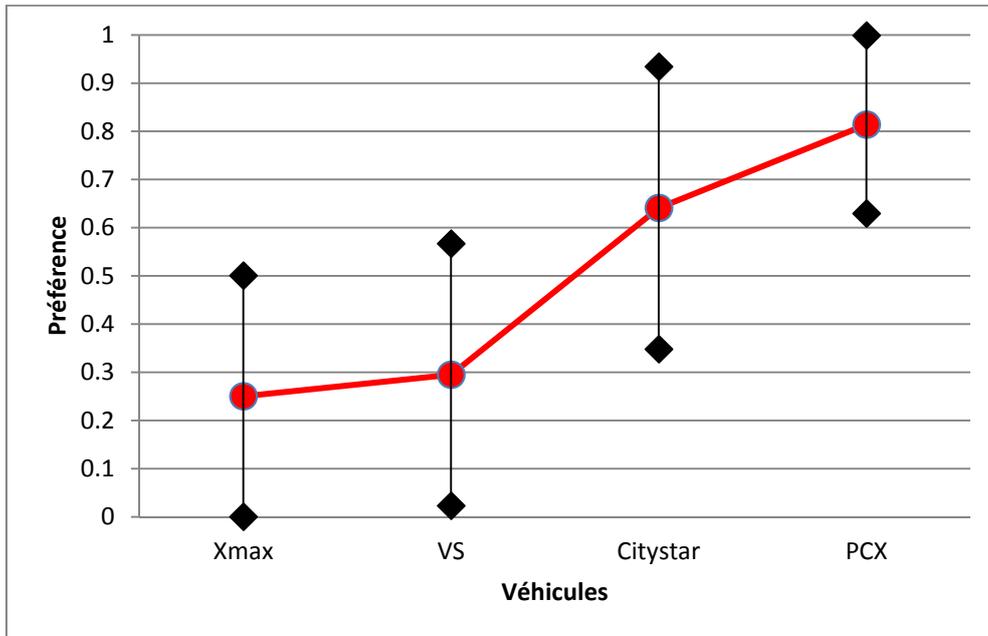


Figure 4-11 : préférence du jury test pilote 125 cc à 50 km/h

L'analyse par groupes ne fait pas apparaître de différence significative entre ceux-ci.

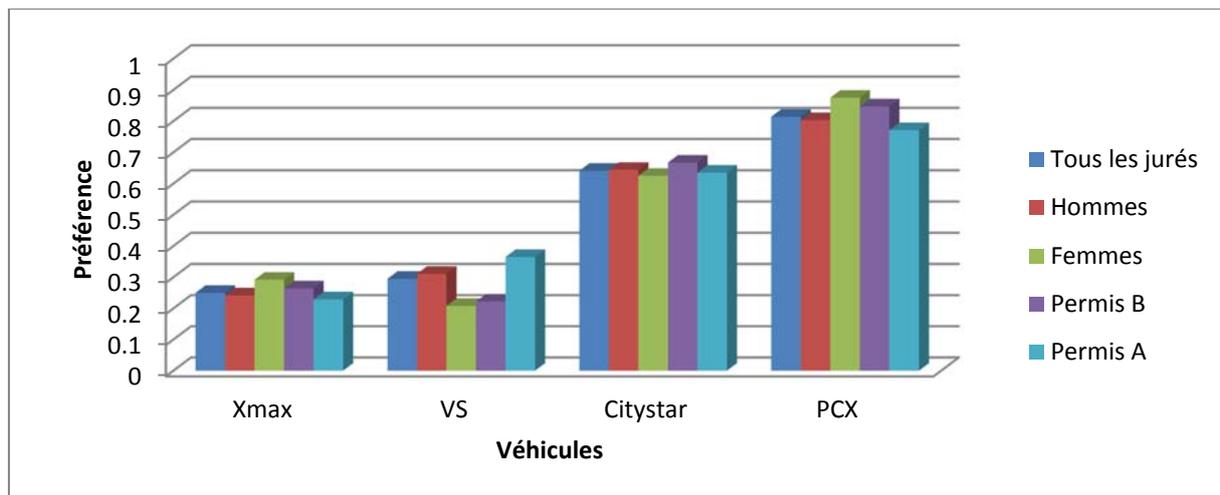


Figure 4-12 : préférence du jury test pilote 125 cc à 50 km/h par groupe

4.2.3.3 Véhicules 125 cc et plus

Pour ce dernier test, seuls les détenteurs du permis A étaient interrogés, ce qui retire un groupe (permis B). De plus, peu de femmes détiennent le permis A dans le panel de jurés. L'analyse par groupe est biaisée par le faible nombre de femmes. Cependant il apparaît que lorsqu'elles détiennent le permis A, les femmes ont la même perception que les hommes. En fait, c'est une perception de « motards » qui est ici présentée. Il est intéressant de voir si ceux-ci vont être capables de discerner les 125cc des plus grosses cylindrées.

La Figure 4-13 présente les résultats pour le ralenti. On constate que :

- Il y a deux niveaux d'appréciation, les Yamaha Xmax (125 cc) et Tmax (500 cc) sont bien notés, le Piaggio MP3 (400 cc) et le Peugeot Citystar (125 cc) sont moins bien perçus
- Le premier véhicule et le dernier sont des grosses cylindrées. Le groupe des « motards » n'a pas de préférence sur la cylindrée.

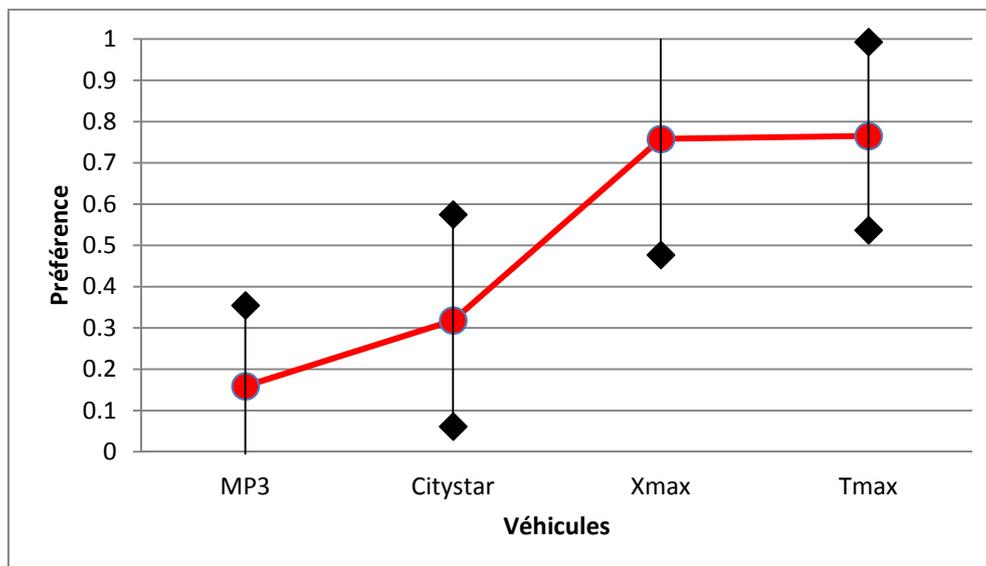


Figure 4-13 : préférence du jury test pilote 125 cc et plus au ralenti

En roulage (Figure 4-14), on constate que les deux véhicules les moins appréciés sont les grosses cylindrées. Particulièrement le Yamaha Tmax qui a été développé pour les motards désirant passer de la motocyclette au scooter obtient une note particulièrement basse. Les deux 125cc sont les mieux notés.

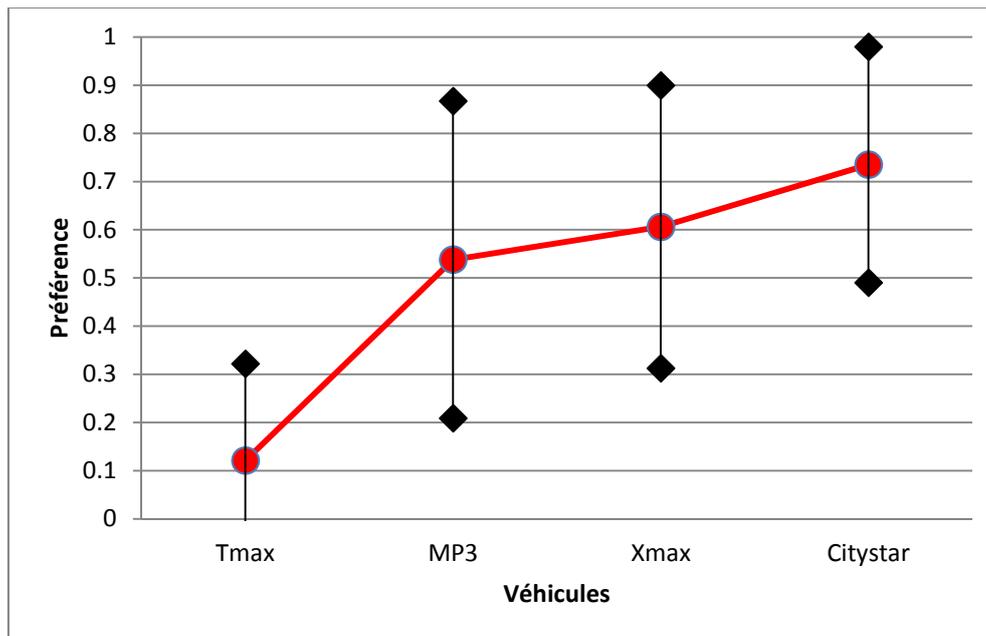


Figure 4-14 : préférence du jury test pilote 125 cc et plus à 50 km/h

Le Peugeot Citystar est mieux noté que le Yamaha Xmax. Cependant, le fait que le Yamaha Xmax soit plus apprécié au ralenti fait de ce dernier le meilleur véhicule du panel au point de vue de la perception sonore.

- Les préférences sont reliées au premier ordre à la sonie, cependant le nombre de points (3 ou 4 véhicules par test) et l'écart type important ne permettent pas d'extrapoler de loi linéaire qui relie la préférence à la sonie. C'est à nouveau l'intensité du bruit ressenti qui est le paramètre le plus important.
- Au deuxième ordre, on constate que la rugosité est discriminante à vitesse stabilisée et dans une moindre mesure au ralenti.
- L'acuité n'est pas discriminante, les moteurs ont des vitesses de rotation au ralenti et à vitesse stabilisée qui sont relativement proches.

4.3 Synthèse des tests perceptifs

Ce lot a permis de déployer une méthodologie de classement des véhicules du point de vue perceptif, dont les conclusions peuvent être utilisées par le service marketing des constructeurs, mais également par le législateur.

La corrélation de la préférence (subjective) avec des critères psycho-acoustiques (objectifs) permet de discerner les spécificités des sons responsables de la gêne occasionnée aux riverains ou de l'agrément ressenti par les clients potentiels, au-delà d'une mesure normative en dBA.

Ainsi, il s'avère que l'indicateur le mieux corrélé avec la préférence est la sonie maximale, mais que l'acuité (poids relatif des hautes fréquences) joue également un rôle dans la gêne, pénalisant notamment les moteurs 2T.

5 Lot 4 : Modèle de trafic

Référence [12] : livrable 8 – Rapport ASCOOT_15R1L4

5.1 Introduction

Les objectifs contractuels de ce lot sont les suivants :

- Elaboration d'un modèle acoustique simplifié de scooter. Cette étape consiste à construire, sur la base de l'analyse des résultats obtenus dans la tâche 2.2, un modèle simple permettant de décrire le comportement acoustique d'un scooter et de recalculer la signature acoustique, pour une cinématique donnée, en intégrant toutes les caractéristiques des sources élémentaires en termes de puissance acoustique, de contenu spectral et de directivité. Il s'agit ici d'un modèle d'émission, sur la base d'un véhicule circulant en champ libre.
- Intégration de ce modèle dans un outil d'évaluation dynamique de bruit de trafic incluant les deux roues en façade de bâtiment (simulation de déploiement en milieu urbain).

5.2 Le modèle d'évaluation dynamique de bruit de trafic

5.2.1 Le modèle LWR

Le modèle utilisé a été développé dans le cadre d'un précédent projet. Rappelons que le modèle de trafic utilisé dans l'outil Symubruit est un modèle macroscopique du 1^{er} ordre (type LWR) avec accélération bornée. Les premières versions de Symubruit utilisaient une résolution macroscopique de ce modèle qui donnait la densité de véhicules présents à chaque instant de simulation dans les cellules du réseau (portions de tronçons d'une vingtaine de mètres). Des travaux de recherche récents ont permis de développer une méthode de résolution plus performante et mieux adaptée à un couplage avec des lois d'émission acoustique. Il s'agit d'une résolution Lagrangienne qui permet de représenter les positions des véhicules sur le réseau à chaque instant de simulation tout en gardant une loi de comportement macroscopique garante de la bonne représentation de la physique de l'écoulement du trafic.

Le modèle LWR décrit le comportement du trafic par analogie à celui d'un fluide s'écoulant à l'intérieur d'un tuyau. L'écoulement est supposé homogène et unidimensionnel suivant la variable x (son évolution temporelle étant représentée par la variable t). L'état de la circulation est caractérisé par trois variables :

- le débit Q [véh.s⁻¹] ou nombre de véhicules qui passent en un point par unité de temps ;
- la densité K [véh.m⁻¹] ou nombre de véhicules situés par unité de longueur de voie à un instant donné ;
- la vitesse du flot V [m.s⁻¹]. Cette variable représente la vitesse du flux de trafic et non celle d'un véhicule individuel. Elle dépend donc de l'espace et du temps.

Ces trois variables sont reliées entre elles par des lois d'écoulement, bâties sur le même principe que les lois de mécanique des fluides et dont les fondements ont été posés par Lighthill et Whitham et Richards:

$$\begin{cases} \frac{\partial Q(x,t)}{\partial x} + \frac{\partial K(x,t)}{\partial t} = 0 \text{ (Equation de conservation)} \\ Q(x,t) = K(x,t)V(x,t) \text{ (Définition du débit)} \end{cases} \quad (5.1)$$

Le modèle LWR est dit du 1^{er} ordre car il suppose que le système est en permanence à l'équilibre, ce qui se traduit par une relation bijective entre la vitesse et la concentration :

$$V = V_{eq}(K(x,t)) \quad (5.2)$$

Cette relation est plus communément présentée en exprimant la dépendance du débit par rapport à la concentration (5.3) et est appelée relation fondamentale. Il s'agit d'une relation phénoménologie qui essaie de reproduire les situations d'équilibre caractérisant un site donné (cf. Figure 5.1) :

$$Q = KV_{eq}(K(x,t)) = Q_{eq}(K(x,t)) \quad (5.3)$$

Les paramètres permettant de calibrer cette relation d'équilibre sont listés ci-dessous. Il est important de noter que seuls trois parmi les cinq présentés sont nécessaires pour la calibration, les valeurs des deux autres pouvant alors être déduites.

- le débit maximal Q_{max} qui correspond au flux maximum qui peut s'écouler sur la voie considérée ;
- la concentration critique K_c ou densité observée lorsque le débit sur la voie est maximal ;
- la concentration maximale K_{max} . Cette densité est observée dans le cas d'une file d'attente arrêtée ;
- la vitesse maximale V_{max} . Ce paramètre correspond à la vitesse maximale moyenne observée pour un trafic très faible ;
- la célérité w correspond à la vitesse de remontée des ondes de trafic lors d'un redémarrage d'un peloton.

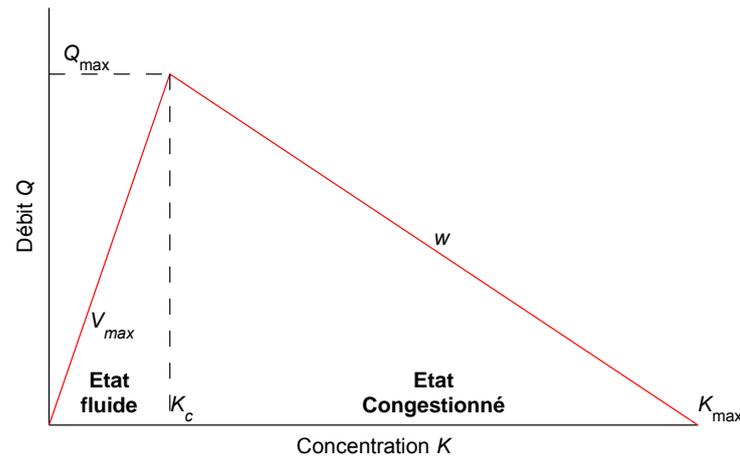


Figure 5-1 : Illustration du diagramme fondamental

Sachant que la relation (5.3) est en permanence vérifiée, le modèle LWR se réduit à une seule équation de la variable K (l'équation 5.4). Il est à noter que cette équation n'utilise que deux variables : la concentration et le débit (par l'intermédiaire de la relation fondamentale). Ainsi, la vitesse du flot n'est pas une variable fondamentale d'un modèle LWR.

$$\frac{\partial K}{\partial t} + \frac{\partial Q_{eq}(K)}{\partial x} = 0 \quad (5.4)$$

En introduisant la variable $N(x,t)$ qui représente le nombre cumulé de véhicules ayant franchi l'abscisse x entre l'origine des temps et l'instant t , il est possible de reformuler l'équation (5.4) dans un repère Lagrangien (N,t) . Ce repère plutôt qu'être fixe comme le repère (x,t) suit le flot de véhicules. Dans ce repère l'équation (5.4) devient :

$$\frac{\partial s}{\partial t} + \frac{\partial V_{eq}(1/s)}{\partial N} = 0 \quad (5.5)$$

La variable s correspond à l'inverse de la densité $s=1/K$. Elle représente la longueur contenant une quantité constante de flux ($\Delta N=cste$). En pratique les courbes d'équation $N(x,t)=cste$ vont représenter les trajectoires de particules du flux (représentant du flux) et s l'espacement entre ces particules suivant les conditions de trafic. Cette formulation va permettre une résolution numérique très aisée du modèle toute en permettant la détermination directe des trajectoires des particules du flux et donc un accès aux trajectoires des véhicules plutôt qu'à la densité du trafic sur le réseau.

5.2.2 Résolution numérique Lagrangien du modèle LWR

Un résumé succinct est proposé dans ce paragraphe. L'équation (5.5) est discrétisée dans le temps avec un pas Δt et en nombre de véhicules avec un pas ΔN . Dans la pratique ΔN est choisi égal à 1 afin de représenter une quantité de flux équivalente à un véhicule sur le réseau. L'espacement s_i^t entre deux véhicules i et $i-1$ (le véhicule i suit le véhicule $i-1$) à l'instant t est calculé comme la différence de position de ces deux véhicules à cet instant :

$$s_i^t = x_{i-1}^t - x_i^t \quad (5.6)$$

La variable x_i^t représente la position du véhicule i à l'instant t . En utilisant le schéma numérique de Godunov, l'équation (5.5) devient :

$$x_i^{t+\Delta t} = \min \left(\underbrace{x_i^t + V_{\max} \Delta t}_{\text{demande}}; \underbrace{(1-\alpha)x_i^t + \alpha x_{i-1}^t - w \Delta t}_{\text{offre}} \right) \quad (5.7)$$

La variable α est égale à $wK_{\max}\Delta t$. Le premier terme du minimum dans l'équation (5.7) correspond à la position maximale que peut atteindre le véhicule i lorsque le trafic est dans un état fluide. Dans ce cas, la vitesse du trafic est égale à V_{\max} et la distance parcourue durant Δt est $V_{\max}\Delta t$. Ce premier terme est communément appelé *demande* car il correspond à la position souhaitée par le véhicule i lorsqu'aucune contrainte ne lui est imposée. Le second terme du minimum correspond à l'*offre* car il caractérise l'influence du trafic en aval de i lorsque l'état du trafic est congestionné. Il correspond à la position maximale que peut alors atteindre le véhicule i du fait de la congestion avale.

Dans la pratique, il est intéressant de choisir un pas de temps égal à $1/(w*K_{\max})$ afin d'éliminer la viscosité numérique du schéma de résolution utilisé. Dans ce cas, l'équation (5.7) se réduit à :

$$x_i^{t+\Delta t} = \min \left(\underbrace{x_i^t + \frac{V_{\max}}{wK_{\max}}}_{\text{demande}}; \underbrace{x_{i-1}^t - \frac{1}{K_{\max}}}_{\text{offre}} \right) \quad (5.8)$$

Enfin, l'introduction du caractère borné de l'accélération des véhicules s'introduit tout naturellement dans ce schéma en limitant la position demandée par le véhicule i en phase d'accélération. Soit A l'accélération maximale du véhicule i , le schéma numérique (5.8) devient alors :

$$x_i^{t+\Delta t} = \min \left(\underbrace{x_i^t + \min \left(V_{\max}; v_i^t + A \Delta t \right) \frac{1}{wK_{\max}}}_{\text{demande}}; \underbrace{x_{i-1}^t - \frac{1}{K_{\max}}}_{\text{offre}} \right) \quad (5.9)$$

La variable v_i^t correspondant à la vitesse du véhicule i à l'instant t . Ce schéma numérique fournit ainsi la position de l'ensemble des véhicules sur le réseau à chaque instant de simulation. La vitesse et l'accélération des véhicules sont déduites des informations de position.

5.2.3 Extension du modèle LWR implémenté dans Symubruit

Le modèle de trafic décrit ci-dessus a été complété dans le cadre de son implémentation dans la plateforme Symubruit. Les principes de modélisation des différentes extensions intégrées ne seront pas détaillés dans ce rapport. Le lecteur est invité à se reporter aux publications scientifiques correspondantes pour plus d'informations. La liste des extensions est :

- modélisation des restrictions de capacité mobile pour représenter les véhicules ayant des comportements cinématiques spécifiques par rapport au reste de la circulation (extension non utilisée dans cette étude) ;
- modélisation différenciée des voies de circulation et gestion des changements de voie ;
- modélisation hybride du trafic permettant de changer la représentation du trafic (macroscopique / microscopique) suivant les tronçons du réseau ;
- représentation simplifiée des carrefours par affectation des véhicules en sortie des tronçons amont en entrée des tronçons aval au moyen de coefficients directionnels.

5.2.4 Diagramme fondamental

Le diagramme fondamental a été calibré en utilisant des valeurs classiques pour un boulevard urbain tel que le cours Lafayette. Le Tableau 5.1 les détaille par voie de circulation.

vitesse maximale V_{max} .	17 m / s (cours Lafayette) 15 m /s (voies adjacentes)
concentration maximale K_{max} .	0.2 veh. / m
concentration critique K_c	0.0384 veh. / m
débit maximum Q_{max}	0.538 veh. / s
célérité w	- 3.33 m / s
accélération maximale des véhicules A	0.6 m. / s ²

Tableau 5.1 : Caractéristiques du diagramme fondamental utilisé par la simulation

Il faut noter que ces paramètres définissent le diagramme fondamental pour les véhicules légers. En fait seuls 3 paramètres parmi les 5 listés ci-dessus sont nécessaires, les autres peuvent être déduits par calcul.

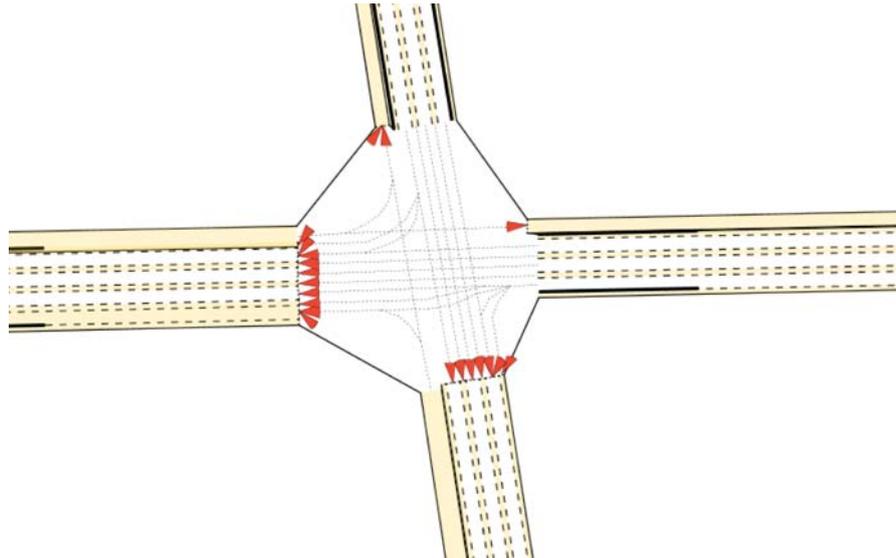


Figure 5.4. Carrefour Saxe-Lafayette (voie de circulation des VL en blanc, voies réservées en jaune pour les bus – large et les scooters – étroites)

5.2.7 Calcul des émissions de bruit par cellule acoustique

Le calcul des émissions acoustiques par cellule se fait de la façon suivante :

Le modèle de trafic détermine, pour la cellule n°j et l'instant t, les paramètres suivants :

- Le nombre de véhicules légers et de scooters présents dans la cellule. Les véhicules légers sont supposés être identiques du point de vue acoustique, leur émission résulte d'une synthèse des émissions mesurées sur un panel représentatif du parc automobile actuel ;
- Leurs paramètres cinématiques : vitesse, allure (accélérée / décélérée / stabilisée) ;

La connaissance de ces paramètres associés aux lois d'émission correspondantes permet de calculer la puissance acoustique totale émise la cellule à l'instant t

$$L_{WT,j}(t) = \left[K_j(t) L_{WVL,j}(t) \right] \oplus \left[\sum_{\oplus i} L_{WS,j}(t) \right] \quad (5.10)$$

(somme énergétique des puissances acoustiques émises par les VL : la concentration K prend en compte nombre de véhicules présents dans la cellule à l'instant t et des scooters S).

On assimile l'émission acoustique de la cellule 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 α_j , le LAeq_{1s} s'écrit, pour l'ensemble des cellules :

$$LAeq_{1s}(t) = 10 \log \left(\sum_j \alpha_j L_{WT,j}(t) \right) \quad (5.11)$$

5.3 Scénarios simulés

5.3.1 Les paramètres de simulation

Les données d'entrée de trafic :

- Scooters

Afin de garantir le réalisme de la simulation de déploiement en milieu urbain, une campagne de comptage de deux roues motorisés a été menée sur le site retenu. Ces comptages ont été réalisés le 1^{er} octobre 2013. Les plages horaires ont été choisies afin de couvrir les périodes correspondant aux pics de circulation du matin et du soir et les périodes creuses en matinée et en après-midi. Ces données de trafic sont intégrées en entrée du modèle Symubruit. Les résultats de ces comptages sont résumés dans le tableau suivant :

Heure	Nombre de deux roues motorisés	
8h00 à 9h00	126	Heure pleine
9h00 à 10h00	78	Heure creuse
15h30 à 16h30	78	Heure creuse
16h30 à 17h30	82	Heure creuse
17h30 à 18h30	87	Heure pleine

Tableau 5-1 : Comptages effectués sur le cours Lafayette

- Véhicules légers

Les hypothèses de trafic VL retenues sont celles prises en compte dans le projet ayant conduit à l'élaboration du modèle Symubruit (comptages réalisés en 2008 n'ayant pas été réactualisés). Rappelons qu'à l'époque l'objet des mesures de trafic était d'obtenir les informations nécessaires au calibrage et à la mise en œuvre de la simulation du site, soit :

- les débits aux différentes entrées du réseau (amont du cours Lafayette + amont des six rues adjacentes) ;
- les mouvements directionnels aux différents carrefours ;
- les horaires des cycles de feu ;
- les trajectoires des véhicules de transport en commun.

Les données mesurées ont permis de calibrer le diagramme fondamental utilisé dans le modèle LWR (cf Tableau 1 du § 5.2.4).

- Phasage des signaux tricolores

Les signaux tricolores sont phasés sur une durée de 1 minute, avec des phases verte et rouge de 50 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 données d'entrée acoustiques

- Scooters

Trois types de scooters ont été retenus :

- Le scooter Peugeot 125 cm³ 4T
- Le scooter Vivacity Peugeot 50 cm³ 2T de série
- Le scooter Vivacity Peugeot 50 cm³ 2T prototypé (nommé « démonstrateur » dans le tableau 3).

L'alimentation de la base de données a été réalisée à partir des lois d'émission établies lors des campagnes de mesures effectuées sur le panel de 11 scooters (cf. Chapitre 3) et sur le scooter prototypé (cf. Chapitre 6). Les niveaux de bruit intégrés dans la base de données sont calculés pour des vitesses allant de 0 à 50 km/h.

NB : Concernant le scooter 50 cm³ 2T de série, seul a été retenu le véhicule mesuré en 2011, qui a été prototypé puis mesuré en 2014

- Véhicules légers

La représentation du trafic dans le modèle Symuvia ne permet pas de rendre compte au travers des lois d'émission implémentées la diversité des véhicules constituant le parc automobile. Il n'est en particulier pas possible de différencier les différents types de motorisation. C'est pourquoi nous avons développé le concept de véhicule «moyen» (au regard de l'émission de bruit). Le trafic ainsi simulé est par hypothèse uniquement constitué de véhicules «moyens». Afin de garantir une bonne représentativité du parc automobile actuel, nous avons étudié les émissions acoustiques de véhicules sélectionnés sur les critères de motorisation et de cylindrée. Pour chaque véhicule étudié, les mesures de bruit au passage ont été effectuées à vitesse stabilisée et en phase d'accélération (taux d'accélération compris entre 1 m/s² et 2 m/s²), les différents rapports de boîte étant successivement enclenchés. Les vitesses de passage ont été choisies de sorte à balayer, pour un rapport de boîte donné, l'ensemble de la plage de vitesses accessible.

5.3.2 Implantation des récepteurs

Le tronçon du cours Lafayette simulé s'étend du carrefour Lafayette/Molière au carrefour Lafayette/maréchal de Saxe (cf Figure 5.5). Nous avons choisi de positionner les récepteurs :

- au niveau du carrefour Lafayette / Corneille (R1)
- en milieu de tronçon entre les carrefours Lafayette/Corneille et Lafayette/Maréchal de Saxe (R2)

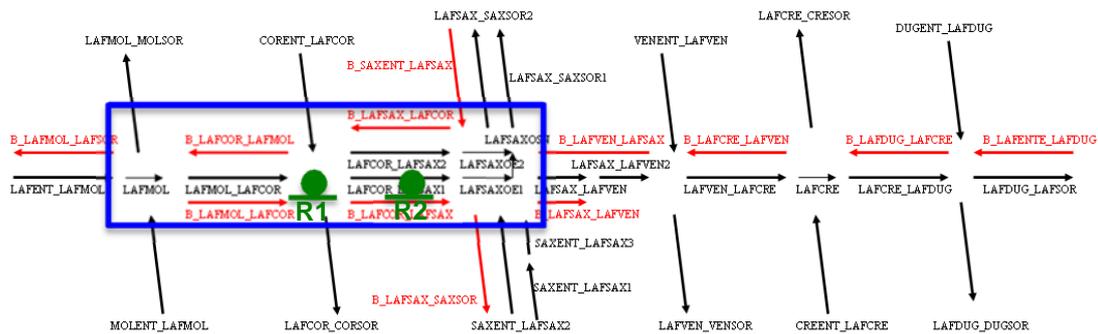


Figure 5-2 : Tronçon simulé pour la simulation de déploiement en milieu urbain

5.3.3 Les scénarios envisagés

Les scénarios simulés ont été définis, avec les hypothèses établies ci-dessus sur la nature des véhicules constituant le trafic total de deux-roues motorisés, selon les critères suivants :

- Pourcentage de scooters 50 cm³ de série dans le trafic total de deux-roues motorisés,
- Pourcentage de scooters 50 cm³ prototypés dans le trafic total de deux-roues motorisés,
- Pourcentage de scooters 125 cm³ de série dans le trafic total de deux-roues motorisés,
- Nature de l'émission acoustique des véhicules légers. En effet, afin de mieux dégager l'impact des deux-roues dans le trafic total – donc de minimiser les effets de masquage – il a été décidé d'annuler l'émission acoustique des VL pour certains scénarios. Ceux-ci sont repérés par l'indication « 0 » dans la colonne « Emission des VL » du Tableau 5.3 qui présente les différents scénarios retenus.

	Proportion de scooters dans le trafic total de scooters			Trafic VL	Emission des VL
	Vivacity 50 cm ³ de série	Vivacity 50 cm ³ prototypés	Satelis 125 cm ³		
S1	50	0	50	Cf. diagramme fondamental du modèle Symubruit	X
S2	50	0	50		0
S3	0	50	50		X
S4	0	50	50		0
S5	100	0	0		X
S6	100	0	0		0
S7	0	100	0		X
S8	0	100	0		0

Tableau 5-2 : Récapitulatif des scénarios envisagés

5.4 Résultats des simulations

5.4.1 Démarche générale d'analyse des résultats

En sortie de simulation Symubruit, les niveaux de bruit sont exprimés sous la forme de $LAeq_{1s}$. Il est établi que recourir à l'emploi d'indicateurs énergétiques moyennés de type $LAeq_T$ sur une durée trop longue conduirait à obtenir des niveaux quasi-équivalents dans la zone de réception considérée. En effet, ce type d'indicateur, s'il est bien adapté à une approche cartographique à grande échelle (celle d'une agglomération par exemple) telle que celle demandée par la Directive Européenne sur le Bruit 2002/49/CE du 25 juin 2002 [Directive 2002/49/EC], ne permet cependant pas de préjuger des caractéristiques sonores fines des lieux, et ne donne qu'une vision très générale et globalisante du bruit de circulation en ville. Nous nous sommes donc orientés vers l'analyse des occurrences de niveaux de bruit $LAeq_{1s}$, sous forme de leurs distributions, qui offrent l'avantage de préserver l'aspect évènementiel des évènements sonores et d'offrir une représentation graphique parlante. Nous avons complété cette approche par l'exploitation de l'indice Harmonica, issu des travaux menés dans le cadre du projet éponyme. Cette utilisation de l'indice Harmonica n'est pas décrite ici, le lecteur se réfèrera au Livrable 8 (réf.[12]– Rapport ASCOOT_15R1L4) de ce projet.

5.4.2 Analyse des distributions des niveaux $LAeq_{1s}$

La démarche d'analyse se résume de la façon suivante :

Pour chaque récepteur, les simulations ont été effectuées par périodes d'une heure, correspondant aux heures pleines (HP) ou creuses (HC), ce qui pour les signaux tricolores représente 60 phases d'une minute. Pour une période donnée, les $LAeq_{1s}$ ont été moyennés de sorte à construire les distributions correspondantes :

$$\overline{LAeq_{t=1,..,m}^{HP,HC}} = \frac{1}{n} \left[\sum_{j=1}^n 10^{0,1LAeq_j} \right] \quad (5.12)$$

où $m = 60s$, $n = 60 mn$

La Figure 5.6 illustre un exemple de distribution (scénario S6, récepteur R1). Le lecteur se rapportera au Livrable 8 de ce projet pour une présentation exhaustive des résultats.

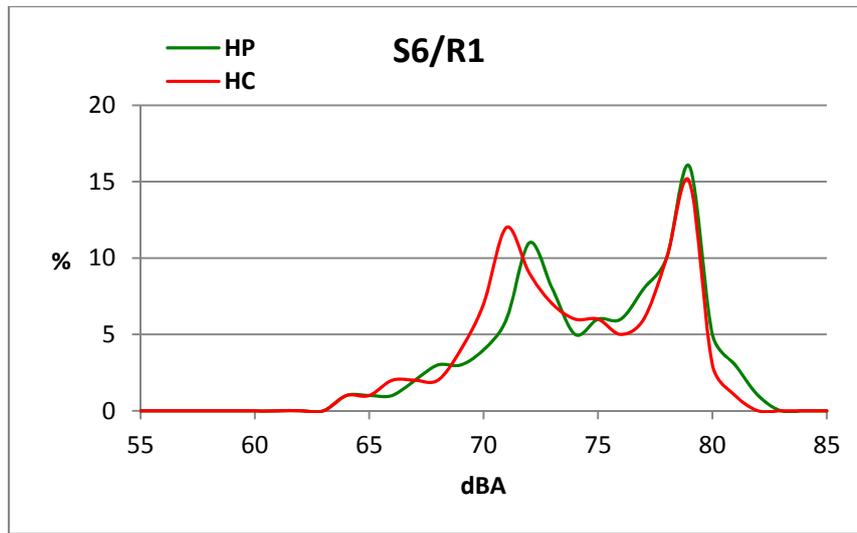


Figure 5-3 : Distribution des occurrences de niveaux de bruit, scénario S6 – récepteur R1

Quelques remarques sur ces distributions :

1) Concernant le profil général, on retrouve bien les distributions caractéristiques des niveaux de bruit à proximité immédiate des feux tricolores. Rappelons que pour ce type d'équipement, les distributions de bruit peuvent être caractérisées à l'aide d'une fonction bi-gaussienne (cf. Figure 5.7) :

$$f(x) = \frac{A_1}{\sigma_1\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x}_1)^2}{\sigma_1^2}\right] + \frac{A_2}{\sigma_2\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\bar{x}_2)^2}{\sigma_2^2}\right] \quad (5.13)$$

où \bar{x}_i , σ_i , A_i désignent respectivement les niveau moyen, écart-type et amplitude de chaque phase de feu i .

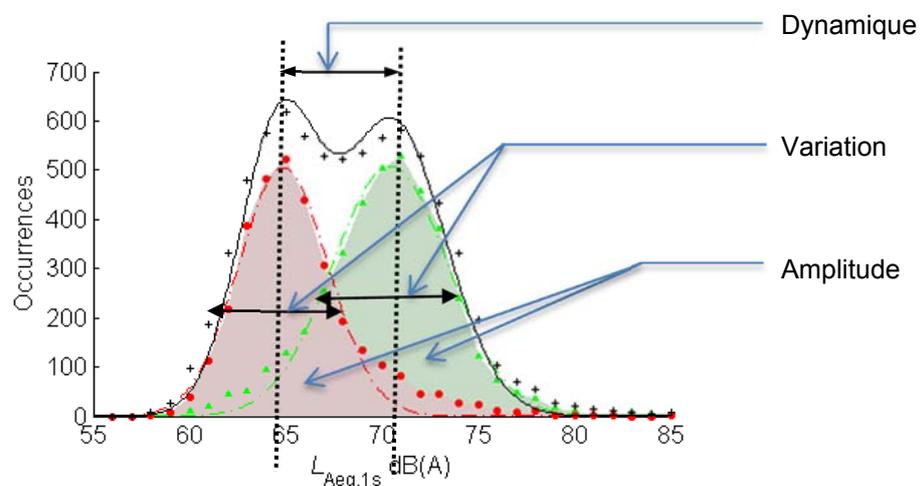


Figure 5-4 : caractérisation d'une distribution des niveaux de bruit à proximité d'un signal tricolore

- Le niveau moyen \bar{x}_i de chaque mode correspond au niveau le plus fréquemment mesuré lors de chaque phase de feu,
- La dynamique de bruit ressentie au niveau du feu tricolore peut être caractérisée par l'écart entre les niveaux moyens $\bar{x}_2 - \bar{x}_1$,
- Les amplitudes A_i renseignent sur l'éventualité d'une phase de feu prédominante,
- Les écarts-types $\bar{\sigma}_i$ renseignent sur la variabilité du bruit pour chaque phase.

2) Impact des scooters dans le trafic : 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. Cette conclusion pourra être plus clairement affirmée en établissant des simulations pour lesquelles l'émission des scooters sera cette fois supposée nulle (mise en évidence de la contribution des VL au bruit de trafic total).

3) Impact des améliorations apportées sur le Vivacity 50 cm³ : on observe une diminution des occurrences de niveaux de bruit les plus élevés lorsque le trafic de scooter est composé uniquement de véhicules prototypés en absence d'émission de bruit des véhicules légers. Lorsque cette dernière est prise en compte, la différence est moins nette, mais subsiste.

4) Influence du volume de trafic (écarts « heures pleines »/ « heures creuses ») : 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.

5.5 Conclusion et perspectives

Les actions menées dans le cadre du lot 4 du projet Ascoat ont eu pour objectifs :

- d'étendre au cas des deux roues les fonctionnalités du modèle d'écoulement de trafic Symuvia utilisé dans le modèle global d'évaluation dynamique de bruit de trafic Symubruit. Cet objectif a notamment été atteint en développant un sous-modèle d'écoulement de deux-roues dans le trafic global prenant en compte des caractéristiques de comportement de ce type de véhicules aux abords de carrefours équipés de feux tricolores ;
- de réaliser des comptages de trafic directionnels de deux-roues motorisés sur le site retenu pour la simulation de déploiement en milieu urbain. Ces comptages sont utilisés en données d'entrée de trafic deux-roues motorisés dans le modèle global Symubruit ;
- d'utiliser en données d'entrée acoustique pour le modèle Symubruit étendu aux deux roues motorisés les résultats obtenus dans les lots 2.2 (Evaluation des émissions sonores d'un panel de scooters circulant dans des conditions d'usage réel sur piste d'essai) et 5.4 (Evaluation des émissions sonores d'un scooter 50 cm³ 2T et d'un scooter 125 cm³ 4T prototypés) ;
- d'évaluer sur huit scénarios l'impact des deux-roues motorisés dans le bruit de trafic global ;
- d'appliquer sur les niveaux de bruit LAeq_{1s} obtenus en sortie du modèle Symubruit les règles de construction du nouvel indicateur évènementiel Harmonica.

Les perspectives imaginables pour la poursuite de ce travail sont les suivantes :

- poursuivre l'exploitation des données issues des simulations, notamment en ce qui concerne les récepteurs situés en façade d'habitation,
- poursuivre l'étude sur les contributions respectives des flux de VL et de scooters (par exemple en annulant la contribution acoustique des scooters),
- établir des simulations avec un trafic trimodal (VL, scooters et autobus),
- étudier le comportement spectral pour les différents scénarios envisagés,
- construire un modèle de scooter « moyen » similaire au modèle de véhicule léger « moyen » utilisé dans Symubruit. Ceci permettra de n'implémenter qu'une série de lois d'émission pour ce type de véhicule, donc d'alléger la base de données,
- établir de nouvelles simulations pour des trafics de deux-roues motorisés plus conséquents. Les données de trafics seront basées sur des récents travaux menés par le Cerema en Ile de France qui a effectué des comptages sur certaines artères parisiennes et franciliennes,
- affiner le comportement dynamique des scooters dans le modèle Symubruit, sur la base d'informations obtenues en équipant des scooters circulant dans le trafic réel de systèmes embarqués *ad hoc*.

6 Lot5 : Démonstrateurs silencieux

Référence [13] Livrable 9 – Rapport ASCOOT_14R1L51
Référence [14] Livrable 10 – Rapport ASCOOT_15R1L52
Référence [15] Livrable 11 – Rapport ASCOOT_14R1L53
Référence [16] Livrable 12 – Rapport ASCOOT_14R1L54
Référence [17] Livrable 13 – Rapport ASCOOT_15R1L55

6.1 Diagnostic vibro-acoustique

Des essais vibro-acoustiques ont été réalisés sur banc à rouleaux pour le diagnostic des véhicules vivacity 50cc et Citystar 125cc, bases des démonstrateurs qui seront optimisés acoustiquement dans le cadre du projet ASCOOT.

La puissance acoustique a été mesurée à partir de mesure de pression en 6 points dans la cellule réverbérante et de la mesure de la réponse de la salle à une source calibrée. Des puissances partielles d'organes spécifiques ont également été estimées à partir de pressions mesurées en champ proche. Enfin, des mesures de vitesses vibratoires permettent de localiser des sources prédominantes.

Des résultats antérieurs d'imagerie acoustique guident également le diagnostic.

Vivacity 50cc

Des niveaux vibratoires importants ont été repérés sur les ailettes de refroidissement, sur la boîte relai, sur le cache de ventilation et sur la vis 4 du carter de transmission.

L'imagerie acoustique précédemment mise en œuvre concluait à une prédominance du bruit rayonné par le côté droit du scooter, principalement rayonné par le bloc moteur via la grille de ventilation ou par le carter voisin. La boîte relais rayonnait également du côté droit du véhicule entre 2 kHz et 2.5 kHz mais avec une contribution faible.

Au régime de ralenti, le PULSAIR était la principale source de bruit.

Les recommandations de VIBRATEC pour optimiser le bruit du Vivacity ont été les suivantes:

- Amortir les ailettes de refroidissement par des plots amortissants. L'efficacité pourra être testée au marteau de choc,
- Remplacer le ventilateur par un équipement plus silencieux,
- Redéfinir le cache de ventilation, avec chicane en entrée/sortie d'air, et de l'absorption acoustique,
- Redimensionner ou capoter le pulsair, par exemple en insérant sa bouche dans la boîte à air.

D'autres voies étaient possibles, mais paraissaient plus contraignantes et n'ont pas été entreprises :

- Optimiser le silencieux,
- Optimiser la combustion,
- Rigidifier les carters,
- Corriger les dentures de boîte relais.

Citystar 125cc

La bouche d'échappement a été identifiée comme étant la source prédominante. Des niveaux vibratoires importants ont été repérés sur la boîte à air, sur le cache noir du couvercle de transmission, sur le corps du silencieux et sur le couvercle droit (carter magneto).

Ce diagnostic vibro-acoustique a donc corroboré les résultats issus de l'imagerie acoustique.

La réduction de l'avance à l'allumage de 33° à 21°, via une diminution de moitié de l'amplitude de la pression cylindre, a permis de réduire de 1.5 dB le bruit global rayonné, mais a engendré également une perte de performances en termes d'accélération au-delà de 80 km/h.

Les recommandations de VIBRATEC pour optimiser le bruit du Citystar ont été les suivantes :

- Réduire l'avance à l'allumage entre 0 et 50 km/h ou jusqu'à 80 km/h, afin de réduire spécifiquement le bruit en circulation urbaine et péri-urbaine. La configuration initiale pourrait être conservée au-delà de 80km/h. L'optimisation de la combustion doit bien évidemment prendre en compte les performances mécaniques ainsi que la consommation de carburant et les émissions de polluants dans diverses conditions de fonctionnement. L'essai réalisé sur banc à rouleaux a démontré qu'un potentiel d'optimisation acoustique existe. L'enregistrement de la pression cylindre au cours d'un cycle est une bonne variable pour juger de l'impact acoustique, car l'essentiel des sources acoustiques sur véhicule lui sont proportionnelles.
- Optimiser le silencieux d'échappement. L'analyse du silencieux actuel figure en annexe 1. Deux solutions ont été envisagées :
 - Une correction de l'existant en corrigeant les fuites internes par exemple. Cette solution n'est pas optimale car le volume acoustique utile et la perte de charge sont fortement affectés par des allers retours dans les conduites internes.
 - Le redimensionnement et le prototypage d'un silencieux à iso-volume, mais de conception plus simple, robuste, et minimisant la perte de charge. C'est cette action qui a été retenue.
- Modifier le cache plastique du couvercle de transmission,
- Optimiser le couvercle droit ou la bobine.

6.2 Modélisation et évaluation des améliorations

L'effort de modélisation s'est concentré sur le véhicule 125cc, l'optimisation du 50cc étant focalisée sur du prototypage direct de solutions bien maîtrisées par Peugeot scooter qui ont par ailleurs bien fonctionné.

Sur le 125cc, le diagnostic ayant mis en évidence la bouche d'échappement comme étant la source principale, une conception de silencieux prototype a été mise en œuvre.

Ces prototypes ont été optimisés par calculs 1D, avec les règles métier suivantes :

- Maximiser les sauts de section entre les conduits et les chambres d'expansion (compromis avec la CPE et la vitesse des gaz, qui augmentent si les tubes intérieurs sont trop étroits),
- Corriger les défauts d'atténuation des chambres d'expansion par des tubes d'entrées/sortie de longueur égale au quart et à la moitié de la longueur de la chambre, en soustrayant la correction liée au diamètre ($D/3$),
- Maximiser l'aspect réactif (résonances) dans les premières chambres et l'aspect passif (dissipation par matériaux fibreux) dans les dernières chambres.
- Limiter les fuites acoustiques entre les chambres (étanchéité).

L'analyse des résultats obtenus sur les prototypes a permis d'établir des règles plus spécifiques au scooter :

- Conserver une longueur importante de la canule de sortie (effet d'Helmholtz série),
- Conserver de l'absorption acoustique dans toutes les chambres d'expansion,
- Eviter un trajet direct du gaz dans un conduit central. Augmenter le trajet des gaz par des excentrages voire des allers retours, quitte à augmenter la contre-pression et à réduire les volumes acoustiques des chambres,
- Privilégier une modélisation par élément finis 3D incluant la répartition de vitesse et de température dans le silencieux.

Par ailleurs, la corrélation entre la pression cylindre et le bruit rayonné a été mise en évidence lors des essais : en faisant varier l'avance à l'allumage, le bruit global du scooter diminue fortement, mais les performances mécaniques du scooter en pâtissent largement et cette solution n'a pas été jugée acceptable par Peugeot Scooter.

L'analyse de la transmission solidienne des efforts dus à la combustion et au mouvement des masses mobiles s'articule de la manière suivante :

- Enregistrement des pressions cylindre et post-traitement en fonction de l'angle vilebrequin au cours d'un cycle,
- Calcul des efforts au palier et sur la chambre du cylindre au moyen d'un programme développé par Vibratex, à partir de la pression cylindre et des données cinématiques,
- Calcul des réponses vibratoires au moyen d'un modèle par Eléments Finis (EF) et de mesures de transferts dans le cadre d'une Analyse Modale Expérimentale (AME).

Cette procédure a été déployée et est illustrée sur les figures suivantes :

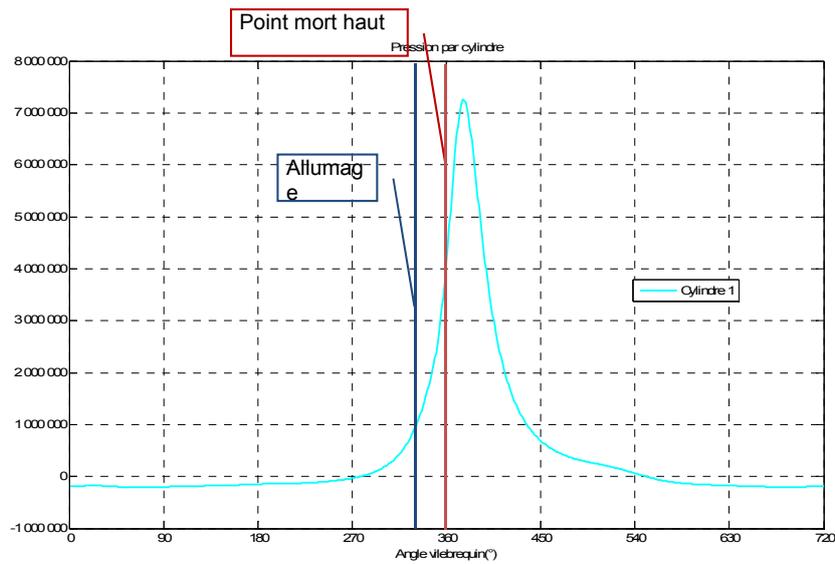


Figure 6-1 : Pression mesurée dans le cylindre, à 1700 rpm en pleine charge

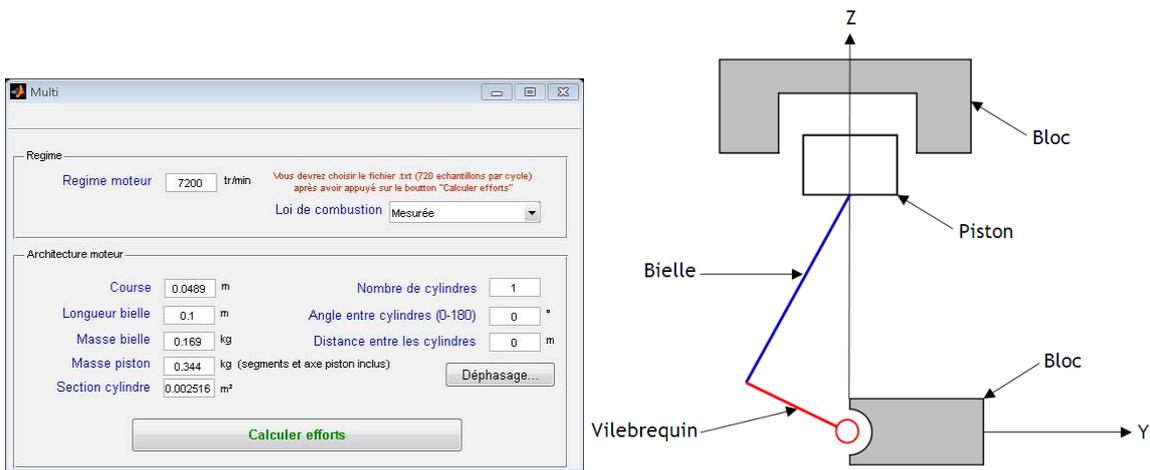


Figure 6-2 : Programme de calcul des efforts au palier

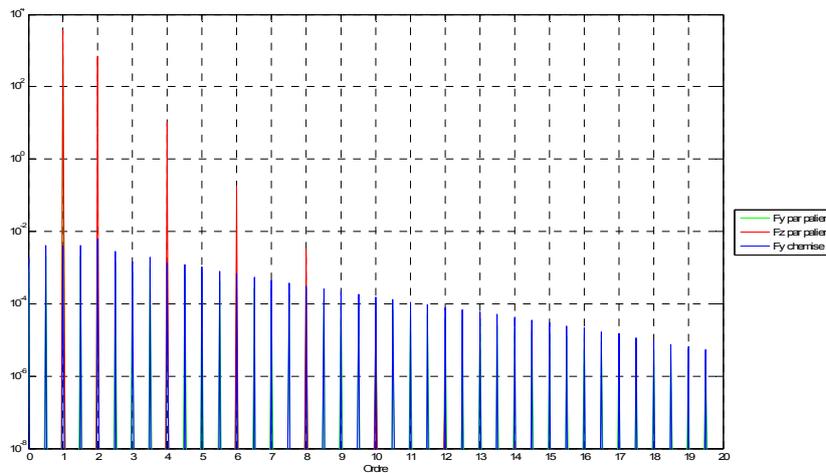


Figure 6-3 : Efforts calculés en fonction des ordres moteur, à 7200 rpm en pleine charge (axe des abscisses : ordre=fréquence/120)

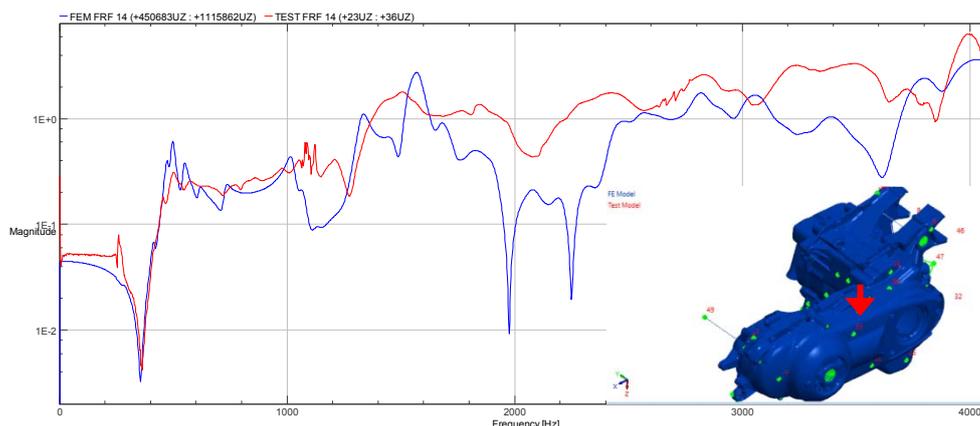


Figure 6-4 : Transferts solidiens calculés (par EF, en bleu) / mesurés (AME, en rouge) entre un palier vilebrequin et le couvercle de transmission

Les leviers de réduction de bruit sont alors les suivants :

- Réduction à la source des efforts dynamiques en jouant sur la pression de combustion, via l'avance à l'allumage ou le taux de compression,
- Réduction des transferts solidiens et du rayonnement acoustique par modification des carters en optimisant le modèle EF.

Cependant le contexte du projet n'a pas permis de finaliser un compromis acoustique performances acceptable d'un point de vue industriel pour les paramètres de combustion. De plus les voies d'optimisation du corps du scooter n'étaient pas évidentes, si ce n'est le découplage du carter de transmission, qui posait des problèmes fonctionnel de tenue de l'axe de la transmission.

La méthodologie déployée est néanmoins 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 (avec GTPower ou un logiciel équivalent), qui écourterait la longue phase de mise au point expérimentale de la combustion moteur.

6.3 Réalisation des véhicules

La tâche 5.1, la connaissance technique des scooters ainsi que les connaissances techniques en acoustique et vibratoire de Vibratec ont permis d'établir une liste des sources acoustiques à traiter en priorité sur nos deux démonstrateurs pour améliorer le bruit global.

Les prototypes réalisés sur la base des véhicules Vivacity 50cc et Citystar 125cc sont présentés ci-dessous.

6.3.1 Vivacity 50cc

La première conception du Vivacity disposait d'un couple cylindre/piston en aluminium. Cependant par soucis de coût et de non-maitrise technique de nouveaux fournisseurs, la fonte est venu remplacer l'aluminium pour la production du cylindre du Vivacity 50cc série alors que le piston est resté en aluminium.

Ce changement de matériau a entraîné une augmentation du bruit du moteur observé. Cette différence vient de chocs entre le piston et le cylindre. En effet, la différence de matériau entraîne une différence de coefficient de dilatation en fonction de la température et donc lors de la conception, il a été obligatoire d'augmenter fortement le jeu entre piston et cylindre. L'augmentation du jeu augmente la possibilité pour le piston de tourner autour de son axe et donc de venir se cogner contre les parois du cylindre.

De plus, le refroidissement de ce moteur s'effectue par écoulement d'air autour du bloc cylindre et de ses ailettes de refroidissement qui malheureusement peuvent vibrer. C'est pourquoi une deuxième amélioration proposée vise à diminuer les vibrations des ailettes. Elle consiste à installer des plots amortissants entre les ailettes. Ces plots permettent de calmer les modes vibratoires des ailettes, initialement très peu amortis.

Le cylindre étant l'élément majeur émetteur de bruit, une autre idée émise pour le démonstrateur est de profiter de la volute de refroidissement entourant ce cylindre pour introduire un masquage du bruit par mousse. Une deuxième volute, plus grande, a été conçue pour englober celle d'origine comme montré ci-dessous et une mousse absorbante a été introduite entre ces deux volutes.

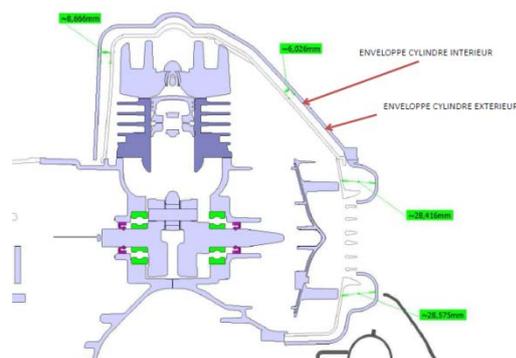


Figure 6-5 : Capotage double peau du bloc moteur

L'épaisseur entre ces deux volutes a été réfléchi afin de pouvoir y introduire une mousse sélectionnée pour ses spécificités filtrantes. La volute d'origine a été percée afin de permettre aux ondes de pressions d'être absorbées par la mousse. La turbine de refroidissement (à droite sur le schéma) a aussi été modifiée. Une étude d'optimisation du rendement de débit par rapport aux vibrations nous a permis de diminuer le nombre de pales et d'en augmenter l'épaisseur.

Enfin, afin de réduire le bruit désagréable du système de dépollution à clapet, le Pulsair, qui de par sa bouche d'entrée d'air émettait un bruit de claquement très présent au ralenti, on a déplacé cette bouche à l'intérieur de la boîte à air, pour profiter de l'atténuation de celle-ci.

6.3.2 Citystar 125cc

Une des démarches proposées a été de camoufler les parties déterminées comme émissives par des masques, composés d'une coque plastique garnie de mousse.

La tâche 5.1 a permis de déterminer une forte émission sonore aux niveaux des couvercles droit du moteur et de transmission. Cette émission est due aux vibrations créées par la combustion et les masses rotatives répercutées via les parois des carters. L'idée est de venir masquer les rayonnements de ces couvercle par un surcouvercle avec de la mousse absorbante. Cette solution est facilement adaptable sur véhicule mais est a priori moins efficace que le traitement à la source des excitations vibratoires. Voici ci-dessous les sur-couvercles prototypés pour les démonstrateurs.



Photo 6-1 : Capotage prototype du couvercle droit du 125cc



Photo 6-2 : Capotage prototype du couvercle de transmission 125cc

Ensuite, la source primordiale de bruit d'un moteur est la pression dans la chambre de combustion. La méthode proposée pour abaisser cette pression dans le cylindre a été de diminuer l'avance à l'allumage. En effet, cette pression est l'image, d'une part de la compression sinusoïdale, naturelle et géométrique issue de mouvement du piston et d'autre part de la réaction chimique de combustion qui élève fortement température et pression. En modifiant l'avance à l'allumage, on décale le pic de

combustion par rapport au pic de compression naturelle, il en découle une maximum de pression plus faible.

Enfin la dernière proposition a été de diminuer le bruit de bouche l'échappement sur le Citystar 125cc en modifiant sa structure interne. Une série de trois protos a été prototypée. Ces trois propositions de pots sont détaillées dans le « Guide de conception silencieuse » (ref[16]- Livrable 12 – Ascot_15R1L55).

6.4 Evaluation analyse des écarts

Afin de quantifier les améliorations obtenues sur les 2 démonstrateurs par rapport aux scooters séries, les émissions sonores des 5 scooters suivants ont été évaluées à l'aide du dispositif expérimental présenté dans la Figure 6-6 :

- Peugeot Vivacity 50 cm³ :
 - Démonstrateur Vivacity,
 - Vivacity de série 2014⁸ et 2011⁹.
- Peugeot Satelis 125 cm³ :
 - Démonstrateur Satelis,
 - Satelis de série 2014.

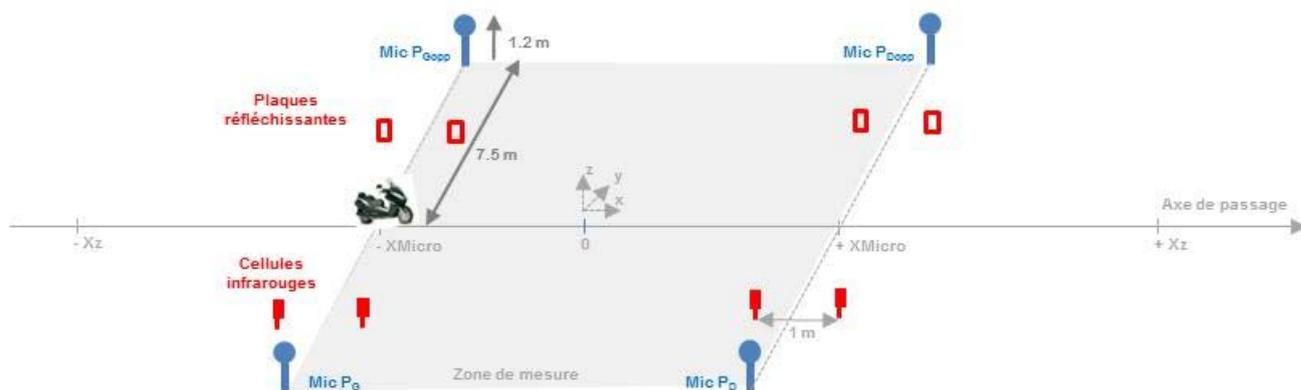


Figure 6-6 : dispositif expérimental déployé dans le cadre du projet Ascot

Des lois d'émission, en niveau global (L_{Amax}) et pour chacune des 24 bandes de tiers d'octave comprise entre 50 Hz et 10 kHz, ont été établies à vitesse stabilisée, en accélération pleine charge, et décélération pour chaque côté des 5 scooters analysés.

Peugeot Vivacity 50 cm³ : une réduction significative des émissions sonores

Les améliorations apportées au Peugeot Vivacity permettent une réduction significative du niveau de bruit global émis quelles que soient les vitesses de passages et allure du scooter (cf Figure 6-7). Cette réduction de L_{Amax} est plus importante par rapport au véhicule de série ayant servi de base au démonstrateur (Vivacity de série 2011) que par rapport à un véhicule série mesuré le même jour (Vivacity de série 2014). L'objectif de 3 dB(A) de réduction des émissions sonores est globalement atteint sur le Peugeot Vivacity 50 cm³. En effet, par rapport au scooter de série 2011

⁸ Mise en service en 2014.

⁹ Mise en service en 2011 et ayant servi de base au démonstrateur. Ses émissions sonores ont été évaluées au cours de la tâche 2.2 du projet ASCOOT (cf partie 3.2).

ayant servi de base au démonstrateur, on observe des réductions de niveau de bruit global maximal au passage de :

- de 3 et 4 dB(A) à vitesse stabilisée,
- de 1,8 à 3,4 dB(A) en accélération pleine charge,
- de 4,9 à 5,7 dB(A) en décélération (sans freinage).

Les gains obtenus par rapport au deuxième scooter de série 2014 évalué lors de la même campagne expérimentale sont légèrement plus faibles :

- de 2 et 3 dB(A) à vitesse stabilisée,
- de 0,9 à 2,4 dB(A) en accélération pleine charge,
- de 3 dB(A) en décélération (sans freinage).

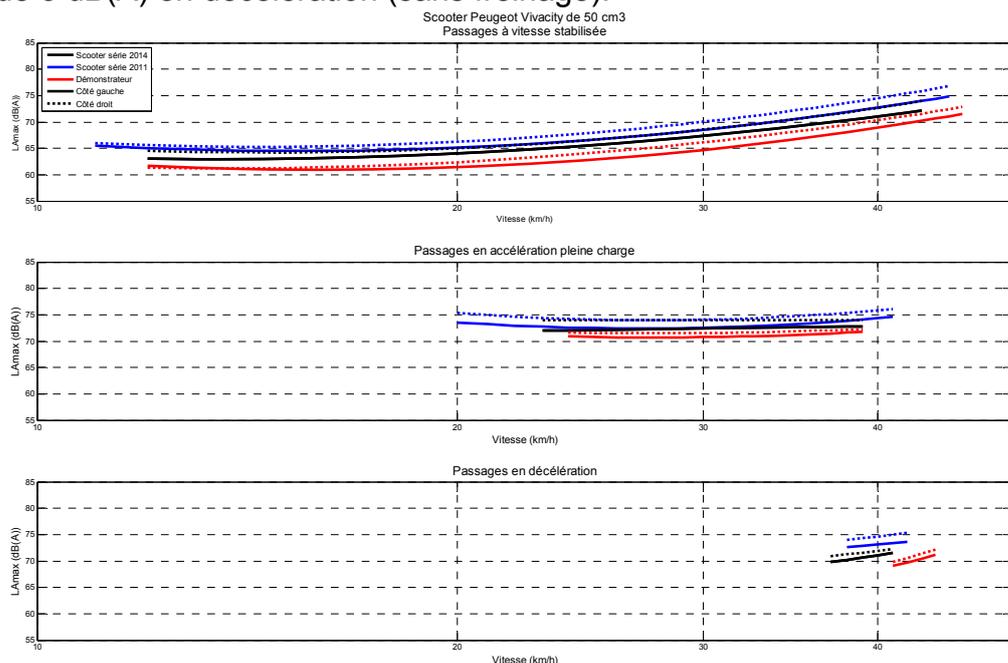


Figure 6-7 : comparaison des lois d'émission (niveau global) des Peugeot Vivacity (démonstrateur et véhicules de séries) à différentes allures

L'analyse du contenu fréquentiel du bruit maximal au passage montre que les gains sont obtenus sur une large bande de fréquence (entre 400 Hz et 10 kHz) quelle que soit l'allure. On observe jusqu'à 10 dB(A) dans certaines bandes de fréquences pour certaines configurations (allure, vitesse de passage).

Peugeot Satelis 125 cm³ :

L'objectif de 3 dB(A) de réduction des émissions sonores du Peugeot Satelis n'est pas atteint puisque les émissions sonores du démonstrateur sont équivalentes à celle du véhicule série correspondant (cf Figure 6-8).

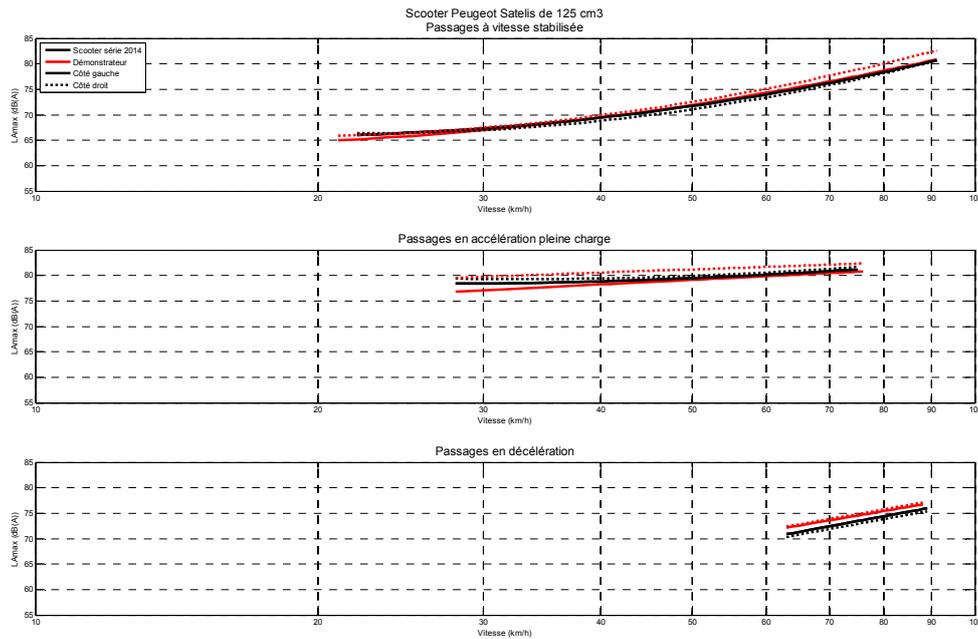


Figure 6-8 : comparaison des lois d’émission (niveau global) des Peugeot Satelis (démonstrateur et véhicule série) à différentes allures

Des mesures de cartographie acoustique lors du passage des véhicules ont également été réalisées.

Il s’agit d’une méthode récemment développée par la filiale MicrodB de Vibratec, procédant à une dé-dopplérisation des signaux (l’antenne de microphones étant fixe sur la piste alors que le véhicule est en mouvement) avant le calcul de rétro-propagation par voies de transfert (beamforming) donnant une image de la source acoustique.

La Figure 6-9 illustre l’apport du pre-process de dé-dopplérisation sur le cas du prototype 125cc, permettant de localiser la source principale (la bouche d’échappement et sa réflexion sur le sol).

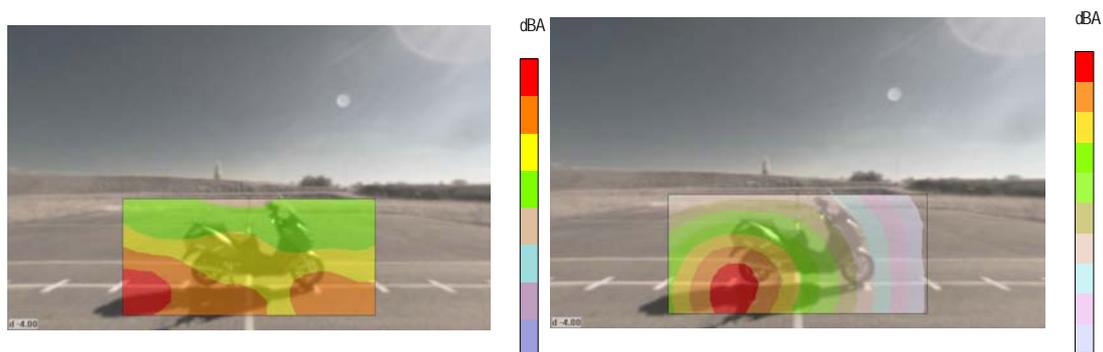


Figure 6-9 : Cartographie par formation de voies lors d’un passage réglementaire – [315Hz-2000Hz] – prototype 125cc. Gauche : formation de voies standard– Droite : formation de voies avec signaux de-dopplérisés

6.5 Guide de conception silencieuse

6.5.1 Connaissance des sources acoustiques d'un scooter

Dans le cadre du traitement acoustique d'un véhicule, il est important de connaître les sources de bruit de celui-ci et donc d'en avoir une connaissance technique précise. En voici une liste exhaustive qui est détaillée dans le « Guide de conception silencieuse » (rapport Ascoot_15R1L55).

6.5.1.1 Source 1 : Le moteur

Par moteur, on entend les parties rotatives et les carters qui les entourent, le papillon des gaz, le tube d'échappement des gaz, les pompes à huiles et à eau (cas du refroidissement liquide), le système d'injection de carburant...

C'est une source puissante et primordiale. Les principales causes de bruit du moteur sont :

- La combustion,
- Les bruits mécaniques,
- Les vibrations créées par les masses rotatives.

Premièrement, la combustion a lieu à chaque rotation du moteur dans le cas du 2 temps et tous les deux tours dans le cas du 4 temps (monocylindre).

Elle crée une explosion dans la chambre de combustion située dans le haut moteur, qui provoque une augmentation forte et rapide de la pression (c'est de là, que provient le bruit) qui vient déformer les parois et ainsi créer une vibration dans tout le moteur qui va faire travailler en compression, en traction et en cisaillement toutes les fixations entre les parties du moteur et ainsi transmettre ce bruit solidien à toute la structure du moteur et du châssis qui lui va pouvoir rayonner à son tour.

Ce pic de pression va aussi se ressentir dans les mouvements de gaz car après chaque combustion les gaz sont libérés vers l'échappement et les gaz d'admission viennent remplir la chambre. Cela crée des ondes de pressions dans toute la ligne d'air ce qui va exciter les silencieux d'échappement et d'admission.

Ensuite, les bruits mécaniques sont liés aux vitesses de rotation des différents organes. Ils sont issus de chocs ou de frottements entre les différents éléments. Ces bruits mécaniques peuvent d'une part transmettre une excitation vibratoire à la structure du moteur (typiquement le frottement du piston sur le cylindre) et d'autre part créer un bruit aérien qui se propage directement à l'extérieur.

Quelques exemples connus de bruits mécaniques :

- Engrenement de pompe à eau (Refroidissement Liquide)
- Engrenement de pompe à huile (4T)
- Engrenement de distribution (4T)
- Frottement Piston cylindre
- Bruit de Roulement
- Clapet
- Chocs Arbre à cames/soupapes (4T)

Enfin, un moteur comporte de nombreuses masses rotatives (vilebrequin, arbre à cames, pompe à eau, pompe à huile, volant magnétique, arbre d'équilibrage, démarreur). La mise en mouvement de toutes ces masses crée des vibrations dans toute la structure du moteur aux niveaux des paliers de rotations. De plus, le monocylindre amène un problème d'équilibrage (balourd) lié au mouvement unilatéral du piston qui est partiellement limité par des contrepoids ou des arbres d'équilibrages, et qui peut être presque supprimé en pluri-cylindre grâce à l'auto-équilibrage des cylindres entre eux.

Ces trois causes de bruit créent des efforts vibratoires sur la structure du moteur. Chaque structure possède des modes vibratoires, caractérisés par une déformée, une fréquence et un amortissement spécifiques. La coïncidence des fréquences d'excitation avec les fréquences modales donnera lieu à une amplification de la réponse vibratoire, et donc du rayonnement acoustique.

6.5.1.2 Source 2 : La ligne d'air

Les silencieux d'échappement et d'admission ne sont pas en eux-mêmes des sources génératrices de bruit cependant ils transmettent du bruit issu du moteur de deux façons :

- Le bruit de bouche (transmission aérienne)
- Le rayonnement de la peau extérieure du silencieux (transmission solidienne des vibrations du moteur et/ou transparence acoustique de la peau du silencieux).

Ce qu'on appelle le bruit de bouche est la résultante de l'onde de pression créée par la combustion atténuée par le silencieux. La structure interne du silencieux d'échappement a pour fonction de diminuer le niveau de bruit du plus grand nombre de fréquences par des phénomènes de résonance (effet réactif), de dissipation liés aux matériaux absorbants (effet passif) et de distorsion de flux (effet acoustique positif observé expérimentalement par la contre pression).

Mais les parois extérieures des silencieux ont une surface visible et leur rayonnement peut avoir un sérieux impact sur le bruit global du véhicule. Ce rayonnement provient de la vibro-acoustique des silencieux.

6.5.1.3 Source 3 : La transmission

L'objectif de cet organe est de transmettre l'énergie du vilebrequin jusqu'à la roue. Il comprend une première partie s'appelant CVT (Continuously variable transmission) et une boîte relai permettant d'optimiser le rapport de sortie vers la roue. Cet organe est la source sonore dominante du côté gauche de nos véhicules.

La CVT est constituée de deux axes. La variation du rapport de transmission entre le vilebrequin et l'entrée de la boîte relai se fait continument par le biais d'une courroie. La courroie peut être une cause de bruit non acceptable. Par ailleurs la poulie, présentant des modes très peu amortis, est susceptible de résonner sous l'excitation mécanique de la courroie.

La boîte relai sur nos véhicules comporte 3 axes différents et donc deux engrenements. Les émissions sonores d'une boîte relai sont facilement détectables car celle-ci produit des fréquences bien définies par les engrenements.

En effet, les engrenages émettent un bruit de sirènement à une fréquence de $f = Z \times \omega$ (Z nombre de dent et ω vitesse de rotation) ainsi qu'aux harmoniques issus de la modulation avec la fréquence de rotation des arbres. Ce bruit est un bruit purement mécanique lié aux chocs entre les dentures.

6.5.2 Retour sur expérience

Dans cette partie seront détaillées les règles de conception issues des connaissances acquises pendant ce lot 5.

6.5.2.1 Le bruit à la source

La première idée lorsqu'on cherche à améliorer l'acoustique d'un système est d'en diminuer le bruit à la source. Pour le cas du scooter, les deux principales sources de bruit sont la mise en rotation des masses et la combustion.

Concernant la mise en rotation de masse, la conception de l'embellage d'un moteur prend en compte toutes les règles de conception en vigueur pour équilibrer au maximum le moteur dans la théorie. Un des enjeux industriels est de vérifier la qualité des pièces et notamment son écart avec les plans. Un équilibrage d'une masse rotative (par retrait de matière) peut être indispensable lors d'une production en série.

Sur les scooters, un ensemble conséquent de pièces lourdes est en rotation et la moindre erreur sur leurs équilibrages peut créer des vibrations non négligeables. La solution actuelle est de vérifier l'équilibrage au montage uniquement et de choisir des pièces de qualité suffisante pour que la détérioration des vibrations n'entraîne pas de casse.

Pour la combustion, la pression dans la chambre de combustion est, par définition d'un moteur, l'image des performances du moteur. Elle a, de plus, un impact sur trois critères déterminants de choix techniques : la consommation, la formation de polluants et le bruit.

Il est nécessaire de trouver un compromis entre ces 4 critères. La réduction des avances à l'allumage testées sur le démonstrateur est une solution qui, diminuant fortement les performances, n'est pas acceptable.

Une solution à l'essai est de jouer sur le taux de compression de la chambre (le volume de la chambre). Cela permet de diminuer les pressions cylindre tout en gardant les mêmes performances et la consommation. On améliore de plus la qualité de la combustion. Cependant ces modifications sont lourdes en mise au point. Mais étant donnée le potentiel, le cycle de combustion pourrait lors d'un prochain projet être optimisé par simulation et calcul afin de répondre aux demandes en performance et acoustique.

6.5.2.2 Le silencieux d'échappement

Un logiciel de simulation basé sur une approche 1D (ondes planes) par matrices de transfert a été utilisé pour optimiser l'atténuation des pulsations de pression et donc le rayonnement acoustique de la bouche d'échappement. Le principe est d'agencer l'architecture interne de la façon la plus favorable à l'amortissement des ondes de pression.

La volonté était de proposer plusieurs solutions et de les tester et puis de choisir la meilleure en termes de coût, de bruit et de facilité de fabrication. Cependant, malgré

de meilleures atténuations théoriques, les essais sur véhicule ont montré que ces solutions ne réduisaient pas le bruit émis, cela a permis de déceler une règle de conception spécifique à l'usage sur deux roues : il faut éviter de diminuer la contre-pression d'échappement (CPE). Les prototypes proposés diminuaient trop fortement la CPE, ce qui pouvait permettre en contrepartie d'améliorer les performances du moteur. Mais les architectures des prototypes permettaient un flux direct entre l'entrée et la sortie du silencieux, comme cela est fait dans l'automobile parfois et diminuait fortement la longueur du tube de fuite. Cependant, les longueurs d'échappements automobiles sont plus grandes que sur scooters, et donc incomparables.

Dans les prochaines conceptions de silencieux d'échappement, il sera intéressant d'améliorer l'utilisation des chambres tout en optimisant la contre-pression. Des modélisations par éléments finis 3D incluant des profils de vitesse et de température seront privilégiés par rapport à une modélisation 1D qui s'avère trop simpliste.

6.5.2.3 Rayonnement des carters

Les différentes solutions pour palier au rayonnement de paroi de carter sont les suivantes :

- Réduire le bruit à la source (déjà traité au-dessus)
- Modifier la signature acoustique de la paroi
- Découpler
- Masquer par capotage

Chaque carter possède une signature acoustique, c'est-à-dire un ensemble de fréquences correspondant à des modes propres de vibrations. L'idée est de dissocier les fréquences d'excitation de ces modes vibratoires. Pour cela, on va chercher à modifier cette signature acoustique, par des modifications structurelles (raidisseurs, masse, rainurage, gaufrage).

De même, il faut éviter les surfaces facilement déformable (ailettes, cache plastique libre...) ainsi que les carters alourdis par des masses importantes (stator d'alternateur fixé sur le carter droit du Citystar 125cc).

Une solution plus basique serait aussi d'essayer de découpler au maximum les carters entre eux, mais pour cela il faut être certain de n'entraver aucune fonction : par exemple une étanchéité ou un centrage d'axe. En effet, si le carter est découplé cela signifie qu'il peut se déplacer par rapport aux autres carters et ainsi modifier les entre-axes d'arbre.

La méthode pour découpler est d'utiliser des vis de découplage ou des silentblochs. Un joint entre les carters peut aussi permettre un léger découplage, ou en tout cas un amortissement de la vibration d'un carter à l'autre.

Enfin, si les solutions précédentes ont été écartées, la dernière solution est de masquer le bruit par un ajout de capotage. Cette solution apporte normalement de bons résultats mais elle implique un coût et un poids additionnel. Il faut également faire attention à ne pas entraver d'autres fonctions.

Pour le surcouvercle droit, il faudra par exemple ne pas oublier sa fonction d'échangeur thermique entre l'huile et l'air extérieur, et qu'ainsi l'ajout d'un surcouvercle peut limiter les échanges thermiques de convection. De même, le surcouvercle de transmission a pour seconde fonction de permettre l'alimentation en air du carter de transmission nécessaire au refroidissement de la CVT, une mise au point conséquente prenant en compte le débit d'air est nécessaire.

7 Lot 6 : Perception des 2 roues dans l'environnement sonore urbain

Référence [18]: Livrable 14 - Rapport ASCOOT_15R1L6, Février 2015

L'objectif de la tâche 6 était d'étudier la perception de modifications apportées au bruit émis par des deux-roues motorisés pour en réduire le niveau. Le choix du deux-roues étudié s'est fait sur la base des résultats obtenus dans les tâches précédentes du projet ASCOOT et qui ont montré que le 50 cm³ modifié (démonstrateur) présentait un gain de 3 dB par rapport à sa version de série, à vitesse stabilisée. La question principale était la suivante : les améliorations réalisées sur le plan acoustique sont-elles perçues comme telles ?

Pour y répondre, deux hypothèses de recherche ont été posées :

- les réponses sur la perception du bruit des deux-roues motorisés vont varier en fonction de la configuration du trafic urbain (dense ou faible)
- les réponses sur la perception du bruit des deux-roues motorisés vont varier en fonction du type de deux-roues motorisés (série ou démonstrateur).

Pour tester ces hypothèses, une expérimentation en laboratoire a été menée auprès de 97 personnes. Cette démarche vise à soumettre des participants à un environnement sonore déterminé, c'est-à-dire ici composé du bruit de trafic urbain et du bruit de passages de deux-roues. Cela dans le but de recueillir les réactions des participants en termes de perception du bruit des deux-roues motorisés et de gêne.

Les expérimentations se sont déroulées dans le Laboratoire de Simulation et d'Évaluation de l'Environnement (LSEE) de l'Ifsttar-LTE, à Bron. Ce dernier permet d'immerger les participants dans un cadre familier reconstitué : le salon d'une habitation. Son équipement (système « Synthèse de front d'onde » avec 16 HP + écran avec un projecteur vidéo situés derrière la fenêtre) rend possible la restitution des conditions environnementales visuelles et sonores d'un riverain d'une infrastructure de transport.



Figure 7-1 : Modélisation 3D de l'installation du LSEE

Nous avons testé nos hypothèses à partir d'écoute(s) de passages de deux-roues motorisés isolés, et d'évaluation de séquences sonores intégrant ces mêmes passages de deux-roues dans un bruit de trafic urbain.

Quatre scénarios combinant 2 configurations du bruit du trafic urbain : dense ou faible à 2 types de deux-roues motorisés : des véhicules de série (qui circulent actuellement) et leur démonstrateur ont été élaborés. Ces scénarios ont permis la construction de 4 séquences constituées à partir d'enregistrements du trafic routier urbain dans une rue à différents moments de la journée (trafic dense, trafic faible) et sur piste pour le bruit des deux-roues.

7.1 Réalisation des séquences sonores

Les séquences étaient composées du bruit du trafic urbain et du bruit de passages d'un seul deux-roues motorisé. Le choix de ce dernier s'est appuyé sur les résultats des mesures de bruit au passage des véhicules (50 et 125 cm³) démonstrateur et de série dans les conditions d'homologation présentées dans un rapport ASCOOT précédent¹⁰. Ainsi, le gain, en termes de niveau le plus abouti a été obtenu avec le 50 cm³ (*Vivacity*), en situation de décélération sans freinage et de vitesse maximum stabilisée. Les passages de 50 cm³ à vitesse maximale stabilisée (≈ 45 Km/h) qui était la situation la plus pertinente avec l'objectif de les intégrer dans du bruit de trafic urbain, ont été choisis.

Concernant la densité de circulation, deux conditions ont été retenues : un trafic dit « faible », il s'agit d'un trafic fluide et un trafic « dense ». Le Cours Lafayette (Lyon 3ème) ayant servi de référence pour la tâche 4, la situation simulée pour la présente tâche 6 reprend aussi les caractéristiques de cette artère urbaine bordée d'immeubles. L'objectif était d'être représentatif d'une situation existante (rez-de-chaussée, ou un premier étage).

Enfin, le nombre de passages de deux-roues motorisés à insérer dans les séquences a été déterminé à partir des comptages effectués *in situ* pour le lot 4 (Cours Lafayette-Lyon 3ème) à différentes périodes de la journée (débit maximum ≈ 120 deux-roues motorisés/h ; 80 deux-roues/h en heure creuse¹¹), et sur la composition du parc français de deux-roues motorisés¹² (Commissariat Général au Développement Durable, 2012). Ces données ont permis d'établir un nombre de **huit passages de 50 cm³** par séquence de quinze minutes.

Les séquences ont été réalisées à partir d'enregistrements sonores en synthèse de front d'onde.

¹⁰ Chatagnon, R. (2014). *Validation des émissions sonores des démonstrateurs, mesures à 7m50*. ASCOOT, Rapport 14R1L5.4.

¹¹ Lelong, J. (2015). *Simulation de déploiement en milieu urbain*. ASCOOT, Rapport 15R1L4.

¹² Commissariat Général au Développement Durable. (2012). *Les deux-roues motorisés au 1er Janvier 2012* (Vol. 400). MEDDE, Service de l'observation des statistiques.

Le dispositif de captation a été placé à 15 mètres du centre de la voie la plus proche, à une hauteur de 1,7 m. Elles sont constituées, en majorité, de passages d'automobiles, de quelques gros véhicules de type bus ou camion (4 en circulation dense, 2 en circulation faible).

La Figure 7-2 montre les moments d'apparition des deux-roues motorisés dans les séquences. Pour rester proche de la réalité, ils passent tantôt seuls, tantôt accompagnés de groupes de véhicules, et apparaissent strictement aux mêmes moments dans chacune des séquences.

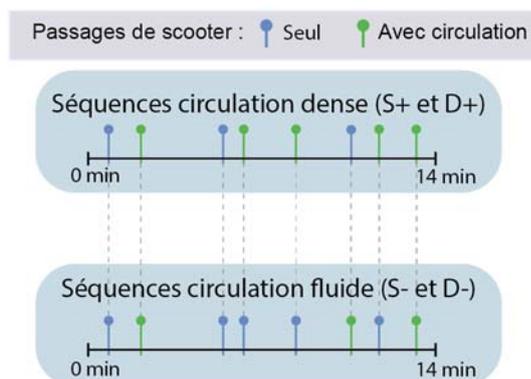


Figure 7-2 : Répartition des passages de deux-roues motorisés dans les séquences

Au final, le LAeq des séquences dans le salon à la position des sujets était de l'ordre de 55 dB(A) pour les séquences à trafic urbain dense, et de 50 dB(A) pour les séquences à trafic urbain faible. Les pics de bruit étaient compris entre 55 et 61 dB(A). Le LAm_{ax} des bruits de passage des deux-roues motorisés de série dans les séquences se trouve bien entre celui des véhicules légers enregistrés et celui des véhicules lourds. Il a été mesuré dans le salon expérimental à 59 dB(A) pour le 50 cm³ de série et 56 dB(A) (t = 100 ms) pour le démonstrateur. En considérant l'atténuation d'environ 15 dB octroyée par la fenêtre entre-ouverte et la distance de 20 m entre les sujets et la voie « virtuelle » sur laquelle circulent les scooters (donc -4,2 dB par rapport aux mesures à 7m50) on retrouve bien un niveau cohérent de rue en champ réverbéré (dans les conditions de normalisation, la valeur retenue pour ce scooter était de 74,7 dB(A)¹³.

¹³ Chatagnon, R. (2014). *Validation des émissions sonores des démonstrateurs, mesures à 7m50*. ASCOOT, Rapport 14R1L5.4.

7.2 Réalisation des expérimentations

Le protocole expérimental était composé de 3 parties. Chacune correspondait aussi à 3 « tâches » différentes pour les participants :

1. Dans la première partie, les participants ont eu à évaluer les 4 séquences sonores. A l'issue de la diffusion de la 1^{ère} séquence, un bref entretien sur le contenu de la séquence entendue était mené auprès des participants.
2. Lors de la deuxième partie, ils ont écouté et comparé des passages isolés de deux-roues motorisés (série et démonstrateur) non insérés dans un trafic.
3. Enfin, dans la dernière partie, les participants ont répondu à un entretien semi-directif portant sur leur expérience du bruit des deux-roues motorisés dans leur vie quotidienne.

Les données ont été recueillies à l'aide de questionnaires auto-administrés et remplis sur tablettes, mais aussi à partir des enregistrements des entretiens.

Les questions communes aux 5 questionnaires remplis lors de l'évaluation des séquences portaient sur une description du bruit global entendu durant la séquence, une description de leur perception du bruit des deux-roues, une description de leur perception du bruit des voitures, la gêne due au bruit dans son ensemble, la gêne due au bruit des deux-roues et la gêne due au bruit des voitures, et la perturbation de leur activité pendant la séquence (se détendre, lire ...).

Les participants devaient aussi comparer le bruit des séquences entre elles, globalement (ressemblance/dissimilitude), puis plus précisément le bruit des deux-roues entendu, à l'aide des adjectifs fort, supportable et présent. Enfin, une question sur le nombre de deux-roues motorisés entendu était introduite dans le dernier questionnaire.

L'échantillon final était composé de 97 personnes soit 50 femmes et 47 hommes. L'âge moyen est de 43 ans, l'âge minimum est de 18 ans et l'âge maximum de 75 ans. Il est composé à 100 % de non utilisateurs de deux-roues motorisés.

7.3 La perception du bruit des deux-roues motorisés

Cette approche du bruit des deux-roues motorisés a été appréhendée à travers 2 entretiens qualitatifs qui ont chacun fait l'objet d'une analyse de contenu.

Après la diffusion de la première séquence, les participants devaient décrire spontanément ce qu'ils venaient d'entendre, alors qu'aucune information ne leur avait été donnée sur les objectifs de l'expérimentation.

On retiendra que ce sont des mots relatifs à une situation urbaine (bruit de la circulation, bruit urbain ...) qui ont été cités en premiers, et que le bruit des deux-roues motorisés est évoqué spontanément par un tiers des personnes interrogées. L'évocation du « double vitrage », protection contre le bruit et condition nécessaire et

indispensable pour le supporter, est largement présente. De plus, la référence à un lieu en ville (rue, axe, avenue) souvent abordée laisse à penser que les participants se sont bien immergés dans un environnement sonore urbain, lors de la diffusion des séquences. Sans doute la référence à la fermeture/ouverture des fenêtres montre aussi qu'ils se sont imaginés chez eux. Ceci permet de considérer que les résultats obtenus lors de cette expérimentation étaient bien en lien avec la situation simulée.

Pour comprendre la perception du bruit des deux-roues, nous avons aussi interrogé les participants sur la façon dont ils le percevaient dans la vie de tous les jours. Après retranscription, une analyse lexicographique de ces entretiens a été réalisée à l'aide du logiciel Alceste¹⁴. Celui-ci permet de décrire, classer et synthétiser des données textuelles de manière automatique.

L'analyse de contenu des entretiens a permis de distinguer principalement 3 points :

- Les participants distinguent les deux-roues motorisés en termes de cylindrée : les « petites » cylindrées (mobylettes, scooters) et les « grosses » (motos, grosses motos), et savent aussi expliquer leur spécificité : les « petites » sont associées à un bruit aigu et strident, pétaradant, les « grosses » ont un bruit décrit comme grave, plus discret, voire doux. Pour eux, le bruit des petites cylindrées est aussi fortement lié au « pot d'échappement trafiqué ».
- Le bruit des deux-roues est entendu finalement dans différentes circonstances et notamment dans le calme, quand leur vitesse est élevée où quand il passe à proximité (de leur habitation, d'eux quand ils sont piétons). Leur passage peut attirer l'attention, voire même surprendre ou stresser, « même fenêtre fermée » au domicile, comme dans la rue.
- Enfin, le bruit des deux-roues est comparable, en termes de gêne, au bruit d'autres véhicules de la circulation aux dimensions plus importantes (camions). Au final, le bruit des deux-roues motorisés est assez souvent jugé comme plus bruyant et plus gênant que le bruit des sirènes des véhicules des pompiers ou de police mais aussi des camions.

Avec ces entretiens nous avons pu noter que le bruit des deux-roues motorisés est d'autant plus perçu qu'il s'agit d'une petite cylindrée, mais aussi, que leur passage surprend ou attire l'attention, quand il se détache du bruit de la circulation en général ou de la ville.

¹⁴ Le logiciel Alceste est un logiciel de statistique textuelle mis au point par la société Image, avec la collaboration du Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS).
<http://www.image-zafar.com/fr/logiciel-alceste>

7.4 La perception des améliorations acoustiques du bruit des deux-roues motorisés à travers l'écoute de passages isolés

Pour vérifier la perception des améliorations acoustiques apportées aux deux-roues motorisés (démonstrateur par rapport à série), les participants ont comparé le bruit des passages isolés des 125 et 50 cm³ de série et démonstrateur.

Les résultats ont montré que 70 % des personnes interrogées avaient bien décelé une différence entre les deux-roues motorisés de série et les deux-roues motorisés démonstrateur (cf Figure 7-3).

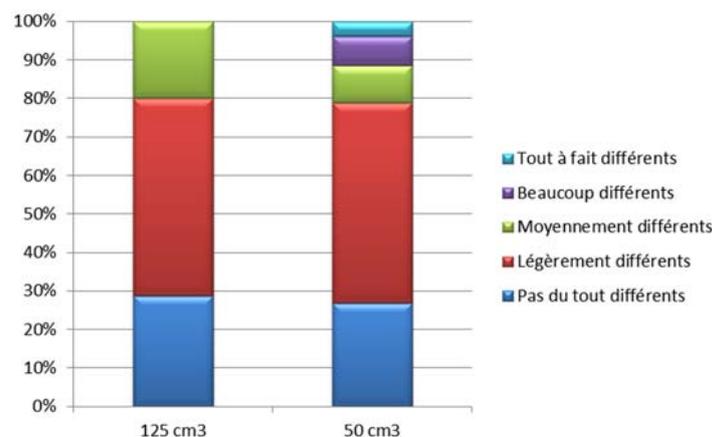


Figure 7-3 : Répartition des réponses concernant les différences entre les passages isolés de deux-roues motorisés

Nous avons ensuite constaté que, pour les deux motorisations (50 et 125 cm³), la moitié des participants avaient jugés que le bruit du démonstrateur était « légèrement différent » du bruit du deux-roues de série avec cependant des nuances en fonction de la motorisation. En effet, pour le 50 cm³, nous avons noté qu'il n'y avait pas de consensus sur ce qui les différenciait. Pour le 125 cm³, en revanche, les participants ont considéré que le bruit du démonstrateur était plus fort que celui du véhicule de série, et 67 % des participants ont préféré le deux-roues motorisés de série au deux-roues démonstrateur.

7.5 Perception du bruit des deux-roues motorisés insérés dans un trafic

Une analyse statistique effectuée sur les réponses aux questionnaires recueillis à la fin de la diffusion de chaque séquence a permis d'analyser la perception du bruit des deux-roues motorisés, série et démonstrateur, en fonction du niveau de bruit du trafic urbain.

Les résultats ont montré que les participants décrivaient différemment le bruit des séquences en fonction de la densité du trafic. On observe (cf Figure 7-4) :

- à trafic dense, le bruit de la séquence est qualifié de plus permanent, plus désagréable, plus proche, et moins familier qu'à trafic faible.
- Par contre, à trafic faible il est qualifié de supportable, alors qu'à trafic dense, il est décrit comme insupportable.

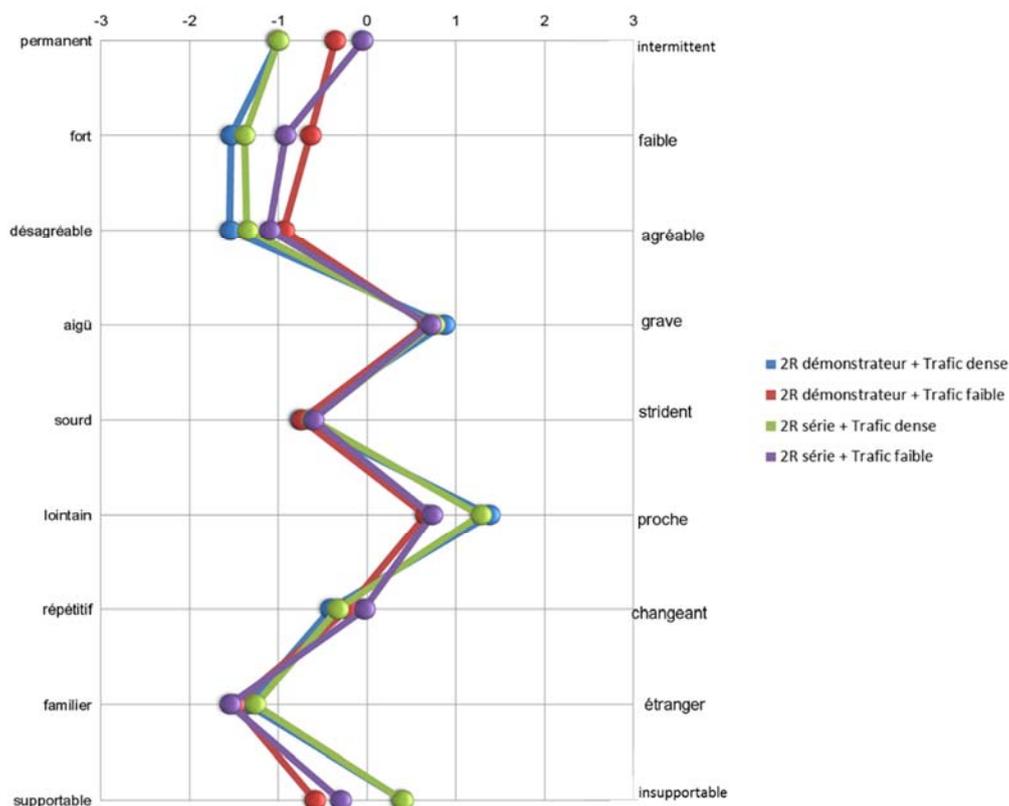


Figure 7-4 : Profils des descriptions du bruit entendu pendant les séquences

Le seul effet du type de deux-roues motorisés a été constaté à trafic faible, et la séquence intégrant des passages de 50 cm³ « démonstrateur » a alors été décrite comme moins « forte » que celle intégrant les passages de 50 cm³ « série ».

Ensuite, il a été demandé aux participants de comparer non plus le bruit de la séquence dans son ensemble mais le bruit des deux-roues entendu dans les 2 séquences. Il s'agissait bien ici de voir si les modifications acoustiques apportées au bruit des deux-roues étaient perçues par les participants, lorsque ceux-ci étaient insérés dans un trafic.

Nous avons constaté que le bruit des deux-roues a été perçu de la même façon pour toutes les séquences : il n'existe pas de différence en fonction du type de deux-roues ni en fonction de la densité du trafic. On a donc conclu que la description du bruit des 50 cm³ démonstrateur intégrés dans un trafic, n'était pas différente de celle du 50 cm³ de série, quelle que soit la condition de trafic.

Les participants ont aussi été interrogés sur le nombre de deux-roues motorisés qu'ils pensaient avoir entendus.

On a pu noter que le nombre moyen entendu est de 3,5 tous scénarios confondus. Ce nombre se répartit entre 2,6 et 4,3, selon le scénario, soit deux fois moins que le nombre réel de deux-roues motorisés présents dans les séquences (qui était de 8). Par contre, ce nombre est comparable au nombre de passages de deux-roues isolés, c'est-à-dire non intégrés dans un groupe de véhicules.

7.6 La gêne due au bruit des deux roues

Après chaque séquence, la gêne a été évaluée à propos de la séquence dans son ensemble, du bruit des deux-roues et du bruit des voitures. C'est la question de gêne normalisée (AFNOR, 2003)¹⁵ qui a été utilisée.

On a vérifié que la gêne due au bruit des deux-roues ne variait pas en fonction du type (série ou démonstrateur). Ce résultat est cohérent avec les résultats concernant la perception du bruit de passages isolés, ainsi que ceux portant sur la description du bruit des deux-roues intégrés dans un trafic. En effet les réponses n'ont jamais montré de différences entre série et démonstrateur pour les 50 cm³. D'après nos résultats, la note de gêne due au bruit de la séquence, comme la note de gêne due au bruit des voitures, varient seulement en fonction du type de trafic.

¹⁵ AFNOR. (2003). *Evaluation de la gêne causée par le bruit au moyen d'enquêtes sociales et d'enquêtes socio-acoustiques*. ISO/TS 15666/2003, Février 2003.

7.7 Les effets du bruit des deux-roues motorisés sur les activités

Nous avons voulu savoir comment les participants se sentaient durant l'expérimentation et si le scénario avait une influence sur leurs réponses. Deux dimensions étaient abordées : d'une part, on leur demandait s'ils avaient réussi à se détendre, et d'autre part on s'intéressait au sentiment de familiarité avec le lieu dans lequel ils ont été immergés.

Nous avons montré qu'à trafic dense, les participants avaient eu plus de mal à se détendre et que par contre il n'y avait pas d'effet du type de deux-roues sur cet état. On a aussi vérifié que plus de la moitié des participants avait bien eu l'impression d'être dans un lieu familier.

Pendant la diffusion des séquences, les participants étaient invités à lire des revues mises à leur disposition. Nous les avons interrogés sur la perturbation éventuelle de cette activité sensible au bruit. Nous avons constaté que, quelle que soit la séquence, au moins la moitié des participants (de 46 % à 74 %) était d'accord avec le fait que le bruit avait perturbé leur lecture. Il n'y a cependant pas d'effet du type de deux-roues sur les réponses concernant la perturbation de l'activité lecture par le bruit. En revanche, on a pu observer qu'à trafic dense, les participants étaient plus nombreux à être d'accord avec le fait d'avoir été perturbé par le bruit, pendant leur lecture, qu'à trafic faible (74 % contre 51 %).

7.8 Conclusion

Nous retiendrons que lorsque nous avons sollicité une écoute attentive des passages des deux-roues motorisés seuls (sans trafic urbain), de légères différences relatives aux modifications acoustiques ont été décelées. Pour les deux motorisations, ce résultat est bien cohérent avec les différences de niveaux mesurées et notamment leur sens.

Quand les mêmes passages de 50 cm³ (série et démonstrateur) ont été insérés dans un trafic urbain, les différences perçues étaient beaucoup moins manifestes. Peut-être la différence de 3 dB n'était-elle pas suffisante pour être décelée lorsque les deux-roues sont mêlés à d'autres véhicules.

En outre, les résultats ont ainsi bien montré la pertinence de valider des modifications apportées sur le bruit à la source dans un environnement sonore idoine.

Cette conclusion n'est évidemment fondée que pour une allure spécifique de passage des deux-roues motorisés qui est celle de la vitesse stabilisée. Dans un objectif de consolider ces observations, sans doute serait-il opportun de tester la perception des améliorations apportées au bruit des deux-roues à différentes allures (phases d'accélération, décélération, démarrage à un feu...), c'est-à-dire des situations pour lesquelles le bruit des deux-roues émerge du trafic et est identifié comme gênant.

8 Bilan et Perspectives

8.1 Etat des livrables

L'ensemble des livrables prévus lors dans le document du projet (ref.[1]) a été produit. Les tableaux 8-1 et 8-2 présentent l'état des livrables.

Mois Année	N° ordre	Lot ou Tâche	référence	titre	auteur principal (autres auteurs)
déc-11	1	1	<u>ASCOOT 11R1L1</u>	Etat de l'art Bruit des 2 roues motorisés	IFSTTAR (Peugeot Scooters VIBRATEC)
juin-12	2	2.2	<u>ASCOOT 12R1L2</u>	Emissions sonores d'un échantillon de scooters Mesures à 7m50	IFSTTAR
juil-12	3	2.3	<u>ASCOOT 12R1L23</u>	Perception sonore des deux roues Mesures Binaurales	VIBRATEC
nov-12	4	2.2	<u>ASCOOT 12R2L22</u>	Mesures de puissance et de directivité acoustiques d'un échantillon de scooters	IFSTTAR
mars-13	5	2.4	<u>ASCOOT 13R1L24</u>	Caractérisation des véhicules Mesures de contributions	VIBRATEC
mars-13	6	0	<u>ASCOOT 13R1L0</u>	Rapport d'avancement à mi-parcours	VIBRATEC (IFSTTAR Peugeot Scooters)

Tableau 8-1 : Livrables (rapports) 1 à 6

Mois Année	N° ordre	Lot ou Tâche	référence	titre	auteur principal (autres auteurs)
avr-14	7	3.3	ASCOOT-14R1L33	Perception sonore des deux roues Réécoute	VIBRATEC
mars-15	8	4	ASCOOT-15R1L4	Simulation de déploiement en milieu urbain	IFSTTAR
mars-14	9	5.1	ASCOOT-14R1L51	Diagnostic sur Citystar 125 cm ³ et Vivacity 50 cm ³	VIBRATEC
mars-15	10	5.2	ASCOOT-15R1L52	Modélisation de la motorisation d'un scooter 125 cm ³	VIBRATEC
sept-14	11	5.3	ASCOOT-14R1L53	Définition des prototypes 50 cm ³ et 125 cm ³	Peugeot Scooters VIBRATEC
déc-14	11	5.4	ASCOOT-14R1L54	Validation des émissions sonores des démonstrateurs Mesures à 7m50	IFSTTAR
mars-15	12	5.5	ASCOOT-15R1L55	Guide de conception	Peugeot Scooters
mars-15	13	6	ASCOOT-15R1L6	Perception des 2 roues dans l'environnement sonore urbain	IFSTTAR
mars-15	14	0	ASCOOT-15R2L0	rapport final	VIBRATEC

Tableau 8-2 : Livrables (rapports) 7 à 14

8.2 Résultats (avancées scientifiques, techniques et industrielles) et conclusions

Les différents travaux prévus dans le projet ont bien été réalisés et Ascoot a permis d'accéder à une meilleure connaissance du bruit des 2 roues et de leur impact sociétal. Un modèle de source 2 roues a pu être inséré dans un modèle de simulation de bruit de trafic et 2 démonstrateurs de scooters silencieux ont été réalisés. 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.

Remarque : le projet n'a considéré que des véhicules conformes à la réglementation. Pour les véhicules non conformes, qui peuvent être beaucoup plus bruyants, la solution réside dans le respect de cette réglementation.

Le résultat global est le fruit des différents lots :

- Lot 1 : état de l'art.
 - L'analyse bibliographique a montré que les 2 roues sont plus bruyants que les véhicules légers (VL-jusqu'à 80km/h) mais moins bruyants que les poids lourds (PL). Leur forte capacité d'accélération contribue à les faire émerger davantage.
 - La bibliographie montre également que le bruit des 2 roues est perçu comme la source de bruit la plus gênante dans le trafic (les véhicules non conformes contribuent sans doute à cette image) ; cette perception est accrue par le caractère identifiable des 2 roues.
 - un panel de 11 véhicules à tester a été établi dans le lot 1.
- Lot 2 : Analyse expérimentale d'un panel de 11 véhicules. Ce lot a été le principal pourvoyeur de données pour les autres lots.
 - Les mesures sur piste ont permis une caractérisation et une analyse comparative des 11 véhicules pour différentes conditions de fonctionnement et ont fourni les données d'entrée pour l'écoute binaurale (Lot 3), le modèle de trafic (Lot 4) et l'étude de la perception (Lot 6).
 - Les mesures sur banc à rouleaux ont permis de faire une caractérisation précise et une analyse comparative des véhicules cibles et de véhicules de Peugeot Scooter devant servir de base aux démonstrateurs. Les principales sources mises en évidence (échappement du Citystar125cm³ et ventilation + moteur du 50cm³) ont conduit à la définition des actions de prototypage (Lot 5).
- Lot 3 : Analyse de la perception piéton conducteur. L'analyse comparative des véhicules, et l'écoute par un jury, ont mis en évidence les défauts et atouts qui seront utiles aux constructeurs. La sonie max est le critère le mieux corrélé ; le critère d'acuité est défavorables aux 2T.
- Lot 4 : Simulation de déploiement en milieu urbain
 - Un modèle de 2 roues, bâti sur les résultats des tâches 2.2 et 5.4, a été inséré dans le logiciel de simulation du bruit de trafic Simubruit.

- Des calculs d'écoulement de trafic ont été réalisés avec, pour données d'entrée, ce modèle et des données de trafic collectées sur une grande artère de l'agglomération lyonnaise.
- Différents scénarios d'impact ont pu être simulés et analysés.
- Lot 5 : Réalisation et évaluation de 2 démonstrateurs silencieux
 - Les sources sur le scooter et leur poids respectif dans le bruit rayonné ont été caractérisés.
 - Les solutions de réduction pour les 2 démonstrateurs ont été dimensionnées par une double approche simulation expérimentation.
 - Ces solutions ont été mises en œuvre et leur efficacité mesurée sur les 2 démonstrateurs (évaluation de la performances et caractérisation pour les lots 4 et 6) : si un gain significatif de 3dBA a été obtenu sur véhicule 50cm³, l'amélioration escomptée n'a pas été constatée avec le démonstrateur 125 cm³ (cependant les causes en ont été analysées et des actions correctrices pourront être entreprises par la suite).
 - Une première version d'un guide de conception silencieuse a été élaborée, qui pourra être complété au fil des nouveaux développements et de l'acquisition de nouvelles connaissances.
- Lot 6 : Perception du bruit des 2 roues dans l'environnement sonore urbain
 - Les 2 roues sont perçus, comme des contributeurs significatifs au bruit de trafic.
 - Le bruit des 2 roues est décrit en fonction de la cylindrée et de leur allure. Sont nettement différenciées les « petites » au bruit strident et aigu des « grosses » au bruit grave et sourd. C'est un bruit qui surprend, attire d'autant plus l'attention qu'il émerge.
 - Le démonstrateur 50 cm³ est perçu différent du véhicule de série dont il est issu lorsqu'il est isolé, mais la différenciation s'estompe lorsqu'il est inclus dans le bruit de trafic. Par la suite, il faudrait évaluer la source 2 roues dans un contexte où elle émerge davantage (à un feu tricolore : regroupement de 2 roues et forte accélération).
 - Comme le laissait entendre les résultats du Lot 5, le démonstrateur 125 cm³ a été jugé plus fort que le véhicule de série et c'est ce dernier qui est préféré par les personnes interrogées.

8.3 Perspectives

Le projet Ascoot a permis d'aborder d'une manière assez large la problématique de l'impact acoustique des 2 roues en milieu urbain en intégrant la dimension psychologique du bruit, le développement de modèles prédictifs d'environnement sonore urbain (outil de simulation), et la performance industrielle (réalisation de démonstrateurs). Il a donné l'occasion 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 pour l'industriel.

Les perspectives de poursuite et de valorisation de ces travaux sont :

- **Modèle de trafic**
 - Poursuivre les calculs notamment avec les récepteurs en façade.
 - Etudier les scooters pour leur participation au bruit global et dans un contexte intermodal (avec VL et autobus). Définir des lois d'émission pour alléger la base de données
 - Réaliser des mesures embarquées en conditions de trafic pour affiner les modèles
 - Utiliser des données trafic avec usage 2 roues plus intensif (Paris, Marseille)
- **Perception des 2 roues dans le trafic**
 - Diversifier les scénarios en faisant varier les différentes conditions de fonctionnement par exemple démarrage aux feux tricolores (regroupement de 2 roues et forte accélération).
 - Utiliser des données de trafic avec usage 2 roues plus intensif (Paris, Marseille)
- **Développement de véhicules compétitifs silencieux**
 - Appliquer les actions correctives esquissées dans Ascoot (échappement, combustion, transmission, carters...)
 - Améliorer les méthodes de simulation (simulation 3D des échappements, optimisation multicritère des lois de combustion)

Ces axes de valorisation gagneraient à être de nouveau regroupés dans un projet interdisciplinaire qui permettrait de développer des 2 roues respectueux du bien-être des citoyens tout en répondant au besoin de la compétitivité industrielle, en passant par l'accroissement de connaissances utiles tant sur le plan de l'acoustique que de la perception de la gêne occasionnée.

Le 2 roues, de par sa plus faible empreinte écologique et son encombrement réduit, est un des éléments de réponse pour l'amélioration du trafic urbain et la réduction de son impact sur le citoyen. Les résultats obtenus par le projet ASCOOT confirment que cela passe par une plus grande acceptabilité et donc notamment la réduction de son empreinte sonore.

8.4 Diffusion

Publications

- R. Chatagnon, J. Lelong : Evaluation des émissions sonores de deux-roues motorisés en conditions urbaines de fonctionnement. 12^{ème} Congrès Français d'Acoustique, Poitiers, 2014
- R. Chatagnon, J. Lelong : Evaluation des émissions sonores de deux-roues motorisés en conditions urbaines de fonctionnement. Acoustique et Technique, 76, 2014
- 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.
- 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.
- 2 communications ont été proposées (résumés retenus et papier final en relecture) au congrès ICSV22 qui se tiendra à Florence en juillet 2015.

Autres

Un article sera proposé à la revue trimestrielle 360° Innovation.

Le projet a été présenté via un Poster aux journées du PREDIT qui se sont tenues les 16&17 avril 2013.

Présentation avec publication d'actes aux journées scientifiques « Deux-roues motorisés » organisées par l'Ifsttar en octobre 2013. Ces journées permettent de présenter à la communauté scientifique et à des représentants des principaux domaines concernés (décideurs, constructeurs, assureurs, environnement...) les recherches récentes menées sur la thématique des deux-roues motorisés :

- Évaluation des émissions sonores de scooters en conditions urbaines de fonctionnement – Analyse physique et perceptive du bruit Roger CHATAGNON (IFSTTAR), Jean-Luc WOJTOWICKI (Vibratec)