



JOURNEES
TECHNIQUES
ACOUSTIQUE
ET VIBRATIONS



Identification des données d'émission sonore des tramways lyonnais pour les modèles NMPB2008 et CNOSSOS-EU

P. Munoz, V. Janillon - Acoucity

O. Chiello, A. Le Bellec, M.-A. Pallas - Ifsttar/UMRAE



Strasbourg 15 & 16 mai 2019

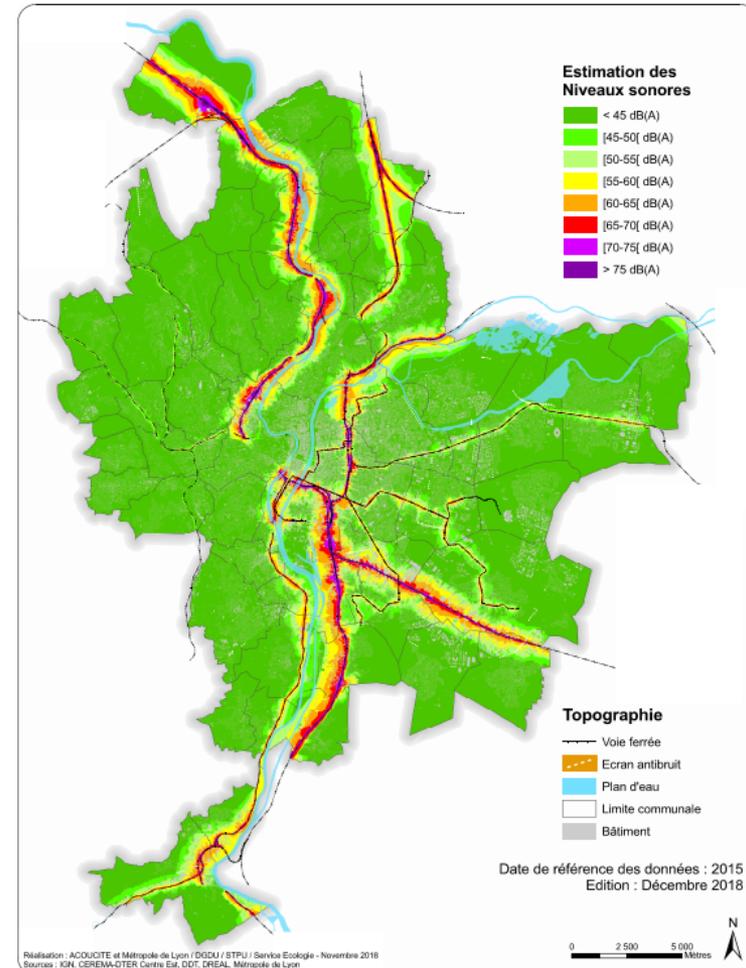
Contexte

- Directive 2002/49/CE impose aux États Membres de cartographier le bruit sur leurs territoires (agglomérations de plus de 100 000 habitants)
- Des cartes de bruit stratégiques sont élaborées pour le bruit:
 - Routier
 - Aérien
 - Ferroviaire
 - Industriel

Cartographie du bruit Ferroviaire

Indicateur : Lden (24h)

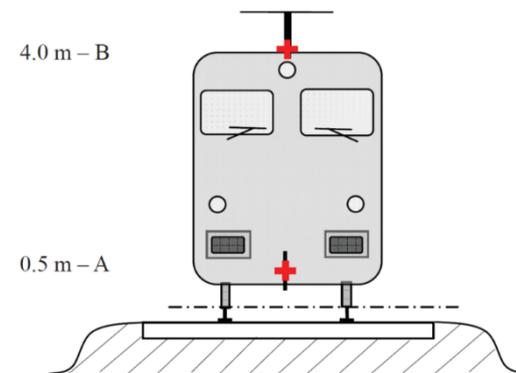
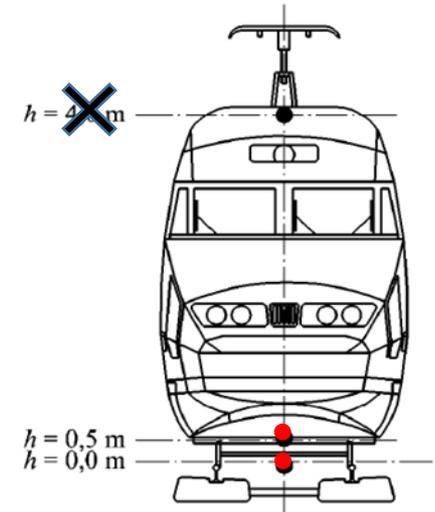
GRANDLYON
la métropole



Problématique

- **Avant 31/12/2018 : prévision sonore basée sur la méthode française NMPB2008**
 - Donnée d'entrée : puissance acoustique par bogie
 - Base de données : tramway Nantes (Alstom TFS)
 - A Lyon, deux types de tramway: Alstom Citadis (Tramway) et Stadler Rail Tango (Rhônexpress)

- **Après 31/12/2018 : prévision sonore basée sur la méthode européenne CNOSSOS-EU**
 - Données d'entrée : par type de sources
 - Une base de données par défaut à confronter au contexte français
 - Le cas échéant, déterminer des données d'entrée adaptées



NMPB2008

FA18043	ISSN 0333-2801
norme française	NF S 31-133
	Février 2011
	Indice de classement : S 31-133
	ICS : 17.140.30
Acoustique	
Bruit dans l'environnement	
Calcul de niveaux sonores	
E : Acoustics — Outdoor noise — Calculation of sound levels D : Akustik — Umwelt-Geräusche — Schallpegelberechnungen	
Norme française homologuée	
par décision du Directeur Général d'AFNOR le 5 janvier 2011 pour prendre effet le 5 février 2011.	
Remplace la norme homologuée NF S 31-133, de février 2007	
Correspondance	Le présent document n'est pas équivalent à la Norme ISO 9613-2:1996 traitant du même sujet.
Analyse	Le présent document spécifie une méthode de calcul de la propagation du bruit dans l'environnement extérieur applicable aux infrastructures de transports terrestres et aux installations industrielles. Dans le cas des infrastructures de transport, la méthode peut être appliquée par exemple pour : — réaliser les études de l'impact acoustique des infrastructures nouvelles ou des modifications d'infrastructures existantes ; — le dimensionnement des protections acoustiques (écran acoustique, buttes de terre) ; — des cartes de bruit au voisinage des infrastructures conformes au type 2 (épave) ou au type 3 (aéroports) définies dans la norme NF S 31-130.
Descripteurs	Thésaurus International Technique : acoustique, bruit acoustique, bruit aérien, aérien, transport terrestre, transport routier, transport par fer, circulation, route, autoroute, voie ferrée, diffusion, calcul, pression sonore, intensité acoustique, puissance acoustique, propagation du son, dimension du bruit, donnée météorologique.
Modifications	Par rapport au document remplacé, les trois évolutions majeures suivantes sont introduites : — extension du domaine d'application au bruit industriel ; — modification de la description des sources élémentaires caractérisant les infrastructures de transport ; — révision en profondeur du calcul de l'atténuation en conditions favorables.
Corrections	
Édité et publié par l'Association Française de Normalisation (AFNOR) — 11, rue Francis de Pressensac — 93071 La Plaine Saint Denis Cedex Tel : + 33 (0) 1 41 62 30 30 — Fax : + 33 (0) 1 49 17 30 30 — www.afnor.org	

Méthodologie pour NMPB2008

- Mesures acoustiques et cinématiques au passage
- 2 Types de matériel roulant
 - Tramway (Alstom Citadis 302 et 402)
 - Rhônexpress (Stadler Rail Tango)



Méthodologie pour NMPB2008

■ 4 Sites retenus (ligne T3 et Rhônexpress):

- Site A : Revêtement Béton – Type de pose dalle béton



- Site B : Revêtement Gazon – Type de pose dalle béton



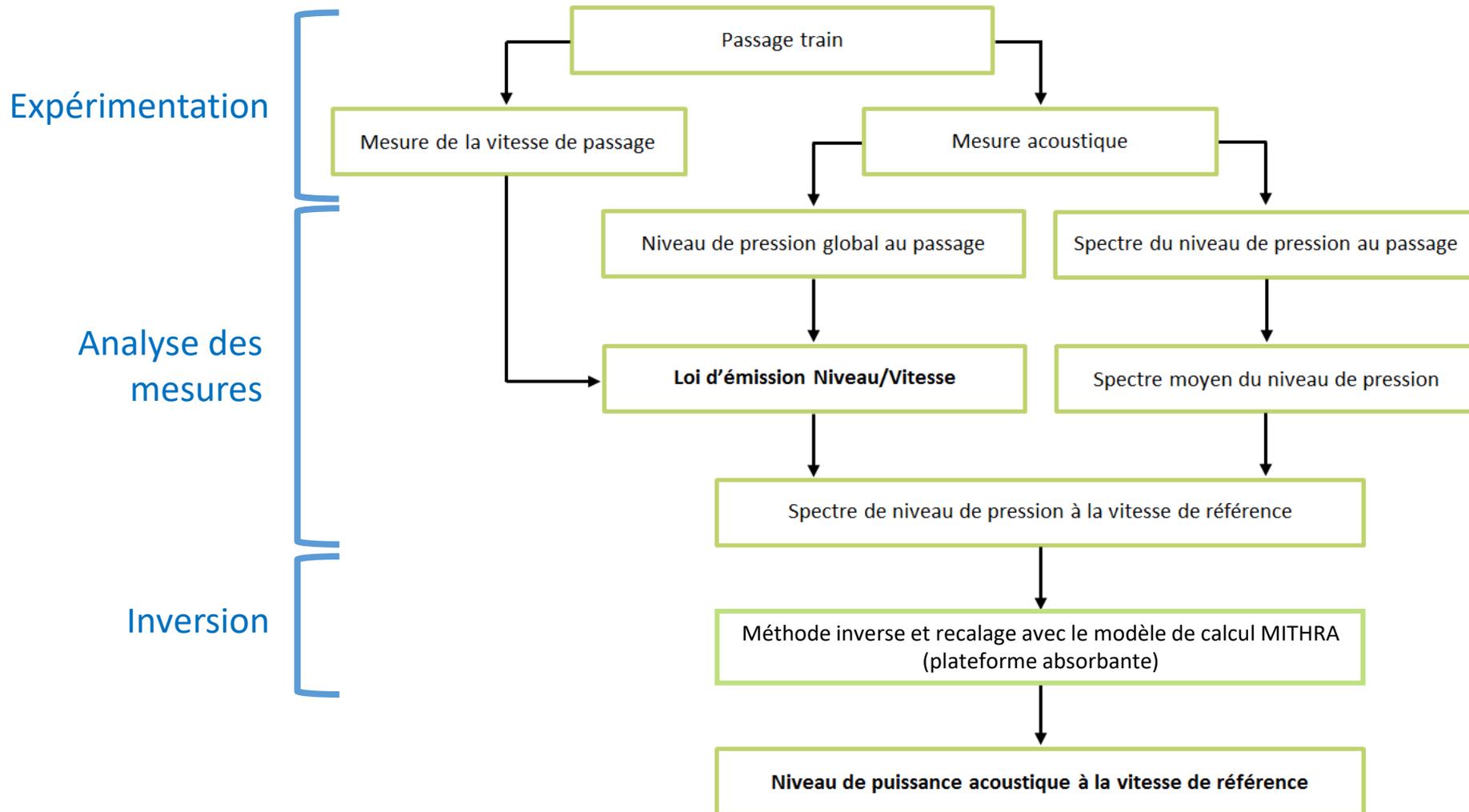
- Site C : Revêtement Gazon – Type de pose ballast encadré



- Site D : Revêtement Ballast – Type de pose ballast

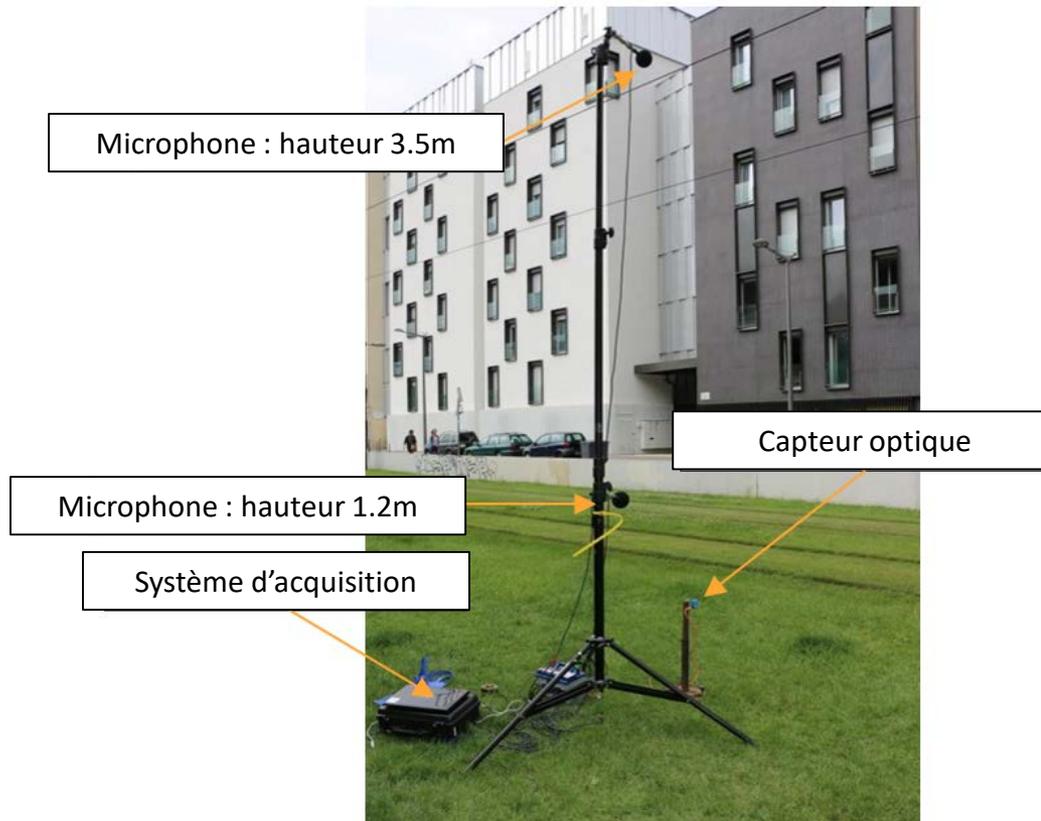


Méthodologie pour NMPB2008



Mesure du bruit au passage

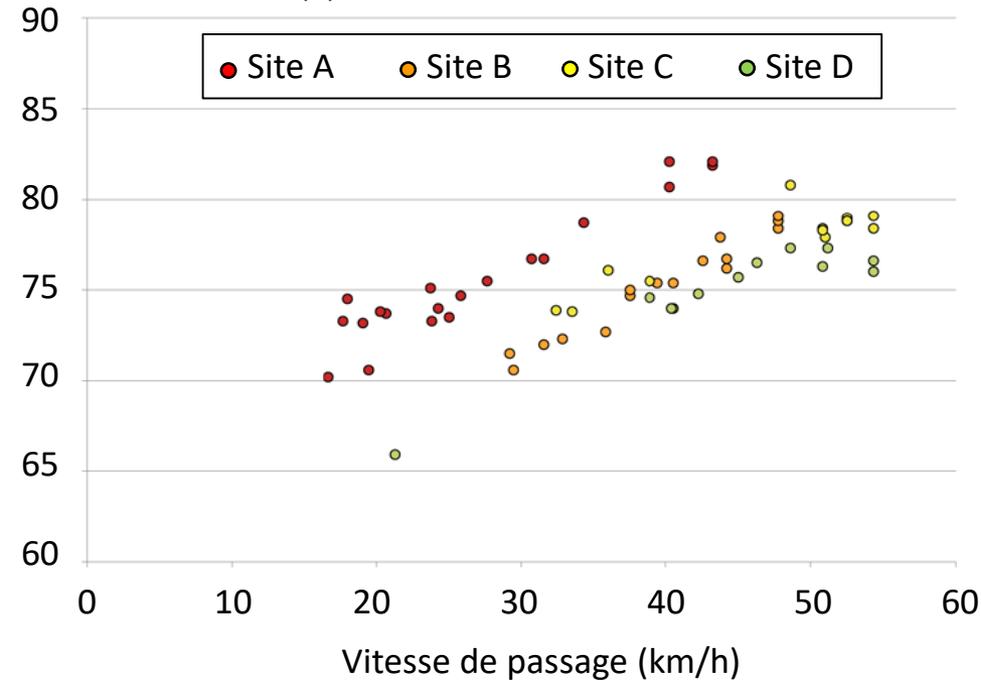
- Protocole de mesure basé sur la norme « NF EN ISO 3095 : Mesurage du bruit émis par les véhicules circulant sur rails »



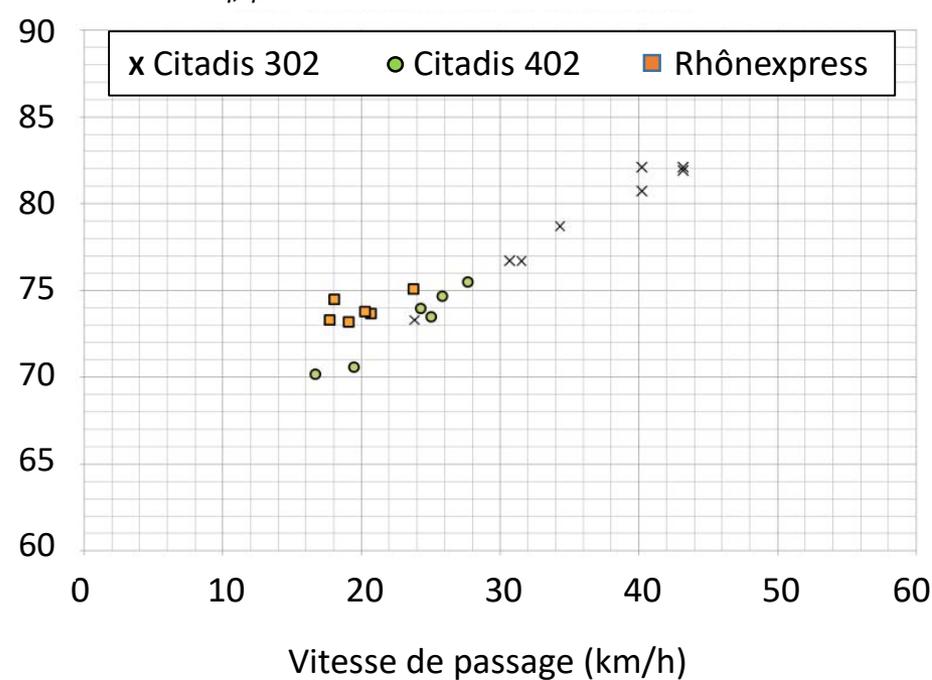
Mesure du bruit au passage

61 passages mesurés (1 mois après meulage)

Niveau $L_{Aeq,Tp}$ – tous matériels – tous sites (dBA)



Niveau $L_{Aeq,Tp}$ – site A – par type de véhicules (dBA)

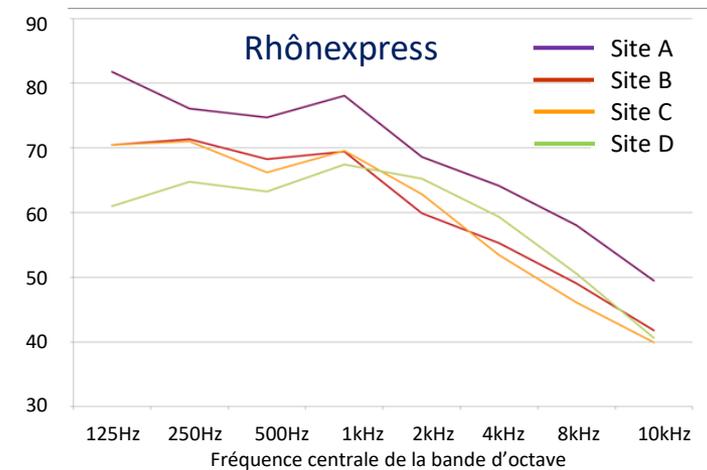
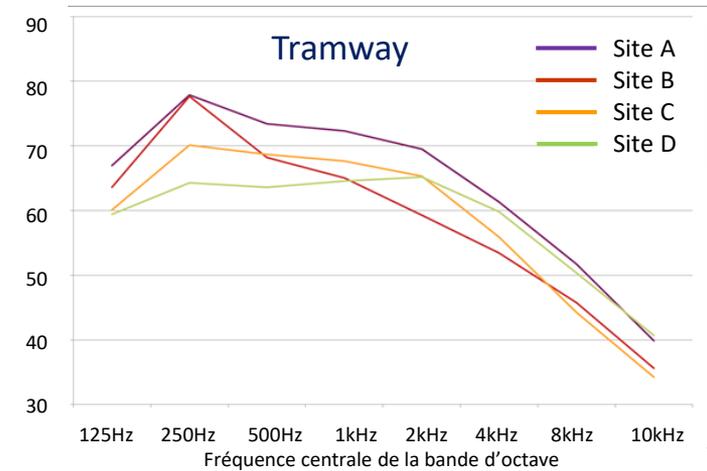


Mesure du bruit au passage

Lois d'émission

Véhicule	Site	Loi d'émission
Tramway	A	$L_{pAeq, Tp}(V) = 77 + 31 \log_{10}(V/30)$
	B	$L_{pAeq, Tp}(V) = 72 + 31 \log_{10}(V/30)$
	C	$L_{pAeq, Tp}(V) = 72 + 31 \log_{10}(V/30)$
	D	$L_{pAeq, Tp}(V) = 70 + 26 \log_{10}(V/30)$
Rhônexpress	A	$L_{pAeq, Tp}(V) = 80 + 31 \log_{10}(V/30)$
	B	$L_{pAeq, Tp}(V) = 72 + 30 \log_{10}(V/30)$
	C	$L_{pAeq, Tp}(V) = 72 + 30 \log_{10}(V/30)$
	D	$L_{pAeq, Tp}(V) = 71 + 27 \log_{10}(V/30)$

Spectres de pression en dBlin, à 30 km/h



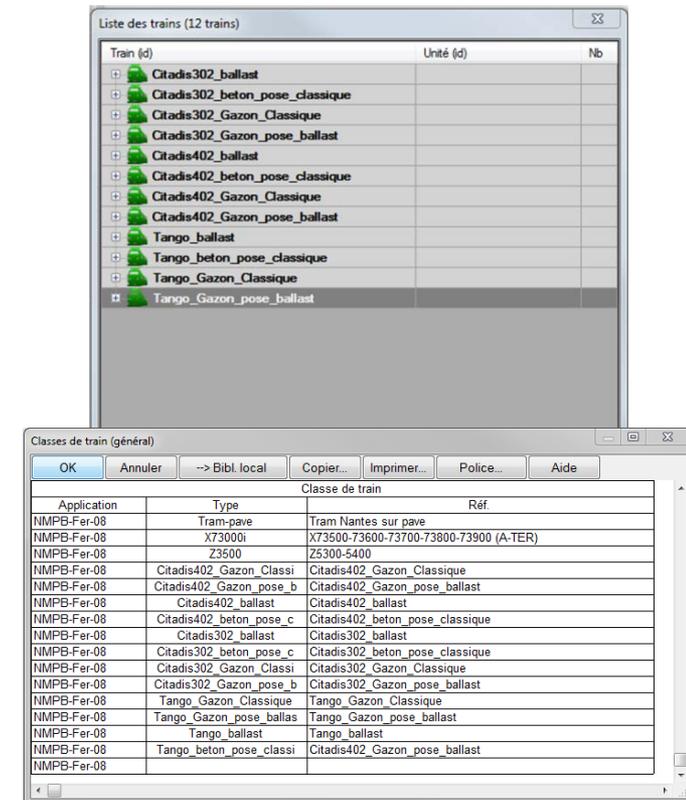
Puissance acoustique

Tableau de puissance par bogie et fichiers Mithra et CadnaA

Véhicule	Site	Bande d'octave						Global A
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	
Tramway	A	93	104	99	98	96	90	103
	B	89	103	94	91	86	82	98
	C	86	96	94	93	91	84	98
	D	85	90	89	90	91	88	96
Rhônexpress	A	107	101	100	103	94	92	105
	B	95	96	93	94	85	83	97
	C	95	96	91	94	88	81	97
	D	86	90	88	92	91	87	96

Tableau 7 : Niveaux de puissance acoustique par bogie pour chaque type de véhicule et pour chaque site.

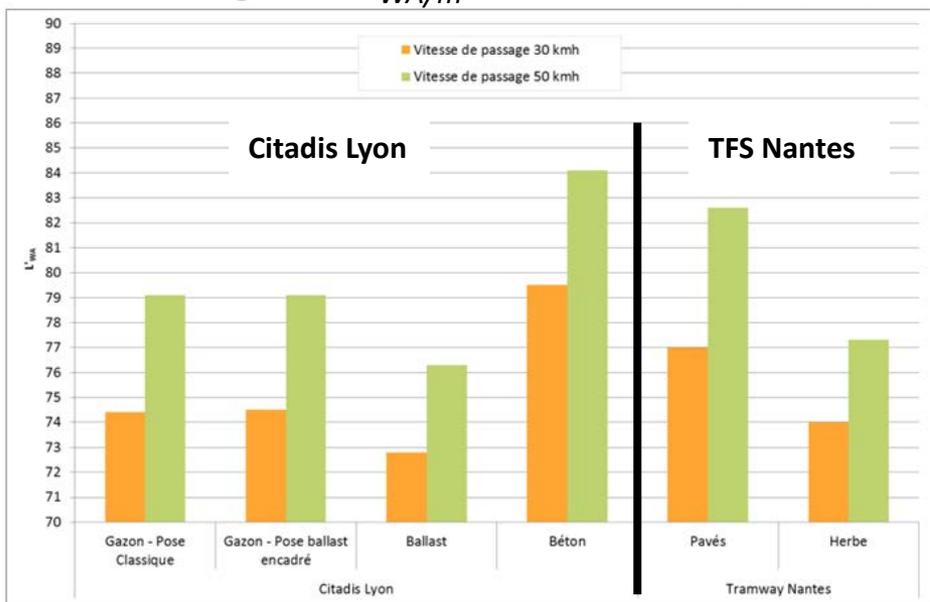
À la vitesse de référence (30 kmh)



Comparaison avec le tramway de Nantes (Alstom TFS)

Différences identifiées pour le niveau global et le gabarit spectral

Niveau global $L_{WA/m}$ à 30 et 50 km/h (dBA)



Spectres de puissance /bogie à 30 km/h (dBlin)

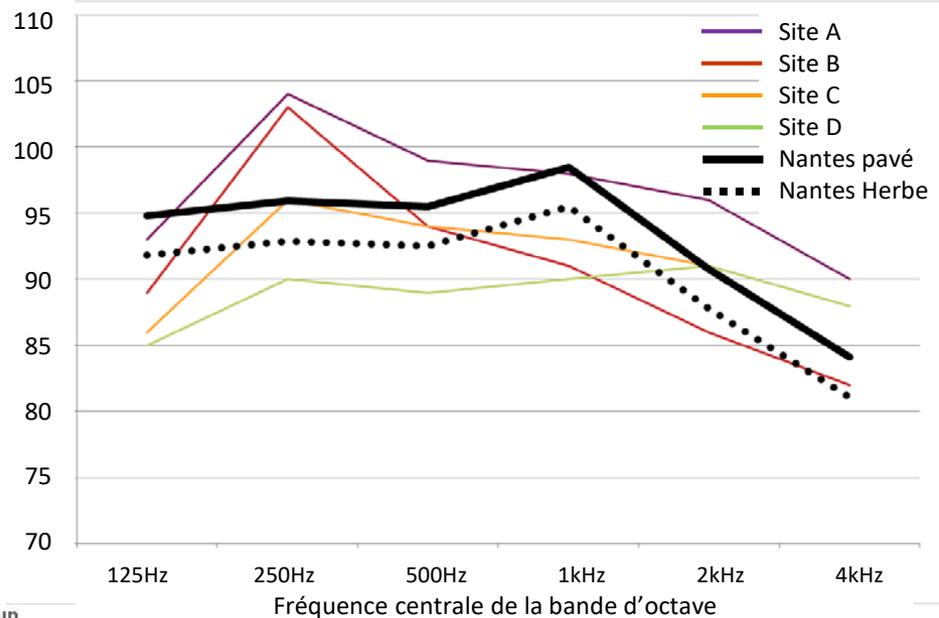
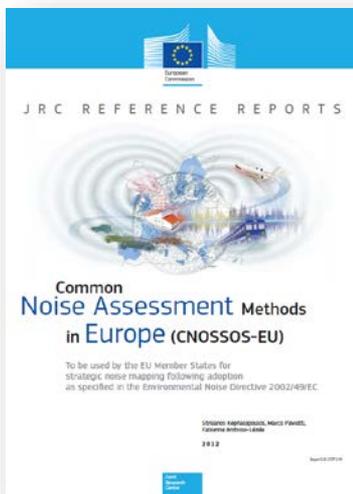


Figure 27 : Comparaison tramway Lyon - tramway Nantes. Valeurs de puissance par mètre avec un trafic de 400 trains dans la période jour (valeur typique) pour des vitesses de passage à 30 km/h et 50 km/h

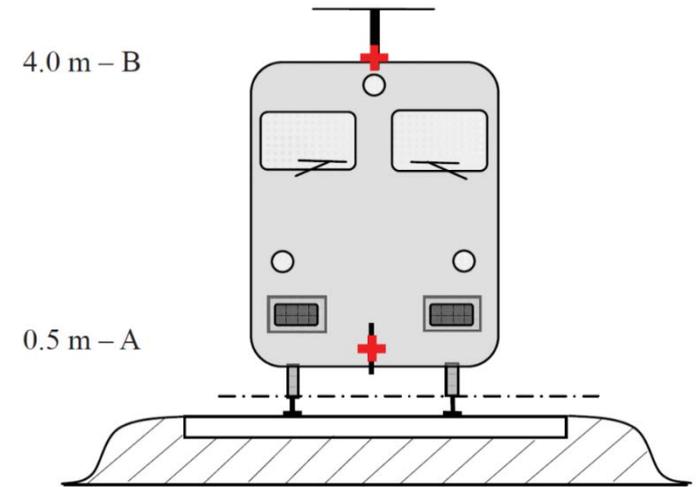


CNOSSOS-EU



CNOSSOS-EU rail : une modélisation de l'émission par type de source

	Roulement	Traction	Aérodynamique
Entrée	Traitement spécifique (par essieu)	Spectre de puissance par véhicule	Spectre de puissance par véhicule à $V=V_0$
Variation vitesse	Non prédéfinie	Constant	En $\propto \log V/V_0$
Hauteurs de source	Basse	Basse/haute	Basse/haute



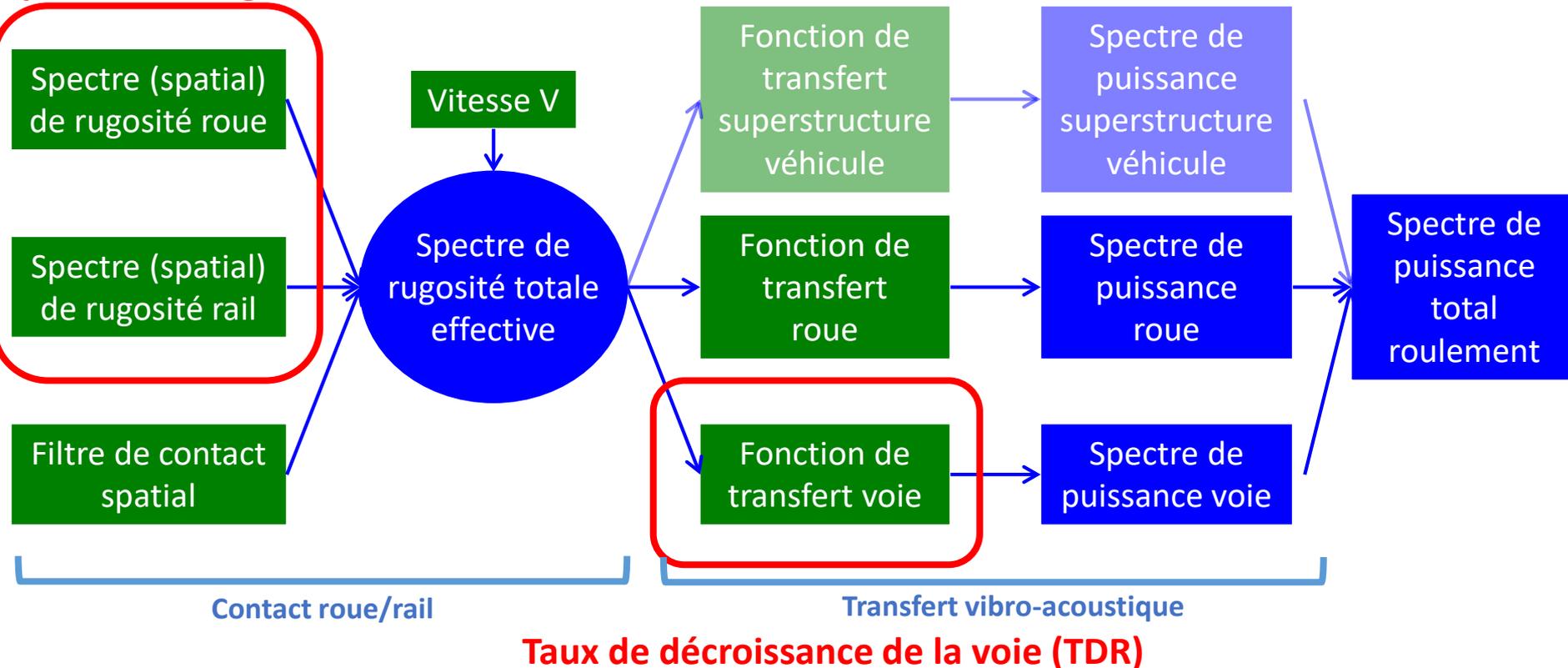
⇒ Modèle très détaillé du bruit de roulement

Méthode CNOSSOS – Bruit de roulement

■ Entrées du modèle

■ Sorties du modèle

Spectres de rugosité roue et rail



Mesure de la rugosité du rail

- Rugosité = irrégularités spatiales de la surface de roulement \Rightarrow spectre = $r(\lambda)$
- Procédure : NF EN 15610-2009 « Mesurage de la rugosité des rails relative à la génération du bruit de roulement »

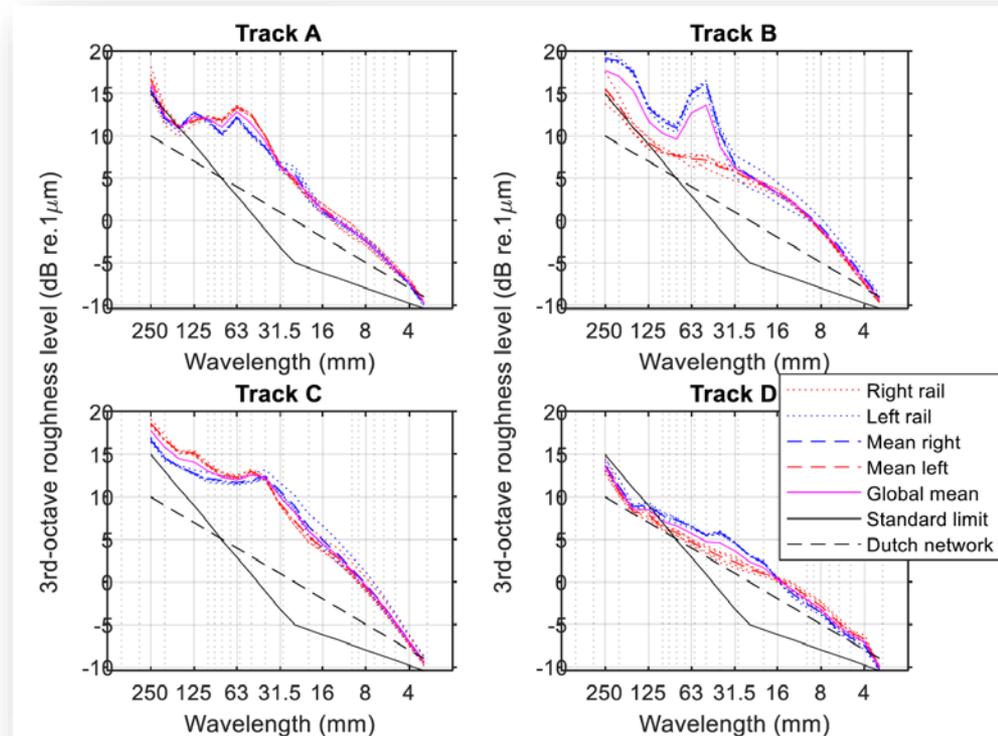


- **Mesures sur les 4 sites**

- Mesure d'une longueur de 100 m sur les 2 rails
 - 2 ou 3 traces parallèles sur la bande de roulement

➤ Des différences entre sites

➤ Des rugosités plus fortes que les spectres CNOSSOS par défaut

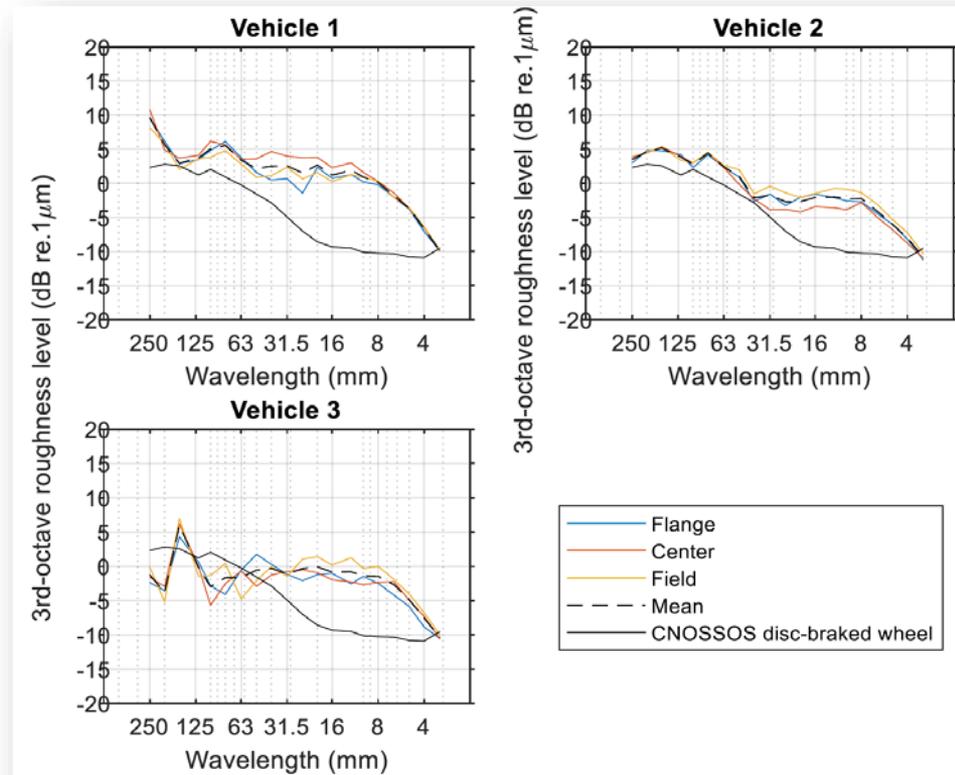


Mesure de la rugosité des roues

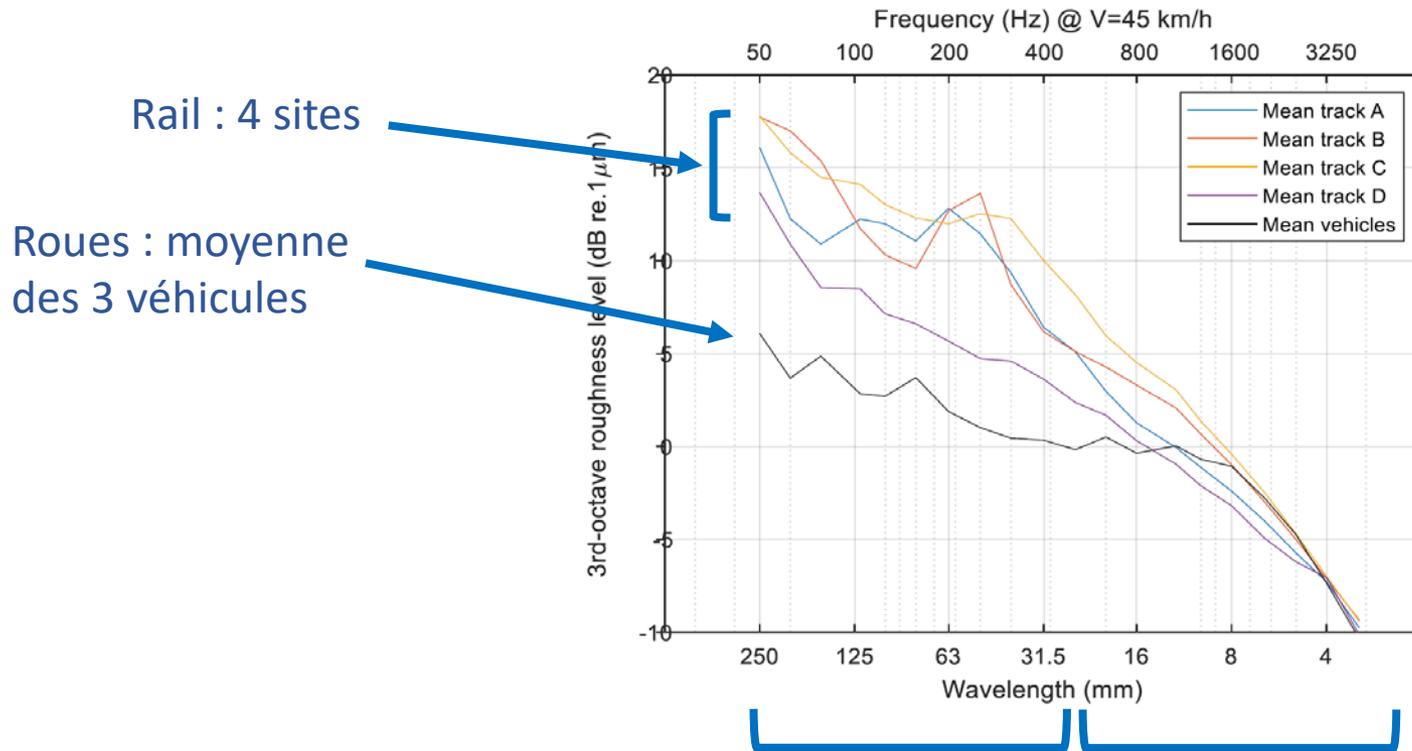
- Pas de procédure normalisée, approche calquée sur celle du rail
- 3 roues de degrés d'usure différents (par rapport au dernier reprofilage)
 - 5 à 6 circonférences de chaque roue
 - 3 traces distantes de 10 mm sur la zone de contact



- Des dispersions jusqu'à 3-4 dB en 1/3-octave entre traces parallèles d'une même roue
- Des rugosités plus fortes que les spectres CNOSSOS par défaut (roues conventionnelles avec freins à disques)



Rugosité combinée



Grandes longueurs d'onde
(à 45 km/h, $f < 500$ Hz) :
Influence de la voie

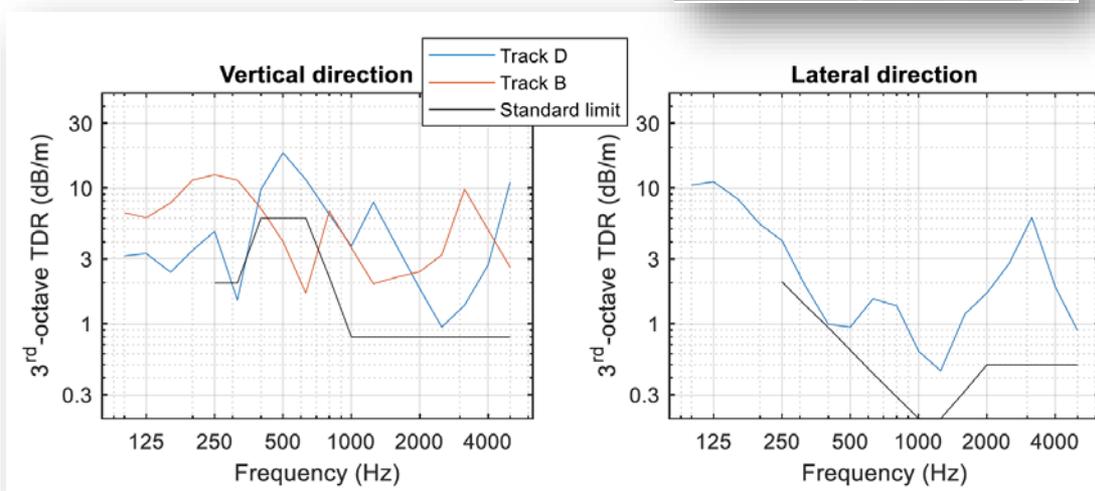
Petites longueurs d'onde
(à 45 km/h, $f > 500$ Hz) :
Contribution partagée
entre voie et roues

Taux de décroissance de la voie (TDR)

- Atténuation (en dB/m) des ondes vibratoires (resp. verticales et latérales) dans le rail
- Effet majeur sur la puissance acoustique rayonnée par la voie ($\sim 1/\text{TDR}$)
 - ⇒ Fonction de transfert vibro-acoustique de la voie
- Procédure EN 15461+A1:2011
- 2 sites



Site	Type de rail	Distance entre 2 traverses	Type de mesure
B	Encastré	0,75 m	Verticale
D	Vignole	0,60 m	Verticale et latérale



Conclusions

NMPB2008

- Identification de données d'émission adaptées à de nouvelles générations de tramway
- 4 types de pose de voie urbaines ou extra-urbaine

CNOSSOS-EU :

- Caractéristiques du contexte du tramway très différentes des voies ferroviaires conventionnelles
- ⇒ nécessité de déterminer des données d'entrée adaptées aux tramways (en cours)

Merci de votre attention

Munoz Patricio
24 rue St-Michel, 69007 Lyon
Tel : +33 (0) 4 72 91 86 02
patricio.munoz@acoucite.org

Chiello Olivier
UMRAE, IFSTTAR, 69675 Bron cedex
Tel : +33 (0) 4 72 14 24 05
olivier.chiello@ifsttar.fr

Mesure du bruit au passage

Lois d'émission

Véhicule	Site	Loi d'émission
Tramway	A	$L_{pAeq, Tp}(V) = 77 + 31 \log_{10}(V/30)$
	B	$L_{pAeq, Tp}(V) = 72 + 31 \log_{10}(V/30)$
	C	$L_{pAeq, Tp}(V) = 72 + 31 \log_{10}(V/30)$
	D	$L_{pAeq, Tp}(V) = 70 + 26 \log_{10}(V/30)$
Rhônexpress	A ¹	$L_{pAeq, Tp}(V) = 80 + 31 \log_{10}(V/30)$
	B	$L_{pAeq, Tp}(V) = 72 + 30 \log_{10}(V/30)$
	C	$L_{pAeq, Tp}(V) = 72 + 30 \log_{10}(V/30)$
	D	$L_{pAeq, Tp}(V) = 71 + 27 \log_{10}(V/30)$

Tableau 5 : Lois d'émission par type de véhicule et par site.

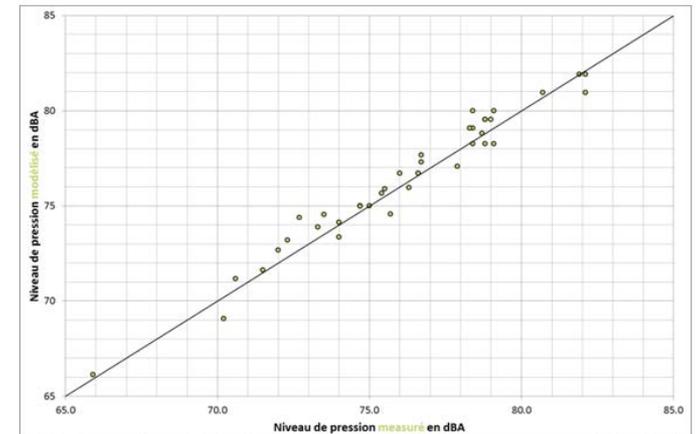


Figure 23 : Comparaison entre le niveau de pression sonore au passage mesuré et estimé grâce aux lois d'émission (modélisé) pour les tramways.

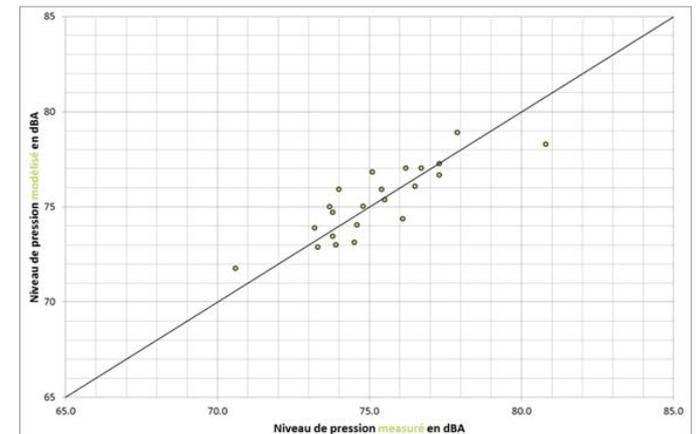


Figure 24 : Comparaison entre le niveau de pression sonore au passage mesuré et estimé grâce aux lois d'émission (modélisé) pour le Rhônexpress.

Mesure du bruit au passage

■ Spectres caractéristiques

Véhicule	Site	Bande d'octave								Global A
		125Hz	250Hz	500Hz	1kHz	2kHz	4kHz	8kHz	16kHz	
Tramway	A	67	78	73	72	70	61	52	40	77
	B	64	78	68	65	59	53	46	36	72
	C	60	70	69	68	65	56	44	34	72
	D	59	64	64	65	65	60	50	41	70
Rhônexpress	A	82	76	75	78	69	64	58	49	80
	B	70	71	68	69	60	55	49	42	72
	C	70	71	66	70	63	53	46	40	72
	D	61	65	63	67	65	59	51	41	71

Tableau 6 : Spectres caractéristiques d'émission pour chaque véhicule et pour chaque site correspondant au niveau de pression sonore au passage d'un véhicule circulant à 30 km/h (vitesse de référence)

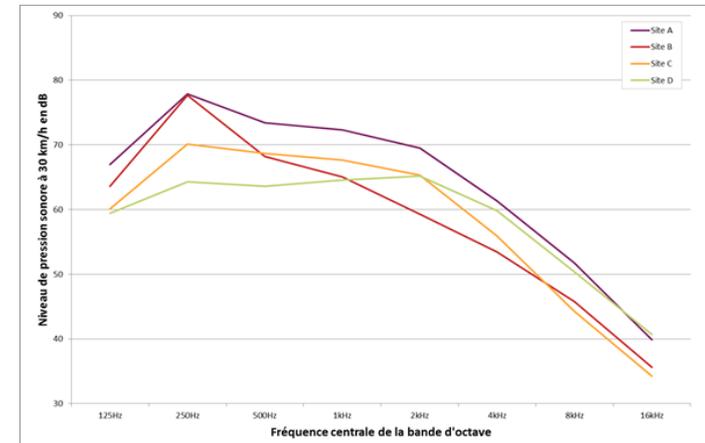


Figure 25 : Spectres caractéristiques pour les tramways

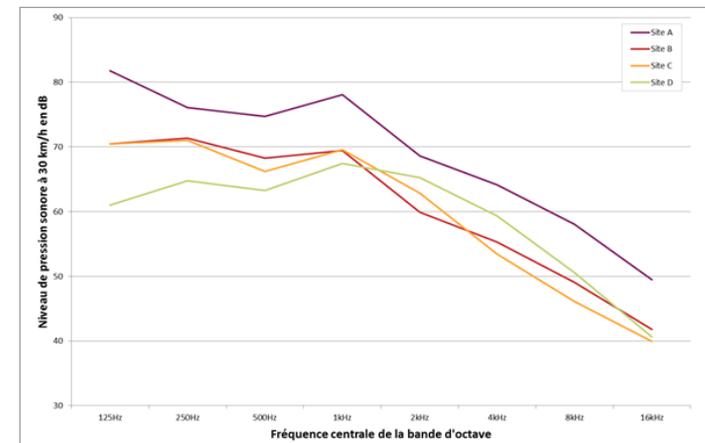


Figure 26 : Spectres caractéristiques pour le Rhônexpress

Puissance acoustique

■ Méthode inverse

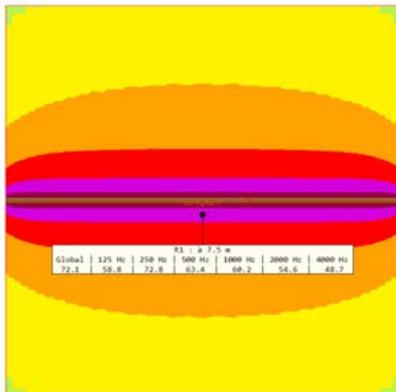


Figure 8 : Modèle de calcul Mithra

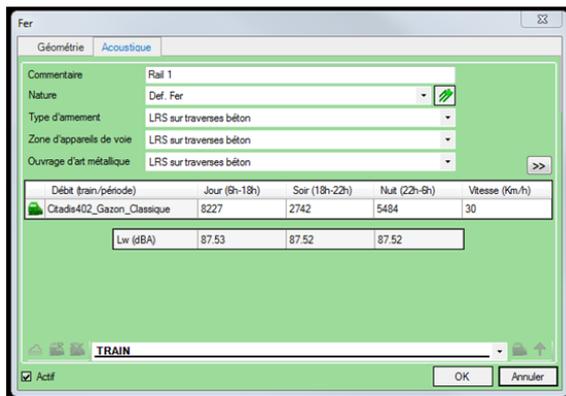


Figure 10 : Définition du nombre de trains par période et vitesse de passage sur MithraSIG

