

10ème Congrès Français d'Acoustique

Lyon, 12-16 Avril 2010

Cartographie routière : Comparaison des modèles d'émissions

François-Edern Aballéa^{1,2}, Pierre-Jean René², Laurent Cosandey³

¹ Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), ELB – Station 11, CH-1015 Lausanne, Suisse, francois.aballea@epfl.ch

² aer - Acoustical Engineering & Research SàRL, Rue de l'Ale 25, CH-1003 Lausanne, Suisse, francois.aballea@a-e-r.ch, pjrene@a-e-r.ch

³ Office Fédérale de l'Environnement (OFEV), Worblentalstrasse 68, Ittigen CH-3063, Suisse, laurent.cosandey@bafu.admin.ch

Le transport routier connaît un essor considérable depuis ces dernières décennies contribuant largement à l'apparition de nombreuses nuisances parmi lesquelles la pollution par le bruit. Afin de préserver la tranquillité des riverains, les exigences réglementaires doivent être respectées malgré le volume du trafic en constante augmentation. Même si l'Europe appelle à généraliser l'utilisation du modèle Harmonoise/Imagine, de nombreux modèles de prévision mis au point par différents pays au cours de ces dernières décennies sont toujours couramment utilisés. Ils sont d'ailleurs proposés dans la plupart des logiciels de cartographie acoustique actuels. Cette étude consiste à comparer objectivement 9 modèles utilisés en Europe et au niveau international : Harmonoise/Imagine, NMPB, NORD2000, RLS 90, CoRTN, StL-86+, SonRoad, ASJ RTN, FHWA TNM. Notre travail s'est focalisé sur la partie émission de ces méthodes ainsi que sur la manière d'y considérer les données de trafic routier. Les niveaux d'émissions fournis par ces modèles ont également été confrontés à des mesures in-situ d'une semaine couplant mesures acoustiques et comptage de trafic.

1 Introduction

L'objectif des modèles de prédiction du bruit du trafic routier est de permettre la prédiction la plus précise possible des niveaux sonores aux alentours des infrastructures routières. Les logiciels de simulation actuels proposent un grand nombre de modèles développés par différents pays. Ceux-ci sont souvent semi-empirique, issus de régression des résultats de mesures plus ou moins récentes. Les niveaux fournis à partir de l'observation à une distance de référence donnée d'un certain nombre de mesures dans des conditions variées de trafic.

Ces modèles comportent deux aspects : le modèle source et le modèle de propagation. Le modèle de source s'applique à fournir une puissance acoustique par unité de longueur d'un tronçon en fonction des variables de la circulation (densité de trafic, vitesse, catégorie des véhicules, pente de la route, revêtement,...).

Le modèle de propagation s'attache à quantifier l'atténuation du son de la source au récepteur en fonction de nombreuses variables comme la distance à la route, absorption de l'air, l'effet de sol et des obstacles, les réflexions, les effets météorologiques, etc.

L'Europe appelle à généraliser l'utilisation du modèle Harmonoise/Imagine bien que les différentes méthodes déjà existantes soient toujours couramment utilisées. Se pose alors la question de la variabilité des résultats en fonction du modèle de prédiction choisi par les utilisateurs lors de leurs simulations.

Le présent article ne s'intéresse qu'au modèle d'émission. L'objectif est de comparer les valeurs fournies par les différents modèles à des mesures in-situ en conditions normales de circulation.

2 Modèles d'émission

9 modèles d'émissions ont été étudiés dans le but d'être comparés : Harmonoise, NMPB, NORD2000, RLS 90, CoRTN, StL-86+, SonRoad, ASJ RTN, FHWA TNM.

2.1 Harmonoise/Imagine [1, 2]

Le modèle Harmonoise est issu du projet du même nom réalisé en relation avec la nouvelle directive européenne 2002/49/EC [3], relative à l'évaluation et la gestion du bruit dans l'environnement. Son but est de fournir un outil harmonisé pour tous les pays membres de l'Union Européenne qui permettent la prédiction du bruit des transports terrestres dans l'environnement. Le modèle considère principalement 3 catégories de véhicules dont la puissance acoustique est issue de la somme de deux sources de hauteurs différentes. Chaque source est composée d'une partie du bruit de roulement et d'une partie du bruit de propulsion.

2.2 NMPB [4, 5]

La méthode française a été développée dans les années 90. Elle est décrite largement dans le guide « Bruit des infrastructures routières – méthode de calcul incluant les effets météorologiques » [6]. Elle vient d'être actualisée avec la publication de la norme NF S 31-133 en 2007 [7]. Les niveaux d'émission sonore pour les véhicules légers (VL, poids total < 3.5 t) et les poids-lourds (PL, poids total ≥ 3.5 t) définis dans les abaques du Guide du bruit [8] pour plusieurs configurations de vitesses et de routes ont été mis à jour en 2008 afin de permettre une meilleure prise en compte du parc automobile français actuel. Ce nouveau modèle d'émission considère une source composée d'une composante de bruit de roulement et d'une composante de bruit de propulsion.

2.3 NORD2000 [9, 10]

La Nord2000 a été développée dans le début des années 90. En 2005, les autorités nordiques (Danemark, Finlande, Norvège, et Suède) l'ont adapté en prenant en compte les avancées proposées par le projet Harmonoise. La nouvelle approche est basée sur un calcul en bandes de tiers d'octave et distingue 3 catégories de véhicules (légers, intermédiaires et lourds) représentées par deux sources ponctuelles à différentes hauteurs.

Le modèle NORD2005 version 2005 ne sera pas repris par la suite car très proche du modèle Harmonoise.

2.4 RLS 90 [11]

Le modèle allemand RLS-90 est basé sur un niveau de référence correspondant à un niveau de pression équivalent calculé sur une heure à 25 m de la route ou de la voie, pour un revêtement de type asphalte coulé non rainuré. Le niveau d'émission global est obtenu à partir du niveau de référence après prise en compte des correctifs relatifs à la vitesse maximale de la voie de circulation, au revêtement et à la pente.

2.5 CoRTN [12]

Le modèle anglais d'évaluation du bruit du trafic de route a été développé en 1988 pour le département du Royaume-Uni de l'environnement par Delany, Harland, Capot, et Scholes. L'émission est basée sur l'estimation d'un niveau L_{10} à 10 m de la source.

2.6 StL-86+ [13, 14]

Le modèle suisse StL-86 dédié au calcul du bruit des infrastructures routières est issu de données datant des années 80. La méthode fut mise à jour en 1995 et devint StL-86+ [15]. Le modèle fournit un niveau équivalent à partir de deux catégories de véhicules (légers, lourds), du débit de la route et de la pente.

2.7 SonRoad [16]

Le modèle suisse SonRoad a été développé par l'EMPA et publié en 2004. Le modèle d'émission proprement parlé, appelé également EMPA97, permet de calculer les niveaux d'émissions à partir du bruit de propulsion et du bruit de roulement, en fonction de la vitesse, du débit, de la pente de la route et du revêtement pour une source ponctuelle élémentaire située à 0.45 m au-dessus du sol.

2.8 ASJ RTN [17]

Le modèle japonais de prédiction du bruit du trafic routier est basé sur le calcul des émissions sonores au passage d'un véhicule. Deux modèles ont été présentés en 2003. Le premier, très précis, permet de prédire les niveaux d'émission du trafic en divisant les véhicules en 4 catégories (voitures, petits utilitaires, utilitaires moyens et les camions). La seconde, méthode simplifiée, ne considère que 2 catégories de véhicules (légers, lourds). Seule la méthode simplifiée est étudiée par la suite.

2.9 FHWA TNM [18, 19]

Le modèle américain est basé sur une campagne de mesures réalisée entre 1994 et 1995 commandée par la Federal Highway Administration (FHWA). Une base de

données d'émission, issue de mesures d'environ 6000 véhicules dans 9 états, a été créée. Elle a permis la détermination des niveaux d'émissions de référence par régression à partir du niveau sonore maximum mesuré à 15 m au passage d'un véhicule. 5 catégories de véhicules ont été définies (voitures, camions, poids-lourds, bus et motos). Le modèle permet le calcul des valeurs d'émission pour deux sources partielles. Différents revêtements de chaussée et de conditions de circulation (croisière, accélération, ralenti, montée) sont également pris en compte.

3 Comparaison des modèles

La difficulté principale réside dans le fait que chaque modèle d'émission est propre au modèle de propagation lui correspondant. En effet, les distances de référence, hauteur de la/les source(s), le type de source (ponctuelle en champ libre, ponctuelle en espace semi-infini,...), les grandeurs fournies (L_{eq} , L_w , L_{10} , ...), le regroupement de véhicules en catégories, le revêtement de référence, etc. utilisés pour calculer les niveaux d'émission d'un tronçon de route varient d'un modèle à l'autre (Table 1) [20, 21].

Un travail important a donc été entrepris pour rendre consistantes, dans la mesure du possible, les données d'émissions fournis par les différents modèles. Les niveaux obtenus après correction sont présentés Figure 1 pour la catégorie des véhicules légers et Figure 2 pour la catégorie des véhicules lourds.

On constate pour les véhicules légers que les niveaux d'émissions fournis par les différents modèles sont relativement proches et suivent globalement la même loi de croissance en fonction de la vitesse, excepté pour les modèles CoRTN et Harmonoise. Les différences sont plus importantes en ce qui concerne les véhicules lourds.

A noter que les modèles Harmonoise et FHWA TNM utilisent une catégorie intermédiaire (non représentée ici). Les catégories des véhicules légers et lourds s'avèrent donc plus restrictives (rejet des minibus et petits camions) ce qui devrait conduire à des niveaux respectivement plus faibles pour la catégorie des véhicules légers et plus élevés pour la catégorie des véhicules lourds que pour les autres modèles.

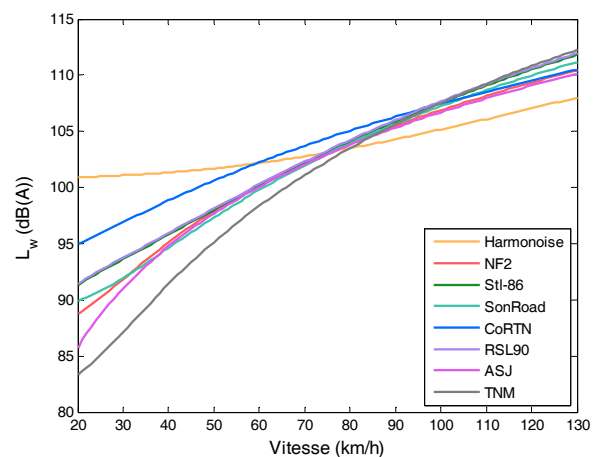


Figure 1 : Niveaux d'émission L_w – Véhicules légers

Modèles	Pays	Emission	Distance	Hauteur	Catégorie de véhicule
Harmonoise	Europe	Lw	-	-	Légers, Intermédiaires, Lourds, Autres véhicules lourds, 2 roues
NMPB	France	Lmax	7.5 m	1.2 m	Légers, Lourds
RLS90	Allemagne	Lmax	25 m	4 m	Légers, Lourds
CoRTN	Royaume-Unis	L10	10 m	0.5 m	Légers, Lourds
StL-86+	Suisse	Leq	-	-	Légers, Lourds
Empa97	Suisse	Lw	-	-	Légers, Lourds
ASJ RTN	Japon	Lw	-	-	Légers, Lourds
FHWA TNM	Etats-Unis	Lmax	15 m	1.5 m	Légers, Intermédiaires, Lourds, Bus, 2 roues

Table 1 : Comparaison des modèles d'émissions

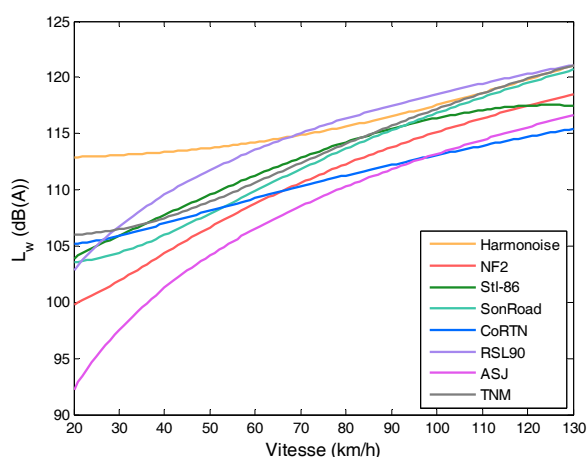


Figure 2 : Niveaux d'émission L_w – Véhicules lourds

4 Mesures

Des mesures acoustiques couplées à un compteur de trafic ont été réalisées pendant 7 jours sur trois sites de mesure distincts (Aclens, Le pigeon, Orny). Les tronçons de route étudiés ont été sélectionnés car dégagés de tout obstacle à proximité, possédant un faible dénivelé (inférieur à 1%), une vitesse de circulation stable (pas d'accélération ou décélération des véhicules), une densité et une diversité de trafic raisonnable. Une illustration du site d'Orny ainsi qu'un schéma représentatif de la configuration de mesure sont fournis respectivement Figure 3 et Figure 4 à titre d'exemple.



Figure 3 : Site de mesure d'Orny

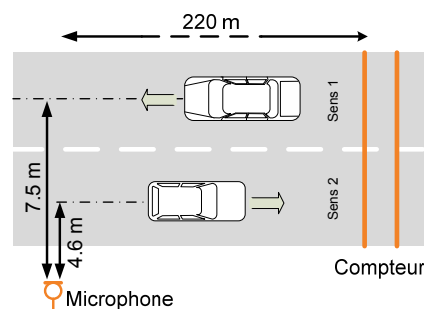


Figure 4 : Configuration du site de mesure d'Orny

4.1 Catégorisation des véhicules

Pour chaque point de mesure, un compteur à tubes réalisant une classification type EUR13 a été placé sur le tronçon à une distance suffisante pour que le bruit généré par le passage des véhicules ne perturbe pas les mesures acoustiques. Ces compteurs réalisent une classification en 13 catégories de véhicule (Figure 5).

1	Voiture de tourisme		7	Camion 2 essieux + remorque 1 essieu	
	Voiture de livraison modèle court		8	Camion 2 essieux + remorque 2 essieux	
	Voiture de tourisme avec remorque		9	Camion 2 essieux + remorque 3 essieux	
			10	Camion 3 essieux + remorque 1 essieu	
2	Voiture de livraison modèle long + Camion 2 essieux		11	Camion 3 essieux + remorque 2 essieux	
3	Camion 3 essieux		12	Camion 3 essieux + remorque 3 essieux	
4			13	Camion 2 essieux + Bus 2 essieux	
5	Camion 4 essieux			Bus 3 essieux	
	Camion 2 essieux + remorque 2 essieux			Véhicule avec 7 essieux ou +	
	Camion 2 essieux + remorque 3 essieux			Véhicule non classifié	
	Camion 2 essieux + mini-remorque 1 essieu				
6	Camion 2 axes + mini-remorque 2 essieux				
	Camion 3 essieux + remorque 2 essieux				
	Camion 3 essieux + remorque 3 essieux				

Figure 5 : Classes du compteur EUR13

Une configuration adéquate du compteur permet d'obtenir le nombre d'essieux, la distance inter-essieux, la vitesse et le sens de circulation de chaque véhicule. Ce sont ces données qui ont été utilisées par la suite pour reconstituer les catégories des véhicules en relation avec la classification des modèles d'émissions.

4.2 Mesures acoustiques

Les niveaux L_{Amax} des véhicules ont été enregistrés pendant la durée de la campagne de mesure par un microphone respectant au mieux les spécifications de la norme ISO 11819-1 [22], soit en pratique situé à 7.5 m de la voie de circulation la plus éloigné et à 1.2 m au dessus du sol.

5 Résultats de mesure

Une première analyse commune des données acoustiques et des compteurs a conduit à l'éviction d'environ 10 % des véhicules mesurés (indéterminations au niveau du compteur, incohérences entre la vitesse mesurée par le compteur et le temps de passage effectif devant le microphone, croisements de véhicules,...). Au final un peu moins de 90'000 passages de véhicules ont pu être analysés. (Remarques : les deux roues ont été exclues des résultats)

Dans le cadre de cette étude, les véhicules ont été regroupés en 2 catégories, soit au final plus de 86'000 véhicules légers et 2'800 véhicules lourds. Pour chacun d'eux il a été possible de déterminer la vitesse, le sens de circulation, le type de véhicule (longueur et nombre d'essieux) et le niveau d'émission acoustique.

Les niveaux d'émissions mesurés en condition normale de circulation pour la catégorie des véhicules légers (équivalent principalement aux catégories 1 et 2 de la classification EUR13) et des véhicules lourds (équivalent principalement aux catégories 3 et 11 de la classification EUR13) sont représentés respectivement Figure 6 et Figure 7 pour les deux sens de circulation. Afin de simplifier la lecture des résultats, seuls les niveaux d'émissions fournis par les modèles Harmonoise, NMPB et StL-86+ sont reportés sur la figure et les niveaux mesurés ont été moyennés afin de n'afficher qu'une seule L_w valeur par $km.h^{-1}$. Les répartitions statistiques des vitesses (en bas) et des niveaux d'émission (à gauche) sont également donnés à titre d'indication.

5.1 Véhicules légers

La répartition des véhicules, que ce soit du point de vue de la vitesse ou du niveau d'émission, respecte une loi normale et est équivalente pour les deux sens de circulation. On peut donc en conclure que la vitesse des véhicules était relativement stable sur les tronçons mesurés.

On constate une très bonne adéquation entre les résultats mesurés et les niveaux d'émissions prédits par le modèle Harmonoise. En revanche, les modèles français NMPB et Suisse StL-86 sous-estiment les niveaux pour les vitesses plus faibles et surestiment les niveaux pour les vitesses les plus élevées. A noter que pour les trois sites de mesures la limitation de vitesse était de 80 $km.h^{-1}$. A cette vitesse, l'erreur maximum observée est de l'ordre de 1 à 2 dB quelque soit le modèle d'émission utilisé.

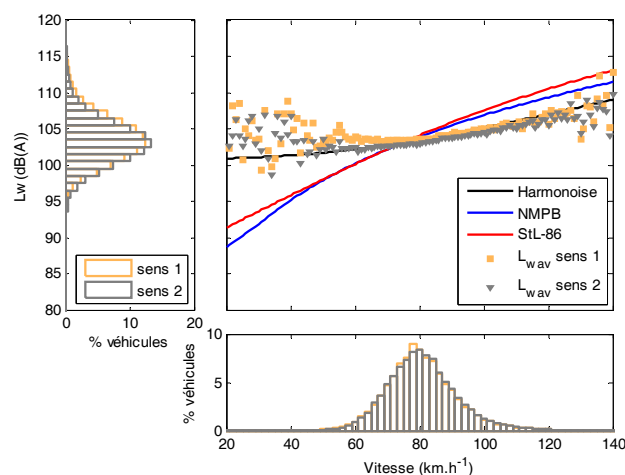


Figure 6 : Niveaux d'émissions mesurés et calculés – Cas des véhicules légers

5.2 Véhicules lourds

La répartition des niveaux L_w est comparable d'une voie de circulation à l'autre, contrairement à la répartition des vitesses. Le compteur correspondant au site le plus fréquenté (près de 50 % du nombre total de poids-lourds mesurés) s'est avéré être situé au sommet d'une légère montée. C'est pourquoi, les vitesses effectives mesurées par le compteur pour les camions circulant sur la voie 1 sont globalement inférieures à celle de la voie 2, même si les camions devaient avoir des vitesses équivalentes lors de leur passage devant le microphone. De ce fait, les données obtenues sont plus dispersées que pour le cas des véhicules légers.

Toutefois, on constate que les niveaux d'émissions mesurés sont proches des niveaux fournis par le modèle Harmonoise pour les véhicules intermédiaires et en dessous des niveaux fournis par les autres modèles. Ceci peut s'expliquer par le fait que très peu de très gros camions (< 10% du nombre de camion total) ont circulé pendant les mesures sur les trois tronçons tests.

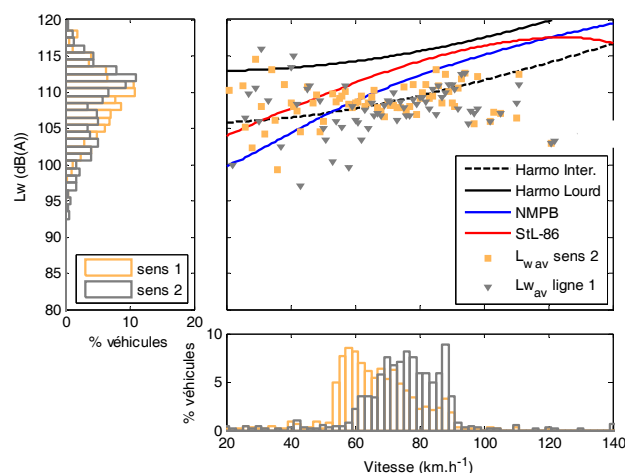


Figure 7 : Niveaux d'émissions mesurés et calculés – Cas des véhicules lourds

6 Conclusion

La comparaison directe des modèles d'émissions reste une opération délicate puisque ces derniers ne représentent pas directement les mêmes quantités. Le travail effectué jusqu'ici doit être poursuivi afin de comparer des mesures avec les résultats complets des modèles (émission + propagation).

Les mesures ont montré que les niveaux fournis par le modèle Harmonoise sont les plus en accord avec la réalité. A noter l'importance de la catégorie intermédiaire qui semble indispensable pour une modélisation précise des routes où peu de très gros véhicules lourds sont présents. Les modèles n'utilisant seulement deux catégories surestiment alors la part d'émission des véhicules lourds.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier l'Office Fédérale de l'Environnement suisse (OFEV) pour leur aide financière et le Service des Routes du canton de Vaud pour la mise à disposition de compteurs de trafic.

Références

- [1] HARMONOISE, "Harmonoise wp3 engineering method for road traffic and railway noise after validation and fine-tuning", (2005)
- [2] HARMONOISE, "Source modelling of road vehicles", (2004)
- [3] "Directive 2002/49/ce relative à l'évolution et à la gestion du bruit dans l'environnement". Journal officiel L189/12, (2002)
- [4] "Prévision du bruit routier - volume 1 - calcul des émissions sonores dues au trafic routier". Sétra, (2009)
- [5] "Prévision du bruit routier - volume 2 - méthode de calcul de propagation du bruit incluant les effets météorologiques (nmpb 2008)". SETRA, (2009)
- [6] "Bruit des infrastructures routières - méthode de calcul incluant les effets météorologiques - nmpb-route 96". Ministère de l'Équipement du logement, Ministère de l'Équipement, des transports et du tourisme, CSTB, SETRA, LCPC, LRPC, (1997)
- [7] "Nf s 31-133 - bruit des infrastructures de transports terrestres". AFNOR, (2007)
- [8] "Guide du bruit des transports terrestres - prévision des niveaux sonores". Ministère de l'environnement et du cadre de vie, Ministère des transports, CETUR, DRCR, DTT, DAFU, (1980)
- [9] "Nord2000. Comprehensive outdoor sound propagation model. Part. 1 propagation in an atmosphere without significant refraction". DELTA, (2001)
- [10] Jonasson, H., "Acoustic source modelling of nordic road vehicles". SP, (2006)
- [11] BImSchV, "Verkehrslärmschutzverordnung", (1990)
- [12] "Calculation of road traffic noise". Great Britain. Dept. of Transport., HSMO, (1988)
- [13] "Modèle de calcul de bruit du trafic routier pour ordinateur - les cahiers de l'environnement n°60". Office fédéral de la protection de l'environnement, (1987)
- [14] "Informations concernant l'ordonnance sur la protection contre le bruit (opb) n°6 - bruit du trafic routier: Correction applicable au modèle de calcul du trafic routier", in *L'environnement pratique*. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), (1995)
- [15] OPB, "Informations concernant l'ordonnance sur la protection contre le bruit (opb) n°6 - bruit du trafic routier: Correction applicable au modèle de calcul du trafic routier", in *L'environnement pratique*. Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage (OFEFP), (1995)
- [16] Heutschi, K., "Sonroad. Modèle de calcul du trafic routier". Office fédéral de l'environnement, des forêts et du paysage. 74, (2004)
- [17] Shunichi, K., et al. *Road traffic noise prediction model "Asj rtm - model 2003" Proposed by the acoustical society of japan - part2: Calculation model of sound emission of road vehicles in ICA 2004*. 2004.
- [18] "Development of national reference energy mean emission levels for the fhwa traffic noise model (fhwa tnm®), version 1.0". U.S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration, (1995)
- [19] "Fhwa traffic noise model (fhwa tnm®) - technical manual". U.S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration, (1998)
- [20] Leclercq, L., "Modélisation dynamique du trafic et applications à l'estimation du bruit routier". INSA: Lyon, (2003)
- [21] Steele, C., *A critical review of some traffic noise prediction models. Applied Acoustics*, 62: 271-287, (2001).
- [22] "Iso 11819-1 : Acoustics -- method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise - part1: Statistical pass-by method". International Standard Organization, (1997)