



OPERATION DU RESEAU GENIE CIVIL & URBAIN

**A.S.I.R.I. – TRANCHE 2 – THEME 1  
RAPPORT D'AVANCEMENT**

**L. BRIANÇON – MCF (CNAM)**



## A.S.I.R.I / FICHE SIGNALÉTIQUE

TITRE : <b>A.S.I.R.I. – TRANCHE 2 – THEME 1 : RAPPORT D'AVANCEMENT</b>
RAPPORT N° : <b>2-07-1-01</b>
DATE D'ETABLISSEMENT : <b>DECEMBRE 2007</b>
AUTEURS : <b>BRIANÇON</b>
ORGANISMES CHARGES DE L'ACTION : <b>CNAM</b>
THEME DE RATTACHEMENT : <b>1</b>
LETTRE DE COMMANDE :

## Sommaire

<b>1</b>	<b><i>Introduction</i></b> _____	<b>5</b>
1.1	<b>Contexte</b> _____	5
1.2	<b>Intervenants et phasage des travaux</b> _____	5
1.3	<b>Protocole de prêt</b> _____	7
<b>2</b>	<b><i>Caractérisation du sol en place</i></b> _____	<b>7</b>
2.1	<b>Implantation des sondages dans la zone expérimentale</b> _____	7
2.2	<b>Pénétromètres statiques</b> _____	8
2.3	<b>Sondages carottés</b> _____	8
2.4	<b>Essais de caractérisation</b> _____	8
2.5	<b>Compressibilité et consolidation</b> _____	11
2.6	<b>Cisaillement</b> _____	11
2.7	<b>Scissomètres</b> _____	11
2.8	<b>Piezométrie</b> _____	11
<b>3</b>	<b><i>Les plots expérimentaux : description et réalisation</i></b> _____	<b>15</b>
3.1	<b>Description des plots expérimentaux</b> _____	15
3.2	<b>Réalisation de la plate-forme de trafic</b> _____	16
3.3	<b>Implantation et réalisation des IR</b> _____	18
3.4	<b>Contrôle des IR</b> _____	19
3.5	<b>Réalisation de la plate-forme du plot 3R</b> _____	19
3.6	<b>Réalisation de la plateforme du plot 4R</b> _____	20
3.7	<b>Le remblai</b> _____	21
3.8	<b>Coordination SPS et signalisation</b> _____	21
<b>4</b>	<b><i>Instrumentation</i></b> _____	<b>22</b>
4.1	<b>Capteurs de pression totale circulaires (CPT)</b> _____	22
4.2	<b>Capteurs de pression totale rectangulaires (CPTH)</b> _____	23
4.3	<b>Capteurs de pression interstitielle (CPI)</b> _____	24
4.4	<b>Extensomètres à corde vibrante (ECV)</b> _____	25
4.5	<b>Transmetteur de pression pour mesure de niveau (Transducteur T)</b> _____	25
4.6	<b>Tassomètres magnétiques en forage (TM)</b> _____	26
4.7	<b>Capteurs inclinométriques (I)</b> _____	27
4.8	<b>Tubes inclinométriques verticaux (IV)</b> _____	28
4.9	<b>Bandes de Geodetect (Geo)</b> _____	28
4.10	<b>Centrale d'acquisition (CA)</b> _____	29
4.11	<b>Implantation des capteurs</b> _____	30

<b>4.12</b>	<b>Fréquence des mesures</b>	<b>35</b>
<b>5</b>	<b>Essai de refoulement</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Mesures du plot 1R</b>	<b>37</b>
<b>7</b>	<b>Budget</b>	<b>40</b>
<b>8</b>	<b>Conclusions et poursuite de l'expérimentation</b>	<b>41</b>

## 1 Introduction

### 1.1 Contexte

Une expérimentation en vraie grandeur de renforcement de remblais sur sol compressible par inclusions rigides est menée dans le cadre de la tranche 2 du projet national A.S.I.R.I. Cette expérimentation est conduite par les membres du thème 1 du projet national A.S.I.R.I et tout particulièrement par la chaire de géotechnique du Cnam qui coordonne les actions et assure l'instrumentation et le suivi du chantier.

Cette expérimentation a débuté en juillet 2007 et se terminera fin décembre 2007 ; un rapport final sera remis au premier semestre 2008. Le présent rapport résume les différentes étapes menées de juillet 2007 à décembre 2007 pour la mise en œuvre de cette expérimentation en vraie grandeur.

### 1.2 Intervenants et phasage des travaux

Le tableau I présente les 12 différents intervenants directs sur le site expérimental et détaille les prestations de chacun.

**Tableau I. Les participants à l'expérimentation en vraie grandeur**

<b>Organismes impliqués</b>	<b>Intervenants</b>	<b>Prestation</b>
Cnam	Andromeda - Briançon - Faucheux	Organisation - Coordination - Instrumentation - Essais labo - Vidéo - Mise en œuvre - Budget
Conseil Général de Seine & Marne	Divry - Pillon	Prêt du site
Eiffage	Macabies - Ferreira (TDLM)	Terrassement
Fondasol	Ung - Gromat - Valenti	Sondages et forages
IREX	Bernardini	Budget
Keller	Lambert - Malo - Lang - Krompigel - Cathou - Aït-Ammar	IR
LCPC	Le Kouby - Rocher Lacoste - ...	Essai de chargement
Rincent BTP	Durot	Contrôle IR
Scétauroute	Gay - Lacaille - Charles - Chagnard	Instrumentation
SOCOTEC	Carpinteiro - Kuras	Coordination SPS
TenCate	Nancey	Géosynthétique - Instrumentation
CER de Rouen	Haza-Rozier, Vincelas, Calmo	Essais labo et densité in situ

Le tableau II présente le phasage de ce chantier expérimental qui s'est déroulé entre le 03 juillet 2007 et le 07 septembre 2007 en ce qui concerne la caractérisation du sol, son renforcement, l'instrumentation, et la montée des remblais. Fin septembre 2007, un essai de chargement a été réalisé. Le suivi instrumental a débuté en août et se terminera en décembre 2007.

**Tableau II. Phasage**



lun.	mar.	mer.	jeu.	ven.	sam.	dim.
2	3 Pénétration	4	5	6	7	8 Semaine 27
9 Implantation	10	11	12 Plate-forme trafic	13	14	15 Semaine 28
16	17 Inclusions rigides - Instrumentation	18	19	20	21	22 Semaine 29
23	24	25	26	27	28	29 Semaine 30

lun.	mar.	mer.	jeu.	ven.	sam.	dim.
		1	2	3	4	5 Semaine 31
6	7	8	9	10	11	12 Semaine 32
13	14	15	16	17	18	19 Semaine 33
20	21	22	23	24	25	26 Semaine 34
27	28	29	30	31		

lun.	mar.	mer.	jeu.	ven.	sam.	dim.
3	4	5	6	7	8	9 Semaine 36
10	11	12	13	14	15	16 Semaine 37
17	18	19	20	21	22	23 Semaine 38

Le terrain (Figure 1) se situe sur le Chemin du Corps de Garde dans la commune de Chelles (77). Ce terrain a été mis à disposition par le Conseil Général de Seine et Marne qui dispose de terrains ayant les caractéristiques requises pour un tel chantier expérimental. Ce terrain sera néanmoins mobilisé dès 2008 pour la construction d'un giratoire surélevé dans le cadre de l'aménagement de la liaison sud de Chelles

Pour mémoire, le projet de liaison sud de Chelles prévoit le réaménagement de l'Avenue Sylvie, du Chemin du Corps de garde et du chemin des Carriers, avec la construction d'un ouvrage de franchissement des voies S.N.C.F. au niveau de la gare de triage de Chelles.



**Figure 1. Localisation du site expérimental**

### 1.3 Protocole de prêt

Un protocole de prêt (annexe 1) a été signé entre l'IREX et le Conseil Général de Seine et Marne. Le maillage des inclusions ainsi que leur diamètre, les matériaux constituant la plateforme et les matériaux de remblais ont été choisis pour qu'ils puissent être réutilisables en 2008 pour le chantier réel. Certains capteurs seront laissés dans le sol et dans les inclusions rigides pour suivre l'évolution des tassements et les reports de contrainte des remblais du chantier réel.

## 2 Caractérisation du sol en place

### 2.1 Implantation des sondages dans la zone expérimentale

Différents sondages (Figure 2) ont été réalisés pour déterminer l'épaisseur de la couche compressible et pour caractériser cette couche :

- 8 essais pénétrométriques statiques,
- 2 sondages carottés
- 2 essais scissométriques.

La hauteur de la nappe est contrôlée à l'aide d'un piézomètre.

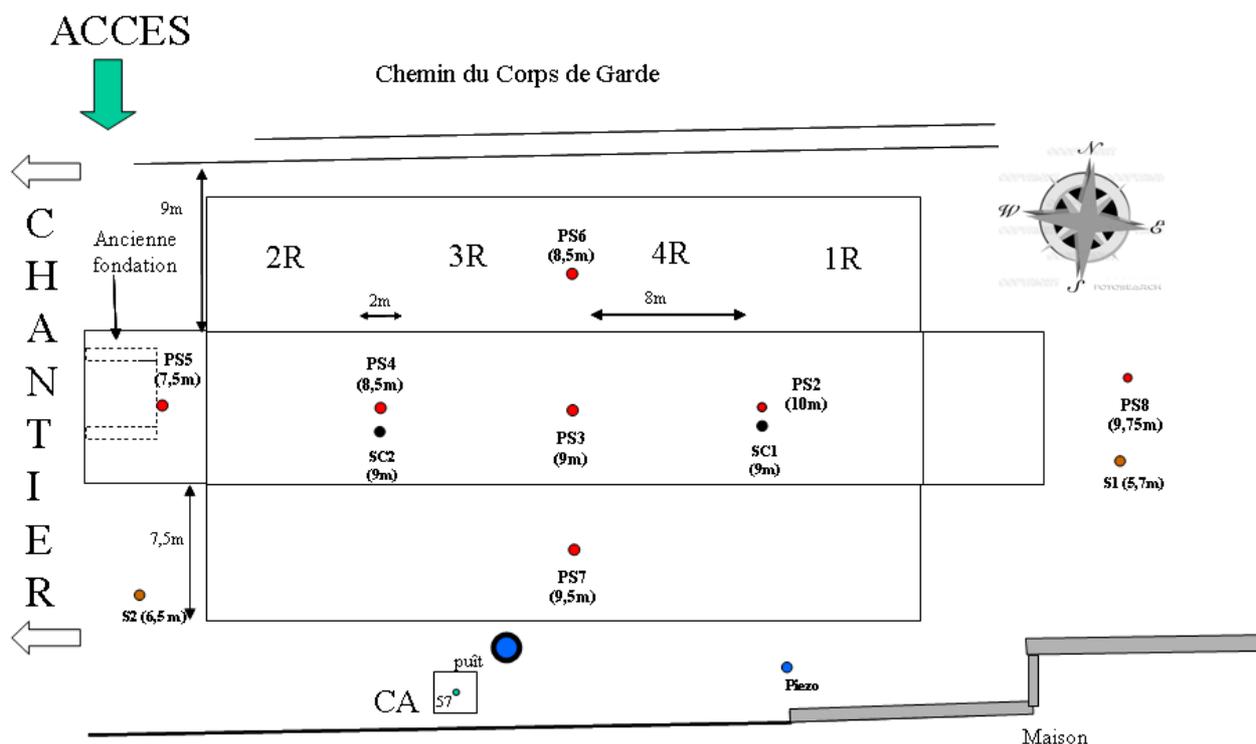


Figure 2. Implantation des sondages

## 2.2 Pénétromètres statiques

La société Lankelma a réalisé 8 essais pénétrométriques statiques le 03 juillet 2007 afin de déterminer l'épaisseur de la couche compressible (Annexe 2).

Ces essais mettent en évidence une couche compressible dont l'épaisseur au droit du corps du remblai varie entre 8m et 10,5m longitudinalement (Figure 2). Les enregistrements des paramètres de forage des inclusions rigides confirmeront et préciseront ce profil.

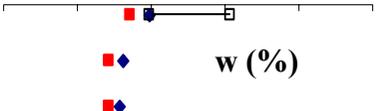
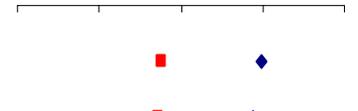
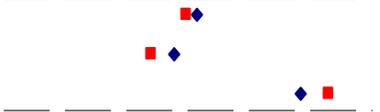
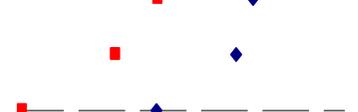
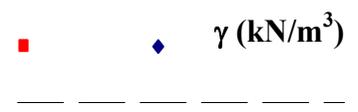
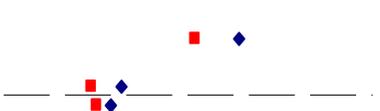
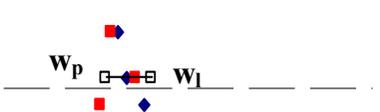
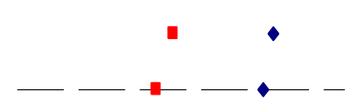
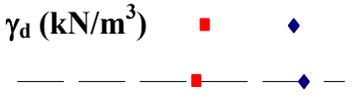
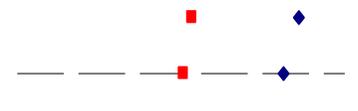
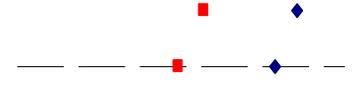
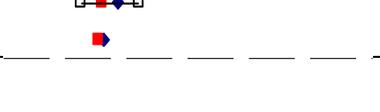
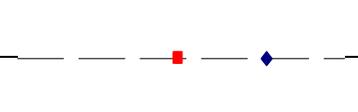
## 2.3 Sondages carottés

2 sondages carottés ont été réalisés par la société FONDASOL et ont fait l'objet d'un don en nature. Ces deux sondages, notés SC1 et SC2 (Figure 2) ont une profondeur de 9m. Le carottage SC1 a été réalisé, en rotation de 0 à 2.0 m, et en poinçonnement de 2.0 m à 9.0 m, le carottage SC2 a été réalisé, en rotation de 0 à 5.0 m, et en poinçonnement de 5.0 m à 9.0 m. Une différence notable a été relevée entre la longueur des carottes prélevées et la profondeur des prélèvements (Tableaux III & IV). Le sol prélevé a été utilisé pour des essais de caractérisation, des essais de compressibilité et des essais triaxiaux.

## 2.4 Essais de caractérisation

Des essais de caractérisation : teneur en eau, poids volumique, limites d'Atterberg, valeur au bleu, ont été réalisés sur les échantillons de sol prélevés (Annexe 3 – Tableaux III & IV).

**Tableau III. Essais de caractérisation du sol prélevé dans le sondage carotté SC1**

Prof (m)	h <sub>carotte</sub> (m)	Description	0% 20% 40% 60% 80% 100%	8 12 16 20 24	I <sub>p</sub>	VB	LPC GTR
-1	0.8	Remblai argileux			22		Lt A2
-2	0.7	Remblai argileux (argile beige verdâtre)				1,66	A1
-3	0.7	(argile beige verdâtre) AM : argile sableuse				1,1 1,33 0,66	A1
-4	0.86	AM : sable argileux					
-5	0.81	AM : argile grise claire plastique sableuse			12,5		Lp A2
-6	0.7	AM : argile grise claire plastique légèrement sableuse			10	1,33	A1
-7	0.65	AM : argile grise claire plastique Argile raide					
-8	0.67	AM : argile grise claire sableuse Argile raide				0,66	A1
-9	0.66	AM : argile grise claire avec quelques graviers			15,6		Ap A2

**Tableau IV. Essais de caractérisation du sol prélevé dans le sondage carotté SC2**

Prof (m)	h <sub>carotte</sub> (m)	Description	0% 20% 40% 60% 80%	8 12 16 20 24	I <sub>p</sub>	VB	LPC GTR
-1	0.46	Remblai Marnes beige					
	0.66	Marnes beige argile grise plastique présence de cailloux					
-2.5	0.78	sable argileux gris sable				0,83	A1
							1,33
-4	0.55	argile grise plastique sable gris				1,33	
							1,33
-5	0.7	argile grise plastique avec passage sable			7,5	1,5 ; 1,16	Ap Ap A1
							0,5
-6	0.67	argile grise plastique avec passage sable			12,4	0,5	A1
							2,16
-8	0.67	argile grise plastique avec passage sable				2,16	A1 A1
-9	0.68	argile grise plastique avec quelques graviers			10,1		Ap Ap

Les deux sondages donnent des profils de teneur en eau et de poids volumiques très similaires. La campagne de reconnaissance menée sur le site a permis de définir la succession stratigraphique suivante :

- 1,5 m de remblai argileux,
- 1 m d'argile beige verdâtre,
- 3,5 m d'argile peu plastique plus ou moins sableuse,
- entre 2 m et 4,5 m d'argile peu plastique sableuse avec des passages d'argile raide,
- marne et graviers compacts.

## **2.5 Compressibilité et consolidation**

Un dizaine d'essais de compressibilité ont été réalisés sur les échantillons prélevés (Annexe 4 - Tableaux V & VI).

Le sol est normalement consolidé et moyennement compressible. Les coefficients de compressibilité mesurés ne sont pas concordants avec les temps de tassement observés pour le plot non renforcé. Les coefficients sont des moyennes des coefficients mesurés dans la plage de contrainte correspondant à la surcharge due au remblai (Annexe 4)

## **2.6 Cisaillement**

Le LROP a procédé à des essais triaxiaux CU+u (Annexe 5 - Tableaux V & VI). Les essais ont été réalisés dans le sondage SC1 à -6,2 m et dans le sondage SC2 à -2,75m.

## **2.7 Scissomètres**

Le Cnam a réalisé deux profils scissométriques dans des trous forés à l'aide d'une tarière manuelle ; ces deux profils sont localisés de part et d'autre du remblai (Figure 2). Les résultats de ces essais sont présentés (Figure 3) en parallèle avec celui réalisé au carottier piston stationnaire par le LR de Saint-Quentin dans la phase sud le chantier réel qui se situe à proximité du chantier expérimental.

Pour des raisons de matériels, les deux essais à la tarière ont été arrêtés vers 6m de profondeur.

## **2.8 Piezométrie**

La société Fondasol a installé un piézomètre le 27 juillet 2007 (Figure 4). La partie du tube hors sol est protégée par un tube acier coulé dans une dalle béton. Le relevé piézométrique permet de situer la nappe à 2m de profondeur (Figure 5) avec quelques variations lors de passages pluvieux importants. Un relevé hebdomadaire se poursuivra jusqu'au retrait du remblai.

**Tableau V. Essais de compressibilité et de cisaillement du sol prélevé dans le sondage carotté SC1**

Prof (m)	h <sub>carotte</sub> (m)	Description	Cc / (1 + e <sub>0</sub> )			Cs Cc	e <sub>0</sub>	Cv (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)	σ' <sub>0</sub> (kPa)	c' (kPa)	φ' (°)	w (%) γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
			0	0.2	0.4							
-1	0.8	Remblai argileux	Cc / (1 + e <sub>0</sub> )									
-1	0.7	Remblai argileux (argile beige verdâtre)	20▲	01▲		0,030 0,234	1,01	2,23	45,5 nc			
-2	0.7	(argile beige verdâtre)				0,054 0,704	1,78	1,21	36			
-3	0.7	AM : argile sableuse	21▲			0,468 0,023	1,60	2,08	40,5			
-4	0.86	AM : sable argileux	10▲			0,006 0,100	0,70	1,43	45,5 nc			
-4	0.81	AM : argile grise claire plastique sableuse	18▲	02▲		0,067 0,006	0,56	2,35	50,5			
-5	0.7	AM : argile grise claire plastique légèrement sableuse				0,018 0,234	0,81	3,28	53,5			
-6	0.7	AM : argile grise claire plastique légèrement sableuse	14▲			0,005 0,134	0,68	2,16	64,3 nc			
-7	0.65	AM : argile grise claire plastique Argile raide	15▲			0,011 0,100	0,60	2,34	72 nc	13	26,9	31,2 14,8
-7	0.67	AM : argile grise claire sableuse Argile raide	19▲			0,011 0,134	0,63	1,46	85,2 nc			
-8	0.66	AM : argile grise claire avec quelques graviers	08▲			0,016 0,200	0,78	1,73	94 nc			

**Tableau VI. Essais de compressibilité et de cisaillement du sol prélevé dans le sondage carotté SC2**

Prof (m)	h <sub>carotte</sub> (m)	Description	Cc/1+e			Cs Cc	e <sub>0</sub>		C <sub>v</sub> (10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s)		σ' <sub>0</sub> (kPa)		c' (kPa)	φ' (°)	w (%) γ <sub>d</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
			0	0.05	0.1										
-1	0.46	Remblai Marne beige	Cc/1+e												
	0.66	Marne beige argile grise plastique présence de cailloux													
-2.5	0.78	sable argileux gris sable										4	30,5	17,5	
-4	0.55	argile grise plastique sable gris		(16)		0,012 0,134	0,67	1,76	45,5 nc						
-5	0.7	argile grise plastique avec passage sable		(17)		0,005 0,100	0,54	2,28	64,5 nc						
-6	0.67	argile grise plastique avec passage sable		(09)		0,016 0,102	0,61	2,71	69,5 nc						
-7	0.67	argile grise plastique avec passage sable		(07)		0,021 0,134	0,81	2,69	79,5 nc						
-8	0.68	argile grise plastique avec quelques graviers		(12)	(13)	0,011 0,154	0,75	0,60	1,81	1,96	90 nc	92,2 nc			
-9				(11)											

(ii) : n° essai oedométrique

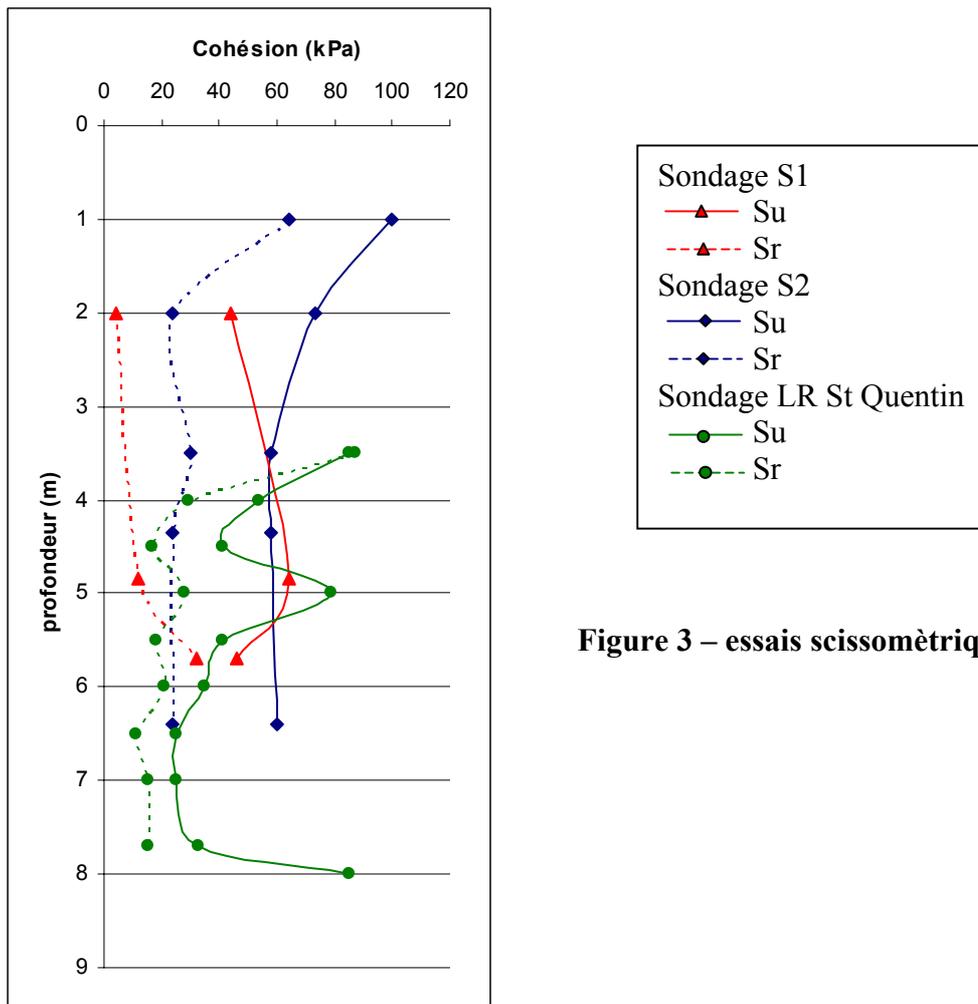


Figure 3 – essais scissométriques

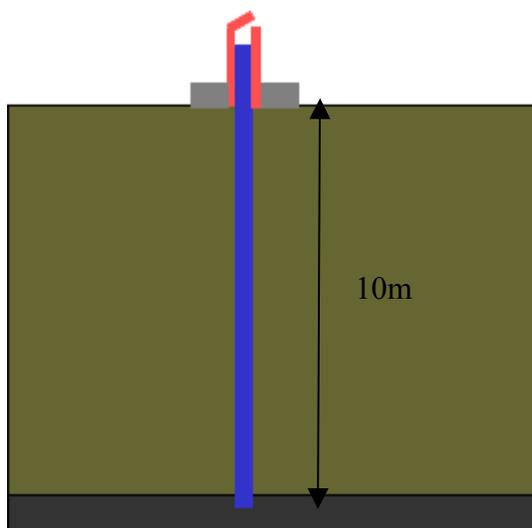


Figure 4. Piézomètre

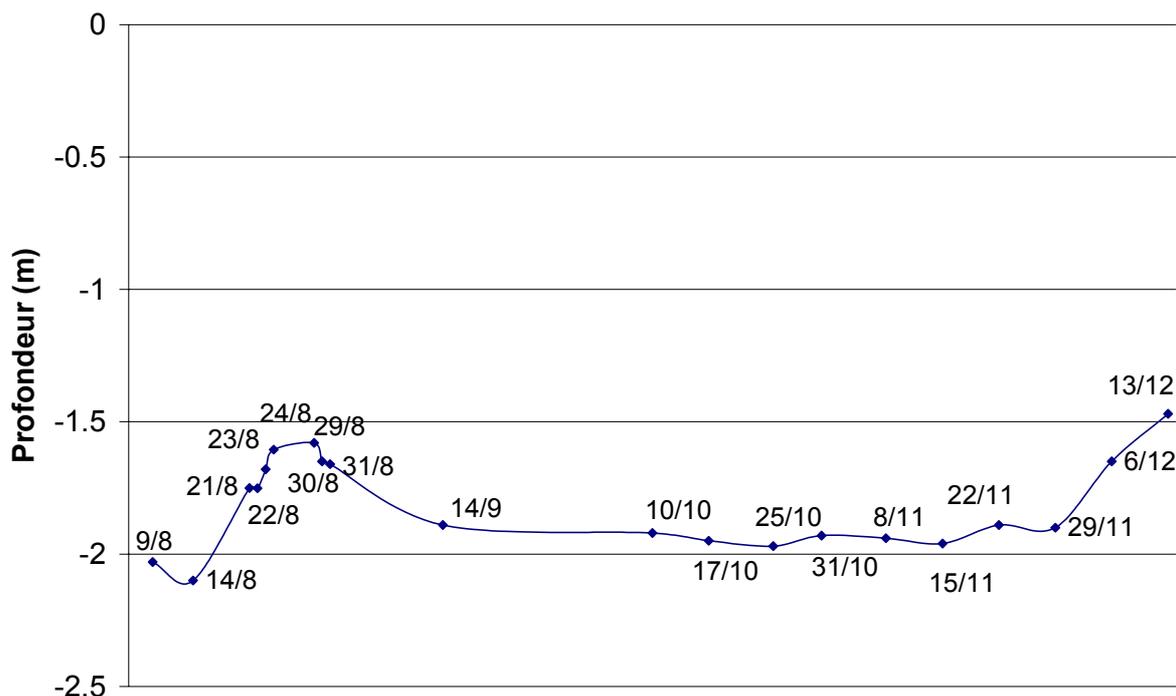


Figure 5. Relevé piézométrique

### 3 Les plots expérimentaux : description et réalisation

#### 3.1 Description des plots expérimentaux

Quatre remblais expérimentaux de 5m de hauteur ont été mis en œuvre sur ce site :

- plot 1R de référence non renforcé par inclusions rigides (Figure 6a),
- plot 2R renforcé par inclusions rigides (Figure 6b),
- plot 3R renforcé par inclusions rigides et par une nappe géotextile à la base du remblai (Figure 6c),
- plot 4R renforcé par inclusions rigides et par deux géogrilles à la base du remblai (Figure 6d).

Chaque plot est constitué du corps du remblai de 64m<sup>2</sup> de surface et de deux talus de pente 3H-2V (Figure 7). Les quatre plots sont alignés dans un axe Nord-Est – Sud-Ouest. Les plots sont distants de 2m. Les plots 1R et 2R disposent d'un troisième talus dans l'axe Nord-Est – Sud-Ouest de pente 3H-2V. Seuls les talus Nord-Ouest des plots sont renforcés par inclusions rigides. Le corps du remblai et les talus Nord-Ouest sont instrumentés.

Les trois plots renforcés par inclusions rigides contiennent 16 inclusions chacun sous le corps de remblai et 16 inclusions sous le talus renforcé. Les inclusions rigides, de 38 cm de diamètre forment un maillage carré. La distance entre deux inclusions rigides est de 2 m.

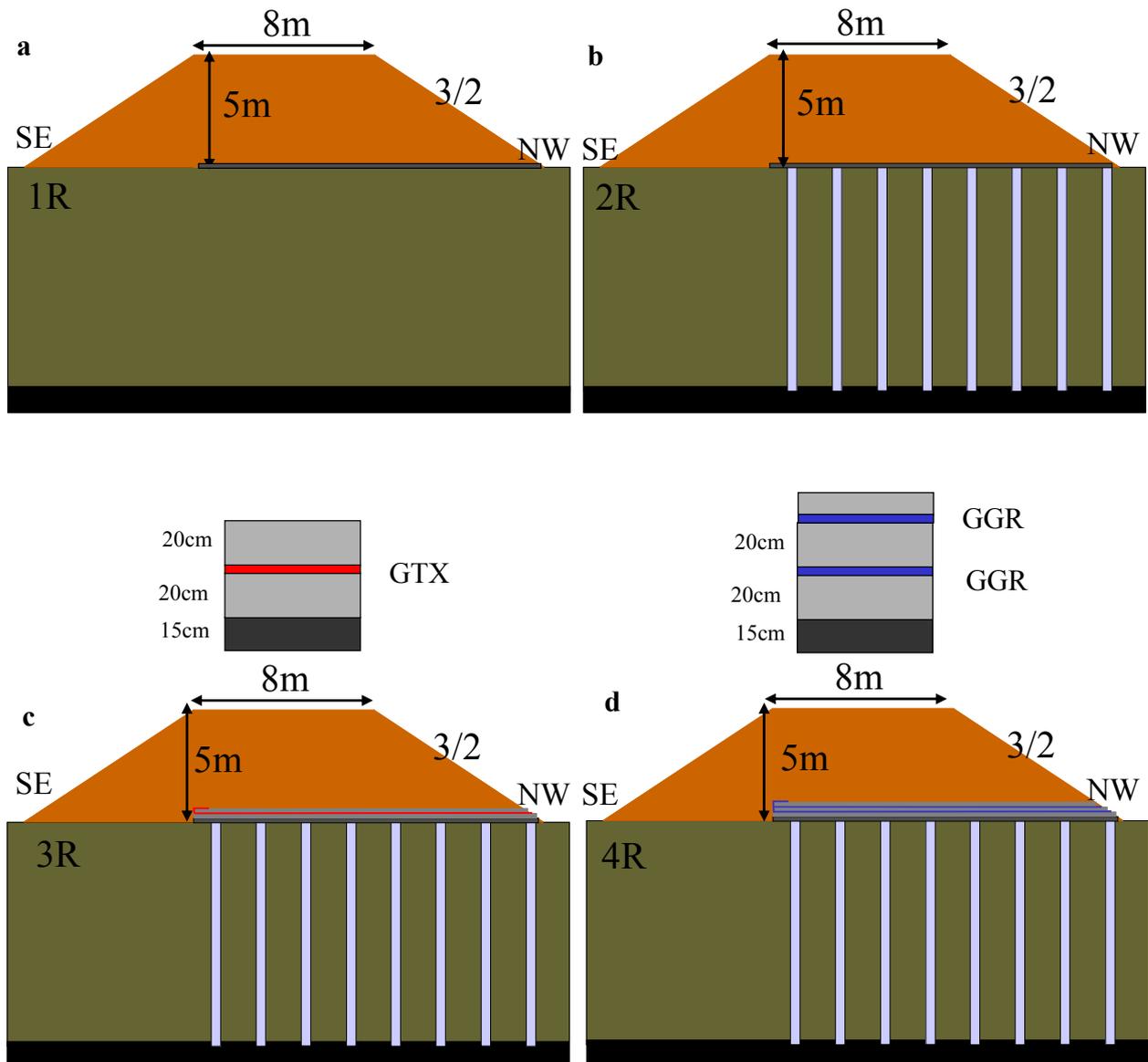


Figure 6. Description des quatre plots

### 3.2 Réalisation de la plate-forme de trafic

Après retrait de la couche végétale, une plateforme de trafic de 15 cm d'épaisseur a été mise en place par la société Eiffage les 12 et 13 juillet 2007 (Figure 8). Cette plate-forme a été mise en œuvre sur la zone de circulation de la foreuse réalisant les inclusions rigides, c'est-à-dire sur les plots 2R, 3R et 4R (à l'emplacement du corps de remblai et du talus renforcé) et sur le plot 1R. Cette plate-forme ne couvre donc pas l'emplacement des talus Sud-Est. La topométrie (Figure 9) montre des variations de niveau de  $\pm 15$ cm sur les trois plots renforcés. Cependant chaque plot présente des variations de niveau de surface inférieures à 10 cm. Le matériau utilisé pour cette plate-forme est une grave roulée 0-70.

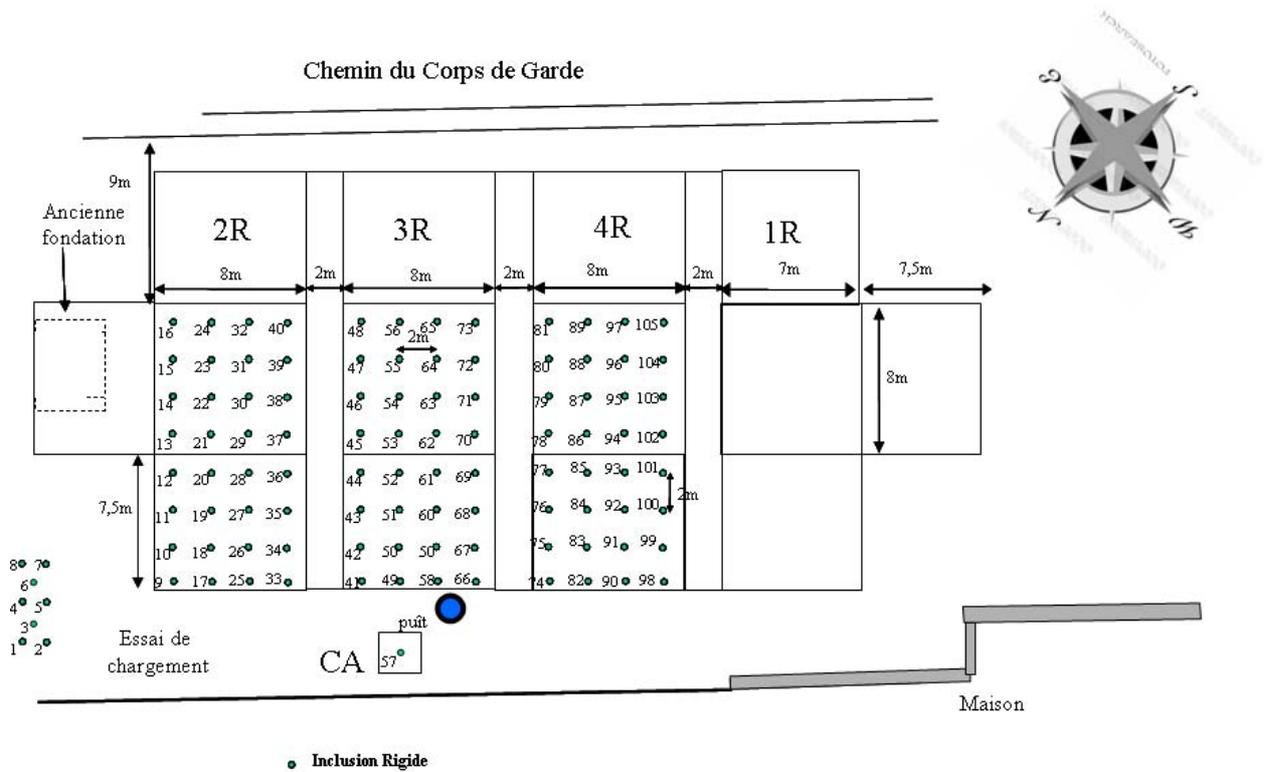
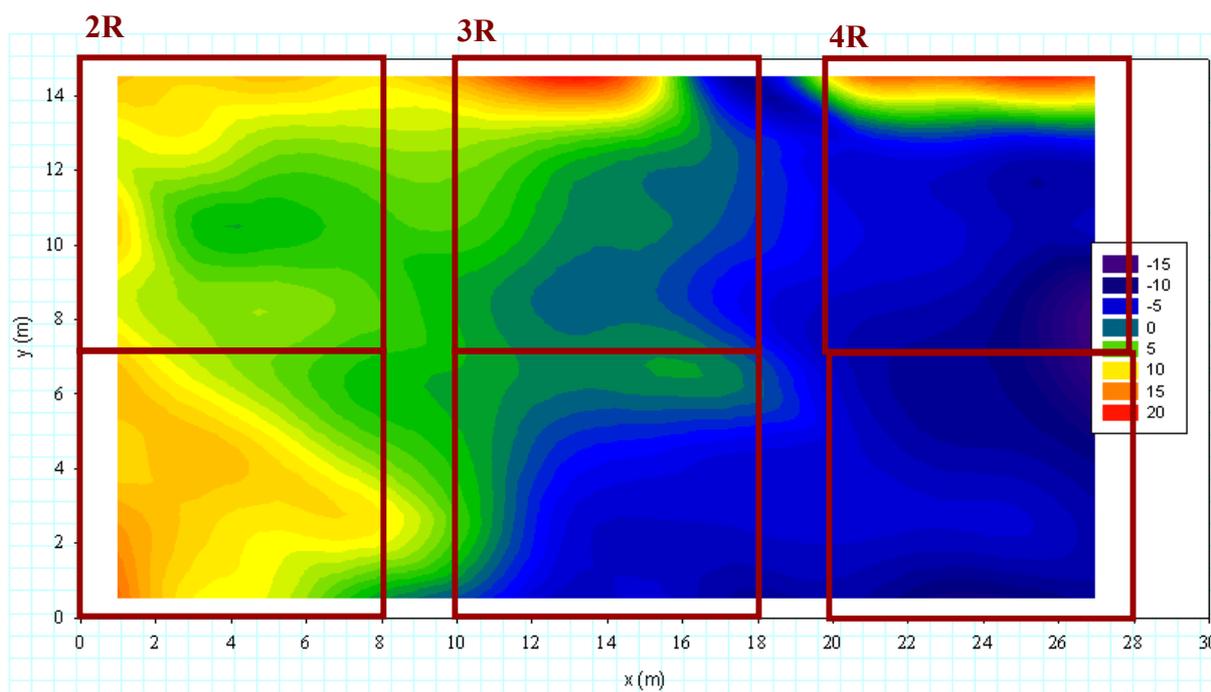


Figure 7. Implantation et dimensions des quatre plots



Figure 8. Plate-forme de trafic



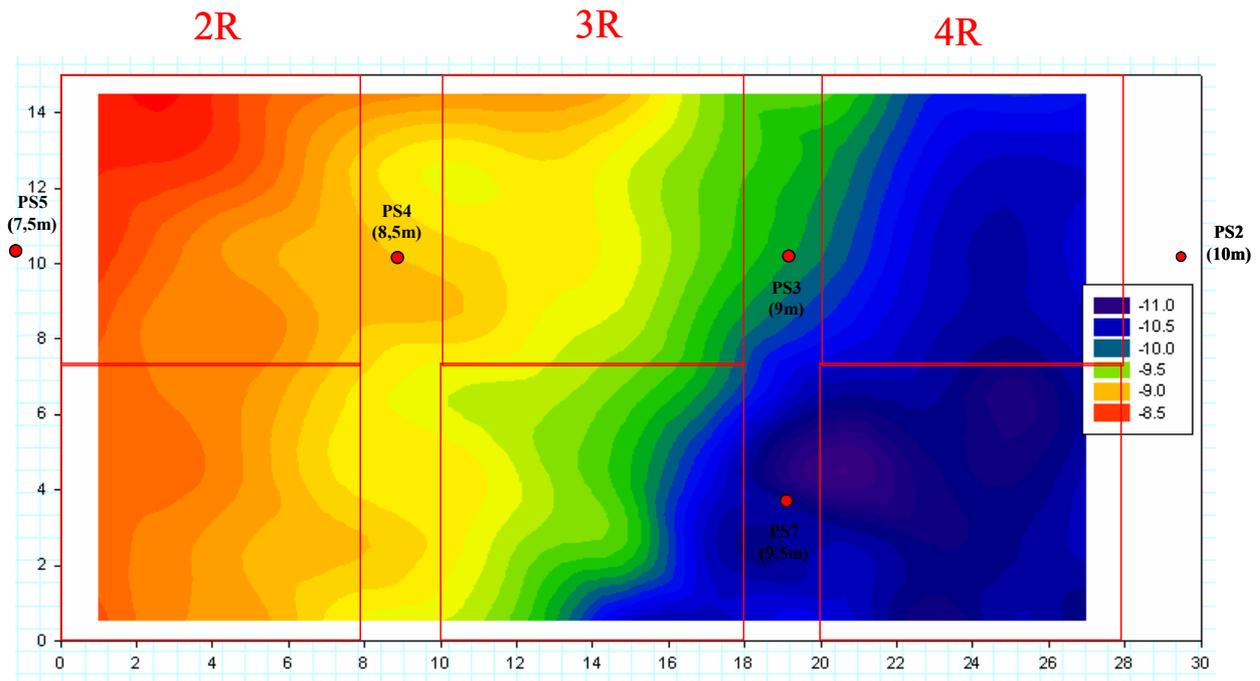
**Figure 9. Topométrie des trois plots renforcés**

### 3.3 Implantation et réalisation des IR

La société Keller a réalisé 105 inclusions rigides refoulantes les 17 et 18 juillet 2007 (Figure 10). Les inclusions rigides de 38 cm de diamètre ont été recépées jusqu'à la base de la plate-forme de trafic. Le béton utilisé est un C20/25 CEM III D20 S3. Chaque inclusion rigide est ancrée d'une trentaine de centimètres dans la couche de sol dur (Figure 11 et Annexe 6). L'implantation des inclusions rigides est présentée à la figure 7, les enregistrements des paramètres de forages sont disponibles en annexe 6. Il est précisé par Keller que les indications de diamètre qui figurent sur les enregistrements de paramètres (Annexe 6) ne sont pas représentatives du diamètre réel des inclusions ; celui-ci sera pris égal au diamètre nominal égal à 38 cm. La surconsommation systématique en pied d'inclusions est due à l'amorçage de la pompe.



**Figure 10. Réalisation des inclusions rigides**



**Figure 11. Longueurs des inclusions rigides comparées aux pénétrations statiques**

### 3.4 Contrôle des IR

2 essais de compression ont été réalisés sur des éprouvettes prélevées dans le béton des inclusions rigides n°14 et n°90. Les résistances moyennes obtenues sont de 34,3 MPa et 28,8 MPa (Annexe 7).

### 3.5 Réalisation de la plate-forme du plot 3R

La plate-forme de transfert de charge du plot 3R est constituée des 15 cm du matériau de la plate-forme de trafic, de 20 cm de grave industrielle primaire 0/31,5 recyclée mixte (déconstruction chaussée et béton) compactée (noté  $G_{F71}$ ), d'une nappe géotextile TenCate Rock Pec 75/75 (Annexe 8) et de 20 cm de grave  $G_{F71}$ . Trois lés ont été nécessaires pour recouvrir le plot, elles ont été mises en place avec un recouvrement de 15 cm (Figure 12).

Cette grave est classée F71 assimilée B41 dans la classification GTR. Des essais de caractérisation, compactage et triaxiaux (Annexes 9) permettent de bien définir ce matériau. Des essais à la boîte d'extraction de l'INSA de Lyon seront réalisés pour déterminer l'angle de frottement à l'interface Géotextile/Grave.



Figure 12. Plate-forme de transfert de charge du plot 3R

### 3.6 Réalisation de la plateforme du plot 4R

La plate-forme de transfert de charge du plot 4R est constituée des 15 cm du matériau de la plate-forme de trafic, de 20 cm de grave, d'une géogridle inférieure Miragrid 55/55 (Annexe 8) et de 20 cm de grave  $G_{F71}$ , d'une géogridle supérieure Miragrid 55/55 et de 10 cm de grave  $G_{F71}$  (Figure 13). Trois lés ont été nécessaires pour recouvrir le plot au niveau inférieur et quatre au niveau supérieur, elles ont été mises en place avec un recouvrement de 15 cm (Figure 13). Les géogridles sont ancrées sur les bords du plot avec un retour de nappe d'un mètre environ (Figure 13).



Figure 13. Plate-forme de transfert de charge du plot 4R

Des essais à la boîte d'extraction de l'INSA de Lyon seront réalisés pour déterminer l'angle de frottement à l'interface Géogrille/Grave.

### 3.7 Le remblai

Le matériau de remblai est un marno-calcaire de classification GTR A1-B5. Des essais granulométriques, des essais de détermination de l'activité de la fraction argileuse, des essais à la boîte de cisaillement, des essais triaxiaux et des essais Proctor (Annexe 10) permettent de caractériser ce matériau (Tableau VII).

Le remblai a été mis en œuvre en trois semaines par couches successives de 30 cm compactées au compacteur à rouleau (Figure 14). La densité du remblai a été déterminée au gamma-densimètre par le CER de Rouen au titre d'un don en nature. Les trois essais de densité in situ réalisés à la surface du remblai donnent une teneur en eau moyenne de 27,6 %, un poids volumique humide de 19,1 kN/m<sup>3</sup> et un poids volumique sec moyen de 14,9 kN/m<sup>3</sup>.

**Tableau VII. Synthèse des essais sur le matériau de remblai**

Granulométrie				Compacité		W <sub>nat</sub> (%)	ρ <sub>(in situ)</sub> (kN/m <sup>3</sup> )	ρ <sub>d (in situ)</sub> (kN/m <sup>3</sup> )
w (%)	D <sub>max</sub>	< 2mm	< 80μm	ρ <sub>d(opp)</sub>	W <sub>opp</sub>			
	20mm <sup>2</sup>	57,5 % <sup>2</sup>	28% <sup>2</sup>	13,2 <sup>2</sup>	29,5 <sup>2</sup>	27,6 <sup>3</sup>	18,1 <sup>3</sup>	14,2 <sup>3</sup>
18.8 <sup>1</sup>	31,5mm <sup>1</sup>	48,5 % <sup>1</sup>	30% <sup>1</sup>	14,3 <sup>4</sup>	28,5 <sup>4</sup>		18,8 <sup>3</sup>	14,8 <sup>3</sup>
14.7 <sup>1</sup>	25mm <sup>1</sup>	66 % <sup>1</sup>	41% <sup>1</sup>				20,1 <sup>3</sup>	15,7 <sup>3</sup>
29.8 <sup>1</sup>	25mm <sup>1</sup>	80 % <sup>1</sup>	62% <sup>1</sup>			31,3 <sup>2</sup>		
39,7 <sup>4</sup>	50 mm <sup>4</sup>	74 % <sup>4</sup>	56 % <sup>4</sup>			39,7 <sup>4</sup>		

Boîte de cisaillement		Triaxial		Limites d'Atterberg				VBS	GTR
φ' (°)	c' (kPa)	φ' (°)	c' (kPa)	w <sub>L</sub>	w <sub>P</sub>	I <sub>p</sub>	w (%)		
36,6 <sup>1</sup>	17,3 <sup>1</sup>	3 <sup>3</sup>	3 <sup>3</sup>	70 <sup>2</sup>	59 <sup>2</sup>	11 <sup>2</sup>	31,3 <sup>2</sup>	0,36 <sup>1</sup>	B5m <sup>2</sup> A1-B5 <sup>1</sup> A1 <sup>4</sup>
36,6 <sup>1</sup>	8,3 <sup>1</sup>							0,68 <sup>1</sup>	
39,2 <sup>3</sup>	26,6 <sup>3</sup>							0,41 <sup>1</sup>	
		1,14 <sup>4</sup>							

<sup>1</sup> : Rincent BTP

<sup>2</sup> : APC Ingénierie

<sup>3</sup> : CER Rouen

<sup>4</sup> : Cnam

<sup>5</sup> : LREP-LROP



**Figure 14. Réalisation du remblai**

### 3.8 Coordination SPS et signalisation

La coordination SPS du chantier expérimental a été assurée par SOCOTEC, membre du projet national A.S.I.R.I. Un panneau de signalisation (Figure 15) a été positionné à l'entrée du chantier pour renseigner sur la nature des travaux.

Une visite technique a été organisée le 19 septembre 2008 pour les membres du projet national ASIRI et pour les acteurs du chantier réel (Conseil Général, LREP...).



**Figure 15. Panneau de signalisation**

#### **4 Instrumentation**

Une instrumentation complète a été mise en place pour mesurer les transferts de charge, les pressions interstitielles, les déplacements (du sol, des inclusions), les déformations des nappes géosynthétiques et les déplacements latéraux en pied de talus.

##### **4.1 Capteurs de pression totale circulaires (CPT)**

16 capteurs de pression totale circulaires (Figure 16 – Annexe 11) ont été mis en place par le Cnam. Ces capteurs électriques (4-20mA) ont des gammes différentes en fonction de leur positionnement sur les plots (Figure 17) :

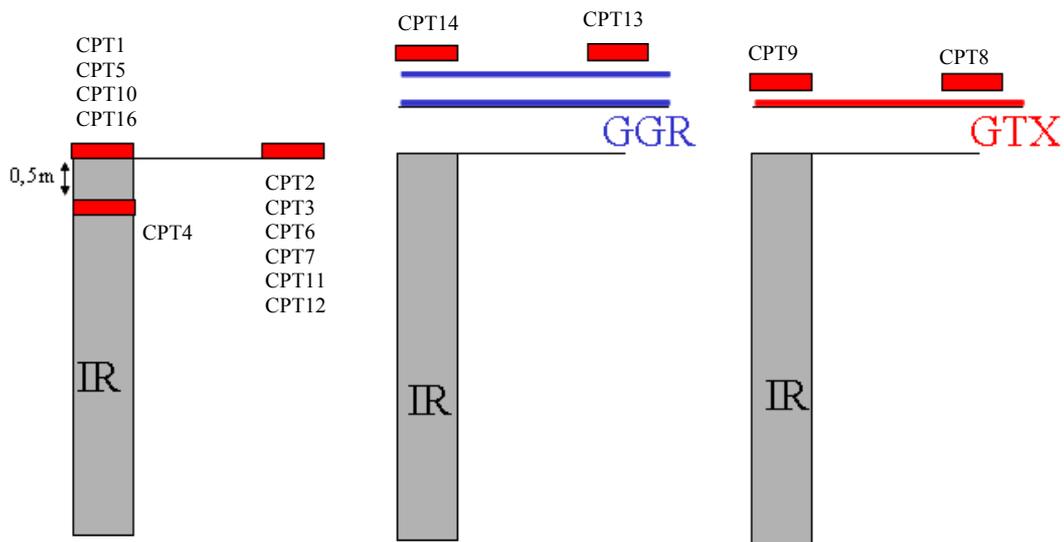
- 0-50 bars pour un positionnement sur les inclusions rigides,
- 0-4 bars pour un positionnement sur le sol à la base du remblai et dans la plate-forme de transfert de charge des plots 3R et 4R au droit du sol,
- 0-7 bars pour un positionnement dans la plate-forme de transfert de charge des plots 3R et 4R au droit des inclusions rigides.

Le diamètre de ces capteurs ( $\phi$  350 mm) est adapté pour un recouvrement optimal des inclusions rigides.

Un capteur a été mis en place dans une inclusion rigide du plot 2R à 50 cm de profondeur, noyé dans le béton. Les mailles centrales des plots expérimentaux ont particulièrement été instrumentées.



**Figure 16. Capteurs de pression totale**



**Figure 17. Disposition des capteurs de pression totale circulaires**

#### 4.2 Capteurs de pression totale rectangulaires (CPTH)

4 capteurs de pression totale rectangulaires (10 cm x 20 cm) ont été mis en place par le Cnam (Figure 18 – Annexe 11). Ces capteurs électriques (4-20 mA) ont des gammes de 0-5 bars et 0-7 bars. Deux d’entre eux sont positionnés le long d’inclusions rigides de la maille centrale du plot 2R (Figure 19) et mesureront l’évolution des contraintes horizontales. Deux d’entre eux ont été utilisés pour réaliser l’essai de refoulement (paragraphe 6) et laissés dans le sol pour vérifier l’évolution des contraintes horizontales et verticales lors de la mise en œuvre du remblai sous le talus.



**Figure 18. Capteurs de pression totale rectangulaire**

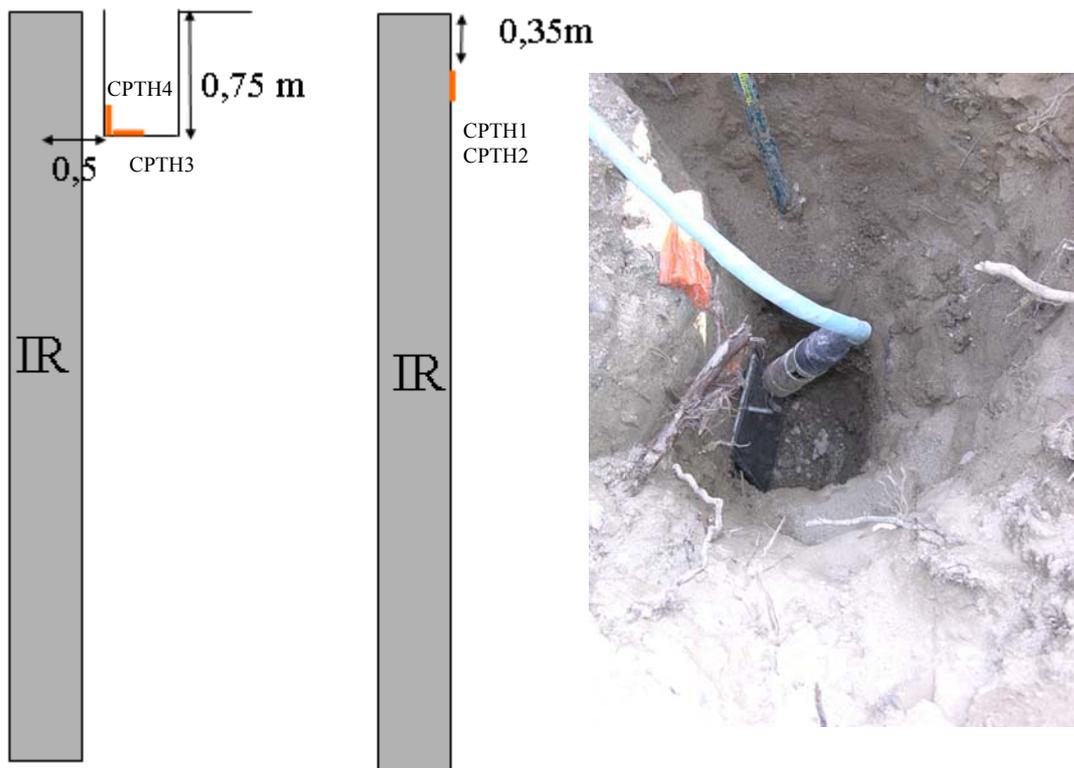


Figure 19. Disposition des capteurs de pression totale rectangulaires

### 4.3 Capteurs de pression interstitielle (CPI)

Deux capteurs de pression interstitielle (4-20 mA) 0-2 bars (Figure 20 – Annexe 12) ont été mis en place à 6 m de profondeur dans les plots 1R et 2R par la société Scétauroute le 31 juillet et le 01 août 2007.

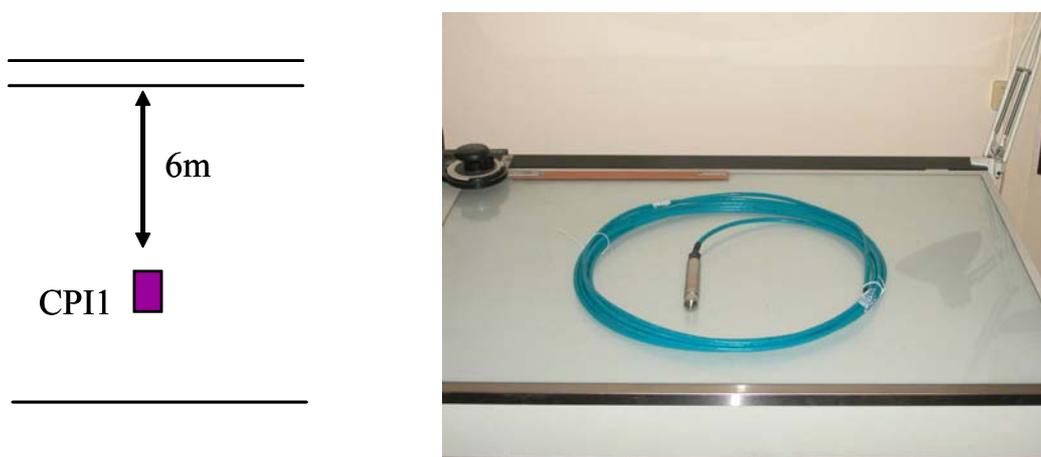


Figure 20. Capteurs de pression interstitielle

#### 4.4 Extensomètres à corde vibrante (ECV)

La déformation des inclusions rigides est mesurée à l'aide de 10 extensomètres à corde vibrante (0-3000  $\mu\epsilon$ ) installés dans le béton frais des inclusions rigides par Scétauroute les 17 et 18 juillet 2007. Une des inclusions rigides de la maille centrale des plots 3R et 4R a été instrumentée par deux extensomètres à corde vibrante (Figure 21). Une des inclusions rigides de la maille centrale du plot 2R a été instrumentée par quatre extensomètres à corde vibrante (Figure 21). Les extensomètres (Annexe 13) sont fixés à une tige métallique foncée dans le béton frais (Figure 21). Deux extensomètres à corde vibrante ont été mis en place dans deux éprouvettes en béton posées horizontalement sous le remblai du plot 3R (et donc soumis à aucun effort de compression dans l'axe des ECV) afin de servir de référence.

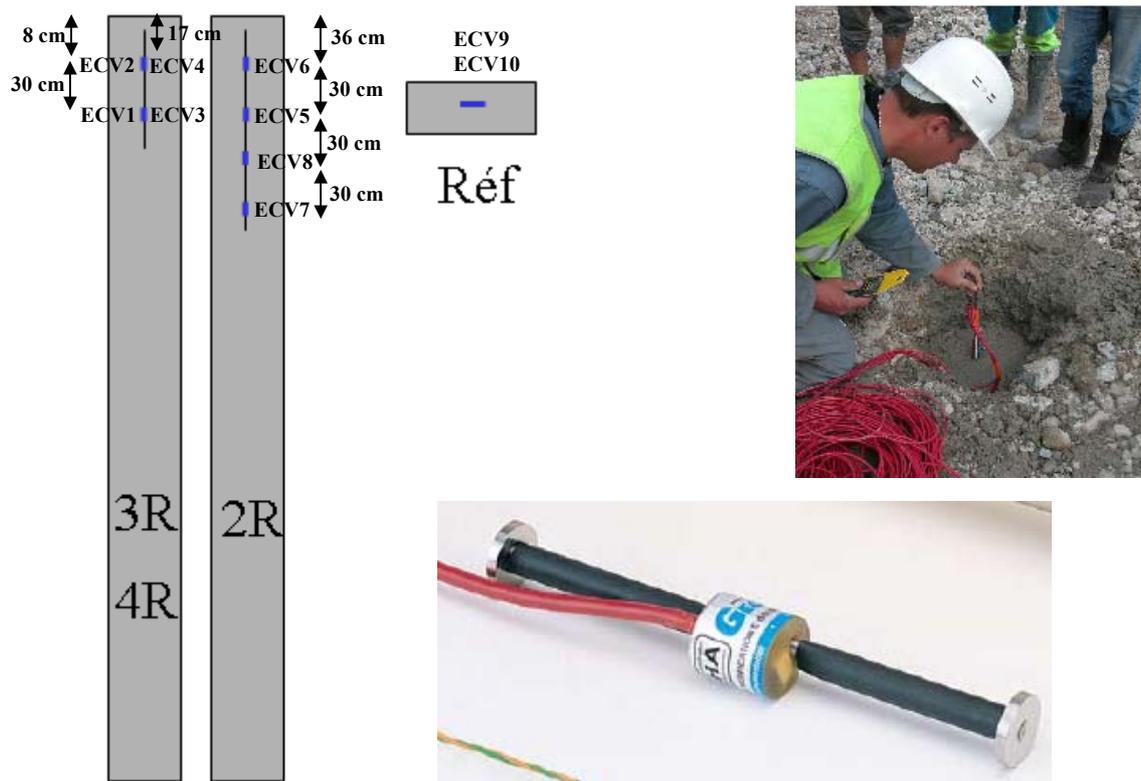


Figure 21. Extensomètres à corde vibrante ECV

#### 4.5 Transmetteur de pression pour mesure de niveau (Transducteur T)

Le tassement des têtes d'inclusions, du sol à la base du remblai et dans la plate-forme de transfert de charge des plots renforcés par géosynthétiques a été mesuré à l'aide de transducteurs (Annexe 14). Chaque transducteur est fixé sur une tige métallique foncée dans le sol, seuls les transducteurs mesurant le tassement des inclusions rigides sont directement scellés sur les têtes des inclusions. Chaque transducteur (Figure 22) est connecté en série à un récipient fixé au mât de la centrale d'acquisition (rempli d'anti-gel) d'une part et à la centrale d'acquisition d'autre part. Le transducteur mesure la variation de pression entre sa position et le niveau du récipient (Figure 23). Un transducteur de référence fixé à la dalle de la centrale d'acquisition permet de calculer le tassement des 37 autres transducteurs positionnés dans les quatre plots.

A la base du remblai, dans les plots renforcés, les transducteurs sont positionnés de tels sorte que l'on puisse mesurer le tassement différentiel sur la diagonale et sur un côté de la maille centrale (Figure 23).



Figure 22. Transducteurs

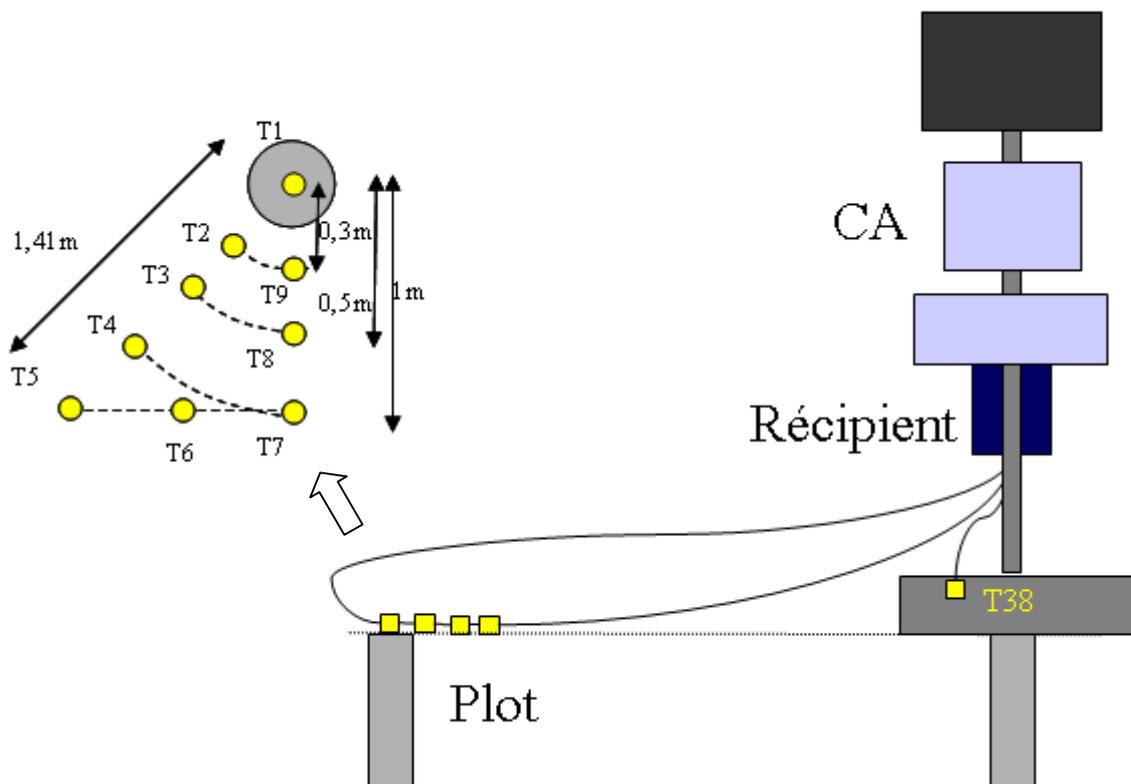


Figure 23. Positionnement des transducteurs et connexion

#### 4.6 Tassomètres magnétiques en forage (TM)

Le profil de tassement des plots 1R et 2R est mesuré à l'aide d'un tassomètre magnétique en forage (Figure 24) contenant 4 bagues magnétiques dont une disposée au niveau de la base du remblai. La mesure consiste à descendre une sonde tassométrique (Annexe 15) dans un tube PVC vertical, solidaire du sol alentour, et contenant des éléments tassométriques à différentes profondeurs. Un élément tassométrique est constitué de deux tubes PVC reliés entre eux par

un tube souple « en accordéon », supportant une compression ou une traction et contenant une bague magnétique. Lorsque le sol tasse, les bagues magnétiques suivent le mouvement du sol et la mesure de la profondeur de ces bagues par la sonde tassométrique permet de déduire le tassement. Ces tubes ont été installés par Fondasol et le Cnam.

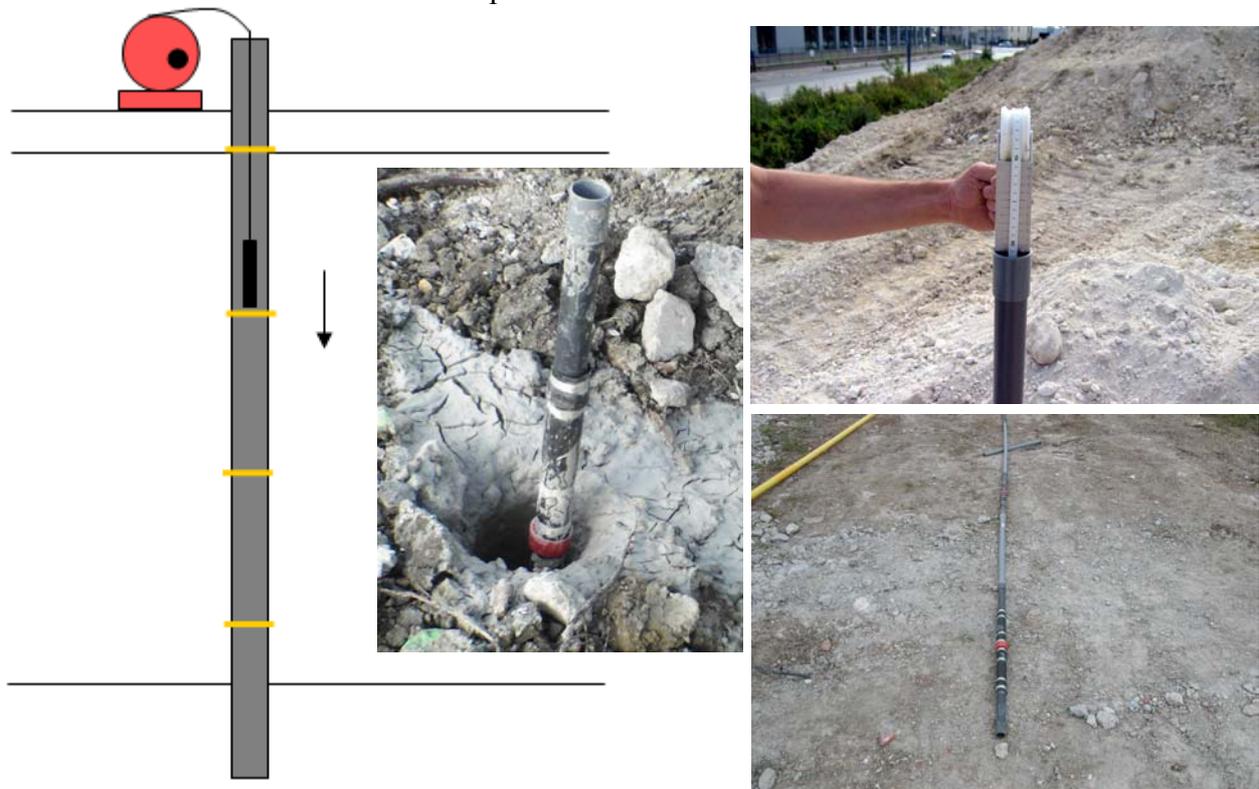


Figure 24. Tassomètre magnétique en forage (TM)

#### 4.7 Capteurs inclinométriques (I)

Des capteurs inclinométriques (4-20 mA)  $\pm 5^\circ$  (Figure 25 – Annexe 16) ont été mis en place sur des inclusions rigides situées en pied de talus des trois plots renforcés par la société Scétauroute les 17 et 18 juillet 2007. Chaque capteur est fixé à une barre métallique fongée dans le béton frais.

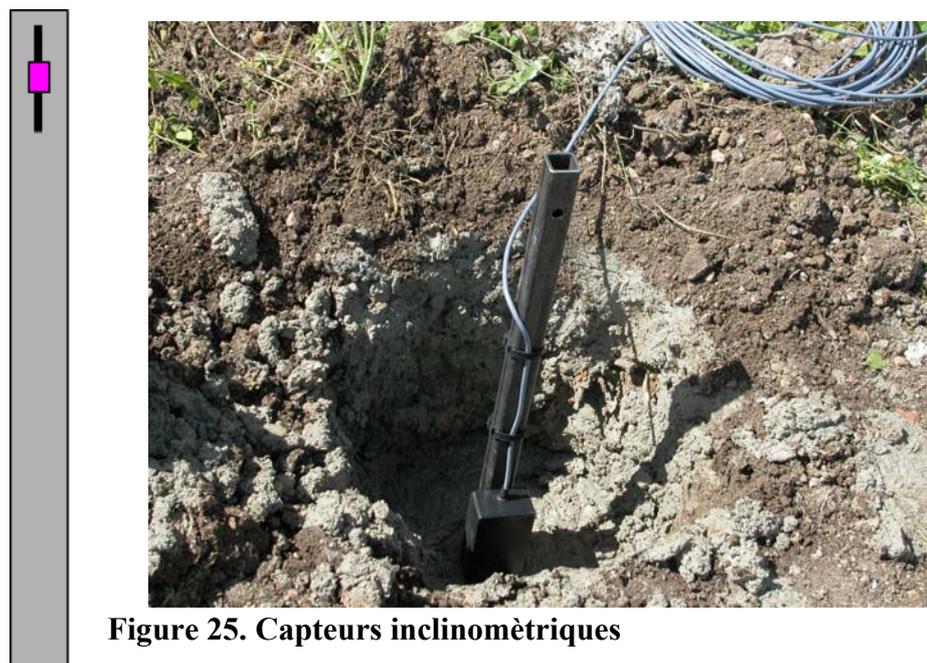


Figure 25. Capteurs inclinométriques

#### 4.8 Tubes inclinométriques verticaux (IV)

Le sol compressible des pieds de talus a été instrumenté par quatre tubes inclinométriques verticaux mis en place par Fondasol et le Cnam le 26 et le 30 juillet 2007 (Figure 26). Une sonde inclinométrique (Annexe 17) est introduite dans les tubes verticaux et permet de mesurer les déplacements latéraux. Des mesures quotidiennes ont été réalisées pendant la mise en œuvre du remblai, puis des mesures hebdomadaires ont été réalisées de septembre à décembre 2007. Les tubes inclinométriques sont protégés des éboulis éventuels par une tête bétonnée. Ils ont été ancrés de 1m environ dans la couche dure.

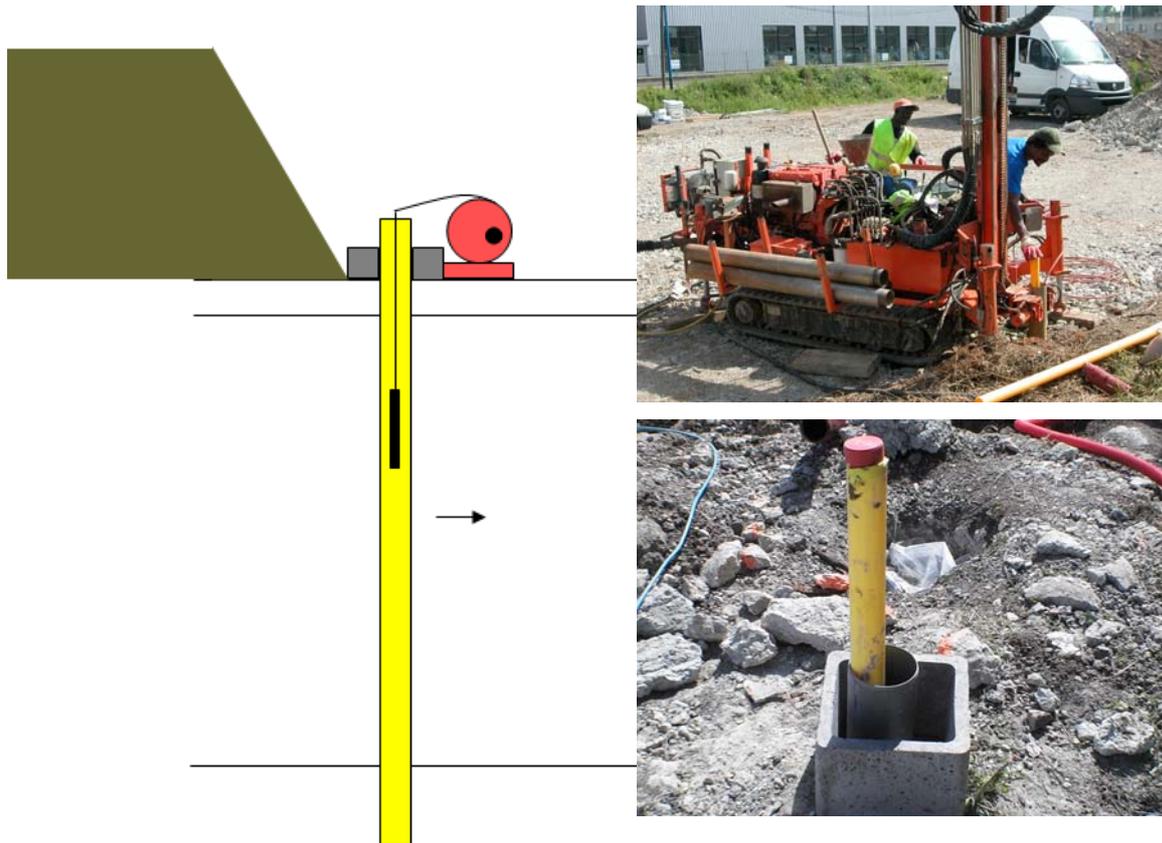


Figure 26. Tubes inclinométriques verticaux

#### 4.9 Bandes de Geodetect (Geo)

Les déformations des nappes géosynthétiques sont mesurées à l'aide de capteurs de déformation à fibres optiques intégrées dans une bande de nappe géosynthétique. Ce dispositif, le Geodetect, a été apporté par TenCate, membre du projet national A.S.I.R.I, et permet de mesurer avec une grande précision des déformations locales (Annexe 18).

Deux bandes ont été installées sous le géotextile du plot 3R au niveau de la maille centrale du corps du remblai (Figure 27), une bande a été installée sous la géogridde inférieure et une sous la géogridde supérieure du plot 4R (Figure 28).

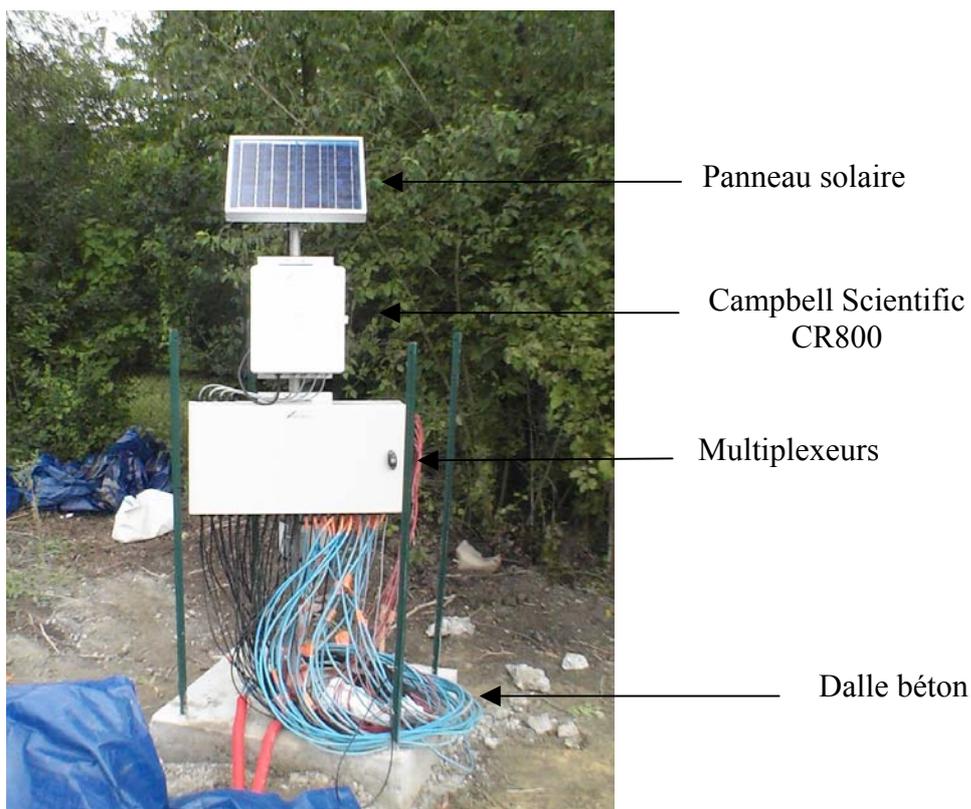
Ces bandes de Geodetect ont été installées par TenCate et le Cnam le 08 août 2007.



**Figure 27. Bandes de Geodetect**

#### 4.10 Centrale d'acquisition (CA)

L'ensemble des capteurs électriques (CPT, CPI, CPTH, I, T) et les capteurs de fréquence (ECV) sont connectés à des multiplexeurs reliés à une centrale d'acquisition de type Campbell Scientific CR800 (Annexe 19) alimentée par un panneau solaire (Figure 28). Cette centrale d'acquisition a été installée par Scétauroute. L'ensemble est disposé sur un mât, fixé dans une dalle béton de 1m<sup>2</sup> reposant sur une inclusion rigide.



**Figure 28. Centrale d'acquisition**

Des mesures en continu (toutes les 20 minutes) des 74 capteurs connectés ont été effectuées jusqu'au 31 août 2007, pendant la montée du remblai. La centrale d'acquisition et le panneau solaire ont été volés dans le week-end du 1<sup>er</sup> septembre 2007. A partir du 03 septembre, des mesures ponctuelles ont été réalisés par le Cnam à l'aide d'un calibre de boucle (pour les

capteurs électriques) et d'un appareil de mesures de fréquences des cordes vibrantes prêté par Scétauroute pour les extensomètres (Figure 29). Les capteurs inclinométriques nécessitant une alimentation en 24V sont mesurés hebdomadairement.



**Figure 29. Mesures manuelles à partir du 03 septembre 2007**

#### **4.11 Implantation des capteurs**

La maille centrale du corps de remblai ainsi que le talus Nord-Ouest de chaque plot ont été particulièrement instrumentés.

##### **Plot 2R**

L'instrumentation de ce plot au niveau des têtes d'inclusions rigides (Figure 30) est constituée de :

- 1 tassomètre magnétique en forage (TM1) composé de 4 bagues positionnées au niveau de la base du remblai, à -2m, à -5m et à -8m ;
- 1 capteur de pression interstitielle (CPI1) localisé à -6m ;
- 4 extensomètres à corde vibrante (ECV 5, ECV6, ECV7 et ECV8) mis en place le long d'une barre métallique dans l'inclusion n°23 ;
- 2 capteurs de pression totale rectangulaires (CPTH1 et CPTH2) positionnés sur le fût des IR n°22 et n°30 à 35 cm de la tête ;
- 5 capteurs de pression totale circulaires. Les capteurs CPT2 et CPT3 sont sur le sol, les capteurs CPT1 et CPT16 sont respectivement positionnés sur les IR n°22 et n°40 et le capteur CPT4 est à 50 cm de profondeur de la tête de l'IR n°31 ;
- 9 transducteurs (T1 à T9) permettant d'obtenir les profils de tassement sur la diagonale et sur un côté de la maille centrale, un transducteur (T37) permettant de suivre le tassement sous le talus ;
- 1 forage inclinométrique vertical (IV2) entre les IR n°17 et n°25 ;
- 2 capteurs inclinométriques I1 (sur l'IR n°25) et I2 (sur l'IR n°26) ;
- 2 capteurs de pression totale rectangulaires (CPTH3 et CPTH4), utilisé pour l'essai de refoulement et laissés dans le sol à proximité de l'IR n°18.

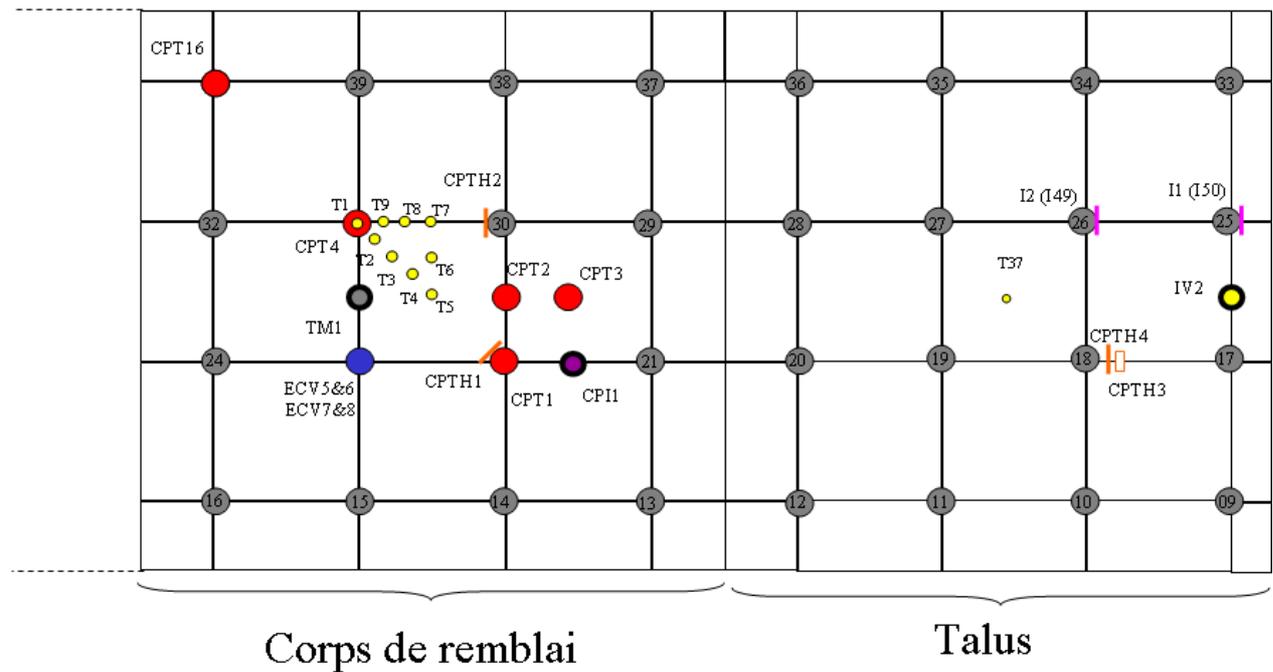


Figure 30. Implantation des capteurs du plot 2R

**Plot 1R**

L'instrumentation de ce plot à la base du remblai (Figure 31) est constituée de :

- 1 tassomètre magnétique en forage (TM2) composé de 4 bagues positionnées au niveau de la base du remblai, à -2m, à -5m et à -8m ;
- 1 capteur de pression interstitielle (CPI2) localisé à -6m ;
- 1 capteur de pression totale circulaire CPT15 ;
- 2 transducteurs (T35 et T36) permettant de suivre le tassement sous le remblai ;
- 1 forage inclinométrique vertical (IV1).

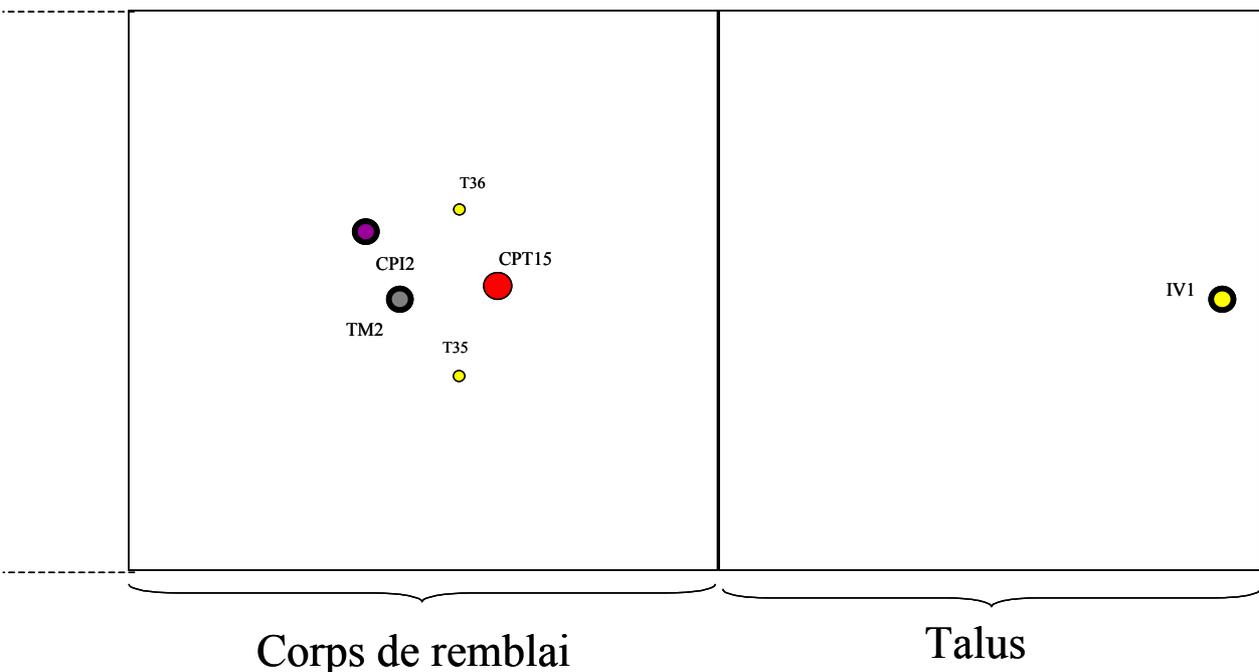
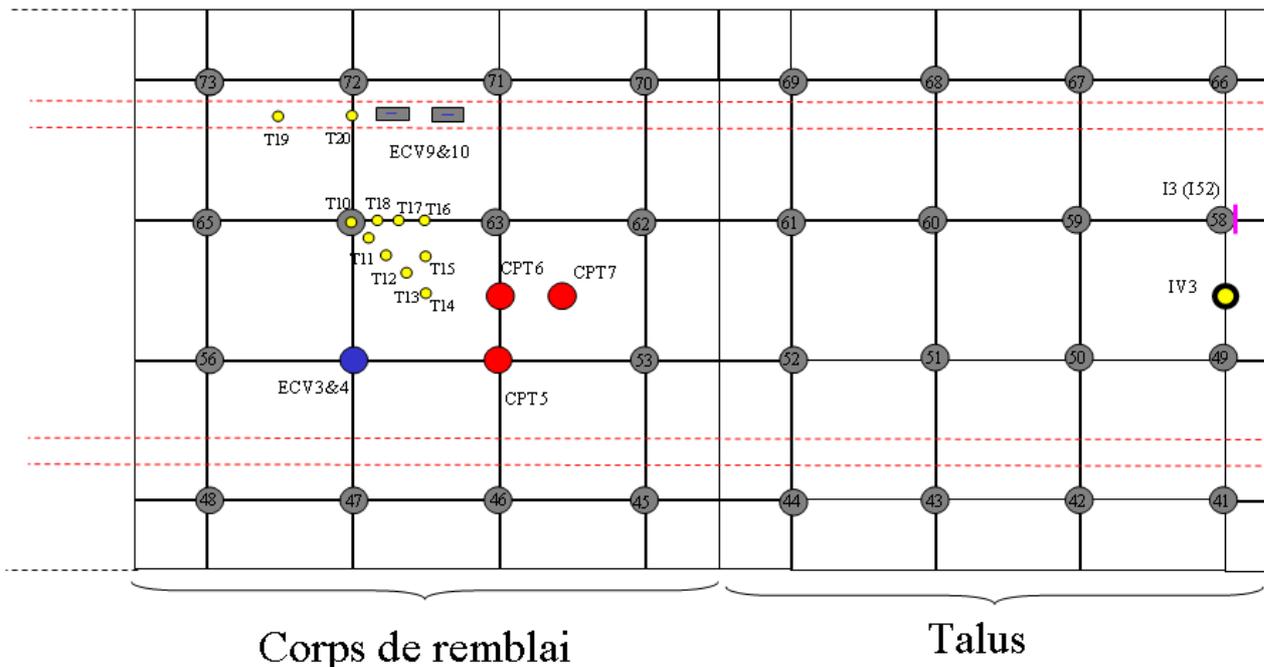


Figure 31. Implantation des capteurs du plot 1R

**Plot 3R**

L'instrumentation de ce plot au niveau des têtes d'inclusions rigides (Figure 32) est constituée de :

- 2 extensomètres à corde vibrante (ECV3 et ECV4) mis en place le long d'une barre métallique dans l'inclusion n°55 ;
- 2 extensomètres à corde vibrante de référence (ECV9 et ECV10) mis en place dans des éprouvettes de béton positionnées horizontalement à la base de la plate-forme de transfert de charge ;



**Figure 32. Implantation des capteurs du plot 3R**

- 3 capteurs de pression totale circulaires. Les capteurs CPT6 et CPT7 sont sur le sol, le capteur CPT5 est positionné sur l'IR n°54 ;
- 9 transducteurs (T10 à T18) permettant d'obtenir les profils de tassement sur la diagonale et sur un côté de la maille centrale, deux transducteurs (T19 et T20) permettant de suivre le tassement sous le recouvrement des nappes géotextiles ;
- 1 forage inclinométrique vertical (IV3) entre les IR n°49 et n°58 ;
- 1 capteur inclinométrique I3 sur l'IR n°58.

L'instrumentation de ce plot au niveau de la nappe géotextile (Figure 33) est constituée de :

- 2 bandes de Géodetect positionnées sous la nappe centrale (sur la diagonale et sur le côté de la maille centrale) ;
- 2 capteurs de pression totale circulaires sur la nappe géotextile. Le capteur CPT8 est à la verticale du capteur CPT7 et le capteur CPT9 est à la verticale du capteur CPT5 ;
- 1 transducteur (T21) positionné sur le géotextile à la verticale du transducteur T14.

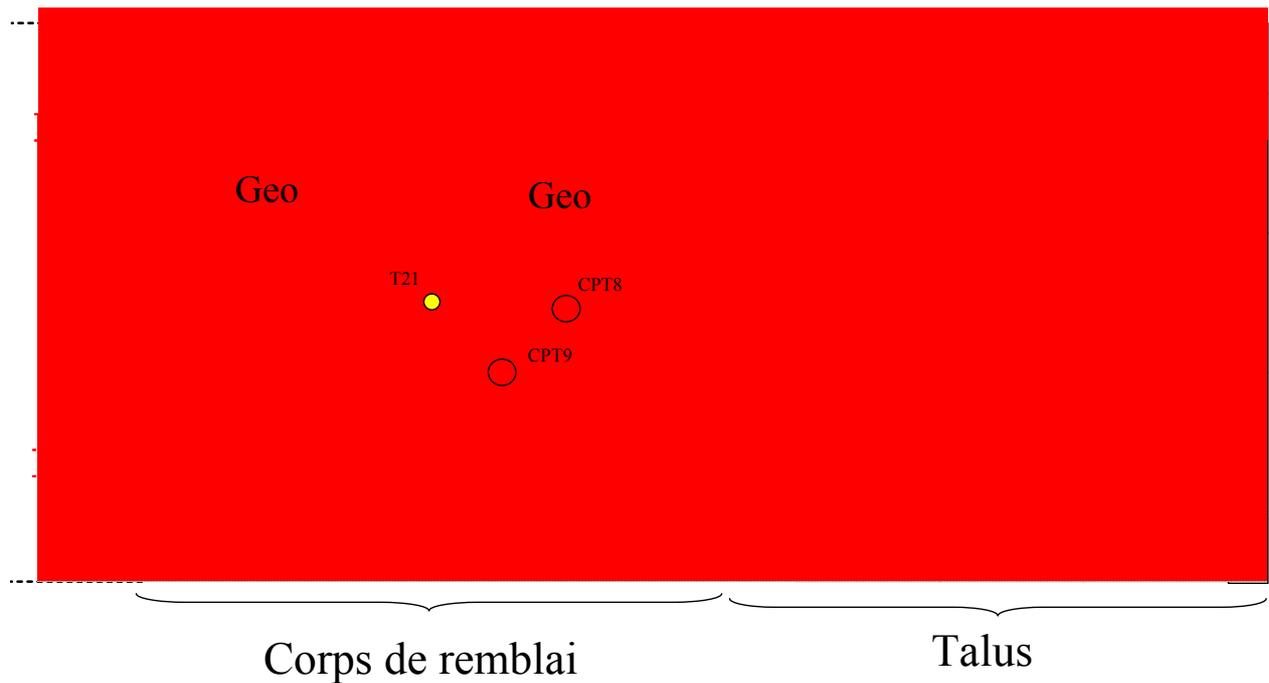


Figure 33. Implantation des capteurs du plot 3R au niveau de la nappe géotextile

**Plot 4R**

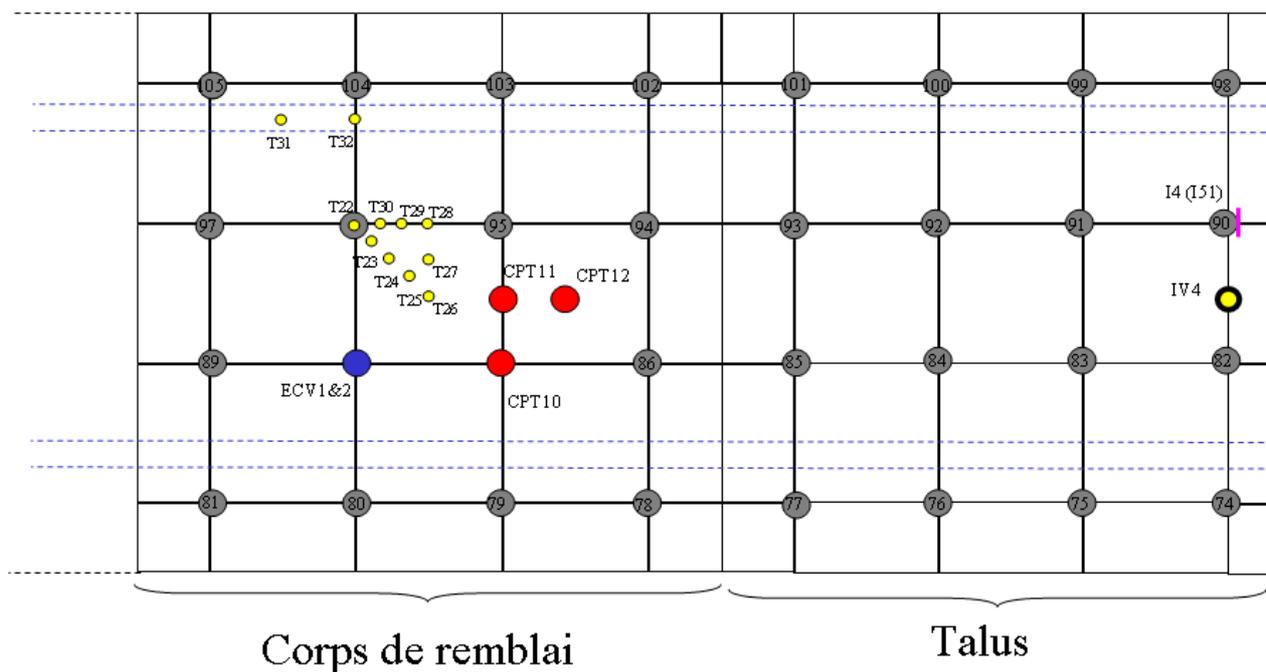


Figure 34. Implantation des capteurs du plot 4R

L'instrumentation de ce plot au niveau des têtes d'inclusions rigides (Figure 34) est constituée de :

- 2 extensomètres à corde vibrante (ECV1 et ECV2) mis en place le long d'une barre métallique dans l'inclusion n°88 ;

- 3 capteurs de pression totale circulaires. Les capteurs CPT11 et CPT12 sont sur le sol, le capteur CPT10 est positionné sur l'IR n°87;
- 9 transducteurs (T22 à T30) permettant d'obtenir les profils de tassement sur la diagonale et sur un côté de la maille centrale, deux transducteurs (T3 & T32) permettant de suivre le tassement sous le recouvrement des géogrilles inférieures ;
- 1 forage inclinométrique vertical (IV4) entre les IR n°82 et n°90 ;
- 1 capteur inclinométrique I4 sur l'IR n°90.

L'instrumentation de ce plot au niveau de la géogrille inférieure (Figure 35) est constituée de :

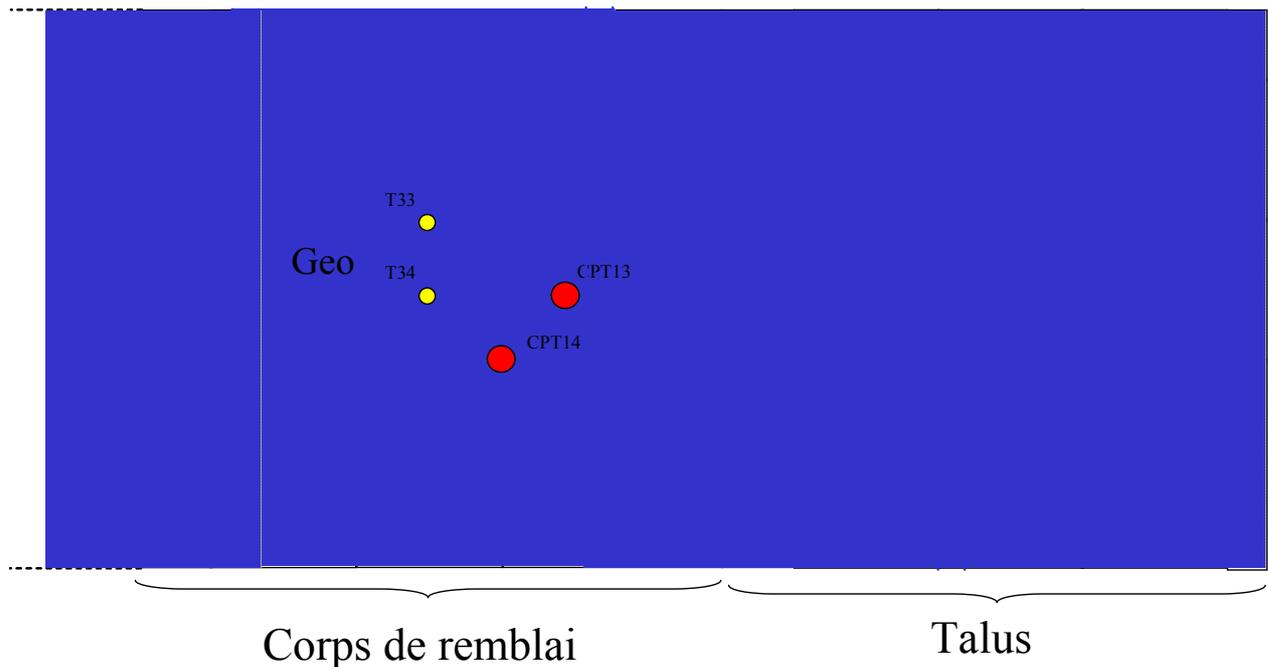
- 1 bande de Géodetect positionnée sous la géogrille inférieure sur la diagonale de la maille centrale.



**Figure 35. Implantation des capteurs du plot 4R au niveau de la géogrille inférieure**

L'instrumentation de ce plot au niveau de la géogrille supérieure (Figure 36) est constituée de :

- 1 bande de Géodetect positionnée sous la géogrille supérieure sur la diagonale de la maille centrale ;
- 2 capteurs de pression totale circulaires sur la nappe géotextile. Le capteur CPT13 est à la verticale du capteur CPT12 et le capteur CPT14 est à la verticale du capteur CPT10 ;
- 2 transducteurs, le T33 est positionné sur la géogrille supérieure à la verticale du T28 et le T34 est positionné sur la géogrille supérieure à la verticale du T26.



**Figure 36. Implantation des capteurs du plot 4R au niveau de la géogrille supérieure**

#### 4.12 Fréquence des mesures

La fréquence des mesures de tous les capteurs est présentée en annexe 20.

### 5 Essai de refoulement

Un essai « de refoulement » a été réalisé lors de la mise en œuvre des inclusions rigides. Cet essai permet de mesurer l'augmentation de contrainte horizontale dans le sol à une profondeur donnée et à une distance donnée d'une inclusion rigide lors de sa réalisation. L'inclusion n°18 du plot 2R a donc été instrumentée dans ce sens (Figure 37) par deux capteurs de pression totale rectangulaires :

- CPTH3 disposé horizontalement,
- CPTH4 disposé verticalement.

Les deux capteurs sont à 0,75 m de profondeur et distants de 0,5 m du centre de l'inclusion n°18.

La figure 38 présente les variations de contraintes horizontales et verticales mesurées par les deux capteurs lors de la réalisation des inclusions rigides n°18 et n°17, la mise en œuvre des autres inclusions rigides n'ayant aucune incidence sur les mesures.

Lors de la phase de forage de l'inclusion n°18, la contrainte horizontale augmente significativement lors du passage de l'outil puis redescend à une valeur de 15 kPa jusqu'à ce que l'outil atteigne le fond du forage. Cette contrainte diminue lors de la remontée de l'outil (pas de rotation et injection du béton) jusqu'au passage de l'outil à la profondeur du capteur. A cet instant, la contrainte horizontale augmente significativement à nouveau et descend à un niveau de contrainte de l'ordre de 20 kPa.

Les mêmes variations de contraintes sont mesurées lors de la réalisation de l'inclusion n°17 avec des valeurs pics lors du passage de l'outil à la profondeur de la mesure moins grandes que celles mesurées pour l'inclusion n°18.

Au final, il n'y a pas d'augmentation de la contrainte verticale et une amélioration de 15 kPa de la contrainte horizontale mesurée à 0,5 m d'une inclusion rigide et à une profondeur de 0,75 m. Après un mois, cette amélioration s'est stabilisée à 8 kPa.

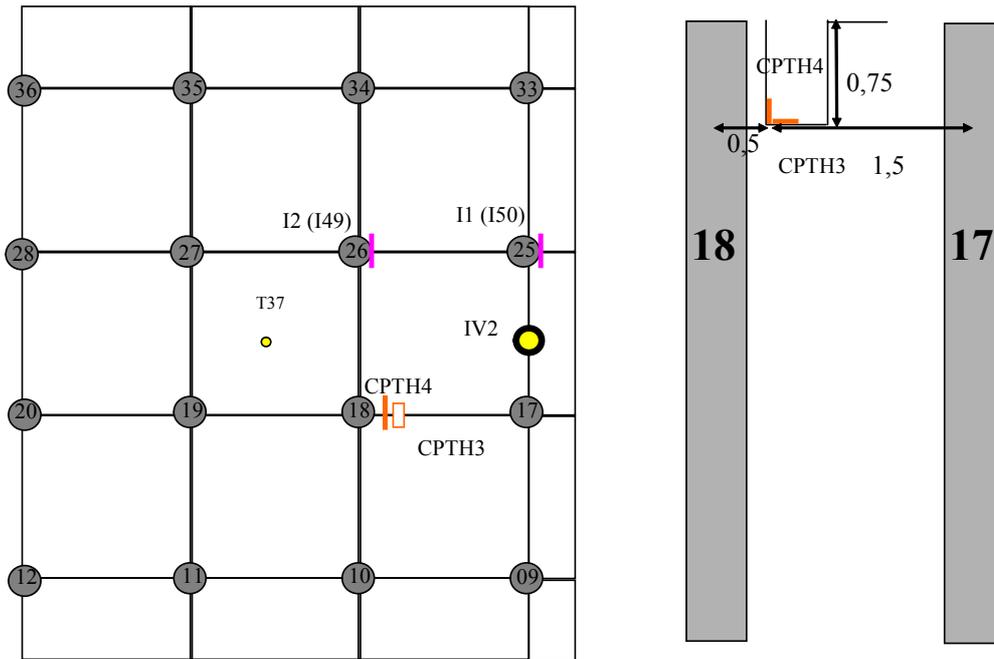


Figure 37. Essai de refoulement

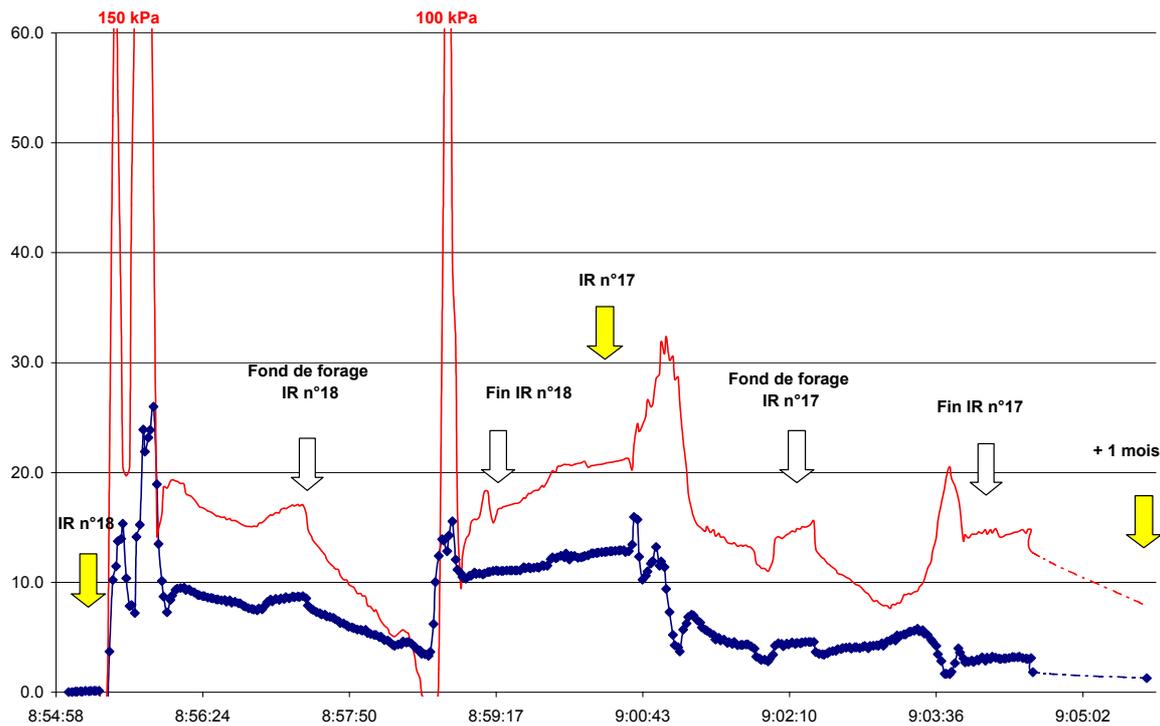


Figure 38. Résultats de l'essai de refoulement

Bien entendu, cet essai ne permet pas de conclure sur l'amélioration du sol lors de la réalisation d'inclusions rigides refoulantes. Cependant, il permet d'observer certains mécanismes, notamment la diminution de la contrainte horizontale lors de la phase de remontée de l'outil. Des essais complémentaires seront réalisés par le Cnam sur d'autres

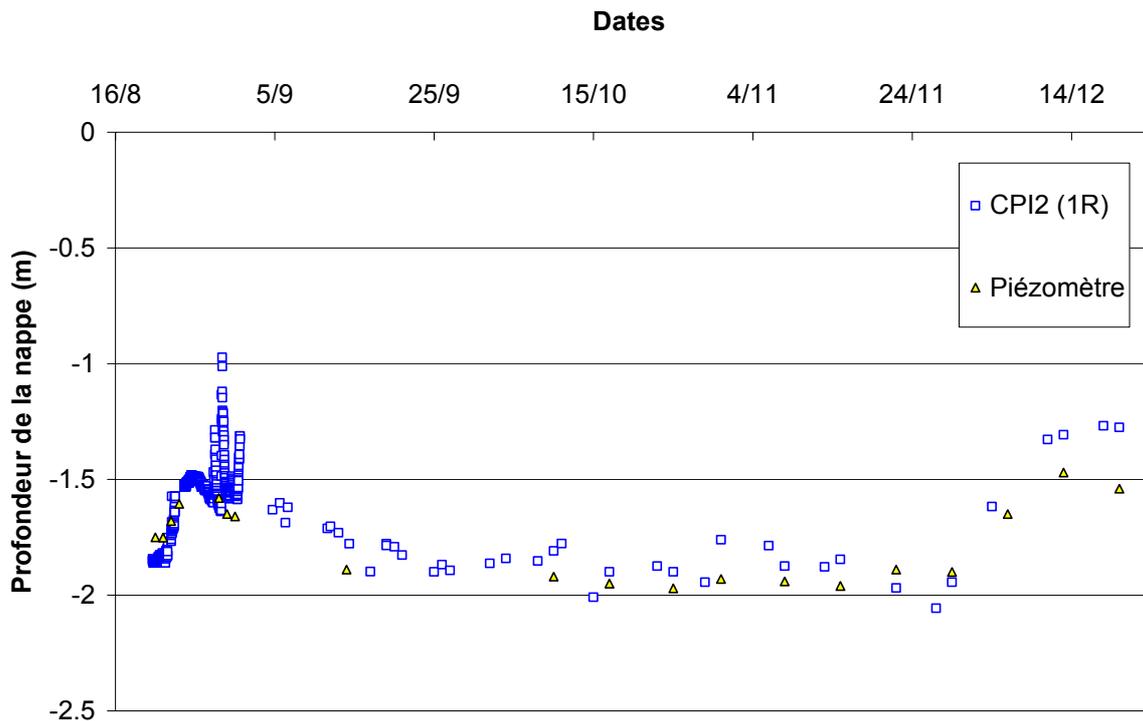
chantiers d'inclusions rigides en mesurant la contrainte horizontale à différentes profondeurs, à différentes distances des inclusions rigides et pour différents types de sols.

## 6 Mesures du plot 1R

Les mesures enregistrées par les capteurs du plot 1R sont données :

- mesures de pression interstitielle (CPI2) comparées aux variations de la hauteur de la nappe,
- mesures du tassement (TM2, T34 et T35),
- mesures du déplacement latéral en pied de talus,
- mesures de pression totale.

On note (Figure 39) une augmentation de pression interstitielle au cours de la mise en œuvre du remblai, puis une dissipation rapide.



**Figure 39. Variation de pression interstitielle sous le remblai 1R et variation de la hauteur de la nappe**

Les mesures du tassement (Figure 40), au niveau du terrain naturel, par les 2 transducteurs et la première bague magnétique du tassomètre mettent en évidence une bonne concordance des instruments de mesure. Le plot non renforcé atteint un tassement de 23-26 cm. Ce tassement est atteint rapidement (1 mois environ).

A 2 m de profondeur le tassement atteint 16,5 cm et à -5 m, il atteint 7,5 cm. Le tassement est nul à -8m, le point neutre se situe donc entre 5 et 8m.

L'augmentation de la contrainte totale a été mesurée par un capteur disposé à la base du remblai (Figure 42). Le capteur mesure bien la variation de contrainte au cours de la montée du remblai (du 21 août au 04 septembre) par contre la valeur maximum mesurée est très inférieure à la contrainte appliquée ( $= \gamma.H = 19 \times 5 = 95 \text{ kPa}$ ). Les conditions de sol à l'emplacement du capteur n'étaient pas très favorables (zone très compressible) pour la mise en place du capteur et il se peut qu'il ne soit pas resté horizontal durant la phase de remblaiement. Son horizontalité sera vérifiée lors de déchargement.

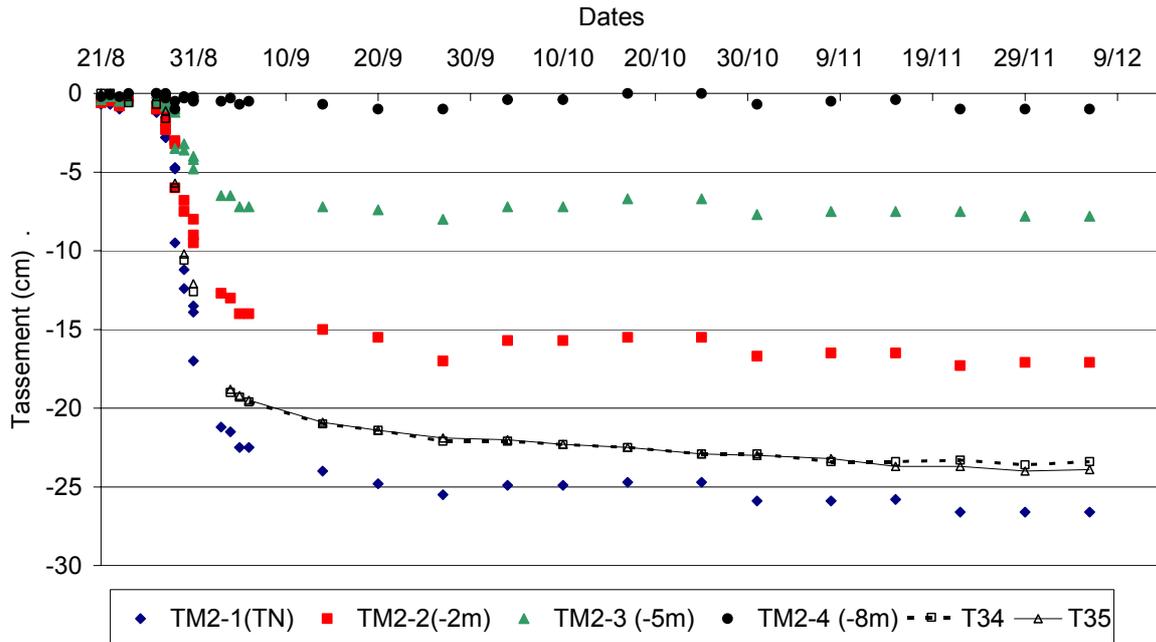


Figure 40. Mesures du tassement sous le plot 1R

Le déplacement latéral du sol compressible au pied du talus a été mesuré à l’aide d’un forage inclinométrique. On peut déplorer que le fond de forage soit que très légèrement ancré dans la couche dure. Les mesures faites sont donc d’une part des mesures de déplacements latéraux par rapport au fond de forage qui a pu aussi subir un déplacement et d’autre part des mesures de déplacements relatifs par rapport au profil réalisé avant le chargement. On observe que les déplacements sont plus importants dans la couche située entre -1m et -3m. Le déplacement maximum atteint 3 cm (Figure 41).

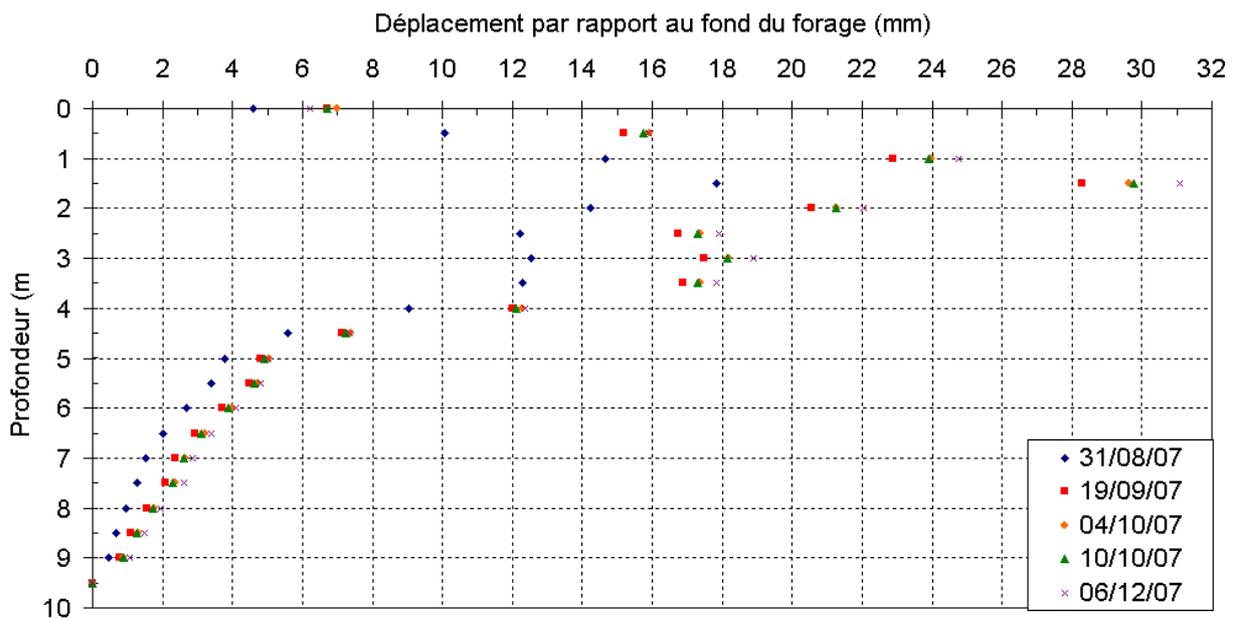


Figure 41. Mesures du déplacement latéral au pied du talus du plot 1R

### 5. Essai de chargement

Le LCPC a procédé à deux essais de chargement au cours de la semaine 38 (Figure 42). La poutre de chargement a été mise à disposition par la société Keller. Le premier pieu (n°6) testé était légèrement ancré ( $L = 7,44\text{m}$ ), le second pieu ( $L = 6,02\text{m}$ ) était flottant (Figure 43). Les inclusions n°1, 2, 4, 5, 7 et 8 sont les inclusions du massif d’ancrage. Le rapport de synthèse de ces deux essais 2-07-1-01a sera transmis à l’IREX par le LCPC.



Figure 42. Essai de chargement (LCPC – 19/09/07)

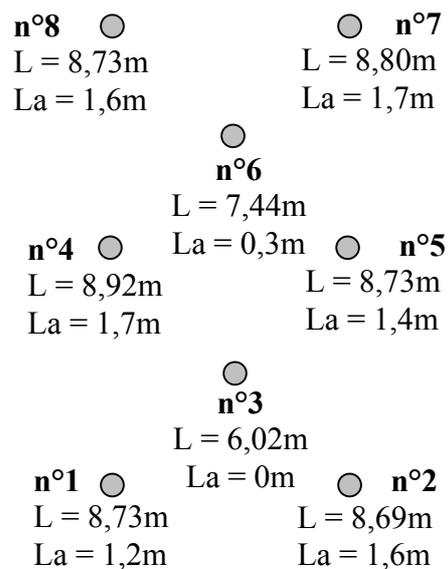


Figure 43. Longueur et ancrage des inclusions de l’essai de chargement

## 7 Budget

Tableau VIII - Budget

Phases		Coût	Financement	Dons en nature
Acquisition du site		-	-	
<b>Caractérisation</b>				
Cnam	Délimitation et implantation	1000.00	500.00	500.00
Lankelma (Keller)	Pénétrations statiques	1420.00	1420.00	
Cnam	Essais scisso	600.00		600.00
	Essais labo	1500.00	500.00	1000.00
Fondasol	Sondages carottés	4800.00		4800.00
sous total		<b>9320.00</b>	<b>2420.00</b>	<b>6900.00</b>
<b>Chantier</b>				
TenCate	Fourniture GTX & GGR	5708.50		5708.50
Cnam	Mise en œuvre GTX & GGR	500.00		500.00
	Essai de refoulement	1000.00		1000.00
Keller	IR et essai de chargement	58916.00		58916.00
Rincent BTP	Contrôle des IR	800.00	800.00	
Eiffage	Remblai + 4R	39400.00	39400.00	
	Plate-forme de trafic	5500.00	3500.00	2000.00
Cnam	Film	20000.00		20000.00
IREX (Keller)	Fournitures essai de chargement	1358.22	1358.22	
LCPC	Essai de chargement	9251.00	3700.00	5551.00
IREX – Dywidag	Barres Dywidag	1852.45	1852.45	
IREX – Pouchard	Tubes	272.10	272.10	
sous total		<b>144558.27</b>	<b>50882.77</b>	<b>93675.50</b>
<b>Instrumentation</b>				
Cnam (IREX-Glotzl)	CPT vert	14850.00	14850.00	
Cnam (Glotzl)	CPT vert (dans IR)	1030.00	1030.00	
Cnam (IREX-Glotzl)	Sonde vert. + tubes	1079.00	1079.00	
Cnam	Tubes TM et tubes inclino	827.00		827.00
	Pose des têtes de protection des tubes	1500.00		1500.00
	CPT hor	5915.00		5915.00
Fondasol	Forages et pose inclino et TM et piezo	11204.00	11204.00	
Cnam	Mise en œuvre du Geodetect + premières mesures	1000.00		1000.00
Scétauroute	Instrumentation	65420.00	46720.00	18700.00
TenCate	Fourniture du Geodetect + mesures + suivi	12250.00	8458.50	3791.50
sous total		<b>115075.00</b>	<b>83341.50</b>	<b>31733.50</b>
<b>Suivi et coordination</b>				
Cnam	Suivi du chantier et remise de rapports	65000.00	10000.00	55000.00
	Frais divers	1000.00	377.23	622.77
IREX – expo4	Panneau de signalisation	431.00	431.00	
Ménard	Salaire Thèse Cifre	24233.00		24233.00
	Coordinateur SPS	2376.00	1980.00	396.00
sous total		<b>93040.00</b>	<b>12788.23</b>	<b>80251.77</b>
<b>Total</b>		<b>361993.27</b>	<b>149432.50</b>	<b>212560.77</b>

Un budget prévisionnel de 145 000 € était disponible pour mener à bien cette expérimentation en vraie grandeur. Une avance supplémentaire de 5 000 € a été nécessaire. La revente du matériau de remblai devrait permettre de respecter le budget. Les dépenses engagées et les dons en nature apportés par les membres du projet national sont présentés dans le tableau VIII. Nous notons que les partenaires du projet ont apporté d'importants dons en nature et nous les remercions pour cette contribution.

## **8 Conclusions et poursuite de l'expérimentation**

L'instrumentation a donné toute satisfaction, nous avons seulement perdu un capteur inclinométrique en décembre 2007. Nous avons juste à déplorer le vol de la centrale d'acquisition. Ce chantier difficile en termes de rapidité d'action et d'exécution a pu se réaliser grâce à la forte implication des partenaires du projet national.

En janvier 2008, le remblai sera retiré et les capteurs récupérés, les mesures seront poursuivies lors du déchargement. Des inclusions seront réalisées entre les plots et autour de la zone expérimentale par GTS dans le cadre du chantier réel du contournement Sud de Chelles. Des essais complémentaires seront aussi réalisés dans ce cadre (pénétrromètres statiques et tarière) et un remblai routier sera mis en œuvre. Certains capteurs seront utilisés pour mesurer les mécanismes de transfert de charge et les tassements sous ce nouveau remblai.

Un benchmark sera organisé en début d'année 2008 pour les membres du projet national A.S.I.R.I. Ils disposeront des paramètres géométriques des plots expérimentaux ainsi que de toutes les données sur les matériaux en place. Ils auront jusqu'au mois d'avril pour calculer les tassements et les reports de charges prévisibles. Lors de la prochaine réunion du comité scientifique, nous comparerons les mesures aux différentes prévisions. Au cours de cette même réunion, un film retraçant la mise en œuvre de cette expérimentation en vraie grandeur sera projeté. Ce film est réalisé par l'équipe vidéo du Cnam et l'équipe de géotechnique du Cnam ; il sera mis à la disposition des membres du projet national A.S.I.R.I.