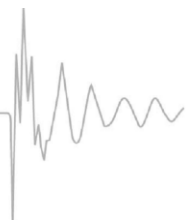
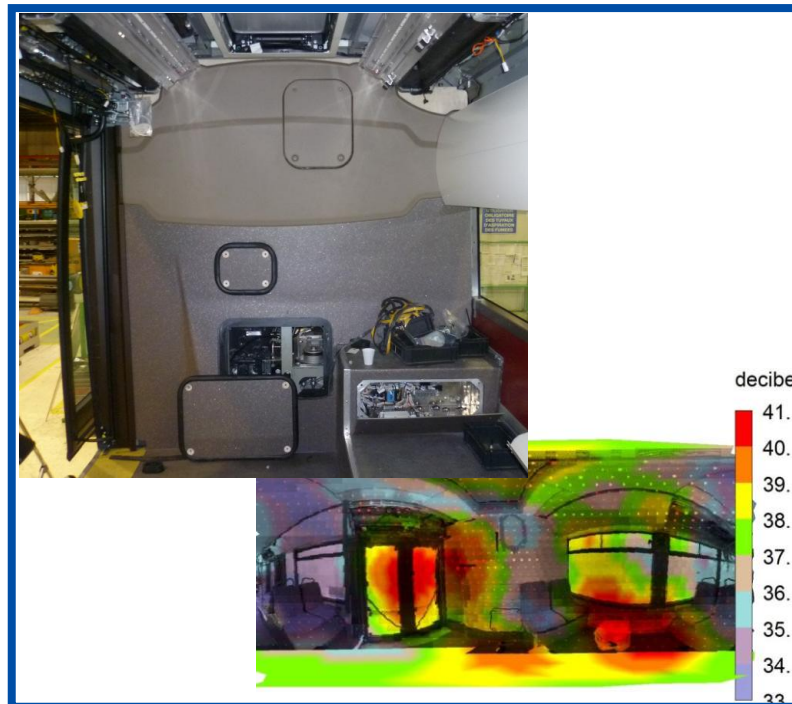


**Rapport de synthèse du projet Acoubus:  
Moyen d'imagerie pour la mise au  
point acoustique des véhicules  
industriels: application au bus  
hybrides**





## DOCUMENT DESCRIPTION

### REFERENCES

<b>MICRO DB document ref. Convention ADEME: Notification du:</b>	<p style="text-align: center;">562.033-1-RP-1.0 Numéro 0966C0282, du 22/12/2009</p>
--	---

### DIFFUSION

Entreprise	Emise pour	Nombre de pages
<p style="text-align: center;"><i>ADEME LVA Lyon Irisbus Vibratec MicrodB</i></p>	<p style="text-align: center;"><i>Emmanuel Thibier Quentin Leclère Laurent Bléandonu Mickaël Thivant Sébastien Paillasseur</i></p>	<p style="text-align: center;">48</p>

### CONTACTS MICRODB

Redacteur	Approuvé par
<p style="text-align: center;"><i>Lucille Lamotte</i></p>	<p style="text-align: center;"><b>Irisbus-Laurent Bléandonu</b></p>



## 1. Résumé

### 1.1.1. Contexte

La circulation des véhicules urbains hybrides et les nouvelles technologies associées vont induire de nouvelles sources de bruit acoustiques qu'il est nécessaire de maîtriser afin d'assurer un confort aussi bien pour les passagers en bruit intérieur que pour l'environnement en bruit extérieur.

Actuellement, l'approche de réduction de bruit pour les véhicules urbains se fait expérimentalement. Bien qu'un nouveau pôle calcul ait été créé par Irisbus, cette démarche va se poursuivre tant que le véhicule ne sera pas analysé dans sa globalité, en considérant le véhicule comme l'assemblage de différents composants qui interagissent entre eux, avec des transferts solidiens et aériens. Cet assemblage oblige donc d'établir un diagnostic expérimental qui prenne également en compte ces interactions.

Le projet Acoubus qui vise à améliorer les méthodes expérimentales actuelles s'est donc intéressé à deux volets :

- la contribution des sources acoustiques en émission directe dans l'habitacle en roulage pour le bruit intérieur (panneaux, vitres, portes...) et à l'extérieur du véhicule au bruit de passage (contact chaussée, sources aéroacoustiques, bruit moteur...),
- l'identification des voies de transfert depuis les sources originelles (moteur, accessoire, roulement,...) vers des capteurs cibles en bruit intérieur.

L'objectif de ce projet est de réduire le temps passé sur chacun de ces volets très long et fastidieux avec les méthodes employées. Pour l'identification des zones les plus émissives acoustiquement, une méthode des masques au plomb avec retrait partielle de chacune d'elle permet à Irisbus d'évaluer leur contribution au bruit intérieur. Pour l'identification des voies de transfert, une méthode dite TPA (Transfer Path Analysis) est appliquée ponctuellement car elle nécessite une campagne de mesure de plus d'une semaine. Sinon les transferts sont identifiés par tâtonnement (suppression d'une source pour mesurer son impact avec par exemple séparation du bruit de roulage du bruit moteur).

### 1.1.1. Objectifs

Les **innovations** que devaient apporter le projet par rapport aux méthodes appliquées avaient **pour objectif de réduire le temps de mise en œuvre de la mesure**, mais aussi du **choix des meilleures solutions pour réduire le bruit**. Ces objectifs chiffrés visés donc à **réduire par 4 le temps de mise au point d'un véhicule pour réduire de 8 dB le niveau global de bruit**.

Pour réduire ce temps de mise au point, plusieurs axes de développements ont été proposés. Le premier s'intéresse à **remplacer la méthode des masques par une méthode d'imagerie acoustique en habitacle** opérationnelle en roulage. Pour que





cette dernière soit aussi performante en terme de résultats que la méthode des masques, **une dynamique de 12 dB** est visée.

Le deuxième axe de développement s'attache à la **maîtrise de l'émission extérieure au bruit de passage**. Il n'y a pas actuellement de méthodologie chez Irisbus. **L'imagerie**, utilisée en **bruit de passage** dans l'automobile et l'aéronautique peut être un outil utile qui sera testé.

Sur le volet de **l'identification des voies de transfert**, d'autres **méthodes utilisées dans l'automobile, plus rapides mais moins riches en informations que la méthode dite TPA** sont proposées. Elles doivent être **validées dans le cas d'une application bus et assurer un facteur 3 sur leur mise en œuvre**. Une approche aussi visant à coupler imagerie acoustique et analyse de voie de transfert pourrait accélérer le processus d'identification des sources.

Enfin, le dernier axe de travail concerne la phase de **mise en œuvre de ces méthodes**. Il implique tout d'abord le **développement d'outils industriels** pour intégrer les nouvelles méthodes expérimentales mises au point afin que le gain de temps puisse être optimal. Ensuite, il implique de **s'investir concrètement dans la mise au point de deux véhicules hybrides en développement**, en utilisant ces outils. **Le premier prototype** est analysé en début de projet afin de **se confronter aux difficultés de mise en œuvre**, le **second** en fin de projet afin de **quantifier les gains obtenus par le présent projet de recherche**. Enfin, la mise en œuvre s'intéresse également à la **modélisation de solution locale** basée sur les résultats expérimentaux et leur validation.

### **1.1.2. Mise en œuvre et résultats**

Le laboratoire d'acoustique et de vibration (LVA) de l'INSA de Lyon s'est donc intéressé aux développements des nouvelles méthodes sur les volets imagerie intérieur et voie de transfert alors que les sociétés MicrodB et Vibratex se sont concentrées respectivement sur la mise en œuvre des méthodes de contribution des sources acoustiques et d'analyse de voie de transfert. La société Irisbus a mis à disposition les véhicules nécessaires à l'ouvrage et a participé activement dans la validation des méthodes et la mise au point de méthodes alternatives par sous-traitance ou en interne.

Chacun des partenaires de ce projet a essayé d'apporter la meilleure contribution pour atteindre les objectifs visés du projet. Les conditions de mise en œuvre les plus difficiles ont concernées la phase de mise au point des prototypes liés au peu de disponibilité qui ont été offertes. Sur chacun des axes de travail, de nouvelles méthodes ont tout de même été testées, avec plus ou moins de succès car elles n'ont pas toutes apportées le gain espéré mais ont ouvertes de nouveaux axes d'amélioration possibles.





### **Contribution des sources en habitacle par imagerie acoustique en milieu réverbérant :**

Un système de mesure basée sur une double antenne sphérique permet d'acquérir les données en une seule passe lors des roulages. Il est couplé à un outil de numérisation pour la représentation des espaces. En une demi-journée, plusieurs configurations sont mesurées. Le traitement des données est basé sur 2 méthodes. Une première méthode rapide basée sur la formation de voie donne des cartes de localisation des sources et les contributions des zones en niveau de pression. Une méthode inverse quantitative dite ESM plus couteuse en temps de calcul a l'avantage de donner des spectres de puissance, tout en améliorant résolution et dynamique des premières cartes obtenues. Ces deux méthodes couplées sont une bonne base pour localiser et quantifier les sources en habitacle bus de manière rapide afin d'obtenir la contribution acoustique des différents panneaux intérieurs en remplacement de la méthode des masques. Elles pourront encore progresser si les aspects déréverbération et modèle de source sont traités à la suite dans ce projet.

### **Analyse du bruit extérieur :**

Avec l'évolution des normes et des sources liées aux nouvelles technologies hybrides, de nouveaux outils sont nécessaires et notamment des systèmes de mesure permettant de synchroniser les événements intérieurs aux mesures extérieures. Irisbus a élaboré à partir d'un de leur système une telle méthode de synchronisation entre mesure embarquée et système au sol qui apporte des informations intéressantes et permet de mieux comprendre les niveaux de bruit au passage mesurés. L'imagerie qui a été testé lors de ce projet n'aura d'intérêt que lorsqu'elle sera également couplée à des données embarquées, notamment pour réaliser de l'imagerie référencée qui renseigne sur l'origine de la source.

### **Analyse des voies de transfert :**

A la méthode classique dite TPA (Transfert Path Analysis), une méthode simplifiée mais moins riche en information dite OPA (Operational Path Analysis) a été expérimentée en laboratoire en comparaison à la première. L'avantage premier de rapidité de sa mise en œuvre pouvait séduire mais des cas tests reflétant le mixage des sources tels que rencontré dans un véhicule ont mis en évidence le principal défaut de cette méthode. Le couplage de l'OPA à l'imagerie a également été testé mais sans apporter de solution au problème des sources corrélées. Il n'a donc pas été jugé utile de poursuivre dans l'industrialisation de cette méthode. En remplacement, une méthode d'imagerie référencée a été développée et testée en bus ainsi qu'une alternative entre TPA et OPA. Les résultats n'ont pas été très probants puisqu'ils n'ont pas permis de détecter les principales voies de passage d'une source prédominante sur le deuxième prototype. Même si le gain de temps attendu est possible avec ces méthodes, elles ne permettent





pas d'atteindre le deuxième objectif de réduction de bruit de par le manque de pertinence des résultats obtenus.

#### **Analyse des premiers prototypes hybrides :**

De par le manque de disponibilité des prototypes, la démarche complète d'analyse acoustique et vibratoire d'un prototype puis la mise en œuvre de solution s'est faite sur deux bus. Une analyse TPA a été mise en œuvre sur un premier prototype Hynovis, couplant un moteur thermique monté transversalement et un moteur électrique. Une quarantaine de jour a été utile à cette analyse mettant en avant le problème majeur de cette méthode. Elle a mis en avant une composante bruit intérieure de nature aérienne plutôt haute fréquence. Quelques solutions ont été proposées mais sans pouvoir les valider. Elles mettaient notamment en garde du filtrage entre moteur et châssis, problème qui se retrouvera sur le deuxième prototype Citelis diesel. La principale composante solidienne vers 400 Hz liée au système de refroidissement n'a pas été prise en compte comme source dans l'analyse mettant en avant une autre difficulté de cette méthode. En parallèle aux essais en roulage, une campagne d'imagerie acoustique au bruit de passage a été menée. Elle a peu apporté dans l'analyse des composantes du bruit extérieur.

Avec le deuxième bus hybride Citelis, une campagne en roulage a permis de valider le nouveau système de mesure d'imagerie intérieure et de localiser les zones de faiblesse intérieures entre 200 Hz et 5 kHz: la porte, la paroi face au moteur électrique. Par contre, l'origine des niveaux acoustiques très basse fréquence n'a pas pu être identifiée par cette méthode, une analyse TPA aurait pu apporter une réponse. Une campagne au bruit de passage de ce prototype a également permis de tester le nouveau système de mesure synchronisée entre capteurs embarqués et bruit extérieur. Ce type d'outil permet de mieux interpréter les niveaux acoustiques mesurés et répondre aux futures normes.

#### **Analyse du deuxième prototype Citelis euro6 :**

Ce deuxième prototype était un nouveau cas d'étude intéressant car il présentait un niveau de bruit supérieur de 4 dB aux objectifs. La principale source de bruit intérieur est liée au renvoi d'angle entre le moteur transversal et le pont, avec une émergence de plus de 20 dB vers 1000 Hz. Une semaine de mesure sur piste a permis de déployer le système d'imagerie intérieure et 2 méthodes alternatives entre TPA et OPA. Plusieurs configurations ont été testées. L'analyse des voies de transfert a montré une défaillance des plots de filtrage, mettant en cause une hypothèse des méthodes TPA déployées pour une analyse plus poussée. Par contre, l'analyse des contributions des différents panneaux intérieurs par imagerie a clairement identifiée la porte comme source majeure. Son masquage a confirmé le gain possible de 2 dB calculé par simulation. L'imagerie référencée a mise également en avant un problème de circuit de refroidissement.





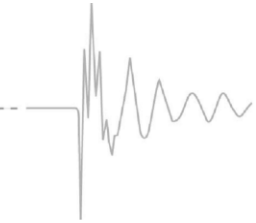
## Sommaire

<b>1. Résumé</b>	<b>3</b>
1.1.1. Contexte	3
1.1.1. Objectifs	3
1.1.2. Mise en œuvre et résultats	4
<b>2. Introduction</b>	<b>9</b>
<b>3. Contribution des sources en habitacle par imagerie acoustique en milieu réverbérant</b>	<b>10</b>
3.1. Etat de l'art et choix des méthodes	10
3.1. Méthode de localisation et quantification des sources	13
3.1. Conclusions et perspectives	17
<b>4. Analyse du bruit extérieur</b>	<b>18</b>
4.1. Contexte	18
4.2. Imagerie au bruit de passage	18
4.3. Synchronisation bruit extérieur et données embarquées en bus	20
4.4. Conclusions	21
<b>5. Analyse des voies de transfert</b>	<b>23</b>
5.1. Analyse d'une méthode opérationnelle dite OPA	23
5.2. Analyse d'une méthode TPA simplifiée	25
5.1. Conclusions	27
<b>6. Mise au point sur prototype bus hybrides Hynovis et Citellis à partir des méthodes disponibles en début de projet</b>	<b>29</b>
6.1. Définition du bus hybride hydraulique Hynovis	29
6.2. Définition du bus hybride Citellis	30
6.3. Mise en œuvre d'une analyse TPA sur Hynovis	30
6.4. Mise en œuvre de solutions potentielles	32
6.5. Mise en œuvre d'une analyse bruit intérieur dans le Citellis	33
6.6. Conclusion	35
<b>7. Mise au point sur prototype bus Citelis diesel Euro 6</b>	<b>36</b>
7.1. Définition du bus Citelis diesel Euro 6 et objectifs	36
7.2. Analyse des voies de transfert	37
7.3. Analyse par imagerie acoustique	38
7.1. Mise en œuvre de solutions potentielles	42
7.2. Conclusions	43
<b>8. CONCLUSIONS</b>	<b>44</b>



<b>ANNEXE 1 : Liste des livrables .....</b>	<b>45</b>
<b>ANNEXE 2 : Liste des publications relatives au projet .....</b>	<b>47</b>





## 2. Introduction

Le projet de recherche Acoubus financé par l'ADEME s'intéresse au *Moyen d'imagerie pour la mise au point acoustique des véhicules industriels: application au bus hybrides* et au-delà avec la compréhension global de l'émission acoustique d'un bus en roulage, de l'origine des sources mécaniques, aérauliques, de contact jusqu'à l'émission en bruit intérieur ou extérieur en déterminant les voies de passage. Les axes de recherche proposés initialement dans ce projet visent à améliorer le processus expérimental en place chez Irisbus. Le développement et la mise au point de nouvelles méthodes se font en parallèle de l'analyse dans le cadre de ce même projet d'un premier véhicule hybride prototype, puis d'un véhicule diesel Euro 6, le second prototype ayant pris trop de retard dans son développement par rapport au projet.

Le présent document constitue la synthèse de ce projet et regroupe au travers de 5 chapitres les travaux et principaux résultats obtenus. Ils reprennent la trame du découpage en tâche de ce projet donné dans l'annexe technique de la convention. Les trois premiers chapitres sont dédiés à la mise au point de nouvelle méthode et les deux derniers à la mise au point des bus prototype :

- **Contribution des sources en habitacle par imagerie acoustique en milieu réverbérant, tâches 1.1, 1.2, 1.3, 2.1 (LVA et MicrodB) :** Remplacer la méthode des masques pour gagner un facteur 4 sur la durée de mise au point en développant une méthode d'imagerie quantitative avec une bonne dynamique (12 dB)
- **Analyse du bruit extérieur, tâche 2.3 (MicrodB et Irisbus) :** Fournir une interprétation des résultats au bruit de passage
- **Analyse des voies de transfert, tâches 1.4 et 2.5 (LVA, MicrodB et Vibrattec) :** Remplacer la méthode TPA pour gagner un facteur 3 sur durée de l'essai en s'intéressant à la méthode OPA
- **Mise au point prototype bus hybride à partir des méthodes disponibles en début de projet, tâches 2.2, 2.4, 3.1, 3.2, 3.3 (Irisbus, Vibrattec et MicrodB) :** Utiliser les méthodes TPA, d'imagerie et de modèles locaux sur un bus hybride pour en réduire les niveaux de bruit
- **Mise au point prototype bus Diesel Euros 6 et validation des nouvelles méthodes développées dans le projet, mise au point de solution, tâches 2.4, 2.5, 3.1, 3.2, 3.3 (Irisbus, Vibrattec et MicrodB) :** Valider les nouvelles méthodes d'imagerie et d'analyse de voie de transfert au travers de l'analyse d'un bus Euro 6, diminuer les niveaux de bruit.

Les livrables associés à chaque tâche sont listés en annexe 1 et référencés au travers des différents chapîtres. La liste des publications relatives au projet est données en annexe 2.





### 3. Contribution des sources en habitacle par imagerie acoustique en milieu réverbérant

#### 3.1. Etat de l'art et choix des méthodes

Le [Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 11 biblio.pdf](#) est attaché à deux aspects intervenant en imagerie en milieu réverbérant : techniques d'imagerie en espace clos (méthodes et antennes) et méthodes de déréverbération et modélisation acoustique des espaces clos.

Les méthodes d'imagerie ont été répertoriées suivant 4 catégories : la formation de voie ou méthode rétropropagation point à point, les méthodes inverses dans lesquels intervient l'inversion d'une matrice de transfert entre les points mesurés et une distribution de sources potentielles, l'holographie acoustique ou méthode de rétropropagation du champs acoustique mesuré et la méthode d'intensimétrie par balayage. Elles sont généralement associées à une antenne de mesure et pour travailler en espace clos, les antennes 3D sont préférées aux antennes planes afin de différencier les ondes incidentes et réfléchies par les parois réverbérantes.

Dans ce projet, l'acquisition du champ de pression global doit se réaliser à partir d'une seule mesure avec une position fixe d'antenne pour répondre à la contrainte de temps. Une antenne sphérique rigide est donc à la base du système d'imagerie. Les méthodes dites d'holographie ne pouvant se coupler à ce type de mesure n'ont pas été retenues. Une méthode de localisation des sources type formation de voie est intéressante pour une analyse rapide. En début de projet MicrodB dispose d'une telle méthode avec une antenne sphérique rigide. Dans l'optique d'améliorer cette dernière mais également de quantifier les sources, d'autres méthodes ont été investiguées dans ce projet. MicrodB s'est attaché à améliorer les méthodes de formations de voie. Seules les méthodes inverses peuvent offrir des résultats quantitatifs. La simplicité de mise en œuvre et la rapidité de calcul de l'ESM (Equivalent Source Method) face aux méthodes BEM (Boundary Element Method) ont orienté le travail de thèse d'Antonio Peirera au LVA à adapter cette méthode jusqu'alors déployée en 2D à une distribution de source 3D.

Concernant la déréverbération, difficulté majeur en espace clos, il est nécessaire de modéliser l'espace par un modèle déterministe dépendant d'un grand nombre de paramètres normalement inconnus. Les différentes approches pour la modélisation acoustique des espaces clos peuvent être divisées selon trois catégories principales. Leur application dépend de la bande de fréquence d'analyse :

- modélisation basée sur l'équation d'onde en basse fréquence : elle est complexe et ne peut répondre dans le cadre de cavité complexe,
- les modèles des rayons en moyenne fréquence : il s'agit des méthodes des sources images ou du tir de rayon. Elles sont bien adaptées aux cavités assez larges et





modélisent géométriquement la propagation des ondes acoustiques avec leurs réflexions. La difficulté est d'associer un coefficient de réflexion, en lien avec le coefficient d'absorption.

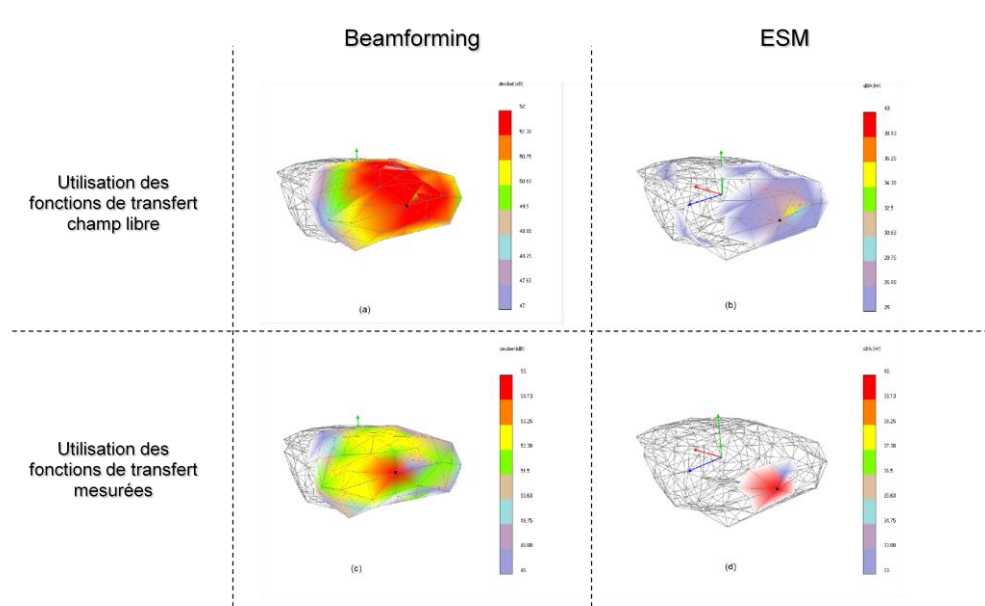
- les modèles statistiques : Des modèles statistiques tentent de simplifier cette tâche en diminuant le nombre de paramètre. Par exemple, des approches simples utilisées pour la parole en salle se basent sur le paramètre temps de réverbération indépendamment de la fréquence ou bien la directivité de la source. Si elles répondent bien à la problématique de l'acoustique des salles et de la parole, elles ne sont pas applicables dans le cas de sources diffuses et larges bandes.

Une autre approche expérimentale consiste à mesurer les fonctions de transfert entre distribution de sources potentielles et points de mesure. Ensuite, ces fonctions sont utilisées dans le modèle de propagation.

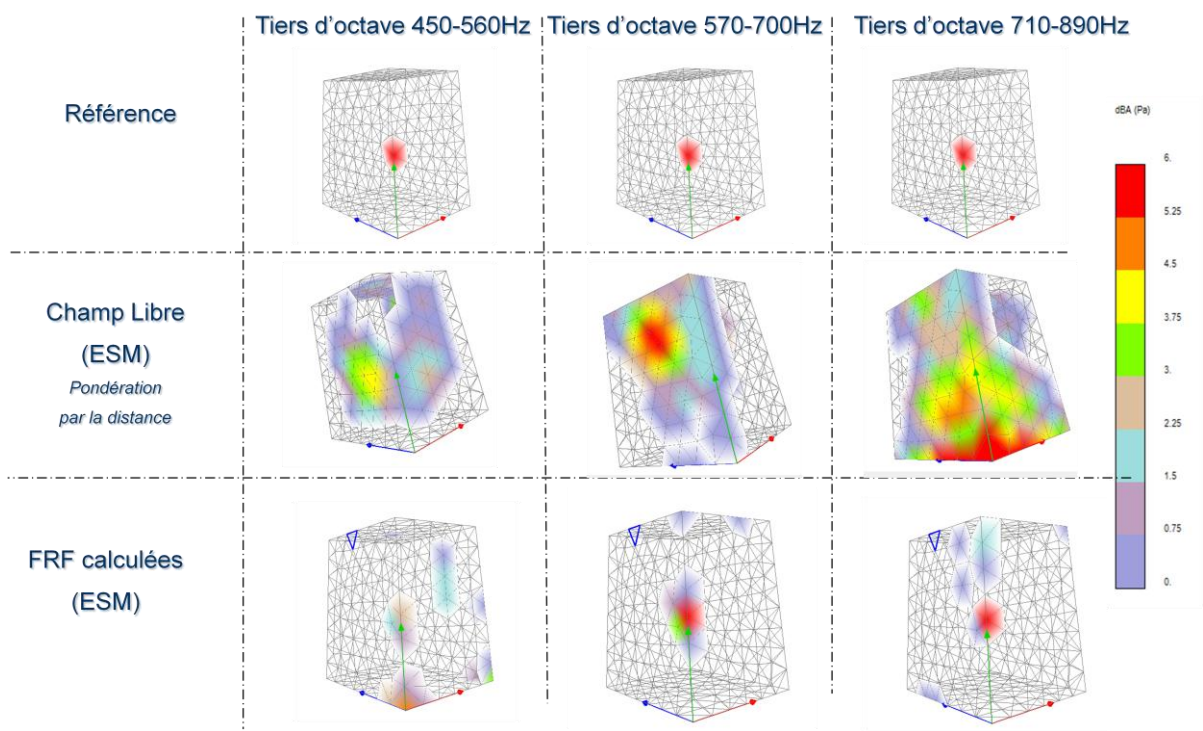
Cette première approche a été validée dans le cadre de ce projet lors d'un stage effectué à MicrodB (résultats présentés lors de la réunion de juillet 2012 et synthétisés **Figure 1**). Elle a montré l'intérêt de considérer la réverbération pour améliorer les résultats. D'autres méthodes de modélisation type FEM ont été investiguées dans la continuité du stage mais sans aboutir à une solution finale. MicrodB poursuit actuellement son travail de recherche dans ce sens en s'intéressant au tir de rayon. Le LVA n'a pas été au-delà de la bibliographie pour cet axe de recherche car la mise au point de méthodes ESM en cavité s'est confrontée à de nombreuses difficultés dont la résolution a constitué l'essentiel du travail comme le détaille le chapitre suivant. Le rapport ne reviendra donc pas sur ces aspects de déréverbération.

Cette étude bibliographique a été complétée d'une analyse des brevets dont la synthèse est faite dans le [Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS MICRODB 11 analyseBrevets.pdf](#). Elle a mise en avant un nombre de brevets déposés assez faible, la majorité concernant l'imagerie en milieu extérieur. Ils ont de plus une portée limitée : ils n'ont pas de réels avantages concurrentiels ou sont trop génériques. Et même s'ils cherchent à couvrir une démarche expérimentale complète comme MicrodB a tenté de le faire avec un brevet sur la méthode formation de voie couplée à une sphère il est ensuite difficile de se protéger par cette propriété comme l'a démontré la démarche initiée à l'encontre de la société Brüel&Kjaer qui possède un système très proche.





Localisation sur la plage [450-560 Hz] pour une excitation dans un coin de la voiture



**Figure 1: Résultats issus de la présentation de juillet 2012 par MicrodB: comparaison de résultats de localisation de source artificielle à partir de fonctions de transfert champ libre, mesurées et calculées par FEM**





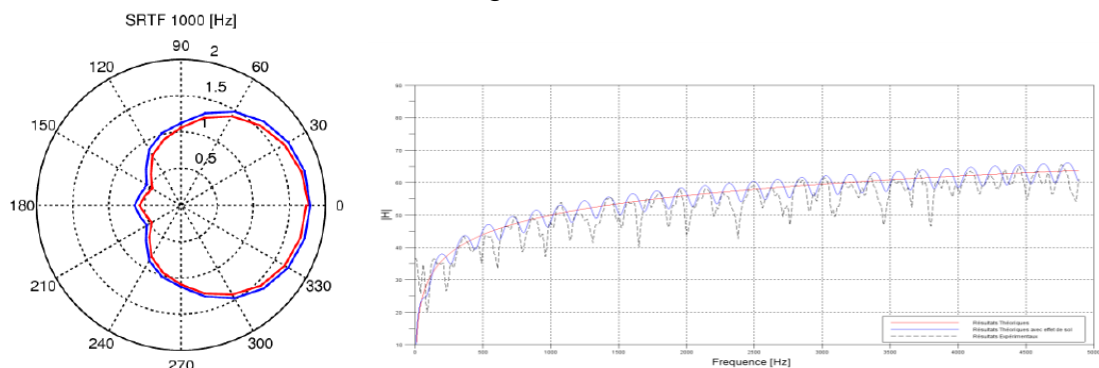
### 3.1.Méthode de localisation et quantification des sources

La méthode de localisation est initialement donc basée sur une antenne sphérique rigide, avec une seule position de mesure. Au démarrage du projet MicrodB possède une antenne sphérique de 30 cm de diamètre avec 36 microphones. Le LVA a réalisé également une antenne sphérique rigide de 29 cm de diamètre avec 31 microphones pour la validation expérimentale (Figure 2).



**Figure 2: antennes de mesure développées par le LVA à gauche et MicrodB à droite**

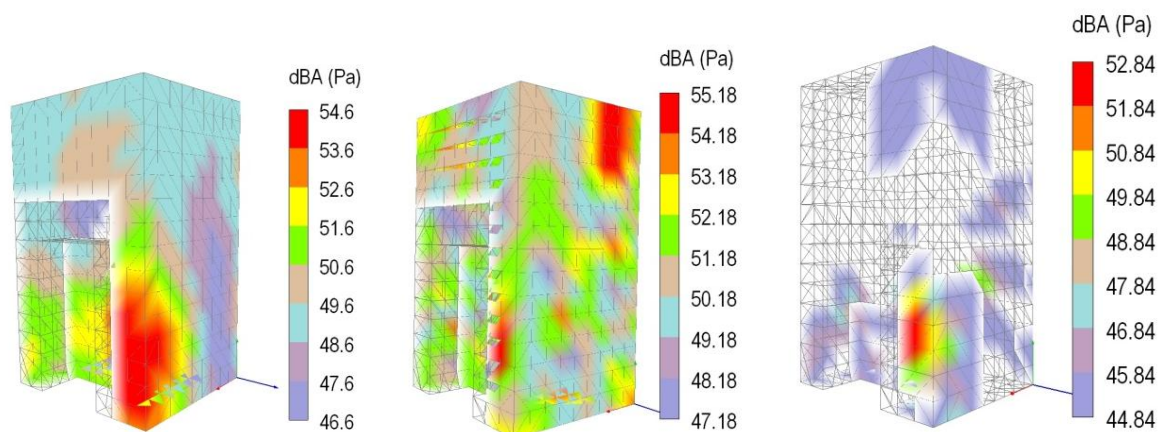
Les mesures de directivité réalisées par le LVA et la validation des fonctions de transfert par MicrodB pour leur sphère respective ont montré l'intérêt d'une antenne sphérique rigide avec une directivité forte en moyenne et haute fréquence et le bon recalage entre théorie et pratique (Figure 3).



**Figure 3: diagramme de directivité pour le tiers octave 1000 Hz mesuré et calculé avec l'antenne du LVA à gauche, comparaison des fonctions de transfert mesuré et calculé pour un point de la sphère MicrodB dans une salle semi-anéchoïque à droite.**



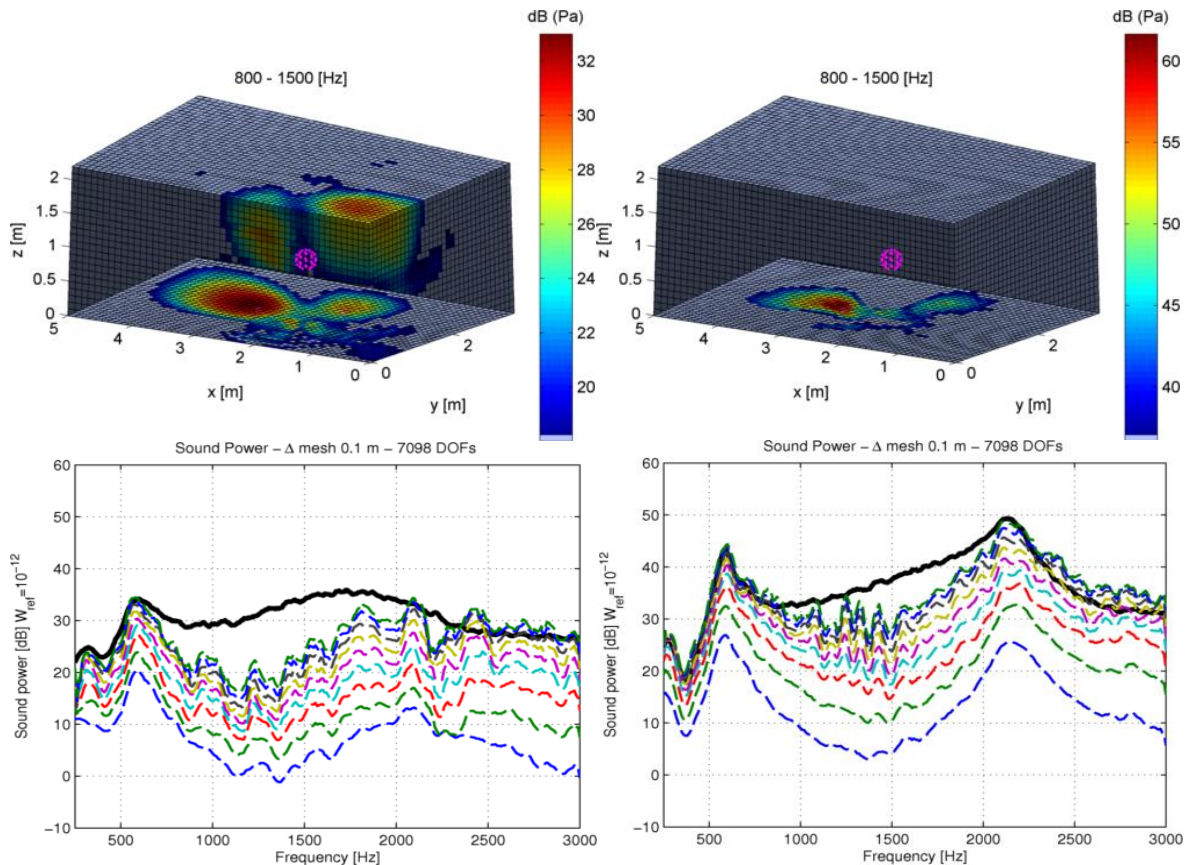
Couplé à une méthode de formation de voie avec prise en compte de la directivité de la sphère, des cartes de pression rétropropagées peuvent être obtenues pour localiser les principales sources de bruit (Figure 4). L'inconvénient est la mauvaise résolution spatiale en basses fréquences (carte à gauche de Figure 4) et la difficulté d'obtenir des résultats quantitatifs. Un bon compromis pour élargir la bande de fréquence d'application est la combinaison d'une sphère rigide de petit diamètre avec une sphère transparente de diamètre plus grand (80 cm afin d'assurer une complémentarité avec la sphère rigide de 30 cm). MicrodB a développé un tel système dans le cadre du projet. De plus, sur une bande de fréquence dans laquelle chacune des antennes offre une performance moyenne, un nouveau traitement dit multiplicatif a été développé pour améliorer les résultats. Il est basé sur la cohérence en un point entre les résultats de propagation de chaque antenne, conservant ainsi la bonne résolution de la sphère rigide et la bonne directivité de la sphère ouverte. Ce système avec les traitements associés utilisé pour l'analyse des bus Citelis sont présentés dans le document [Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS MICRODB 2 module imagerie.pdf](#). Ce nouveau système a fait aussi l'objet d'un dépôt de brevet commun avec la société Airbus, partenaire industriel de la société MicrodB sur ce thème d'imagerie en habitacle. Les avantages d'une méthode par formation de voies sont la rapidité de mise en œuvre, la robustesse et la simplicité. L'inconvénient est la mauvaise résolution spatiale en basses fréquences et la difficulté d'obtenir des résultats quantitatifs. Le LVA a travaillé à améliorer ces aspects là.



**Figure 4 : comparaison des résultats de localisation de source par formation de voie dans une cavité réverbérante avec à gauche une sphère rigide, au centre une sphère ouverte de plus grand diamètre et à droite un traitement multiplicatif.**



La méthode ESM étudiée par le LVA et appliquée en 3D a donc été choisie pour pallier à cette première méthode. Les évolutions de la méthode sont présentées au travers des documents [Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 12 avancement.pdf](#) et [Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 132 Tests Experimentaux.pdf](#). La difficulté est l'inversion d'une matrice de transfert liant la pression acoustique mesurée au débit des sources équivalentes sous conditionnée (plus de point source potentiel que de points de mesure). En 3D, une première faiblesse liée au positionnement proche d'une paroi de l'antenne acoustique à l'intérieur de l'habitacle donne des sources « fantôme » (carte de gauche Figure 5). Afin de s'affranchir de cet inconvénient, une approche basée sur une pondération de la matrice des transferts par la distance entre chaque source équivalente et le centre de l'antenne a été développée.



**Figure 5 : comparaison des résultats de localisation et quantification de 2 sources artificielles (spectre de gauche et droite) en chambre semi-anéchoïque avec et sans itération de la pondération par les débits.**

Une seconde difficulté est apparue avec une erreur dans la quantification des sources comme le montre l'écart entre niveau calculé (pointillé bleu) et référence (courbe





noire) sur les spectres de puissance Figure 5. En effet, le caractère très sous-déterminé du problème cause l'identification de sources équivalentes avec une directivité très prononcée vers la direction de l'antenne et une sous estimation des sources. Une pondération du système d'équations par les résultats d'identification (débit des sources identifiées) a été proposée. Dans ce deuxième cas, la matrice de pondération (dont la diagonale est remplie par le débit calculé pour chaque source) doit être calculée pour chaque fréquence et l'approche est exécutée dans un processus itératif (d'où les courbes successives en pointillées Figure 5). De plus, cette approche permet également d'améliorer la résolution de la méthode ainsi que de pallier à la non-uniformité de la densité de distribution de sources équivalentes.

La méthode ESM a été également stabilisée dans sa phase de régularisation par une approche bayésienne. Les critères Bayésiens pour le réglage du paramètre de régularisation ont permis de mieux régulariser le problème inverse, avec un impact sur la robustesse de la méthode.





### 3.1. Conclusions et perspectives

Les méthodes de formations de voie à partir d'un système de mesure basé sur une double sphère rigide/ ouverte sont dès l'analyse du premier prototype opérationnelles comme le montrera l'analyse faite sur le bus hybride Citelis). Elles permettent un premier diagnostic rapide au cours des mesures. Les bonnes performances de ce système double sphère ont permis d'établir une première méthode de contribution basée sur les cartes de pression testée et validée dans l'analyse du second prototype ([Livrables\Mise au point Proto 2 Citelis Euro6\ACOUBUS MICRODB 36 citelis imagerie.pdf](#)).

Les avantages obtenus avec la méthode ESM par rapport à la formation de voie sphérique sont importants liés à l'objectif de hiérarchisation des sources pour se substituer à la méthode des masques. Une meilleure résolution permet de mieux séparer les sources et affiner la contribution des zones les plus émissives (par exemple la porte d'un bus). Une quantification correcte est essentielle bien évidemment pour obtenir des contributions plus fines. En revanche, l'inconvénient est un temps de calcul beaucoup plus long que la formation de voie, tout en restant inférieur aux temps de calculs requis par des approches inverses plus sophistiqués, type BEM.

Ces temps de calcul ont été un frein à l'utilisation systématique de cette méthode au travers des outils de MicrodB pour l'analyse du deuxième prototype. Le LVA a réalisé quelques analyses de ce type sur les deux prototypes rassemblés dans [Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 132 Tests Experimentaux.pdf](#). Elles ont permis de mettre en avant leur intérêt au-delà d'un cadre académique et ont été très positives dans le projet puisqu'elles ont également soulevé des problèmes non identifiés avec des mesures académiques (densité et forme du maillage, directivité de la source). Au cours du projet, la méthode ESM pondérée par la distance a été intégrée dans les outils MicrodB mais pas la méthode par la pondération itérative. Cette approche est tout de même très intéressante et sera reprise. En parallèle de ce projet, les recherches et progrès réalisés par MicrodB sur la rapidité des temps de calcul en utilisant le calcul parallèle, la puissance des cartes graphiques et un calcul par batch vont permettre d'industrialiser des méthodes plus lourdes comme l'ESM.

Les seules limites de ces méthodes concernent les modèles utilisés. Tout d'abord, la directivité des sources réelles a un impact sur la quantification. D'autre part, la déréverberation n'est pas prise en compte et mènent à des erreurs de quantification et d'identification de sources images par rapport aux sources réelles. Pour avancer encore sur la thématique d'imagerie en cavité, ce sont de réels axes d'amélioration qui n'ont pas eu le temps d'être plus développé dans ce projet.





## 4. Analyse du bruit extérieur

### 4.1. Contexte

Plusieurs éléments évoluent dans la mesure au bruit de passage. Tout d'abord, la procédure de mesure du bruit au passage va être modifiée (se rapprocher de la réglementation R51-03) : les conditions de sortie de zone seront de 35 km/h, et les niveaux maximum admissibles, encore en cours de validation, devraient baisser à 77 dB(A). D'autres lois en marge de la norme se développent : une loi d'accélération réduite pour limiter la consommation de gazole. Et les phénomènes de génération de bruit avec les bus hybrides évoluent : par exemple, lors des homologations en bruit extérieur du Citelis Hybride, le niveau de bruit d'homologation était de 77 dB(A), supérieur au 75,2 dB(A) obtenu lors de l'homologation du Citelis Diesel (entrée à la vitesse de 50 km/h). L'explication tient au mode de fonctionnement du moteur thermique sur l'hybride, non lié mécaniquement à la vitesse du véhicule, mais lié au besoin d'énergie instantané.

Un nouveau système de mesure est donc nécessaire pour améliorer l'analyse au-delà d'un simple sonomètre en lien seulement avec l'information régime moteur et vitesse véhicule.

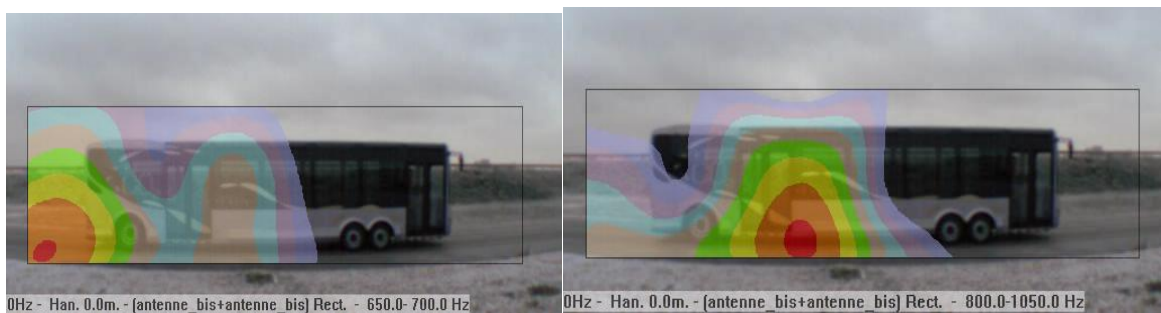
### 4.2. Imagerie au bruit de passage

La méthode d'imagerie acoustique utilisée pour l'analyse du bruit de passage des véhicules permet de définir la contribution des différentes sources : moteur, aérodynamique, de contact chaussée.... Dans le projet Acoubus, il s'agissait pour MicrodB de transférer une méthode développée dans un outil bruit de passage avion vers un démonstrateur bruit de passage pour un véhicule (bus ou autre) et d'en valider l'intérêt dans le cas du bus hybride.

Pour la partie acquisition des données, une antenne optimale a été développée (représentée **Figure 6** pour la mesure Citelis hybride) : elle présente 54 microphones répartis sur 5 branches afin d'obtenir une antenne pliable qui se transporte aisément. Le logiciel intègre une méthode de formation de voie associée à la dédopplérisation des signaux et donne des cartes de bruit par bande de fréquence d'intérêt et sur une sélection courte du passage.



**Figure 6 : mesure du Citelis au bruit de passage pour imagerie acoustique**



**Figure 7 : carte de localisation au bruit de passage du Citelis hybride.**

MicrodB a validé cet outil lors de la campagne de mesure du premier prototype Hynovis. Cette analyse est détaillée dans [Livrables\Bruit Extérieur au Passage\ACOUBUS MICRODB 23 analyse Hynovis.pdf](#). Les résultats de localisation de sources extérieures dont 2 cartes sont présentées Figure 7 ont pu être mis en regard de mesures intérieures simultanées. Leur comparaison montre des émergences fréquentielles identiques entre bruit intérieur et extérieur avec des rapports différents. En basse fréquence, pour les sources d'origine mécanique, la zone extérieure la plus émissive reste l'arrière. Un microphone extérieur donne la même information avec des niveaux maximaux au passage de l'arrière du véhicule. Une singularité apparaît vers la porte et est liée à une source aéroulrique vers 1 kHz, détecté aussi en bruit intérieur. Mais pour les autres sources aéroulriques qui devraient apparaître plus hautes en fréquence, le système donne de très mauvais résultats. Il s'est avéré par la suite qu'ils étaient liés à des problèmes de câblage de l'antenne et la difficile synchronisation avec la trajectoire du bus. De cette analyse, il n'en ressort donc pas beaucoup d'intérêt et ce genre d'analyse n'a pas été reconduit.



### 4.3. Synchronisation bruit extérieur et données embarquées en bus

Pour ses propres besoins et parce qu'aucun outil du marché répond au besoin spécifique d'Irisbus, un nouveau système de mesure basé sur des composants existants a été développé qui permet notamment l'enregistrement synchronisé de données embarquées avec des microphones extérieurs fixes pour corréler les niveaux mesurés aux événements du bus. Le système développé par Irisbus permet d'analyser le niveau de bruit en fonction de la position du bus et de son fonctionnement.



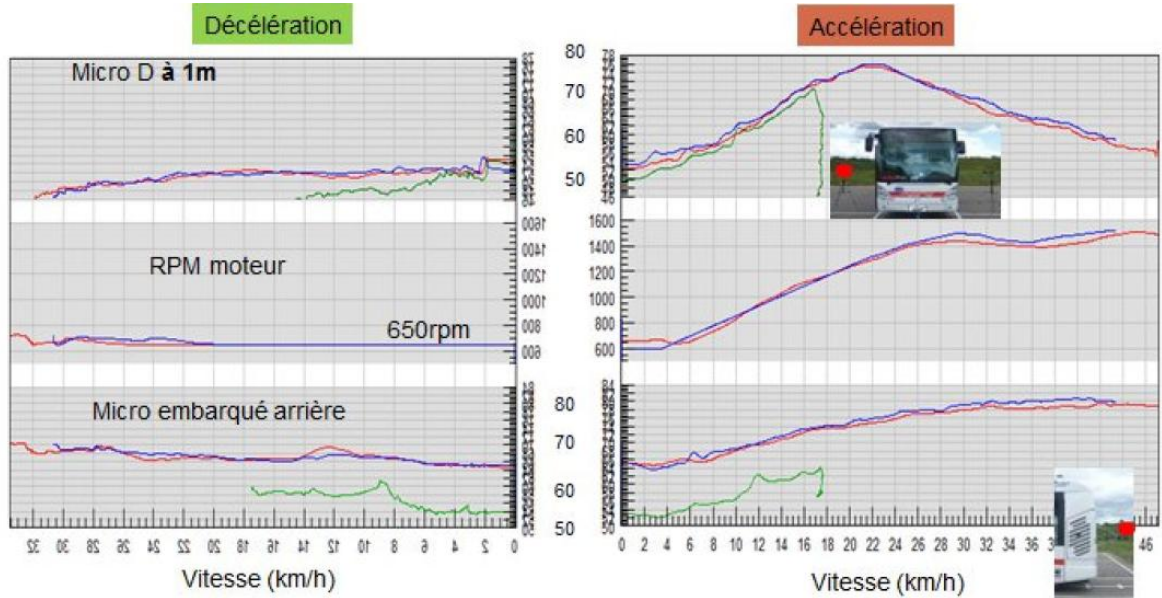
**Figure 8 : mesure au bruit de passage du Citelis hybride.**

Ce système a été utilisé lors de différentes analyses réalisées sur le bus Citelis Hybride électrique (Figure 8). L'analyse détaillée des mesures est rassemblée dans [Livrables\Bruit Extérieur au Passage\ACOUBUS IRISBUS 23 analyse bruit passage.pdf](#). Un exemple de résultats synchronisés est donné en Figure 9. Cette analyse ressort les conclusions suivantes:

- La comparaison norme actuelle, nouvelle norme : La nouvelle procédure baissera les niveaux de bruit réduits sur Citelis Hybride de 1,6 dB(A) environ
- Loi normale / Loi réduite : La loi d'accélération réduite a un effet nul avec la méthode actuelle. Par contre, l'effet est très sensible avec la nouvelle norme, avec une baisse du niveau de bruit jusqu'à 3,7 dB(A). La vitesse en sortie de zone n'est plus que de 32 km/h au lieu de 36 km/h avec la loi normale. Même si les seuils baissent avec la nouvelle norme, elle semble plus favorable dans le cas d'un bus hybride.
- Bruit aux arrêts : les bus ne doivent respecter aucune réglementation mais dans le souci du confort des usagers et riverains, l'analyse des processus existants a montré qu'ils n'étaient pas représentatifs de la gêne avec notamment des valeurs moyennes.
- l'impact sur le bruit d'un fonctionnement stop and go (avec le moteur thermique arrêté aux arrêts, un démarrage sur un mode 100 % électrique afin de réduire les nuisances aux arrêts) : pour que la réduction de bruit soit sensible



en mode 100% électrique, le mode tout électrique doit se prolonger jusqu'à 30 km/h, ceci afin de passer le piéton sur le trottoir au niveau de l'arrêt.

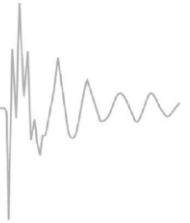


**Figure 9 : Corrélation entre un microphone embarqué, un microphone extérieur et le régime moteur dans les cas de décélération et d'accélération avec différents modes : en bleu le Stop and go, en vert tout électrique, en rouge arrêt au ralenti moteur,**

Suite à cette campagne, les travaux d'Irisbus ont été poursuivis afin d'améliorer la connexion sans fil entre le véhicule effectuant les tours de piste à la Valbonne et le PC au sol fixe. En effet, la perte de signal liée au relief du centre piste n'est pas assez vite récupérée notamment à 50 km/h. Le nouveau système est basé sur un réseau wifi à partir d'une connexion Ethernet. Au sol, les PC accèdent au réseau sur le véhicule dès qu'ils sont à portée. Le document [Livrables\Mise au point Proto 2 Citelis Euro6\ACOUBUS IRISBUS 36 analyse citelis.pdf](#) détaille le nouveau système.

#### 4.4. Conclusions

On peut regretter que les deux systèmes imagerie et mesures intérieures et extérieures synchronisées n'aient pas été validés sur le même bus et que les résultats ne puissent se recouper. Ces travaux montrent tout de même l'intérêt dans les deux cas de corréler les émissions de bruit extérieures caractérisées soit par des cartographies ou des microphones fixes aux données embarquées du bus qu'ils s'agissent de niveaux acoustiques ou vibratoires, de données de fonctionnement ... C'est ce même travail qui a été réalisé en imagerie intérieure en utilisant des voies de référencement et qui devrait apporter un plus sur l'interprétation des cartes de bruit extérieures.



Avec son nouveau système, Irisbus est équipé d'un outil performant pour mieux analyser les niveaux de bruit extérieur mesuré afin de se préparer aux nouvelles normes et au nouveau fonctionnement lié à l'hybridation.



## 5. Analyse des voies de transfert

### 5.1. Analyse d'une méthode opérationnelle dite OPA

Classiquement, l'analyse des voies de transfert passe par une méthode dite TPA (Transfer Path Analysis) qui est très longue de mise en œuvre car elle implique le démontage de la source vibratoire (bloc moteur, pont) en plus des mesures opérationnelles en roulage. Cette méthode a été appliquée dans l'analyse du premier prototype Hynovis, couplée à une détermination des efforts par méthode inverse. Elle est développée dans le rapport [Livrables\Mise au point Proto 1 Hybrides\ACOUBUS VIBRATEC 32 HYNOVIS.pdf](#).

L'avantage essentiel de l'OPA (Operational Path Analysis) comparé à TPA classique est que la partie source (bloc moteur, pont) n'a pas besoin d'être découplée de la structure réceptrice, et les transferts habituellement mesurés sont remplacés par une matrice de transmissibilités, ce qui génère un gain de temps important. La comparaison de ces deux méthodes est détaillée dans [Livrables\Analyse Voie de Transfert\ACOUBUS INSA 14 transferts.pdf](#). La matrice des transmissibilités est formée par les fonctions de transferts entre les signaux mesurés sur les récepteurs cibles et ceux mesurés à proximité des sources. Elle est déterminée à partir de mesures en plusieurs points de fonctionnement pris en roulage lors d'accélération par exemple.

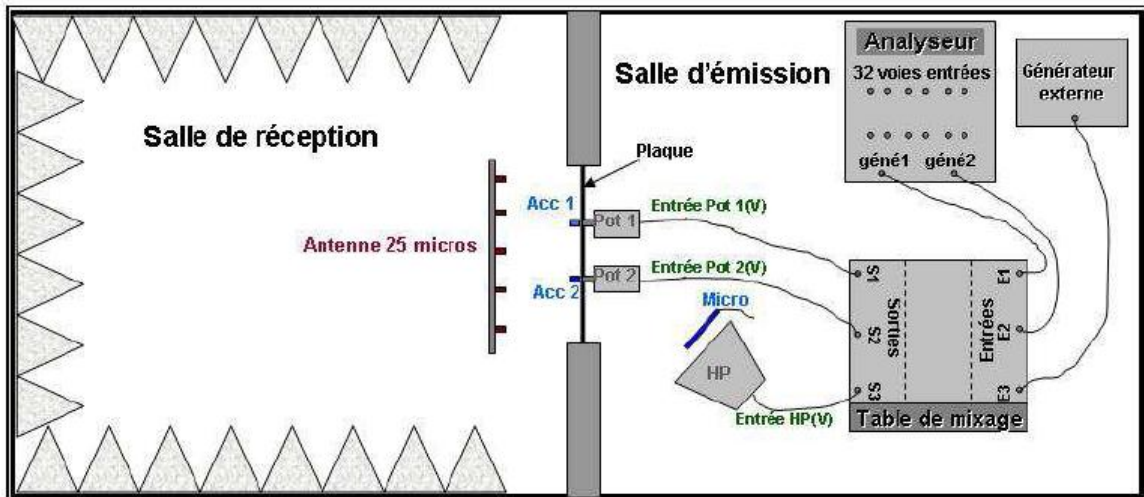
Cependant, si la matrice de transmissibilité entre références et récepteurs peut être correctement identifiée, permettant de reconstruire correctement les niveaux globaux aux récepteurs, elle ne permet pas d'accéder aux contributions propres des différentes voies de passage en cas de corrélation des sources ou de couplage vibratoire par la structure réceptrice. Elle ne permet pas non plus de quantifier distinctement les termes sources et les termes de transfert. Cette méthode est également sensible aux nombres de sources prises en comptes. La méthode doit donc être employée avec d'extrêmes précautions, et les résultats sont sujets à caution. Une étude en laboratoire menée par l'INSA et également détaillée dans [Livrables\Analyse Voie de Transfert\ACOUBUS INSA 14 transferts.pdf](#) met en avant ces différents points.

La méthode OPA s'est donc limitée à une mise en œuvre expérimentale par le LVA, qui a clairement montré que la méthode OPA est peu fiable en cas de corrélation des sources et/ou de couplage via la structure réceptrice. Cette expérimentation mettait en œuvre une plaque placée entre 2 salles de mesure : une salle d'émission (assimilable au compartiment moteur) et une salle de réception (assimilable à l'habitacle bus). 3 sources sont gérées par 3 générateurs indépendants et une table de





mixage permettant de créer beaucoup de cas maîtrisés. Cette expérimentation est présentée ci-après Figure 10.



**Références:**

- Entrée Pot1 (V)
- Entrée Pot2 (V)
- Entrée HP (V)

**Réponses X:**

- Acc Pot1
- Acc Pot2
- Micro

**Réponses Y: 25 micros de l'antenne**

**Figure 10 : schéma de l'expérimentation académique pour la comparaison des méthodes OPA et TPA au LVA.**

Le couplage de l'OPA à une méthode d'imagerie, c'est-à-dire substituer aux capteurs de références les points de pression calculés sur la carte de localisation offre la possibilité d'utiliser une combinaison linéaire de signaux. Elle a pu être également mise en œuvre grâce à l'antenne de mesure acoustique placée dans la salle réceptrice. Elle semble être une approche à fort potentiel pour les méthodes basées sur les transmissibilités. D'autres méthodes d'imagerie que la formation de voie pourrait améliorer encore les résultats. Par contre, elle ne modifie pas le problème du mixage et n'apporte pas d'amélioration dans le cas de l'analyse des voies de transfert du bus. La synthèse de cette méthode est donnée dans une publication du LVA ([Publications\ACOUBUS INSA 15 synthese annexes.pdf](#)) dont un résultat est extrait en Figure 11.



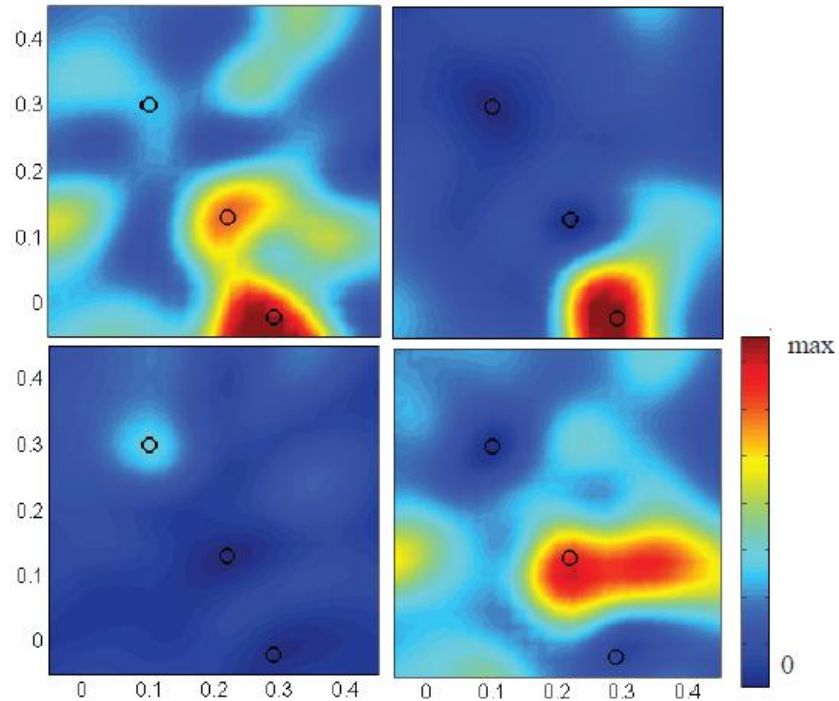
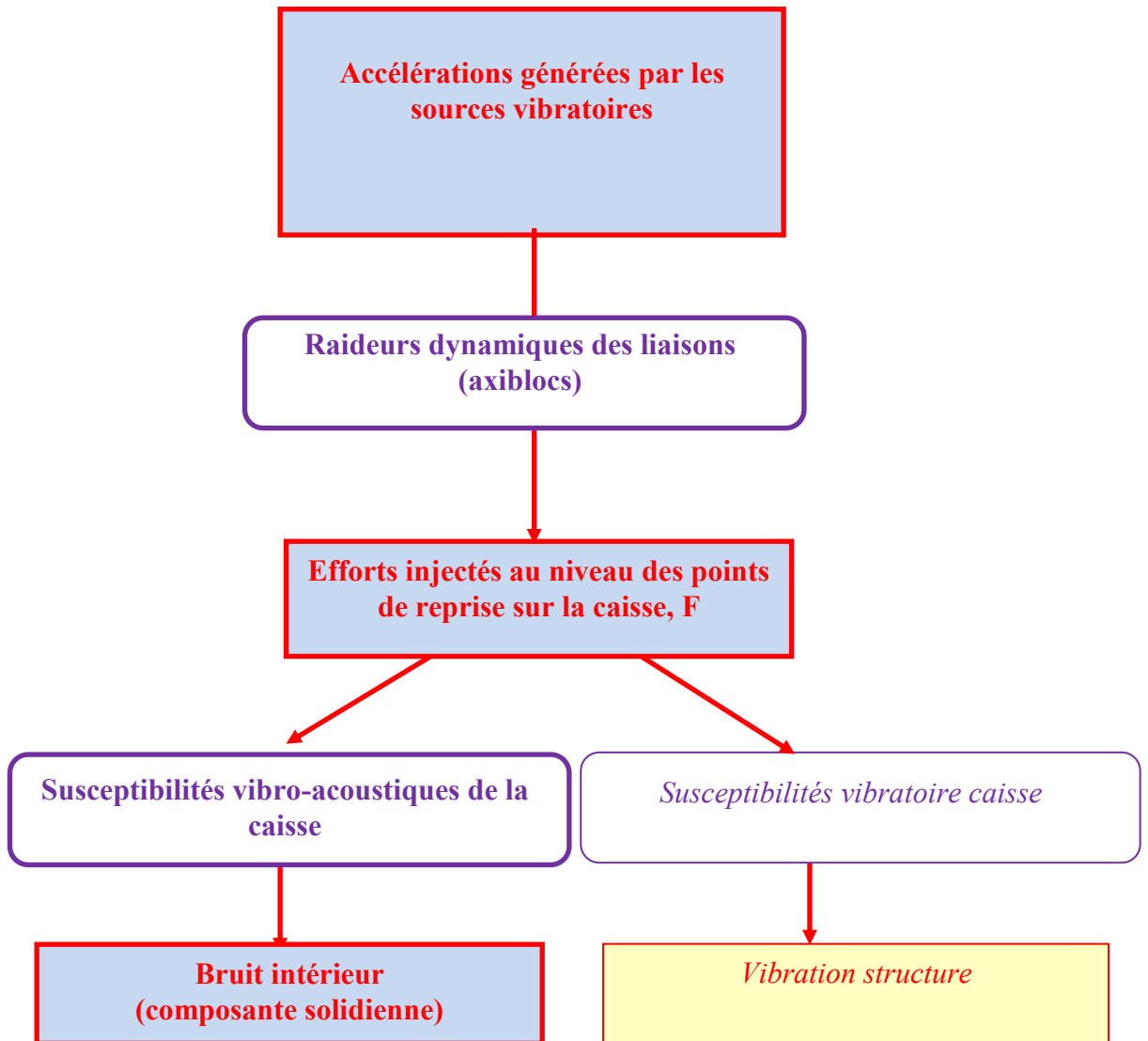


Fig. 4 - Beamforming results for the target excitations configuration  $\{111\}$ ,  $[1500\ 2500]$  Hz. Measurements (top left), identified contributions of shaker #1 (top right), shaker #2 (bottom left), and loudspeaker (bottom right).

**Figure 11 : extrait de la publication InterNoise 2012 « Application of the Transmissibility concept to acoustic array measurements ».**

## 5.2. Analyse d'une méthode TPA simplifiée

Suite à ces résultats théoriques peu encourageants pour l'application d'une méthode OPA dans le cas de l'analyse des voies de transfert d'un bus, Vibratéc a finalement déployé deux méthodes dérivées de TPA lors de l'analyse du second prototype (Citelis Euro6) mais sans recourir au démontage des sources. Elles sont détaillées dans Livrables\Mise au point Proto 2 Citelis Euro6\ACOUBUS\_VIBRATEC\_34\_analyse\_citelis.pdf. Chacune d'elle reprend les trois étapes d'un TPA classique avec quelques simplifications et le calcul des contributions des sources aériennes n'est pas considéré. Le schéma tiré du rapport précédemment cité rappelle les étapes d'un transfert solide.



**Figure 12 : Synoptique de transfert solidien**

La première méthode dite des raideurs dynamiques utilise les raideurs théoriques des liaisons ainsi que les accélérations en amont/aval pour déterminer des efforts transmis. Les transferts vers les récepteurs cibles sont mesurés par réciprocity et sans démonter les liaisons, ce qui génère un gain de temps très important mais aussi des erreurs potentielles si quelques précautions ne sont pas prises. D’une part, les résultats en terme de contribution peuvent être faussés par le couplage vibratoire entre la source



et la structure d'accueil lorsque le découplage par la liaison n'est pas effectif. Pour cette raison le filtrage doit être validé avant de procéder ainsi. D'autre part, la difficulté de mettre en vibration un bus par une source acoustique ou des sources de bruit extérieure peuvent amener des écarts en mesure réciproque par rapport à la mesure directe.

Enfin en dernière étape, la contribution des différentes voies de transfert au point récepteur cible est ensuite calculée par simple multiplication des termes de sources et de transfert.

La deuxième méthode appelée OPAX est analogue à la méthode des raideurs dynamiques, mais elle permet dans la première étape de calculer les raideurs dynamiques des liaisons lorsque celles-ci ne sont pas connues à priori.

Ces deux méthodes sont plus proches de TPA que d'OPA dans l'esprit, mais la mesure réciproque des transferts sans démontage des sources permet un gain de temps de mesure très important : les mesures de diagnostic ont été réalisées en 3 jours, contre 3 semaines environ pour le premier prototype, pour lequel une méthodologie classique avait été déployée (TPA avec détermination des efforts par méthode inverse avec démontage des sources).

Le gain est donc très important, mais il s'avère que la mesure des transferts sans démontage génère des erreurs lorsque la filtration par les liaisons n'est pas efficace. C'est ce qui a pu être vérifié dans la mesure du prototype 2 Citelis Diesel Euro6. Cette filtration doit donc être absolument vérifiée, par la comparaison des accélérations amont-aval des liaisons en fonctionnement.

## 5.1. Conclusions

Dans le cas de TPA, l'estimation des fonctions de transfert entre les réponses et les efforts injectés implique de découpler la source et le récepteur donc des mesures lourdes. Dans le cas de l'OPA, l'analyse des chemins de transfert est basée sur l'utilisation des transmissibilités définies comme le rapport entre les réponses et les réponses proches des voies de transfert. Le principal avantage de l'OPA réside donc dans sa facilité et sa rapidité de mise en œuvre. La méthode TPA reste cependant la seule méthode réellement fiable pour l'analyse des voies de transfert dans le cas complexe d'un bus où les sources sont fortement corrélées. La simplification de TPA (pas de démontage, mesure par réciprocity) va dans le bon sens (gain de temps, conservation du schéma sources-transferts-contributions) mais doit être améliorée pour prendre en compte un éventuel couplage fort par des liaisons mal dimensionnées. Le concept d'efforts bloqués, qui peuvent être déterminés par une méthode inverse sans démontage, semble être une bonne piste pour les actions futures.



Les développements en OPA ont ouvert cependant des axes d'améliorations en couplant cette dernière à l'imagerie acoustique ou à une analyse en composante principale qui pourront être utiles à d'autres analyses de voie de transfert pour lesquelles le couplage est moins fort.



## 6. Mise au point sur prototype bus hybrides Hynovis et Citellis à partir des méthodes disponibles en début de projet

### 6.1. Définition du bus hybride hydraulique Hynovis

Le bus Hynovis hybride hydraulique électrique a 5 phases de fonctionnement bien comprises par la présentation schématisée ci-dessous en Figure 13 et activable depuis l'applletif [Livrables\Mise au point Proto 1 Hybrides\IVECO HybridBus\\_UK\\_mouse.exe](#). Ce bus a donc un moteur diesel en position transversale, avec une suspension pendulaire, nouvelle architecture chez Irisbus, mais couplage préconisé et implémenté dans l'automobile.

Ce bus a été mis à disposition pour le projet entre septembre et décembre 2010. Il a permis de réaliser une analyse par une méthode bruit intérieur par une méthode TPA et bruit extérieur par une imagerie bruit de passage. Puis il a été indisponible et les autres méthodes imagerie intérieure et analyse bruit de passage par système synchronisé cateur intérieur/extérieur ont donc dues être validées sur un deuxième prototype Citelis hybride.

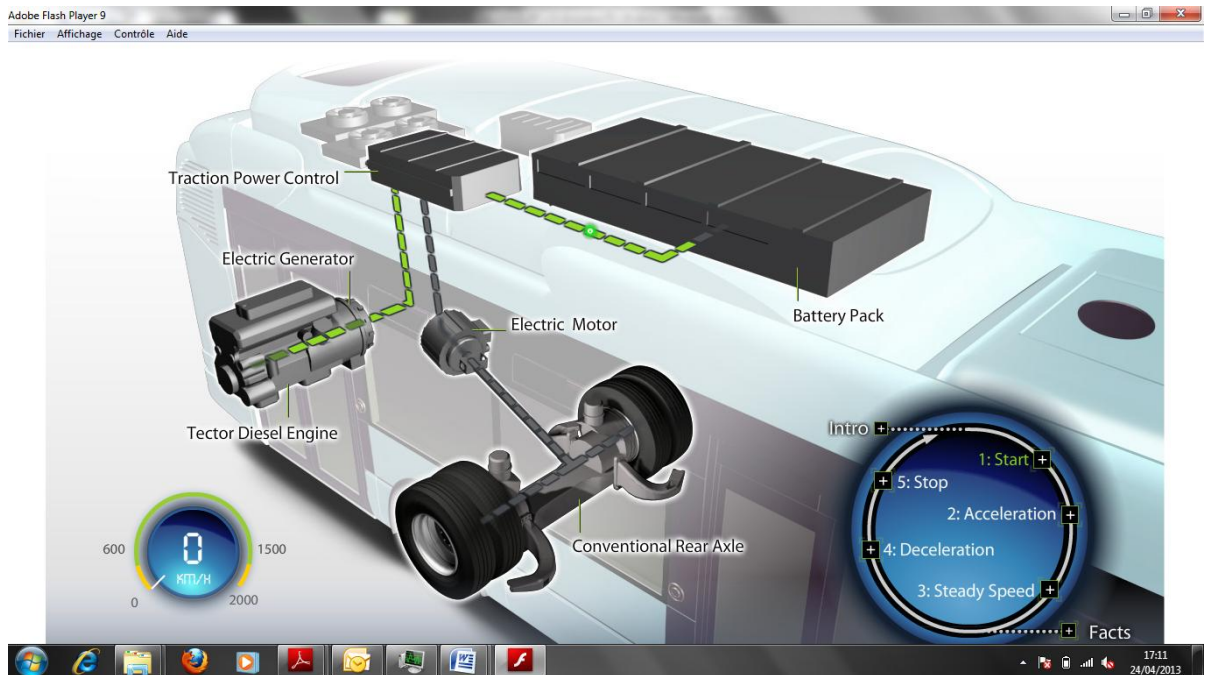
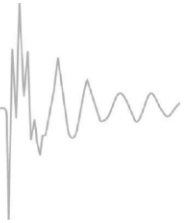
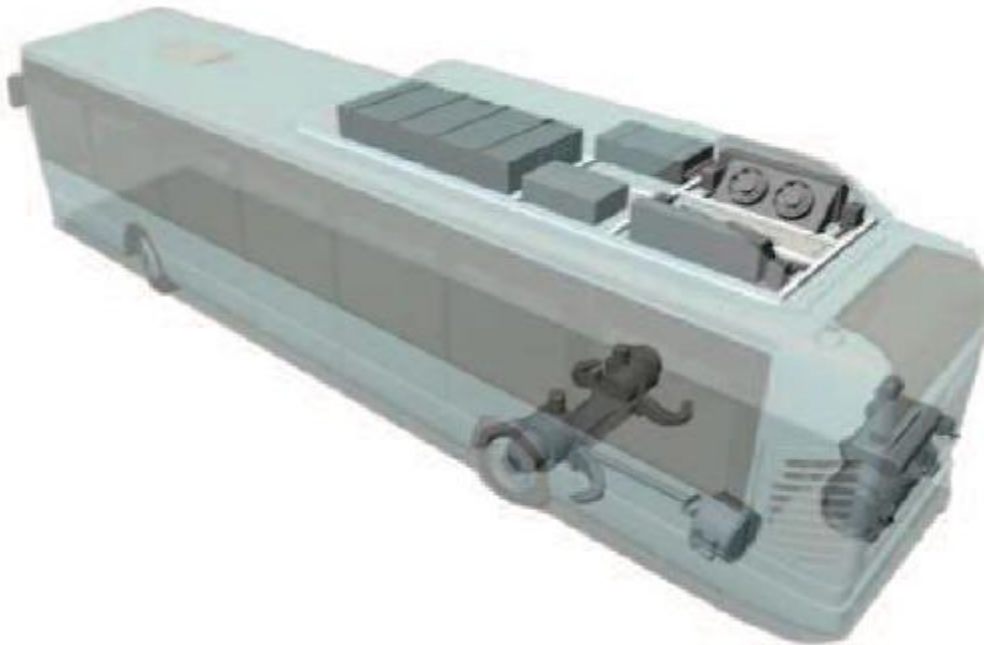


Figure 13 : schéma de fonctionnement du bus hybride Hynovis



## 6.2. Définition du bus hybride Citelis



**Figure 14 : fonctionnement du bus hybride Citelis**

## 6.3. Mise en œuvre d'une analyse TPA sur Hynovis

Une analyse classique TPA a été mise en œuvre par Vibratéc lors de la mesure du prototype 1 Hynovis afin de définir les principales sources à l'origine du bruit intérieur. Elle est détaillée dans [Livrables\Mise au point Proto 1 Hybrides\ACOUBUS VIBRATEC 32 HYNOVIS.pdf](#). Elle permet de séparer la contribution solidienne de la contribution aérienne, puis sur chaque composante, de connaître la contribution de chaque source.

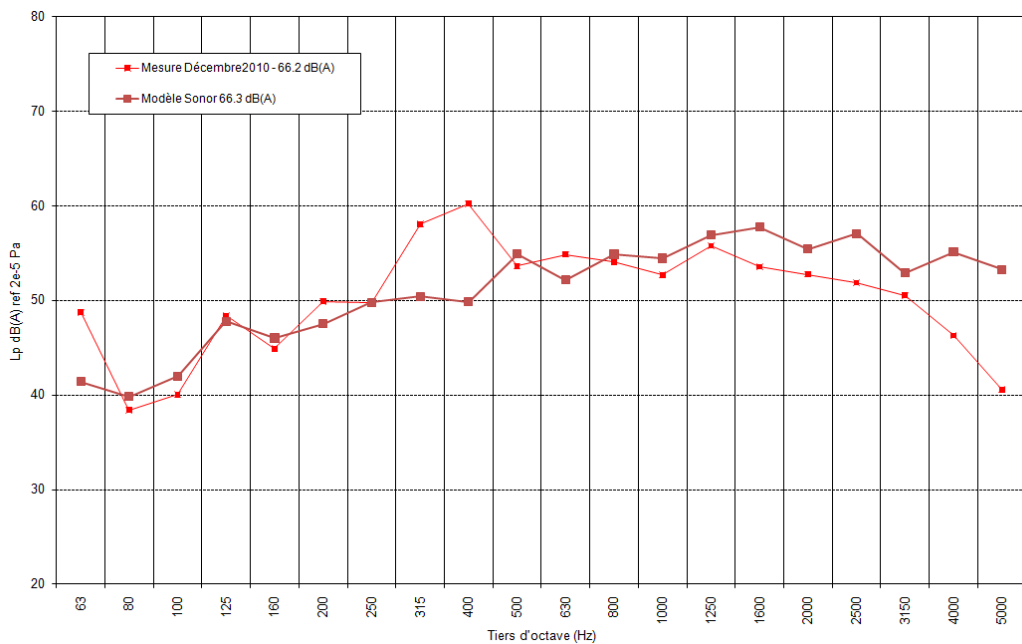
Les principales étapes de cette analyse sont rappelées :

- Dépose en avril 2010 du GMP et mesure des raideurs dynamiques de liaison et efforts injectés aux points de reprise sur la caisse pour déterminer la matrice F des transferts, partie solidienne, (5 jours)
- Mesures des indices d'isolement acoustique des parois par des micros extérieurs de pression pariétale, puis de l'absorption acoustique interne pour déterminer la matrice des transferts, partie aérienne (5 jours).
- Roulage en décembre 2010 pour les mesures en fonctionnement (4x2 jours)
- Dépouillement, calculs et estimation des contributions (20 jours).



Cette étude rappelle l'inconvénient majeur de cette méthode avec une campagne totale de 38 jours fractionnés à cause du peu de disponibilité du véhicule. Il s'en suit sur le plan expérimental une modification de la structure (dépose du GMP, le changement de certaines parois par Irisbus entre avril et décembre,..) qui conduit à des erreurs sur les résultats.

Deux configurations de roulage ont été mesurées en opérationnel: le ralenti et un roulage à 40 km/heure. Il y a une augmentation du niveau global de 6 dB avec le roulage. Un spectre de bruit est présenté en Figure 15. Le bruit est plutôt de nature aérienne avec un contenu surtout entre 500 Hz et 5 kHz. Au ralenti cependant, le tiers octave 400 Hz représente 50% du bruit, lié au système de refroidissement. Ce dernier n'a pas été pris en compte dans l'analyse alors qu'il contribue principalement aux niveaux sonores à 400 Hz au ralenti.



**Figure 15 : spectres de bruit intérieur mesuré dans l'Hynovis et simulé par le logiciel Sonor au ralenti.**

L'analyse des transferts aériens a mis en évidence la faiblesse des planchers double couche polyester en zone arrière et quelques fuites en bas et en haut de la porte. Le recalage bruit aérien entre mesure et prédiction par une méthode énergetique à partir du logiciel Sonor de Vibrattec est relativement bon au-delà de 500 Hz avec une surestimation en hautes fréquences sans doute liée aux modifications véhicule (Figure 15). En basse fréquence, les hypothèses champ diffus (pour le calcul de l'absorption acoustique) ne sont plus respectées et cette méthode n'est plus pertinente.



L'imagerie acoustique aurait pu compléter ce diagnostic.

Sur les transferts solidiens, les liaisons hautes directions X sont à l'origine des vibrations structures et des forts niveaux d'effort transmis au châssis. La solution pendulaire reste cependant meilleure. Elle permet de récupérer le contraste de raideur des longerons comme appuis mais le découplage est mal assuré la raideur n'étant pas suffisant entre les plots moteur et le châssis (rapport 10 au moins entre structure et plots). Cette même conclusion a été donnée par Paulstra à Irisbus. La contribution solidienne au niveau de bruit intérieur reste cependant faible tant en roulage qu'au ralenti. La contribution des ordres moteurs au niveau de bruit intérieur en dBA est faible

#### 6.4. Mise en œuvre de solutions potentielles

Les principaux axes d'amélioration proposés par Vibratex à Irisbus ont été les suivants :

- Amélioration du filtrage entre moteur et châssis par les raideurs respectives des Silentblocs et des points d'accrochage. Les solutions pour raidir le châssis de l'Hynovis sont les raideurs des ferrures moteur et de la structure. Les raideurs des plots peuvent être également optimisées.
- Améliorer l'isolation des panneaux : traiter le puits de lumière (première voie de transfert aérien sans traitement), habiller le plancher coté moteur ou à l'intérieur de l'habitacle par de la moquette ou des complexes acoustiques. Les parois multi-couches sont moins efficaces qu'annoncées mais des modifications structurelles des panneaux ne sont pas envisageables
- Système de refroidissement : ajout d'un silencieux pour diminuer les pulsations dans les conduits, et d'un découplage par rapport au châssis.

Paulstra a proposé aussi différentes améliorations secondaires à Irisbus:

- recentrer la bielle de reprise de couple sur le moteur pour équilibrer les couples reprise par les plots G et D.
- descendre légèrement le plot coté BV, ou mieux, fixer le plot sur la structure: la bride s'en trouverait allégée avec des modes vibratoires plus élevés. Cette modification imposerait une reprise en CAO et une optimisation par Calcul.
- L'amélioration de la raideur d'accueil est aussi une piste. Il faut bien regarder la raideur en X et non en Z.

Irisbus n'a hélas pas pu disposer du bus Hynovis pour les suites de ce projet. Des solutions préconisées pour ce prototype seront tout de même reprise sur d'autres prototypes.

Un modèle acoustique du véhicule pour la prédiction du bruit intérieur a été développé et alimenté avec les caractéristiques mesurées. Les préconisations de traitement du





plancher ont été testées sur ce modèle et apporteront une réduction de 6 à 7 dBA de la composante aérienne du bruit intérieur.

## 6.5. Mise en œuvre d'une analyse bruit intérieur dans le Citelis

MicrodB a réalisé des mesures de bruit dans le bus Citelis afin de valider l'outil d'imagerie mis au point et le rapport [Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS MICRODB 2 module imagerie.pdf](#) constitue la synthèse de ces mesures. L'outil se compose d'un système de plusieurs antennes. Dans cette étude, deux sphères rigides ont été déployées avec l'une d'elle complétée d'une sphère ouverte de plus grand diamètre. Elles ont été déployées sur la partie arrière du bus présentant les plus forts niveaux de bruit (Figure 2).

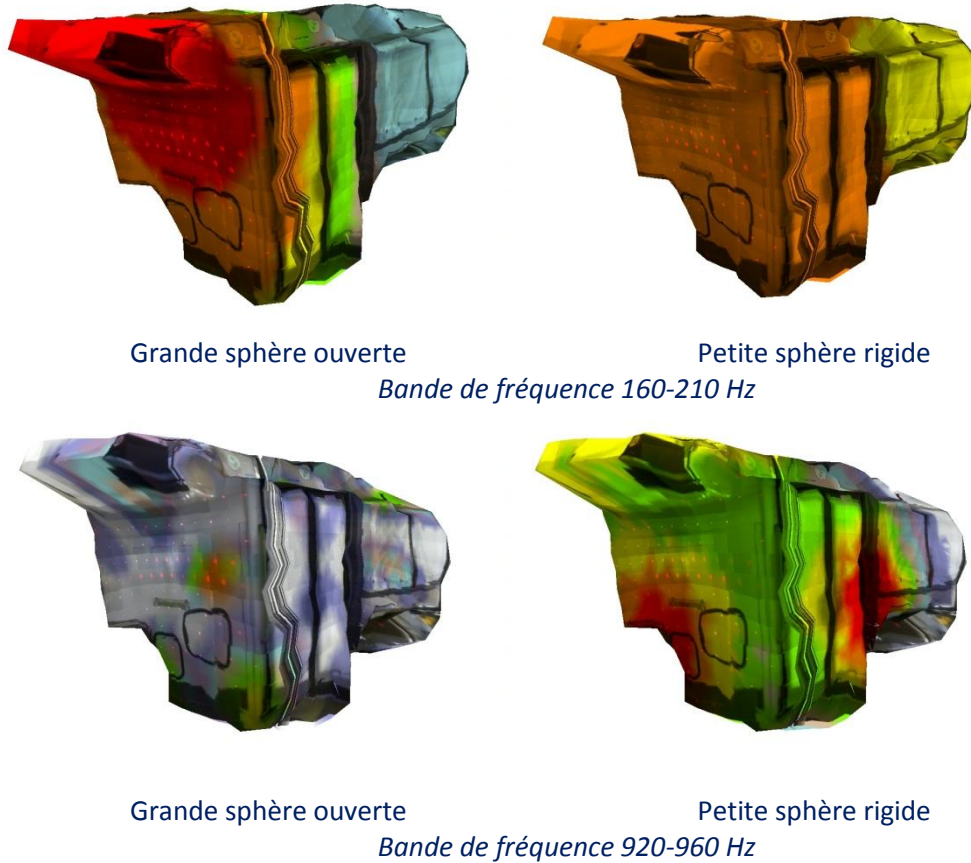
Dans une phase de préparation des mesures, un numériseur vient se positionner sur le même support que les antennes et réalise un maillage 3D de surface de l'intérieur du bus. Il offre la possibilité de fusionner 2 maillages issus de 2 positions d'antenne dans le cas de grand volume comme le bus.

Le logiciel développé pour l'outil travaille à partir des signaux temporels, ainsi chaque point de fonctionnement lié à hybridation électrique peut être analysé indépendamment.

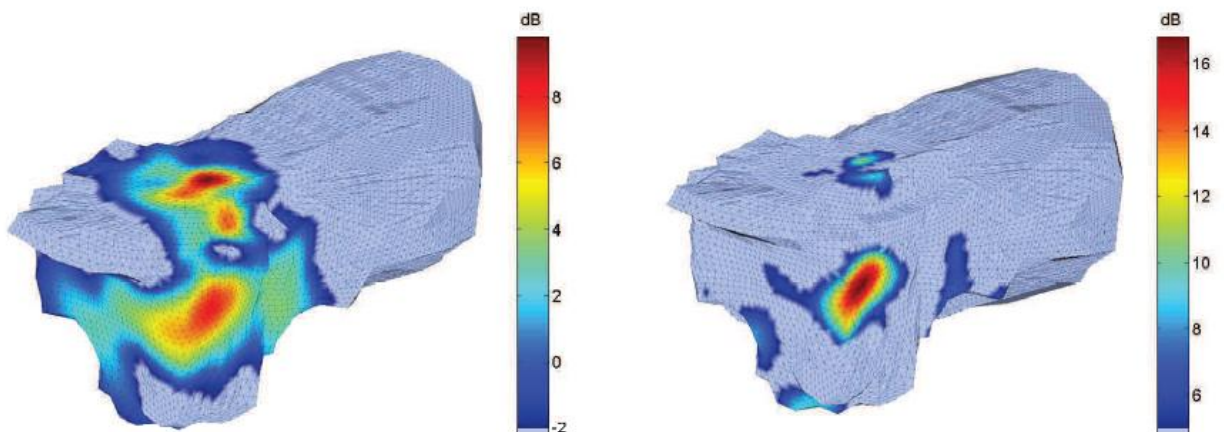
Cette expérimentation pratique a d'abord permis de mettre en évidence un facteur 10 par rapport à la méthode des masques sur le temps de réalisation des cartographies de l'intérieur habitacle contribuant à atteindre l'un des objectifs du projet Acoubus. 5 configurations de mesure avec répétabilité ont été réalisées dans la journée, génération du maillage de représentation comprise.

La double sphère ouverte/rigide montre un réel intérêt pour l'analyse des sources intérieures habitacle du bus dont le contenu est surtout basse fréquence (50-800 Hz). Elle améliore la dynamique de 10 dB, mettant clairement en avant des zones de faiblesse acoustique précises en basse fréquence à l'arrière du véhicule. Elle s'affranchit également des sources fantômes par le traitement de cohérence en moyenne fréquence. Ces différentes performances sont visibles sur les cartes présentées Figure 16.

Les données acquises ont également été traitées par le LVA en appliquant la méthode ESM avec et sans pondérations, par la distance ou itérative. Les résultats sont rassemblés dans [Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 132 Tests Experimentaux.pdf](#). Un résultat en est extrait en Figure 17. Le gain en termes de dynamique est très important et contribue encore à améliorer les résultats.



**Figure 16 : carte de bruit du Citelis hybride, comparaison des résultats sphère rigide et sphère ouverte pour 2 bandes de fréquence.**



**Figure 17 : carte de débit par la méthode ESM, bande de fréquence 440-490 Hz, avec 12 dB de dynamique, sans traitement d'amélioration à gauche et avec les pondérations par la distance à droite.**



Les principales zones de faiblesse du point de vue acoustique qui ont pu être identifiées par le système d'imagerie acoustique se situent à l'arrière du bus et en dessous de 500 Hz. La méthode donne une localisation fine au-delà de 200 Hz. Les zones identifiées se localisent alors proche de la porte et dans le coin arrière droit en regard du moteur électrique.

Irisbus, surtout intéressé par des niveaux très basse fréquence dans ce cas, n'a pas pu réellement bénéficier du gain de ces méthodes plutôt adaptées au-delà de 200 Hz. Les méthodes de référencement qui seront utilisées par la suite sur le prototype 2 n'étaient pas encore disponibles pour donner une indication sur les voies de transfert. La méthode TPA, déployée dans le cadre de l'Hynovis, aurait pu apporter des éléments de réponse, mais elle reste trop lourde de mise en œuvre.

## 6.6. Conclusion

La méthode classique d'analyse des voies de transfert (TPA) permet un bilan rigoureux des transferts vibro-acoustique d'un véhicule, prenant en compte à la fois les sources aériennes et solidiennes, et toutes les voies de transfert vers l'habitacle. Elle est employée régulièrement par l'industrie automobile avec des variantes méthodologiques pour l'obtention des sources et des transferts.

L'application de la méthode TPA sur le bus Hynovis a permis d'analyser les composantes du bruit intérieur et de construire un modèle pour tester des solutions. Néanmoins la méthode TPA présente le désavantage de temps d'immobilisation du véhicule importants, de mesures fastidieuses et d'analyses complexes.

Les résultats de localisation donnés sur le bus Citelis peuvent être reliés à des sources internes au compartiment moteur en comparant les ordres générés avec les bandes de fréquence étudiées. Si on établit une comparaison avec l'analyse précédente du bus Hynovis, le bruit, de nature plutôt aérienne et au-delà de 500 Hz avec l'Hynovis, est plutôt solidien en dessous de 500 Hz avec Citelis. La porte demeure une zone de faiblesse pour les deux. Les parois les plus faibles sont bien localisées en regard du moteur électrique dans le Citelis mesuré et non étendues à toute la partie arrière du plancher comme sur l'Hynovis.



## 7. Mise au point sur prototype bus Citelis diesel Euro 6

Du fait du retard du projet de bus 100% électrique Ellisup, un autre prototype non hybride mais Diesel Euro6 a été mis à disposition. La problématique posée reste la même : diminuer les niveaux de bruit intérieur et extérieur par méthode expérimentale.

### 7.1. Définition du bus Citelis diesel Euro 6 et objectifs

L'objectif du projet global Citelis Euro 6 est :

- d'assurer la continuité de commercialisation des gammes urbaines Irisbus Iveco,
- améliorer la prestation du produit,
- réduire le poids et augmenter les capacités passagers, en particulier sur les 12 m,
- amélioration des bruits et vibration, avec des targets réduits / Euro5.

Malgré ce dernier objectif, il a été difficile de travailler sur ce prototype ayant une disponibilité encore limitée. Pourtant, les premières mesures n'étaient pas encourageantes, avec des niveaux à plus de 74 dB(A) à 50 km/h pour une cible à 70 dB(A).

Dans ce bus, le moteur est implanté transversalement à l'arrière. Le pont arrière est composé de 2 engrenages : l'un type pignon/couronne, l'autre proche des roues appelé remonté de mouvement. Cette architecture est identique au Citelis Euro 5 ainsi que la transmission. Les éléments qui changent pour ce nouveau prototype sont le Moteur en common rail, la boîte de vitesse, le renvoi d'angle, la suspension moteur et la structure qui a été allégée.

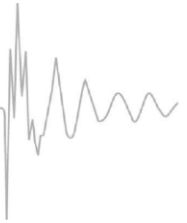
Des cartographies acoustiques ont été réalisées par MicrodB en juin 2011, pour essayer d'identifier la principale source de bruit : une raie pure proche de 1000 Hz à 50 km/h liée au renvoi d'angle qui pèse pour 2.5 dB. Une grosse semaine de mesure a ensuite eu lieu fin janvier 2013 à Idiada (Espagne, proche Barcelone) sur le proto P2 avec un seul objectif : faire une manipulation rapide pour comprendre le bruit, les voies de passage et les solutions d'optimisation permettant d'atteindre les objectifs du projet. La mise au point de ce prototype s'inscrit tout à fait dans les objectifs du projet. Deux types de diagnostic sont donc déployés :

- Une analyse des voies de transfert avec méthode TPA simplifiée détaillée dans le paragraphe 5.2,
- Une analyse des contributions des différents panneaux en bruit intérieur par imagerie acoustique.

De plus, différentes configurations sont à tester :

- changement du couvercle du renvoi d'angle,





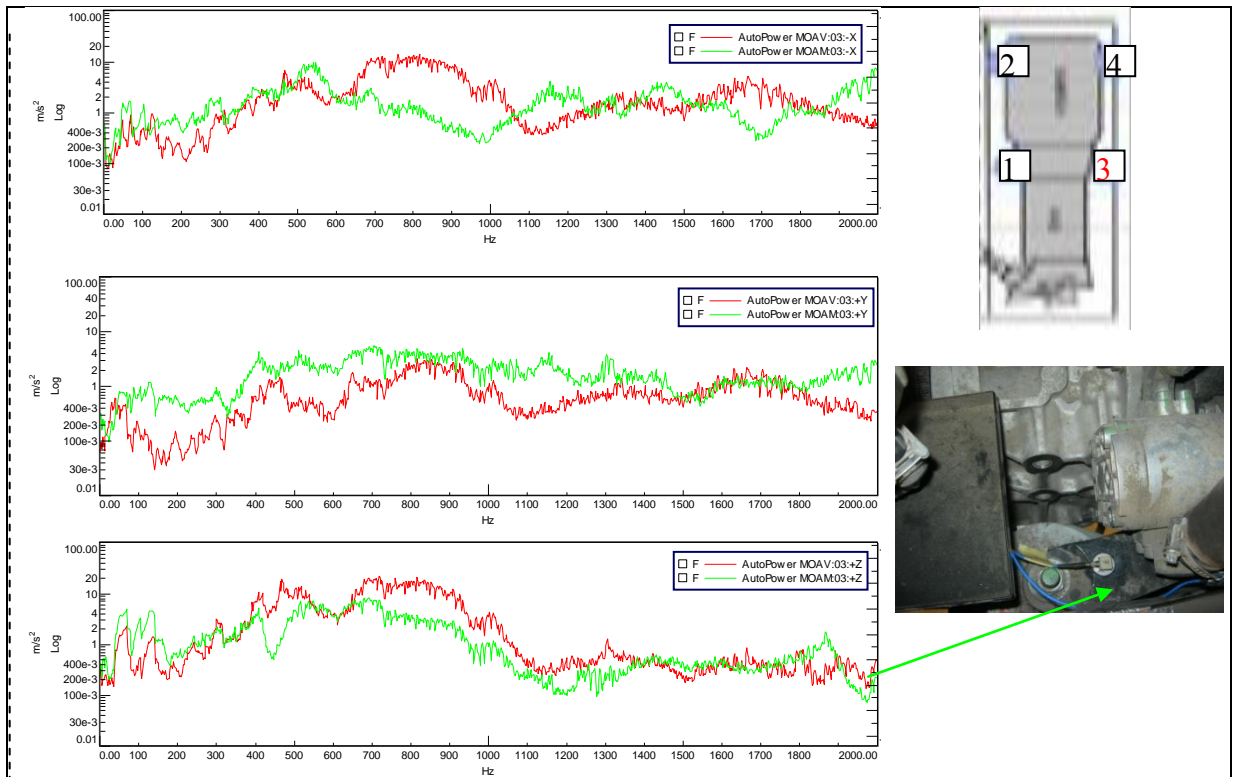
- Encoffrement du renvoi,
- changement de dureté des axiblocs des bielles de retenu du pont.

Il est à noter la difficulté de répétabilité des essais car la piste était encombrée (passage d'autres véhicules). Les mesures ont été limitées à 10 secondes en imagerie, durée insuffisante pour assurer la répétabilité. Les mesures d'analyse de voie de transfert ont également été perturbées, d'autant plus qu'elles ont été faites en 2 passes par manque d'un assez grand nombre de voies de mesure.

## 7.2. Analyse des voies de transfert

VIBRATEC a mis en œuvre une version allégée de TPA pour l'analyse de ce prototype, basée sur la méthode des raideurs dynamiques et sa variante OPAX, couplées à des transferts mesurés de manière réciproque et sans démontage, permettant un gain d'un facteur 10 sur le temps de mesure.

Les mesures ont mis en évidence un problème de filtration déficiente par les plots moteurs coté boîte de vitesse, vraisemblablement lié à des modes de structure réceptrice, identifiés par IRISBUS. Un résultat est extrait en Figure 18 qui met en avant ce défaut de filtrage. Cependant ce défaut de filtration remet en cause une hypothèse de la méthode, invalidant le calcul des contributions dans ce cas précis. La méthode doit donc encore être améliorée.



**Figure 18 : Spectres peak-hold lors d'une montée en régime Plot moteur 3 (Arrière gauche par rapport à l'axe du véhicule)**

### 7.3. Analyse par imagerie acoustique

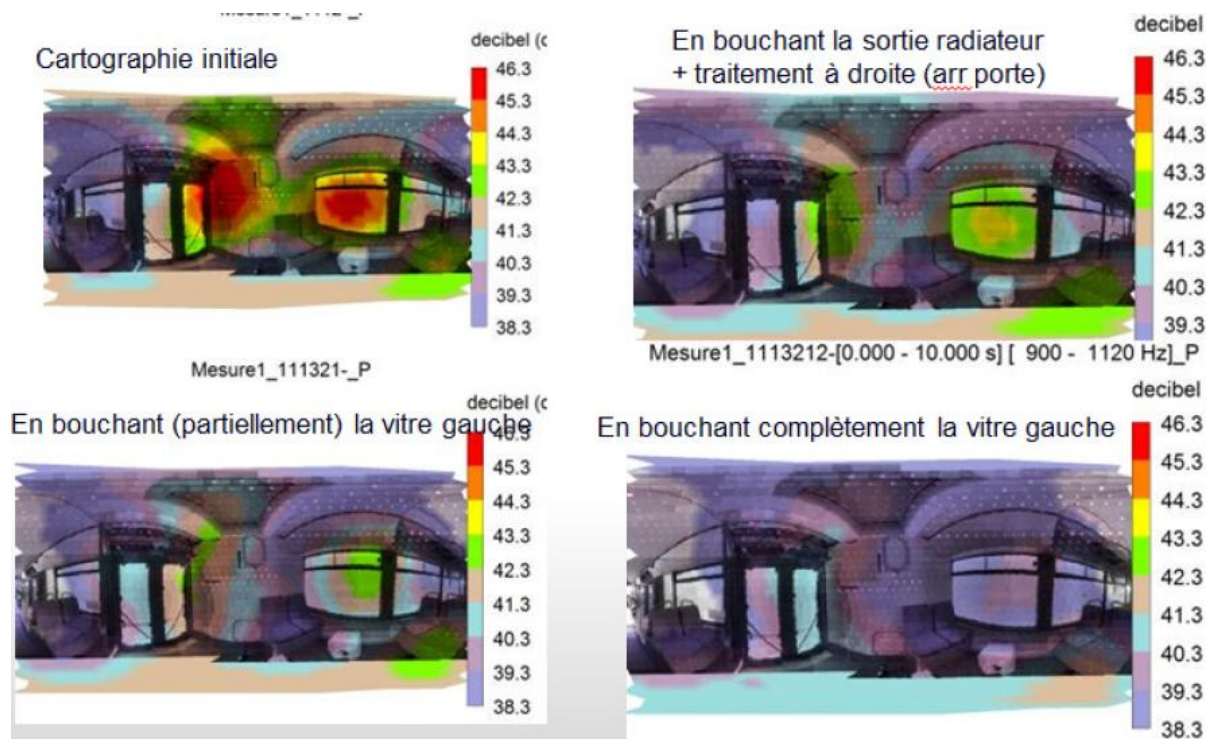
La méthode d'imagerie identique au bus Citelis est déployée pour cette analyse sur deux campagnes successives grâce à sa rapidité de mise en œuvre. L'antenne de mesure déployée pour ce bus est une double sphère placée à l'arrière du bus. L'objectif est d'aller plus loin dans la démarche que pour l'analyse du premier prototype Citelis en donnant quelques voies d'amélioration du bruit intérieur au-delà de la localisation des panneaux les plus émissifs. Trois méthodes sont utilisées :

- identification d'une voie de transfert aérienne en plaçant une source acoustique dans le compartiment moteur,
- carte par imagerie référencée qui a été introduite dans le produit : un certain nombre de capteur de référence (pont, circuit de refroidissement, renvoi d'angle) vont permettre de corréliser les cartes à une source mécanique interne.
- calcul des contributions des principales zones émissives à partir des résultats d'imagerie par formation de voie : ensuite, un outil simple de simulation permet de calculer l'impact de la diminution des niveaux d'une zone sur le bruit mesuré à



l'antenne. A cet effet, des masquages partiels sont réalisés sur quelques zones pour valider les résultats simulés.

Lors de la première campagne, l'imagerie appliquée sur des mesures réalisées en roulage et recoupée avec celles d'une source artificielle en compartiment moteur à l'arrêt a rapidement mis en avant des faiblesses de transparence acoustique : le puits de lumière, une vitre arrière, l'isolation derrière le pivot de la porte ainsi que dans le coin haut arrière coté droit. Le masquage de ces sources a confirmé les résultats d'imagerie comme le montre la Figure 19.



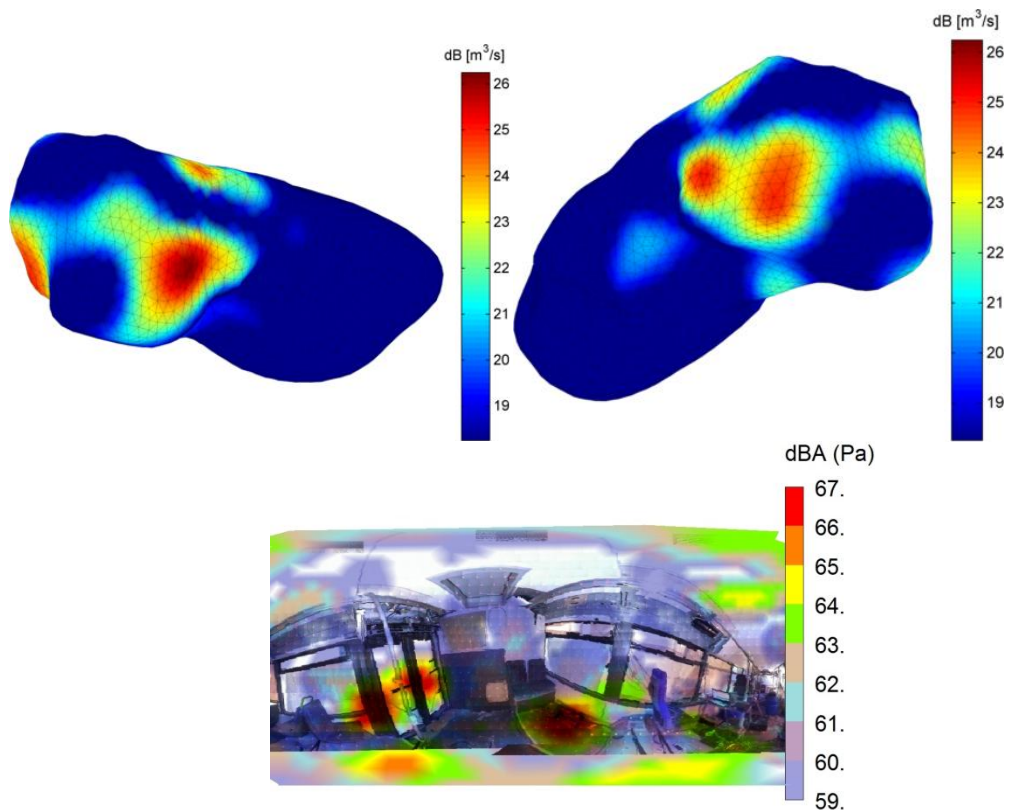
**Figure 19 : évolution des cartes des sources de bruit à l'intérieur du Citelis Euro6 avec un masquage progressif des sources identifiées.**

En roulage, toutes les configurations citées en 7.1 sont mesurées. Les résultats sont présentés dans leur globalité dans les documents [Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 132 Tests Experimentaux.pdf](#), [Livrables\Mise au point Proto 2 Citelis Euro6\ACOUBUS MICRODB 36 citelis imagerie2013.pdf](#) et [Livrables\Mise au point Proto 2 Citelis Euro6\ACOUBUS MICRODB 36 citelis imagerie2012.pdf](#). Un extrait des résultats du LVA et de MicrodB est donné en Figure 20. La comparaison de ces cartes met en avant



la supériorité de la méthode ESM en terme de dynamique avec moins de lobes secondaires pour une même bande de fréquence. L'industrialisation de la méthode montre également l'avantage de présenter des résultats en planisphère avec photographie.

Par rapport aux sources identifiées avec ces méthodes, il en ressort les conclusions suivantes. Sur les tiers octaves 500 et 630 Hz, fréquences liées au pont, le bruit sort du passage de roue. Les bielles 45 plus raides sont défavorables vis-à-vis de cette source. Dans les tiers octaves 1000 Hz et 2000 Hz, correspondant aux harmoniques 1 et 2 du renvoi d'angle, les zones les plus émissives se situent vers la porte et entre siège arrière gauche. La plaque modifiée diminue beaucoup ces niveaux. Sur les autres tiers octaves, (sources liées au roulement ou aéroacoustique), le transfert se fait au joint de porte et en paroi arrière au niveau du moteur.



**Figure 20 : résultat d'imagerie par méthode de formation de voie en bas et par méthode ESM en haut dans la bande de fréquence 900-1120 Hz.**

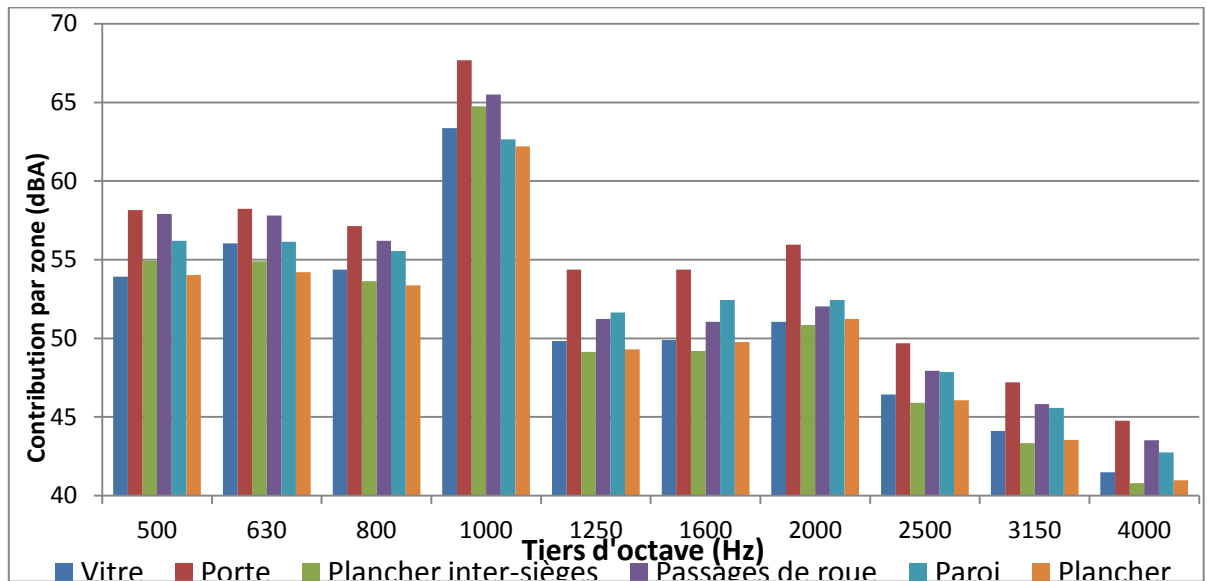
L'imagerie référencée également déployée met en avant qu'à 630 Hz, le « circuit de refroidissement » est responsable des forts niveaux entrant dans l'habitacle, analyse confirmée par Irisbus.





A partir de ces cartes, toutes les zones les plus émissives sont définies sur le maillage. Des spectres de contribution sont calculés en récupérant leur niveau de pression sur les cartographies puis en ramenant leur contribution au niveau des pressions mesurées à l'antenne. Un tel résultat est donné en Figure 21. Ceci permet de les classer. Il en ressort que la zone porte contribue de loin le plus dans la plupart des bandes de fréquences, suivi du passage de roue. Des simulations sont réalisées pour connaître l'influence sur le niveau de bruit global à l'antenne en diminuant de 6 dB chacune des sources. Puis un masquage est réalisé sur 2 zones : portes et inter-siège. Les résultats de simulations sont confortés par ces expérimentations. Cette démarche paraît très intéressante pour Irisbus en remplacement de la méthode des masques.

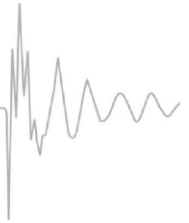
Pour connaître l'origine de la source sur la porte : aérienne ou solidienne, une comparaison des cartographies par excitation aérienne et solidienne telle que pratiquait dans la première campagne donnerait une réponse. A priori, elle est plutôt aérienne de part son étendue spectrale.



**Figure 21 : spectre de contribution à l'antenne de mesure des principales zones de sources acoustiques.**

En marge de ces mesures, une source artificielle a été mesurée dans un milieu réverbérant non maîtrisé (le coin arrière du bus) afin de valider les niveaux de puissance calculés par la méthode ESM avec pondération itérative par le LVA. Les résultats de quantification de la source ont mis en avant un phénomène très important déjà évoqué sur des mesures en chambre semi-anéchoïque. La source a une directivité





qui couplée à la position de l'antenne de mesure n'est pas sans conséquence sur les niveaux calculés.

### 7.1. Mise en œuvre de solutions potentielles

Les solutions envisagées ou déjà déployées sont détaillées dans le rapport [Livrables\Mise au point Proto 2 Citelis Euro6\ACOUBUS IRISBUS 36 analyse citelis.pdf](#).

Des actions spécifiques sont menées afin de réduire les déficits d'isolation constatés comme illustré en Figure 22. Pour le bruit aérien :

- le puits de lumière a été définitivement abandonné par Irisbus,
- de nombreuses cornières ont été ajoutées afin de multiplier les recouvrements des zones (cloison, face latérale),
- le pivot de porte a été traité ainsi que les acheminements de climatisation,
- la porte par ouverture intérieure est à l'étude,
- une mise en place de tapis en partie inférieure et d'un garnissage supplémentaire en partie haute.

Ces éléments devraient améliorer la transparence



**Figure 22 : mise en œuvre de solution de réduction de bruit par isolation entre le Citelis P2 à gauche et le Citelis à venir C9**

Le bruit de déplacement (bruit de roulement + bruit des organes tournants avec les roues) constitue presque à lui seul la totalité de la valeur cible de bruit. Afin de réduire la transmission des vibrations du pont à la structure, des axiblocs plus souples ont été testés. L'assouplissement des axiblocs décale certains modes de façon sensible. Les



mesures opérationnelles de Vibratec et microdB n'ont pas fait ressortir de bruit de déplacement réduit en assouplissant les axiblocs.

Concernant le renvoi d'angle, les résultats de bruit au niveau d'un micro proche du renvoi montrent très peu d'écart avec un encoffrement, consolidant une voie de transfert solidienne pour cette vibration du renvoi d'angle. L'impédance de la structure semble responsable de cette amplification ou du manque de filtrage identifié dans l'analyse TPA. La structure est donc actuellement redéfinie par Irisbus et sera testée prochainement.

Les essais du Citelis P1 avec structure du plot AVG modifiée devraient avoir lieu S26/2013. Les essais du Citelis démo C9 (avec l'ancienne structure mais tous les bons habillages) devraient avoir lieu S25/2013.

## 7.2. Conclusions

La simplification de TPA (pas de démontage, mesure par réciprocité) va dans le bon sens (gain de temps, conservation du schéma sources-transferts-contributions) mais doit être améliorée pour prendre en compte un éventuel couplage fort par des liaisons mal dimensionnées. Le concept d'efforts bloqués, qui peuvent être déterminés par une méthode inverse sans démontage, semble être une bonne piste pour les actions futures.

La méthode d'imagerie acoustique avec calcul des contributions des zones les plus émissives semble intéressante pour remplacer la méthode des masques avec un gain de mise en œuvre d'un facteur 10.

L'ensemble des méthodes développées au travers du projet Acoubus ont contribué au choix de solutions, ont même permis de valider partiellement certaines d'entre elles (comme une meilleure isolation de la porte). Irisbus a mis en œuvre de nombreuses solutions d'amélioration de bruit pour ce dernier prototype, en espérant que l'objectif de bruit sera atteint avec une réduction de 4 à 6 dB du bruit intérieur, les mesures ayant lieu dans les prochaines semaines.

Mais il reste tout de même une part d'incertitude sur des choix lourds comme le redimensionnement de la structure d'accueil. Cet aspect de test de solution doit se poursuivre pour réduire encore le temps de mise au point des bus.



## 8. CONCLUSIONS

Le projet Acoubus s'est déroulé sur une période de 42 mois entre décembre 2009 et mai 2013. Le retard pris a été lié au peu de disponibilité des bus prototypes. D'un autre côté, il met en avant la difficulté de mettre au point des véhicules très peu disponibles. L'objectif du gain de temps visé par le projet sur la mise en place de solution est donc primordial dans cette phase critique.

Ce premier objectif a été atteint avec une méthode d'imagerie suffisamment avancée et fiable en fin de projet pour remplacer la méthode fastidieuse des masques. En une demi-journée, l'analyse d'un bus en roulage est réalisée contre une semaine auparavant. De plus les tests de solution de transparence sont rapides et des analyses sous excitation artificielle ou par référencement permettent d'incriminer une voie de passage ou une source interne. Cette méthode présente quelques limites : le diagnostic acoustique en très basse fréquence n'est pas possible, des sources trop directives sont mal quantifiées, et il n'y a pas de déréverbération qui séparerait le champ incident et réfléchi pour une meilleure analyse. Cet outil est industriel et commercialisé. Il permet aussi de réaliser de nombreuses prestations pour MicrodB en bruit en cavité que ce soit en aéronautique, en ferroviaire ou en automobile, conduisant toujours à son amélioration.

L'objectif de gain de temps est aussi atteint par une méthode TPA simplifiée. Par contre sa mise en œuvre est beaucoup plus délicate et n'a pas réellement fait ses preuves de ce fait sur le dernier prototype analysé. Devant l'impossibilité de réaliser une analyse OPA dans un bus où les sources sont mixées, la réorientation prise est positive mais n'a pas aboutie à une méthode validée sur un cas pratique. Vibratec doit poursuivre en ce sens ses développements car ses études TPA coûteuses du fait de leur lourdeur de mise en œuvre pourrait être plus facilement accessibles à Irisbus mais d'autres industriels si elles pouvaient se simplifier.

L'objectif en termes de niveau de bruit n'est pas quantifiable à ce jour. Il y aura une réelle réduction du bruit sur le Citelis suite aux nombreuses solutions mise en œuvre mais sans savoir si les 4 dB nécessaires ont été gagnés ou non.





## ANNEXE 1 : Liste des livrables

N° tâche	Date	Intitulé	Intitulé	Responsable
1.1	T+9	Rapport bibliographie de	<a href="#">Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 1 1_biblio.pdf</a>	INSA
1.1	T+9	Rapport sur les brevets	<a href="#">Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS MICRO DB 11_analyseBrevets.pdf</a>	MicrodB
1.3.1	T+12	Rapport test expérimental méthode 1	<a href="#">Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS MICRO DB 2_module_imagerie.pdf</a>	MicrodB
3.1	T+6	Rapport d'analyse véhicule 1	Document Vibratec	Irisbus
3.2	T+9	Rapport sur le modèle	<a href="#">Livrables\Mise au point Proto 1 Hybrides\ACOUBUS VIBRAT EC 32_HYNOVIS.pdf</a>	Vibratec
	T+11	Rapport d'avancement par phase	<a href="#">Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 1 2_avancement.pdf</a> <a href="#">Livrables\Bruit Extérieur au Passage\ACOUBUS MICRO DB 23_analyse Hynovis.pdf</a>	Irisbus INSA, MicrodB
	T+12	Rapport d'avancement du projet	<a href="#">RapportAcoubusT+12.pdf</a>	MicrodB
	T+18	Rapport de mise au point prototype 1 traité	<a href="#">Livrables\Bruit Extérieur au Passage\ACOUBUS IRISBUS 23_analyse bruit passage.pdf</a>	Irisbus



	T+24	Etat d'avancement	<a href="#">AcoubusT0+24.pdf</a>	MicrodB
1.2	T+24	Explicitation des méthodes et tests numériques	<a href="#">Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 1 2_avancement.pdf</a>	INSA
1.1 & 1.5	T+36	Synthèse des travaux théoriques	<a href="#">ACOUBUS INSA 15 synthese.pdf</a>	INSA
1.3.2	T+30	Rapport des tests expérimentaux	<a href="#">Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS INSA 1 32 Tests Experimentaux.pdf</a>	INSA
1.4	T+27	Rapport sur les méthodes d'analyse des transferts	<a href="#">Livrables\Analyse Voie de Transfert\ACOUBUS INSA 14 transferts.pdf</a>	INSA
2.1.2	T+30	Jeu d'antennes n°2	<a href="#">Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS MICRO DB 2 module imagerie.pdf</a>	MicrodB
2.4.2	T+36	Module d'imagerie interne 2	<a href="#">Livrables\Contribution Sources par Imagerie\ACOUBUS MICRO DB 2 module imagerie.pdf</a>	MicrodB
2.5	T+27	Module d'analyse des transferts d'imagerie référencée	<a href="#">Livrables\Mise au point Proto 2 Citelis Euro6\ACOUBUS MICRODB 36 citelis imagerie2013.pdf</a>	MicrodB
3.4	T+37	Rapport de synthèse	Synthèse : Ce document	MicrodB
3.4	T+30	Rapport d'analyse prototype 2	<a href="#">Livrables\Mise au point Proto 2 Citelis Euro6\ACOUBUS VIBRATEC 34 analyse citelis.pdf</a>	Vibratec
3.6	T+36	Rapport sur mise au point prototype 2	<a href="#">Livrables\Mise au point Proto 2 Citelis Euro6\ACOUBUS IRISBUS 3 6 analyse citelis.pdf</a>	Irisbus



## ANNEXE 2 : Liste des publications relatives au projet

- [1] Antonio A. Pereira, Quentin Leclere, « **IMPROVING THE EQUIVALENT SOURCE METHOD FOR NOISE SOURCE IDENTIFICATION IN ENCLOSED SPACES** », Laboratoire Vibrations Acoustique, INSA Lyon, 25 bis avenue Jean Capelle 69621, Villeurbanne Cedex, France, e-mail: [antonio.pereira@insa-lyon.fr](mailto:antonio.pereira@insa-lyon.fr), ICSV 18 (2011)
- [2] A. Pereira 1, Q. Leclère 1, L. Lamotte 2, S. Paillasseur 2, L. Bleanonu 3 « **Noise source identification in a vehicle cabin using an iterative weighted approach to the ESM method** », 1 Laboratoire Vibrations Acoustique, INSA Lyon, 25 bis avenue Jean Capelle 69621, Villeurbanne Cedex, France e-mail: [antonio.pereira@insa-lyon.fr](mailto:antonio.pereira@insa-lyon.fr) 2 MicrodB, 28, chemin du petit bois, 69130, Ecully, France 3 IVECO France Irisbus, 1, rue des combats du 24 Ao.ut 1944, 69200, Vénissieux, France, ISMA 2012
- [3] Antonio Pereira, Quentin Leclère and Jérôme Antoni « **A THEORETICAL AND EXPERIMENTAL COMPARISON OF THE EQUIVALENT SOURCE METHOD AND A BAYESIAN APPROACH TO NOISE SOURCE IDENTIFICATION** », Laboratoire Vibrations Acoustique, INSA Lyon, [antonio.pereira@insa-lyon.fr](mailto:antonio.pereira@insa-lyon.fr), 25 bis avenue Jean Capelle, 69621, Villeurbanne Cedex, France, BeBeC 2012
- [4] C. Sandiera, Q. Leclerea and N.B. Roozenb, « **Operational transfer path analysis: theoretical aspects and experimental validation** », a INSA - LVA, 25 bis avenue Jean Capelle, 69621 Villeurbanne, France b :Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering, M2i, P.O. Box 5, 2600 AA Delft, Netherlands, [quentin.leclere@insa-lyon.fr](mailto:quentin.leclere@insa-lyon.fr), CFA 2012
- [5] Quentin Leclère, Céline Sandier « **Application of the transmissibility concept to acoustic array measurements** », INSA-Lyon, Laboratoire Vibrations Acoustique, 25 bis avenue J. Capelle F-69621 Villeurbanne Cedex, France, Internoise 2012
- [6] Q. Leclère 1, N. Bert Roozen 2,3, C. Sandier 1, « **Experimental estimation of transmissibility matrices** », 1 INSA-Lyon, Laboratoire Vibrations Acoustique, 25 bis av. J. Capelle F-69621 Villeurbanne Cedex, France, e-mail: [quentin.leclere@insa-lyon.fr](mailto:quentin.leclere@insa-lyon.fr), 2 Delft University of Technology, Faculty of Aerospace Engineering, Kluyverweg 1, 2629 HS Delft, Netherlands 3 K.U.Leuven, Department of Mechanical Engineering, Box 2420, Celestijnenlaan 300 B, B-3001 Leuven, Belgium ISMA 2012
- [7] Lucille Lamotte, Olivier Minck, Sébastien Paillasseur « **Interior noise source identification with multiple spherical arrays in aircraft and vehicle** », MicrodB, 28, chemin du petit Boise, 69 130 Ecully, France, e-mail: [olivier.minck@microdb.fr](mailto:olivier.minck@microdb.fr);





Jeroen Lanslot, Filip Deblauwe LMS International NV, Interleuvenlaan 68, B-3001 Leuven, Belgium ICSV 2013

[8] A. Sébastien PAILLASSEUR<sup>1</sup>, B. Lucille LAMOTTE<sup>1</sup>, C. Damien RIBAS<sup>2</sup>, « **Interior noise source identification with multiple spherical arrays in aircraft** », 1: MicrodB, 28, chemin du petit Bois, 69130 Ecully, 2: Daher-Socata, Aéroport de tarbes-lourdes-pyrénées, 65921 Tarbes , SIA 2012

[9] Charles Cariou<sup>1</sup>, Osmin Delverdier<sup>1</sup>, Sébastien Paillasseur<sup>2</sup> and Lucille Lamotte<sup>2</sup>, « **TOOL FOR INTERIOR NOISE SOURCES DETECTION IN AIRCRAFT WITH COMPARISON OF CONFIGURATIONS** », 1Airbus, Flight & Integration Tests 316, route de Bayonne, 31060 Toulouse, France 2MicrodB 28, chemin du petit bois, 69130 Ecully, Lyon, France BeBeC 2012

[10] O. MINCK - Micro dB / T. LE MAGUERESSE – ENSIM « **Source localization inside an automobile cabin using calculated Green's functions** », SIA 2012

