

Évolutions de l'ingénierie aéroacoustique automobile

B. Verrecas, K. Janssens, S. Pauwels, P. Amery

Siemens Industry Software NV
Interleuvenlaan 68
3001 Louvain
Belgique

O. Minck

MicrodB
28, Chemin du Petit Bois
69130 Ecully
France

Résumé

Les efforts de développement en NVH des constructeurs automobiles pour les nouveaux véhicules électriques se déplacent de l'acoustique du groupe motopropulseur vers d'autres sources sonores. Et malgré les progrès importants de la simulation en aérodynamique et en aéroacoustique au cours des dernières années, les essais restent essentiels.

Si les souffleries aéroacoustiques offrent le grand avantage de pouvoir isoler le bruit du vent, permettant ainsi de tester le véhicule dans des conditions optimales, il reste un inconvénient : cet essai s'avère très coûteux. C'est pourquoi, il est primordial d'obtenir le plus grand nombre d'informations possibles pendant chaque essai. Il devient donc important de passer de l'utilisation de systèmes d'essais basiques à l'utilisation de systèmes plus élaborés.

Bien qu'un investissement plus élevé soit nécessaire pour ces systèmes de test, il augmente considérablement les informations issues d'une seule campagne d'essais. Le retour sur investissement pour l'obtention de ces informations lors des essais est significatif : des analyses de test réduites, de meilleurs choix dans ce qu'il faut tester dans la soufflerie, et plus de données récoltées pouvant être utilisées par les équipes de simulation.

Cet article donne un aperçu complet des vastes capacités de ces essais aéroacoustiques. Il présente un aperçu de toutes les technologies de mesure qui sont généralement utilisées. En combinant ces technologies au sein d'une solution intégrée, une valeur ajoutée est créée garantissant une quantité maximale d'informations en plus des mesures. La gestion d'un tel essai complexe est également décrite.

Les efforts de développement en NVH des constructeurs automobiles pour les nouveaux véhicules électriques se déplacent de l'acoustique du groupe motopropulseur vers d'autres sources sonores. En effet ces autres bruits ne sont plus masqués par celui du moteur à combustion. Déjà en 2011 (figure 1), il était clair que la réduction du bruit aéroacoustique deviendrait la deuxième priorité des équipes NVH, après la réduction du bruit routier [1].

Malgré les progrès significatifs réalisés dans les simulations aérodynamiques et aéroacoustiques au cours des dernières années, les essais en soufflerie restent essentiels. Par conséquent, une nouvelle vague d'investissement dans les souffleries aéroacoustiques est en cours.

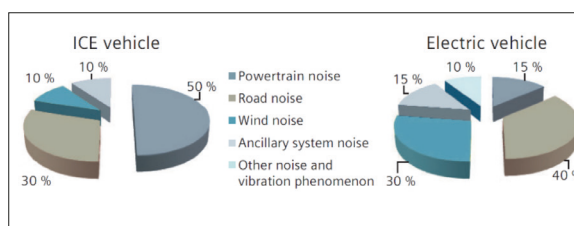


Fig. 1: Transfert des efforts de développement NVH du groupe motopropulseur vers le bruit de la route et le bruit aéroacoustique

Mais pourquoi ces souffleries sont-elles si cruciales? Le test du véhicule en plein air ne suffit pas pour correctement évaluer le bruit du vent. C'est uniquement dans

une soufflerie qu'il peut être isolé des autres sources sonores. De plus, l'essai en soufflerie permet de faire les tests dans des conditions bien contrôlées.

Toutefois, les souffleries sont des installations coûteuses et les essais aéroacoustiques reviennent chers. Le coût d'une journée dépassant facilement les 10 000 €, les ingénieurs doivent relever autant d'informations que possible pendant chaque essai. Cela implique de faire évoluer les systèmes d'acquisitions basiques vers des systèmes plus avancés et plus performants. Les plus courants proposent un plus grand nombre de voies de mesure, la capacité de tester des fréquences plus élevées et la combinaison de mesures intérieures et extérieures du véhicule dans un même système. Ils doivent permettre d'acquérir des centaines de microphones ayant des fréquences d'échantillonnage élevées, le tout durant de longues périodes. Dans certains cas, des effets transitoires nécessitant une plus longue durée d'acquisition doivent être mesurés comme, par exemple, l'effet du passage d'un véhicule.

Si l'ajout de ces nouvelles technologies reste coûteux, elles apportent également beaucoup de possibilités. Tout d'abord, elles permettent de comprendre la mécanique derrière le processus de génération du bruit de vent, depuis la répartition de la pression acoustique générée autour du véhicule, jusqu'au transfert de ces sources vers l'intérieur, pour arriver à l'oreille du conducteur. Deuxièmement, s'il est correctement mis en œuvre, beaucoup d'informations seront disponibles pendant cet essai, ce qui le rend extrêmement efficace. Par exemple, obtenir les résultats sur la répartition de la pression autour du véhicule immédiatement après la mesure, permet de décider quelle modification pourrait être apportée au véhicule et être testée à l'étape suivante.

Pour que cela soit possible, il est crucial d'avoir un excellent processus de mise en œuvre, qui permettra d'obtenir un post-traitement très rapide, un visionnage des données efficace, ainsi que la comparaison des résultats.

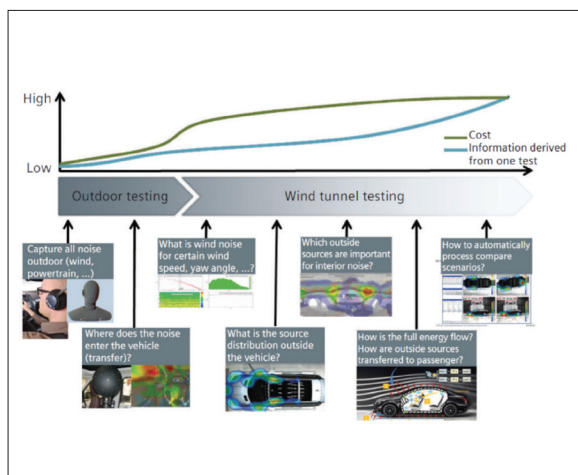


Fig. 2 : Comment obtenir plus d'informations au cours d'un essai en soufflerie coûteux en ajoutant de la technologie et un processus de test plus efficace

Technologies utilisées pour les essais aéroacoustiques

Différentes techniques de mesures acoustiques sont utilisées dans une soufflerie. Dans ce qui suit, elles sont divisées en deux groupes; un premier groupe servant à identifier la pression aéroacoustique sur le véhicule, qui est influencé par la forme de celui-ci et un second groupe axé sur le bruit intérieur du véhicule.

Mesures extérieures

Mesures directes dans le flux

Les mesures directes de la pression aérodynamique ou aéroacoustique locale du flux aident à comprendre le comportement à un emplacement précis. Toutefois, lorsqu'un microphone classique est placé dans un écoulement laminaire, une turbulence se crée qui, à son tour, entraîne une variation de pression indésirable au niveau de la membrane du microphone. C'est pour cette raison qu'un microphone classique simple ne peut être placé dans le flux. En ajoutant un cône au-dessus du microphone (figure 3), les variations de pression causées par la turbulence sont déplacées aussi loin que possible de la membrane. Une conception appropriée de ce cône est nécessaire pour réduire la turbulence autant que possible et autorisant également un certain angle entre le flux et le capteur, par exemple lorsque le véhicule est testé sous un certain angle.



Fig. 3 : Cône G.R.A.S. qui peut être monté sur un microphone pour des mesures de pression dans un écoulement laminaire

Très souvent, la mesure de la pression acoustique réelle à la surface d'un véhicule est intéressante. À cette fin, des microphones de surface spéciaux sont installés sur la surface du véhicule (Figure 4). Leur design ultra-fin vise à minimiser au maximum son influence sur l'écoulement. Les microphones de surface classiques mesurent la pression totale, donc pas uniquement la composante hydrodynamique locale (ces phénomènes de pression locale ne sont pas importants pour l'aéroacoustique). Les informations livrées par ceux-ci sont de grandes valeurs pour la corrélation avec des modèles de simulation de la dynamique des fluides (CFD).



Fig. 4 : Microphones de surface G.R.A.S. servant à mesurer la distribution de la pression sonore en dehors de la soufflerie

Cependant, si la pression hydrodynamique n'est pas nécessairement intéressante, des microphones spéciaux à encastrer peuvent être utilisés comme indiqué sur la figure 5. Ces microphones doivent être intégrés dans les composants du véhicule (comme les fenêtres), mais offrent l'avantage de pouvoir atténuer les pressions hydrodynamiques de l'ordre de 25 dB et de mesurer principalement la pression aéroacoustique, utile pour le bruit intérieur.



Fig. 5: Écran de turbulence encastré monté sur des microphones G.R.A.S. pour une mesure d'un écoulement aéroacoustique qui atténue la pression sonore hydrodynamique locale

L'inconvénient dans l'utilisation des microphones dans le flux est qu'ils sont difficiles à régler et qu'ils ne fournissent que des informations locales. Cependant, ils permettent une analyse beaucoup plus détaillée des phénomènes localisés.

Antennes acoustiques pour obtenir la répartition de la pression aéroacoustique extérieure

La répartition de la pression aéroacoustique autour d'un véhicule peut être obtenue au moyen d'antennes acoustiques. Selon l'intérêt, une combinaison de multiples antennes peut être utilisée, pour mesurer plusieurs côtés. Les antennes acoustiques de Siemens et leurs algorithmes de traitement ont été développés avec MicrodB.

Lors de leur utilisation, il est important de prendre en compte que la conception de l'antenne influence fortement la qualité des résultats. En optimisant sa taille et la position des microphones, la performance peut être améliorée par :

- une dynamique de mesure supérieure, ce qui donne la possibilité de localiser une source sonore qui est de x dB inférieure au niveau de la source de bruit maximum. La figure 6 illustre l'importance d'avoir une plage dynamique suffisamment importante. La répartition de la pression sonore autour du rétroviseur latéral, qui nous intéresse, est masquée par la pression sonore maximale autour du pneu avant si la plage dynamique est inférieure à 13 dB.
- une meilleure résolution spatiale, c'est-à-dire la possibilité de séparer deux sources sonores. Mais aussi la précision de localisation, qui est directement liée à ce paramètre. Pour les moyennes et hautes fréquences, par exemple, il est important de pouvoir localiser une source jusqu'à un cm près, car elles peuvent être générées par des effets de forme de la carrosserie du véhicule très localisés.

Il est recommandé d'utiliser une antenne personnalisée conçue spécifiquement pour la soufflerie utilisée. Afin d'optimiser la plage dynamique et la résolution spatiale, MicrodB a développé un algorithme qui détermine de manière itérative les positions idéales des microphones pour garantir une performance optimale.



Fig. 6: Nécessité d'une plage dynamique d'au moins 13 dB pour pouvoir capter toutes les sources intéressantes

En parallèle de la conception de l'antenne, un traitement de données spécialisé est aussi nécessaire pour des applications de soufflerie :

- Possibilité de prendre en compte la couche de cisaillement et de corriger la convection du vent. Sans cette correction, toutes les sources sonores quantifiées pourraient être déplacées en aval comme le montre la figure 7.

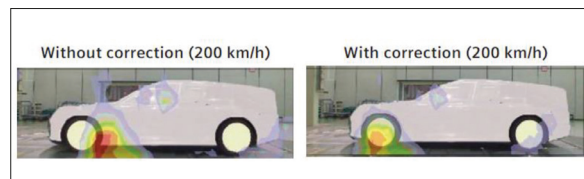


Fig. 7: Nécessité de correction de la vitesse du vent

- Prise en compte des réflexions au sol. Un algorithme dédié peut être utilisé pour prendre en compte les réflexions des sources sonores sur le sol de la soufflerie. Cette méthode est plus pertinente que la supposition d'un champ libre comme le font la plupart des solutions d'antennerie. De plus, comme cet algorithme permet par son principe le doublement de la quantité de microphones de l'antenne, en ajoutant des microphones virtuels (figure 8), il a l'avantage supplémentaire de doubler la taille de l'antenne. Grâce à cet algorithme, les antennes acoustiques latérales de LMS utilisées en soufflerie sont toujours sous forme d'une demi-antenne au lieu d'une antenne complète.

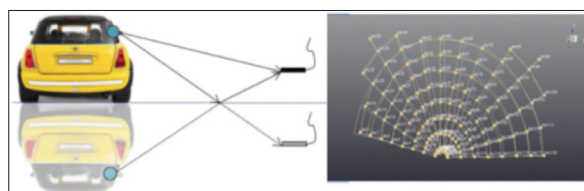


Fig. 8: Doubler la taille des antennes verticales pour prendre en compte les réflexions et doubler la résolution spatiale

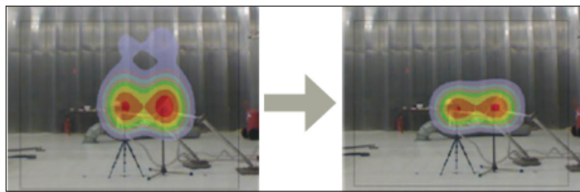


Fig. 9: Augmentation de la résolution spatiale verticale grâce à l'algorithme utilisant des réflexions au sol

- Suppression de l'effet du bruit du vent. Bien que les microphones soient positionnés à l'extérieur du flux principal du vent, ils sont impactés par celui-ci et ils ont donc un rapport signal/bruit détérioré. Un procédé dédié, qui supprime la diagonale de la matrice des interspectres des microphones, permet d'améliorer les performances de l'antenne (figure 10).

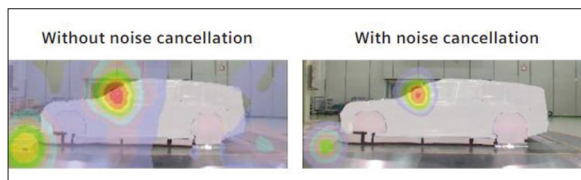


Fig. 10 : L'algorithme de suppression du bruit du vent augmente la plage dynamique

- De même, comme toutes les sources sonores générées autour du véhicule ne sont pas importantes pour le bruit intérieur du véhicule, un post-traitement de la cohérence est disponible. Le post-traitement basé sur la cohérence est essentiel pour comprendre quelles sources contribuent le plus à l'environnement sonore à l'intérieur du véhicule, puisqu'il permet de calculer les sources cohérentes avec le bruit mesuré dans le véhicule, par exemple, celui venant d'une tête binaurale (figure 11). En d'autres termes, cette méthode permet de comprendre quelle pression aéroacoustique extérieure autour du véhicule est la plus importante pour le bruit intérieur.

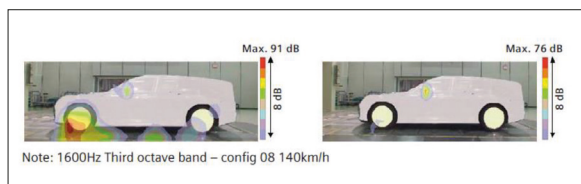


Fig. 11 : Sans et avec le post-traitement de la cohérence (avec pour référence l'oreille gauche de la tête binaurale à l'intérieur du véhicule)

- Un post-traitement supplémentaire peut être utilisé pour améliorer encore la précision des résultats. Différentes méthodes peuvent être utilisées, telles que la déconvolution [2] ou la clean-sc haute résolution [3]. Ces méthodes offrent l'avantage supplémentaire de fournir des estimations de la puissance acoustique comme le montre la figure 12.

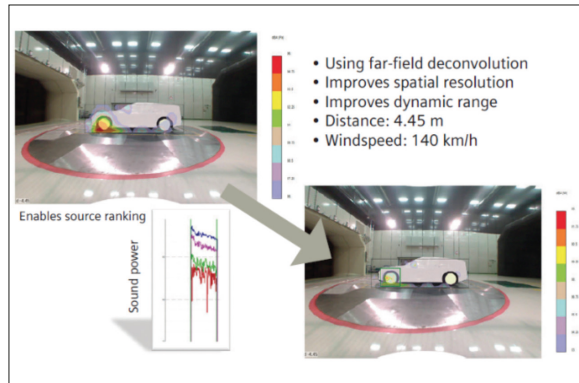


Figure 12: Exemple de déconvolution qui améliore la résolution spatiale et la dynamique

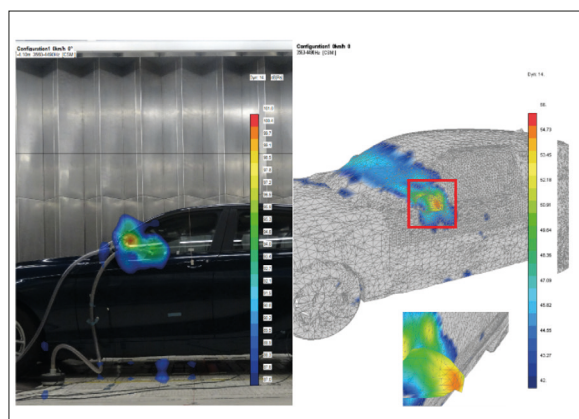


Fig. 13: Propagation Beamforming sur la géométrie 3D

- Utilisation de la géométrie 3D du véhicule. Si la géométrie 3D du véhicule est disponible, il est plus précis de localiser les pressions acoustiques sur cette géométrie plutôt que d'illustrer les sources de bruits sur un plan (figure 13).

- Prise en compte de la position exacte du véhicule. Non seulement la vitesse du vent est modifiée, mais également l'angle de lacet, c'est-à-dire l'angle relatif de la voiture par rapport à l'écoulement. Cet angle affecte directement la position du plan de propagation par rapport à l'antenne et doit être pris en compte dans le processus.

Mesures du bruit intérieur

Enregistrement direct du bruit

L'enregistrement du niveau de bruit dans le véhicule à la position de l'oreille du passager est la mesure aéroacoustique la plus classique. Dans de nombreux cas, les enregistrements binauraux sont privilégiés pour capter la directivité du son. En comparant différentes conditions de vent et / ou de véhicule, on peut obtenir des informations sur les facteurs d'influence.

Les traitements classiques qui ont un intérêt directement après l'enregistrement sont :

- la réécoute des signaux, comprenant une relecture binaurale réaliste qui inclut l'égalisation.
- des comparaisons de données post-traitées, comme les bandes d'octave, les spectres, l'indice d'articulation, ... (figure 14)

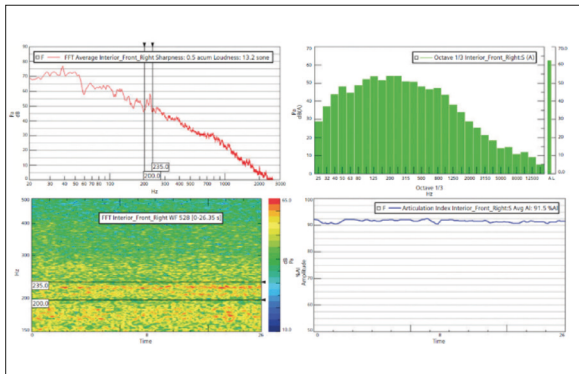


Fig. 14: Exemple de post-traitement classique de données aéro-acoustiques dans le véhicule

L'intérêt étant de pouvoir prendre des décisions sur ce qui doit être testé au cours de la campagne d'essais, tous ces traitements doivent être disponibles en temps réel. De même concernant la gestion des données, il doit être simple de comparer la différence entre les mesures en quelques clics comme cela sera illustré plus loin.

Localisation des sources intérieures

L'enregistrement des niveaux de pression sonore dans le véhicule permet de comparer les différentes configurations du véhicule, mais ne donne pas un aperçu réel de la raison pour laquelle certaines de ces configurations sont bonnes ou mauvaises. La caméra acoustique 3D de LMS, développée en partenariat avec MicrodB, fournit cette information, identifiant les zones du véhicule qui contribuent au bruit. Les exemples caractéristiques sont des fuites dans les joints d'étanchéité des portes et des fenêtres, ou des vibrations de panneaux complets comme les fenêtres ou les toits.

La caméra acoustique 3D de LMS se compose d'une sphère solide de 54 microphones d'un diamètre de 30 centimètres. Elle est conçue avec des éléments spécifiques afin d'atteindre les meilleures performances dans les conditions réelles d'un véhicule [4] :

- L'utilisation d'une sphère solide, au lieu d'une sphère de microphones ouverte. Le traitement des données prend en compte la diffraction autour de la sphère solide (au lieu d'une sphère ouverte), en utilisant une technique de beam-forming sphérique. Cela améliore la résolution spatiale (la précision de localisation des différentes sources acoustiques) et la plage dynamique (la capacité d'identifier les sources sonores de niveaux inférieurs au niveau de la source sonore maximale). L'effet de la sphère solide sur la dynamique n'est visible que dans des circonstances réelles, pour lesquelles l'hypothèse de champ libre n'est pas vraie, ce qui est le cas dans un véhicule.
- La projection sur une géométrie de maillage en 3D. Afin d'obtenir des résultats précis, il est important d'identifier les sources à leur emplacement exact, c'est-à-dire le maillage en 3D de la cavité plutôt qu'une supposée surface sphérique. Les erreurs qui se produisent lors d'une projection sur une surface sphérique au lieu du maillage 3D du véhicule sont illustrées dans la figure 15. La projection sur une sphère entraîne à la fois une augmentation de la gamme dynamique, par la création de lobes latéraux artificiels et une localisation erronée en basses fréquences (figure 15).

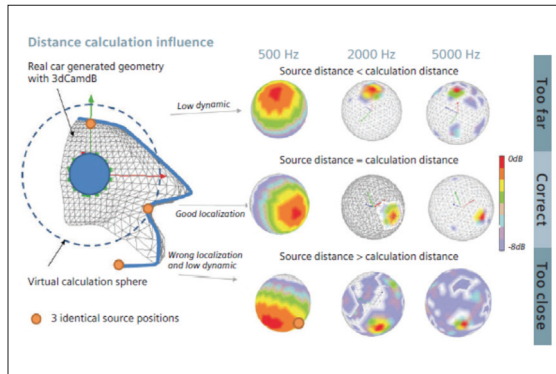


Fig. 15 : Erreur générée par la propagation vers une sphère simplifiée au lieu d'un maillage en 3D de la cabine. Il est crucial de localiser les sources sur la géométrie réelle du véhicule

Un maillage est nécessaire pour identifier l'emplacement exact des sources sonores. Un maillage CAO existant de l'intérieur de la cavité peut être utilisé ou, dans la plupart des cas, le maillage 3D est acquis par un scanner. La numérisation peut être effectuée avant le positionnement du véhicule dans la soufflerie afin d'éviter de consommer le temps d'essai dans le tunnel (Figure 16).

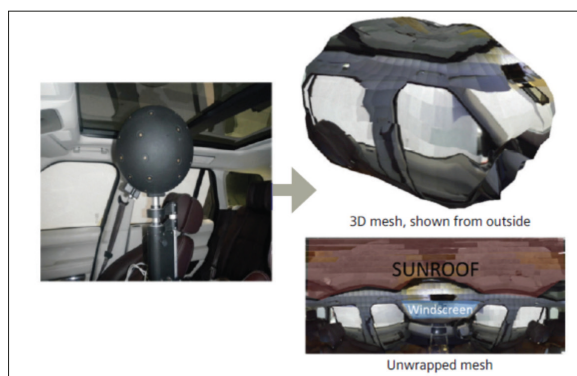


Fig. 16 : Résultat à partir du scanner de géométrie photo 3D

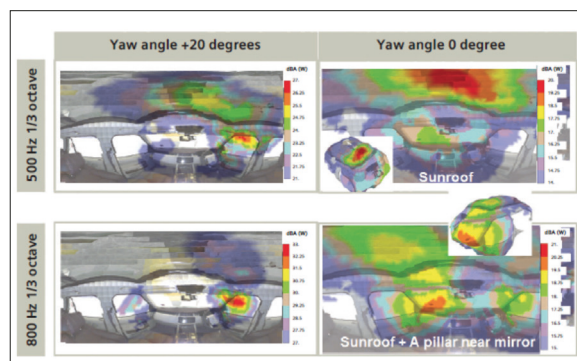


Fig. 17 : Exemple des résultats classiques de la caméra 3D acoustique dans le tunnel de soufflerie

Chacune des mesures peut être traitée pour différentes bandes de fréquences et montre l'emplacement des fuites de bruit aéroacoustique dans le véhicule. La figure 17 montre les résultats pour un SUV testé à des vitesses de vent de 160 km/h pour deux angles de lacet différents.

Le toit ouvrant (haut) contribue au bruit, ainsi que le haut du joint de la porte droite à un angle de lacet positif de + 20 degrés. L'emplacement de l'essuie-glace crée également une source de bruit sur le pare-brise à un angle de lacet de 0 degrés. Les résultats présentés sont traités avec une méthode inverse supplémentaire appelée modélisation de source équivalente pour améliorer encore la performance des basses fréquences [5].

Une autre façon d'améliorer la performance en basses fréquences consiste à utiliser une version spéciale de la caméra acoustique 3D de LMS avec un ensemble de microphones supplémentaires sur une sphère ouverte plus large [6], comme indiqué sur la figure 18.



Fig. 18: Caméra acoustique 3D de LMS étendue pour améliorer les performances en basses fréquences

Le processus est ainsi une combinaison d'une antenne large pour les basses fréquences, d'une antenne large et solide pour les fréquences moyennes et d'une antenne solide pour les fréquences élevées uniquement.

Des mesures à l'aperçu technique

Toutes les techniques de mesure décrites précédemment apportent une plus-value importante. En règle générale, plusieurs ou même toutes ces techniques sont combinées entre elles. Ce qui s'explique car les mesures en soufflerie étant onéreuses, il est essentiel d'obtenir autant d'informations que possible lors de l'essai. Un exemple d'un tel système d'acquisition aéroacoustique complet est illustré sur la figure 19. Le fait de combiner toutes ces technologies est un défi, puisqu'il s'agit de 500 microphones ou plus qui doivent effectuer des mesures de manière entièrement synchronisée à des vitesses d'échantillonnage très élevées (51 kHz). Non seulement cela génère de grands fichiers de données, mais il devient également complexe d'avoir un aperçu de ces tonnes de données.

La combinaison de l'ensemble de ces techniques de mesure dans un seul essai présente grand nombre d'avantages, par exemple :

- La combinaison de toutes ces technologies dans un seul système d'acquisition, permet d'optimiser la séquence complète de l'essai, de sa configuration au traitement et à la visualisation des données, afin de pouvoir fonctionner avec un maximum d'efficacité. Cet aspect est développé plus en détail à la section suivante.

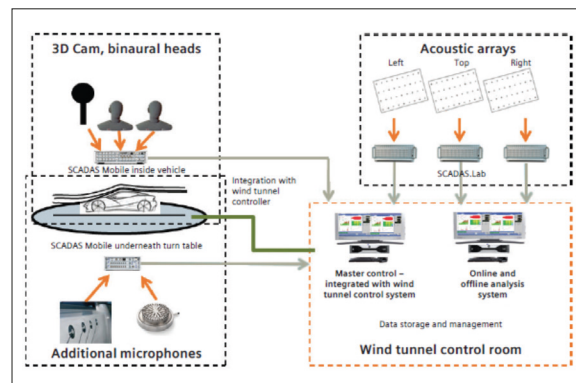


Fig. 19 : Exemple de solution aéroacoustique complète combinant différentes techniques de mesure dans un même système

- Les résultats des différentes techniques de mesure peuvent être visualisés simultanément. La figure 20 montre comment le logiciel d'essai aéroacoustique LMS peut montrer le lien entre la différence de niveau sonore de deux configurations de véhicule et la répartition pour chacune d'elle de la pression aéroacoustique extérieure.
- Le débit énergétique complet est mesuré, de la génération de la pression acoustique hors du véhicule au bruit final perçu par l'oreille du conducteur. Il est également possible d'utiliser les résultats d'une technique de mesure pour le traitement d'une autre technique. Par exemple, les données provenant d'une tête binaurale peuvent être utilisées pour un traitement de cohérence pour les antennes acoustiques, comme le montre la figure 21 [7], (source Daimler).

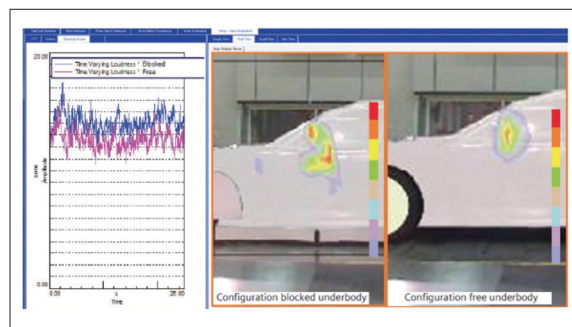


Fig. 20 : Lien entre la qualité du son et les résultats de l'antenne lors d'une comparaison de deux configurations de véhicule

Cela permet de voir quelle répartition de pression à l'extérieur est importante pour le conducteur. Ou encore plus drastiquement, les résultats de la caméra acoustique 3D de LMS peuvent être utilisés pour l'analyse de cohérence avec des antennes acoustiques extérieures, ou à l'inverse comme illustré sur la figure 22, pour une pression sonore extérieure dérivée de l'antenne latérale utilisée pour l'analyse de cohérence des résultats de l'antenne intérieure. Ce dernier permet de comprendre où cette pression extérieure spécifique fuit à l'intérieur du véhicule. Le logiciel d'essai aéroacoustique LMS permet toutes les combinaisons d'analyse de cohérence entre différents résultats des antennes.

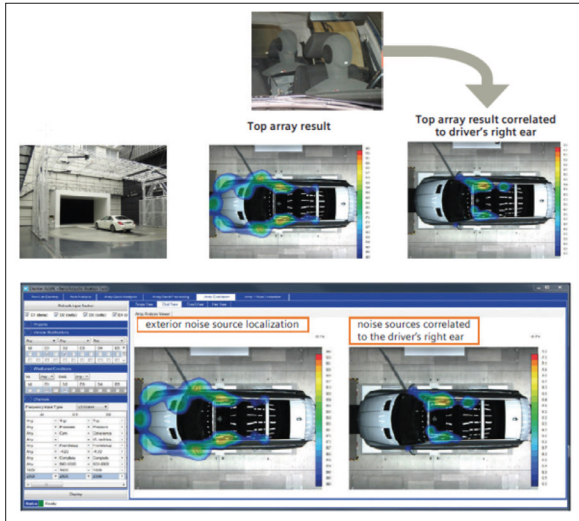


Fig. 21 : Exemple de répartition de pression sans et avec corrélation avec un microphone intérieur au niveau de l'oreille du conducteur

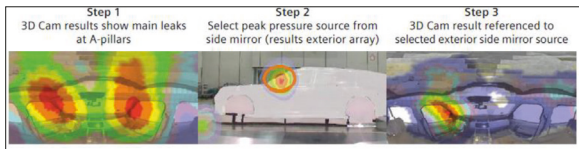


Fig. 22 : Exemple de caméra acoustique 3D combinée avec l'antenne extérieure sur le côté gauche. Affichage des résultats de la caméra 3D corrélés aux résultats de la pression sonore au niveau du rétroviseur côté gauche

Le processus de test aéroacoustique

Comme vu précédemment, il existe de très grands avantages à combiner plusieurs technologies pour un grand ensemble de données. Mais cela entraîne également des risques de se perdre dans une surcharge d'informations et de perdre du temps à afficher et post-traiter les données requises.

Pour cette raison, un système de test aéroacoustique entièrement intégré ne peut fonctionner que si un processus approprié est mis en place pour garantir un protocole d'essai efficace et utilisable. Dans ce processus, chaque chaîne peut indépendamment être importante:

- Interaction avec le système de contrôle de la soufflerie, sauvegarde et annotation des attributs du véhicule et des conditions de fonctionnement.
- Traitement en temps réel ou visualisation directe des résultats après les mesures.
- Capacités de post-traitement rapide d'un grand nombre de données.
- Gestion adéquate des données.
- Facilité de comparaison des données et capacité de visualisation sans se perdre dans la quantité de résultats.

Préparation de l'essai

Le temps de configuration nécessaire d'une campagne d'essai dans le tunnel de la soufflerie doit être aussi court que possible. Il doit donc être possible d'instrumenter le véhicule à l'extérieur de la soufflerie, par exemple avec des microphones et une caméra acoustique 3D de LMS.

De plus, les antennes acoustiques doivent être opérationnelles et prêtes à fonctionner rapidement. Cela a un impact sur la conception de la structure de montage des antennes, qui doit pouvoir être installée en quelques minutes seulement depuis son stockage jusqu'à la position de mesure idéale.

Processus lors de l'acquisition

La mise en œuvre du protocole de mesure est fortement influencée par les traitements attendus au cours du test. L'ingénieur de test aéroacoustique souhaite-t-il paramétrer et contrôler la soufflerie? Cet ingénieur souhaite-t-il définir un planning d'essai complet? Quel type de visualisation pendant l'acquisition sera nécessaire, comme par exemple la visualisation en temps réel des résultats de l'antenne? Le protocole le plus avancé comprend une intégration du système de contrôle de la soufflerie. Cela signifie que le système d'essai aéroacoustique peut s'exécuter et exécuter une séquence complète d'essai sans intervention séparée sur le système de contrôle (figure 23). Cela implique l'échange d'informations entre le contrôleur de la soufflerie et le système d'essai. En outre, les conditions de mesure sont automatiquement enregistrées après chaque mesure dans le système acoustique, de sorte qu'elles peuvent être utilisées pour le post-traitement et pour structurer les données. Ces paramètres sont ainsi stockés dès la mesure, ce qui évite également de devoir réintroduire la vitesse du vent et l'angle de lacet et supprime le risque de faire des erreurs. Une autre option pourrait être également la possibilité de visualiser en temps réel chacune des antennes.

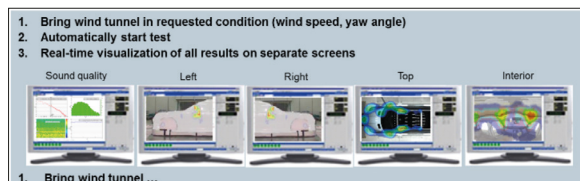


Fig. 23 : Itérations des essais automatiques lors de l'acquisition, interaction avec le contrôleur du tunnel de vent et visualisation en temps réel

Post-traitement

Le post-traitement des données est l'élément le plus critique du protocole d'essai aéroacoustique. Il est crucial d'avoir une vitesse de calcul aussi rapide que possible. À titre indicatif, les résultats d'une mesure doivent être disponible de préférence avant que la soufflerie ne soit prête à commencer le prochain essai. La figure 24 montre l'exemple d'un planning d'essai en soufflerie qui a été exécuté avec une caméra acoustique 3D LMS. Au total, il comprend 110 mesures différentes. Au cours des dernières années, Siemens a fait un énorme effort pour augmenter la vitesse de traitement, en optimisant les algorithmes et les calculs exécutés sur GPU. On peut voir sur la figure 25 comment la vitesse de traitement d'un jeu de données contenant 4 000 points, pour des bandes de fréquence allant de 400 Hz à 10 kHz, a évolué de 250 secondes de temps de traitement, jusqu'à 10 secondes.

De même, lorsque de nombreux ensembles de données doivent être traités, ce gain de temps s'accumule de manière exponentielle. Si l'on reprend l'essai pour lequel 110 mesures ont été traitées, cela signifierait que le temps de calcul est passé de 22 heures à 1 heure au total comme le montre la figure 26.

	Wind speed:	100 kmh			130 kmh			160 kmh			Scan	Total Time		
		-10	0	10	-10	0	10	-20	-10	0			20	
Vehicle	3D Cam position													
	Center	Standard	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	45	56
	Driver seat	Standard	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	45	56
		Modified Mirrors	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		11
	Rear Seat	Standard	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	45	56
Convertible sports car	Passenger Seat	Standard	1	1	1	1	1	1	1	1	1	45	56	
		Modified Mirrors	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		11
		Taped Window 1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		11
		Taped Window 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		11
		Taped Window 3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		11
Total Time Estimate in Minutes:												290		

Fig. 24 : Exemple d'une campagne d'essai aéroacoustique avec caméra acoustique 3D de LMS, composée de 110 mesures différentes

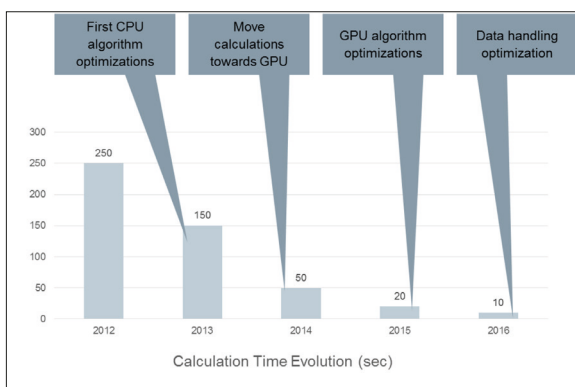


Fig. 25 : Évolution du temps de calcul en secondes pour fournir un ensemble de données classiques, de 250 à moins de 10 secondes

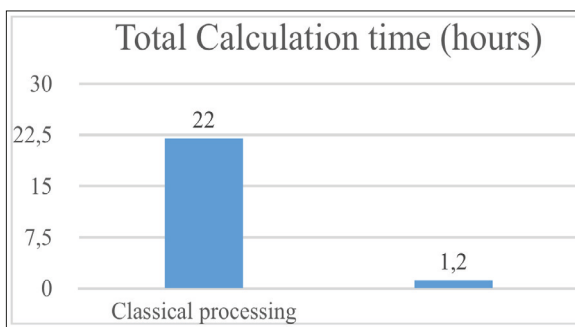


Fig. 26 : Réduction du temps de calcul total pour une campagne d'essai complète

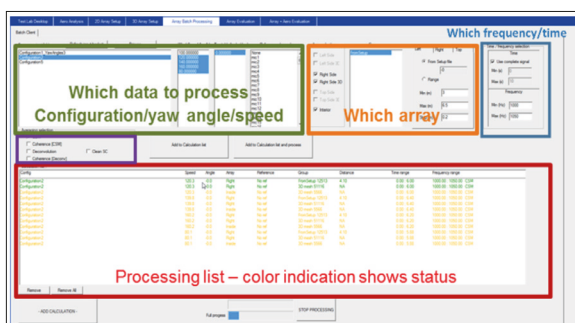


Fig. 27 : Traitement aéroacoustique par lot

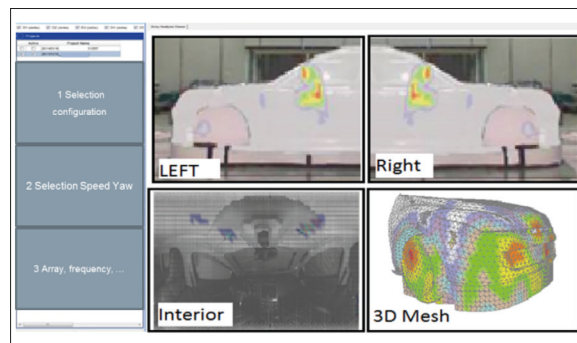


Fig. 28 : Affichage et comparaison des résultats d'antennes en quelques clics seulement

Traiter les résultats en moins d'une minute, signifie que cette information peut être utilisée pendant l'essai en cours et contribuer à rendre celui-ci plus efficace. Non seulement le temps de calcul doit être aussi rapide que possible, mais il doit également être possible d'avoir des mesures multiples et des ensembles de données traités par lot. Un exemple de traitement aéroacoustique par lot est représenté sur la figure 27.

Visualisation et transcription des données

Enfin, il doit être possible de visualiser très facilement les données. En seulement quelques clics, un utilisateur doit pouvoir afficher tous les résultats de toutes les mesures et antennes ont été acquises. Un exemple du logiciel d'analyse aéroacoustique de LMS est visible sur la figure 28, où 4 écrans sont affichés, chacun d'eux correspondant à une antenne ou à une méthode de traitement différente. L'affichage de ces données ne prend que quelques clics. Les données disponibles sont structurées au moyen de cases à cocher dans des matrices.

Conclusion

Cet article a présenté les différents éléments de la solution d'essai aéroacoustique LMS. Beaucoup de technologies différentes ont été proposées. Il a également été expliqué que la combinaison des différentes technologies peut générer un aperçu supplémentaire du flux d'énergie aéro-acoustique. Enfin, compte-tenu du coût des essais en soufflerie, nous avons discuté des éléments pouvant rendre ces essais plus efficaces.

Références bibliographiques

- [1] Greg Goetchius: "Leading the charge – The future of Electric Vehicle Noise Control", Greg Goetchius, Sound & Vibration, April 2011
- [2] L. Lamotte, O. Minck, T. Le Mageresse, Mostapha Choukri: "Determining sound power of components using 3D sound source localization and multi-array: application to engine test bench and wind tunnel, JSAE 2016
- [3] P. Sijtsma, M. Snellen; High resolution CLEAN-SC, BEBEC 2016
- [4] B. Verrecas, N. Oettle, A. McQueen, "The application of spherical beamforming techniques to localize aero-acoustic sound sources in the vehicle cabin", IVAC 2014
- [5] L. Lamotte, M. Robin, F. Deblauwe "Noise mapping and sound quantification in the space using spherical array", EURONOISE Edinburgh 2009
- [6] S. Paillasseur, "Use of double layer spherical array for vehicle interior acoustic optimization", LMS European Vehicle Conference Munich 2013
- [7] R. Buckisch, "The new Daimler Automotive Wind Tunnel Acoustic Properties and Measurement System", Daimler AG, 10th FKFS conference, 2015