



Amélioration des Sols par Inclusions Rigides

Opération du Réseau Génie Civil et Urbain

OPERATION DU RESEAU GENIE CIVIL & URBAIN

**A.S.I.R.I. – TRANCHE 1 – THEME 1
RAPPORT FINAL**

L. BRIANÇON – MCF (CNAM)



A.S.I.R.I / FICHE SIGNALÉTIQUE

TITRE : A.S.I.R.I. – TRANCHE 1 – THEME 1 : RAPPORT FINAL
RAPPORT N° : 1-07-1-02
DATE D'ÉTABLISSEMENT : JUILLET 2007
AUTEURS : BRIANÇON
ORGANISMES CHARGES DE L'ACTION : CNAM
THEME DE RATTACHEMENT : 1
LETTRE DE COMMANDE :

Sommaire

- 1 Introduction
- 2 Essais complémentaires
 - 2.1 Essais d'impédance
 - 2.2 Essais de caractérisation in situ
 - 2.3 Essais de chargement
- 3 Suivi du chantier expérimental de juillet 2006 à février 2007
 - 3.1 Remblaiement
 - 3.2 Fréquence des mesures
- 4 Résultats du suivi instrumental et analyse
 - 4.1 Pression interstitielle
 - 4.2 Tassement du sol compressible
 - 4.3 Tassement différentiel
 - 4.4 Profil des tassements à la base de la plate-forme granulaire
 - 4.5 Transfert de charge
 - 4.5.1 CPT
 - 4.5.2 ECV
 - 4.6 Déformation sous le dallage
- 5 Correspondance entre mesures et bilan sur l'instrumentation
 - 5.1 Tassement différentiel
 - 5.2 Transfert de charge
 - 5.3 Bilan sur l'instrumentation
- 6 Suite du chantier expérimental

1 Introduction

Ce rapport fait suite au rapport d'avancement n° 1.06.1.01. Il résume les différentes étapes menées sur le chantier expérimental de Saint-Ouen l'Aumône de juillet 2006 à mars 2007 et présente notamment le suivi instrumental des quatre plots expérimentaux. L'analyse des mécanismes n'est pas présentée dans ce rapport mais fera l'objet d'une présentation détaillée dans la thèse de J. Andromeda.

Les annexes numériques (fichiers Excel), disponibles sur le site ASIRI, présentent les mesures avant corrections des Capteurs de Pression Totale, Capteurs de Pression Interstitielle, Extensomètres à Corde Vibrante, Inclinomètres Horizontaux et des bandes de Geodetect.

Plusieurs rapports ont été transmis à l'IREX concernant cette expérimentation en vraie grandeur :

- A.S.I.R.I. – TRANCHE 1 – THEME 1 : RAPPORT D'AVANCEMENT (CNAM) – N° 1.06.1.01
- INTERPRETATION DES ESSAIS DE CHARGEMENT (LCPC) - N° 1.06.1.01A
- PROJET NATIONAL A.S.I.R.I. - SONDAGES ET INSTRUMENTATION (CETE ROUEN) - N° 1.06.1.01B
- SONDAGES PRESSIOMETRIQUES (CETE ROUEN) - N° 1.06.1.01C
- ESSAIS COMPLEMENTAIRES RELATIFS A L'EXPLOITATION DES DONNEES (RINCENT BTP) - N° 1.06.1.01D
- A.S.I.R.I. – TRANCHE 1 – THÈME 1 : RAPPORT FINAL (CNAM) – N° 1.07.1.02

2 Essais complémentaires

2.1 Essais d'impédance

Comme il a été mentionné dans le rapport n°1.06.1.01, des essais d'impédance mécanique ont été réalisés par Rincant BTP sur 9 inclusions rigides (Figure 1)

L'analyse de ces essais de contrôle montre des anomalies pour deux inclusions rigides (2D-12 & 2D-14). Pour l'inclusion rigide notée 2D-14, l'anomalie est peut-être due à la présence des extensomètres à corde vibrante bien que les inclusions rigides notées 4D-6 et 3D-6, qui comportent aussi des extensomètres à corde vibrante, ne présentent pas d'anomalie. Pour l'inclusion rigide notée 2D-12, l'anomalie se situe à 4m de profondeur et correspond vraisemblablement à une striction.

Pour les 8 autres inclusions testées, le diamètre moyen correspond bien au diamètre théorique et la profondeur mesurée est bien celle notée sur les enregistrements de forage.

Ces essais ont fait l'objet d'un rapport (n°1.06.1.01D) transmis à l'IREX.

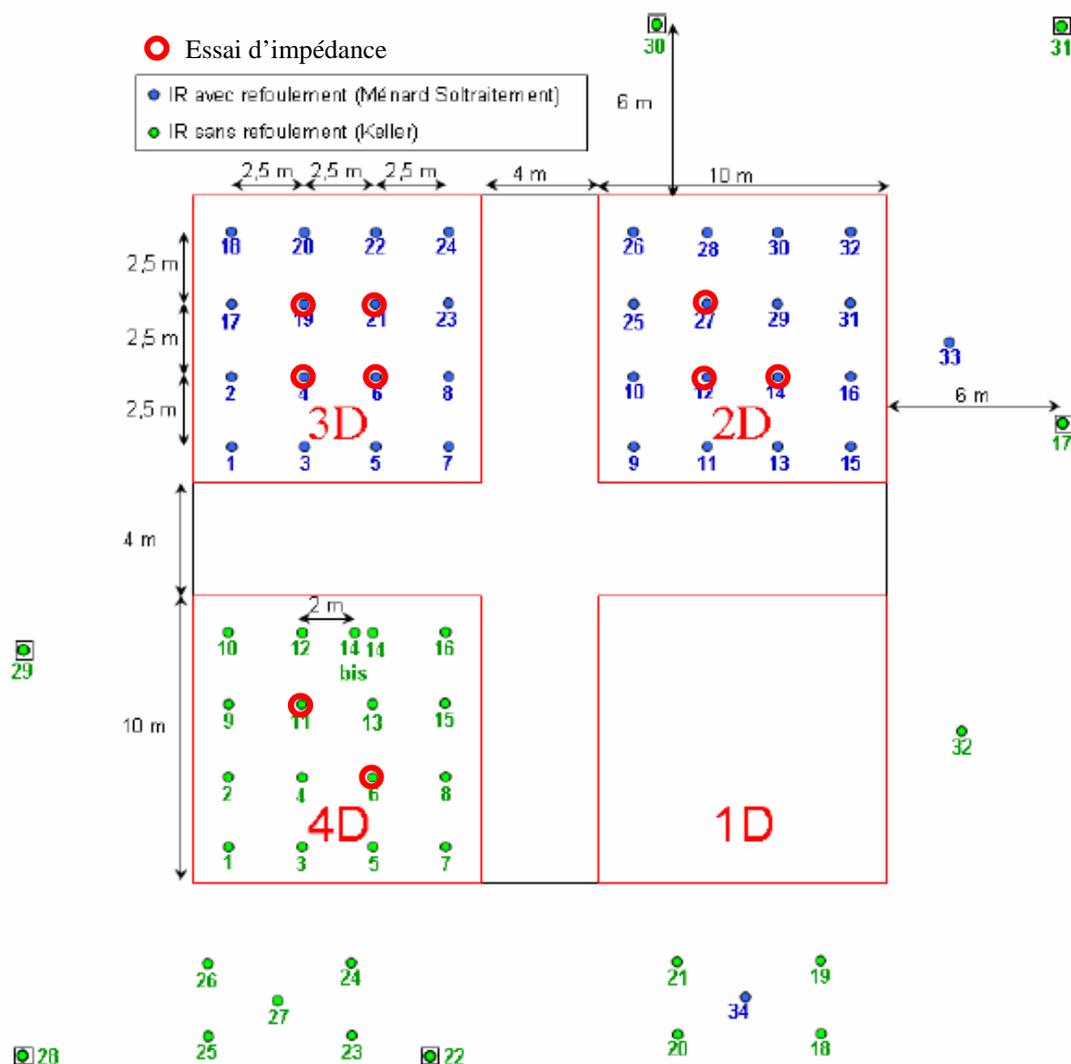


Figure 1 - Implantation des essais d'impédance

2.2 Essais de caractérisation in situ

Un essai pressiométrique SP1 et un essai scissométrique S1 ont complété les essais de caractérisation présentés dans le rapport n°1.06.1.01. Leur implantation est présentée à la figure 2.

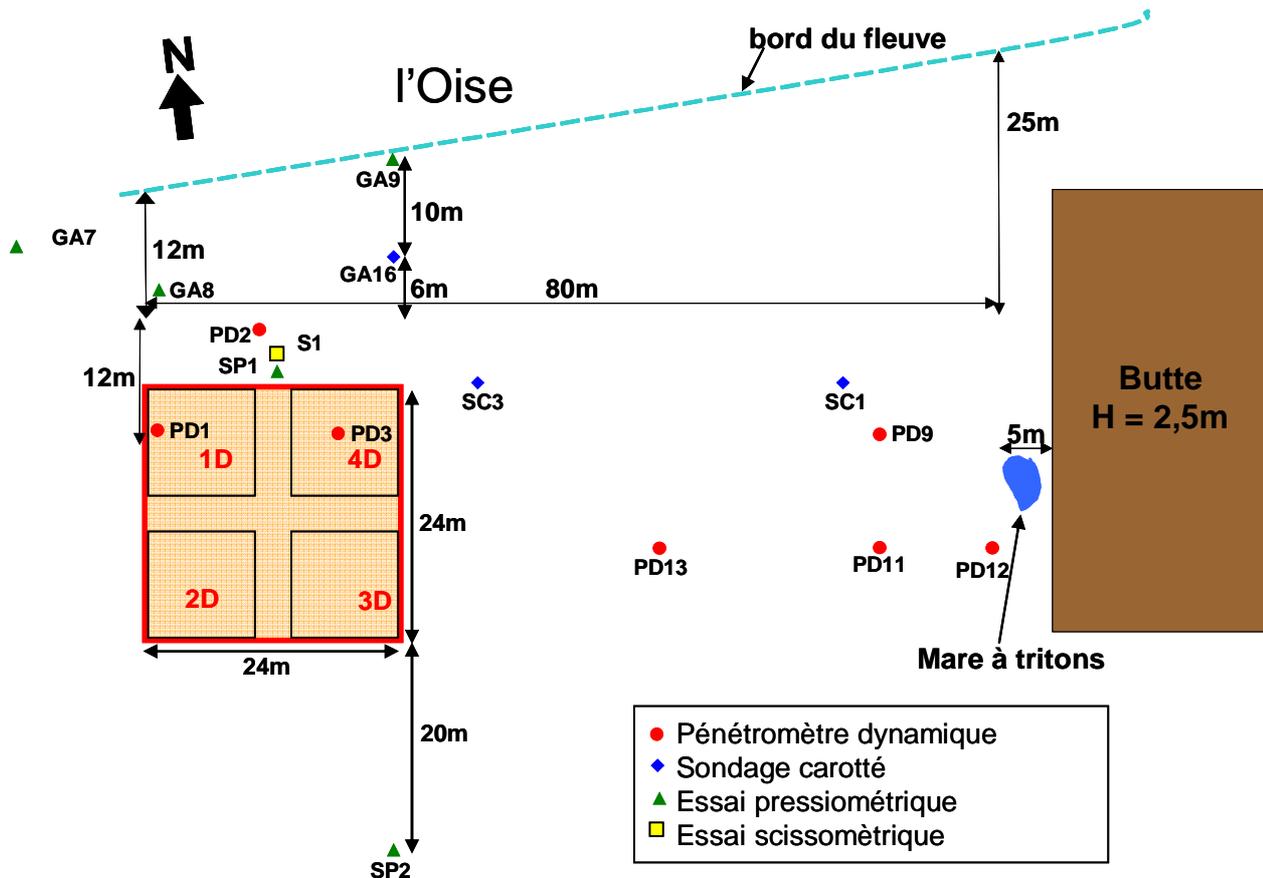


Figure 2 - Implantation des essais de caractérisation in situ complémentaires

L'ensemble de ces essais a permis de proposer une coupe de sol (Annexe 2).

2.3 Essais de chargement

Comme mentionné dans le rapport n°1.06.1.01, deux essais de chargement ont été réalisés par le LCPC. Le déroulement et les résultats de ces essais ont fait l'objet d'un rapport transmis par le LCPC à l'IREX (Rapport n° 1.06.1.01A).

3 Suivi du chantier expérimental de juillet 2006 à février 2007

3.1 Remblaiement

Comme annoncé dans le rapport n°1.01, une seconde couche de remblai de 2,5m d'épaisseur a été mise en œuvre entre le 03 et le 06 octobre 2006 par la société Eurovia suite à une commande du Port Autonome de Paris. A la suite de ce remblaiement, nous avons observé que la géométrie du remblai ne correspondait pas exactement à celle requise. Une nouvelle intervention de la société Eurovia a été programmée entre le 18 et le 26 octobre 2006 pour élargir le remblai et régler les talus. Cette action a fait l'objet d'un don en nature de la part du Port Autonome de Paris.

3.2 Fréquence des mesures

Tableau I - Fréquence des mesures

Dates	Actions	TM	IH	PT	Géodetect
11/05	IR				
18/05	IR				
22/05		X	1D		
23/05		X			
24/05		X			
06/06		X	234D	X	
08/06	Plate-forme	X			
09/06					X
16/06					X
23/06	Dallage	X	X		
26/06		X	234D		
27/06				X	
28/06		X	1D		
07/07		X	X	X	X
10/07	Remblai 1				X
11/07	Remblai 1	X	X	X	X
12/07	Remblai 1	X	X	X	
19/07		X	X	X	
26/07		X	X	X	
02/08		X	X	X	
16/08		X	X	X	
30/08		X	X	X	X
27/09		X	X	X	
02/10		X		X	
03/10	Remblai 2	X	X		
04/10	Remblai 2	X			X
05/10	Remblai 2	X	124D		
06/10	Remblai 2	X		X	
12/10		X	X	X	
18/10	Remblai 2	X	234D		
25/10		X	234D		
26/10	Remblai 2				
02/11		X	X		
16/11		X	13D		
22/11		X	X	X	
13/12		X	X	X	X
28/02		X	X	X	
07/03					X
28/03				X	
03/05			X	X	
11/06			X	X	

TM : tassomètres magnétiques IH : inclinomètres horizontaux PT : piges tassométriques

La mesure des capteurs connectés à la centrale d'acquisition a été enregistrée en continue jusqu'au 22 novembre 2006, date à laquelle le dernier transfert de données a été effectué. Sur cette période, les mesures ont été enregistrées toutes les heures et la moyenne des 24 mesures journalières a été retenue pour l'analyse. Le 13 décembre 2006, le transfert n'a pas été possible, la centrale d'acquisition étant noyée dans la chambre télécom « étanche ». Une mesure ponctuelle des extensomètres à corde vibrante a été réalisée le 28 février 2007, le 07 et le 28 mars 2007 et une mesure ponctuelle des capteurs de pression totale et des capteurs de

pression interstitielle a été réalisée les 07 et 28 mars 2007. Il y a donc une interruption des mesures du 22 novembre 2006 au 28 février 2007. La fréquence des mesures des autres capteurs nécessitant une intervention humaine est présentée dans le tableau I.

4 Résultats du suivi instrumental

4.1 Pression interstitielle

Deux capteurs de pression interstitielle ont été mis en œuvre :

- CPI1 à 6m de profondeur dans le plot 3D,
- CPI2 à 4m de profondeur dans le plot 1D.

Les mesures de pression interstitielle ont été corrigées en prenant en compte la variation de la pression atmosphérique enregistrée par un capteur de pression localisé dans la chambre télécom.

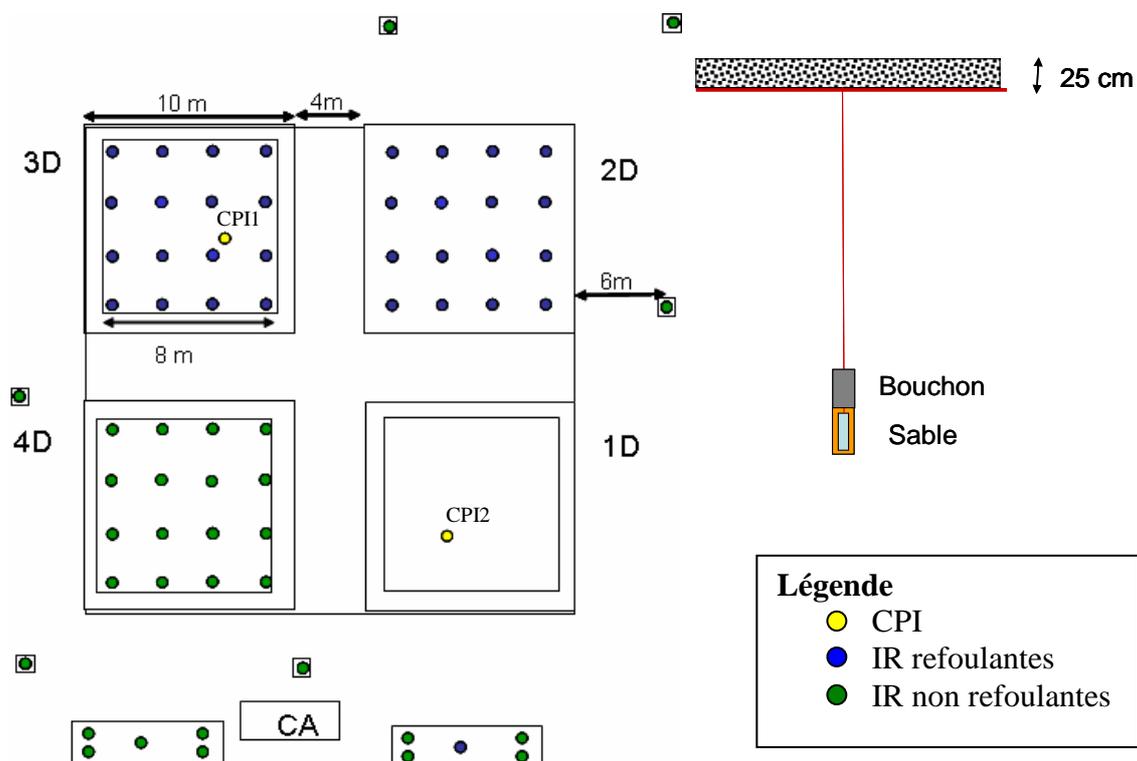


Figure 3 - Implantation des CPI

Le capteur de pression interstitielle CPI2 placé à 4m de profondeur dans le plot 1D est sensible à la mise en œuvre du remblai (Figure 4) ; on observe en effet, à chaque phase de remblaiement, une augmentation brutale de la pression interstitielle qui se dissipe avec le temps. L'influence de la mise en œuvre du remblai n'est pas observée avec le capteur de pression interstitielle CPI1 situé dans le plot 3D à 6m de profondeur, il permet cependant de définir la hauteur moyenne de la nappe qui se situe à 2,5m de profondeur par rapport à la base de la plate-forme de transfert de charge. L'incertitude sur ces mesures est inférieure à 0,5 kPa.

Cette première mesure permet de vérifier l'intérêt des inclusions rigides qui jouent bien leur rôle de renforcement puisque le sol renforcé ne subit pas d'augmentation de pression interstitielle lors des phases de remblaiement.

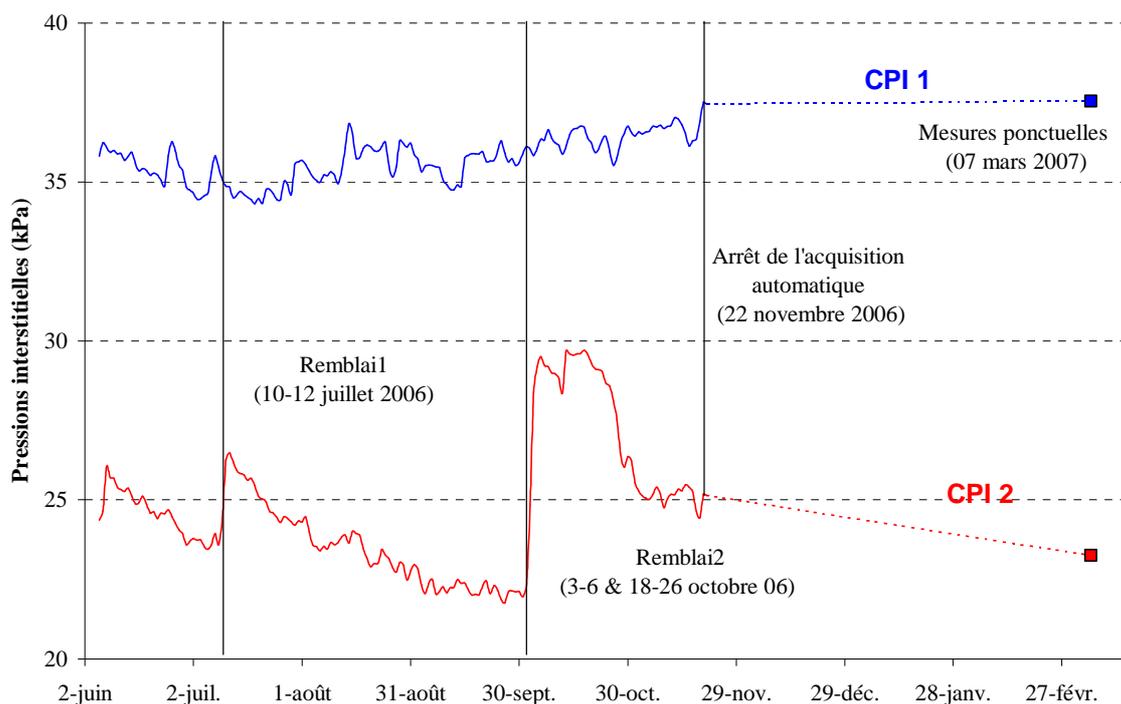


Figure 4 - Mesure de la pression interstitielle

Concernant le capteur de pression interstitielle CPI2, la mise en œuvre de la première couche de remblai correspond à une augmentation de contrainte $\Delta\sigma_1 = 27$ kPa (avec une hypothèse sur le poids volumique du matériau de remblai $\gamma = 18$ kN/m³), l'augmentation de pression interstitielle mesurée est $\Delta u_1 = 3$ kPa.

Avec cette même hypothèse sur le poids volumique du matériau de remblai, la mise en œuvre de la seconde couche de remblai correspond à une augmentation de contrainte $\Delta\sigma_2 = 45$ kPa et l'augmentation de pression interstitielle mesurée est $\Delta u_2 = 7,5$ kPa.

L'hypothèse que la dalle béton posée sur les 50 cm de couche granulaire compactée agit comme un radier rigide générant des contraintes plus faibles au centre qu'au bord peut expliquer les faibles augmentations de pressions interstitielles au cours des deux chargements des dallages mesurées sous le centre du dallage.

4.2 Tassement du sol compressible

Le tassement du sol compressible a été mesuré dans chaque plot sur 6m de profondeur à l'aide de tassomètres magnétiques en forage (Figure 5). Le tassement des bagues magnétiques a été mesuré par rapport au fond du forage, qui a servi de point de référence pour limiter les incertitudes de mesures dues à une possible mauvaise verticalité des tubes PVC traversant le remblai. En effet, une inclinaison de 5° des tubes dans le remblai génère une erreur supérieure à l'ordre de grandeur des mesures. Cette précision montre bien la sensibilité d'une telle instrumentation à la mise en œuvre du remblai.

Les mesures indiquent qu'il n'y a pas de tassement dans les trois forages des plots renforcés par inclusions rigides (2D, 3D & 4D). Concernant le forage du plot non renforcé (1D), on mesure un tassement de la bague supérieure (celle située à 1,5m sous la base de la plate-forme de transfert de charge) de 1,5 cm après la mise en œuvre du remblai complet.

Il faut considérer ces mesures avec beaucoup de précaution, leur précision est centimétrique. Elle dépend de nombreux facteurs : lecture sur le ruban, position du ruban en bordure de tube PVC, verticalité des tubes dans le remblai (corrigée en faisant des mesures par rapport au fond du forage), qualité du coulis de forage... Concernant ce dernier point, une auscultation des forages sera pratiquée lors du démontage des plots pour vérifier que la formulation du coulis était bien adaptée au sol (qui était assez hétérogène) et que les tubes PVC avec leur remplissage annulaire de coulis n'ont pas fonctionné comme des pieux rigides.

En comparant le tassement nul de la seconde bague du plot 1D et l'augmentation de la pression interstitielle mesurée par le CPI 2 situé à la même profondeur, nous pouvons penser que l'utilisation des tassomètres magnétiques en forage n'est pas pertinente pour ce chantier expérimental (sol très hétérogène, tassement faible des plots renforcés...)

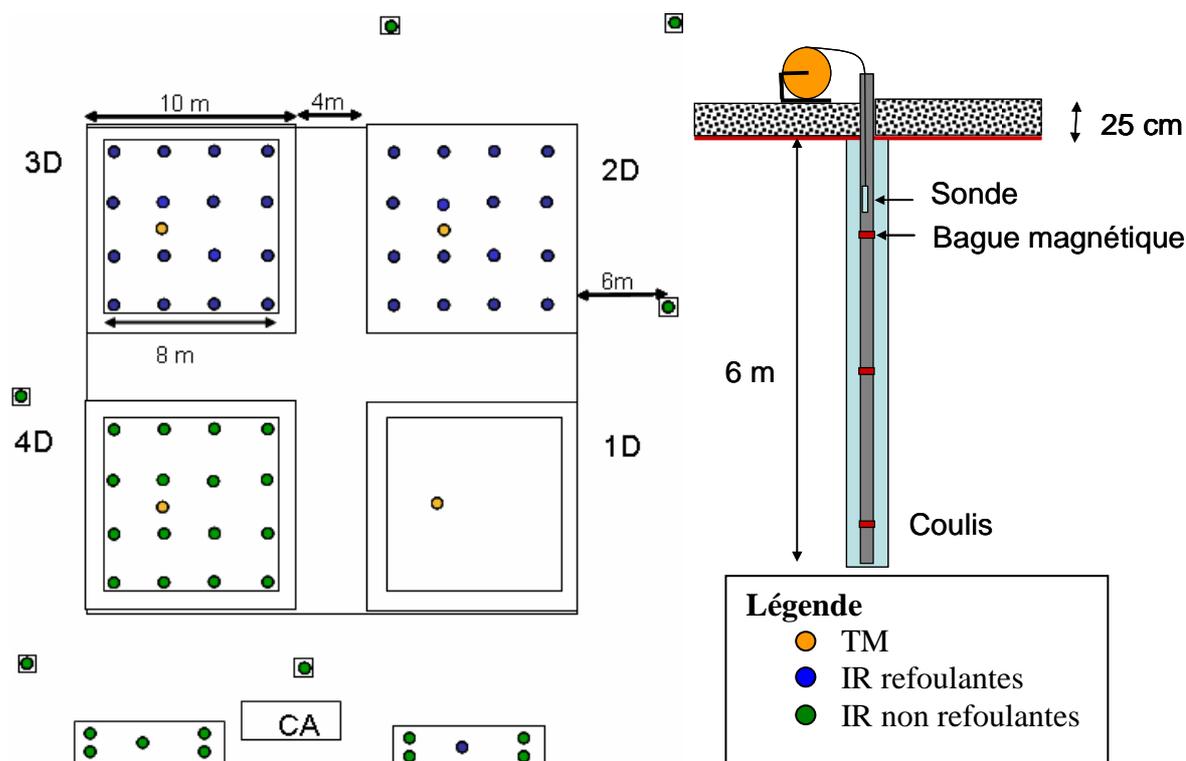


Figure 5 - Implantation des forages pour la mesure par tassomètre magnétique

4.3 Tassement différentiel

Le tassement des inclusions rigides et du sol à la base de la plate-forme de transfert de charge a été mesuré à l'aide de piges tassométriques (Figure 6). Pour chaque plot renforcé (2D, 3D & 4D), on mesure le tassement différentiel entre les inclusions rigides et le sol. Pour le plot non renforcé (1D), c'est une mesure de tassement total à la base de la plate-forme de transfert de charge. Les variations de hauteurs des différentes piges tassométriques ont été mesurées avec un niveau de chantier.

Il faut considérer ces mesures avec beaucoup de précaution. En effet, bien que l'on observe une augmentation de tassement après chaque remblaiement, cette mesure peut intégrer en plus du tassement réel une erreur due à la mise en œuvre du remblai.

Ces mesures sont, à ce jour, difficilement exploitables, des mesures complémentaires seront réalisées à la suite du retrait du remblai, elles permettront de valider ou d'invalider les

mesures déjà réalisées et fourniront une référence fiable pour le tassement total de chaque plot.

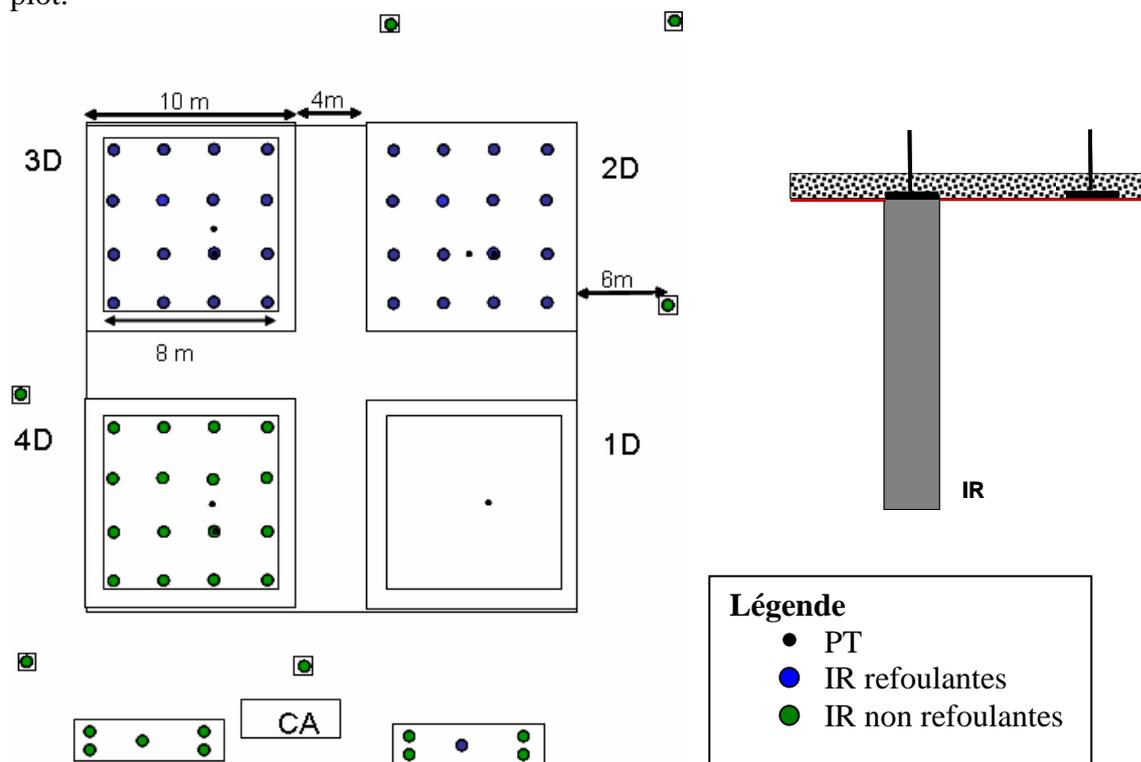


Figure 6 - Implantation des piges tassométriques

4.4 Profil des tassements à la base de la plate-forme granulaire

La mesure du profil des tassements à la base de la plate-forme granulaire a été faite par passage d'une sonde inclinométrique horizontale dans des tubes inclinométriques disposés à la base de la plate-forme granulaire et traversant diagonalement les plots (Figure 7).

Pour analyser ces profils, nous avons décidé d'en présenter 7 par plot en prenant comme « zéro » le profil du 23 juin 2006 avant réalisation des dallages. Les six autres profils correspondent aux étapes de chargement du remblai :

- profil 2 (07 juillet 2006) : situation avant remblai 1,
- profil 3 (12 juillet 2006) : situation immédiatement après remblai 1,
- profil 4 (03 octobre 2006) : situation avant remblai 2,
- profil 5 (12 octobre 2006) : situation immédiatement après remblai 2,
- profil 6 (03 décembre 2006) : situation après remblai 2,
- profil 7 (28 février 2007) : situation après remblai 2.

Les profils présentés donnent le tassement sur la diagonale de la maille centrale de chaque plot.

Les figures 9 à 11 présentent des profils corrigés. Pour les 3 plots renforcés, les corrections ont été apportées suite à quelques hypothèses :

- les pieux ne tassent pas, c'est à dire que l'on mesure uniquement le tassement différentiel,
- il existe un plan de symétrie par rapport au centre de chaque plot, c'est à dire que la mesure corrigée en un point donné est la moyenne entre la mesure du tassement différentiel du point concerné et celle du point symétrique par rapport au centre du plot.

Pour chaque profil, les mesures ont été réalisées sur un aller-retour de la sonde avec rotation de 90° de la sonde entre l'aller et le retour ; cette procédure permet d'effectuer une correction

directe sur les incertitudes de mesures. Certains profils ont fait l’objet de deux mesures successives afin de vérifier la répétabilité du dispositif qui s’est avérée très bonne.

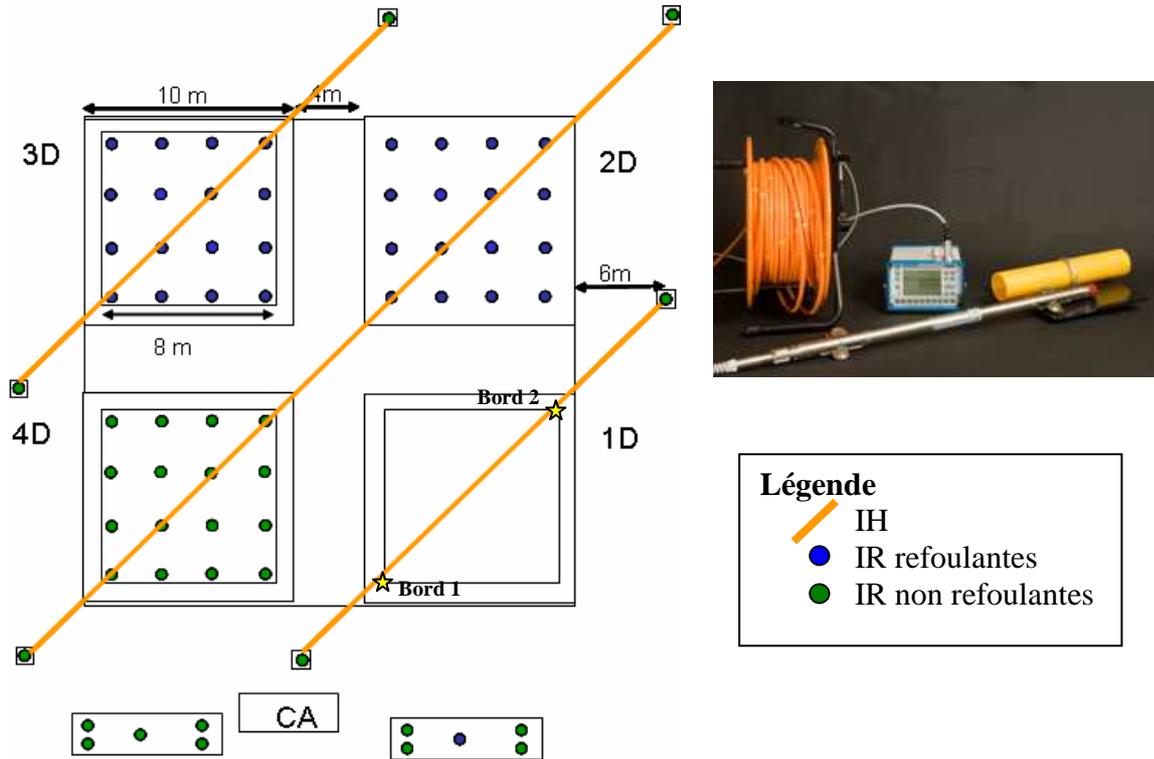


Figure 7 - Implantation des tubes inclinométriques horizontaux

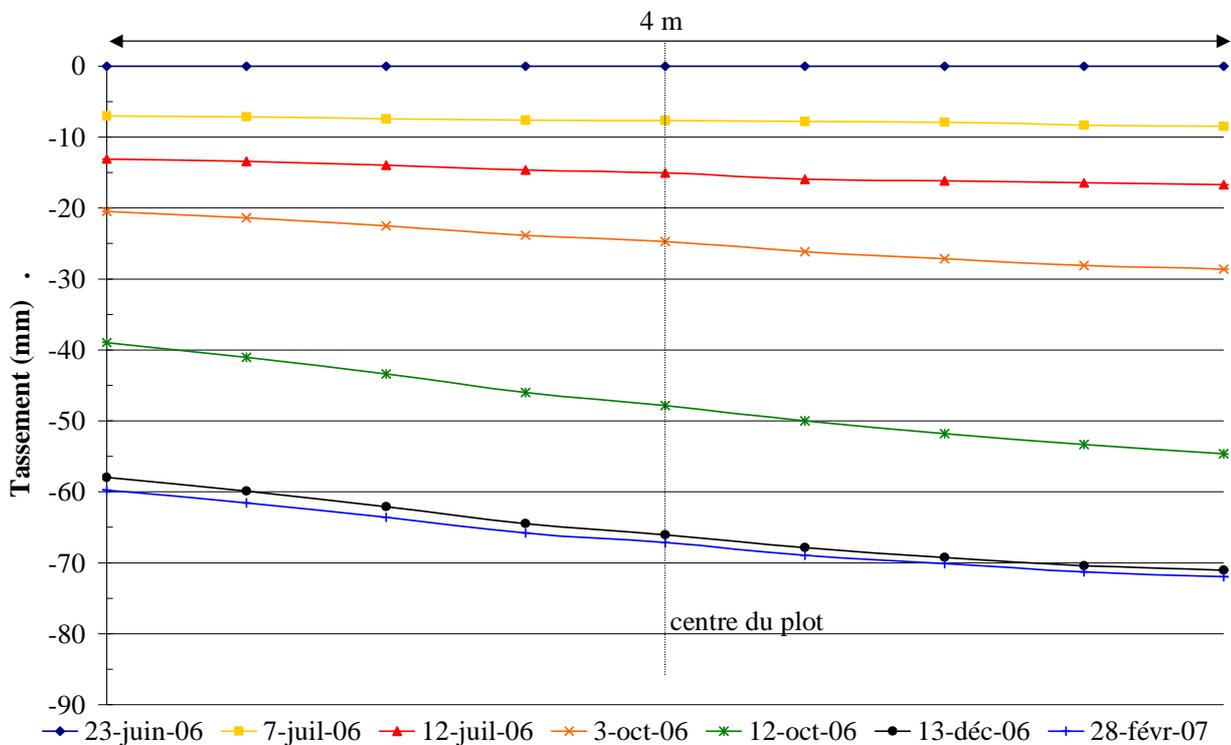


Figure 8 – Profils de tassement à la base de la plate-forme (plot 1D)

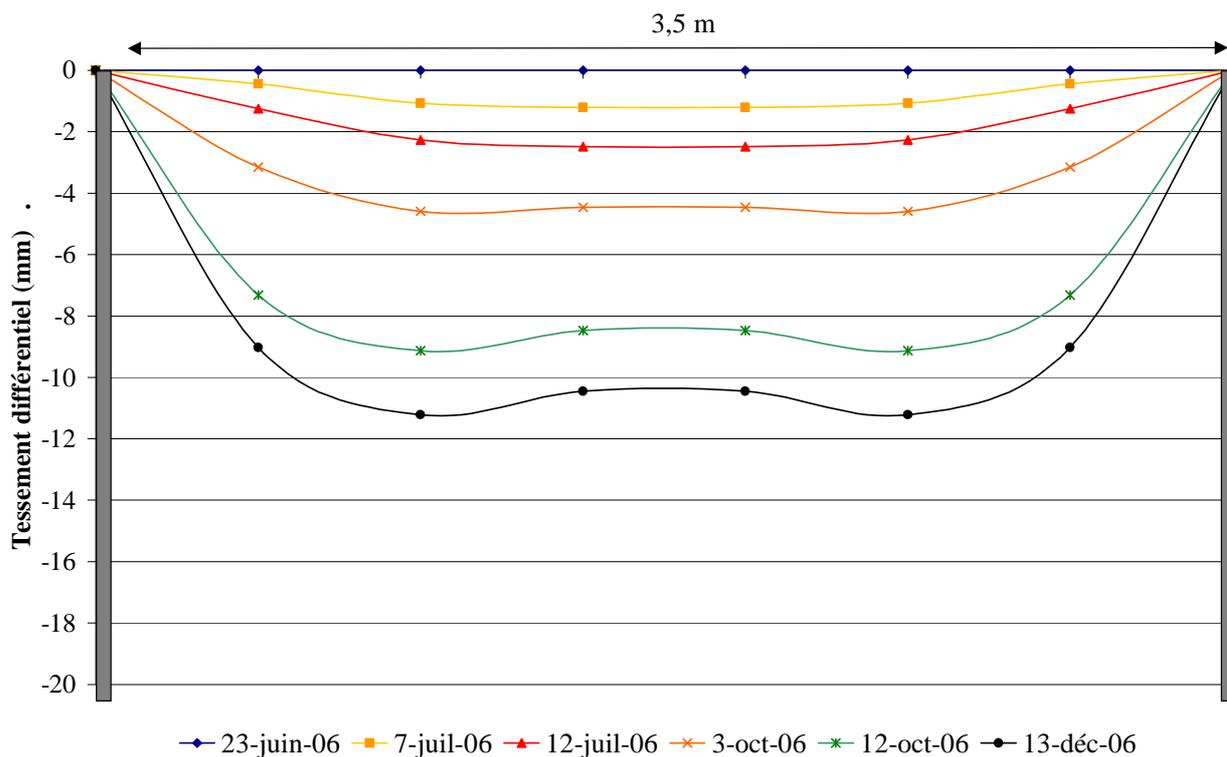


Figure 9 – Profils de tassement à la base de la plate-forme (plot 2D)

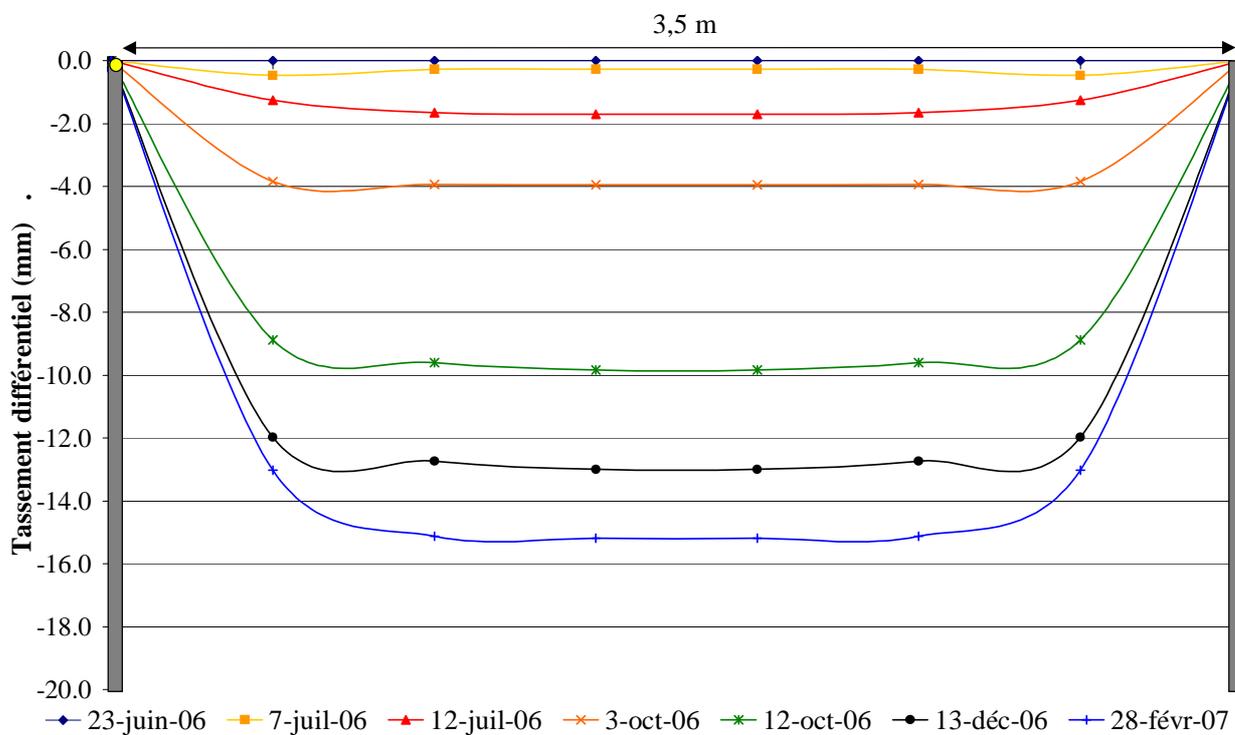


Figure 10 - Profils de tassement à la base de la plate-forme (plot 3D)

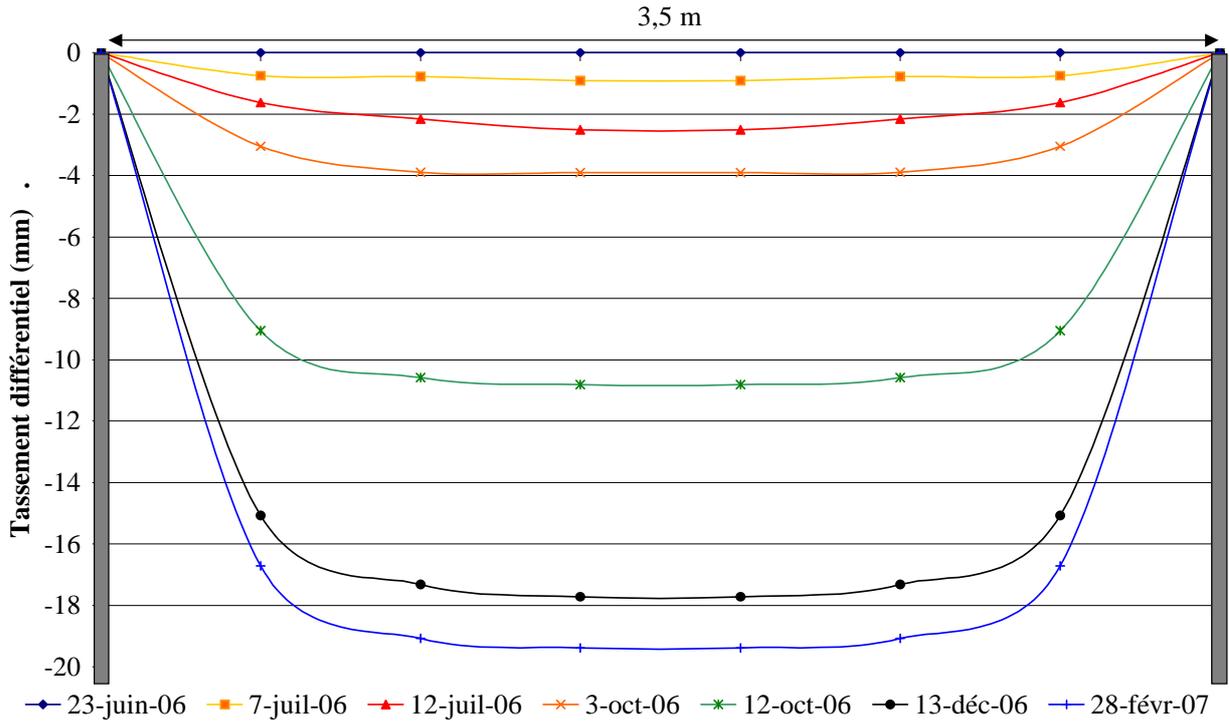


Figure 11 - Profils de tassement à la base de la plate-forme (plot 4D)

Le tassement en fonction du temps du centre et des deux bords du dallage (Figure 7) du plot 1D est présenté à la figure 12. La figure 13 présente le tassement différentiel en fonction du temps du centre des plots 2D, 3D et 4D.

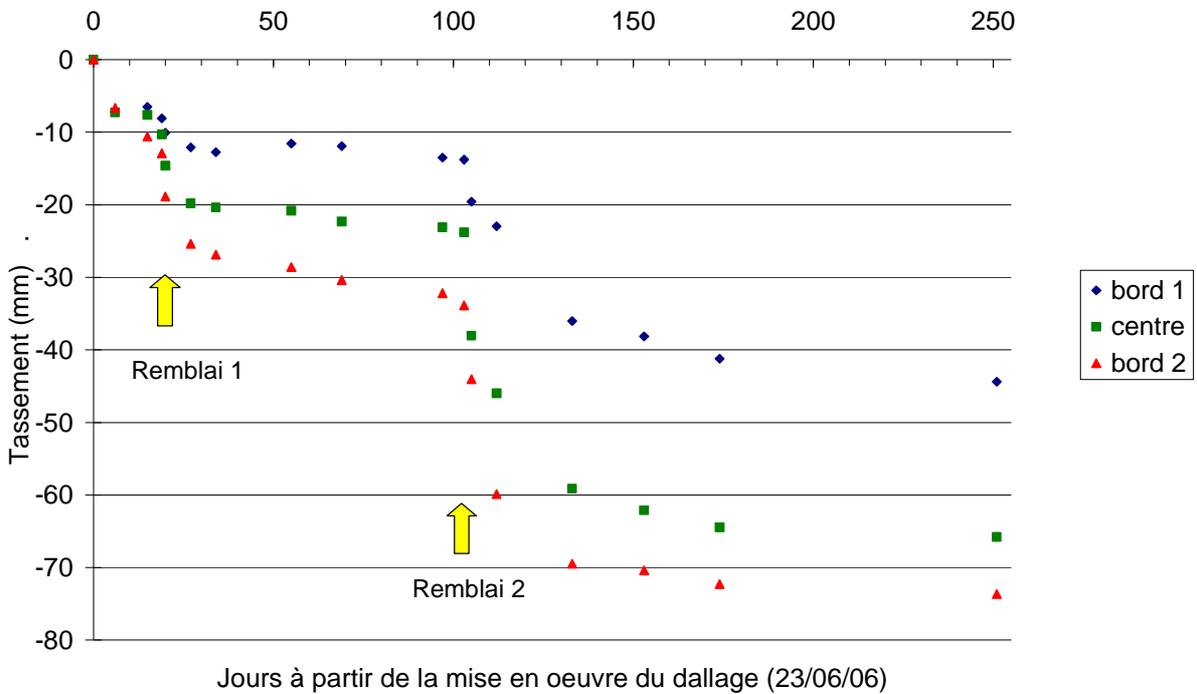


Figure 12 - Tassement en fonction du temps du plot 1D

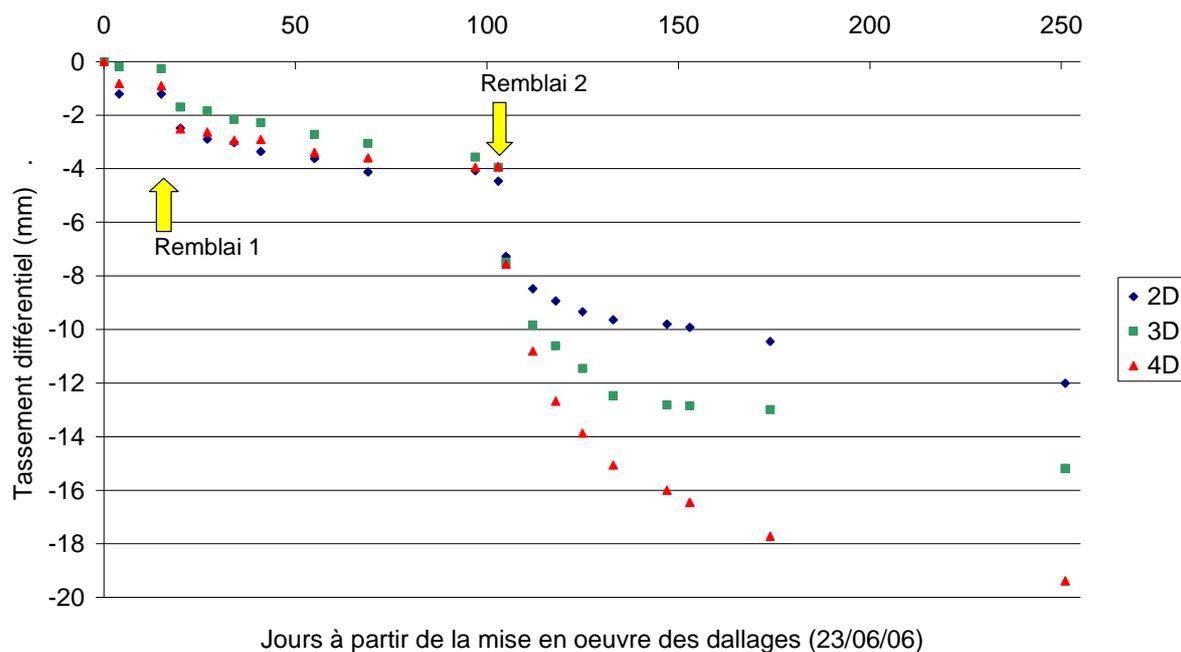


Figure 13 - Tassement en fonction du temps du centre des plots 2D, 3D et 4D

Ces deux représentations permettent d'identifier aisément la part du tassement qui se produit lors du chargement pour les quatre plots. Pour le plot 1D, le tassement immédiat à la suite de la seconde phase de remblaiement correspond à 34 % du tassement « final » (mesuré après 150 jours). Pour les plots renforcés, ce tassement immédiat correspond à 50% du tassement final. On note que le tassement se poursuit pendant une durée plus longue pour le plot 4D (Sol plus compressible, inclusions rigides mieux ancrées).

4.5 Transfert de charge

4.5.1 CPT

Une des quatre inclusions de la maille centrale de chaque plot a été instrumentée par un capteur de pression totale de diamètre ϕ 350 mm (Figure 14).

Les mesures de ces trois capteurs sont présentées (Figure 15) à partir de la mise en œuvre des dallages.

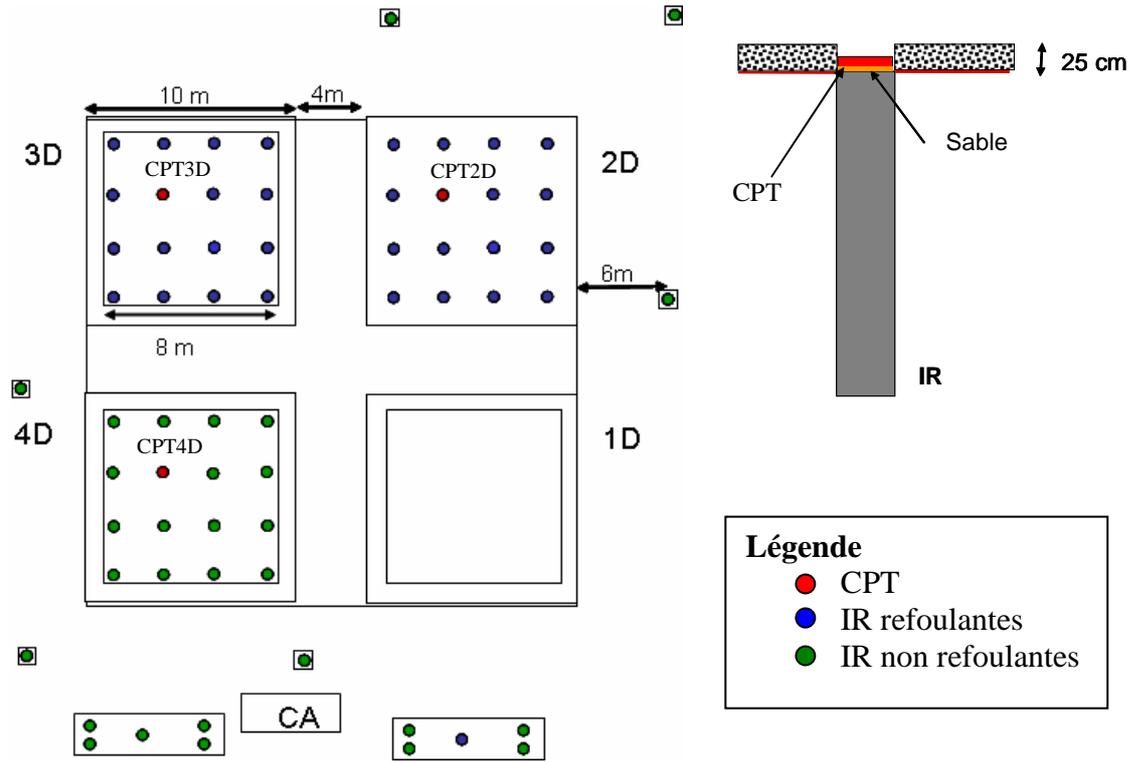


Figure 14 - Implantation des capteurs de pression totale à la base de la plate-forme de transfert de charge

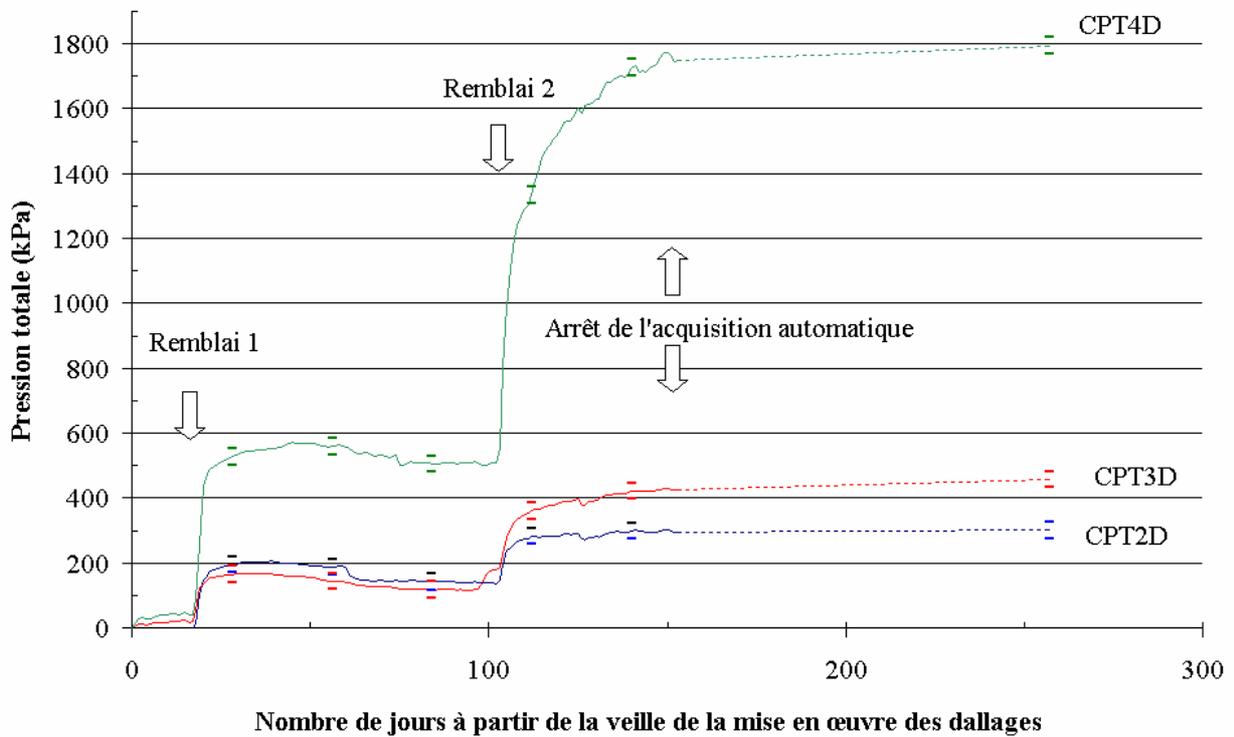


Figure 15 – Mesures des contraintes transmises aux têtes d'inclusions

Sur le plot 3D, des capteurs de pression totale ont aussi été installés sur la plate-forme de transfert de charge au droit d'une inclusion de la maille centrale et entre deux inclusions

rigides (Figure 16). Les mesures de ces trois capteurs sont présentées (Figure 17) à partir de la mise en œuvre du dallage.

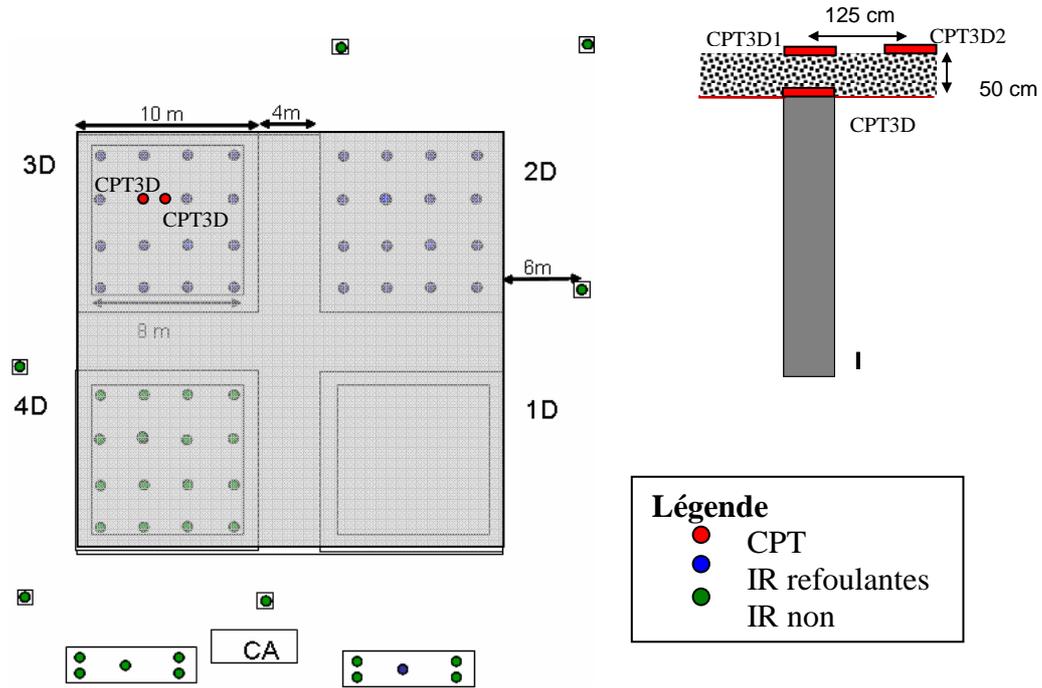


Figure 16 - Implantation des capteurs de pression totale du plot 3D

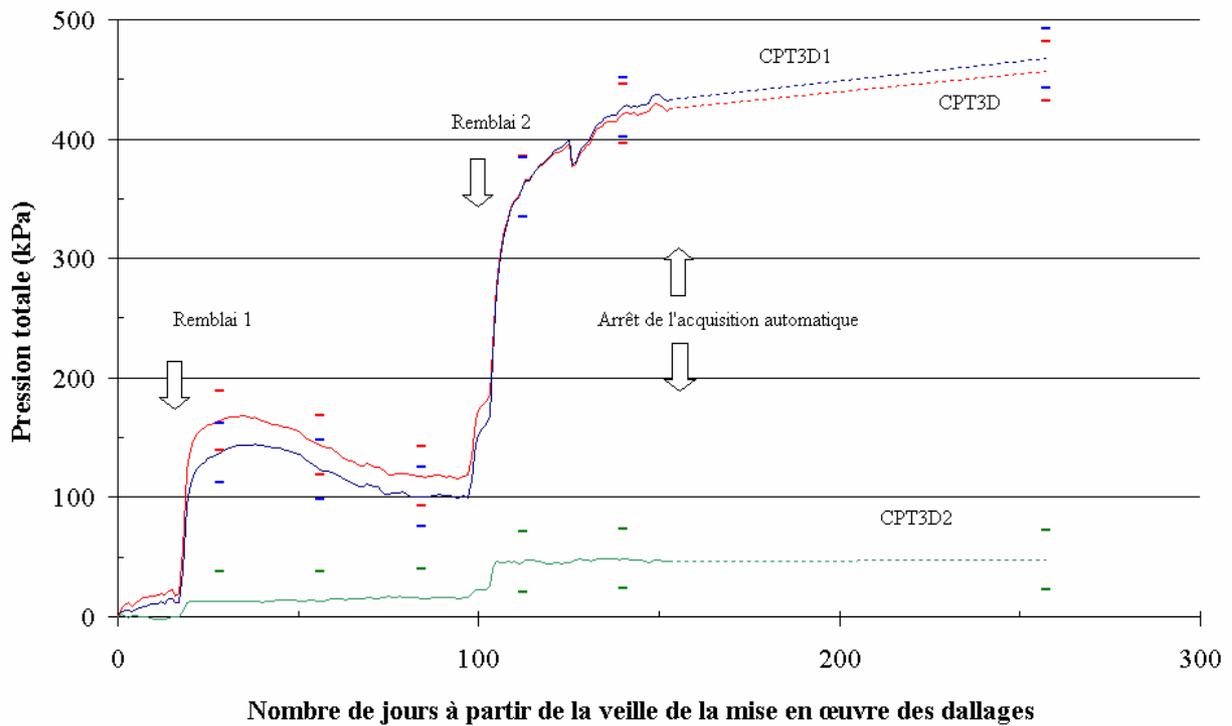


Figure 17 – Mesures des contraintes du plot 3D

4.5.2 ECV

Le transfert de charge dans les inclusions rigides a aussi été mesuré d'une façon indirecte par des extensomètres à corde vibrante. Ces extensomètres ont été placés deux à deux dans des inclusions rigides de la maille centrale des trois plots renforcés et dans une inclusion rigide localisée à l'extérieur de l'emprise du remblai (Figure 18).

Les mesures de ces capteurs ont été enregistrées à partir du 06 juin 2006, date à laquelle les capteurs ont été connectés à la centrale d'acquisition par Rincent BTP. Les extensomètres ayant été mis en œuvre le 11 mai 2006 dans les inclusions non refoulantes (ECV1, ECV2, ECV3 et ECV4) et le 18 mai 2006 dans les inclusions refoulantes (ECV5, ECV6, ECV7 et ECV8), les déformations dues au retrait du béton n'ont pas été mesurées. Les mesures des extensomètres sont présentées pour les deux phases de remblaiement :

- remblai 1 : mise en œuvre du 10 au 12 juillet 2006 et mesures prises en compte pendant 50 jours après le début de sa mise en œuvre,
- remblai 2 : mise en œuvre du 03 au 06 octobre 2006 et mesures prises en compte pendant 50 jours après le début de sa mise en œuvre.

L'analyse des mesures de déformation des extensomètres est rendue difficile par le faible niveau de contrainte appliqué aux inclusions et mesuré par ailleurs par les CPT (Tableau II).

Tableau II – Augmentation de contrainte mesurée sur les inclusions rigides par les CPT lors des phases de remblaiement

	Plot 2D	Plot 3D	Plot 4D
Remblai 1	200 kPa	140 kPa	500 kPa
Remblai 2	140 kPa	250 kPa	1250 kPa

Les mesures de déformation enregistrées par les extensomètres sont présentées dans le tableau III, les valeurs négatives correspondent à des raccourcissements. Un extensomètre sur deux a été retenu par inclusion rigide instrumentée, le comportement des ECV1, 7, 6 & 3 étant illogique par rapport aux phases de chargement.

Tableau III – Mesure de déformation par ECV lors des phases de remblaiement

	Référence		Plot 2D		Plot 3D		Plot 4D	
	ECV1	ECV2	ECV7	ECV8	ECV5	ECV6	ECV3	ECV4
Remblai 1	-	3 $\mu\epsilon$	-	-10 $\mu\epsilon$	-7 $\mu\epsilon$	-	-	-22 $\mu\epsilon$
Remblai 2	-	-1 $\mu\epsilon$	-	- 6 $\mu\epsilon$	-12 $\mu\epsilon$	-	-	- 41 $\mu\epsilon$

Ces mesures de déformation permettent de vérifier que l'inclusion de référence située en dehors de l'emprise du remblai n'est pas perturbée par la mise en œuvre du remblai. La comparaison entre les contraintes calculées à partir des mesures des extensomètres à corde vibrante et les contraintes mesurées directement par les capteurs de pression totale sera faite au paragraphe 5.2.

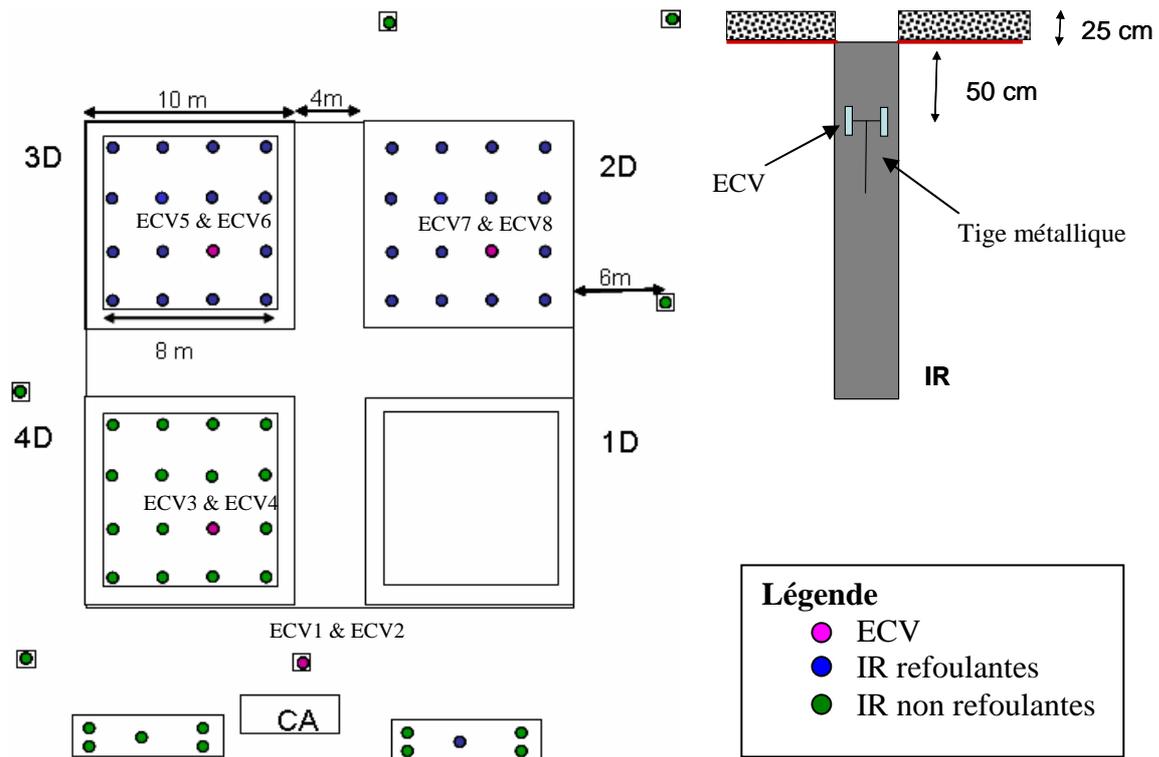


Figure 18 - Implantation des extensomètres à corde vibrante

4.6 Déformation sous le dallage

Quatre bandes de Geodetect ont été mises en place sur la plate-forme de transfert de charge dans des tranchées de sable de 5cm d'épaisseur (Figure 19) de telle sorte que le capteur noté C1 soit positionné au droit d'une inclusion rigide. Avec cette position, le capteur noté C5 ne doit pas être pris en compte dans l'analyse car il n'est pas situé dans la maille centrale. La bande de Geodetect du plot 4D a été détériorée après sa mise en place par un malencontreux coup de pelle mécanique. Les mesures de déformation ont été enregistrées ponctuellement (Tableau 1) ; elles sont présentées en annexe 3.

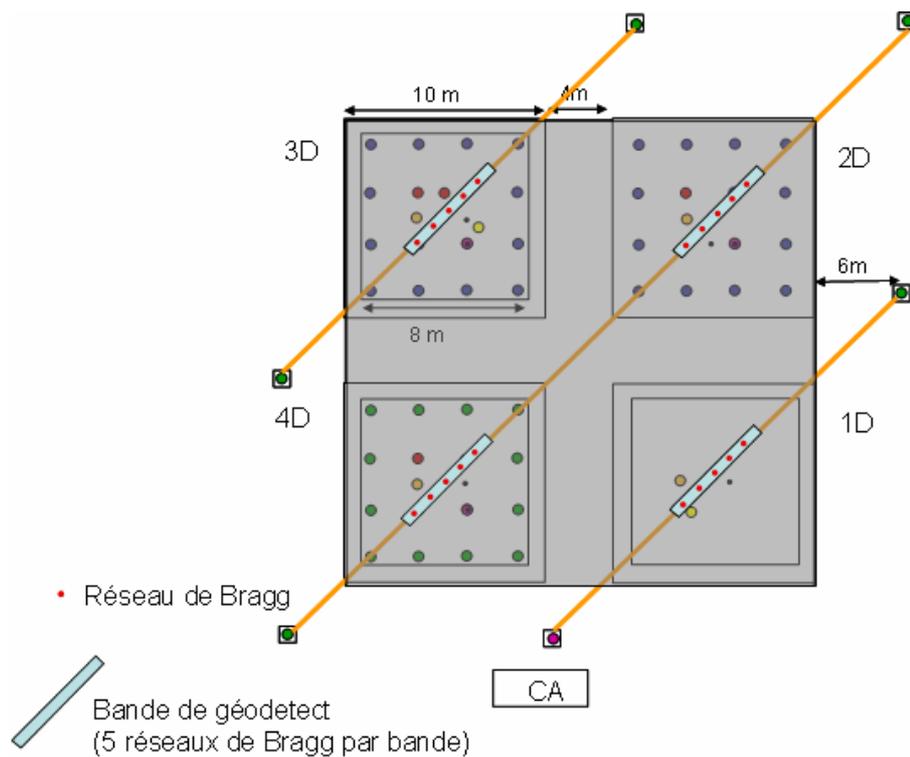


Figure 19 - Implantation des bandes de Geodetect

Ces résultats (Figures 20 à 22) mettent en évidence les déformations dans la plate-forme de transfert de charge sous le dallage pendant les différentes phases.

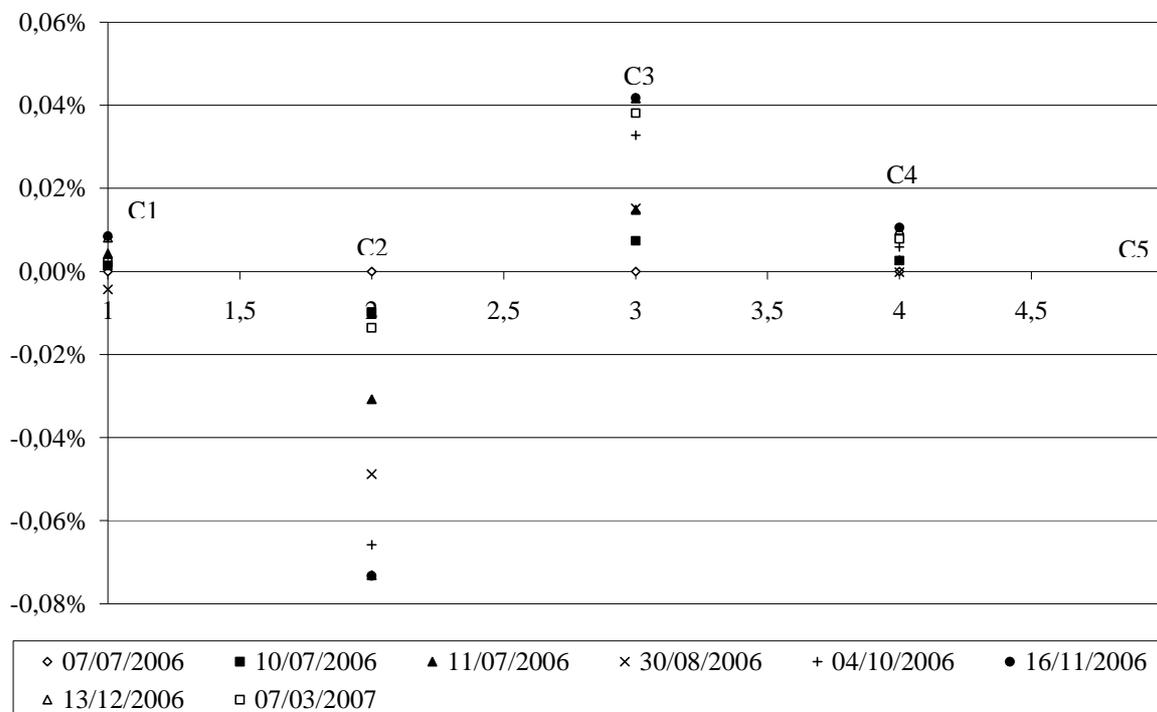


Figure 20 – Mesure de la déformation sous le dallage du plot 1D

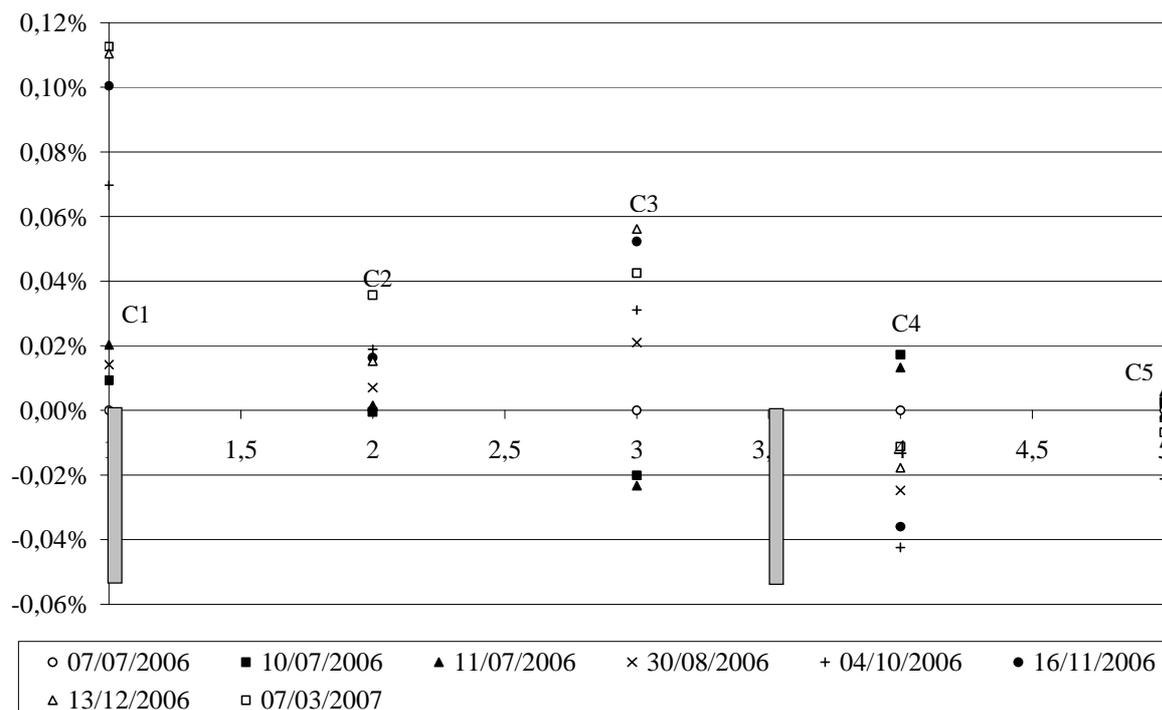


Figure 21 – Mesure de la déformation sous le dallage du plot 2D

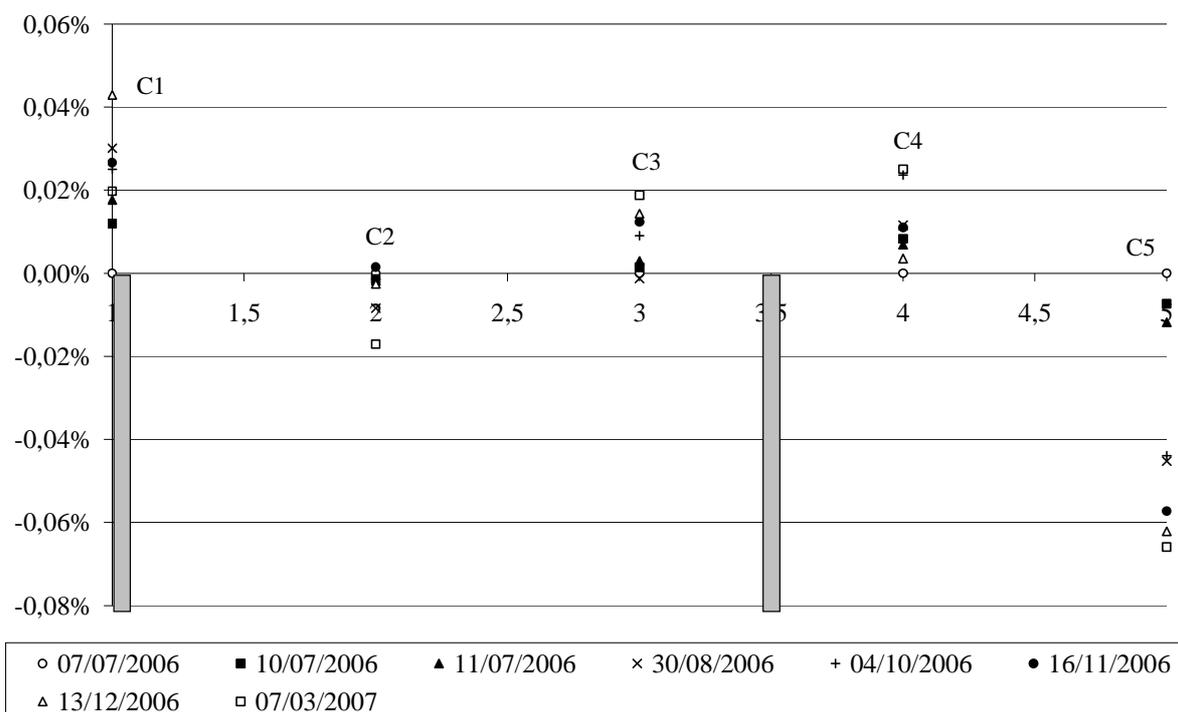


Figure 22 – Mesure de la déformation sous le dallage du plot 3D

Pour le plot 1D, certains capteurs mesurent des allongements alors que d'autres mesurent des raccourcissements.

Pour les plots renforcés par inclusions rigides, les capteurs notés C1 (situés au droit d'une inclusion rigide) s'allongent deux fois plus que les capteurs C2, C3 et C4 situés au droit du sol compressible.

Nous observons, en comparant les plots 2D et 3D, que le dallage a tendance à faire diminuer les déformations mesurées dans la plate-forme de transfert de charge ($\epsilon_{2D} = 3.\epsilon_{3D}$).

Ce type d'instrumentation très précise est très sensible à son environnement sera plus adapté au chantier expérimental de la tranche 2 pour lequel les bandes de Geodetect seront mises en place sur le géotextile de renforcement et sur les géogrilles et permettront de mesurer précisément leur déformation.

5 Correspondance entre mesures et bilan sur l'instrumentation

5.1 Tassement différentiel

Les profils de tassement mesurés par la sonde inclinométrique horizontale seront comparés aux mesures des piges tassométriques dès lors que ces dernières seront validées par les essais complémentaires qui seront effectués à la suite du retrait du remblai.

On observe, à partir des mesures de l'inclinomètre horizontal, que le tassement différentiel est supérieur pour le plot 4D par rapport aux plots 3D et 2D. Cette observation peut s'expliquer par des inclusions du plot 4R plus profondément ancrées et/ou un sol sous le plot 4D plus compressible (ce qui sera vérifié après les essais complémentaires).

5.2 Transfert de charge

5.2.1 Comparaison des mesures des CPT et des ECV

La déformation mesurée avec les extensomètres à corde vibrante pour les plots 2D, 3D et 4D permet, connaissant les contraintes mesurées avec les CPT, de calculer le module E_{exp} des inclusions rigides (Tableau IV) :

$$E_{exp} = \sigma_{CPT} / \epsilon_{ECV}$$

avec :

σ_{CPT} : contrainte mesurée par les capteurs de pression totale

ϵ_{ECV} : déformation mesurée par les extensomètres à corde vibrante

Tableau IV – Module élastique expérimental calculé pour chaque inclusion rigide instrumentée et chargée

	Plot 2D	Plot 3D	Plot 4D
Remblai 1	20 GPa	20 GPa	22,7 GPa
Remblai 2	23,3 GPa	20,8 GPa	30,5 GPa

Ce module calculé expérimentalement est sensiblement le même pour les trois inclusions rigides instrumentées et chargées. On observe que :

$$E_{exp\ moy} = E_{stat} / 1,8$$

E_{stat} étant le module statique moyen déterminé en laboratoire sur éprouvettes (Annexe 1).

Avec toutes les précautions qui s'imposent, dues au faible niveau de contrainte appliqué sur les têtes d'inclusions, nous pouvons conclure que les mesures des extensomètres à corde vibrante valident les mesures des capteurs de contrainte totale.

5.2.2 Analyse du transfert de charge du plot 3D

A partir des mesures des CPT du plot 3D, nous pouvons analyser le transfert de charge sous le dallage. En considérant une maille élémentaire carrée de 2,5m de côté, l'augmentation de la charge appliquée sur la maille est égale à :

$$\Delta Q_1 = 2,5^2.H_1.\gamma_R \text{ pour la mise en œuvre de la première couche de remblai,}$$

$$\Delta Q_2 = 2,5^2.H_2.\gamma_R \text{ pour la mise en œuvre de la seconde couche de remblai.}$$

$$\text{Avec } \gamma_R = 18 \text{ kN/m}^3, \Delta Q_1 = 168,7 \text{ kN et } \Delta Q_2 = 281,2 \text{ kN}$$

Les augmentations de contraintes mesurées par les capteurs CPT3D1 et CPT3D2 à la suite des deux chargements sont présentées dans le tableau V.

Tableau V - Augmentations de contraintes mesurées sous le dallage du plot 3D

	Remblai 1	Remblai 2
$\Delta\sigma_{\text{CPT3D1}}$ (au droit d'une inclusion) = $\Delta\sigma_{\text{ID}}$	131 kPa	330 kPa
$\Delta\sigma_{\text{CPT3D2}}$ (entre deux inclusions) = $\Delta\sigma_{\text{SD}}$	13 kPa	29 kPa

L'augmentation de charge ΔQ doit être reprise à la fois par l'inclusion rigide et par le sol de la maille considérée, on a donc :

$$\Delta Q_1 = \Delta\sigma_{\text{ID1}} \cdot S_1 + \Delta\sigma_{\text{SD1}} \cdot S_s \text{ or } \Delta\sigma_{\text{ID1}} \cdot S_1 + \Delta\sigma_{\text{SD1}} \cdot S_s = 97,6 < \Delta Q_1 (=168,7 \text{ kN})$$

Et

$$\Delta Q_2 = \Delta\sigma_{\text{ID2}} \cdot S_1 + \Delta\sigma_{\text{SD2}} \cdot S_s \text{ or } \Delta\sigma_{\text{ID2}} \cdot S_1 + \Delta\sigma_{\text{SD2}} \cdot S_s = 222,89 < \Delta Q_2 (=281,2 \text{ kN})$$

Les mesures montrent que le sol et l'inclusion ne reprennent pas la totalité de la charge. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées pour expliquer cette observation :

- la contrainte qui s'applique sur le sol n'est pas homogène et la mesure du capteur CPT3D2 n'est pas représentative de la contrainte moyenne qui s'applique sur le sol,
- les caractéristiques du sol autour de l'IR sont augmentées par la méthode de mise en œuvre et il faut considérer un diamètre supérieur à celui de l'inclusion pour calculer la section qui reprend la charge mesurée par le capteur CPT3D1,
- le capteur CPT3D1 mesure une contrainte sous le dallage (à une distance de 50 cm de la tête de l'inclusion rigide), des surfaces de cisaillement dans la plate-forme de transfert de charge peuvent se développer augmentant la surface d'appui sous le dallage au droit de l'inclusion rigide,
- le complexe « plate-forme / dallage » se comporte comme un radier et une partie de la charge est reportée sur les bords du plot.

On observe qu'à la suite de la mise en œuvre du remblai 1 et avant celle du remblai 2, le capteur CPT3D1 mesure une diminution de contrainte $\delta\sigma_{\text{D1}} = 45,5 \text{ kPa}$, le capteur CPT3D2 mesure une augmentation de contrainte $\delta\sigma_{\text{D2}} = 3 \text{ kPa}$. Ces variations peuvent être attribuées à un enfoncement de l'inclusion rigide qui n'est pas ancrée (la topo des têtes d'inclusion qui sera faite à la suite du retrait du remblai comparée aux mesures des piges tassométriques permettra de vérifier cette hypothèse).

Les variations de charge devraient là encore se répartir entre le sol et l'inclusion rigide, soit :

$$\delta\sigma_{\text{D1}} \cdot S_1 = \delta\sigma_{\text{D2}} \cdot S_s \quad \text{or} \quad 45,5 \cdot S_1 = 6,3 \text{ kN} < 3 \cdot S_s = 18,3 \text{ kN}$$

Les observations des mesures réalisées entre les deux chargements confirment que l'on ne peut pas, sans hypothèse complémentaire, expliquer le transfert de charge uniquement à partir des mesures des deux capteurs CPT3D1 et CPT3D2.

5.2.3 Analyse du transfert de charge des deux dallages renforcés

Connaissant la charge appliquée sur chaque plot, à partir des mesures des capteurs de pression totale positionnés sur les inclusions rigides, on peut estimer la surface équivalente au niveau de la dalle qui s'appuie sur les inclusions rigides (Figure 23)

$$\gamma H \cdot S_{\text{Dequ}} = \sigma_I \cdot S_I$$

$$\text{D'où } R_{\text{Dequ}} = \sqrt{\frac{\sigma_I \cdot R_I^2}{\gamma \cdot H}}$$

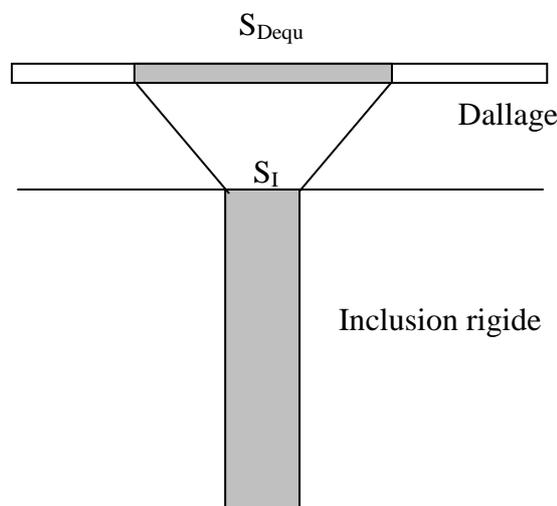


Figure 23 – Surface équivalente S_{Dequ} du dallage reposant sur une inclusion rigide

Le rayon de la surface équivalente du dallage reposant sur une inclusion rigide permet de calculer le taux de recouvrement équivalent au niveau du dallage (Tableau VI). Le taux de recouvrement α au niveau des têtes d'inclusions étant de 2%, on observe une significative augmentation de ce taux calculé au niveau du dallage pour le plot 4D. Les hypothèses évoquées au paragraphe 5.2.2 peuvent là encore expliquer que le taux de recouvrement équivalent du plot 3D est inférieur à celui du 4D.

Ces valeurs sont sans doute sous estimées, notamment si on considère qu'un possible « effet radier » diminue la charge appliquée sur les inclusions de la maille centrale des deux plots considérés.

Tableau VI – Rayon de la surface équivalente du dallage reposant sur une inclusion rigide et taux de recouvrement équivalent au niveau du dallage pour le remblai de 4m

	Plot 3D	Plot 4D
R_{Dequ}	0,49	1,03
α_{Dequ}	12%	53%

5.3 Bilan sur l'instrumentation

Au cours de cette instrumentation, nous avons observé que certains capteurs utilisés se prêtaient plus ou moins bien à ce chantier expérimental.

Les mesures de tassement à partir du suivi des piges tassométriques sont très dépendantes de la mise en œuvre du remblai.

L'utilisation des tassomètres magnétiques en forage n'était pas très adaptée au terrain très hétérogène et à la précision des mesures attendue. Une bague magnétique aurait dû être mise en place au niveau de la base de la plate-forme de transfert de charge pour comparer le tassement mesuré par les différents types de capteurs (piges tassométriques, inclinomètres horizontaux et tassomètres magnétiques en forage).

Les mesures réalisées avec l'inclinomètre horizontal sont fastidieuses mais permettent d'obtenir des résultats très satisfaisants en termes de répétabilité et de précision.

Les capteurs de pression totale et les capteurs de pression interstitielle ont donné complète satisfaction. Les mesures des extensomètres à corde vibrante ont par contre été difficiles à analyser. Un capteur de pression totale aurait pu être mis en place sur le dallage du plot 1D pour mesurer le poids du remblai et déterminer indirectement sa densité. Et d'une manière générale, nous aurions dû utiliser plus de capteurs de pression totale pour mesurer plus finement la répartition de la contrainte sur le sol. L'ensemble des mesures permettent cependant d'identifier clairement la part de la contrainte reprise par les inclusions rigides de chaque plot et le tassement différentiel entre inclusions rigides et sol.

L'instrumentation de la tranche 2 (renforcement par inclusions rigides sous remblai) sera conçue à partir de l'expérience acquise sur le chantier expérimental de Saint-Ouen l'Aumône. Notamment, les dispositifs instrumentaux traversant le remblai (piges tassométriques, inclinomètres horizontaux et tassomètres magnétiques en forage) et nécessitant une intervention humaine seront remplacés par des capteurs noyés dans le sol connectés à une centrale d'acquisition et donnant une valeur ponctuelle du tassement.

Il serait aussi souhaitable d'éviter les intervenants extérieurs au projet national (particulièrement pour les phases de remblaiement) afin de mieux maîtriser les équipes présentes sur le chantier et éviter ainsi des problèmes rencontrés sur le chantier expérimental de Saint Ouen l'Aumône (casse de tubes inclinométriques, stockage de sol sur les plots instrumentaux des tubes inclinométriques, mise en œuvre du remblai sans précaution particulière...). Enfin, il faudra limiter le nombre d'intervenants, en effet, ces chantiers faisant l'objet de don en nature important de la part des partenaires du projet, il est difficile d'imposer des dates d'intervention précises et cela se complique lorsque les intervenants sont trop nombreux.

6 Suite du chantier expérimental

Le remblai doit être retiré au cours de l'année 2007. A la suite de son retrait, des essais complémentaires seront réalisés sur les plots expérimentaux :

- sondages carottés ou pénétromètres statiques au centre de chaque plot afin de caractériser avec précision la nature du sol compressible et sa profondeur,
- essais d'impédance sur les inclusions des mailles centrales de chaque plot,
- dégagement de quelques têtes d'inclusions rigides,
- dégagement des tubes des tassomètres magnétiques en forage,
- essais à la dynaplaque sur la plate-forme de transfert de charge,
- mesures de la densité de la plate-forme de transfert de charge,
- topo des piges tassométriques,
- topo des têtes d'inclusions.

Les capteurs de pression totale et les bandes de Geodetect seront récupérés.

Ces essais complémentaires permettront de définir un modèle de sol pertinent pour la modélisation, de définir les caractéristiques de la plate-forme de transfert de charge, de déterminer le niveau d'ancrage des inclusions rigides et de contrôler a posteriori la justesse de certaines mesures.

Un rapport complémentaire sera rédigé à la suite des ces essais.

Annexe 1

DOSSIER 06.2.078

**PN ASIRI :
ESSAIS COMPLEMENTAIRES
RELATIFS A L'EXPLOITATION DES
DONNEES**

IREX

Rapport d'essais

1. OBJET DE LA MISSION

Dans le cadre du PN ASIRI, en sus de la mise à disposition d'une centrale d'acquisition de données par Rincet BTP Services recherche expertise, il a été effectué divers essais sur inclusions rigides visant à préciser les exploitations des données acquises. Ces essais comportaient la réalisation :

- d'essais en laboratoire sur carottes
- d'essais d'impédance mécanique

2. ESSAIS EN LABORATOIRE

Il a été pratiqué les essais suivants, après préparation des surfaces :

- mesure du module d'Young dynamique et de la vitesse du son,
- mesure de la résistance à la compression avec surfaçage,

2.1 mesure du module d'Young dynamique et de la vitesse du son

Le module d'Young dynamique (E_{dyn}) est calculé par corrélation, en fonction de la masse volumique (ρ) et de la vitesse du son c , selon la relation suivante :

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

Les résultats obtenus sont indiqués en tableau 1 et 2 ci-après :

numéro d'échantillon	L après surfaçage (mm)	temps de propagation (μs)	masse vol. (*) kg/m^3	v son (m/s)	E dyn (Mpa)	E stat (**) (Mpa)	
IR avec refoulement 1	320,0	71,0	2277	4507	46250	37000	
IR avec refoulement 2	320,0	70,2	2246	4558	46671	37337	
IR avec refoulement 3	320,0	71,1	2259	4501	45761	36609	
IR avec refoulement 4	320,0	70,9	2221	4513	45234	36188	
IR avec refoulement 5	320,0	69,7	2234	4591	47090	37672	
IR avec refoulement 6	320,0	71,8	2077	4457	41258	33006	
IR sans refoulement 1	320,0	72,4	2302	4420	44970	35976	
IR sans refoulement 2	320,0	70,2	2307	4558	47943	38354	
IR sans refoulement 3	320,0	71,0	2307	4507	46859	37487	
				<i>moyenne :</i>	4513	45782	36626
				<i>écart-type :</i>	53	1936	1549

Tableau 1 : mesure de la vitesse de propagation des ondes acoustiques et du module d'Young dynamique sur les échantillons d'inclusions rigides

numéro d'échantillon	L après surfaçage (mm)	temps de propagation (μ s)	masse vol. (*) kg/m^3	v son (m/s)	E dyn (Mpa)	E stat (**) (Mpa)	
1	320,0	69,0	2320	4638	49889	39911	
2	320,0	70,0	2321	4571	48500	38800	
3	320,0	71,8	2322	4457	46127	36901	
4	320,0	70,8	2319	4520	47382	37905	
5	320,0	68,9	2326	4644	50165	40132	
<i>moyenne :</i>					4566	48412	38730
<i>écart-type :</i>					80	1699	1359

Tableau 2 : mesure de la vitesse de propagation des ondes acoustiques et du module d'Young dynamique sur les échantillons provenant du dallage

(*) : la masse volumique indiquée correspond à une mesure apparente effectuée sur les carottes utilisées pour les essais à la compression simple.

Compte-tenu de la fréquence des transducteurs utilisés, le module d'Young statique à considérer est égal à $0,8 \times E_{\text{dynamique}}$

2.2 Mesures de résistance à la compression

Les carottes utilisées pour ces essais ont fait l'objet d'un sciage et d'un surfaçage préalable à la mesure de R_c . Les tableaux ci-dessous fournissent les résultats obtenus.

Ref. carotte	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)	Elancement (H/D)	Poids (g)	Effort de rupture (kN)	R_c brute (Mpa)
IR avec refoulement 1	16	32	2	14649	695,6	34,8
IR avec refoulement 2	16	32	2	14451	582,6	29,1
IR avec refoulement 3	16	32	2	14535	626,7	31,3
IR avec refoulement 4	16	32	2	14287	680,0	34,0
IR avec refoulement 5	16	32	2	14374	640,9	32,0
IR avec refoulement 6	16	32	2	13364	548,1	27,4
IR sans refoulement 1	16	32	2	14811	517,9	25,9

IR sans refoulement 2	16	32	2	14845	548,1	27,4
IR sans refoulement 3	16	32	2	14842	552,7	27,6
<i>moyenne</i>						29,9
<i>Ecart-type</i>						3,2

Tableau 3 : mesure des résistances à la compression sur les échantillons d'inclusions rigides

Ref. carotte	Diamètre (cm)	Hauteur (cm)	Elancement (H/D)	Poids (g)	Effort de rupture (kN)	R_c brute (Mpa)
1	16	32	2	14924	562	28,0
2	16	32	2	14932	530	26,4
3	16	32	2	14941	541	26,9
4	16	32	2	14923	557	27,7
5	16	32	2	14963	571	28,4
<i>moyenne</i>						27,6
<i>écart-type</i>						0,9

Tableau 4 : mesure des résistances à la compression sur les échantillons provenant du dallage

3. ESSAIS D'IMPEDANCE MECANIQUE

Les essais d'impédance mécanique avaient pour objet de s'assurer de la longueur et de la continuité de certaines inclusions rigides. Ces essais ont été effectués sur les inclusions suivantes :

4D6 – 4D11 – 2D14 – 2D12 – 2D27 – 3D6 – 3D4 – 3D21 – 3D19

Les résultats sont fournis ci-après, la numérotation correspond à celle du PN ASIRI.

D. DUROT

Ingénieur

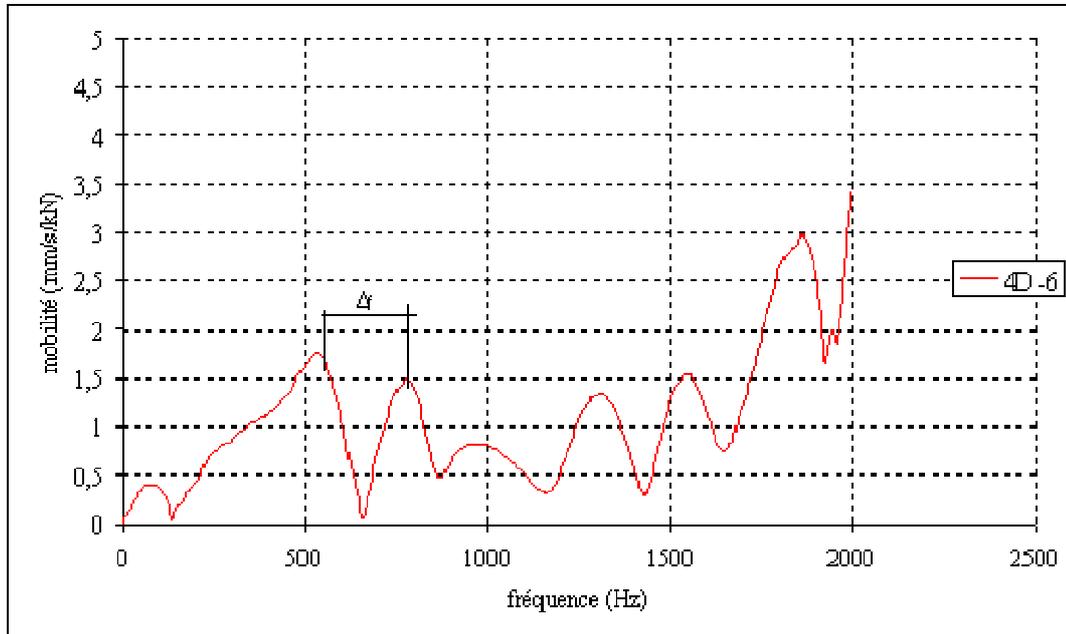
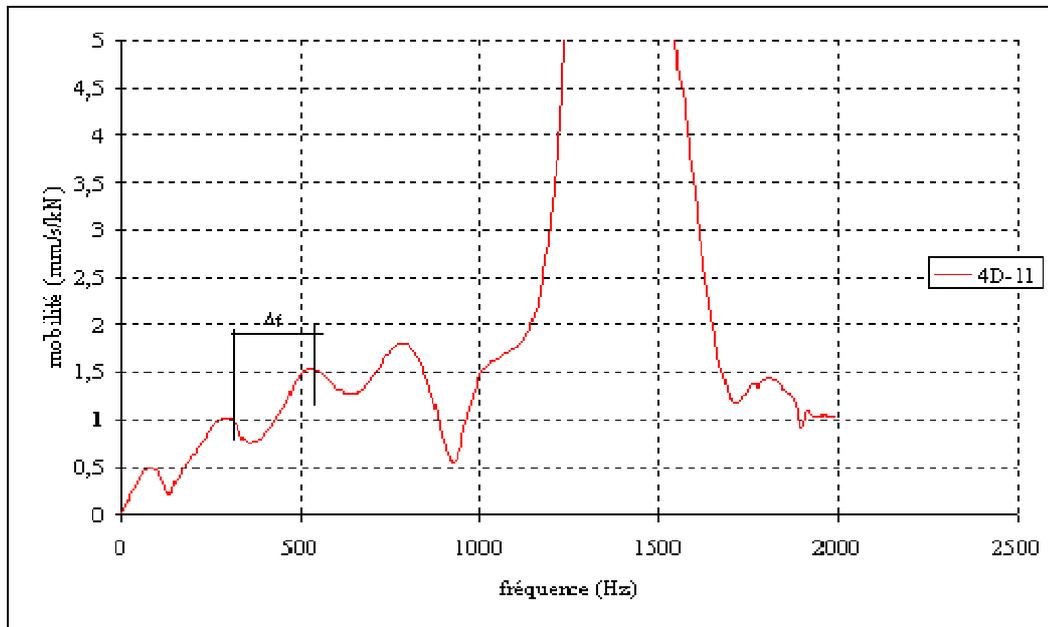
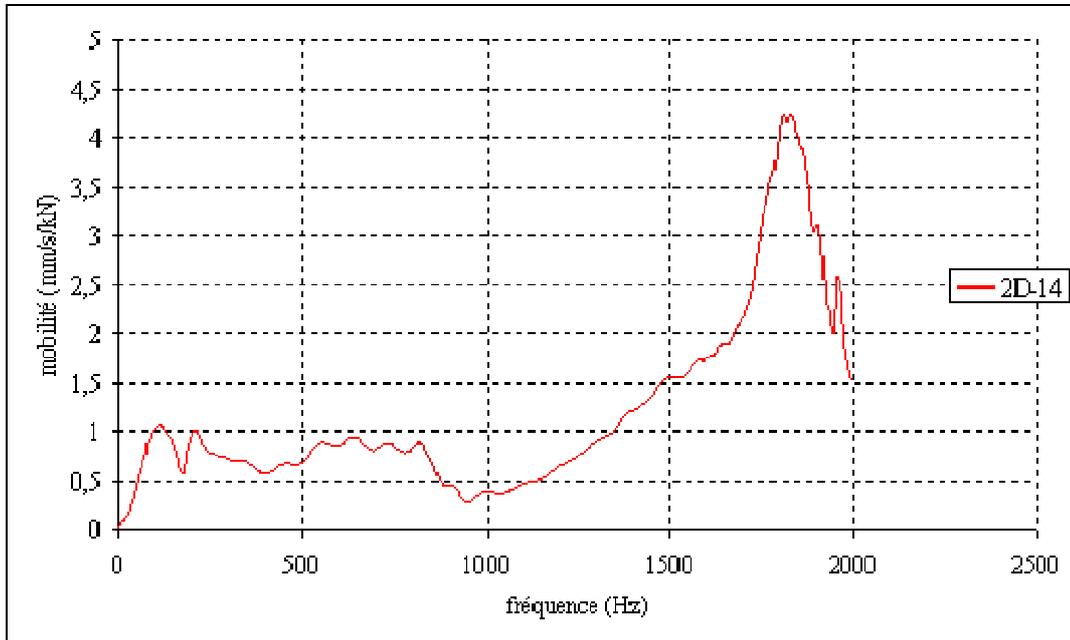


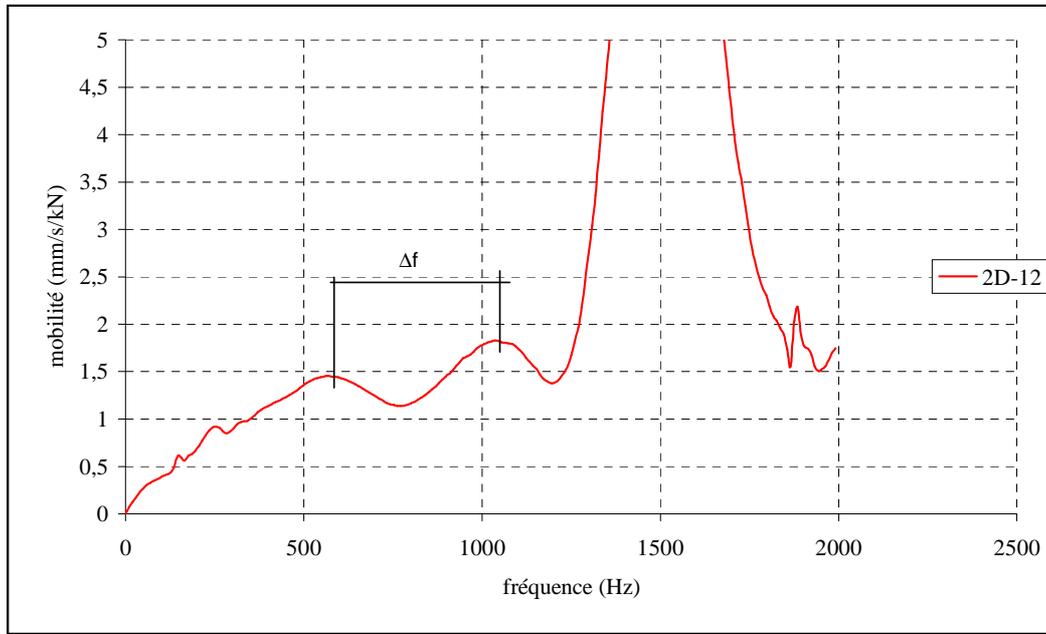
Figure 4D-6		
	delta f mesuré:	244 Hz
Longueur	pour v =3500 m/s	pour v =4200 m/s
mesurée (m)	7,2	8,2
théorique (m)	8,17	
mobilité moyenne de 100 à 1000 Hz (m.m/s/kN):		0,92
diamètre moyen théorique (m):		0,42
diamètre moyen mini mesuré:		0,38 m
(avec v=4000 m/s et ρ=2400 kg/m ³)		
diamètre moyen max mesuré :		0,45 m
(avec v=3500 m/s et ρ=2000 kg/m ³)		
commentaire :		
pas d'anomalie visible		



Pieu n° 4D-11		
	delta f mesuré:	245 Hz
Longueur	pour $v = 3500 \text{ m/s}$	pour $v = 4200 \text{ m/s}$
mesurée (m)	7,1	8,2
théorique (m)	8,01	
mobilité moyenne de 100 à 1000 Hz (mm/s/kN):		1,12
diamètre moyen théorique (m):		0,42
diamètre moyen mini mesuré:		0,34 m
(avec $v = 4000 \text{ m/s}$ et $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$)		
diamètre moyen maxi mesuré :		0,40 m
(avec $v = 3500 \text{ m/s}$ et $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$)		
commentaire:		
pas d'anomalie visible		

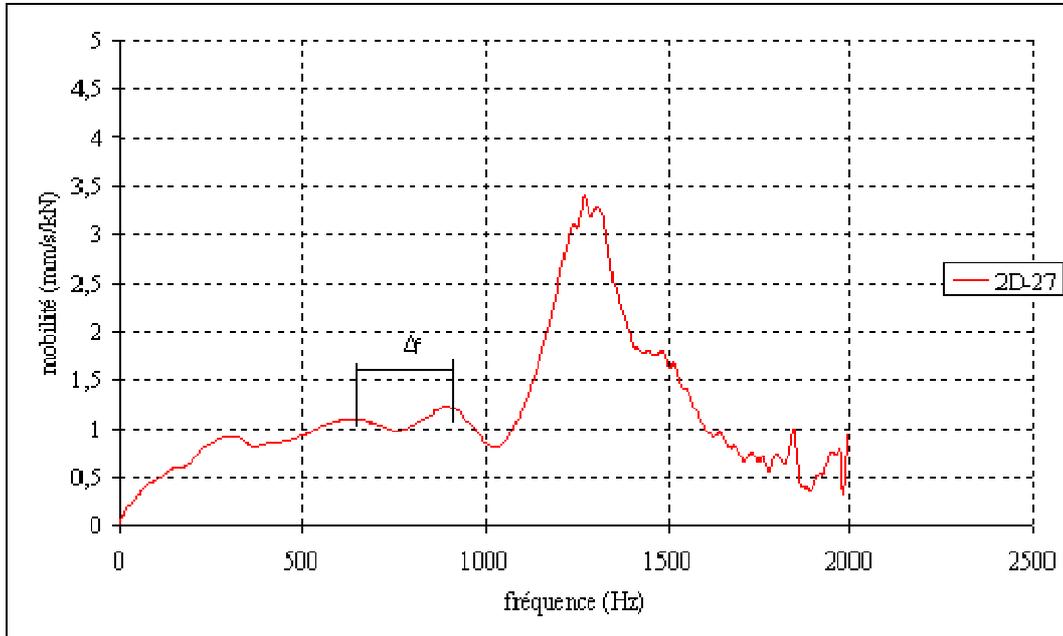


Pieu n° 2D-14	
	delta f mesuré: Hz
Longueur	pour v =3500 m/s pour v=4200 m/s
mesurée (m)	
théorique (m)	7,2
mobilité moyenne de 100 à 1000 Hz (mm/s/kN):	0,73
diamètre moyen théorique (m):	0,42
diamètre moyen mini mesuré:	0,43 m
(avec v=4000 m/s et $\rho=2400 \text{ kg/m}^3$)	
diamètre moyen maxi mesuré :	0,50 m
(avec v=3500 m/s et $\rho=2000 \text{ kg/m}^3$)	
commentaire:	fond de pieu non visible

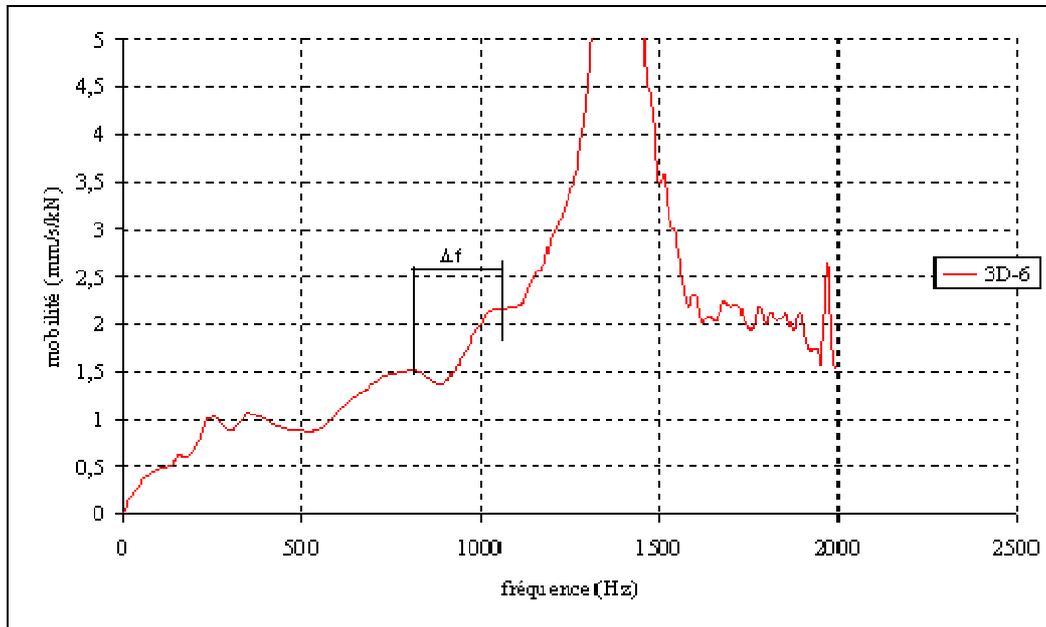


Pieu n° 2D-12		
	delta f mesuré:	468 Hz
Longueur	pour v =3500 m/s	pour v =4200 m/s
mesurée (m)	3,7	4,3
théorique (m)	7,04	
mobilité moyenne de 100 à 1000 Hz (mm/s/kN):		1,18
diamètre moyen théorique (m):		0,42
diamètre moyen mini mesuré:		0,34 m
(avec v=4000 m/s et $\rho =2400 \text{ kg/m}^3$)		
diamètre moyen maxi mesuré :		0,39 m
(avec v=3500 m/s et $\rho =2000 \text{ kg/m}^3$)		
commentaire:		
fond de pieu non visible		

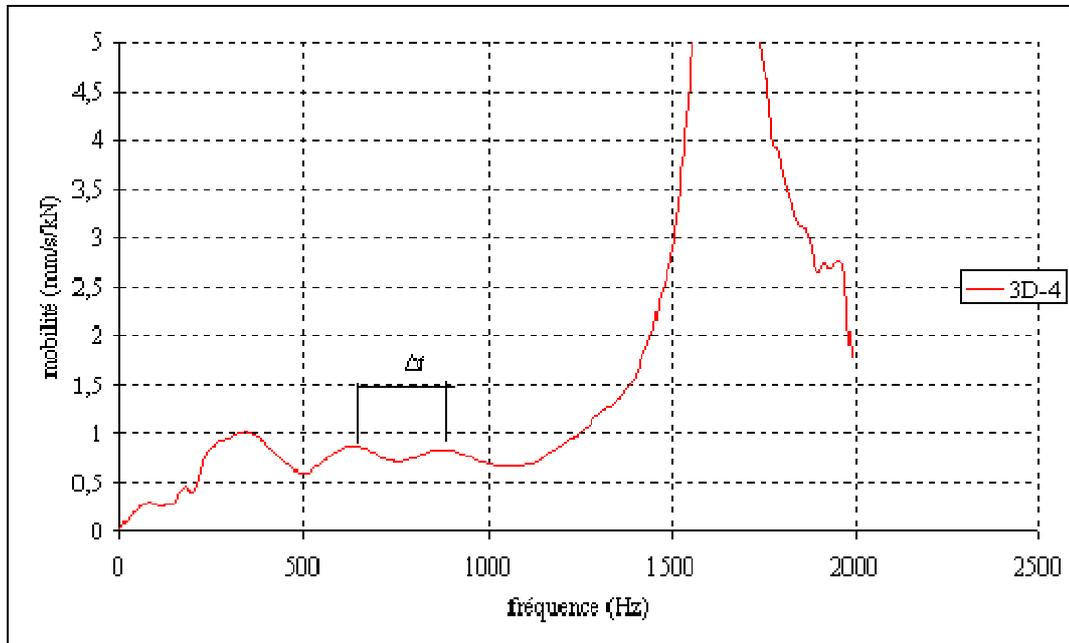
6.1.1.1.1.1.1



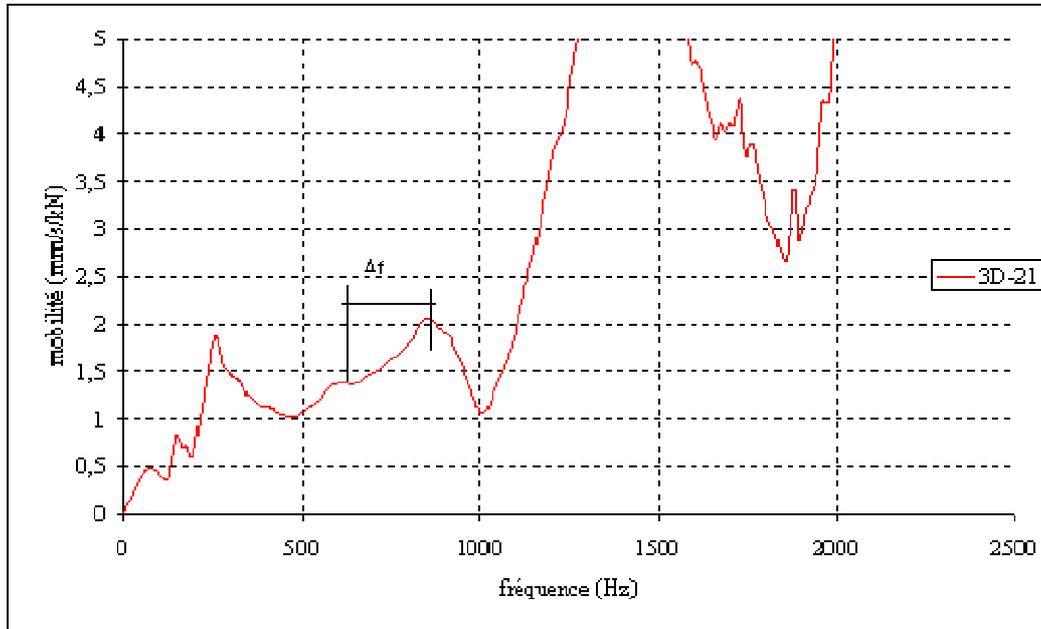
Pieu n° 2D-27		
	delta f mesuré:	273 Hz
Longueur	pour v = 3500 m/s	pour v = 4200 m/s
mesurée (m)	6,4	7,3
théorique (m)	6,64	
mobilité moyenne de 100 à 1000 Hz (mm/s/kN):		0,93
diamètre moyen théorique (m):		0,42
diamètre moyen mini mesuré:		0,38 m
(avec v=4000 m/s et $\rho=2400 \text{ kg/m}^3$)		
diamètre moyen maxi mesuré :		0,44 m
(avec v=3500 m/s et $\rho=2000 \text{ kg/m}^3$)		
commentaire:		
pas d'anomalie visible		



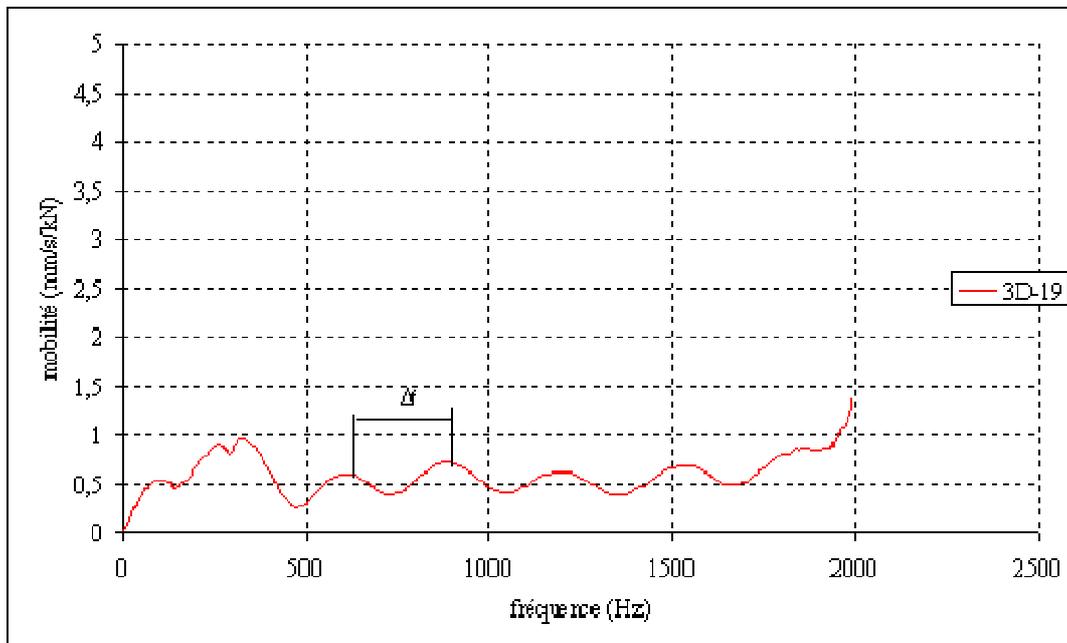
Pieu n° 3D-6		
	delta f mesuré:	274 Hz
Longueur	pour $v=3500$ m/s	pour $v=4200$ m/s
mesurée (m)	6,4	7,3
théorique (m)	6,8	
mobilité moyenne de 100 à 1000 Hz (mm/s/kN):		1,14
diamètre moyen théorique (m):		0,42
diamètre moyen mini mesuré:		0,34 m
(avec $v=4000$ m/s et $\rho = 2400$ kg/m ³)		
diamètre moyen maxi mesuré:		0,40 m
(avec $v=3500$ m/s et $\rho = 2000$ kg/m ³)		
commentaire:		
pas d'anomalie visible		



Piezo n° 3D-4		
	delta f mesuré:	254 Hz
Longueur	pour v=3500 m/s	pour v=4200 m/s
mesurée (m)	6,9	7,9
théorique (m)	6,64	
mobilité moyenne de 100 à 1000 Hz (mm/s/kN):		0,73
diamètre moyen théorique (m):		0,42
diamètre moyen mini mesuré:		0,42 m
(avec v=4000 m/s et $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$)		
diamètre moyen maxi mesuré :		0,50 m
(avec v=3500 m/s et $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$)		
commentaire:		
pas d'anomalie visible		

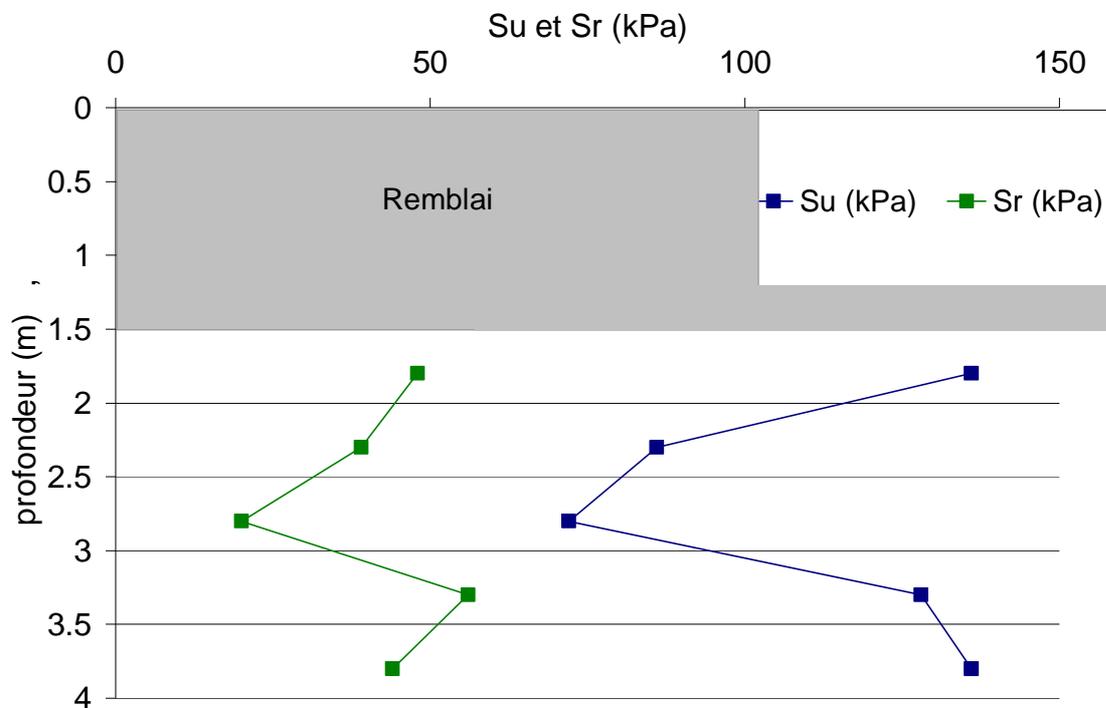


Pieu n° 3D-21		
	delta f mesuré:	260 Hz
Longueur	pour $v = 3500 \text{ m/s}$	pour $v = 4200 \text{ m/s}$
mesurée (m)	6,7	7,7
théorique (m)	6,32	
mobilité moyenne de 100 à 1000 Hz (mm/s/kN):		1,35
diamètre moyen théorique (m):		0,42
diamètre moyen mini mesuré:		0,31 m
(avec $v=4000 \text{ m/s}$ et $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$)		
diamètre moyen maxi mesuré:		0,37 m
(avec $v=3500 \text{ m/s}$ et $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$)		
commentaire:		
pas d'anomalie visible		



Pieu n° 3D-19		
	delta f mesuré:	274 Hz
Longueur	pour $v=3500$ m/s	pour $v=4200$ m/s
mesurée (m)	6,4	7,3
théorique (m)	6,56	
mobilité moyenne de 100 à 1000 Hz (mm/s/kN):		0,59
diamètre moyen théorique (m):		0,42
diamètre moyen mini mesuré:		0,48 m
(avec $v=4000$ m/s et $\rho=2400$ kg/m ³)		
diamètre moyen maxi mesuré:		0,56 m
(avec $v=3500$ m/s et $\rho=2000$ kg/m ³)		
commentaire:		
pas d'anomalie visible		

Essai scissométrique S1



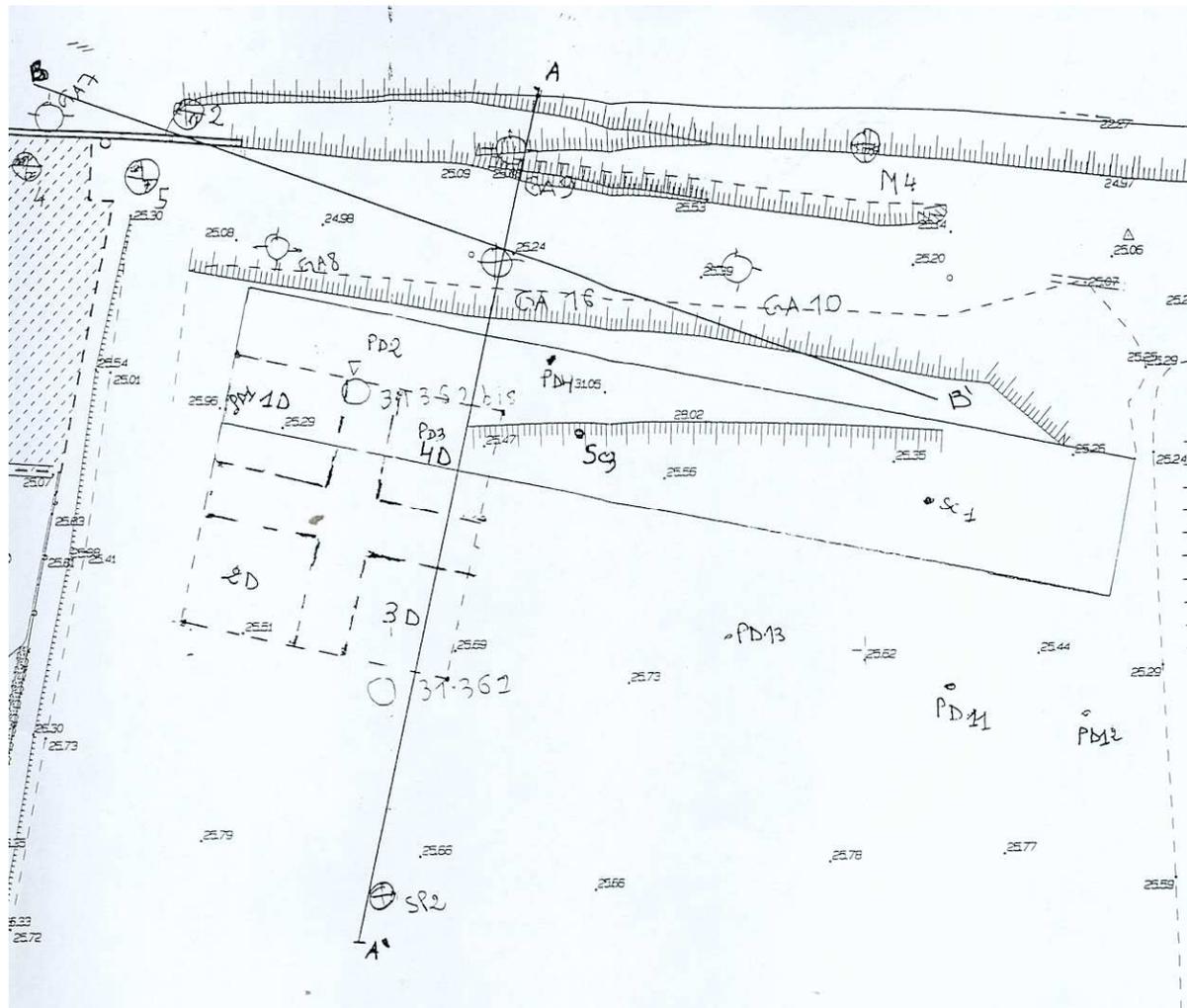
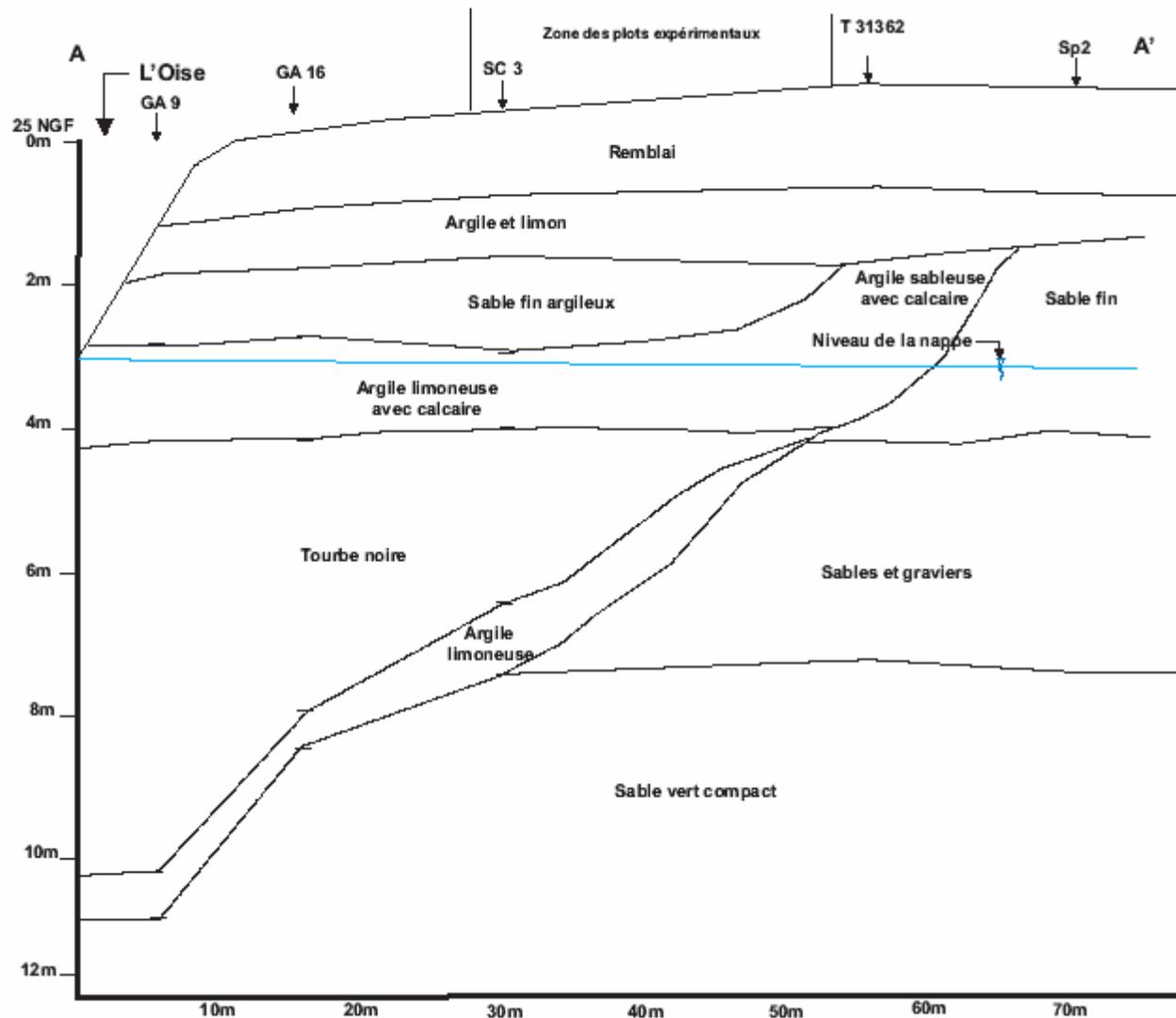
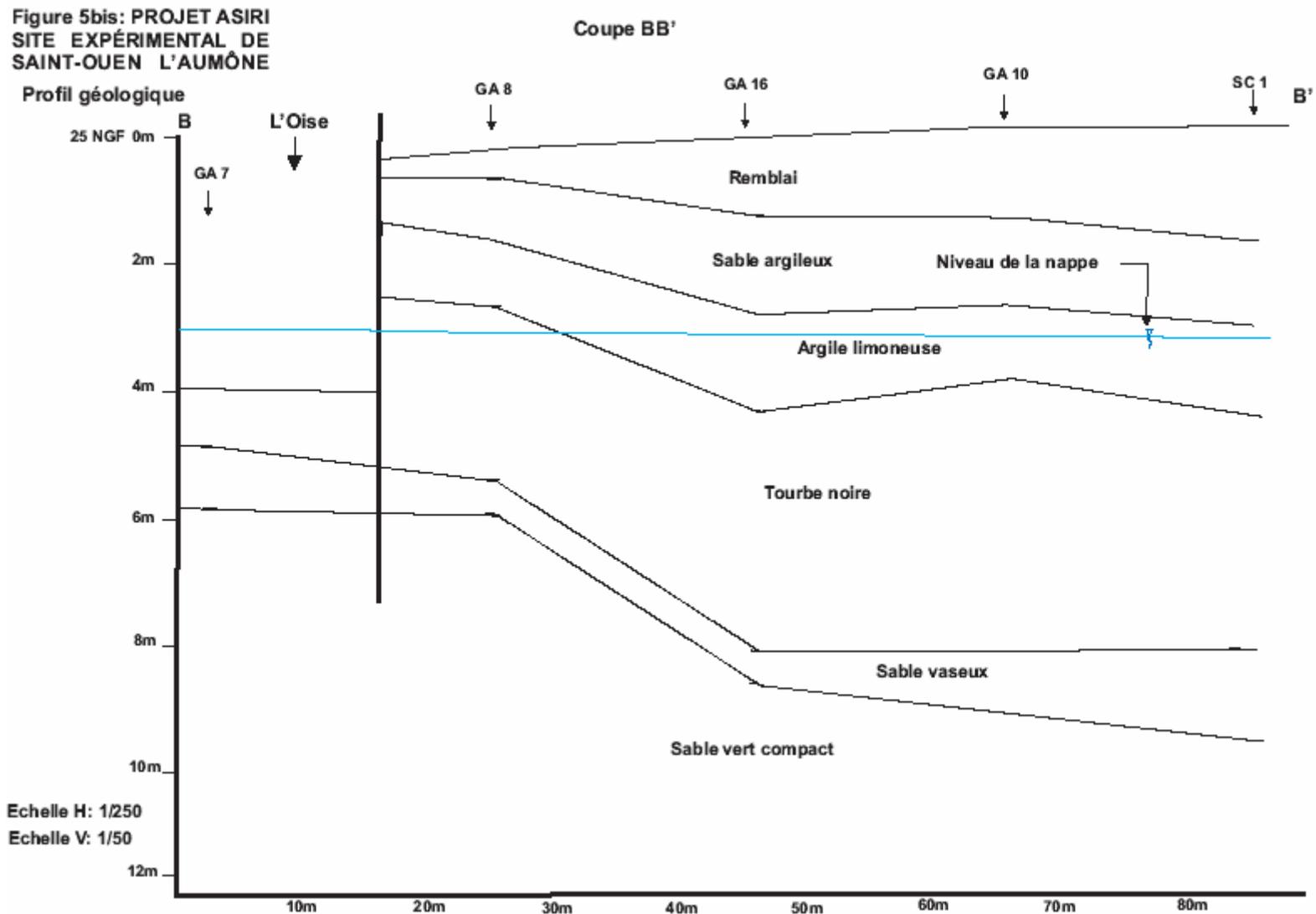


Figure 5 : PROJET ASIRI
SITE EXPÉRIMENTAL DE
SAIT-OUEN L'AUMÔNE

Profil géologique
Coupe AA'

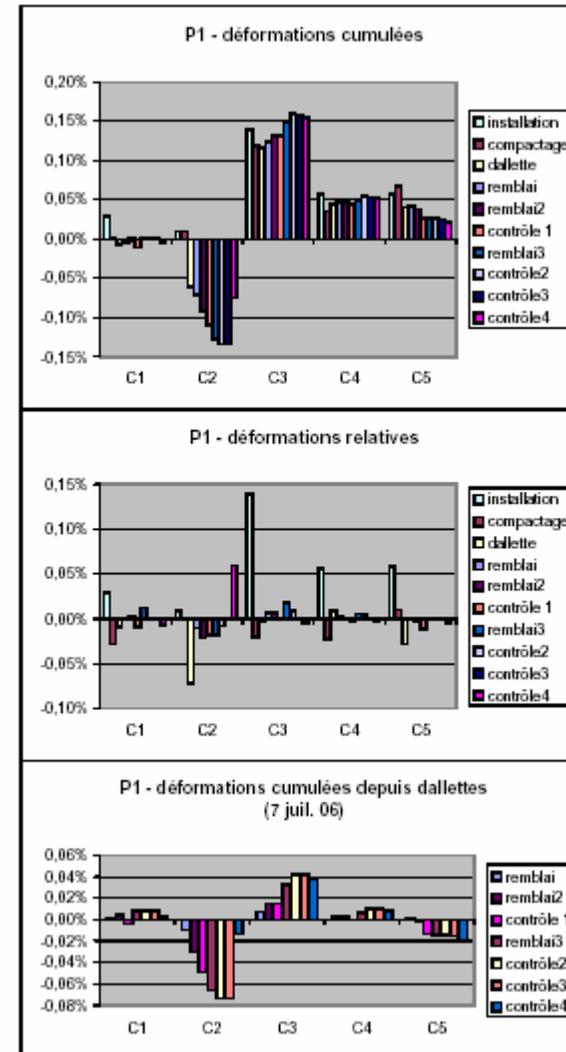


Echelle H: 1/250
Echelle V: 1/50

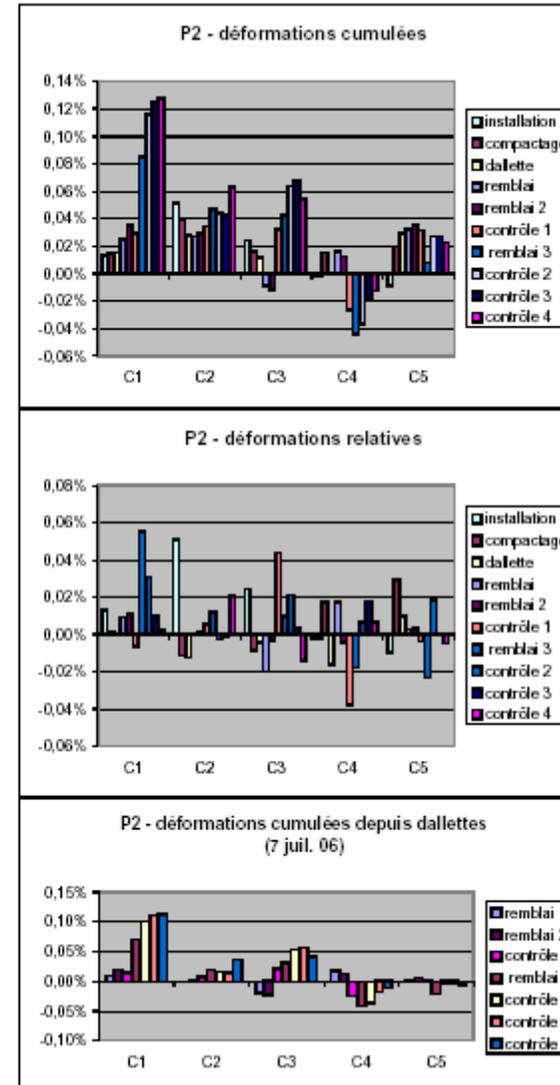


Annexe 3

P1 SN05121601		C1	C2	C3	C4	C5
usine		1529,969	1534,966	1539,66	1544,687	1549,655
installation	16/06/2006	1530,324	1535,085	1541,34	1545,372	1550,351
compactage	20/06/2006	1529,997	1535,088	1541,096	1545,11	1550,473
dallette	07/07/2006	1529,895	1534,233	1541,071	1545,219	1550,143
remblai	10/07/2006	1529,912	1534,115	1541,16	1545,25	1550,155
remblai2	11/07/2006	1529,947	1533,863	1541,25	1545,252	1550,12
contrôle 1	30/08/2006	1529,843	1533,645	1541,254	1545,217	1549,962
remblai3	04/10/2006	1529,995	1533,44	1541,466	1545,29	1549,972
contrôle2	16/11/2006	1529,997	1533,35	1541,574	1545,346	1549,974
contrôle3	13/12/2006	1529,993	1533,352	1541,573	1545,339	1549,961
contrôle4	07/03/2007	1529,921	1534,069	1541,53	1545,313	1549,909
déformations cumulées						
usine		0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
installation	16/06/2006	0,029%	0,010%	0,139%	0,057%	0,058%
compactage	20/06/2006	0,002%	0,010%	0,119%	0,035%	0,068%
dallette	07/07/2006	-0,006%	-0,061%	0,117%	0,044%	0,041%
remblai	10/07/2006	-0,005%	-0,071%	0,125%	0,047%	0,042%
remblai2	11/07/2006	-0,002%	-0,092%	0,132%	0,047%	0,039%
contrôle 1	30/08/2006	-0,010%	-0,110%	0,132%	0,044%	0,027%
remblai3	04/10/2006	0,002%	-0,127%	0,150%	0,050%	0,026%
contrôle2	16/11/2006	0,002%	-0,134%	0,159%	0,055%	0,026%
contrôle3	13/12/2006	0,002%	-0,134%	0,159%	0,054%	0,025%
contrôle4	07/03/2007	-0,004%	-0,074%	0,155%	0,052%	0,021%
déformations relatives						
installation	16/06/2006	0,029%	0,010%	0,139%	0,057%	0,058%
compactage	20/06/2006	-0,027%	0,000%	-0,020%	-0,022%	0,010%
dallette	07/07/2006	-0,008%	-0,071%	-0,002%	0,009%	-0,027%
remblai	10/07/2006	0,001%	-0,010%	0,007%	0,003%	0,001%
remblai2	11/07/2006	0,003%	-0,021%	0,007%	0,000%	-0,003%
contrôle 1	30/08/2006	-0,009%	-0,018%	0,000%	-0,003%	-0,011%
remblai3	04/10/2006	0,013%	-0,017%	0,018%	0,006%	-0,001%
contrôle2	16/11/2006	0,000%	-0,007%	0,009%	0,005%	0,000%
contrôle3	13/12/2006	0,000%	0,000%	0,000%	-0,001%	-0,001%
contrôle4	07/03/2007	-0,006%	0,000%	-0,004%	-0,002%	-0,004%
déformations cumulées depuis dallettes						
dallette	07/07/2006	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
remblai	10/07/2006	0,001%	-0,010%	0,007%	0,003%	0,001%
remblai2	11/07/2006	0,004%	-0,031%	0,015%	0,003%	-0,002%
contrôle 1	30/08/2006	-0,004%	-0,049%	0,015%	0,000%	-0,013%
remblai3	04/10/2006	0,008%	-0,066%	0,033%	0,006%	-0,014%
contrôle2	16/11/2006	0,008%	-0,073%	0,042%	0,011%	-0,014%
contrôle3	13/12/2006	0,008%	-0,073%	0,042%	0,010%	-0,015%
contrôle4	07/03/2007	0,002%	-0,014%	0,038%	0,008%	-0,019%



P2		SN05121604				
		C1	C2	C3	C4	C5
usine		1529,92	1534,626	1539,224	1544,064	1549,173
installation	16/06/2006	1530,075	1535,242	1539,517	1544,037	1549,059
compactage	20/06/2006	1530,097	1535,109	1539,415	1544,248	1549,411
dallette	07/07/2006	1530,103	1534,958	1539,364	1544,05	1549,528
remblai	10/07/2006	1530,215	1534,952	1539,122	1544,258	1549,561
remblai 2	11/07/2006	1530,348	1534,976	1539,083	1544,21	1549,599
contrôle 1	30/08/2006	1530,274	1535,043	1539,617	1543,752	1549,555
remblai 3	04/10/2006	1530,943	1535,186	1539,738	1543,539	1549,272
contrôle 2	16/11/2006	1531,313	1535,155	1539,994	1543,616	1549,499
contrôle 3	13/12/2006	1531,434	1535,142	1540,041	1543,836	1549,502
contrôle 4	07/03/2007	1531,46	1535,388	1539,876	1543,915	1549,446
déformations cumulées						
		C1	C2	C3	C4	C5
usine		0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
installation	16/06/2006	0,013%	0,061%	0,024%	-0,002%	-0,009%
compactage	20/06/2006	0,015%	0,040%	0,016%	0,015%	0,020%
dallette	07/07/2006	0,015%	0,028%	0,012%	-0,001%	0,029%
remblai	10/07/2006	0,024%	0,027%	-0,008%	0,016%	0,032%
remblai 2	11/07/2006	0,036%	0,029%	-0,012%	0,012%	0,035%
contrôle 1	30/08/2006	0,029%	0,035%	0,033%	-0,026%	0,032%
remblai 3	04/10/2006	0,085%	0,046%	0,043%	-0,044%	0,008%
contrôle 2	16/11/2006	0,116%	0,044%	0,064%	-0,037%	0,027%
contrôle 3	13/12/2006	0,126%	0,043%	0,068%	-0,019%	0,027%
contrôle 4	07/03/2007	0,128%	0,063%	0,054%	-0,012%	0,023%
déformations relatives						
		C1	C2	C3	C4	C5
installation	16/06/2006	0,013%	0,061%	0,024%	-0,002%	-0,009%
compactage	20/06/2006	0,002%	-0,011%	-0,008%	0,018%	0,029%
dallette	07/07/2006	0,000%	-0,013%	-0,004%	-0,016%	0,010%
remblai	10/07/2006	0,009%	0,000%	-0,020%	0,017%	0,003%
remblai 2	11/07/2006	0,011%	0,002%	-0,003%	-0,004%	0,003%
contrôle 1	30/08/2006	-0,006%	0,006%	0,044%	-0,038%	-0,004%
remblai 3	04/10/2006	0,056%	0,012%	0,010%	-0,018%	-0,023%
contrôle 2	16/11/2006	0,031%	-0,003%	0,021%	0,006%	0,019%
contrôle 3	13/12/2006	0,010%	-0,001%	0,004%	0,018%	0,000%
contrôle 4	07/03/2007	0,002%	0,020%	-0,014%	0,007%	-0,005%
déformations cumulées depuis dalles						
		C1	C2	C3	C4	C5
dallette	07/07/2006	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
remblai	10/07/2006	0,009%	0,000%	-0,020%	0,017%	0,003%
remblai 2	11/07/2006	0,020%	0,001%	-0,023%	0,013%	0,006%
contrôle 1	30/08/2006	0,014%	0,007%	0,021%	-0,025%	0,002%
remblai 3	04/10/2006	0,070%	0,019%	0,031%	-0,042%	-0,021%
contrôle 2	16/11/2006	0,100%	0,016%	0,052%	-0,036%	-0,002%
contrôle 3	13/12/2006	0,110%	0,015%	0,056%	-0,018%	-0,002%
contrôle 4	07/03/2007	0,113%	0,036%	0,042%	-0,011%	-0,007%



P3 SN05121602

	C1	C2	C3	C4	C5	
usine	1529,417	1534,443	1539,214	1544,126	1549,058	
installation	16/06/2006	1529,632	1534,622	1539,309	1544,203	1549,16
compactage	20/06/2006	1529,521	1534,723	1539,436	1544,428	1549,598
dalle	07/07/2006	1529,6	1534,373	1539,275	1544,413	1549,419
remblai	10/07/2006	1529,744	1534,356	1539,292	1544,513	1549,33
remblai 2	11/07/2006	1529,813	1534,352	1539,311	1544,496	1549,277
contrôle 1	30/08/2006	1529,963	1534,272	1539,26	1544,552	1549,874
remblai 3	04/10/2006	1529,902	1534,356	1539,384	1544,698	1549,89
contrôle 2	16/11/2006	1529,921	1534,391	1539,424	1544,546	1549,729
contrôle 3	13/12/2006	1530,117	1534,342	1539,448	1544,456	1549,671
contrôle 4	07/03/2007	1529,838	1534,167	1539,501	1544,715	1549,625

déformations cumulées

	C1	C2	C3	C4	C5	
usine	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	
installation	16/06/2006	0,018%	0,015%	0,008%	0,006%	0,008%
compactage	20/06/2006	0,009%	0,023%	0,018%	0,025%	0,045%
dalle	07/07/2006	0,015%	-0,006%	0,005%	0,024%	0,030%
remblai	10/07/2006	0,027%	-0,007%	0,006%	0,032%	0,023%
remblai 2	11/07/2006	0,033%	-0,008%	0,008%	0,031%	0,018%
contrôle 1	30/08/2006	0,045%	-0,014%	0,004%	0,035%	-0,015%
remblai 3	04/10/2006	0,040%	-0,007%	0,014%	0,047%	-0,014%
contrôle 2	16/11/2006	0,042%	-0,004%	0,017%	0,035%	-0,027%
contrôle 3	13/12/2006	0,058%	-0,008%	0,019%	0,027%	-0,032%
contrôle 4	07/03/2007	0,035%	-0,023%	0,024%	0,049%	-0,036%

déformations relatives

	C1	C2	C3	C4	C5	
installation	16/06/2006	0,018%	0,015%	0,008%	0,006%	0,008%
compactage	20/06/2006	-0,009%	0,009%	0,011%	0,019%	0,036%
dalle	07/07/2006	0,007%	-0,029%	-0,013%	-0,001%	-0,015%
remblai	10/07/2006	0,012%	-0,001%	0,001%	0,008%	-0,007%
remblai 2	11/07/2006	0,006%	0,000%	0,002%	-0,001%	-0,004%
contrôle 1	30/08/2006	0,012%	-0,007%	-0,004%	0,005%	-0,033%
remblai 3	04/10/2006	-0,005%	0,007%	0,010%	0,012%	0,001%
contrôle 2	16/11/2006	0,002%	0,003%	0,003%	-0,013%	-0,013%
contrôle 3	13/12/2006	0,016%	-0,004%	0,002%	-0,007%	-0,005%
contrôle 4	07/03/2007	-0,023%	-0,015%	0,004%	0,021%	-0,004%

déformations cumulées depuis dalles

	C1	C2	C3	C4	C5	
dalle	07/07/2006	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%	0,000%
remblai	10/07/2006	0,012%	-0,001%	0,001%	0,008%	-0,007%
remblai 2	11/07/2006	0,018%	-0,002%	0,003%	0,007%	-0,012%
contrôle 1	30/08/2006	0,030%	-0,008%	-0,001%	0,012%	-0,045%
remblai 3	04/10/2006	0,025%	-0,001%	0,009%	0,024%	-0,044%
contrôle 2	16/11/2006	0,027%	0,001%	0,012%	0,011%	-0,057%
contrôle 3	13/12/2006	0,043%	-0,003%	0,014%	0,004%	-0,052%
contrôle 4	07/03/2007	0,020%	-0,017%	0,019%	0,025%	-0,066%

