

Sujet thèse : Caractériser l'état de serrage du ballast par la propagation d'ondes



Delphine JACQUELINE

Thèse : 2010-2014
CER Rouen

UNIVERSITÉ
— PARIS-EST



Pôle de recherche et d'enseignement supérieur

Ministère de l'Écologie,
du Développement
durable et de l'Énergie



Centre
d'Expérimentation
et de Recherche

JTAV à bordeaux

Date : 05/06/2014

Directeurs thèse :

Jean-Pierre MAGNAN (IFSTTAR Paris)

Jean-François SEMBLAT (IFSTTAR Paris)

Conseiller technique :

Cyril FAUCHARD (LR Rouen)

Sommaire

- Contexte
- Objectifs de la thèse
- Expérimentations
- Travail à finaliser
- Publications
- Quelques résultats
- Poursuites et planning envisagé



Contexte

- SNCF : Objectif de moyens → objectif de résultats :
 - Ouverture marchés → nécessité de vérifier de façon rapide l'état de serrage du ballast
 - Jusqu'à directive euro. 1990, le suivi des chantiers de renouvellement des voies par la SNCF → empiriquement 6 passages de bourreuse

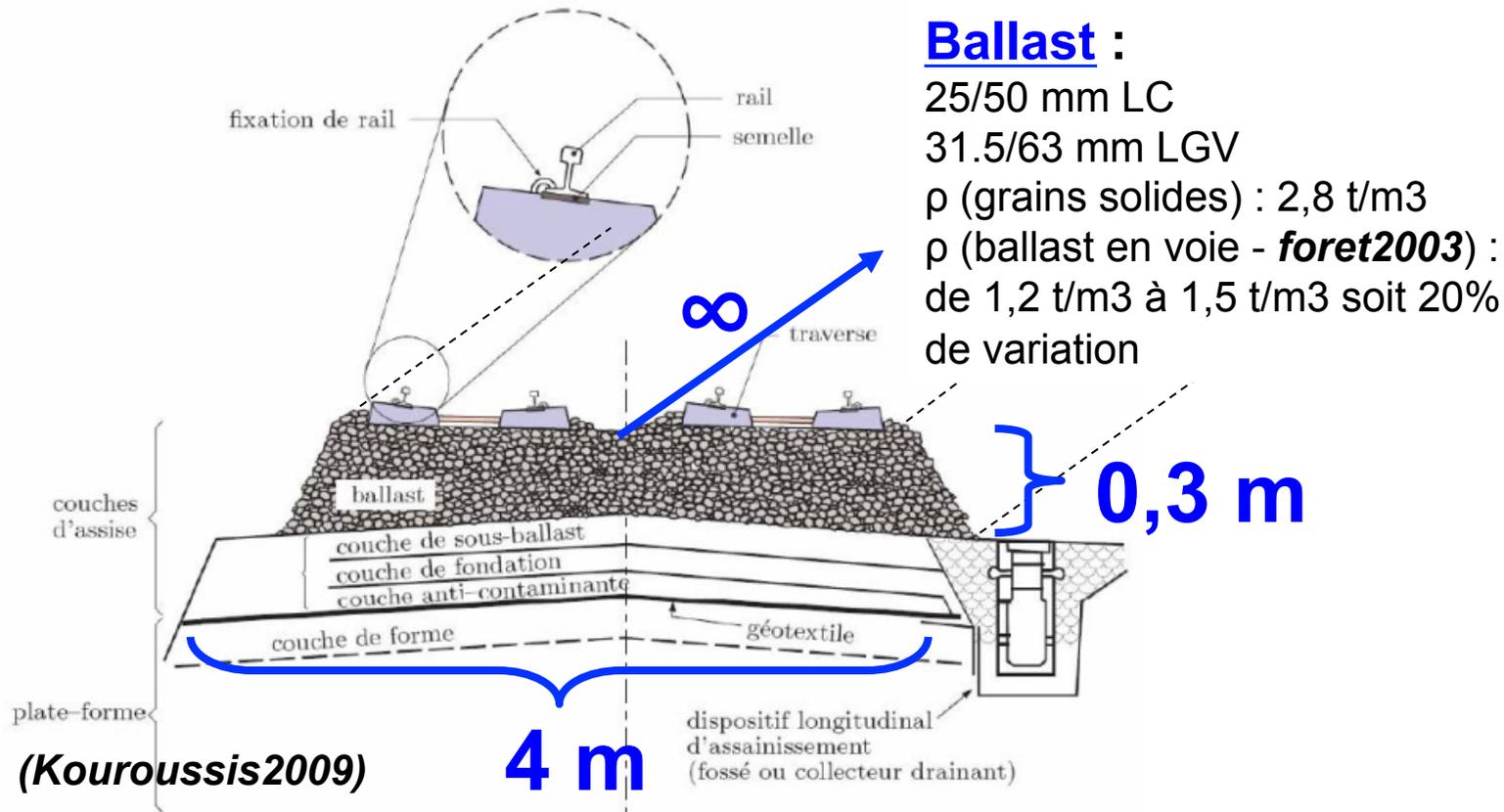


Bourrage :

- mise en place mécanique du ballast sous une voie par vibration
- réglage profil en long et en travers

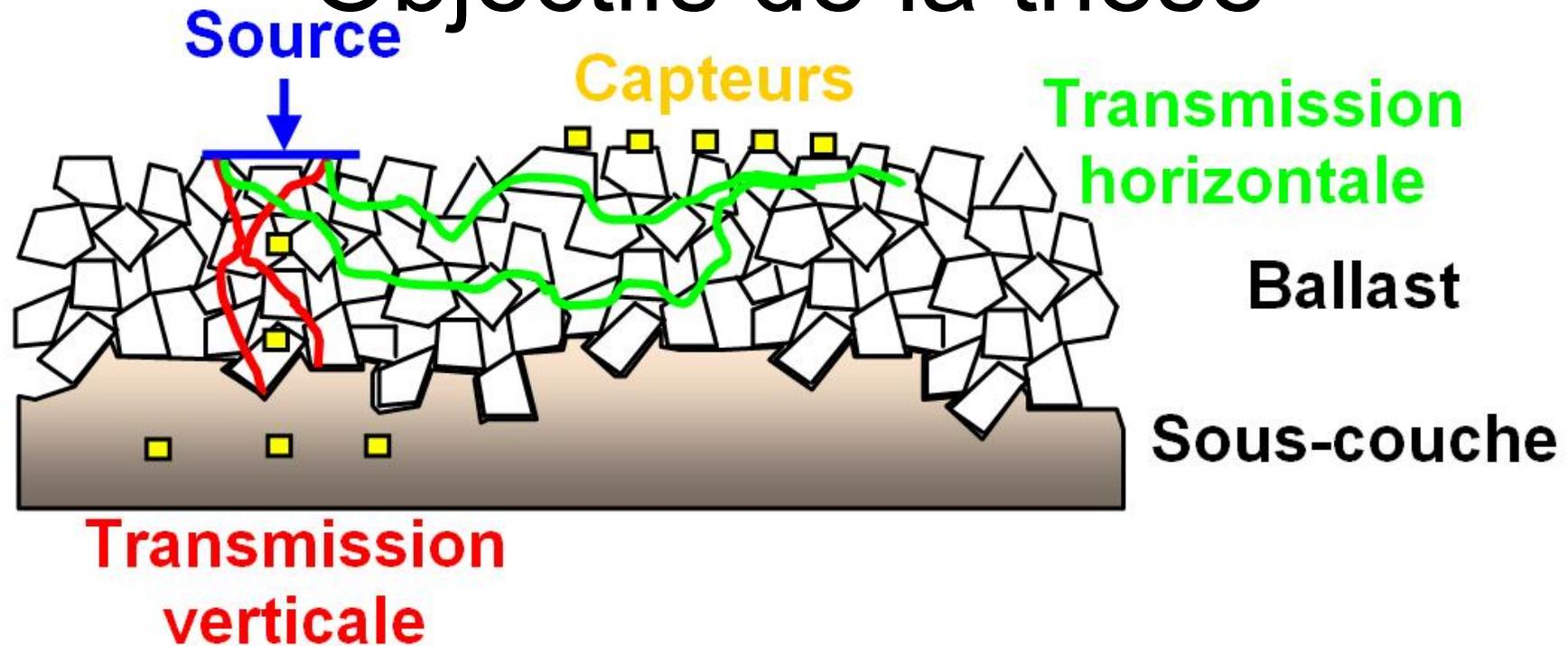
- Méthodes existantes ponctuelles et difficiles à mettre en place (test de densité, de charge et de poussée latérale sur traverse)
- Ne répondent pas à la problématique de doublement de la maintenance des voies des prochaines années → intérêt d'utiliser des méthodes non destructives (propagation vibratoire).

Objectifs de la thèse



- Etudier l'état de serrage du ballast neuf par la propagation d'ondes
- Indicateurs pour détecter des zones de faiblesse sur le réseau nouveau
- Mieux comprendre la propagation en instrumentant le ballast, la sous-couche ferroviaire et la superstructure (traverse)

Objectifs de la thèse

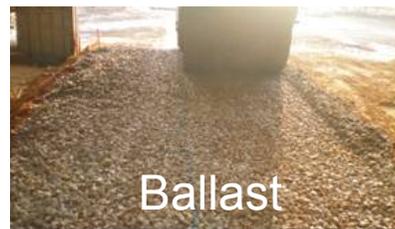
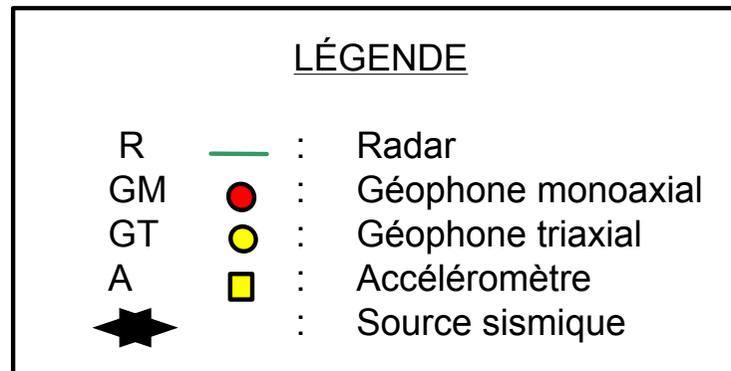
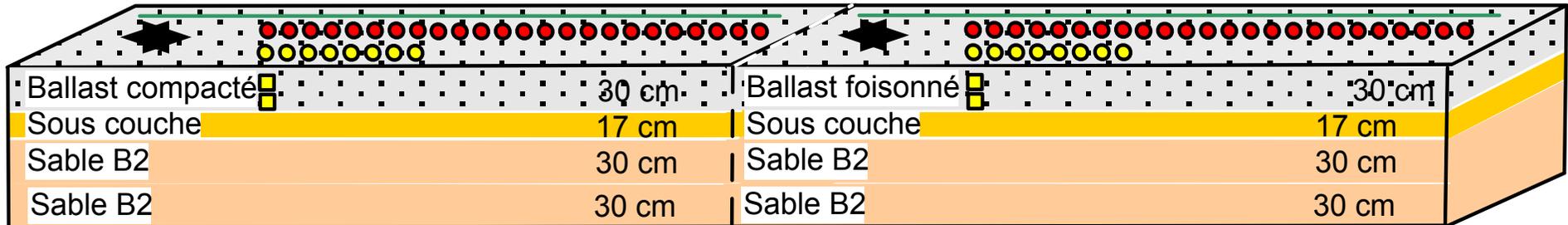


- ballast milieu discontinu
 - complexe → ondes ?, chaînon de force
 - Difficulté de modélisation (taille élevée des éléments - faible épaisseur)
 - milieu discret # mécanique élastique de milieu continu
 - Doit être traité par l' expérimentation
- objectifs expérimentations :
 - étudier la propagation horizontale et verticale en instrumentant le ballast,
 - étudier la propagation verticale en instrumentant la sous-couche,
 - appréhender une modélisation discrète à partir d' un dispositif simplifié.

Planche 1

Mise au point sources, flûte capteurs, système de fixation

Premier résultats permettant d'appréhender le traitement des données vibratoires



Tassement
de 4 à 10 cm

Planche 1



Géophones posés scellés

L= 1.05m - 8 géophones triaxiaux

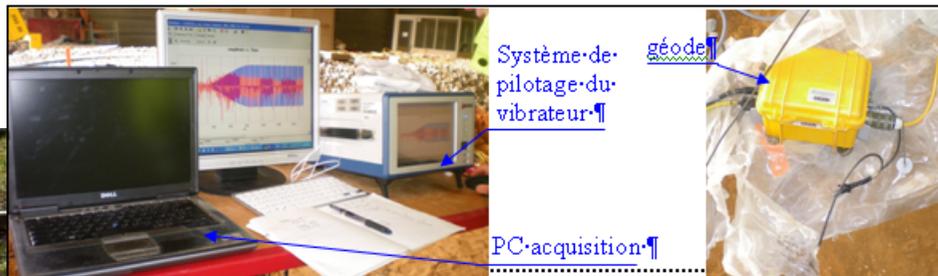
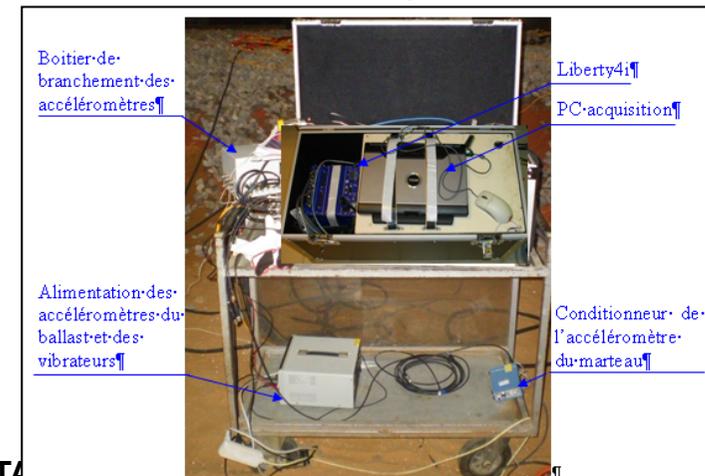
Espacement géophone 15 cm

Acquisition au liberty4i

L= 3.45m - 24 géophones monoaxiaux

Espacement géophone 15 cm

Acquisition avec géode



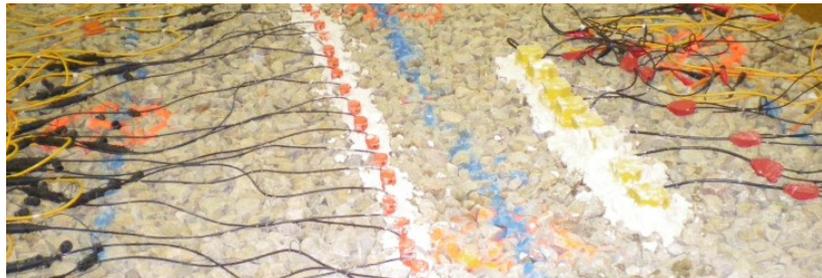
Conclusions instrumentation ballast :

Difficile d' instrumenter le ballast,

- Si géophone posé → réponse aléatoire fonction des contacts → ininterprétable



- Si géophone scellé → moyenne l' effet de la transmission du signal → pas réalité mais mieux



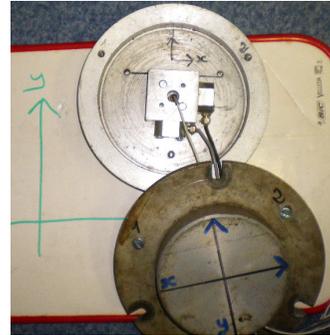
- Si accéléromètre fixé mécaniquement sur un élément → besoin de charger si en surface → comportement réel mais difficilement exploitable comme géophone posé → élément instrumenté inséré dans plot sable



Conclusions sources :

- Instrumenter les sources pour les quantifier et permettre une normalisation des résultats à la source

- Rendre répétable le marteau



- Utiliser une chute de masse beaucoup plus facile à quantifier pour la modélisation que le marteau

- Besoin de charger le vibreur pneumatique car rebondit

- Vibreur inertiel pas assez énergétique avec accéléromètre



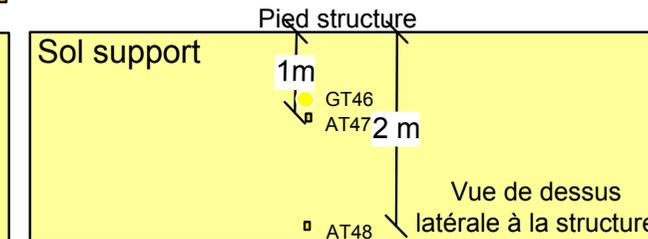
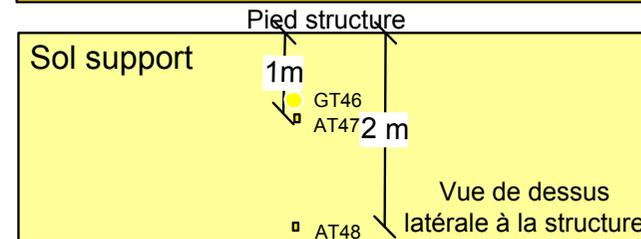
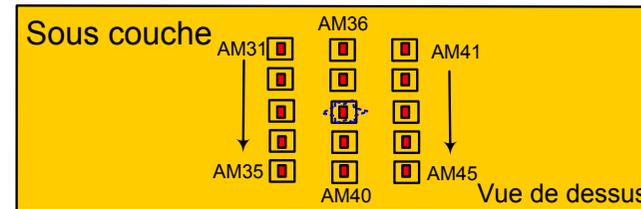
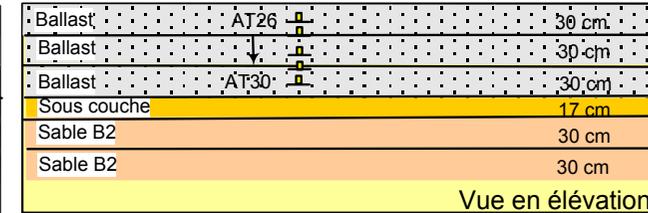
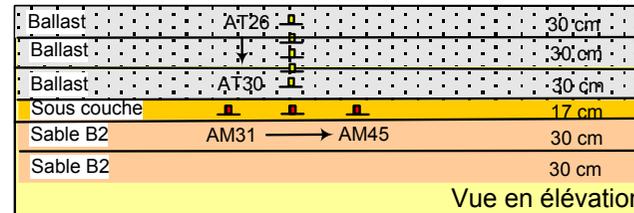
Planche 2

Propagation horizontale et verticale en instrumentant le ballast

Propagation verticale en instrumentant la sous-couche

Propagation latérale en instrumentant le sol support en dehors de l'emprise de la voie

Sources faiblement énergétiques sans panneau de voie



LÉGENDE

- R : — Radar
- AM : ■ Accéléromètre monoaxial fixé sur un élément de ballast
- AM : ■ Accéléromètre monoaxial fixé sur platine
- AT : □ Accéléromètre triaxial fixé sur platine
- AT : □ Accéléromètre triaxial fixé sur élément de ballast, source ou plot béton
- GM : ● Géophone monoaxial 4.5 Hz posé
- GT : ● Géophone triaxial 100 Hz posé
- GT : ● Géophone triaxial 2 Hz scellé sur ballast ou sur plot en béton
- ★ : Source sismique

Sources faiblement énergétiques sans panneau de voie

Marteau 1kg



$f_p=150\text{Hz} / F = 1\text{kN}$

Chute
masse



Sollicitation
horizontale



Vibrateur
Inertiel

Rampe 200-1000Hz / $F=0.66\text{kN}$

$f_{\text{par } 100\text{Hz}} = 100 \text{ à } 600\text{Hz} / F=0.66\text{kN}$



Vibrateur
pneumatique

$f=300\text{Hz} \text{ maxi} / F=7\text{kN}$

Planches 3

3 modalités :
 modalité 30 cm ballast foisonné,
 modalité 30cm ballast compacté,
 modalité 45 cm ballast compacté.

Sources faiblement énergétiques :
 chute de masse,
 vibreur inertiel (660N pas assez énergétique).

Source fortement énergétique :

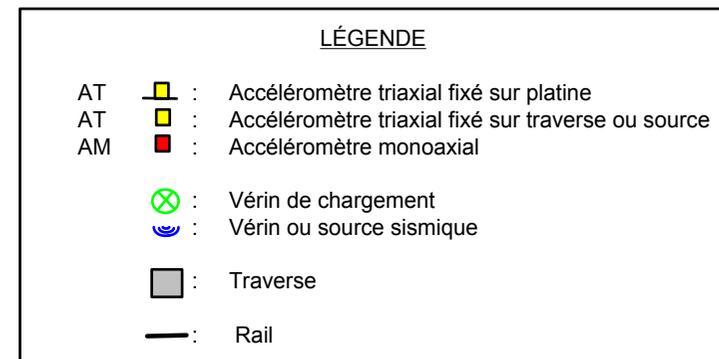
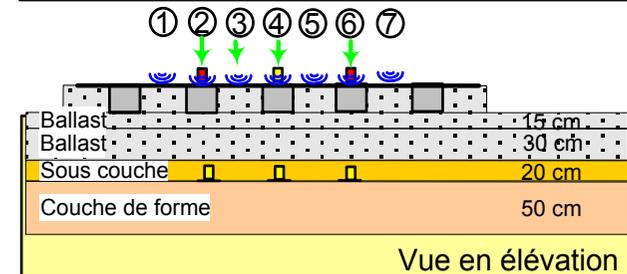
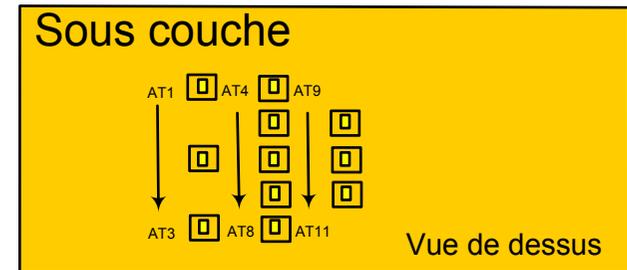
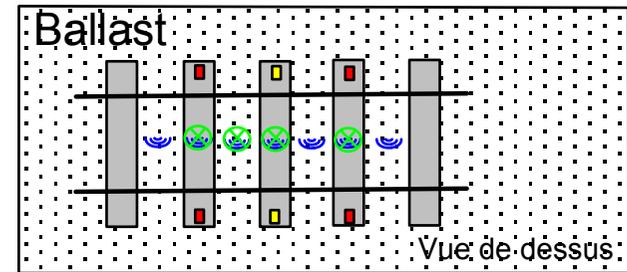
Faible dynamique
 (de 0 à 50Hz)

130+/-20 kN
 160+/-20 kN
 180+/-20 kN

Forte dynamique
 (de 0 à 70Hz)

100+/-50 kN

Faisabilité source faiblement énergétique pour
 l'auscultation des voies ferrées,
 Réponse de traverses en fonction de l'état de
 serrage du ballast et de son épaisseur.

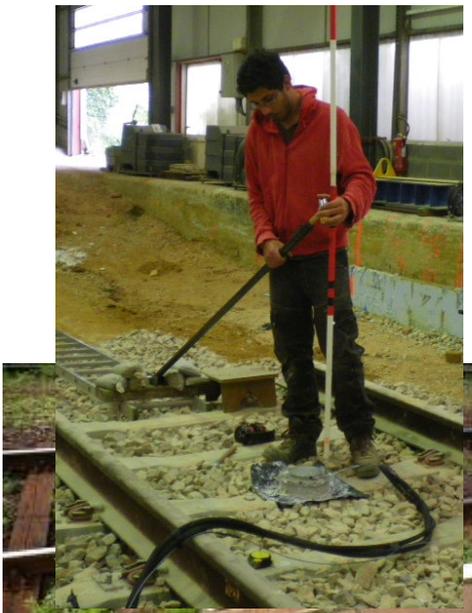


Source faiblement et faiblement énergétique avec panneau de voie

Chute masse



Marteau 1kg



Portique de chargement



Faible dynamique
(de 0 à 50Hz)

130+/-20 kN
160+/-20 kN
180+/-20 kN

Forte dynamique
(de 0 à 70Hz)

100+/-50 kN

Planches 4

- Mesurer la propagation verticale d'une vibration à travers une couche de ballast
- Alimentation d'un modèle numérique développé par l'Ifsttar (E. Dimnet)

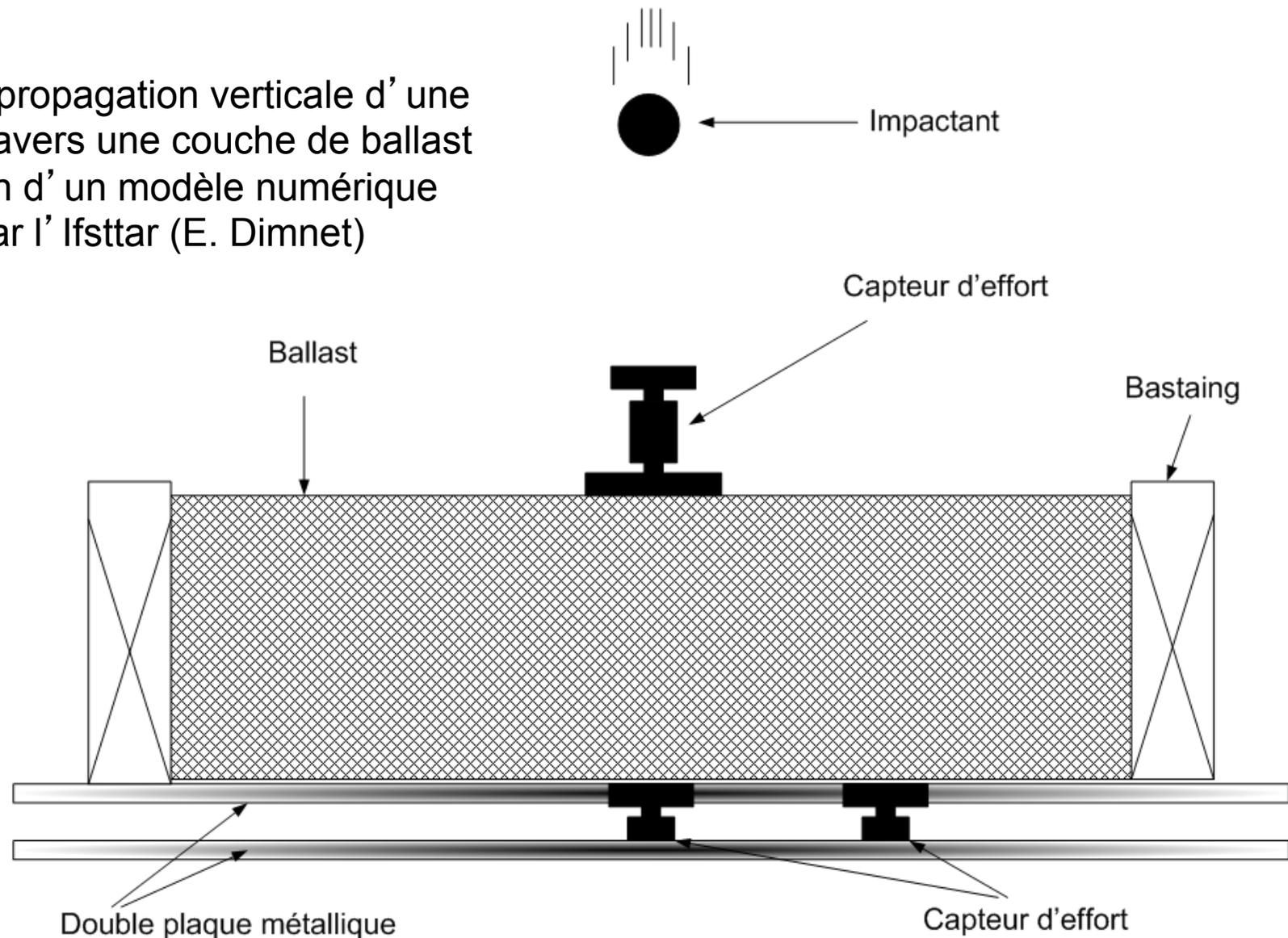
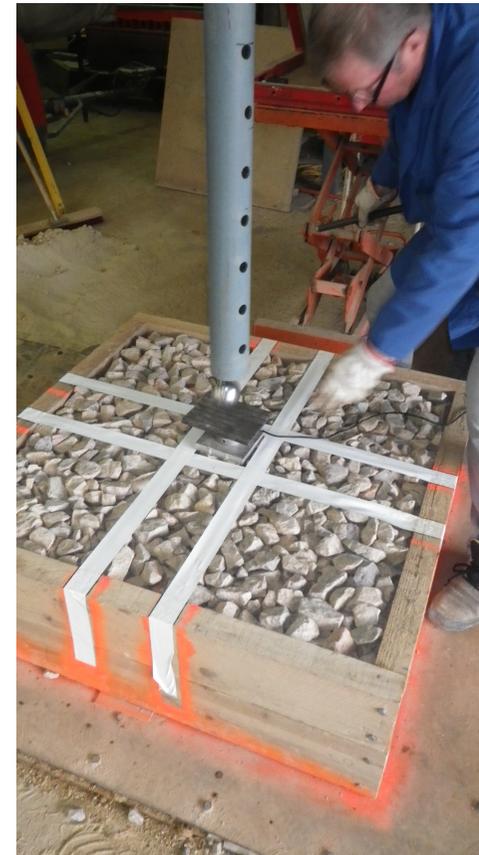


Figure 1 : Schéma de principe de la planche 4 pour déterminer la fonction de transfert au travers du ballast



Source faiblement énergétique sur modèle réduit

- Trois réarrangements de ballast compacté avec et sans couplage de la plaque d'appui pour deux épaisseurs de ballast (15 et 30 cm),
- Une modalité de ballast foisonné pour deux épaisseurs (15 et 30 cm).

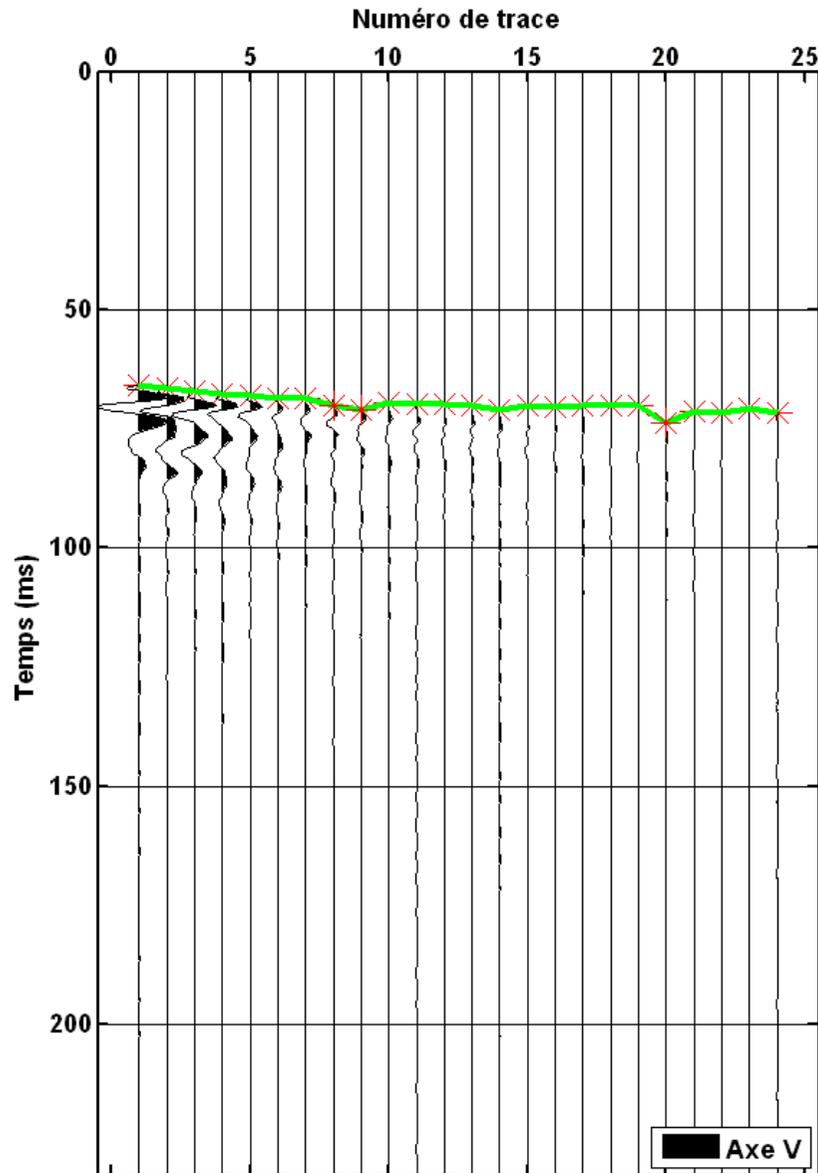


Quelques résultats

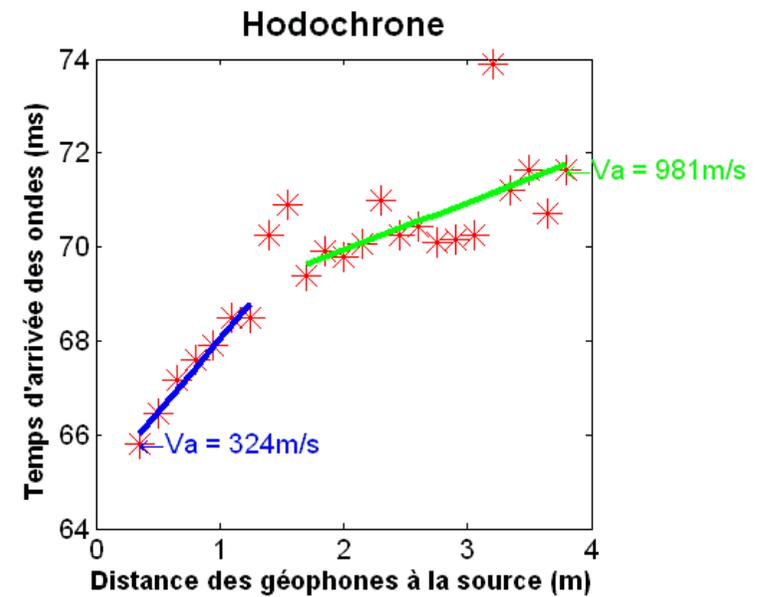
onde-surface-ballast-compacté-mb-2014-G-056

Signaux temporels

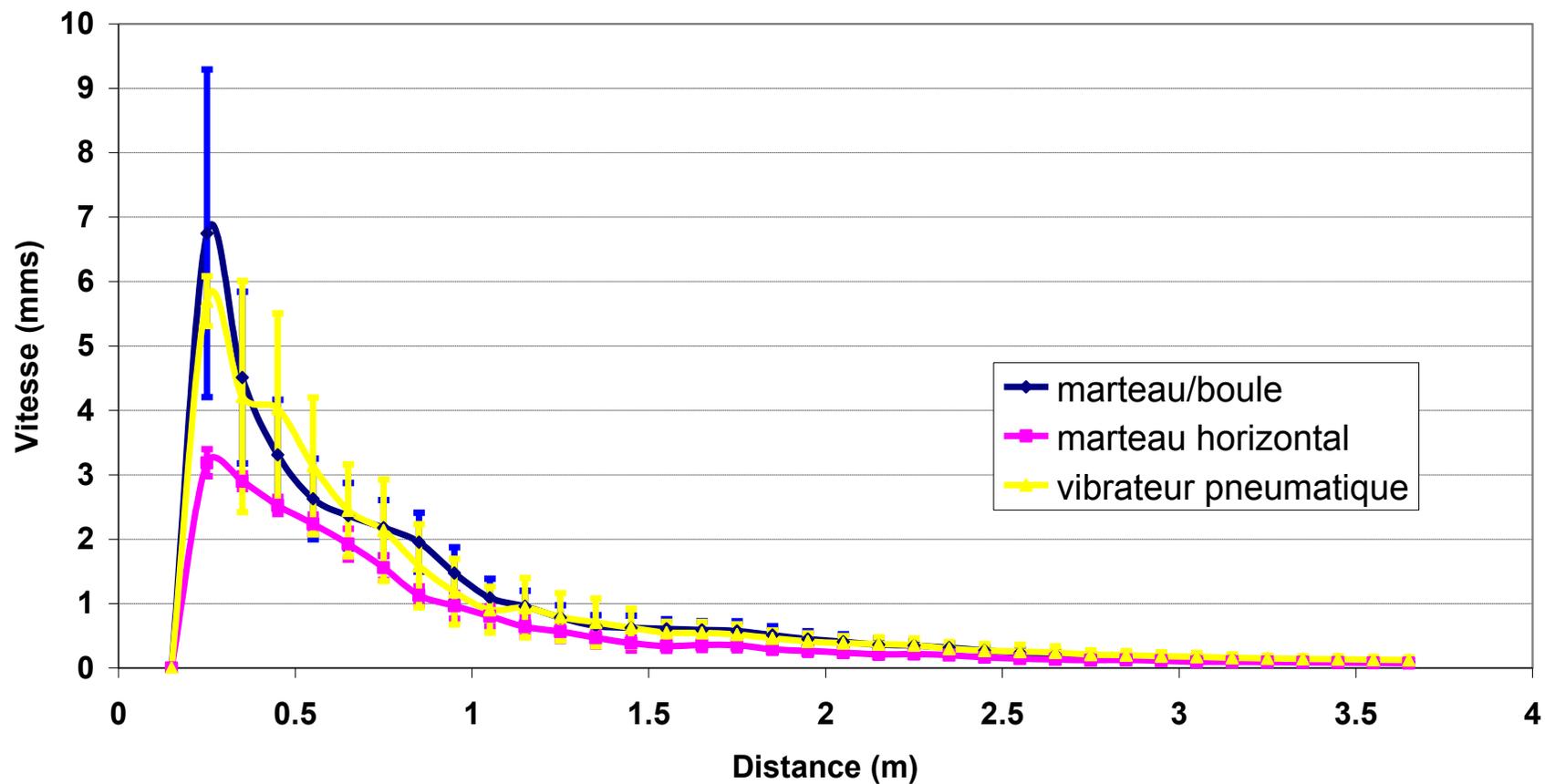
Axe Vertical



Source : chute de masse / Date essai : 12-févr.-2014 09:40:31



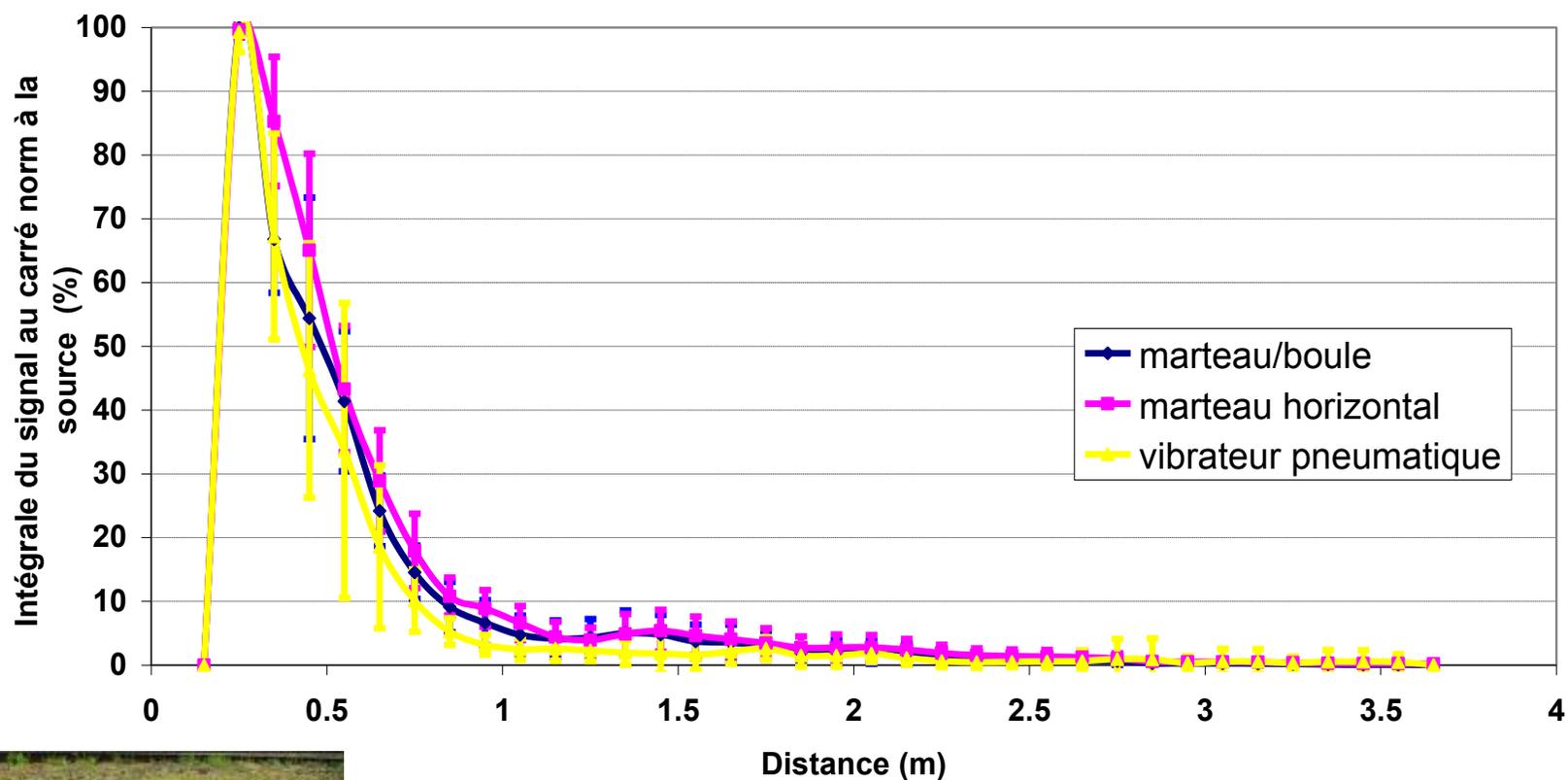
Propagation des ondes dans le ballast compacté 30cm courbe moyenne axe V



Maxi des enregistrements - Interpolation des offsets -
Moyenne des essais

Normalisation à la source

Propagation des ondes dans le ballast compacté 30cm
courbe moyenne axe V



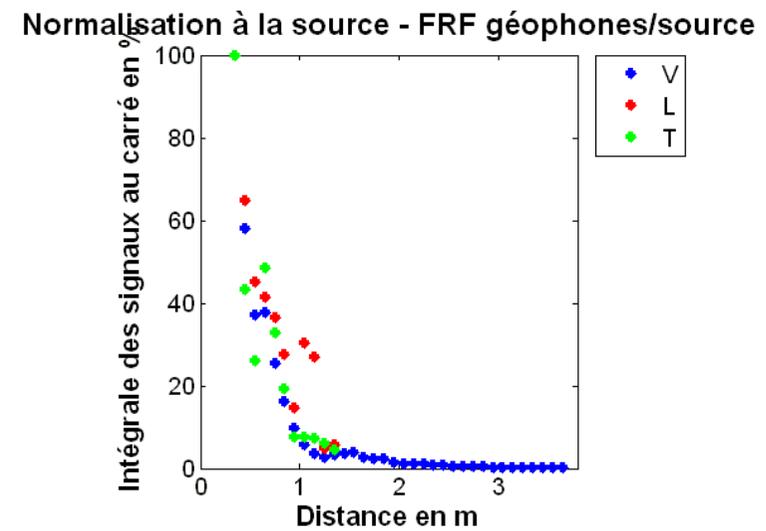
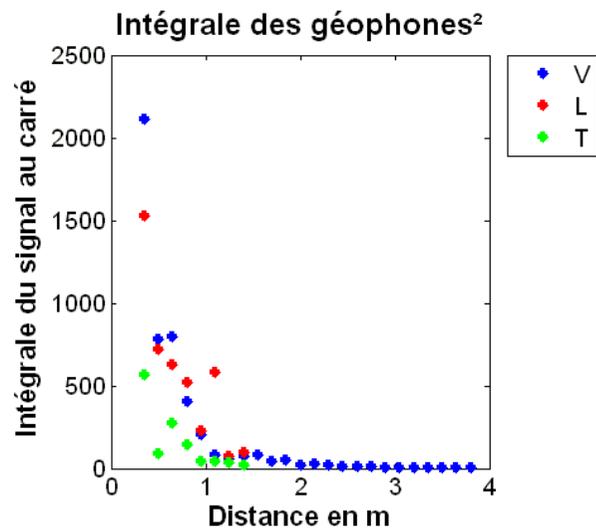
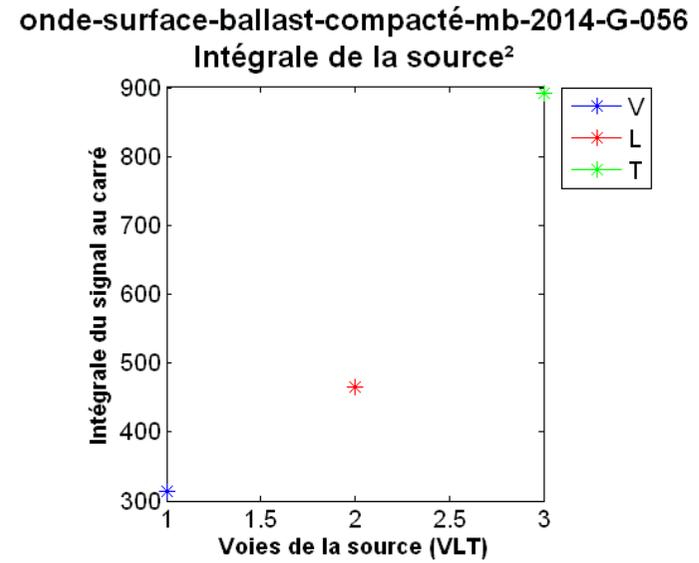
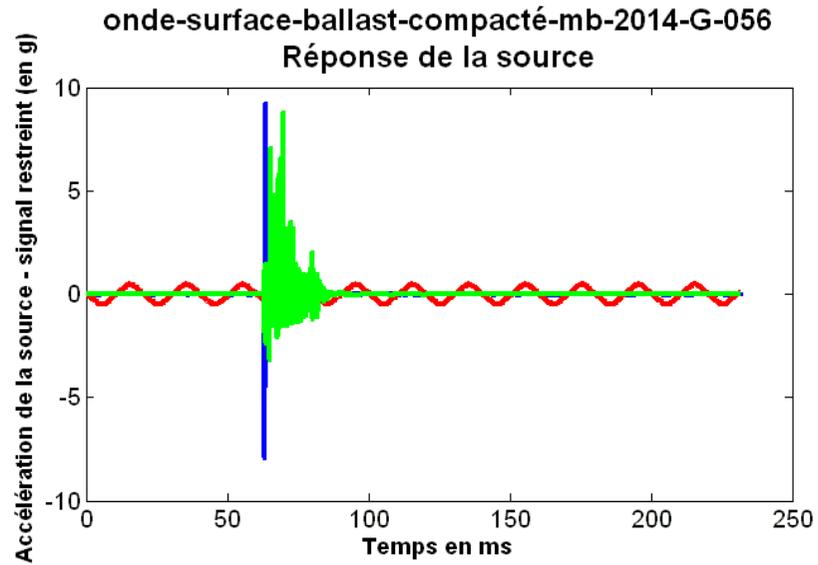
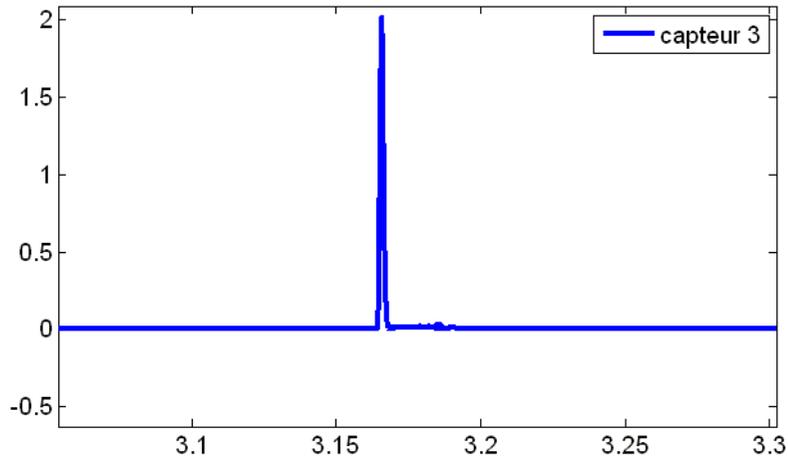


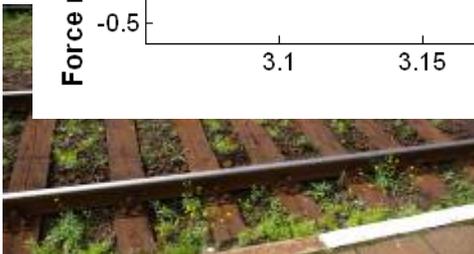
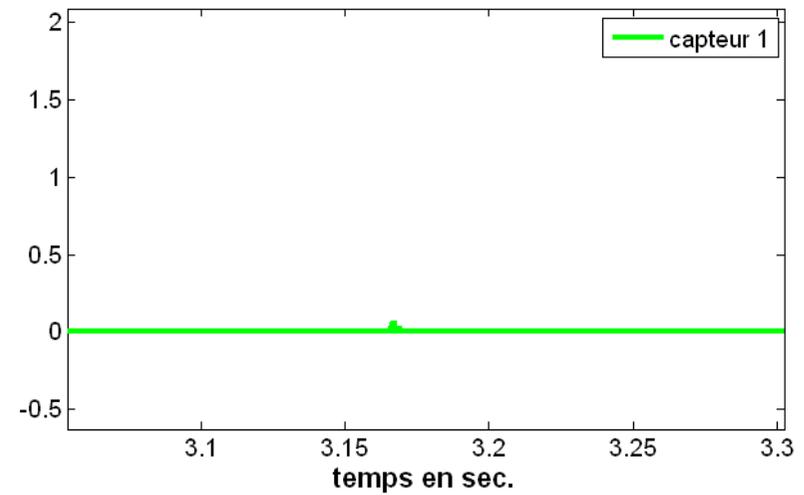
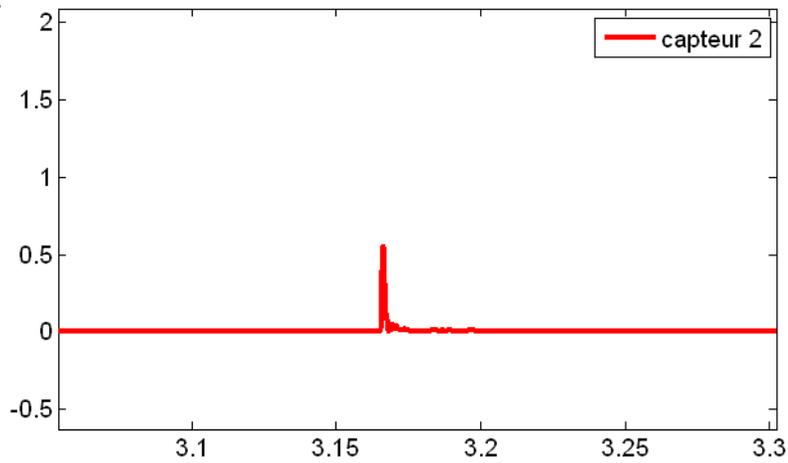
PLANCHE4-E15CM-COM-POSE-H30CM-2
- Réponse des trois capteurs de force en kN



Source : chute de masse
 Recording Date : 25/03/2014, 14:49:21



Force mesurée à travers le ballast (kN)



Travail à finaliser

- Juin 2014 :
 - Dépouillement en cours à terminer et synthèse des résultats (Juin 2014),
- Juillet 2014 :
 - Modélisation de la propagation d'onde dans un milieu continu pour comparer milieu discret expérimental et milieu continu modélisé (Juillet 2014)
 - Compléter bibliographie ballast
- Juillet à septembre 2014 :
 - Rédaction mémoire thèse
- Décembre 2014 :
 - Soutenance thèse



Publications

- Deux articles prévus en 2014 au congrès international Georail :
 - Assessment of the railway ballast compaction with waves propagation, D. Jacqueline, C. Fauchard, M. Le Feuvre,
 - Mesure et simulation de la propagation de vibrations à travers une couche de ballast , D. Jacqueline, G. Vincelas, E. Dimnet



Merci pour votre attention !

