



JOURNEES
TECHNIQUES
ACOUSTIQUE
ET VIBRATIONS



Sécurité routière :

Dispositif d'Alerte Sonore

étude sur le réseau de la DIR Med à St Martin de Crau

Philippe DUNEZ
Cerema Nord-Picardie



Cerema DTerNC – Rouen – 11 & 12 mai 2017



Les objectifs de la DIR Med

Lutter contre l'hypovigilance des conducteurs (26 % des accidents mortels)

➡ Mise en place d'un DAS de type engravure (rumble strips) avec un suivi sur 3 ans

Commande au Cerema :

- Coordination (Cerema ITM avec la DIR Med)
- Implantation du DAS sur l'axe de la ligne de rive et dégradation (Cerema Med)
- Comportement des usagers de nuit (Cerema NC)
- Hypovigilance (acoustique et vibration) (Cerema NP et Cerema CE)
- Alerte acoustique aux personnes sur la BAU (Cerema NP)
- Gêne acoustique aux riverains (Cerema NP)

Le site d'étude

RN113 sur la commune de St Martin de Crau :

- 2x2 voies
- TMJA de 18 000 véh/jour avec un % PL > 15 %
- sens de la voie testée : Arles vers Salon de Provence
- vitesse maximale réglementaire : 110 km/h

Le profil en travers :

- BAU de 2.5 à 3 m de largeur,
- Largeur de chaussée de 6.75 m dont :
 - 3.25 m de voie rapide
 - 3.5 m de voie lente

Chaussée réhabilitée : 7 cm de Grave Bitume (GB) + 2.5 cm de Béton Bitumineux à couche Très Mince (BBTM)



Les différents DAS

- Les plots
 - utilisés en compléments des autres DAS
 - durabilité et efficacité non étudiées
 - dimensions 10/10/2 cm
- Les Visibles de Nuit et par Temps de Pluie
 - protubérances (barrettes) prévues pour améliorer la perception visuelle, constituées d'un enduit à froid amalgamé à des microbilles
 - hauteur des barrettes de 12 à 15 mm, objectif > 8 mm après 3 ans d'exploitation
 - durabilité dépendant des conditions de viabilité hivernale (arrachage) et du trafic PL
- Les rumble strips
 - production de vibrations audibles et vibratiles
 - réalisation par fraisage de la couche de roulement
 - dimensionnement variable



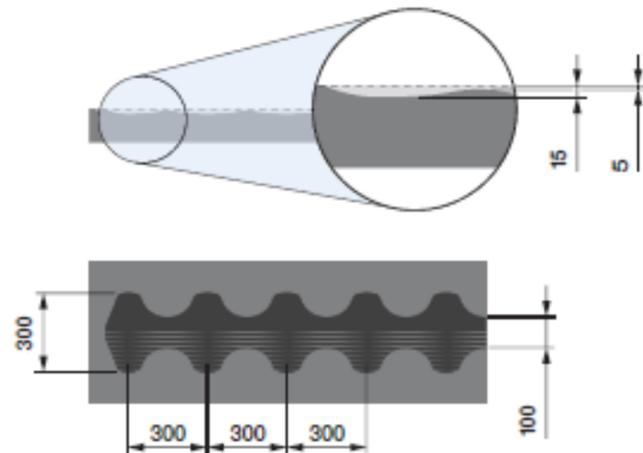
Le choix de la DIR Med :

- Réalisation courant novembre 2016 des marquages de type rumble strips/engravure
- Profil du marquage de type sinusoïdale
- Dimensions : profondeur de 5 à 15 mm et largeur de 10 à 30 cm



Le choix de l'espacement impacte directement les fréquences acoustiques et vibratoires du DAS, en Hz :

$F = \text{Vitesse de circulation} / e$



La méthodologie mise en place

Elle a été définie à partir :

- d'études antérieures du Cerema NP,
- des normes et guides de mesures,
 - NF EN ISO 31119-2 (VM)
 - NF P98-650 (marquage chaussée)
 - méthode d'essai LPC n°63 (CPX)
- des demandes de la DIR Med : tests sur un 2 roues, tests sur chaussée mouillée



Pour qualifier les DAS sur 3 ans il est prévu de réaliser un état avant et après travaux (age : 0 an).

La norme NF P 98-650 a de fortes contraintes et a été adaptée à l'expérimentation :

- les contraintes de sites sont identiques aux mesures de bruit de roulement au passage [oui]
- véhicules d'essai : 2 VL différents + 1 PL (Tracteur + Remorque ; 4 essieux mini) [non]



1VL Cerema NP (Scenic II motorisation diesel)
 1VL Cerema CE (Scenic I motorisation essence)
 1 PL Dir Med (2 essieux 14 tonnes chargé)
 1 2R PP13 (Yamaha 700)

- mesures du bruit intérieur : position microphone [oui] grandeur mesurée (LAeq,4s) [non]
 - LAeq,T avec T entre 2 et 4s
- mesures du bruit extérieur : position microphone [oui] grandeur mesurée (LAE,4s) [non]
 - LAmax
- nombre de passages, 2 classes de vitesses et 6 passages par classe [non]

→ 5 classes de vitesse et 5 passages par classe pour les 3 types de véhicules

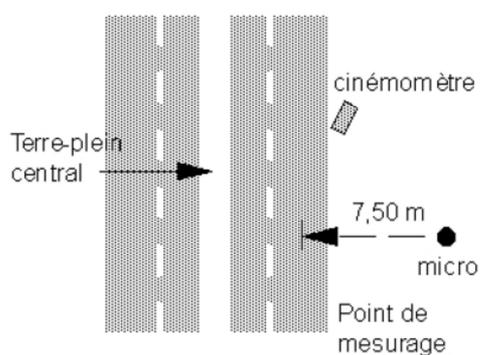
Ajout d'un volet vibration (accélérométrie) sur les 3 types de véhicules :

- siège conducteur VL (Cerema NP uniquement), PL et 2 roues
- volant conducteur VL et PL
- cadre du 2 roues

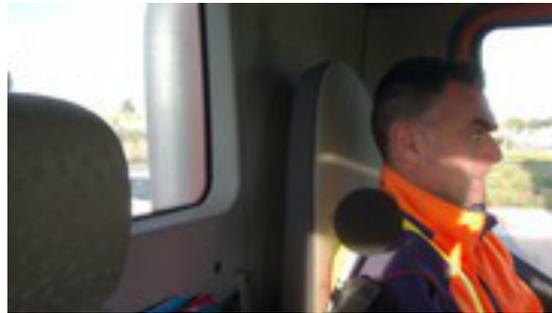


La chaîne de mesure (PC + Harmonie + batterie) a été placée dans un sac à dos du passager moto

- Caractérisation acoustique du site (NF P 98650, 31119, méthode LPC n°63)
 - Mesures avant réalisation du DAS,
 - Mesures après réalisation du DAS,
 - Mesures après réalisation du DAS avec chaussée mouillée (voie lente neutralisée),
 - Mesures au passage des 2 VL, du PL et du 2R (voie lente sous circulation et voie lente neutralisée),
 - Mesures en champ proche des 2 VL (voie lente neutralisée).



- Hypovigilance des conducteurs ((NF P 98650)
 - Phasage des essais identique à la caractérisation du site sans les essais sous circulation
 - Étude acoustique ET vibratoire (volet non repris dans la norme)



- Chaîne de mesure de bruit de roulement CPX (Harmonie sous dBFA -4 voies maxi-, 1 voie microphonique au droit de l'oreille, 1 accéléromètre au droit du siège du conducteur, 1 accéléromètre sur le volant)
- =>pour les accéléromètres, mesures de l'axe vertical uniquement

Pour tenir compte du risque de changement de PL au cours de la période d'étude de 3 ans, des mesures de vibration ont été réalisées sur le châssis du PL pour déterminer le couplage siège-châssis.

Les types de sièges et d'amortisseurs des différents véhicules n'ont pas été pris en compte.



- Alerte aux personnes en bord de voie
 - Mesures pendant toutes les phases d'essais
 - Enregistrements des LAeq tous les 100 ms avec 1/3 d'octave
 - Exploitation des mesures sous circulation (tous les véhicules) : bruit de fond en situation réelle
 - Exploitation des LAeq calés sur l'heure de passage au droit du point de référence (voir caractérisation du site), précision de l'ordre de 100 ms (calage des sonomètres avec un avertisseur sonore)
 - Interprétation statistique
 - Calcul des émergences (avec et sans DAS)
- Deux points de mesures en bordure de voie en plus du point de référence (20 et 40 m / Pt réf)
- Hauteur des microphones à 1m20 / chaussée
- Chaîne de mesure de bruit de l'environnement/routier de type sonomètre Duo



- Gêne des riverains
 - Démarche identique à l'alerte des personnes en bord de voie (sous circulation, les 3 types de véhicules, sans et avec DAS et DAS mouillé)
 - Étude de la gêne éventuelle et non de seuils réglementaires :
 - * recherche des LAm_{ax} au passage à 20 et 40m du Pt réf
 - * calcul des émergences
 - * étude statistique (LAm_{ax} et 1/3 d'octave)
 - * loi de propagation ?



Implantation des points de mesure



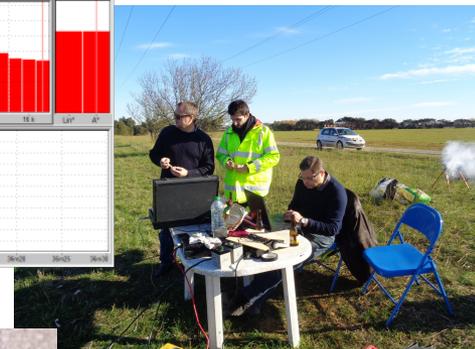
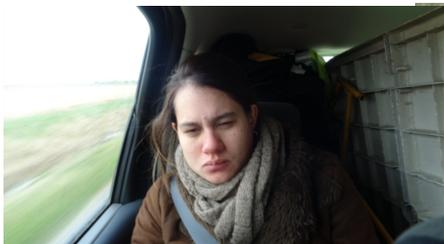
Les campagnes de mesure



Séquences vidéos



Les aléas



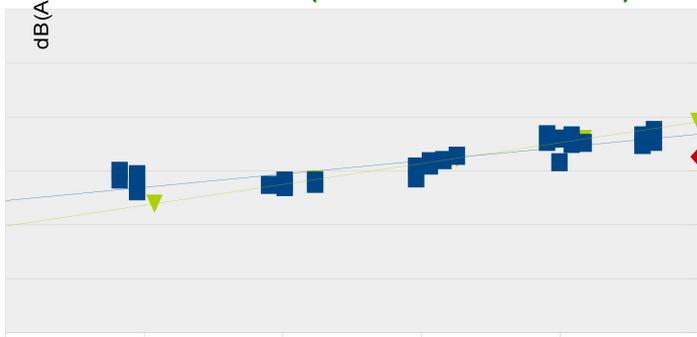
Les exploitations



Les résultats présentés ne sont pas consolidés

- Caractérisation du site après la mise en place du DAS

Mesures CPX (VL Cerema NP et CE)



Mesures au passage (VL Cerema NP et CE)

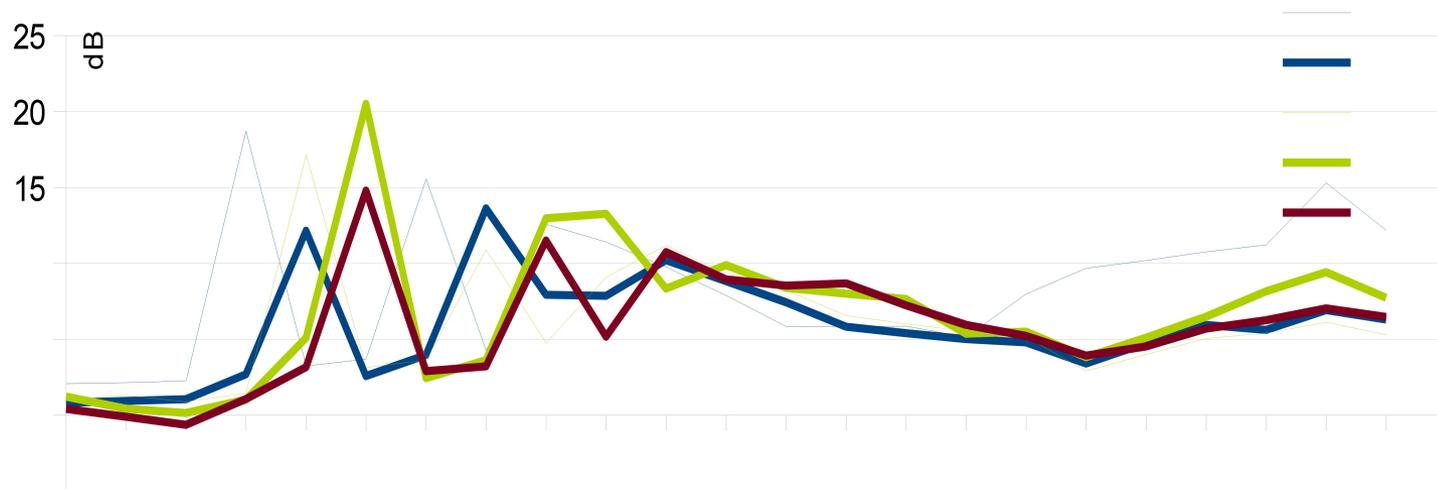


Les émergences:

Type d'essai	Avec DAS	Avec DAS mouillé
VL En champs proche (110 km/h)	6.5 dB (NP) / 5.5 dB (CE)	11.5 dB
VL à 7m50 (110 km/h)	7.0 dB	9.0 dB

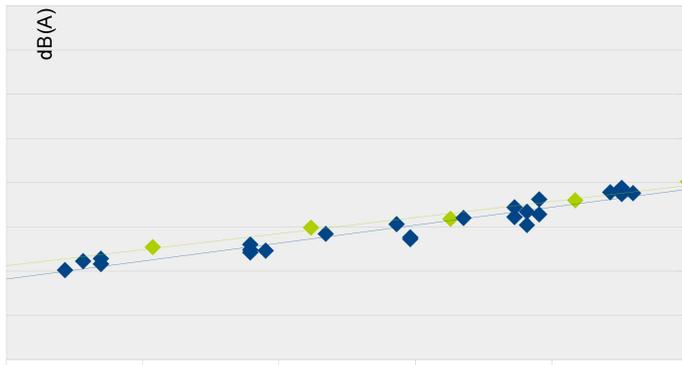
Type d'essai	Avec DAS	Avec DAS mouillé
PL à 7m50 (80 km/h)	1.5 dB(A)	7 dB(A)
2R à 7m50 (110 km/h)	2 dB(A)	5 dB(A)

Analyse des émergences spectrales du VL Cerema NP à 7m50 (glissement des fréquences marquées en fonction de la vitesse)

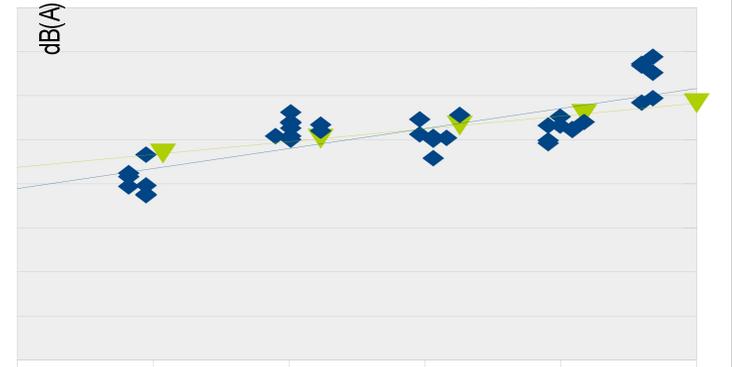


- Hypovigilance acoustique, au droit de l'oreille (VL)

Mesures sans DAS (VL)



Mesures avec DAS (VL)

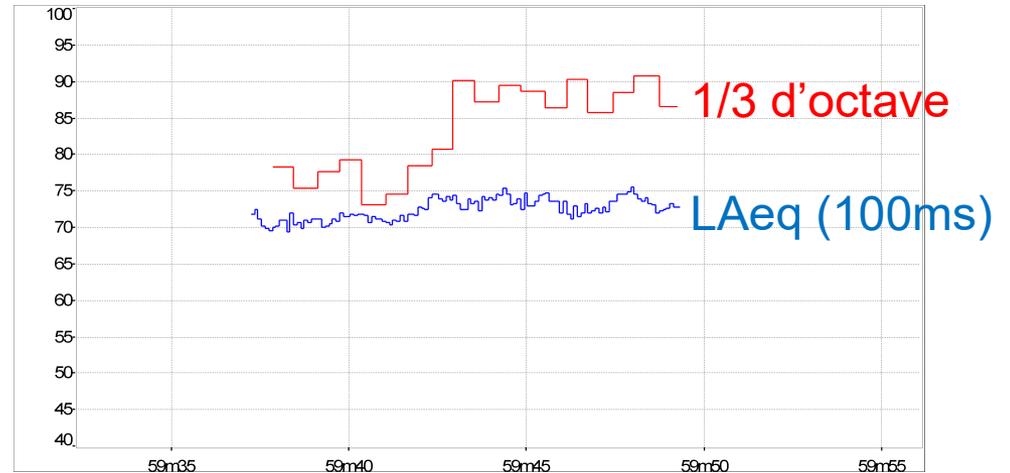


Les émergences:

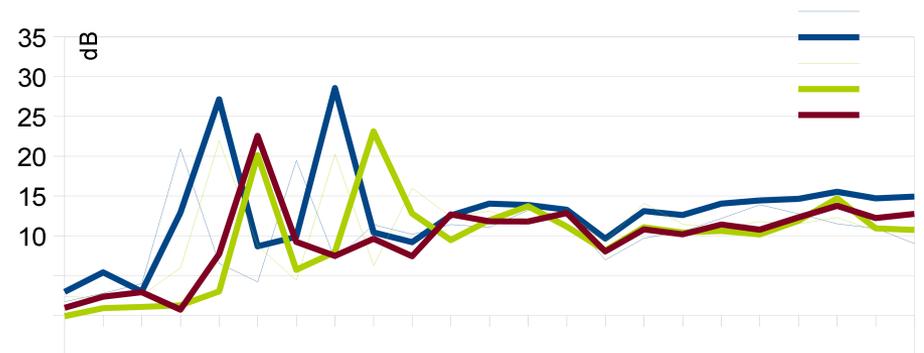
Type de véhicule	Avec DAS moyenne / régression linéaire	Avec DAS mouillé
VL Cerema NP	de 14.5 à 18.5 dB / de 15.5 à 16.5 dB	Pas ou peu d'impact
VL Cerema CE	de 13.0 à 17.0 dB / de 14.5 à 16.0 dB	Pas de mesure

- Hypovigilance acoustique, au droit de l'oreille (VL)

Recherche de la zone testée
par analyse fréquentielle



Analyse des émergences
spectrales du VL Cerema NP
au droit de l'oreille (glissement
des fréquences marquées en
fonction de la vitesse)



- Hypovigilance acoustique, au droit de l'oreille (VL)

Les émergences:

Type de véhicule	Avec DAS moyenne / régression linéaire	Avec DAS mouillé
VL Cerema NP	de 14.5 à 18.5 dB / de 15.5 à 16.5 dB	Pas ou peu d'impact
VL Cerema CE	de 13.0 à 17.0 dB / de 14.5 à 16.0 dB	Pas de mesure

Type d'essai	Avec DAS	Avec DAS mouillé
PL (80 km/h)	1.5 dB(A)	Pas ou peu d'impact

Pas de mesures pour le 2R



- Hypovigilance acoustique, au droit de l'oreille (VL)

Comparaisons avec des études antérieures pour le VL :

étude	type de marquage	année	véhicule	Émergence * à 110 km/h
Cerema CE - A89	VNTP	2008	Clio et 307	10.5 à 13.0 dB
Cerema NP - A1	VNTP	2011	Scenic	9.0 dB
Cerema NP - A1	Rumble Strips	2011	Scenic	10.5 dB
Cerema NP - A26	VNTP	2011	Scenic	6.5 dB **
Cerema NP - A26	Rumble Strips	2011	Scenic	10.5 dB
Cerema CE - RN113	Rumble Strips	2016	Scenic	14.5 dB
Cerema NP - RN113	Rumble Strips	2016	Scenic	16.5 dB

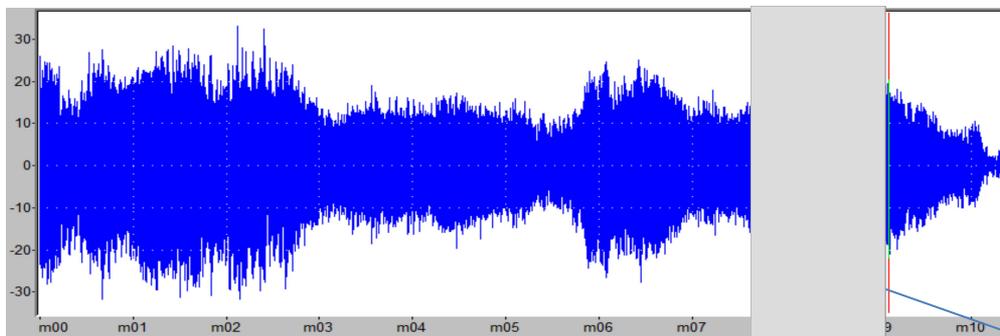
* à partir des régressions linéaires

** usure importante des VNTP

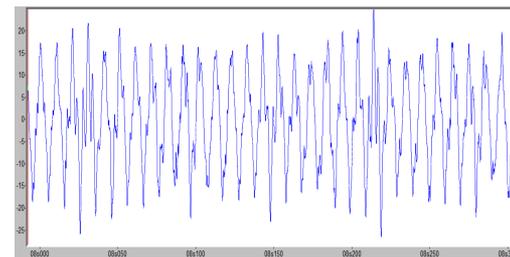
- Hypovigilance vibratoire, au droit du siège et du volant/cadre (sans pondération en W, valeurs en Wk uniquement à titre indicatif)

- Pas de réglementation ou d'indicateur -

- les enregistrements sont en accélération à la fréquence d'échantillonnage de 51.2 kHz
- un filtre pass-haut à 0.5 Hz est appliqué aux signaux temporeux
- ordre de grandeur de l'amplitude maximale pondérée Wk – $L_{acc,max,Wk}$ en m/s^2 -
- exploitations en dB sous dBtrait (125 ms) sur une période T de 2 à 3 secondes, reconvertis en m/s^2 (sans pondération) – $L_{acc,T}$ en m/s^2 -
- analyses fréquentielles en 1/3 d'octave (dBTrait) et bandes fines (sonagramme, dBFA)
- amplitudes vibratoires de la fréquence dominante (dépendante de la vitesse) – $L_{acc,max,F}$ en m/s^2 -

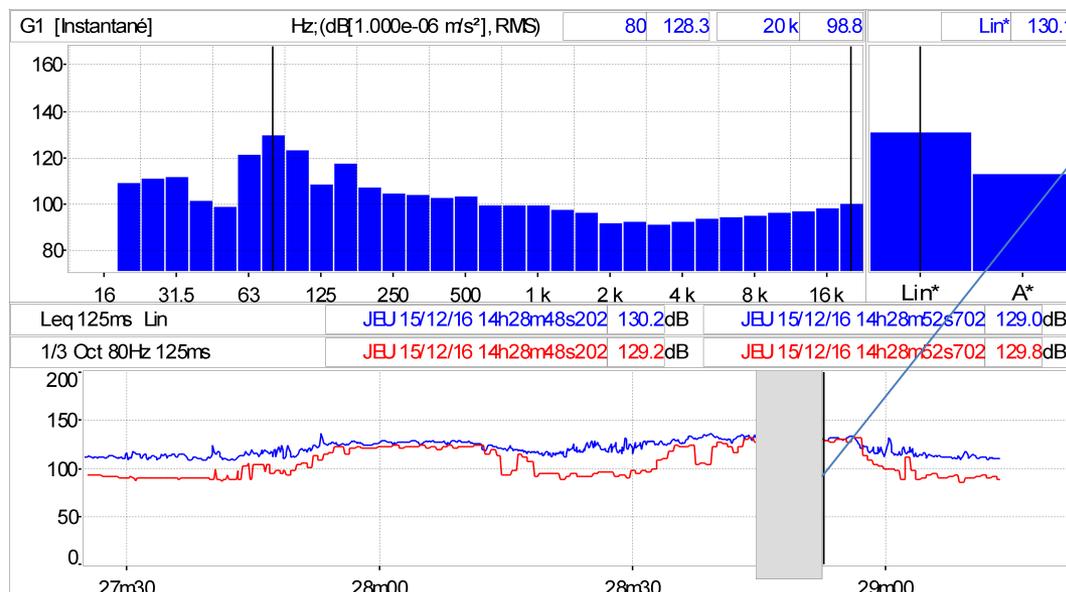


Évolution temporelle, en m/s^2 (volant)

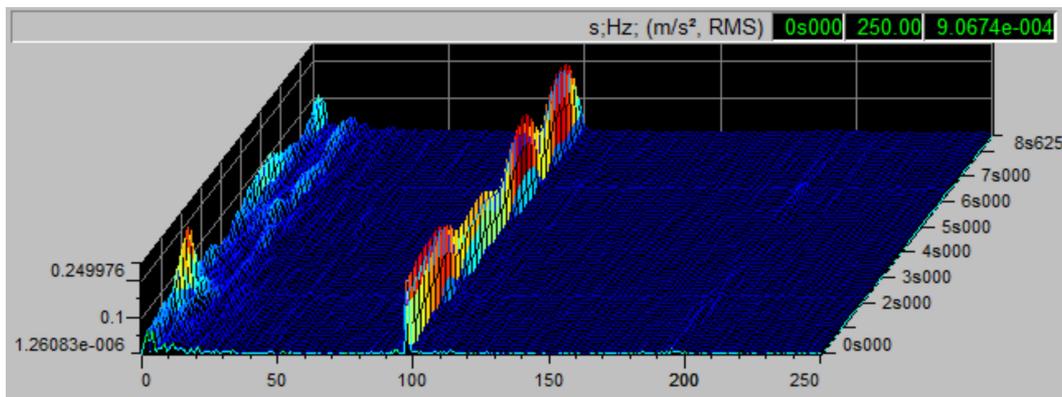


Zone étudiée (passage devant le microphone référence)

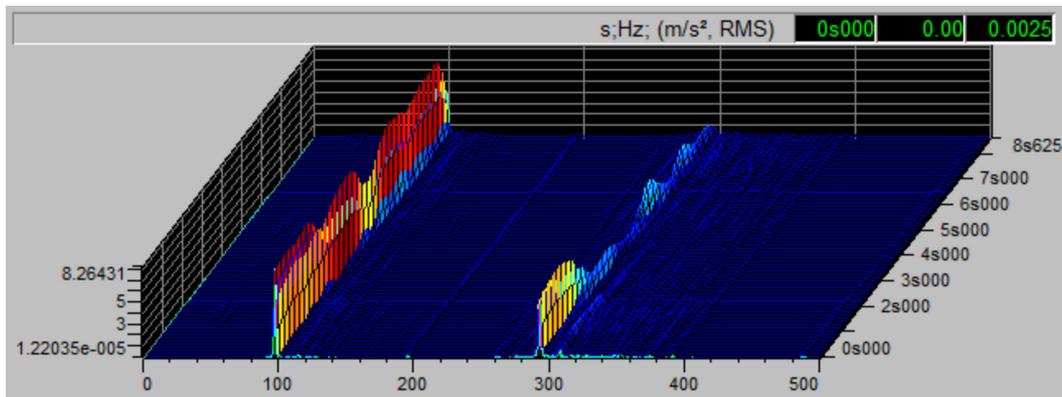
Exploitation en dB et 1/3 d'octave, $L_{acc,T}$



Exemples de sonogrammes (à 110 km/h), $L_{acc,max,F}$



Sonogramme de la vibration du siège (0 à 250 Hz, bandes fines)

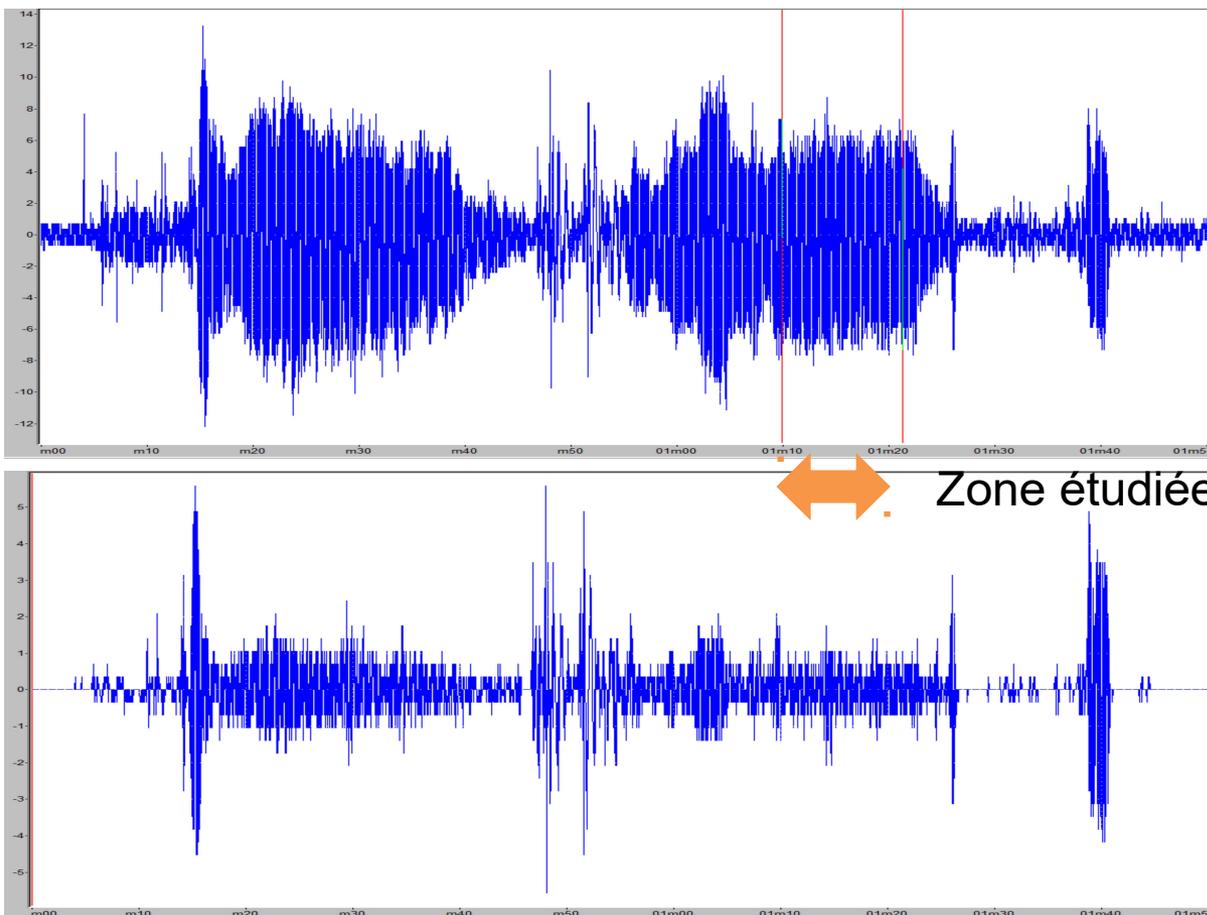


Sonogramme de la vibration du volant (0 à 500 Hz, bandes fines)

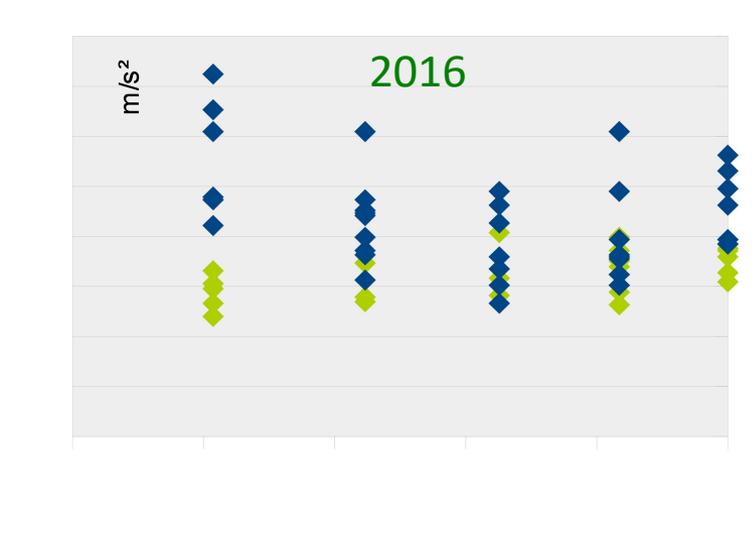
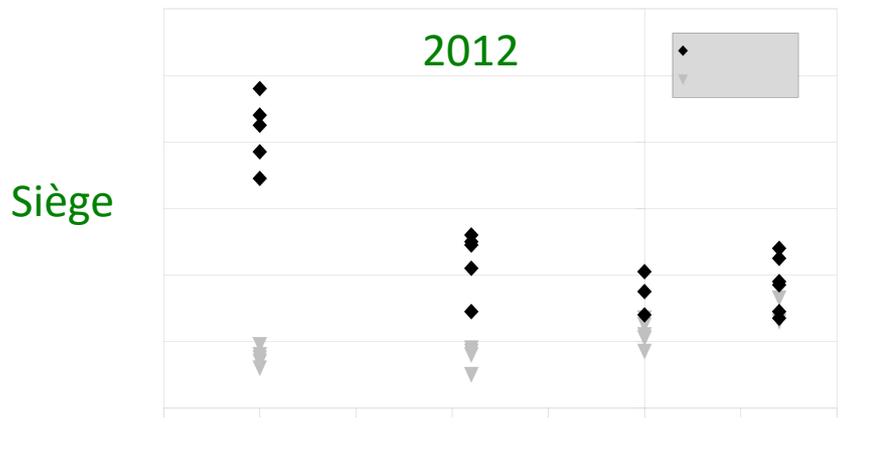
Ordre de grandeur :

- sans DAS les accélérations sont proches de 0 m/s²
- avec DAS amplitude de l'ordre de 0.5 m/s² sur le siège, à la fréquence dominante
- avec DAS amplitude de l'ordre de 5 m/s² au volant, à la fréquence dominante

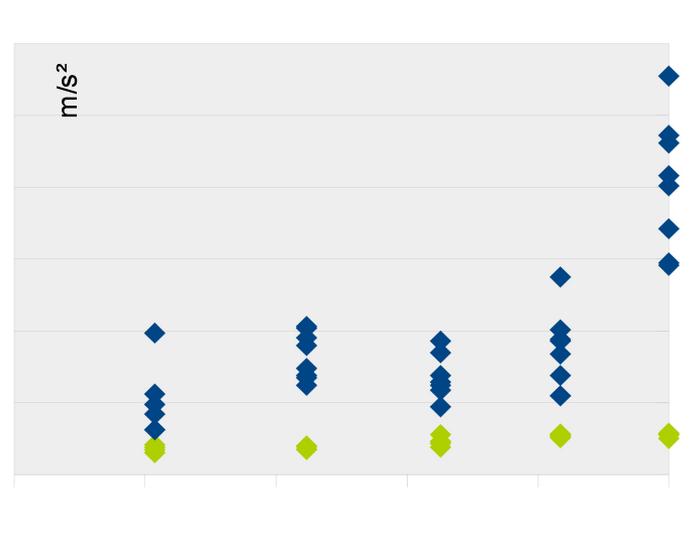
Signal d'accélération non pondéré et pondéré Wk (siège 2R), $L_{acc,max,Wk}$



- Hypovigilance acoustique, au droit de l'oreille (VL)



Volant
(2016)

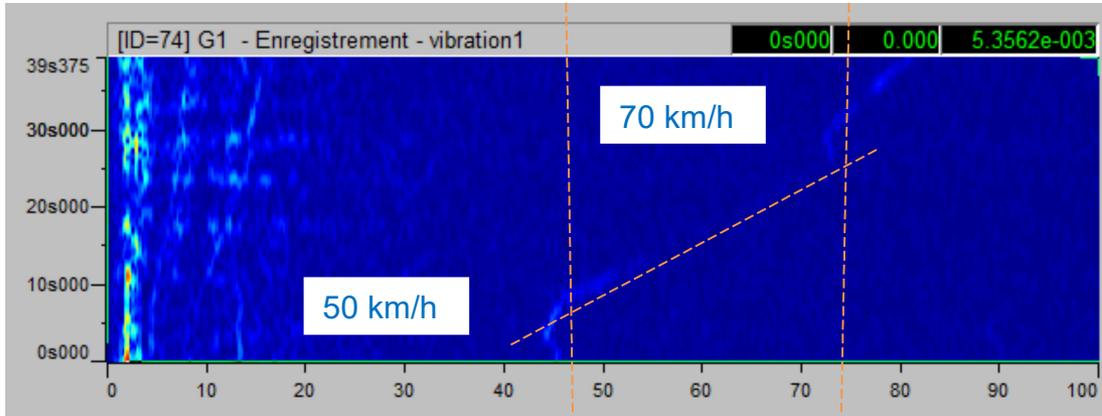


Résultats 2016 :

* Sans DAS en vert

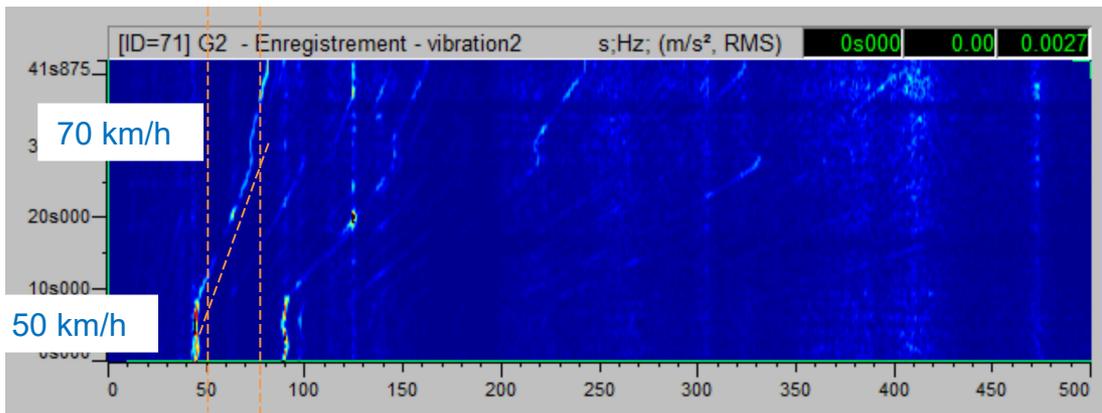
* Avec DAS en bleu

- Etude du couplage châssis-siège du PL



Sonogramme 2D, accélération de 50 à 90 km/h

Possibilité de repérer les phases de vitesses stabilisées et d'accélération

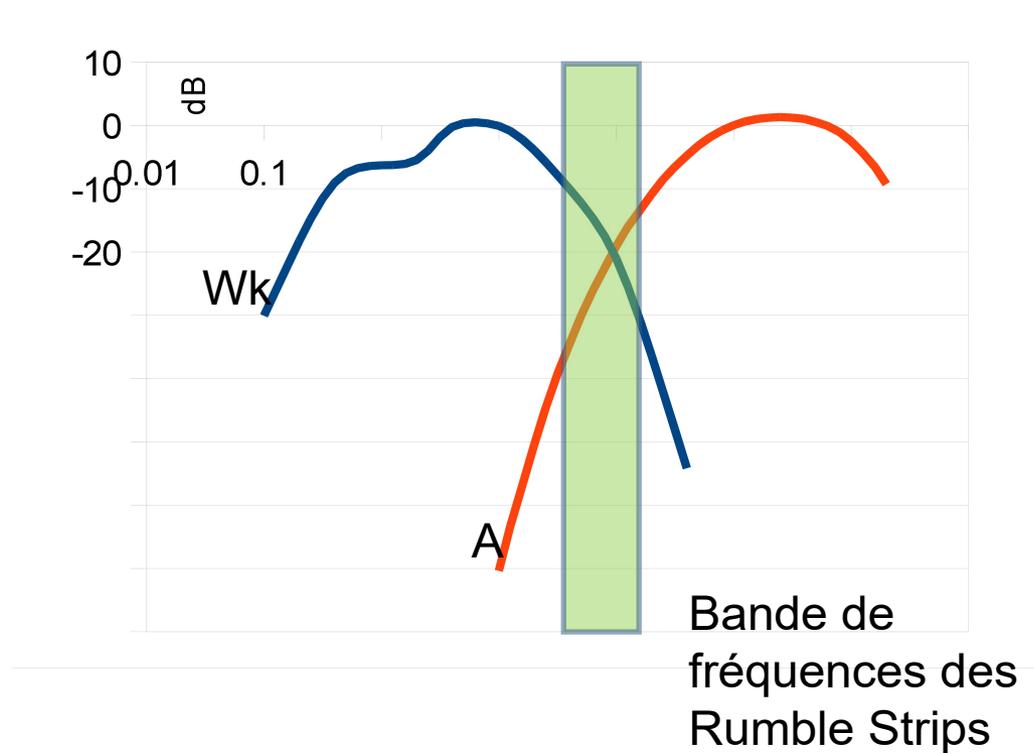


Recherche du rapport des signaux siège/châssis :
de l'ordre de 0.02 à 45 et 79 Hz (ou encore 50 et 90 km/h)

Les suites et perspectives

- Le Cerema CE intervient tous les 6mois pour des mesures sous circulation de l'acoustique intérieure de son VL, avec une mesure en champ proche.
- Le Cerema NP intervient tous les ans et reproduit l'ensemble de la méthodologie décrite.
- En cas d'évolution anormale observée par le Cerema CE, la périodicité des mesures du Cerema NP peut évoluer.

- Choix de la géométrie du DAS en fonction de l'effet recherché et de l'impact physiologique sur l'homme (proximité d'habitation par ex.)



- Dimensionnement pour les PL (largeur de roue et nombre d'essieux)
- Dimensionnement pour les 2R (phénomène de guidonnage)

Merci de votre attention

Philippe DUNEZ
Cerema Nord Picardie
42 bis rue Marais –Sequedin-
59482 HAUBOURDIN
03 20 48 49 42 / philippe.dunez@cerema.fr