

Evaluation du comportement et des performances acoustiques d'un camion hybride en conditions urbaines

Evaluation of the acoustical performance and behaviour of a hybrid truck in urban use

Marie-Agnès Pallas, Roger Chatagnon,

Joël Lelong

IFSTTAR

LTE

25, avenue F. Mitterrand

Case 24

69675 Bron CEDEX

E-mail : marie-agnes.pallas@ifsttar.fr

et

Université de Lyon

CeLyA

69622 Lyon

Résumé

L'émission de bruit des camions destinés à la livraison de marchandises ou à certains services collectifs, comme la collecte des ordures ménagères, est une préoccupation essentielle pour leur exploitation en zone urbaine, notamment lors de tournées nocturnes ou matinales. Les véhicules hybrides sont des solutions particulièrement appropriées à un usage urbain puisque, outre des améliorations en matière de consommation d'énergie et d'émission de polluants, ils peuvent aussi contribuer à la réduction des nuisances sonores, principalement en mode de propulsion électrique. Le projet de recherche GEODE (2008-2011) avait pour objectif de développer un camion hybride de gamme intermédiaire avec contrôle optimisé de l'énergie. Il incluait une phase d'évaluation des performances environnementales du véhicule et une comparaison à un véhicule thermique équivalent. Cet article présente le volet acoustique de l'étude, basé sur des mesures de l'émission acoustique en conditions réelles d'utilisation : à vitesse constante, en accélération et au freinage. Pour chaque configuration de véhicule (camion thermique de référence, camion hybride en mode hybride, camion hybride en mode électrique), il inclut des mesures de niveaux de bruit au passage à 7,5 mètres ainsi qu'une analyse des principales sources de bruit, cette dernière s'appuyant sur des mesures effectuées en champ proche avec un réseau de microphones. Les lois d'émission de bruit des véhicules et des principales zones sources sont déterminées. Le mode électrique apporte un gain incontestable aux vitesses urbaines, le bruit résiduel provenant principalement du bruit de roulement des roues motrices.

Abstract

Noise emission of mid-sized trucks operating in urban areas for goods delivery and services (for instance waste collect) is crucial, mainly during night and early morning periods. The development of hybrid vehicles is particularly appropriate to urban use since, besides improvements towards energy consumption and pollutant emission, it may also lead to noise reduction, mainly due to the presence of the electric motor. The French research project GEODE (2008-2011) involved several partners for the development of a mid-sized hybrid truck with optimized energy control. One work package consisted in the evaluation of the environmental performance of the vehicle, as compared to an equivalent conventional engine truck. The present paper presents the acoustical part, based on measurements of the acoustic emission under real use conditions: constant speed, acceleration and braking. It includes standard pass-by 7.5 meter noise levels as well as main source analysis, the latter resulting from near-field microphone array measurements, for each vehicle configuration (reference engine truck, hybrid truck under hybrid use, hybrid truck under electrical use). Noise emission laws of the vehicles and of their main noise sources are determined. The electrical mode introduces an undeniable gain at urban speeds, the residual noise resulting mainly from the drive wheel rolling noise.

Les agglomérations sont régulièrement confrontées à des conditions de trafic dense, se traduisant par une dégradation de la mobilité des usagers et une détérioration des conditions environnementales (pollution de l'air et bruit). L'impact sur les durées de livraisons ainsi que la mise en place de restrictions d'accès dans certaines zones urbaines en journée incitent les entreprises de livraison à organiser leurs tournées en période de nuit ou très tôt le matin. La question du bruit émis par les véhicules en circulation, incluant les phases de démarrage et d'arrivée

sur site, se pose alors de façon cruciale dans les zones résidentielles. La motorisation hybride peut être une solution intéressante vis-à-vis des aspects environnementaux urbains, en particulier si elle propose un mode tout électrique [1]. Le projet de recherche français GEODE (2008-2011) avait pour objectif de développer un camion hybride de gamme intermédiaire à contrôle optimisé de l'énergie. Une phase du projet a consisté à effectuer une évaluation environnementale du véhicule et à la comparer à un camion thermique équivalent.

Cet article concerne l'évaluation de l'émission sonore du camion thermique de référence et du camion hybride, sur une large gamme de conditions de circulation représentatives d'un usage réel. L'étude s'appuie sur des mesures au passage effectuées d'une part par des microphones situés à 7,5 mètres et d'autre part avec une antenne microphonique pour la description des sources de bruit. Les influences de la vitesse, du type de conduite (choix du rapport de boîte de vitesses) et du type de motorisation (thermique, mode hybride, mode électrique) sont examinées pour des passages à vitesse constante, en accélération et au freinage.

Les deux paragraphes suivants décrivent les caractéristiques des véhicules étudiés, ainsi que les équipements acoustiques et les procédures de mesure mises en œuvre tandis que les trois derniers évaluent l'émission de bruit du véhicule dans son ensemble et de ses principales zones sources de bruit.

Description des véhicules

Deux véhicules de distribution ont été analysés. Il s'agit de porteurs solo 4x2 de type fourgon issus de la gamme Premium Distribution (Renault Trucks)/Volvo FE (Volvo Trucks). Ils diffèrent principalement par leur chaîne cinématique. Ils sont équipés chacun de pneumatiques de gammes équivalentes, mais produits par des fabricants différents, avec des références spécifiques pour l'essieu directeur et l'essieu moteur. Les camions sont chargés avec une masse de 50 kg/kW.

Camion hybride

Le camion hybride est issu du projet GEODE (figure 1). Aucun traitement acoustique spécifique n'a été introduit dans son développement, l'objectif prioritaire du projet étant le contrôle de l'énergie. Il est équipé d'une chaîne cinématique hybride parallèle, et peut fonctionner soit en mode hybride (le moteur thermique et le moteur électrique sont utilisés simultanément) soit en mode électrique (seul le moteur électrique fonctionne). En mode hybride, la répartition de la puissance générée par les deux moteurs dépend de plusieurs paramètres, dont l'état de charge de la batterie ; elle peut donc différer entre deux passages à la même vitesse. Le conducteur peut choisir un mode «faible bruit», qui utilise uniquement le moteur électrique si l'état de charge de la batterie est suffisant, avec une autonomie de l'ordre de 1 km. Il n'existe pas de mode «tout thermique».



Fig. 1 : Camion hybride
Hybrid truck

Le véhicule est équipé d'une boîte automatique 12 rapports. Le régime moteur maximum est de 2 300 tr/min, le ralenti moteur est à 600 tr/min. Les pneumatiques sont issus de la gamme Michelin X® Energy™.

Véhicule de référence

Le second camion possède une motorisation thermique diesel conventionnelle (Fig. 2). Il est considéré ici comme véhicule de référence pour les comparaisons de l'émission sonore. Sa gamme utile de régime moteur est identique à celle du camion hybride, sa boîte de vitesses automatique comprend 6 rapports. Il est équipé de pneumatiques de la gamme Goodyear Marathon.



Fig. 2 : Camion de référence à motorisation thermique conventionnelle
Reference conventional ICE truck

Procédure expérimentale

Les véhicules circulent sur piste d'essai dans des conditions représentatives d'un usage réel. Des mesures acoustiques sont effectuées en bord de piste au passage des véhicules dans les deux sens de circulation. Le revêtement de la piste est un béton bitumineux 0/10. Plusieurs dispositifs de mesures acoustiques sont mis en œuvre simultanément, délivrant des informations complémentaires sur l'émission de bruit des véhicules. Les résultats présentés dans cet article concernent des microphones placés à 7,5 mètres de la trajectoire suivie par le véhicule et une antenne microphonique¹.

Mesures au passage à 7,5 mètres

Trois microphones séparés de 10 mètres sont disposés le long et d'un même côté de la piste, un quatrième microphone se trouve sur le côté opposé. Ils sont tous situés à 7,5 mètres du centre de la piste et à une hauteur de 1,2 mètre, conformément aux préconisations des normes de mesure du bruit routier [2, 3]. La procédure utilisée ici est similaire à la norme «Véhicules maîtrisés» [3], étendue à des passages en accélération et au freinage ; dans chaque cas, les niveaux de bruit maximums au passage pondérés A (L_{Amax}) sont déterminés par tiers d'octave et en niveau global.

Des cellules infrarouges permettent de mesurer la vitesse du véhicule au droit de chaque microphone.

Mesures et traitement par antenne microphonique

Une antenne en croix de 41 microphones est utilisée pour l'analyse des sources de bruit (Fig. 3, page suivante).

1- La directivité verticale a également été mesurée. Des résultats sont présentés dans [6].

Le centre de l'antenne est à une hauteur de 1,17 mètre. La distance entre le plan des microphones et le flanc du véhicule est d'environ 2 mètres. Chaque branche est constituée de deux antennes linéaires imbriquées de 13 microphones chacune, d'espacements respectifs 5 cm et 15 cm. Le plus grand espacement est utilisé pour les basses fréquences jusqu'au tiers d'octave 1 250 Hz, le plus faible du tiers d'octave 1 600 Hz au tiers d'octave 4 000 Hz. Les niveaux de bruit globaux sont calculés par sommation des résultats par tiers d'octave.



Fig. 3 : Antenne en croix constituée de 41 microphones
41-microphone cross-array

À chaque antenne linéaire est appliqué un traitement du type formation de voies dans le domaine temporel (*delay-and-sum beamforming*) adapté au contexte d'ondes sphériques [4], incluant également une correction des différences d'atténuation entre voies et une pondération de Tchebycheff garantissant un niveau maximum des lobes secondaires de -25 dB en champ lointain. Les signaux sont préalablement dédopplérisés et les sources sont suivies pendant leur déplacement, ce qui permet d'effectuer une estimation plus précise des niveaux de bruit. Le traitement d'antenne en croix consiste enfin à effectuer une inter-

corrélacion des signaux temporels issus des deux antennes linéaires perpendiculaires, procurant au système de mesures une directivité bidimensionnelle dont le niveau des lobes secondaires reste inférieur à -10 dB sur l'ensemble de la gamme de fréquence d'analyse. La résolution spatiale dépend de la fréquence.

Émission de bruit à vitesse stabilisée

Les vitesses associées aux passages à vitesse stabilisée sont comprises entre 20 et 86 km/h pour le camion thermique de référence et le camion en mode hybride, et entre 19 et 56 km/h pour le mode électrique. Pour la plupart des vitesses, les passages ont été effectués avec deux rapports de boîte différents : le rapport adapté (le plus approprié pour la vitesse considérée) et le rapport inférieur (rapport précédant juste le rapport adapté, induisant un régime moteur plus élevé). Le régime moteur, le rapport de boîte et la vitesse du véhicule sont connus pour chaque passage.

Niveau de bruit maximum à 7,5 mètres

En considérant les valeurs de L_{Amax} mesurées en fonction du régime moteur et de la vitesse de passage, pour une configuration de véhicule, les lois d'émission de bruit sont déterminées en ajustant le modèle suivant aux données mesurées, au sens des moindres carrés [5] :

$$L_{Amax}(r, v) = L_{mot}(r) \oplus L_{roul}(v) \quad (1)$$

où \oplus est l'opérateur de sommation énergétique. $L_{mot}(r)$ est la composante de bruit liée au groupe motopropulseur et dépend du régime moteur r , et $L_{roul}(v)$ est la composante de bruit de roulement dépendant de la vitesse du véhicule v :

$$L_{mot}(r) = \alpha_{mot} \log\left(\frac{r}{r_{ref}}\right) + L_{0,mot} \quad (2)$$

$$L_{roul}(v) = \alpha_{roul} \log\left(\frac{v}{v_{ref}}\right) + L_{0,roul} \quad (3)$$

où r_{ref} et v_{ref} sont respectivement le régime moteur et la vitesse de référence.

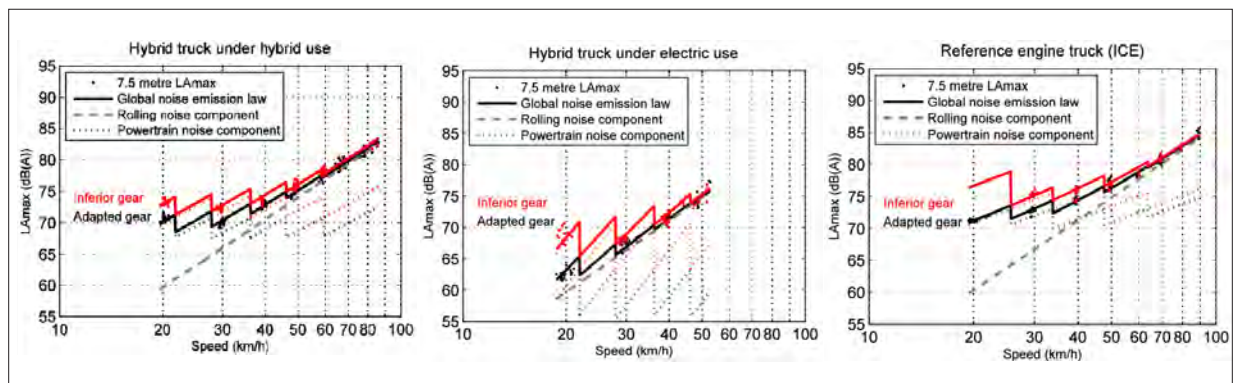


Fig. 4 : Niveau global de pression maximum à vitesse stabilisée pour le mode de fonctionnement hybride (gauche), le mode électrique (milieu) et le camion thermique (droite) ; • mesures au rapport adapté ; • mesures au rapport inférieur ; traits épais : lois d'émission globales
Maximum noise pressure level at constant speed for the hybrid mode (left), the electric mode (middle) and the ICE reference truck (right) ; • measures at the adapted gear ; • measures at the inferior gear ; thick lines : global emission law

La figure 4 représente à la fois les niveaux de bruit globaux mesurés et les lois d'émission estimées définies par les équations (1) à (3), pour les trois configurations de fonctionnement des camions circulant au rapport adapté et au rapport inférieur. La figure 5 permet de comparer ces lois d'émission globales au rapport adapté. Il est important de noter que les stratégies de changement de rapport adapté diffèrent entre le camion thermique et le camion hybride en raison des caractéristiques des boîtes de vitesses différentes.

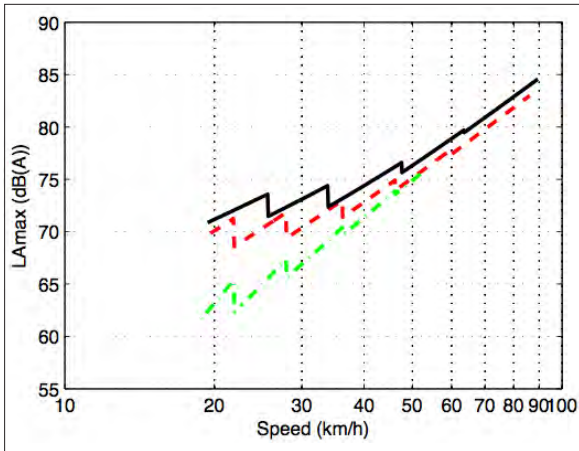


Fig. 5 : Loi d'émission de bruit global à vitesse stabilisée et rapport adapté pour le mode hybride (rouge), le mode électrique (vert) et le camion thermique de référence (noir)
Global noise emission law at constant speed and adapted gear for the hybrid mode (red), the electric mode (green) and the reference ICE truck (black)

Le camion hybride fonctionnant en mode hybride est légèrement moins bruyant que le camion thermique de référence à toutes les vitesses, tandis que le mode électrique induit une réduction incontestable du bruit émis pouvant dépasser 8 dB (A) à 20 km/h (Tableau 1). Ce gain diminue cependant aux vitesses plus élevées jusqu'à devenir négligeable au-delà de 50 km/h, en raison de la prédominance du bruit de roulement comme l'analyse des sources de bruit le montre le tableau 1.

Mode	20 km/h	30 km/h	50 km/h
hybride réf. thermique	-1,0 dB (A)	-2,7 dB (A)	-1,2 dB (A)
électrique réf. thermique	-8,4 dB (A)	-6,0 dB (A)	-1,6 dB (A)

Table 1 : Réduction du niveau de bruit global à 7,5 mètres pour les deux modes du camion hybride comparé au camion thermique, à vitesse stabilisée et au rapport adapté
Global noise reduction at 7.5 metre for the hybrid truck compared with the conventional ICE truck, at constant speed and adapted gear

Sources de bruit principales

L'analyse basée sur les mesures obtenues avec l'antenne microphonique permet de produire des images acoustiques du véhicule au passage par bande de tiers d'octave, indiquant la position et l'importance des sources de bruit principales dans la limite des propriétés spatiales de l'antenne.

Les types de sources de bruit du camion thermique et du camion hybride en mode de fonctionnement hybride ne se distinguent pas fondamentalement, même si elles peuvent cependant se différencier quantitativement. En revanche la répartition des sources de bruit en mode électrique diffère nettement des autres modes. À 20 km/h, les sources principales d'un camion utilisant un moteur thermique sont principalement localisées vers l'avant du véhicule et sont dues prioritairement à la contribution du groupe motopropulseur, alors que la source de bruit située vers l'avant en mode électrique, coïncidant avec la position du moteur électrique, reste inférieure à la source de bruit de contact pneumatique-chaussée associée à la roue motrice (Figure 6). Aux vitesses plus élevées, le bruit de roulement prend de l'importance, avec une contribution prédominante de la roue motrice. Au-delà de 50 km/h, les sources de bruit sont similaires en niveau global pour les deux camions (Figure 7, page suivante), mais présentent des caractéristiques fréquentielles différentes dues aux spécificités des pneumatiques, notamment à la sculpture de la bande de roulement.

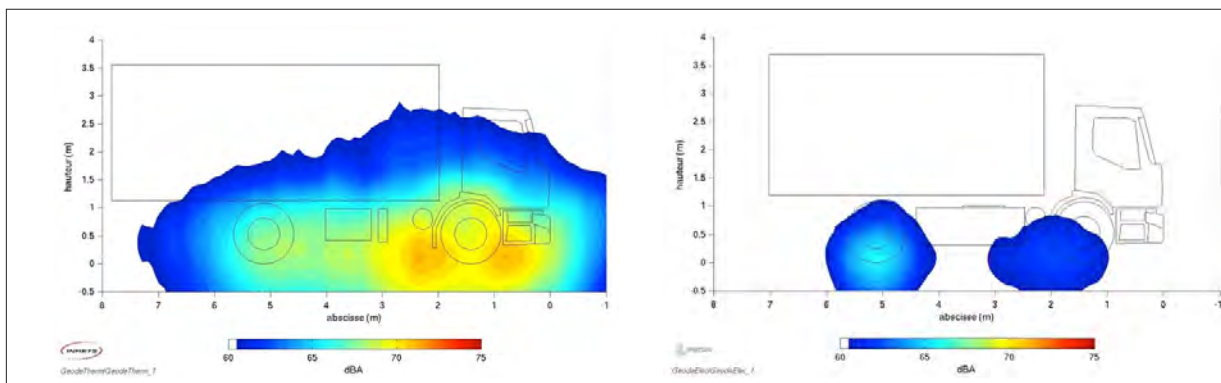


Fig. 6 : Cartographie acoustique du camion thermique (gauche) et du camion hybride en mode électrique (droite) à 20 km/h – niveau de pression global sur l'antenne
Acoustic map of the ICE truck (left) and the hybrid truck in electric mode (right) at 20 km/h – global noise pressure levels on the array

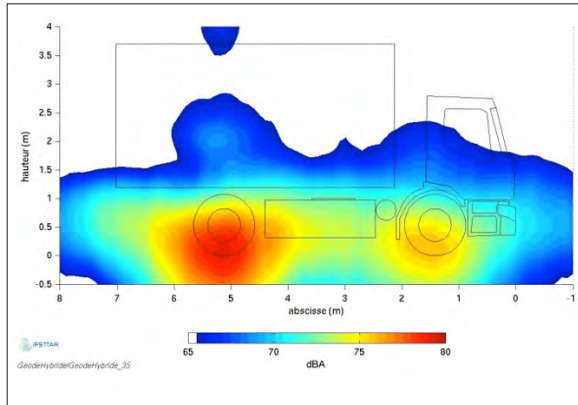


Fig. 7 : Cartographie acoustique du camion hybride en mode hybride à 50 km/h – niveau de pression global sur l'antenne
 Acoustic map of the hybrid truck in hybrid mode at 50 km/h – global noise pressure levels on the array

Évaluation de la contribution des sources de bruit

En raison de la réponse d'antenne associée à la formation de voies, une lecture quantitative directe de la contribution des sources de bruit sur les images acoustiques délivrerait des valeurs surestimées, notamment en basse fréquence. Une approche de type déconvolution a été mise en œuvre pour estimer la puissance des sources, en minimisant l'erreur quadratique entre la cartographie acoustique mesurée et une cartographie calculée pour cinq sources modélisées par des monopôles décorrélés sur le véhicule. La position de ces sources a été contrainte à l'intérieur de zones restreintes disjointes correspondant à la position des sources principales observées sur l'ensemble des images acoustiques mesurées. La procédure a été validée en comparant les signatures temporelles par tiers d'octave et globales mesurées à 7,5 mètres et les signatures temporelles calculées pour un véhicule au passage modélisé par les cinq monopôles. L'antenne en croix conduisant à un taux de validation insuffisant, probablement lié à une perte de corrélation entre les deux antennes linéaires dans certains cas, il a semblé préférable de se concentrer sur l'utilisation de la seule branche horizontale pour l'évaluation de la puissance de cinq sources ponctuelles décorrélées situées au niveau du sol et réparties de l'avant à l'arrière du camion aux positions suivantes : à l'avant, près de la zone de contact et derrière la roue directrice, entre les deux essieux, puis au voisinage de la zone de contact de la roue motrice. Dans les développements ci-dessous, les trois sources situées sur la partie avant du véhicule ont été fusionnées en une zone source avant unique couvrant l'ensemble de la cabine jusqu'à l'échappement.

Lois d'émission des sources de bruit

Le comportement des sources vis-à-vis des paramètres est spécifique à chaque type de source, et les lois d'émission ont donc été adaptées à chaque cas. La zone source avant inclut le groupe motopropulseur et les roues directrices : sa loi d'émission est déterminée en ajustant aux niveaux de bruit de la zone source avant un modèle similaire à l'équation (1), comprenant une composante moteur et une composante de roulement.

La zone source roue motrice est caractérisée par la présence de raies fréquentielles qui se décalent avec la vitesse, liées notamment aux périodicités de la bande de roulement du pneumatique : la loi d'émission dans chaque tiers d'octave est approchée par une ligne brisée. Finalement, la zone source entre-essieux dépend du seul régime moteur. Par souci de concision, seuls les niveaux globaux résultant de la sommation des lois par tiers d'octave (63 Hz à 4 000 Hz) sont donnés dans cet article (Figure 8), et quelques commentaires sur le comportement fréquentiel sont ajoutés.

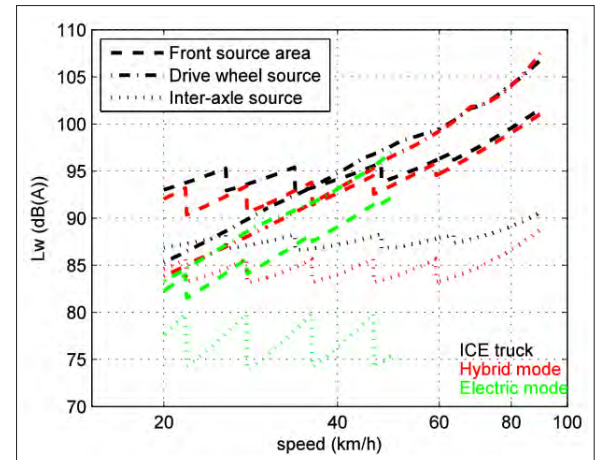


Fig. 8 : Lois d'émission de bruit global des trois zones sources principales pour les trois configurations de camions au passage à vitesse constante (rapport adapté) – niveau de puissance acoustique en dB(A)
 Global noise emission laws of the three main noise source areas for the three truck configurations at constant speed (adapted gear) – noise power level in dB(A)

Zone source avant

Le camion en mode électrique est plus silencieux dans la majorité des bandes de fréquence ; cette différence est faible, voire négligeable, à 500 et 630 Hz. En mode électrique, le bruit de roulement associé aux roues directrices influence le bruit émis par cette zone source dès les faibles vitesses, tandis que pour le camion thermique et le mode hybride il n'intervient de façon significative qu'au-delà de 60 km/h en raison du bruit du groupe motopropulseur. La prépondérance du camion thermique sur le camion en mode hybride résulte principalement des hautes fréquences.

Zone roues motrices

Les roues motrices du camion thermique sont globalement un peu plus bruyantes en raison de la plus forte contribution des composantes spectrales liées aux périodicités de la bande de roulement, aux basses et moyennes fréquences. Aux vitesses élevées, les niveaux globaux sont similaires pour les deux camions, avec toutefois des prédominances respectives dans des bandes de fréquences différentes.

Zone inter-essieux

Cette source apporte une contribution faible, voire négligeable, à l'émission de bruit totale. Des différences fréquentielles sont observées entre les camions mais ne sont pas détaillées plus avant en raison d'une possible contamination dans le traitement par les sources voisines plus puissantes.

Émission de bruit en accélération

Le camion est soit arrêté soit en approche à vitesse constante (entre 10 et 40 km/h) au rapport adapté, puis commence à accélérer fortement 10 mètres avant le premier microphone. Les mesures ont été effectuées dans les deux sens de circulation. L'accélération est d'autant plus forte que la vitesse initiale est faible. Les résultats présentés n'incluent pas les cas où un changement automatique de rapport de boîte s'est produit face au point de mesure considéré. Les données de régime moteur ne sont pas connues pour les passages en accélération.

Niveau de bruit maximum à 7,5 mètres

Les vitesses instantanées associées aux mesures varient de 13 à 53 km/h. Les valeurs maximales des niveaux de bruit présentent une assez forte dispersion à vitesse donnée (de l'ordre de 4 dB (A)), indépendamment du côté du camion mesuré, pour les trois configurations de motorisation.

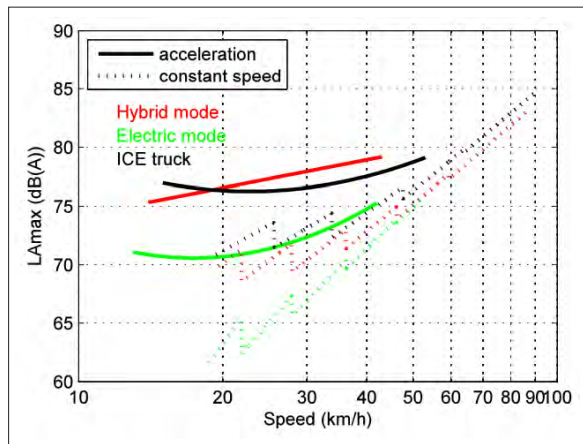


Fig. 9 : Lois d'émission de bruit global à 7,5 m des véhicules en accélération (traits continus) et à vitesse constante / rapport adapté (pointillés) pour le mode hybride (rouge), le mode électrique (vert) et le camion thermique (noir) – niveaux de pression maximums pondérés A
Global noise emission law at 7.5 m with acceleration (full line) and at constant speed / adapted gear (dotted line) for the hybrid mode (red), the electric mode (green) and the reference ICE truck (black) – maximum A-weighted noise pressure levels

En l'absence d'information sur le régime moteur, des lois d'émission linéaires ou quadratiques ont été ajustées aux mesures, par bande de tiers d'octave ou sur les niveaux globaux. Seuls les résultats globaux sont présentés ici. L'accélération introduit une forte augmentation des niveaux de bruit pour les trois configurations de fonctionnement des camions (Figure 9), les valeurs maximales au passage dépassant même les niveaux respectifs à vitesse constante au rapport inférieur. L'accroissement est plus important aux faibles vitesses (associées aux plus fortes accélérations). Le camion en mode hybride est plus bruyant sur la plus grande partie de la gamme de vitesses testée. Le mode électrique reste le mode le plus silencieux : accélérer en mode électrique permet de réduire le niveau de bruit émis jusqu'à 6,3 dB(A) pour les vitesses testées, en comparaison du camion thermique en accélération.

Analyse des sources de bruit

Les images acoustiques des véhicules mettent principalement en évidence une augmentation majeure du bruit émis par la zone source avant (incluant l'échappement du côté gauche) pour les deux configurations avec moteur thermique, et un accroissement de l'émission de bruit associée à la zone roue directrice pour le mode électrique (Figure 10, à comparer à la figure 6 en prêtant attention aux modifications éventuelles de l'échelle de couleurs).

Le nombre de passages disponibles en accélération pour les mesures avec l'antenne est limité. Les résultats, concernant les lois d'émission des sources, doivent être regardés comme des tendances quant à leur comportement, plutôt que comme des valeurs quantitatives précises. Sans information sur les régimes moteurs, la loi spécifiée pour la zone source avant ne dépend que de la vitesse du véhicule :

$$L_{FS}(v) = \alpha_{FS} \log\left(\frac{v}{v_{ref}}\right) + L_{0,FS}$$

et la composante inter-essieux est constante. La loi associée à la zone roue motrice est inchangée mais l'étendue restreinte de la gamme de vitesses réduit la précision des estimations.

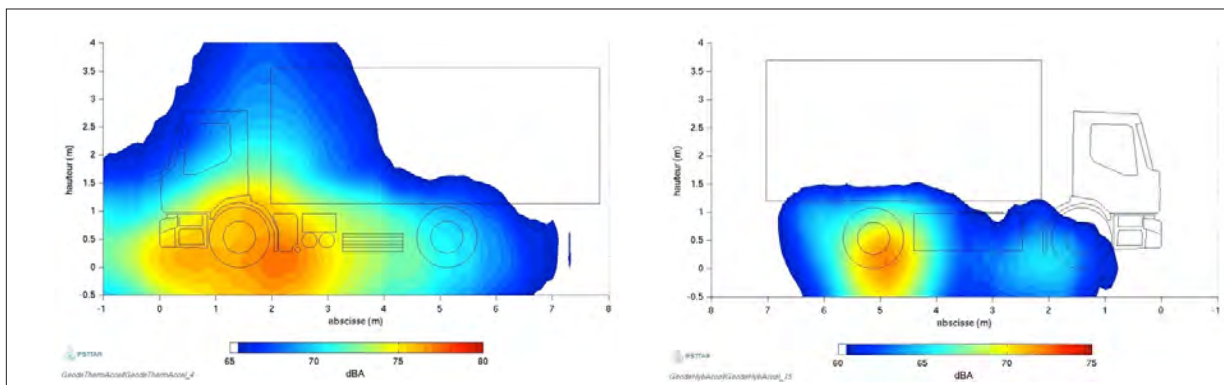


Fig. 10 : Cartographie acoustique du camion thermique (gauche) et du camion hybride en mode électrique (droite) en accélération à 20 km/h – niveau de pression global sur l'antenne
Acoustic map of the ICE truck (left) and the hybrid truck in electric mode (right) with acceleration at 20 km/h – global noise pressure levels on the array

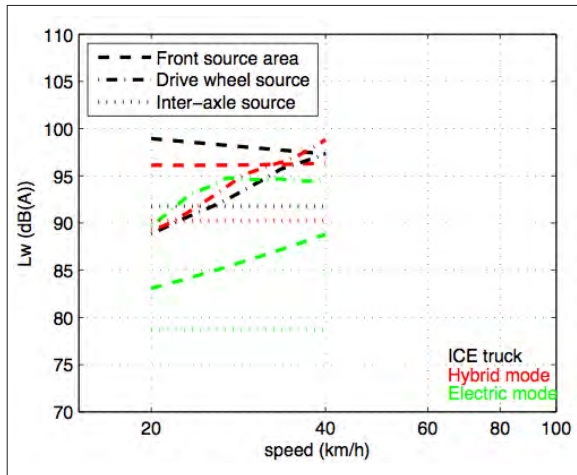


Fig. 11 : Lois d'émission de bruit global des trois zones sources principales pour les trois configurations de camions au passage en accélération - niveau de puissance acoustique en dB (A)
Global noise emission laws of the three main noise source areas for the three truck configurations at constant speed (adapted gear) - noise power level in dB (A)

La figure 11, comparée à la figure 8, souligne l'augmentation du bruit émis par la zone source avant, due *a priori* au groupe motopropulseur, pour les deux configurations impliquant un moteur thermique, alors qu'il n'y a pas de hausse significative en mode électrique. Le camion thermique est le seul à montrer des différences latérales. Concernant la zone roue motrice, le niveau de bruit émis augmente dans tous les cas, probablement dû à des efforts de traction plus importants, avec une accentuation des raies spectrales. Le bruit de roulement généré au contact de la roue motrice avec la chaussée devient ainsi la source prépondérante du camion électrique en accélération. Enfin, l'effet de l'accélération est encore significatif à 50 km/h.

Émission de bruit au freinage

Pour les mesures au freinage, le camion arrive à vitesse constante (20 ou 40 km/h), et commence à freiner 10 mètres avant le premier microphone, avec le frein de service seul, le frein échappement seul ou les deux types de freins. Le frein échappement ne concerne pas le mode électrique. Des mesures ont été effectuées dans les deux sens de circulation. Les informations de régime moteur pendant le passage ne sont pas disponibles.

Ni le type de freinage (le cas échéant), ni le sens de circulation n'ont d'effet significatif sur les niveaux de pression maximums à 7,5 m, quelle que soit la configuration de motorisation. Les niveaux de bruit obtenus sont plus élevés qu'à vitesse constante (rapport adapté), excepté pour le camion thermique à faible vitesse (Figure 12). Le camion en mode hybride au freinage est légèrement plus bruyant que le camion thermique au freinage, tandis que le mode électrique apporte une réduction de bruit qui peut atteindre 3,2 dB (A).

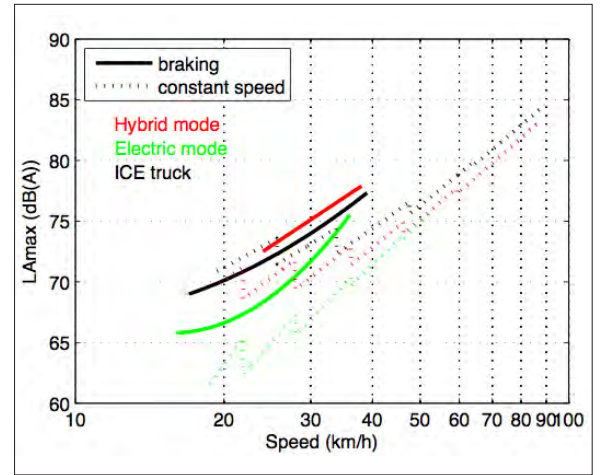


Fig. 12 : Lois d'émission de bruit global à 7,5 m des véhicules au freinage (traits continus) et à vitesse constante / rapport adapté (pointillés) pour le mode hybride (rouge), le mode électrique (vert) et le camion thermique (noir) - niveaux de pression maximums pondérés A
Global noise emission law at 7.5 m with braking (full line) and at constant speed / adapted gear (dotted line) for the hybrid mode (red), the electric mode (green) and the reference ICE truck (black) - maximum A-weighted noise pressure levels

Conclusion

Cette étude a montré qu'aux vitesses urbaines, le camion hybride GEODE est légèrement moins bruyant que le camion thermique équivalent, principalement en raison de la contribution du bruit moteur. Cependant, il devient légèrement plus bruyant en accélération, entre autres via une augmentation du bruit de roulement en provenance de la zone de la roue motrice. En revanche le mode électrique apporte une réduction sonore remarquable : pouvant dépasser 8 dB (A) à faible vitesse stabilisée, elle diminue cependant aux vitesses plus élevées pour disparaître à 50 km/h. Ce mode reste avantageux dans des situations d'accélération et de freinage, même si l'amélioration comparée au camion thermique est plus faible. En mode électrique, le bruit émis est dominé par le bruit de roulement des roues motrices, qui devient donc le nouvel enjeu si une réduction de bruit supplémentaire est souhaitée.

Références bibliographiques

- [1] G.J. van Blokland, «Stimulation of low noise road vehicles in the Netherlands», Proc. Internoise 2011, Osaka, Japan (2011).
- [2] ISO 362-1:2007, «Measurement of noise emitted by accelerating road vehicles - Engineering method, Part 1 : M and N categories» (2007).
- [3] NF S31-119-2, «Caractérisation in situ des qualités acoustiques des revêtements de chaussée - Mesurages acoustiques au passage - Partie 2 : véhicules maîtrisés» (2000).
- [4] D.H. Johnson, D.E. Dudgeon, «Array signal processing - Concepts and techniques», Prentice Hall (1993).
- [5] J.F. Hamet, M.A. Pallas, S. Doisy, J. Lelong, «Modeling noise emission of heavy trucks : do a power unit and a rolling noise suffice ?», Proc. Internoise 2004, Prague, Rép. Tchèque (2004).
- [6] M.A. Pallas, R. Chatagnon, J. Lelong, «Acoustic assessment of a passing-by hybrid distribution truck», Proc. Internoise 2012, New York, USA (2012).