

# Développement d'un Portancemètre ferroviaire

M. Froumentin, M. Hosseingholian

Centre Études Techniques de Équipement Normandie-Centre

Centre d'Expérimentation Routière



Centre Études et de Construction de Prototypes



Direction de l'ingénierie

Direction de la recherche

Resources, territoires et habitats  
Énergie et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

Présent  
pour  
l'avenir



Ministère de l'Écologie, de l'Énergie,  
du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire

# Contexte

## **RENOVER ET MODERNISER LES VOIES**

### **Extraits de quelques uns des 33 engagements du contrat de performance État - RFF (2008-2012)**

- 3940 km de renouvellement de voies, soit 800 km/an (engagement n°7) ce qui correspond à un doublement du linéaire habituel,**
- réduction de 15% en euros constants du coût moyen du km de renouvellement de voies sur lignes classiques (engagement n°9),**
- mise en place d'un indicateur synthétique de la qualité des sillons fret en 2010 (engagement n°4),**
- proposer des services de haut niveau sur le réseau dit "orienté fret" tant en matière d'exploitation que de niveau de l'infrastructure (engagement n°5),**
- la visibilité pluriannuelle de la programmation financière des travaux de renouvellement constitue une condition nécessaire de la réussite du plan de rénovation (engagement n°10),**

# Pourquoi développer un Portancemètre ferroviaire ?

optimisation de la maintenance des voies ferrées en s'appuyant sur un schéma itinéraire (cotation globale intégrant la qualité géométrique et structurelle des voies)  
(étude lancée par la Direction de ingénierie de la SNCF en 2005)

- localiser les points faibles,
- quantifier la portance de la voie,
- aider à la programmation et à la décision (sections prioritaires),
- connaître l'état structurel de la voie (augmentation de la charge).

# Caractéristiques recherchées

- mesure en continu à partir du rail,
- essai non destructif,
- représentatif du comportement de la voie sous trafic,
- vitesse d'avancement adaptée au temps imparti à l'entretien,
- accès rapide au point d'essai,
- coût peu élevé (appareillage et utilisation),
- information fournie en temps réel.

# Connaissances antérieures

## le Portancemètre routier mlpc

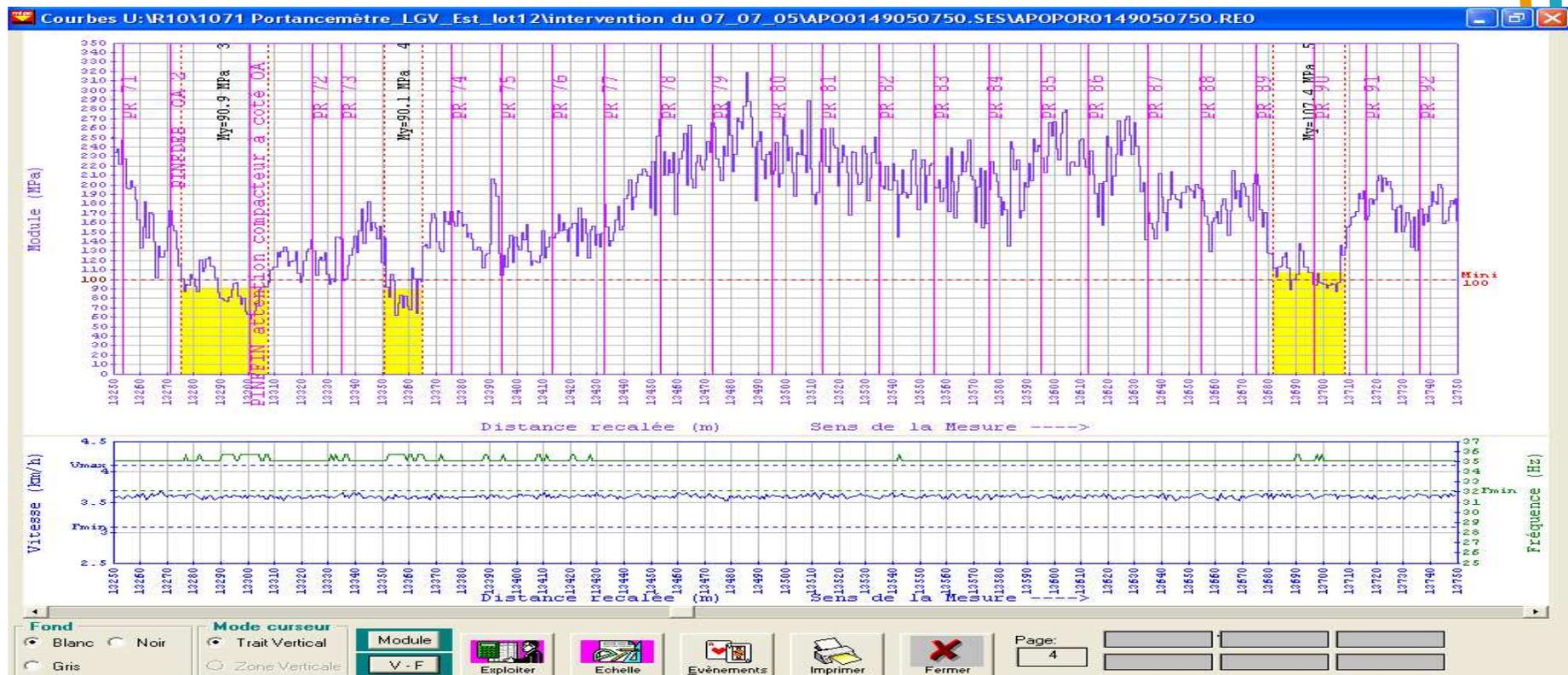


Outil développé pour le contrôle des plates formes routières et ferroviaires, utilisé en épreuve de réception ou d'information

gamme de mesure: 30 à 300 MPa

vitesse: 3.6 km/h

profondeur d'investigation: # 0.50 m



# Développement en deux étapes

*Etude de faisabilité pour la Direction de l'ingénierie SNCF*

*Thèse M. Hosseingholian (2004-2006) université de Caen*

*"Contribution à l'étude d'une méthode d'auscultation dynamique de la structure des voies ferrées classiques"*

→ *Etude bibliographique*

---

→ *Dimensionnement d'un Portancemètre ferroviaire*  
**Projet européen INNOTRACK (2006-2009)**

*Développement d'un démonstrateur de Portancemètre ferroviaire*

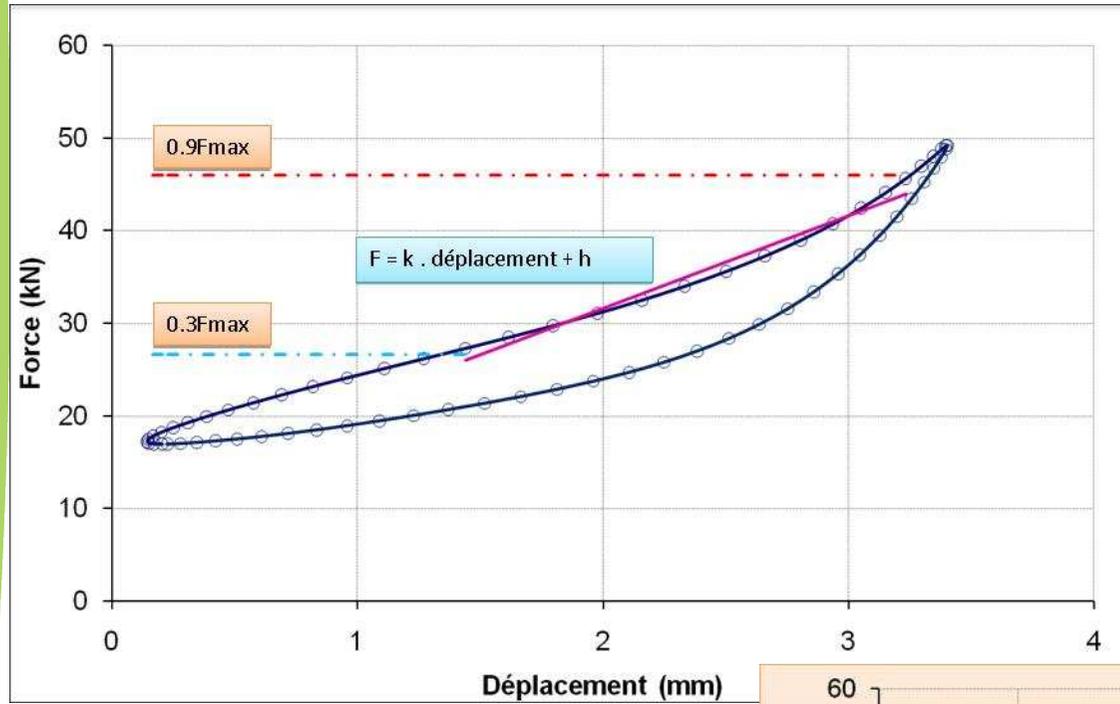
→ *Conception, construction, mise au point et essais en voie*

# Etude de faisabilité



*structure expérimentale reconstituée en vraie grandeur et sollicitée dynamiquement par un vérin hydrodynamique (charge de 10 à 75 kN et fréquence de 5 à 35 Hz)*

# Etude de faisabilité



Calcul de la raideur

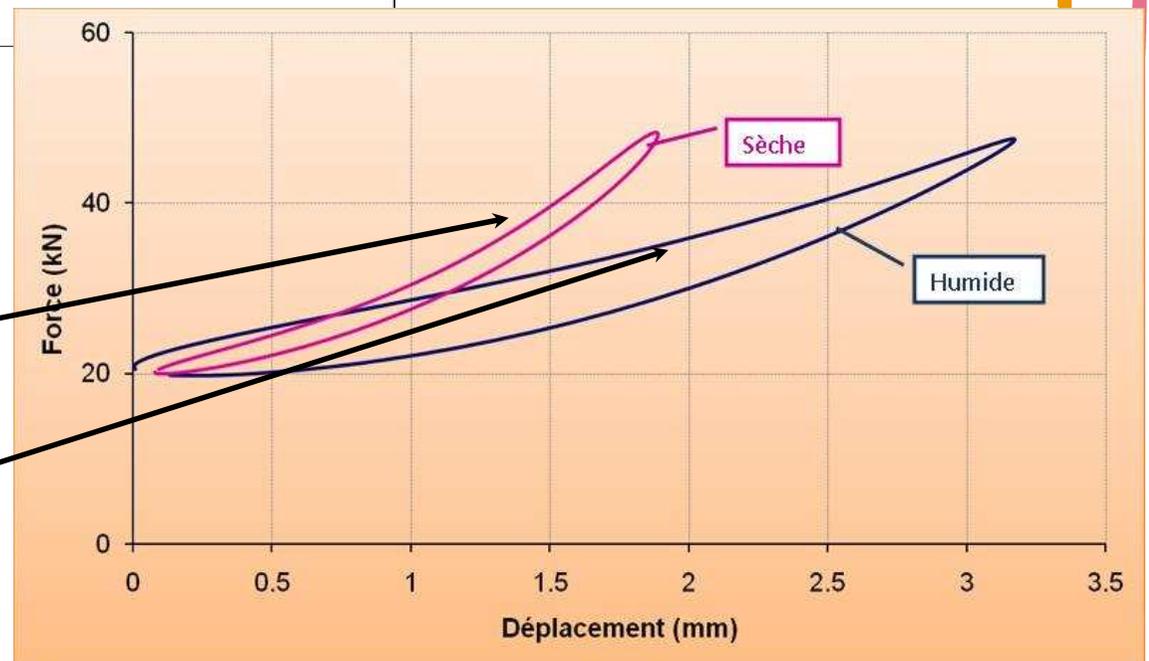
Sensibilité à une variation de module du support

Module support: 84 MPa

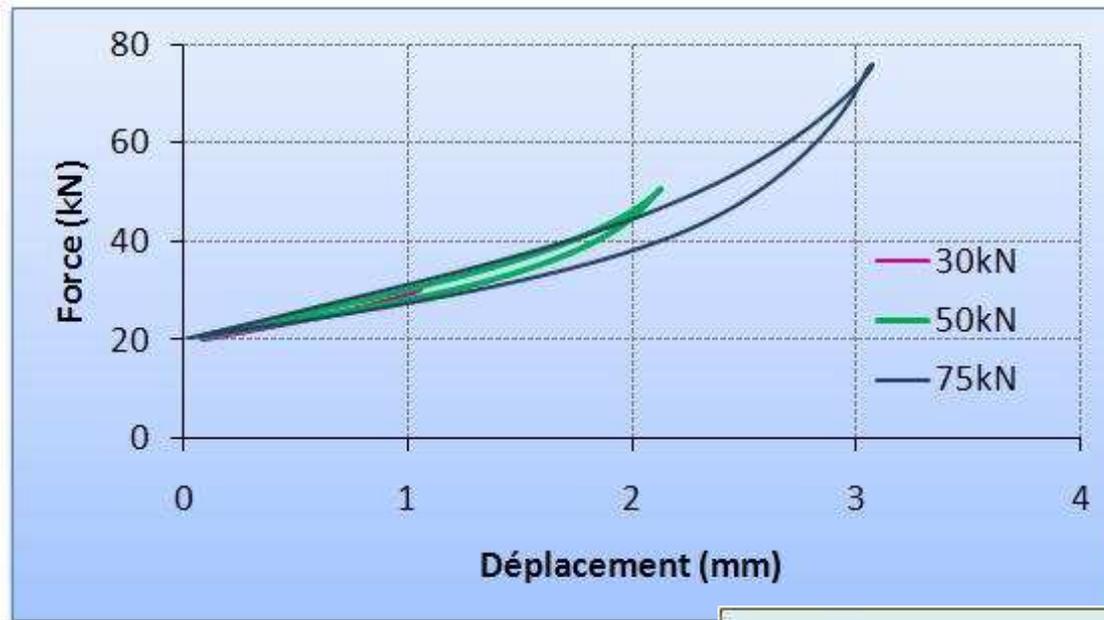
Rigidité: 21 kN/mm

Module support: 59 MPa

Rigidité: 15 kN/mm

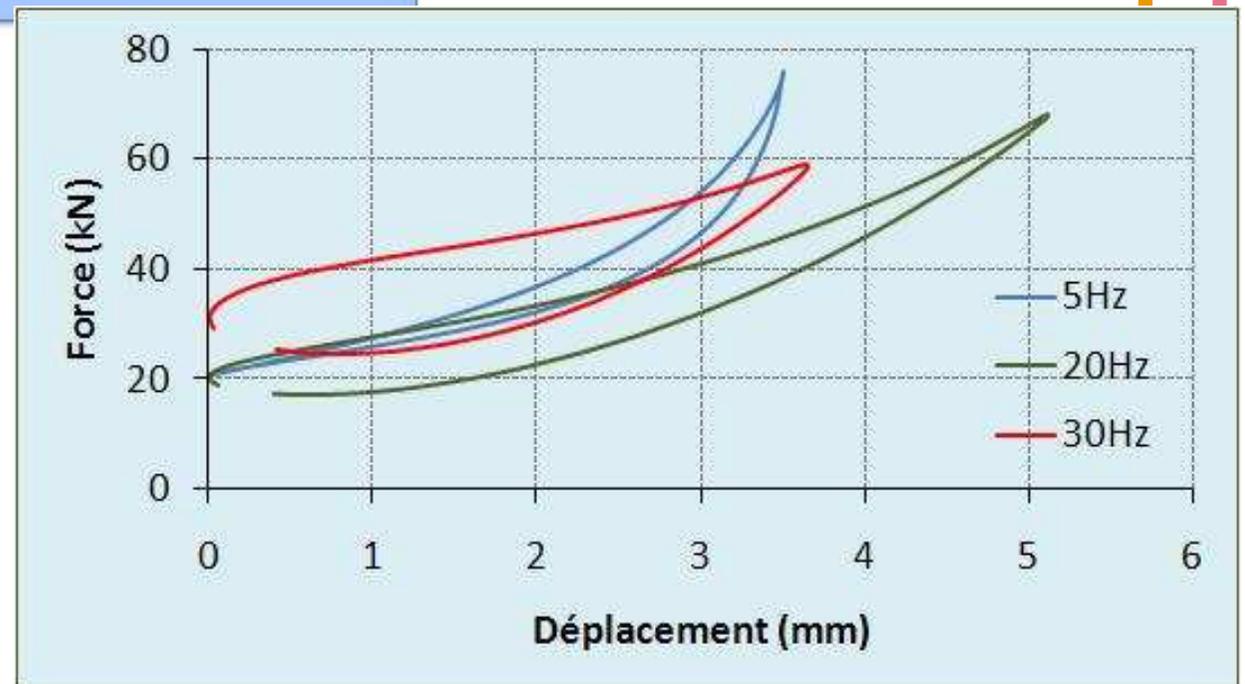


# Etude de faisabilité



*Influence du niveau d'effort  
(non linéarités)*

*Influence de la fréquence  
(zones d'instabilités et de  
consommation d'énergie)*



# Etude de faisabilité

*Effort statique sur le rail: 50 kN mini*

*Effort dynamique:  $\pm 30$  kN*

*Effort maximal: 90 kN  
(essieu en service)*

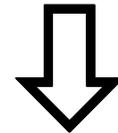
*Fréquence de sollicitation: 5 à 20 Hz ou  $> 30$  Hz*

*Amplitude: de 1.5 à 2  
mm (5-20 Hz)*

Source vibratoire

Roulement

Niveau de rigidité de la voie



Validation nécessaire pour  
confirmer les paramètres  
fonctionnels du démonstrateur

*Le concept de base du démonstrateur ferroviaire  
développé dans le projet Innotrack est un essieu vibrant  
(reprise à une autre échelle du Portancemètre mlpc)*

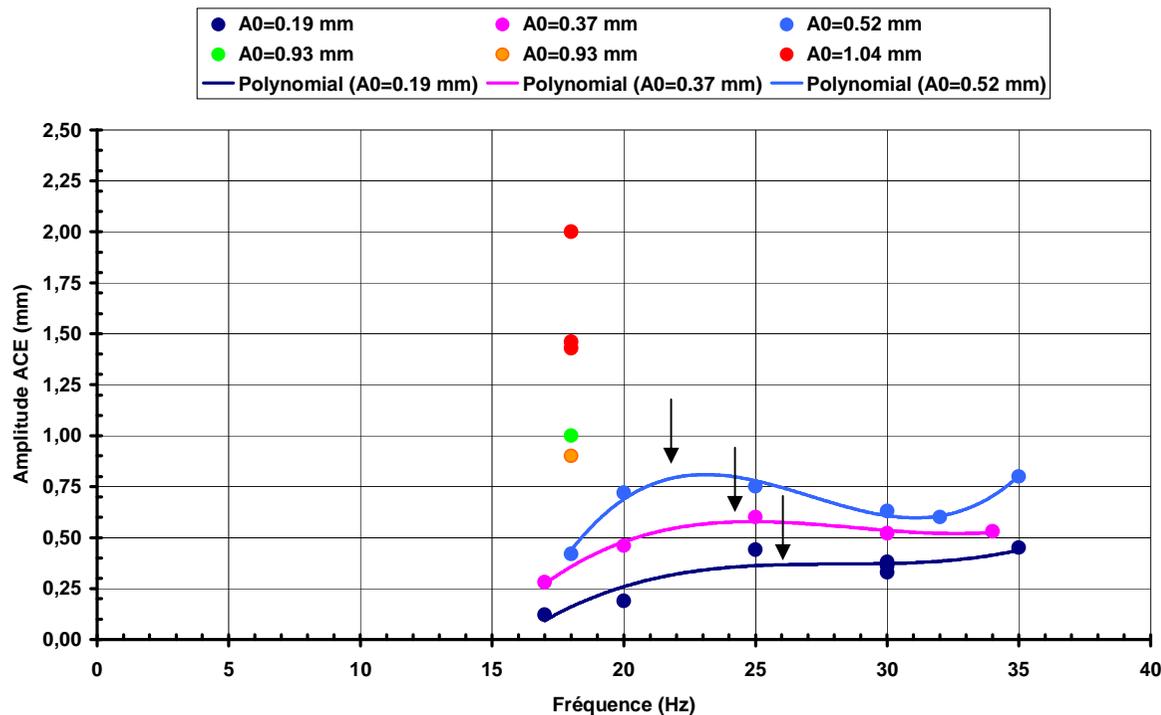
# Validation en site réel

## Compacteur type ACE ( Ammann)

- masse totale M1 = 7100kg
- amplitude à vide A0: 0 à 1.85mm
- fréquence de 16Hz à 35Hz
- calcul de la force et de la raideur

## Voie de garage

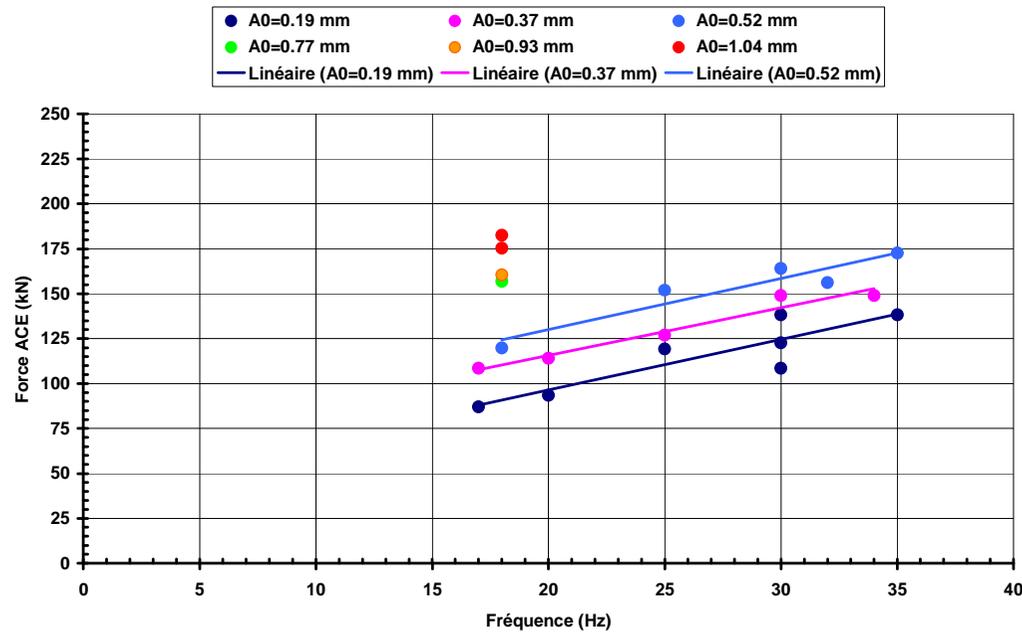
rails U36 - traverses béton monobloc  
ballast peu épais



Amplitudes explorées < 0.5 mm

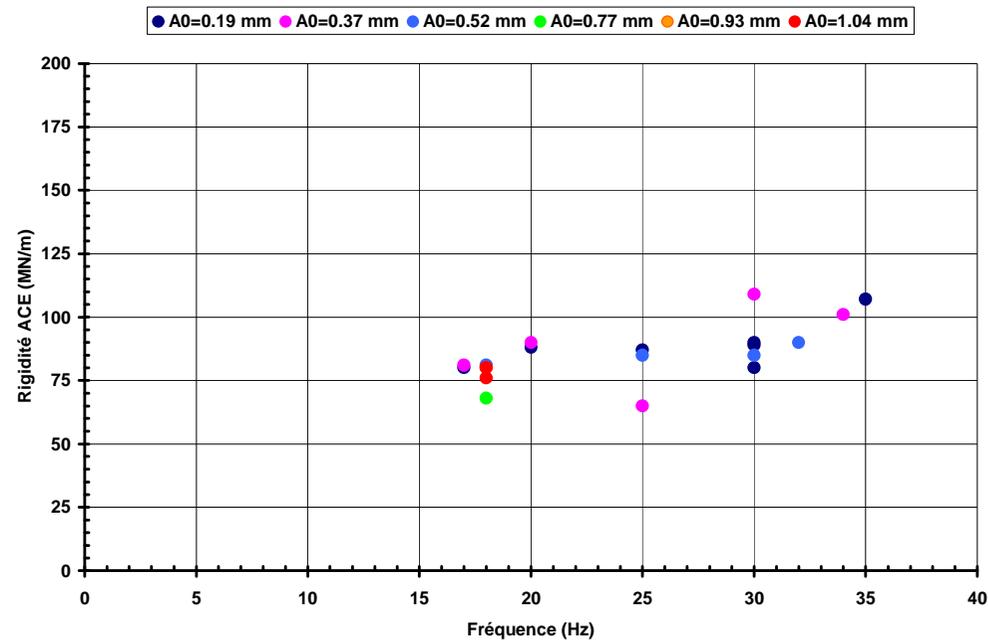
Désaccouplage pour amplitudes > 0.5 mm

# Validation en site réel



A0 (mm)	f = 18 Hz		f = 30 Hz	
	FTA (kN)	FTA / M1g	FTA (kN)	FTA / M1g
0,19	85 <sup>(1)</sup>	1,2	125	1,75
0,37	110 <sup>(1)</sup>	1,55	140	2,0
0,52	125 <sup>(1)</sup>	1,75	160	2,25 <sup>(2)</sup>
0,77	160	2,25 <sup>(2)</sup>	non réalisé	
0,93	165	2,3 <sup>(2)</sup>	-	
1,04	180	2,5 <sup>(2)</sup>	-	

<sup>(1)</sup> avant la résonance  
<sup>(2)</sup> désaccouplage



# Paramètres fonctionnels du démonstrateur

Charge statique:	11 000 daN (5 500 daN par roue)
Charge dynamique:	$\pm 1\,500$ daN à $\pm 4\,500$ daN (par roue)
Force totale appliquée:	20 000 daN (essieu)
Fréquence:	de 5 à 35 Hz
Vitesse:	< 30 km/h
Localisation par PK, détection des traverses	

## Paramètres complémentaires

- Utilisation sur lignes interceptées (homologation...),
- Transfert par route,
- Sollicitation des deux files de rails simultanément,
- Démonstrateur à durée de vie limitée.

# Conception du démonstrateur

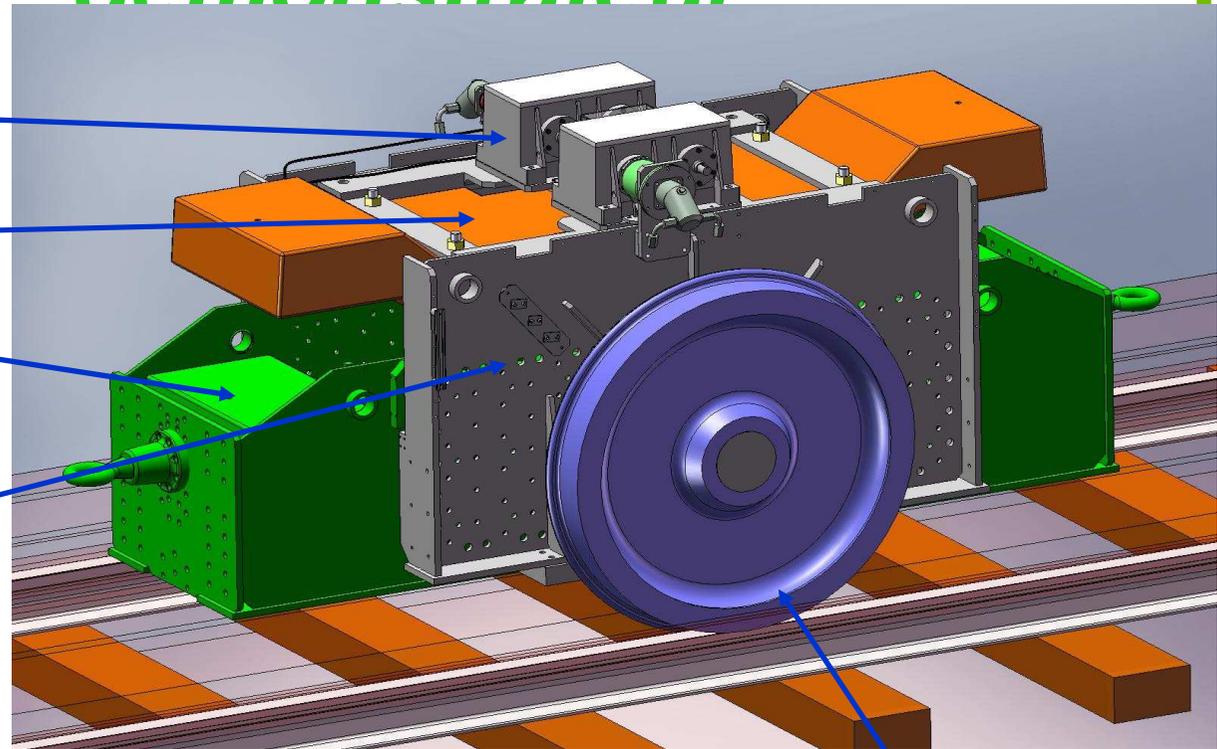
Vibrateurs

(vibration dirigée)

masse vibrante

masse suspendue

liaison visco-élastique  
(silent blocs)



essieu vibrant (Y25C)

## Caractéristiques

masse vibrante : 3360 ou 5760 kg

masse suspendue: 3600 ou 6000 kg

masse totale: 6960 ou 11760 kg

amplitude à vide: 0.48 mm par vibrateur (réglable)

fréquence: 5 à 35 Hz

*aux valeurs maximales de masses et d'amplitude*

force d'excitation:  $\pm 7000$  daN (2 vibrateurs)

charge à l'essieu: de 45 à 185 kN

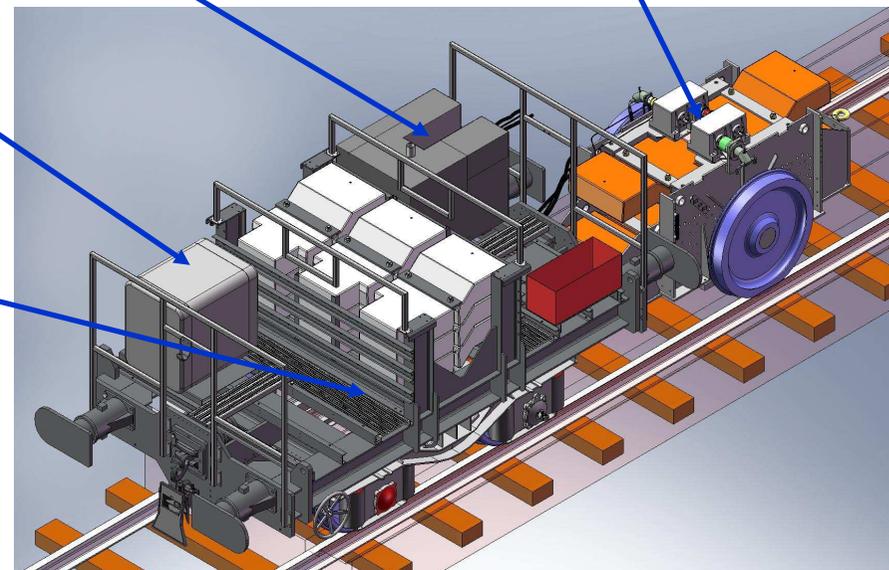
# Conception du démonstrateur

électronique embarquée

groupe de puissance hydraulique

Portancemètre ferroviaire

boggie de servitude

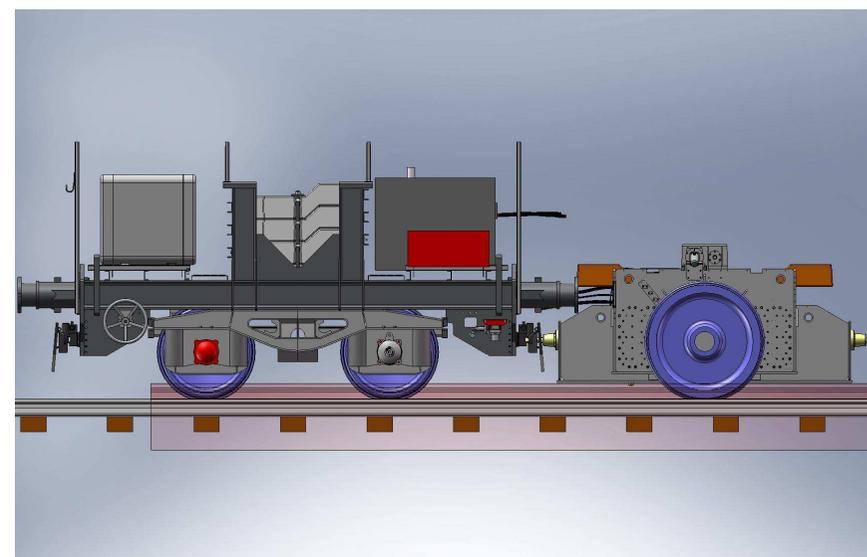
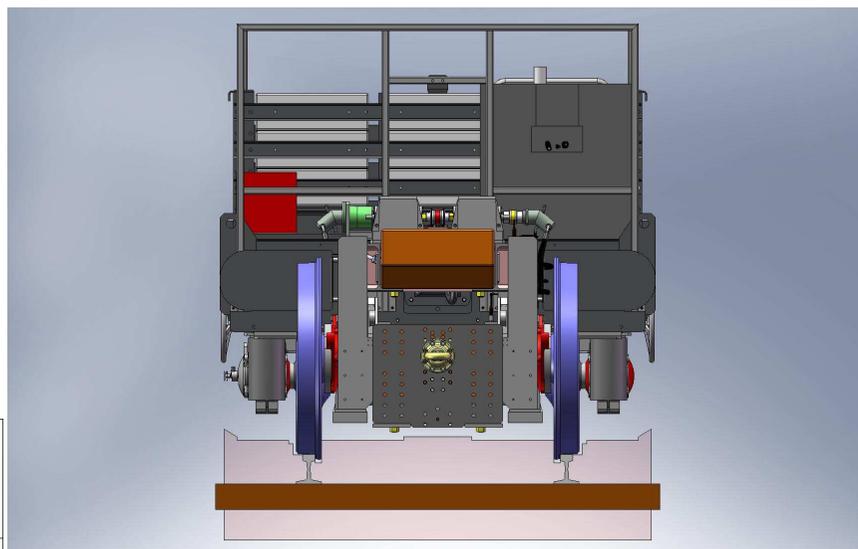


## Caractéristiques

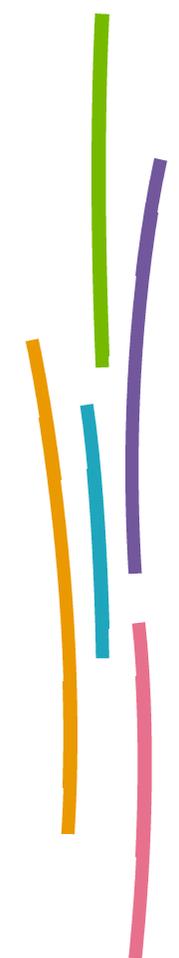
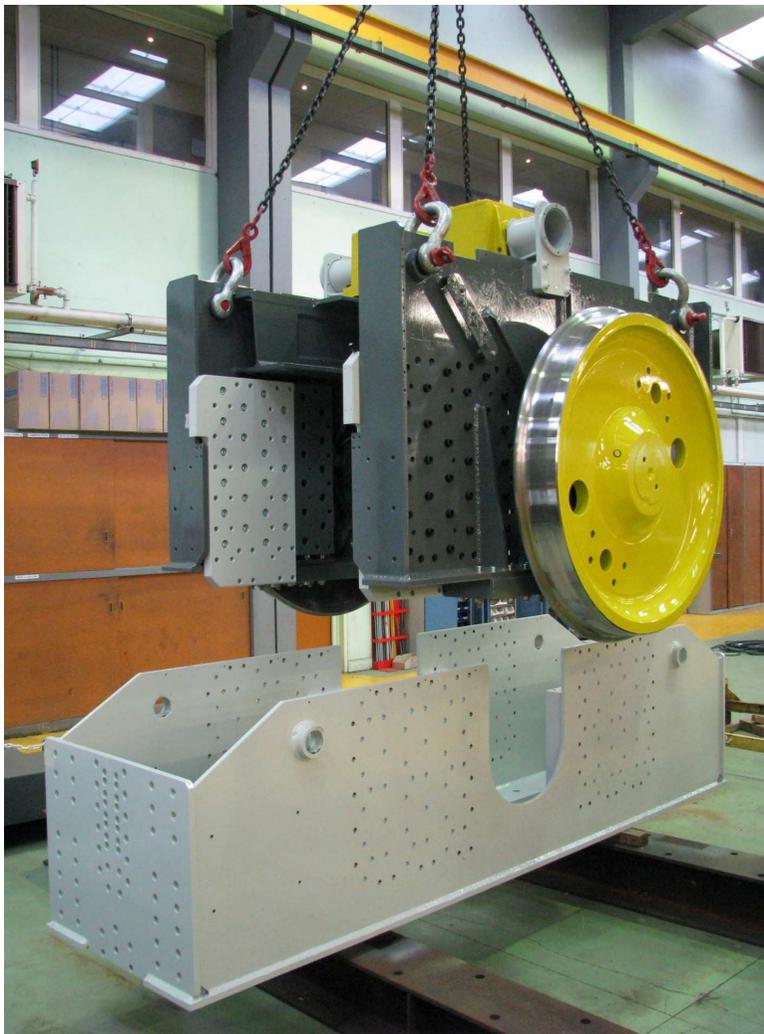
masse à vide : 10 000 kg

masse de lest: 10 000 kg maxi

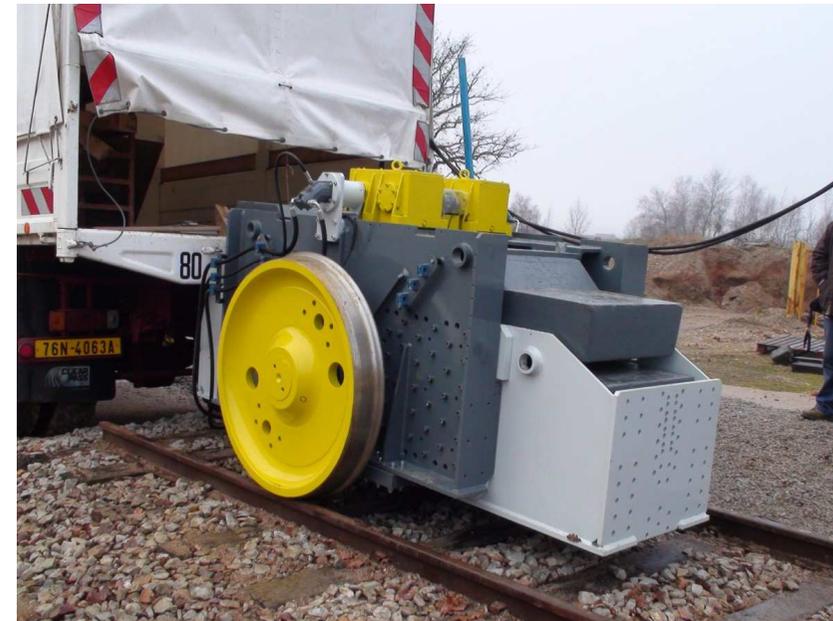
masse totale: 20 000 kg maxi



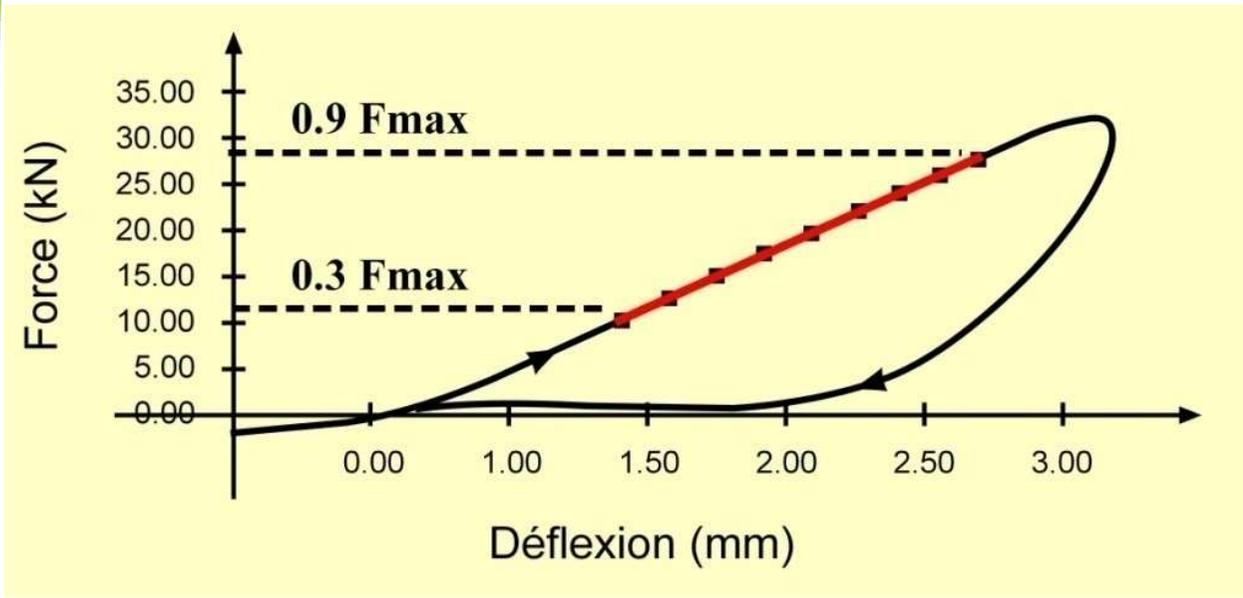
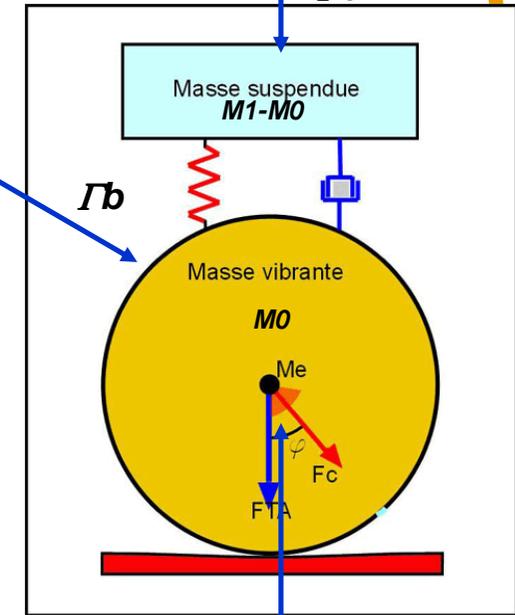
# assemblage du démonstrateur



# *mise en place du démonstrateur sur panneau de voie pour mise au point*



# Instrumentation, paramètres mesurés

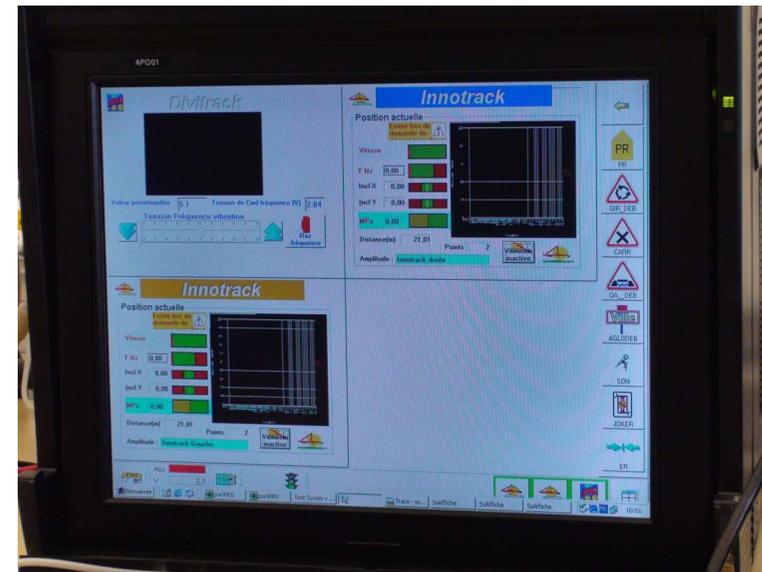
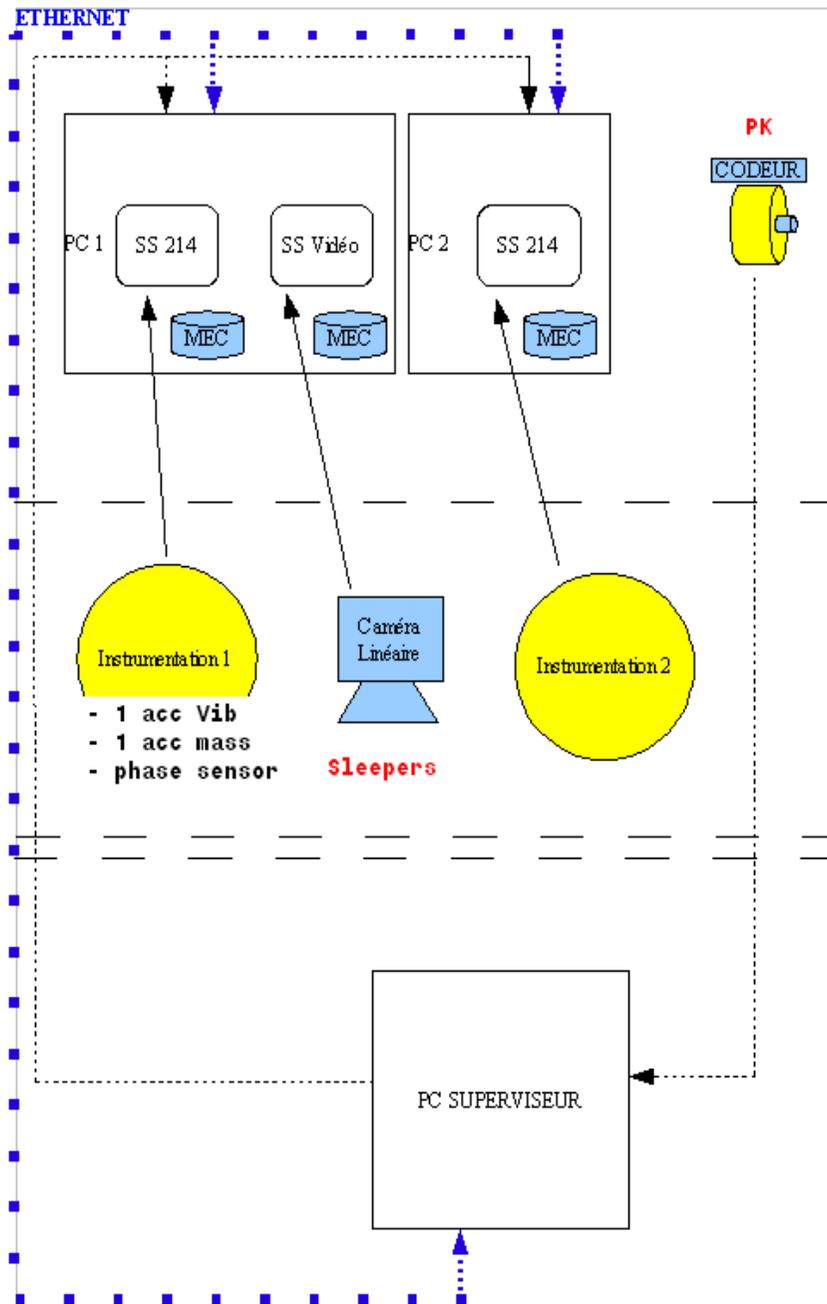


$$FTA = M_1 \cdot g + M_0 \cdot \Gamma_b + (M_1 - M_0) \cdot \Gamma_c + m \cdot e \cdot \omega^2 \cdot \cos \varphi$$

Déplacement obtenu par double intégration de l'accélération de la masse vibrante (DFT)



# électronique embarquée

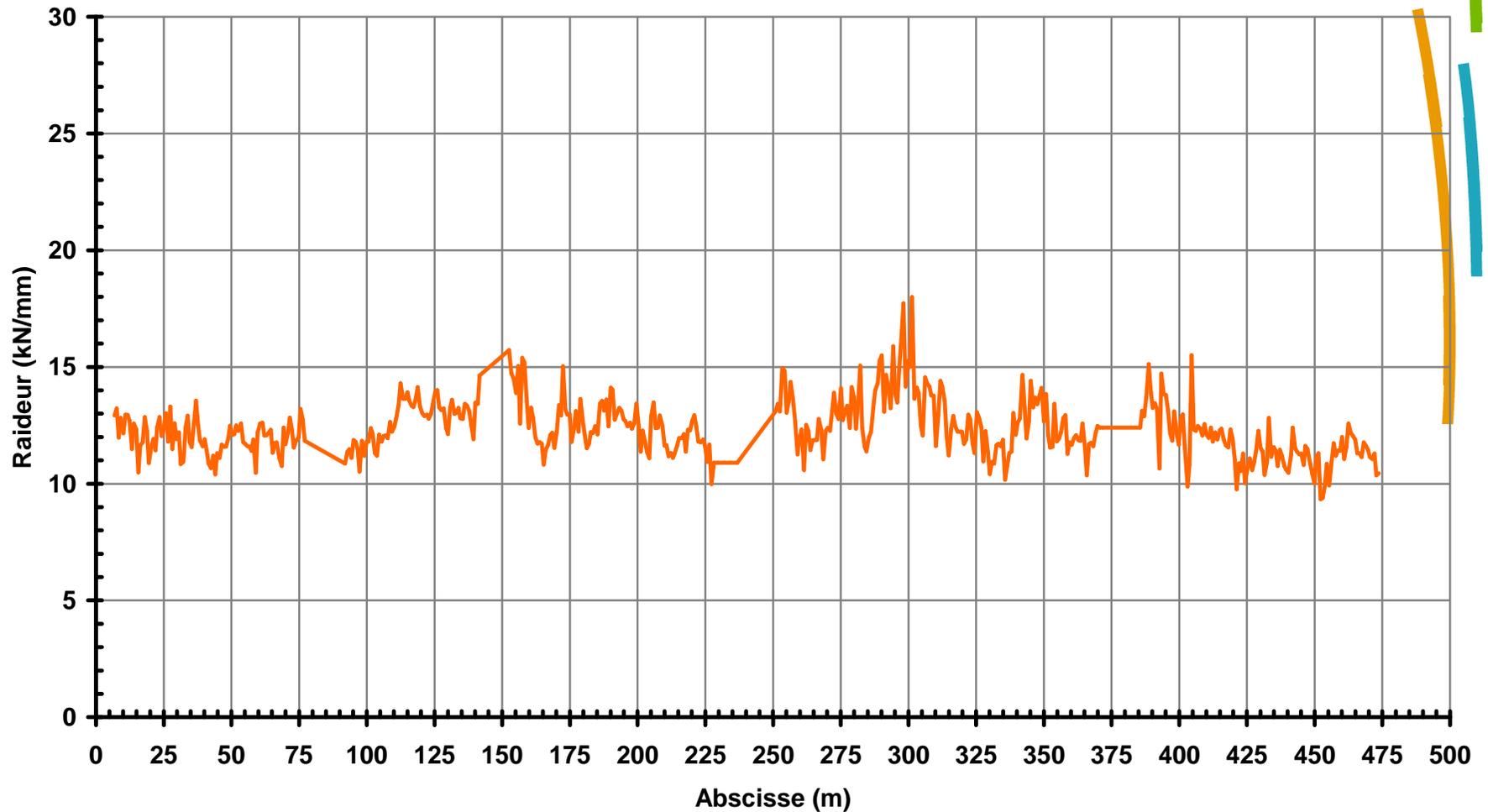


# essais sur voie ré "

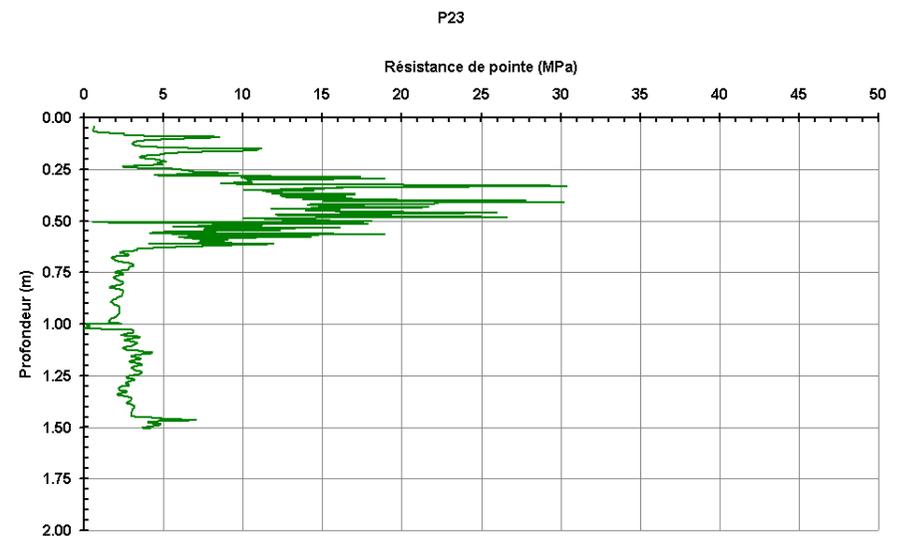
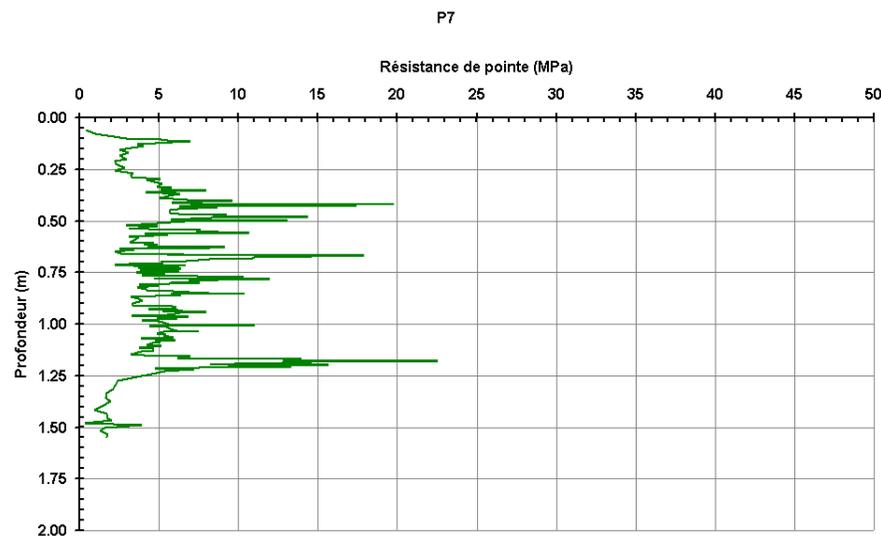
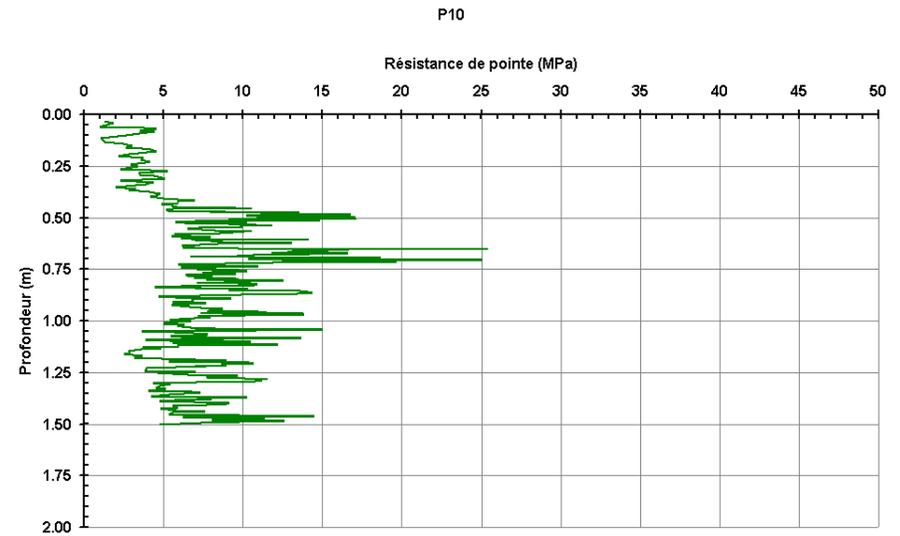
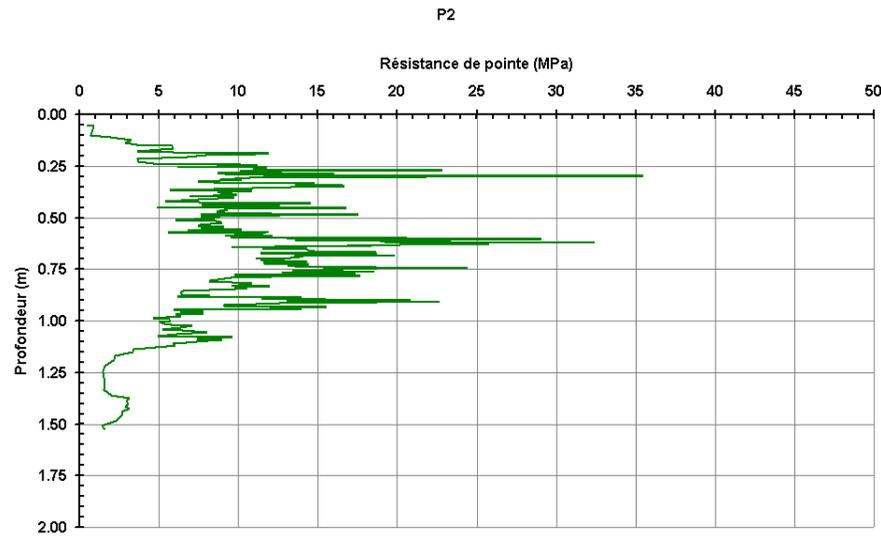


# Essais sur voie réelle – mesure au Portancemètre mlpc

Voie Port autonome (16/01(2009)



# Essais sur voie réelle (Panda)



24 profils réalisés sur 1.50 m de profondeur

# phase de mise au point (en cours)

## Mise au point à terminer sur panneau de voie:

- vibrations sur masse suspendue
- symétrie roues droite et gauche
- désaccouplage (contrôle au moyen d'un capteur d'effort sous roue vibrante)

## Influence des différents paramètres fonctionnels sur voie réelle:

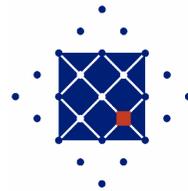
- masses (vibrante et suspendue)
- amplitude
- fréquence
- vitesse ( limitée à 6 km/h)

## Exploitation des mesures (calcul de la rigidité):

- boucles force/déplacement
- prise en compte de la non-linéarité
- modèle (k, c, m) ...

merci de votre attention

Le CETE  
Normandie  
Centre  
appartient  
au Réseau  
Scientifique  
et Technique  
du MEEDDAT



Recherches, territoires et habitats  
Énergie et climat  
Prévention des risques  
Développement durable  
Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**



Ministère de l'Écologie, de l'Énergie,  
du Développement Durable et de l'Aménagement du Territoire