

LES PLÉNIÈRES 2009 DU LCPC

Sciences et techniques
du **Génie Civil**

JOURNÉES ACOUSTIQUE

BATZ-SUR-MER – 10 et 11 JUIN 2009

CARACTERISATION EXPERIMENTALE DU BRUIT DU TRAMWAY DE LA C.U.B.

Jean-François Puymérail
LRPC de Bordeaux

SOMMAIRE

- **Contexte**

Matériel roulant – Infrastructure – Site de mesures

- **Niveaux de puissance**

Aspects cinématiques – Mise en œuvre expérimentale - Résultats

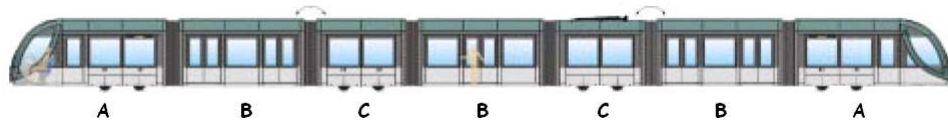
- **Directivité verticale**

Mise en œuvre expérimentale - Résultats

CONTEXTE

• Matériel roulant

2 versions 30 m (3 bogies) et 40 m (4 bogies)



• Infrastructure

Alimentation : caténares ou par le sol (APS) en centre ville

Rails 35GP à gorge – écartement 1435 mm

Pose de voie ballast ou anti-vibrations en centre ville

CHOIX DU SITE DE MESURES

• Critères de sélection

- Minimisation du risque de sources parasites
- Absence d'obstacle
- Tronçon rectiligne et profil en long plan
- Revêtement homogène

• Caractéristiques

- Circulé par rames à 4 bogies
- Alimentation par caténaires





Le site choisi pour les mesures



ASPECTS CINEMATIQUES

- **Mise en œuvre du cinémomètre acoustique**

connaître la loi de variation des niveaux de puissance avec la vitesse, du type $L_w(V) = L_w(V_{ref}) + A \cdot \log_{10}(V/V_{ref})$

- **Méthode $LA_{eq_{10ms}}$**

Nécessite l'intervention de l'opérateur pour la détermination des maxima

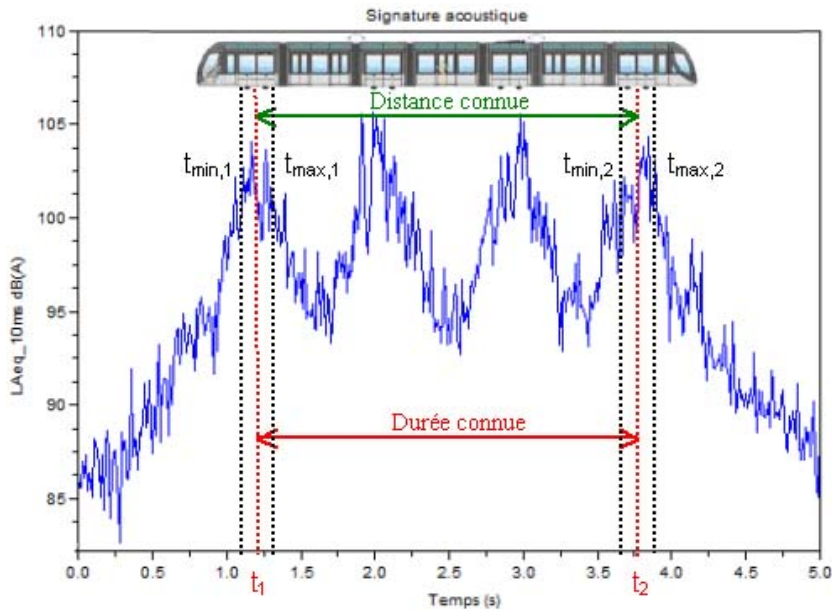
- **Méthode LA_{eq_T} "continu"**

automatisation ◀ ▶ incertitude réduite

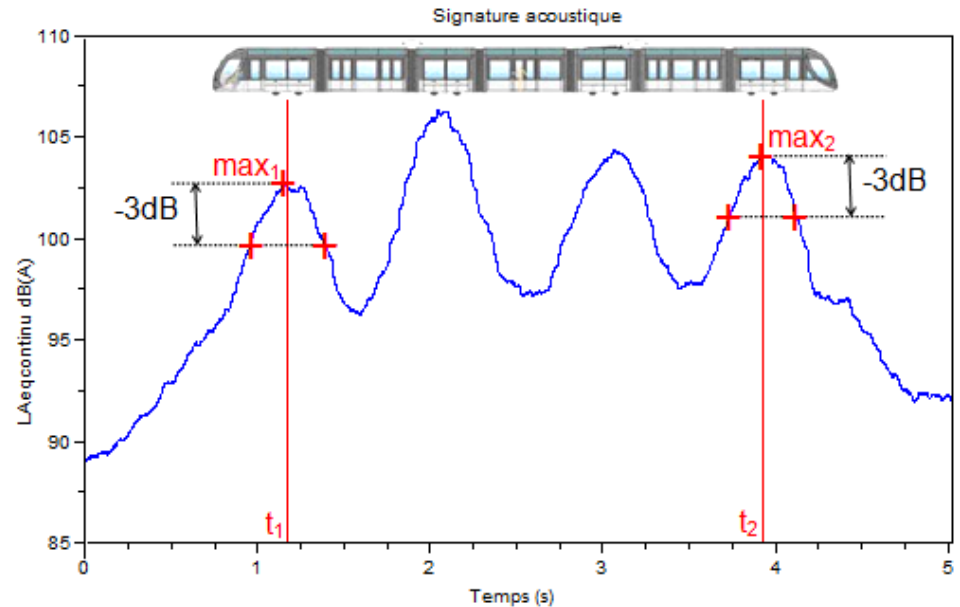
recherche des maxima lors des passages des 1er et 4ème bogies

détermination de l'intervalle de temps entre les 2 passages

• Aspects cinématiques : illustration



Méthode $LAeq_{10ms}$



Méthode $LAeq_T$ continu

NIVEAUX DE PUISSANCE

- **Mise en œuvre expérimentale**

- **Protocole de mesure**

2 microphones respectivement à 1.30 m et 7.50 m du rail extérieur

Enregistrement audio de 2 signaux temporels (01dB TEAC GX-1 du RLPC)

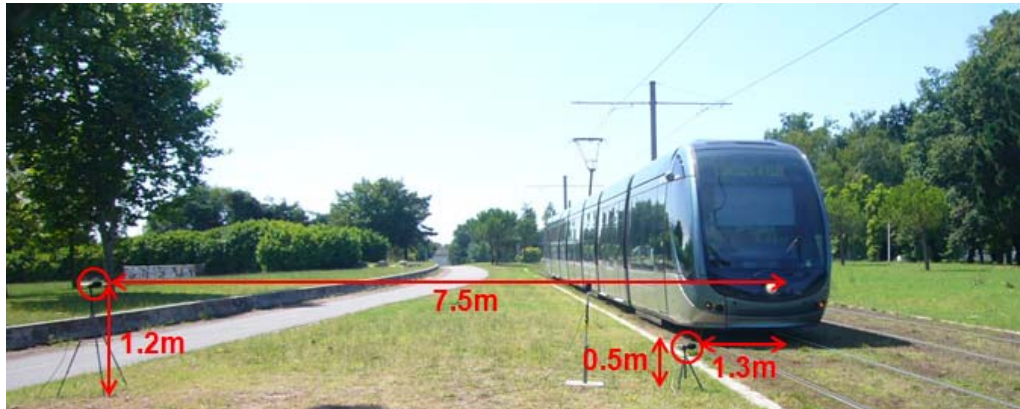
- **Dépouillement**

Conversion au format *.wav par 01dB-dBFa32 et traitement sous Scilab

Détermination de l'instant de passage du centre de la rame au droit des microphones de mesure

Extraction d'un échantillon de 125 ms ◀ ▶ source(s) immobile(s)

• Mise en œuvre expérimentale : illustration



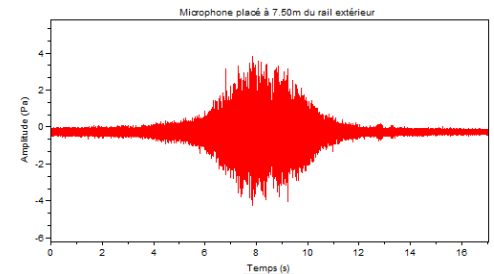
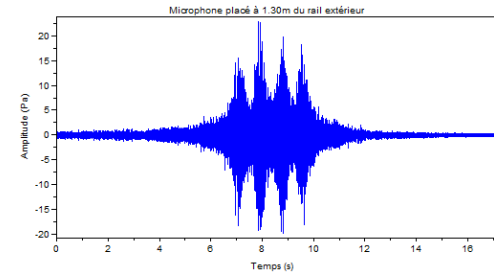
Champ lointain pour [63-8000 Hz]
(NF EN ISO 3095)

Elimination des parasites locaux

Référence

Vitesse et position de la rame

Dispositif de mesure

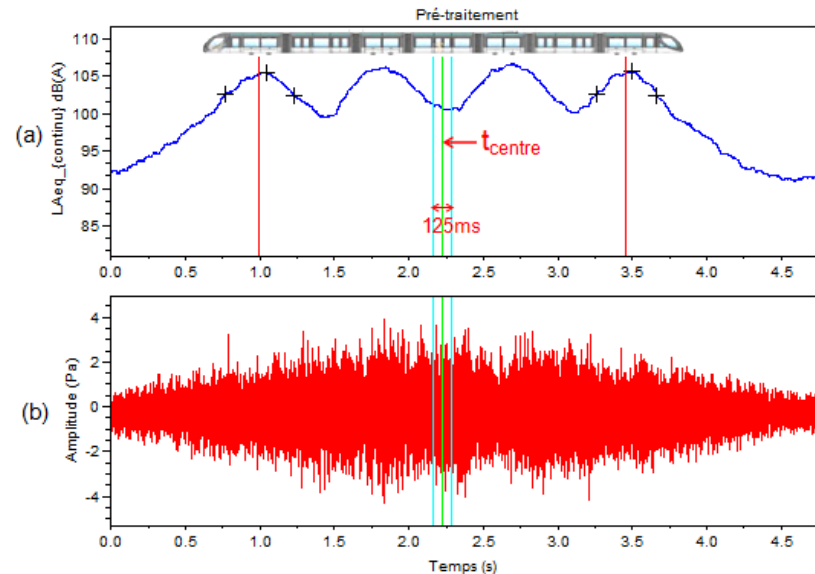


Aspect des signaux au
format *.wav

TRAITEMENT

(a) Détermination de l'instant de passage du centre de la rame au droit des microphones (graphe à 1.30 m)

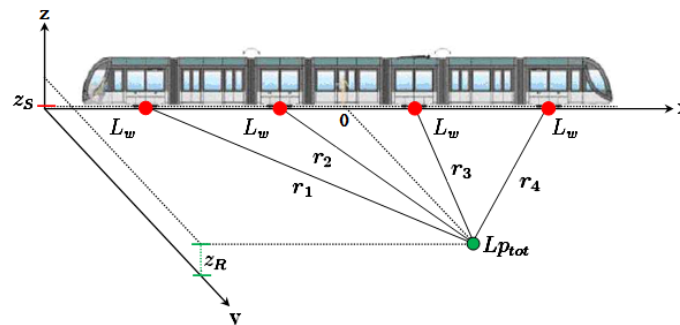
(b) Extraction d'un échantillon de 125 ms sur graphe à 7.50 m



NIVEAUX DE PUISSANCE

Hypothèses

- ensemble de 4 sources ponctuelles
- supposées identiques
- supposées immobiles

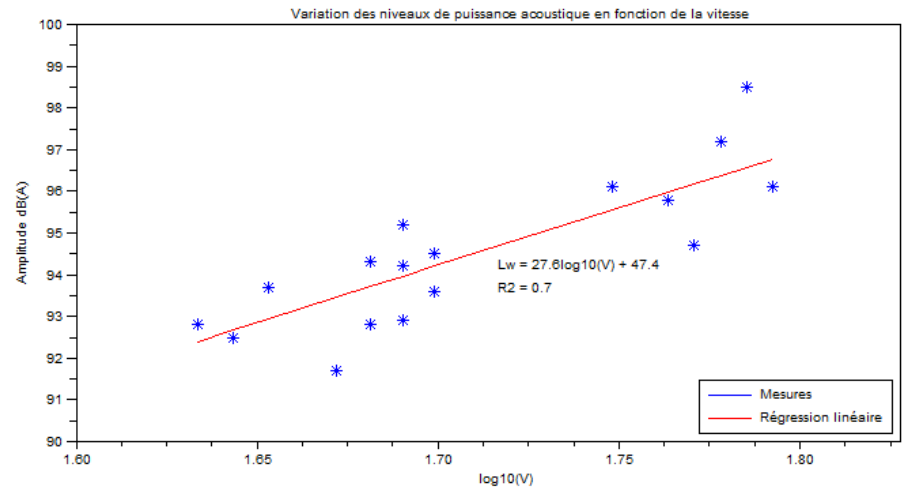


$$L_w = L_{p_{tot}} - 10 \log_{10} \left(\sum_{i=1}^N \frac{10^{\Delta L_i / 10}}{r_i^2} \right) + 11 .$$

- Résultats
- Loi de variation avec la vitesse

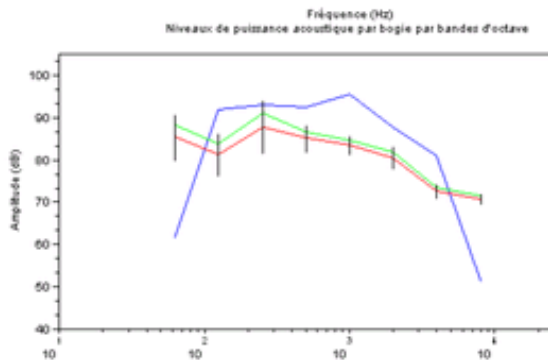
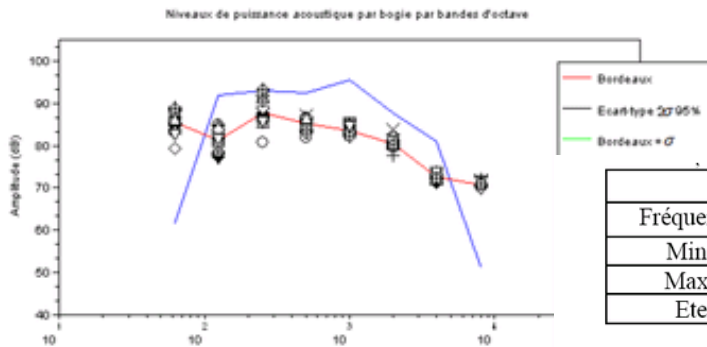
 $A = 27.6$ (Nantes 25 pour herbe)

 Régression linéaire $R^2=0.7$



Réduire la dispersion des résultats : travailler sur $L_{Aeq_{tp}}$

- Résultats
- Niveaux de puissance par octave à $V_{\text{réf}} = 30 \text{ km/h}$



Niveaux de puissance acoustique par bandes d'octave (dB)									
Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	global dB(A)
Minimum	79.4	77.3	80.7	81.9	82.0	77.6	71.2	70	86.7
Maximum	89.2	84.9	93.2	87.2	85.6	83.9	74.0	71.9	90.1
Etendue	9.8	7.6	12.5	5.3	3.6	6.3	2.8	1.9	3.4

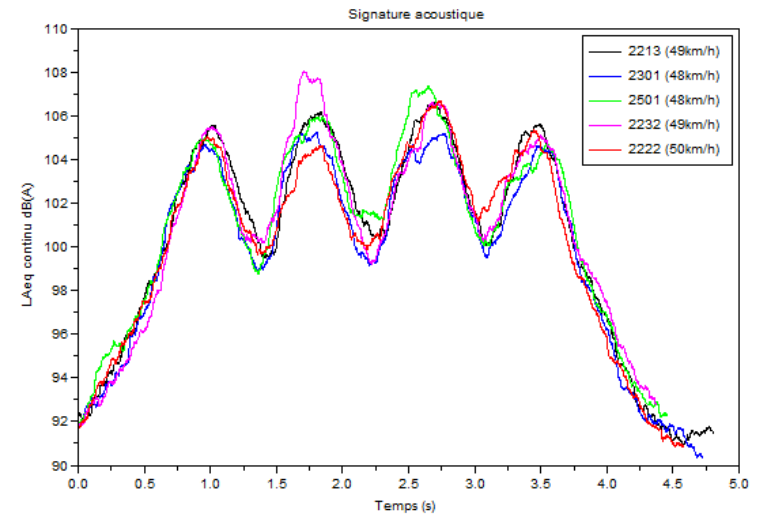
Ecart-type des niveaux de puissance acoustique par bandes d'octave (dB)									
Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Ecart type (95%, 2σ)	5.4	5.0	6.2	3.2	2.2	2.7	1.7	1.3	

Niveaux de puissance acoustique par bandes d'octave (dB)									
Fréquence (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	global dB(A)
Nantes	61.8	91.8	92.9	92.5	95.5	87.8	81.1	51.1	97.5
Bordeaux	85.4	81.4	87.8	85.1	83.5	80.5	72.6	70.8	88.1
Bordeaux + σ	88.2	83.9	90.9	86.7	84.6	81.9	73.4	71.5	89.7
Nantes-Bordeaux	-23.6	10.4	5.1	7.4	12.0	7.3	8.5	-19.7	9.4
Nantes-(Bordeaux + σ)	-26.4	7.9	2.0	5.8	10.9	5.9	7.7	-20.4	7.8

• Résultats

• Observations

Caractère unique de chaque bogie ?

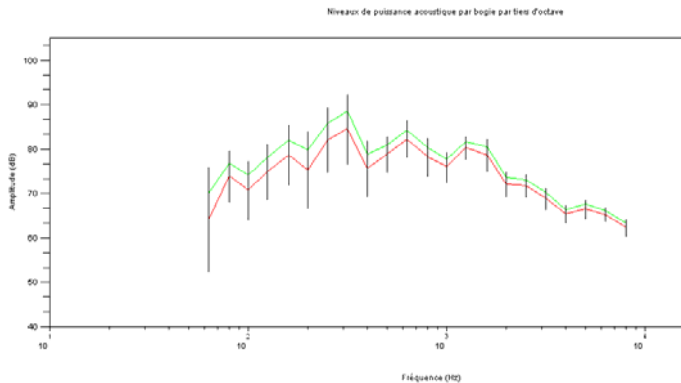
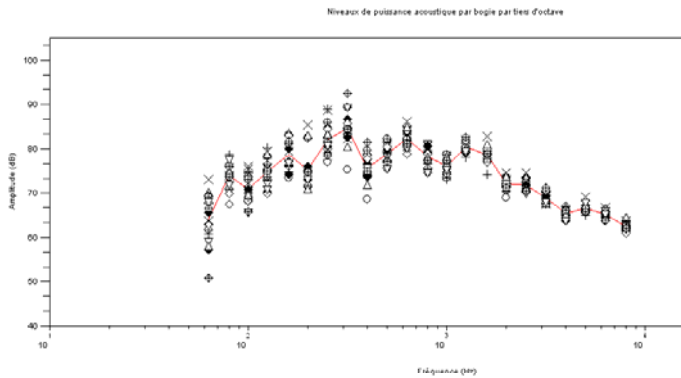


Différences avec les données de Nantes

- âge du réseau
- cahier des charges CUB
- méthode de caractérisation (précision)

• Résultats

• Niveaux de puissance par tiers d'octave à $V_{réf} = 30$ km/h



Niveaux de puissance acoustique par bandes de tiers d'octave (dB)								
Fréquence (Hz)	63	80	100	125	160	200	250	315
Minimum	50.9	67.4	65.7	69.8	73.5	70.7	76.9	75.3
Maximum	73.1	78.7	76.0	80.2	83.3	85.3	89.0	92.5
Etendue	22.2	11.3	10.3	10.4	9.8	14.6	12.1	17.2
Fréquence (Hz)	400	500	630	800	1000	1250		
Minimum	68.6	75.4	78.8	74.5	73.0	78.1		
Maximum	81.4	82.2	86.2	81.2	78.7	82.6		
Etendue	12.8	6.8	7.4	6.7	5.7	4.5		
Fréquence (Hz)	1600	2000	2500	3150	4000	5000	6300	8000
Minimum	74.1	69.0	70.1	67.4	63.7	65.0	63.7	61.0
Maximum	82.8	74.6	74.5	71.1	67.1	69.1	66.7	64.3
Etendue	8.7	5.6	4.4	3.7	3.4	4.1	3.0	3.3

ETUDE DE LA DIRECTIVITE VERTICALE

- **Mise en œuvre expérimentale**

- **Protocole de mesure**

1 microphone à 1.30 m du rail extérieur

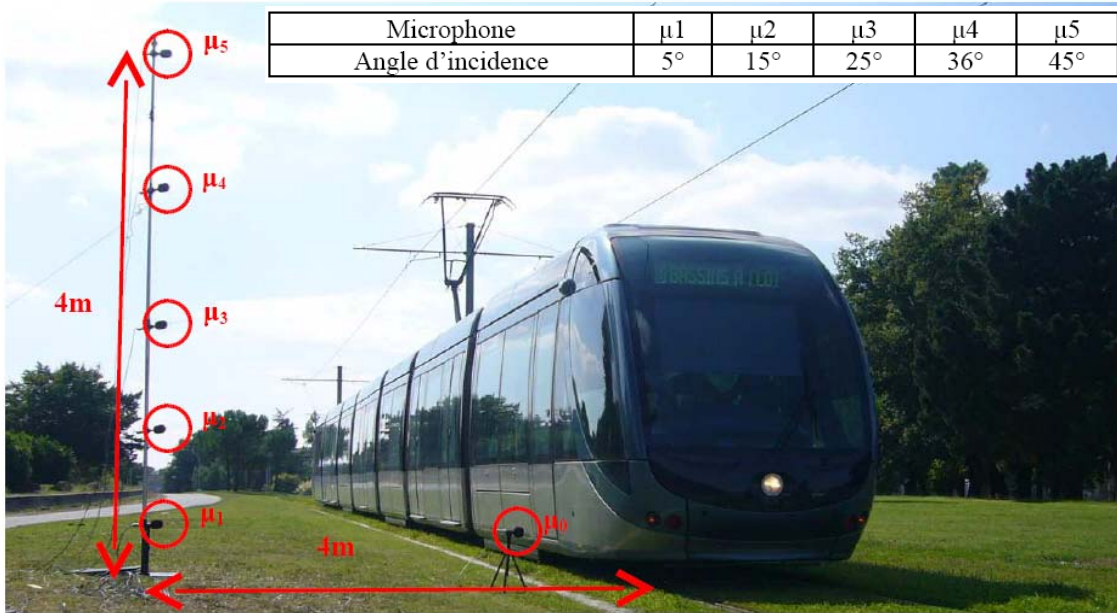
1 mât vertical à 4 m portant 5 microphones

Enregistrement audio des 6 signaux temporels (01dB TEAC GX-1 du RLPC)

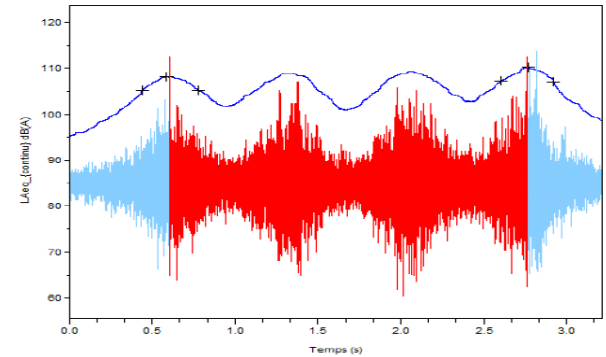
- **Dépouillement**

Conversion au format *.wav par 01dB-dBFa32 et traitement sous Scilab

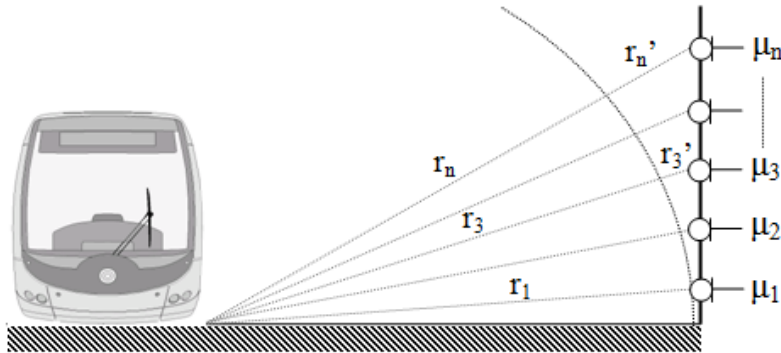
Détermination de l'instant de passage des 1er et 4ème bogies au droit du mât portant les microphones



Microphone	$\mu 1$	$\mu 2$	$\mu 3$	$\mu 4$	$\mu 5$
Angle d'incidence	5°	15°	25°	36°	45°



Etude de la directivité verticale : dispositif expérimental



• Dépouillement (suite)

Pour chaque angle d'incidence :

Valeurs ramenées sur l'arc théorique

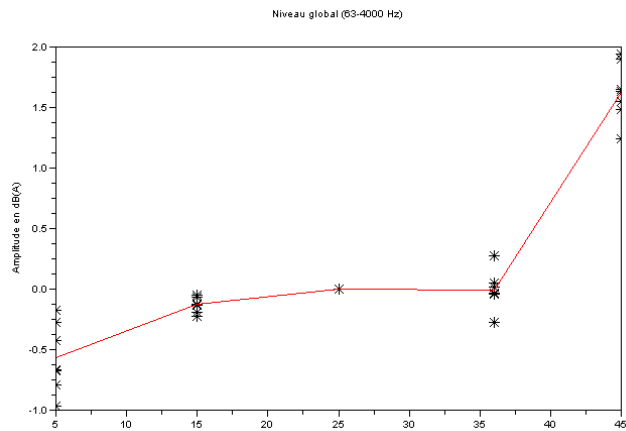
Valeurs ramenées en champ libre

Schéma correspondant

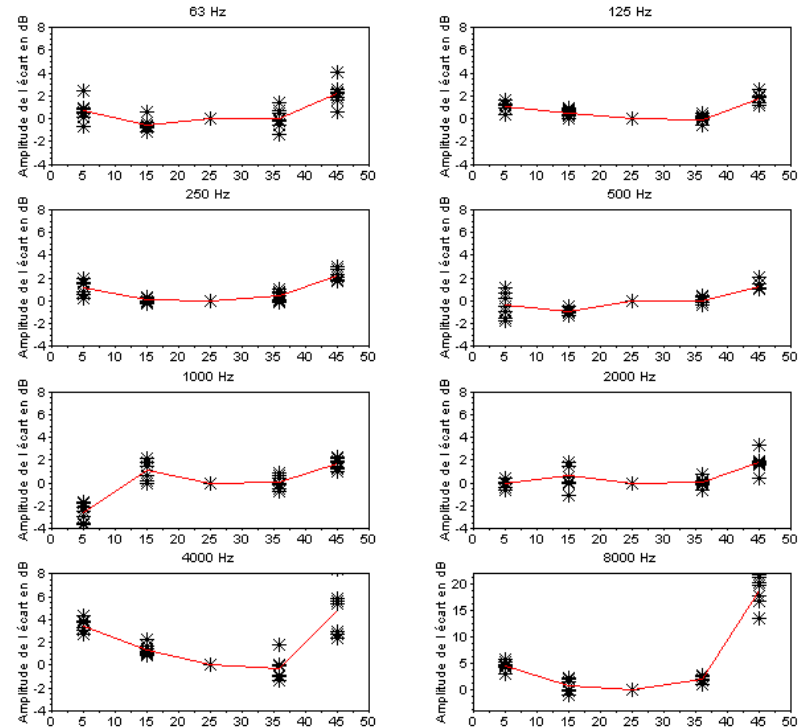
● Résultats

● Ecart par bandes d'octave et tiers d'octave, et en niveau global

$$e = Leq(\mu_i) - Leq(\mu_{réf})$$



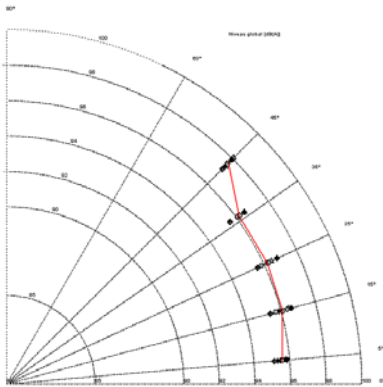
Ecart e = f(incidence) en dB(A)



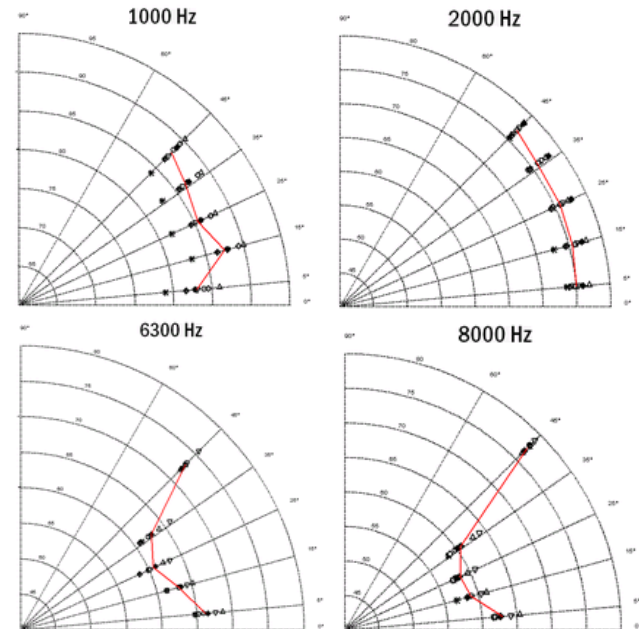
Ecart e = f(incidence) par bandes d'octave

• Résultats

• Représentations polaires



$$LA_{eq} (t4-t1) = r(\text{incidence})$$



$$Leq (t4-t1) = r(\text{incidence})$$

• Observations

Source \approx omnidirectionnelle dans [63-4000]

Pour $f > 4000$ Hz, contribution du frottement du
pantographe sur caténaïres ?

Enjeu réel ?

Merci de votre attention