

Sécurité des véhicules électriques et hybrides

Sonorisation des véhicules silencieux

Louis-Ferdinand Pardo, Serge Ficheux

UTAC

Service Acoustique

Autodrome de Linas-Monthéry

BP 20212

91311 Monthéry CEDEX

E-mail : louis-ferdinand.pardo@utac.fr

Résumé

L'évolution de la mobilité urbaine depuis plusieurs années (augmentation des 2 roues, évolution des transports publics et électrification des véhicules) change progressivement notre perception et notre comportement en tant qu'utilisateur des voies publiques.

L'augmentation du nombre de véhicules silencieux permet de réduire les nuisances sonores dues au trafic routier en zone urbaine. Toutefois, ce bénéfice environnemental positif a une conséquence imprévue. Supprimer le bruit du moteur thermique à basse vitesse peut entraîner des risques supplémentaires pour les utilisateurs des voies urbaines (piétons, cyclistes, etc) dans la mesure où les usagers des routes et des trottoirs anticipent l'approche, la présence ou le départ des véhicules grâce à leurs bruits.

Différentes solutions sont envisagées pour prévenir ces risques et les travaux de réglementation et de normalisation en cours préparent notamment à l'introduction de dispositifs de sonorisation.

Cet article traite des risques liés aux véhicules silencieux et considère entre autres, la sonorisation de ces véhicules.

L'électrification des véhicules est aujourd'hui un challenge important de l'industrie automobile et une opportunité pour réduire la pollution atmosphérique. De plus, l'augmentation de la proportion de ces véhicules dans le trafic routier devrait réduire les nuisances sonores en milieu urbain.

Cependant, retirer la source audible risque de provoquer une augmentation des accidents dans la mesure où les piétons utilisent le bruit des véhicules pour anticiper leurs mouvements.

Des travaux sont en cours pour analyser les situations à risque et proposer des solutions permettant l'introduction de ces véhicules dans l'environnement urbain.

Contexte

Anticipant l'arrivée prochaine dans le paysage sonore urbain d'une proportion significative de véhicules électriques ou hybrides, plusieurs associations d'aveugles et malvoyants dans le monde ont alerté leurs pouvoirs publics sur les risques potentiels pour les piétons de cette perte d'information audible.

En effet, ces véhicules peuvent être très silencieux à faible vitesse, rendant leur détectabilité difficile pour les piétons.

Accidentologie

Aucun rapport ne permet aujourd'hui de définir clairement les configurations caractéristiques d'accident entre piétons et véhicules silencieux. Cependant, en reliant le paramètre sonore aux conditions de conduite, on distingue les situations à risque potentiel suivantes :

- l'arrêt (au feu, ...),
- le départ (au feu, depuis une place de parking, ...),
- le mouvement (en vitesse stabilisée, accélération, décélération, marche arrière).

Chacune de ces conditions est reliée à la fonction et au niveau de trafic des voies de circulation. Les situations dangereuses dépendent alors du niveau sonore du véhicule et du bruit de fond perturbateur pouvant influencer sur la vigilance et le masquage.

Les voies de circulation peuvent être définies selon les caractéristiques suivantes [1] :

- **Fonctions** : Voie d'accès (accès à une zone résidentielle ou commerciale), voie de distribution (connexion entre des voies d'accès, d'autres voies de distribution ou des réseaux), réseaux (autoroutes ou voies rapides).
- **Conditions de trafic** : Libre (trafic lent ou constant, trafic constant et à relativement haute vitesse), important (contraint mais à vitesse relativement constante),

quasi-saturé (trafic plutôt saturé, à vitesse intermédiaire et variable avec arrêt possible), arrêt-départ (sérieusement saturé, à vitesses basses variables avec des arrêts).

Ainsi, dans les situations de trafics, d'important à saturé sur des voies de distribution, il n'y a pas lieu de considérer que le risque puisse augmenter en l'absence de bruit du véhicule. Tout d'abord parce que la vigilance du piéton est fortement accrue par la densité du trafic et, aussi, parce que la différence de bruit est faible entre un véhicule «classique» et un véhicule silencieux pour des vitesses supérieures à 30 km/h.

Donc, les voies typiques présentant un risque potentiel lors de la circulation de véhicules silencieux sont les voies d'accès et les voies locales de distribution.



Fig. 1a : Exemple de voie d'accès



Fig. 1b : Exemple de voie de distribution

Les vitesses moyennes pour ces types de voies, indiquées dans le tableau 1, varient entre 11 et 33 km/h. Les situations à risque potentiel du véhicule en mouvement doivent être évaluées dans cet intervalle.

Road type	Level of traffic	Average speed by speed limit km/h			
		30	40	50	60
Urban - Local	Free-Flow	-	-	40	53
	Heavy	-	-	38	40
	Saturated	-	-	20	28
	Stop-&-Go	-	-	13	19
Urban - Access	Free-Flow	20	33	37	-
	Heavy	20	33	37	-
	Saturated	13	14	26	-
	Stop-&-Go	11	12	13	-

Tabl. 1: Vitesse moyenne par rapport à la vitesse limite pour les voies d'accès et les voies de distribution [1]

Niveau sonore des véhicules routiers

Pour un type de véhicule, le niveau sonore et la perception dépendent de la vitesse, de la condition d'accélération et du contact pneumatique-chaussée. À basse vitesse, la différence de niveau sonore entre un véhicule en mode thermique et un véhicule en mode électrique peut être significative.

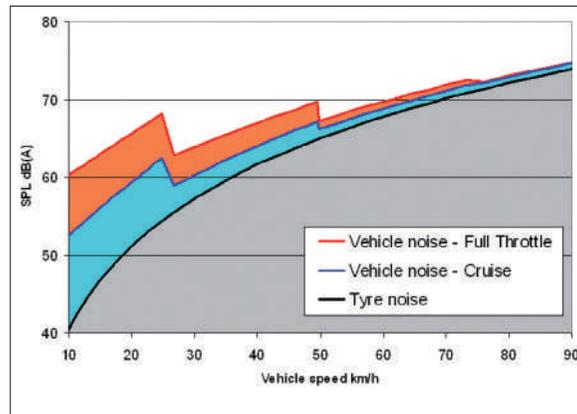


Fig. 2 : Exemple de niveau sonore en fonction de la vitesse

En considérant les différentes situations décrites au chapitre précédent, la figure 2 montre un exemple de niveaux de bruit au passage (microphone à 2 m) pour différentes vitesses et conditions d'accélération. Alors que le niveau sonore émis par le véhicule en mode thermique sera plutôt proche de la courbe bleue en vitesse stabilisée, celui du véhicule en mode électrique sera plutôt proche de la courbe noire. Celle-ci représente d'ailleurs le seuil minimum de bruit pouvant être produit par le véhicule – celui du contact pneumatique-chaussée.

Ainsi, la différence entre les 2 modes peut être supérieure à 10 dB(A) en basse vitesse (<30km/h) et inférieure à 2 dB(A) à plus haute vitesse (>50km/h). Cette différence provient de la faible émission sonore du moteur électrique par rapport au moteur thermique. Au-dessus de 30 km/h, le bruit de contact pneumatique-chaussée devient prédominant en vitesse stabilisée. Tandis qu'à l'arrêt, la différence est significative pour toutes les fréquences (figure 3).

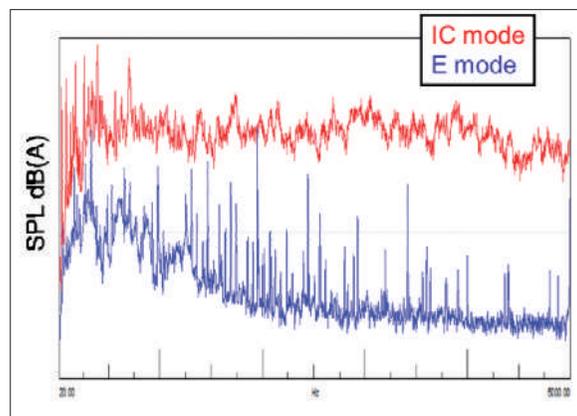


Fig. 3: Spectres de bruit de véhicule en mode électrique (E) et mode thermique (IC) à l'arrêt

Bruits de fond en milieux urbains

La conséquence des faibles émissions sonores du véhicule électrique lorsqu'il circule à basse vitesse est le masquage de celles-ci par le bruit ambiant. Un dispositif semble alors nécessaire pour informer les piétons de la présence de celui-ci. Plusieurs solutions ont été envisagées.

Les différentes solutions

Afin de réduire l'éventuel effet négatif de la réduction du bruit des véhicules électriques, les constructeurs et les autorités ont envisagé différentes stratégies basées sur des systèmes actifs ou passifs. Ces différentes solutions offrent des prestations variables entre avertissement et alerte, sécurité primaire ou secondaire. Elles sont pour la plupart complémentaires.

Assistance à la conduite

Certains constructeurs commencent à équiper leurs véhicules de systèmes d'assistance au conducteur (Advanced Driver Assistance Systems - ADAS). Ces dispositifs peuvent prévenir le conducteur lorsqu'un obstacle se trouve dans ou proche de la trajectoire du véhicule et faire office de dispositif de sécurité secondaire en freinant le véhicule. L'objectif est d'alerter et de gérer une situation d'urgence.

Communication véhicules - piétons

La généralisation de la téléphonie mobile et les possibilités de communication des véhicules offrent de plus en plus de possibilités. Dans le futur, cela permettra à ces derniers d'avoir une meilleure localisation des piétons dans son environnement et vice-versa. Ces dispositifs silencieux offriraient un moyen de prévention personnalisé (par exemple en utilisant les vibreurs, pour aveugles et malvoyants). Cependant, leur généralisation nécessite encore des développements significatifs, autant du côté «fonctionnalité» que du côté «communication». Ils ne peuvent donc pas être envisagés dans l'immédiat.

Avertisseurs sonores urbains

Les véhicules routiers sont équipés d'avertisseurs réglementaires (les Klaxons) [2]. Ceux-ci sont nécessaires dans les situations de dangers immédiats et ne peuvent pas être utilisés comme simples dispositifs d'avertissement à l'attention des piétons ; ils sont en effet, trop bruyants pour offrir l'acceptabilité nécessaire pour les piétons. Cependant, certains véhicules sont équipés d'avertisseurs urbains comme les transports en commun (bus ou tramway). Les «cloches» montées sur ces véhicules permettent au conducteur d'avertir un piéton sans le surprendre ni l'agresser.

Ce type de dispositif pouvant être monté sur les véhicules [3] offre une réduction des nuisances sonores en ville où il peut remplacer l'avertisseur réglementaire dans de nombreuses situations n'induisant pas de danger immédiat.

«Sonorisation» des routes

Le bruit de contact pneumatique-chaussée est une composante importante de l'émission sonore des véhicules routiers. Celui-ci est audible à l'extérieur comme à l'intérieur du véhicule. Des dispositifs audio-tactiles sont actuellement utilisés sur autoroute ou à l'approche de certaines zones urbaines. Ils consistent souvent en l'application d'un relief ou d'une gravure sur les bandes de signalisation routière.

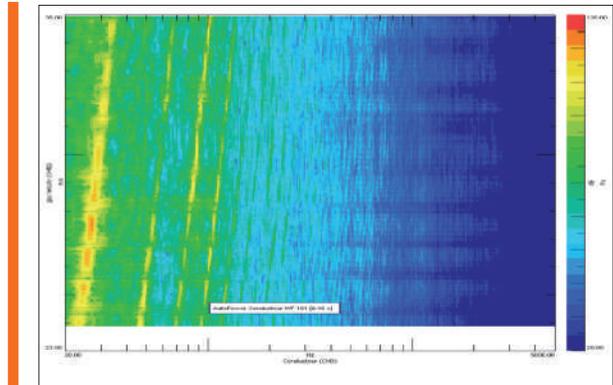


Fig. 4: Sonogramme d'un bruit à l'intérieur d'un véhicule passant sur une bande sonore en fonction de la vitesse

Ce type de dispositif passif est très prometteur mais principalement utile en zones localisées (voies rapides pour prévenir le conducteur d'une sortie de voie ou en zones piétonnes pour prévenir les piétons de la présence d'un véhicule, ...). Ils ne peuvent donc pas apporter une réponse globale au problème de la réduction du bruit des véhicules.

Sonorisation des véhicules

Face à la réduction du bruit due aux motorisations électriques, la solution la plus logique peut être finalement de maintenir artificiellement un son au véhicule permettant au piéton de retrouver l'information sonore utile à sa navigation urbaine.

Dispositif de sonorisation des véhicules silencieux

Le design de ces sons est encore, pour beaucoup de constructeurs, en recherche et développement. Le but est de proposer, au moment opportun, le meilleur compromis des principales prestations attendues :

- informations pour les piétons,
- nuisances minimum pour l'environnement,
- design futuriste associé à l'identité du constructeur.

L'objectif est d'abord la sécurité (le son doit être audible, localisable, directionnel, ...) tout en tenant compte de l'environnement (acceptabilité, directivité, atténuation, ...) et des aspects économiques.

Design sonore [4][5]

La mise au point de ces signaux se base entre autres, sur les caractéristiques de perception humaine, les effets de masquage dus aux bruits urbains et la nécessité de conserver une bonne compréhension en «simulant» le moteur thermique.

Ainsi, le son émis doit être plutôt continu et simuler plus le comportement que la sonorité du moteur thermique. Il doit permettre de reconnaître les manœuvres (vitesse et changement de vitesse) : Il est nécessaire de faire varier le signal pour distinguer le véhicule à l'arrêt du véhicule en mouvement, ou en marche arrière.

De plus, il est préférable d'avoir des composantes fréquentielles de 2 kHz à 5 kHz pour émerger du bruit de fond, mais aussi de 200 Hz à 1 000 Hz pour être reconnu des

personnes malentendantes ou âgées. Les modulations de niveau et une certaine impulsivité sont utiles pour l'amélioration de la perception.

Enfin, le niveau doit être ajusté de façon à permettre la même perception que celle des moteurs thermiques. Cependant, l'optimisation du son doit permettre une détectabilité identique pour un niveau sonore plus faible.

Exemples de signaux

Certains constructeurs ont déjà introduit des dispositifs de sonorisation sur leurs véhicules électriques (Nissan Leaf, Lotus, ...). Ces systèmes vont d'une reproduction sonore de moteurs thermiques à des sonorités plus artificielles.

Les premières analyses sur les sons artificiels disponibles montrent que contrairement aux sons émis par un moteur thermique, ceux-ci ne présentent pas de composantes basses fréquences et large bande. En effet, les signaux analysés (figure 5) ont des composantes multi-tonales fortement harmoniques dans les zones inférieures à 1 000 Hz et/ou supérieures à 2 000 Hz. De plus, des modulations de niveau sont introduites sur certaines composantes permettant une meilleure détectabilité à l'instar des modulations naturelles des moteurs thermiques.

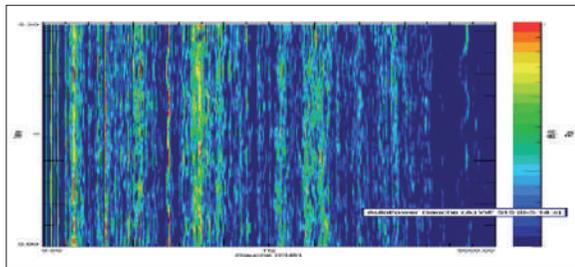


Fig. 5a : Moteur thermique

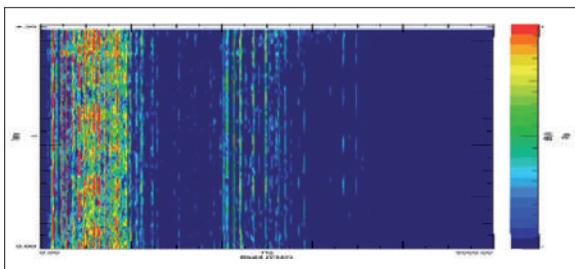


Fig. 5b : Son 1

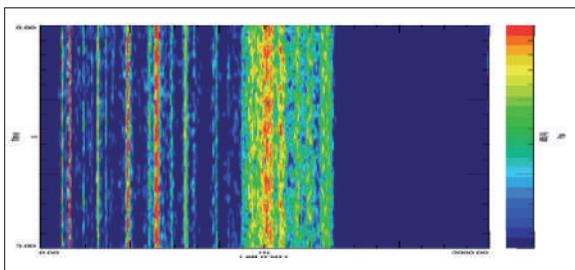


Fig. 5c : Son 2

Enfin, pour donner une information supplémentaire sur le mouvement du véhicule, une variation du son simule la charge appliquée au moteur et l'augmentation de régime moteur (voir exemple figure 6). Celles-ci sont souvent peu audibles sur une motorisation électrique.

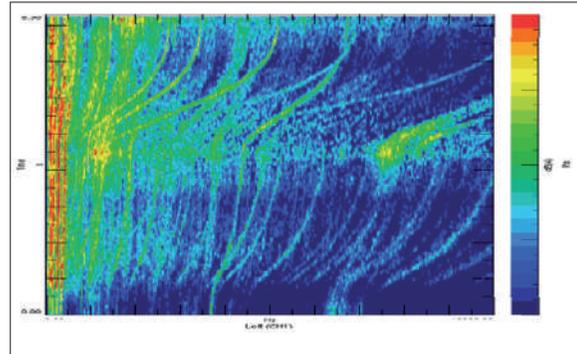


Fig. 6: Son 3 - Véhicule en mouvement

Malgré le caractère futuriste de ces sons, on retrouve souvent une similitude avec le son naturel des véhicules électriques - fortement tonal dû au moteur et aux convertisseurs électriques.

Niveau sonore minimum

Afin de définir objectivement la nécessité de monter ou pas un dispositif de sonorisation, les autorités, les constructeurs et les laboratoires doivent disposer d'une méthode d'essai représentative, reproductible et techniquement robuste.

Ainsi, les considérations techniques d'une méthode d'évaluation acoustique (métrique, conditions opératoires, ...) sont mises en relation avec les réalités urbaines (conditions accidentologiques, bruit ambiant, ...).

Faisant la liaison avec la SAE aux Etats-Unis, les experts du groupe ISO, avec la participation de l'UTAC, travaillent sur l'évaluation du bruit minimum qui devrait servir à différencier les véhicules silencieux des autres.

Principe de la méthode

Cette méthode basée sur le document [10] consiste à tester le véhicule en mouvement à 10 km/h et en stationnaire sur le mode qui produit le plus bas niveau sonore. Les microphones sont positionnés sur la ligne PP' à 2 m de la ligne centrale et à 1,2 m de hauteur. Le niveau sonore maximum pondéré A est relevé de chaque côté du véhicule.

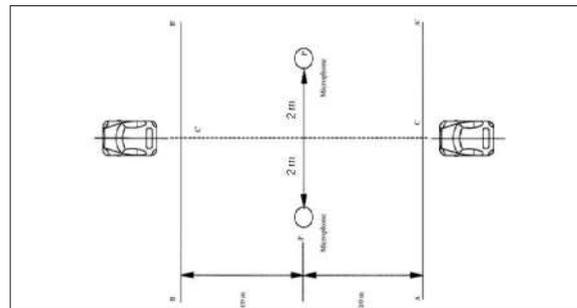


Fig. 7 : Site d'essais pour les mesures

Les essais en mouvement doivent être réalisés sur une piste ISO 10 844 identique à celle utilisée pour les essais d'homologation des véhicules.

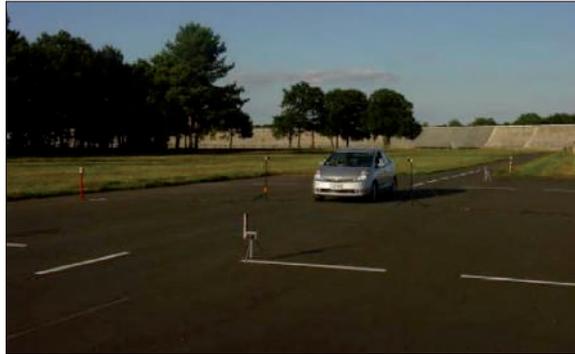


Fig. 8 : Piste de référence conforme à la norme ISO 10 844:2011 à Monthéry (France)

Le test en condition stationnaire peut être réalisé soit sur piste soit en chambre semi-anechoïque.

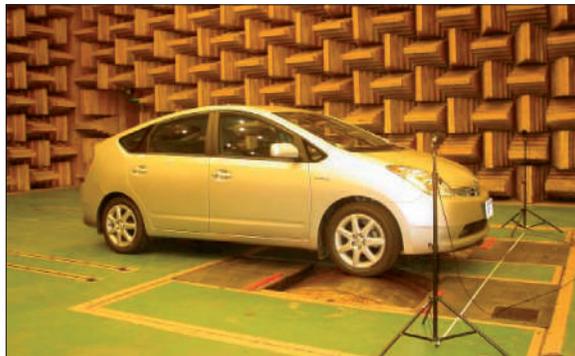


Fig. 9 : Chambre semi-anechoïque de l'UTAC à Monthéry (France)

Différence entre mode électrique et thermique

Pour les véhicules **en mouvement**, la vitesse de 10 km/h permet clairement de différencier les modes électriques et les modes thermiques : le bruit minimum en mode électrique est plutôt inférieur à 50 dB(A) alors qu'il est plutôt supérieur à 50 dB(A) en mode thermique.

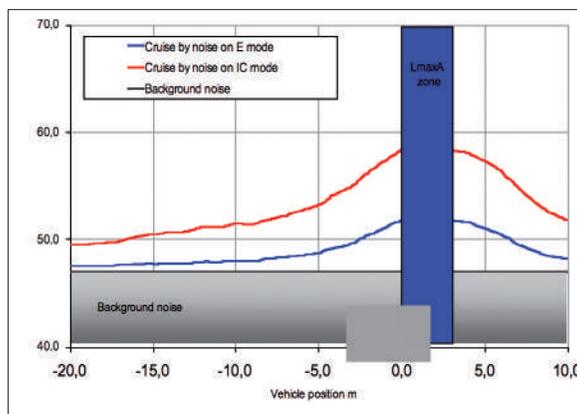


Fig. 10 : Passages d'un véhicule mode électrique (E) et d'un véhicule mode thermique (IC)

10 km/h en vitesse stabilisée représente clairement une condition de bruit minimum discriminante, avec le risque, toutefois, de se confondre avec le bruit de fond de l'installation.

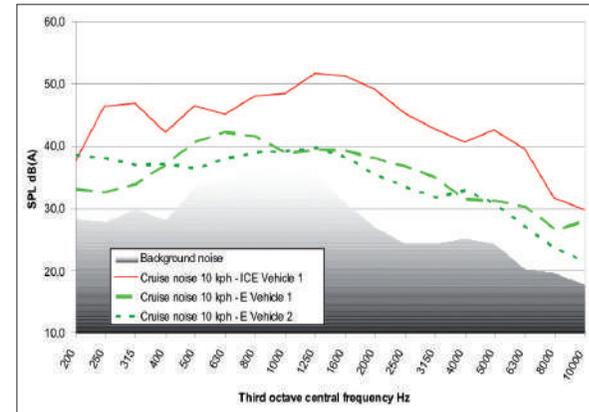


Fig. 11 : Spectres du bruit de passage de véhicules en mode électrique (E), en mode thermique (IC) et bruit de fond

Pour les véhicules **en condition stationnaire**, la différence entre mode thermique et mode électrique est supérieure à celle relevée en mouvement. Elle peut être de plus de 20 dB(A) : de même qu'à 10 km/h, le bruit minimum en mode thermique est plutôt supérieur à 50 dB(A), alors qu'il peut être très inférieur à 50 dB(A) en mode électrique.

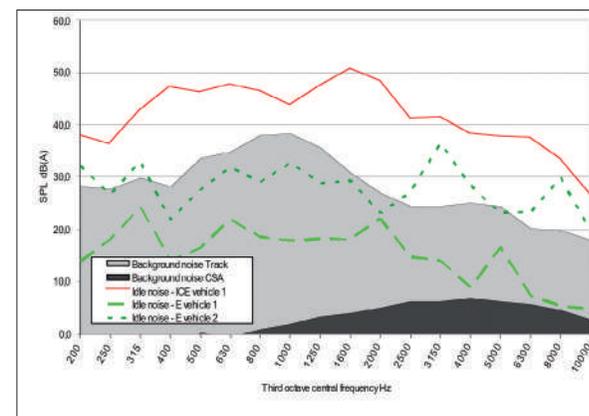


Fig. 12 : Spectres du bruit stationnaire de véhicules en mode thermique (IC) et en mode électrique (E)

La plupart des mesures stationnaires sur véhicules en mode électrique doivent être réalisées en chambre semi-anechoïque afin d'obtenir des bruits de fond inférieurs à 25 dB(A). Ils peuvent être réalisés sur piste pour la plupart des véhicules en mode thermique.

Influence du bruit de fond

Sur piste comme en ville, la détection et la mesure des niveaux sonores des véhicules sont très dépendantes du bruit de fond. Celui-ci est dû :

- à l'environnement lointain,
- à l'environnement proche,
- au vent.

Si, sur piste, on peut atteindre des niveaux de bruit de fond inférieurs à 50 dB(A), ce n'est pas souvent le cas en milieu urbain.

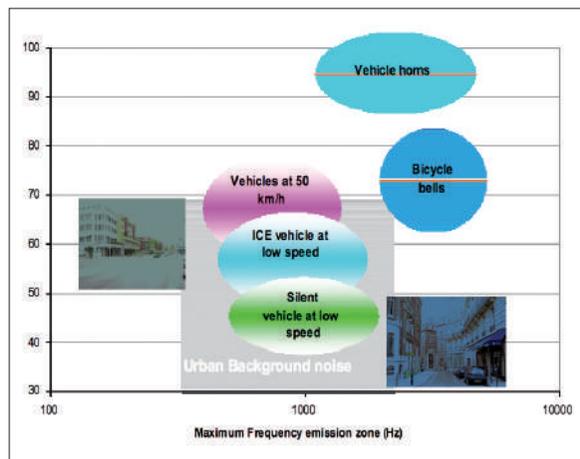


Fig. 13 : Niveau sonore des véhicules et des dispositifs

Certains véhicules électriques présentent des niveaux sonores minimum particulièrement bas (inférieurs à 25 dB(A)) - l'estimation réelle ne présente pas d'intérêt au regard du bruit de fond urbain – mesurer le silence n'est pas toujours possible voire nécessaire.

Vers une réglementation

Afin d'être efficace, le principe de sonorisation doit être défini et harmonisé. Les citoyens doivent conserver un environnement urbain cohérent assurant leur sécurité et bénéficier, autant que possible, de la réduction du bruit des véhicules «silencieux».

Les réglementations traitant des émissions sonores des véhicules et de leurs équipements prennent en considération les aspects suivants :

- niveau sonore maximum pour l'environnement (pneumatiques, véhicules, avertisseurs, etc),
- niveau sonore minimum pour la sécurité (avertisseurs, alarmes, etc),
- identification (avertisseurs, alarmes, etc).

Les avertisseurs sonores - type "Klaxons" - doivent suivre des spécifications sur les trois points ci-dessus.

L'usage d'un dispositif augmentant le bruit des véhicules n'est pas autorisé. Il est ainsi nécessaire de faire évoluer les textes pour permettre un cadre légal à la sonorisation intelligente et citoyenne des véhicules silencieux.

Les travaux en cours à travers le monde traitent en parallèle des différents sujets suivants :

- évaluation des risques pour les piétons,
- définition et optimisation des solutions possibles,
- développement des recommandations et méthodes d'essais.

Les principaux pays et institutions travaillant à ces problèmes sont :

- les USA (NHTSA),
- le Japon,
- l'ONU (WP 29/GRB/informal group QRTV)
- la Commission Européenne,
- les comités de normalisation ISO, SAE

Fortement active au niveau international, l'UTAC intervient et collabore à ces travaux, notamment au sein du QRTV et du GRB en tant qu'expert de la France.

Réglementation américaine

Les travaux en cours aux Etats-Unis sont déjà très avancés et un document finalisé devrait être mis en consultation publique par la NHTSA, à partir de juin 2012 pour un vote en janvier 2014.

Les exigences requises pour les véhicules silencieux seront :

- Un bruit minimum ou l'obligation de monter un système.
- La performance du son permettant sa reconnaissance (niveau minimum, présence, direction, localisation et opération).
- Un même son pour tout véhicule de même type et aucune manipulation autorisée de ce son.
- La considération de l'impact environnemental.

En parallèle, des travaux sont en cours à la SAE pour mettre au point les méthodes d'essai associées (voir §5.5).

Réglementation japonaise

Afin d'améliorer la détectabilité de certains véhicules, les Japonais ont vu émerger des dispositifs parfois très exotiques (un «bip bip» suivi de "Excuse me. Car is coming!!", une mélodie de Disney, ...). C'est pourquoi, un guide fixant des critères à respecter a déjà été mis en place et son application est recommandée pour tout dispositif monté sur véhicule.

De plus, des travaux vont débiter prochainement afin de rendre obligatoire l'installation d'un dispositif sur un véhicule considéré comme silencieux. Celui-ci devrait inclure l'estimation du bruit minimum d'un véhicule ainsi que la prise en compte d'un bruit maximum afin de prévenir l'installation de dispositifs trop bruyants.

Le guide japonais

Les exigences du guide d'application japonais [6] pour les dispositifs de sonorisation pouvant être montés sur les véhicules sont :

- Le son doit être généré automatiquement jusqu'à atteindre une vitesse d'au moins 20km/h et en marche arrière ;
- Le son doit rappeler le véhicule à moteur ;
- Le son doit être automatiquement altéré en volume et tonalité avec la vitesse ;
- Le son ne doit pas être similaire à une sirène, "Klaxon", cloche, ... ;
- Les sons qui ne rappellent pas le véhicule à moteur doivent être exclus (animaux, insectes, phénomènes naturels, etc);
- Le niveau sonore du son ne doit pas dépasser celui d'un véhicule à moteur thermique.

Réglementation européenne

La Commission européenne, s'appuyant sur les travaux de l'UNECE/WP29 à Genève [7], devrait prochainement inclure des exigences proches de celles du guide japonais. Elles devraient concerner uniquement les dispositifs montés sur les véhicules sans rendre leur montage obligatoire. Le choix ou le besoin d'installer un dispositif est laissé à l'appréciation du constructeur.

Normalisation SAE et ISO

Les développements en cours au sein des groupes de travail SAE et ISO concernent la préparation et la mise au point des méthodes d'essais permettant :

- La mesure du niveau sonore minimum (*avec ou sans dispositif*) ;
- La mesure des caractéristiques du dispositif (*fréquences, balayage, ...*).

Le challenge majeur des travaux de normalisation en cours consiste notamment à définir les métriques permettant de qualifier le véhicule et le dispositif.

Les métriques les plus couramment utilisées sont basées sur des normes internationales [8] [9] :

- Decibel : dB ref. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa
- Réponse temporelles: Fast, Slow, Leq
- Pondération : A, B, C, D
- SPL ou octave ou 1/3 octave.

De nombreuses métriques acoustiques ou psycho-acoustiques sont également possibles mais elles sont en général liées à des usages spécifiques et ne peuvent difficilement être généralisés pour tout type de son et pour toutes les populations concernées. De plus, elles ne font pas référence à un système de mesure et de traitement répondant à une validation réglementaire ou normative.

Perspectives

A court terme, la considération d'un guide ouvre la possibilité de réceptionner des dispositifs de sonorisation pouvant être montés sur plusieurs véhicules. Ce guide est une première étape préparant l'introduction de futures spécifications complémentaires :

- Niveau sonore minimum des véhicules,
- Niveau sonore maximum des dispositifs de sonorisation,
- Caractéristiques acoustiques des dispositifs,

Pour ce faire, de nombreux points sont encore à approfondir afin d'améliorer la connaissance et l'optimisation des dispositifs de sonorisation :

- Accidentologie (manœuvres, zones, ...),
- Signaux et dispositifs d'alertes,
- Méthodes de mesure,

L'UTAC, partenaire de l'industrie automobile, apporte son expertise pour harmoniser les solutions et proposer une plateforme technique permettant le développement et la validation des méthodes et des dispositifs en cours de mise au point.

Conclusions

La sonorisation des véhicules silencieux semble être une solution simple, efficace et peu coûteuse pour prévenir les accidents entre les véhicules silencieux et les piétons/cyclistes.

Des recommandations et une méthode d'essai permettront très prochainement de proposer aux citoyens un environnement sonore cohérent et un bruit urbain contrôlé. Cette première étape consistera à permettre la mise au point et l'optimisation d'outils et de moyens pour les constructeurs désireux d'installer de tels dispositifs. A l'issue de cette période transitoire, nécessaire pour l'industrie automobile, les piétons et les conducteurs, d'autres exigences pourront éventuellement être envisagées.

La balance doit être faite entre sécurité et environnement ; Même si, dans un premier temps, on pourrait ne pas bénéficier complètement de la réduction du bruit des véhicules électriques et hybrides, l'augmentation des véhicules silencieux va forcément faire évoluer la donne.

Références bibliographiques

- [1] Assessment and reliability of transport emission models and inventory systems ARTEMIS, Final Report n° UPR/IE/044/07, 2007
- [2] Réglementation n°28, Homologation des avertisseurs et des automobiles en ce qui concernent leur signalisation sonore
- [3] Article R313-33 du code de la route
- [4] Tabata T., Konet H., Kanuma T., Development of Nissan Approaching Vehicle Sound for Pedestrians, SIA 2011
- [5] White paper on external warning sounds for electric cars – Recommendations and guidelines, Delta SenseLab, 2011
- [6] Informal document No. GRB-52-03. Guideline on measures against the quietness of hybrid vehicles, etc., 2010
- [7] Résolution d'ensemble sur la construction des véhicules (R.E.3)
- [8] IEC 61672 – Sonomètres
- [9] IEC 61260 – Filtrage en 1/3 octave.
- [10] First ISO/CD ISO/TC 43/SC 1 N 1798 «Measurement of minimum noise emitted by road vehicles», 2010
- [11] Pardo L-F., Ficheux S., Audible warning device and minimum noise of road vehicles, SIA 2011