

Projet SOLCYP

Essais de chargements cycliques des pieux à Loon Plage (59) – Rapport d’essais



Alain Le Kouby (Ifsttar)

Omar Benzaria (Ifsttar – Fugro)

Stanislas Po (Fugro)

Novembre 2012

SOLCYP/ FICHE SIGNALÉTIQUE

TITRE :	Projet SOLCYP – Essais sur les essais de chargement de Loon Plage
RAPPORT :	FACTUEL
DATE D'ETABLISSEMENT :	Novembre 2012
AUTEURS :	Alain LE KOUBY / Omar BENZARIA/ Stanislas Po
ORGANISMES CHARGES DE L'ACTION :	Institut Français des Sciences et des Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux (IFSTTAR) – Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) Fugro-France SAS
THEME DE RATTACHEMENT :	Thème 2 - Essais en vraie grandeur, chantier expérimental de Loon plage
LETTRE DE COMMANDE :	IREX LC/12/SOL/26 (IFSTTAR) LC/12/SOL/29 (FUGRO)

Résumé

Dans le cadre du thème 2 « Pieux » du projet national SOLCYP (SOLlicitations CYcliques sur les Pieux), l'IFSTTAR / LCPC a été chargé de réaliser une campagne d'essais de chargements de pieux sur le plot expérimental de Loon Plage (59) situé sur un terrain appartenant à l'autoroute du Nord. Ce terrain a déjà été plusieurs fois utilisé pour des expérimentations menées par l'IFSTTAR/LCPC. Le sol est essentiellement constitué de sable des Flandres.

L'objet de l'étude est le comportement des pieux sous charges cycliques, un domaine pour lequel le besoin en règles de dimensionnement est très important. Cette campagne d'essais est essentielle puisqu'elle va permettre de collecter une base de données importante pour la compréhension des phénomènes et la validation des modèles développés dans le cadre du projet.

L'équipe Fondations de GER2 a été mobilisée. La campagne d'essais s'est déroulée du 22 février au 29 mars 2012. Elle a été conduite avec l'aide du CER de Rouen, en collaboration avec FUGRO France (thèse CIFRE Omar Benzaria) et avec l'assistance de l'entreprise BOTTE FONDATIONS. Au total 7 pieux ont été testés se répartissant en 2 types : pieux forés (5) et pieux battus (2). Les diamètres des pieux étaient de 420 mm pour les pieux en béton et de 406 mm pour les pieux battus. Des essais de chargements cycliques de pieux en compression, en traction et alternés ont été effectués.

Ce rapport, purement factuel, décrit :

- les objectifs de la campagne d'essais en termes d'étude de stabilité et de dégradation de la capacité portante d'une fondation profonde soumise à des chargements cycliques.
- le programme expérimental réalisé au cours des cinq semaines et demi d'essais sur site,
- les dispositifs expérimentaux et les systèmes d'instrumentation mis en œuvre,
- des courbes typiques de résultats qui permettent de juger de la nature et de la qualité des données acquises.
- La réalisation d'essais cycliques instrumentés à grand nombre de cycles était l'objectif principal de cette campagne et représentait un défi opérationnel majeur.

Les équipements spécifiques mis en œuvre ont donné satisfaction, notamment :

- le vérin cyclique et son système de pilotage,
- les extensomètres amovibles et le système d'acquisition de données.

L'examen des premiers résultats permet de penser que les données sont représentatives et de bonne qualité. L'interprétation des résultats est en cours.

SOMMAIRE DU rapport

RESUME.....	3
1 INTRODUCTION.....	6
2 OBJECTIFS DES ESSAIS DE CHARGEMENTS CYCLIQUES AXIAUX.....	7
3 PROGRAMME EXPERIMENTAL.....	8
3.1 ESSAIS STATIQUES DE REFERENCE	9
3.2 ESSAIS STATIQUES RAPIDES	9
3.3 ESSAIS CYCLIQUES.....	9
3.4 PROCEDURE EXPERIMENTALE	11
4 DISPOSITIF EXPERIMENTAL	13
4.1 EQUIPEMENTS UTILISES	13
4.1.1 VERIN STATIQUE	13
4.1.2 VERIN CYCLIQUE.....	14
4.1.3 CHARGEMENT ALTERNE.....	16
4.1.4 CAPTEURS DE DEPLACEMENTS.....	16
4.1.5 EXTENSOMETRES AMOVIBLES.....	17
4.2 MONTAGE D'UN ESSAI DE CHARGEMENT EN COMPRESSION	19
4.3 MONTAGE D'UN ESSAI DE CHARGEMENT EN TRACTION	20
4.4 MONTAGE D'UN ESSAI DE CHARGEMENT CYCLIQUE ALTERNE	21
4.5 PILOTAGE DU VERIN CYCLIQUE.....	23
4.6 ACQUISITION.....	23
5 COURBES TYPIQUES.....	25
5.1 CHARGEMENT STATIQUE	25
5.2 CHARGEMENT CYCLIQUE.....	25
5.2.1 CHARGEMENT EN COMPRESSION.....	25
5.2.2 CHARGEMENT ALTERNE.....	29
6 CONCLUSIONS	30
7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	31

1 INTRODUCTION

Dans le cadre du projet national de recherche SOLCYP (SOLlicitations CYcliques sur les Pieux), l'IFSTTAR / LCPC a été chargé d'effectuer la campagne d'essais de pieux prévue dans le projet (22 février au 29 mars 2012). Cette campagne d'essai est considérée comme essentielle pour le projet car elle va servir de bases de données pour la validation des modèles de comportement proposés dans le projet. 2 types de pieux (battu, et foré) ont été testés dans un matériau typique le sable de Dunkerque.

Il faut également signaler qu'un autre site expérimental proche et où les conditions de sol sont très similaires a été utilisé dans les années 1985 à 2000. Il se trouve dans la ZIP des Huttes près de l'Institut Pasteur de Lille sur un terrain du Port Autonome de Dunkerque. Il a fait l'objet de plusieurs études notamment des essais de pieux dans le cadre d'un programme de recherche du CLAROM où 4 pieux de 24 mm de diamètre ont été battus à une pénétration de 11 et 22 m puis chargés en traction et en compression (Brucy et al.,1991). Ce même a ensuite servi pour les essais de l'Imperial College de Londres pour des essais de pieux instrumentés sous chargements cycliques (Jardine et al., 2000).

Ces essais ont été réalisés en collaboration avec l'entreprise FUGRO France et avec l'aide de l'entreprise BOTTE FONDATIONS.

L'entreprise BOTTE FONDATIONS –qui a mis en place les pieux du plot expérimental - a mis des personnels à disposition pour aider aux opérations de montage et démontage des bâtis de réaction et installation des vérins et capteurs de déplacements.

L'entreprise FUGRO France a directement participé à la définition, au pilotage et à la réalisation des essais. Elle est plus particulièrement intervenue sur les opérations de mise en place des pieux battus qui ont été instrumentés et sur la réalisation du montage des essais alternés qui a nécessité l'utilisation d'un accumulateur haute pression. On rappelle que cette campagne d'essais constitue aussi une part importante d'une thèse CIFRE menée en collaboration entre l'IFSTTAR et FUGRO France.

Le présent rapport est un rapport factuel présentant :

- les objectifs de la campagne d'essais en termes d'étude de stabilité et de dégradation de la capacité portante d'une fondation profonde soumise à des chargements cycliques.
- le programme expérimental réalisé au cours des cinq semaines et demi d'essais sur site,
- les dispositifs expérimentaux et les systèmes d'instrumentation mis en œuvre,

- des courbes typiques de résultats qui permettent de juger de la nature et de la qualité des données acquises.

2 OBJECTIFS DES ESSAIS DE CHARGEMENTS CYCLIQUES AXIAUX

Les objectifs du chantier expérimental de Loon Plage (22 février – 29 mars 2012) sont d'obtenir des informations sur:

- la réponse des pieux soumis à des sollicitations cycliques dans l'argile (résistance et accumulation des déplacements)
- la stabilité des pieux en termes d'accumulation des déplacements
- l'effet des cycles sur la dégradation du frottement latéral
- l'effet des cycles sur la dégradation de la résistance en pointe
- l'effet de la nature du chargement sur la réponse du pieu
 - ✓ Chargement non alterné (traction ou compression)
 - ✓ Chargement alterné (traction et compression dans un cycle)
- le rôle joué par le mode d'installation : deux types de pieux ont été installés: battus (B) et forés (F).

L'implantation des pieux est présentée sur la figure 1.

Les deux types de pieux qui ont été testés sont :

- 5 pieux forés (**F**) réalisés à la tarière de $L=10,5$ m (F1, F2 et F3) et de $L = 8$ m (F4 et F5) (0,5m au dessus du niveau de sol) et $\Phi = 420$ mm.
- 2 pieux battus (**B**) type tube métallique fermé à la base $L=13$ m et diamètre $\Phi = 406$ mm et $e = 14$ mm.

Il est important de mentionner que pour effectuer un essai de chargement sur un pieu, il faut établir un système de réaction qui nécessite 4 pieux. Donc, on a mis en place 13 pieux forés de réactions (**R**) réalisés à la tarière de $L=13$ m) et $\Phi = 420$ mm.

Les équipements propres à chaque pieu (ferraillages, barres de traction, tubes de réservation pour instrumentation) sont détaillés dans le rapport d'installation des pieux.



Figure 1 : Implantation des pieux

3 PROGRAMME EXPERIMENTAL

Pour atteindre les objectifs fixés, on a effectué une série d'essais de chargement en compression et d'arrachement statique et cyclique sur les trois types de pieux :

- une série d'essais statiques de référence
- une série d'essais statiques rapide
- une série d'essais cycliques en compression
- une série d'essais cycliques en traction
- une série d'essais cycliques alternés

Pour chacun des pieux, le type d'essai réalisé est décrit comme suit pour les deux types de pieux (B: Battu et , F: Foré) :

un essai statique en compression de référence : F4

un essai statique en traction : F1, B1,

une série d'essais cycliques en compression pure : F4, F5,

une série d'essais cycliques en traction : F1, F2 et B2

une série d'essais cycliques alternés (compression / traction) : F3

3.1 Essais statiques de référence

Le principe des essais statiques de pieu isolé sous charge axiale est défini dans la norme NF P94-150-1 [7] pour les essais de compression et dans la norme NF P94-150-2 [8] pour les essais de traction.

L'essai consiste à appliquer un chargement par palier, Q_0 , sur la tête du pieu, puis à mesurer les déplacements en tête S_0 correspondants. C'est un essai qui est exécuté à forces contrôlées et consiste à charger le pieu par incréments ΔQ égaux à approximativement 10% de la charge ultime $Q_{\max}$ (estimée par les méthodes prévisionnelles de calcul) et à maintenir chaque incrément de charge pendant 1 heure. Il permet de déterminer la charge limite (de référence) qui correspond à celle qui génère un déplacement en tête de 10% du diamètre. Il permet aussi de déterminer la charge critique de fluage conventionnelle Q_{ce} .

De plus, on a instrumenté les pieux à l'aide d'extensomètres amovibles disposés régulièrement le long du fût du pieu afin de connaître la distribution des efforts en fonction de la profondeur et la répartition entre frottement latéral et effort de pointe.

3.2 Essais statiques rapides

Cet essai est similaire à l'essai statique de référence mais il est exécuté avec des montées en charges qui durent 20 s et des paliers qui durent seulement 180 s. On a choisi de réaliser ce type d'essai, d'une part, pour étudier l'effet de la vitesse de chargement sur la capacité portante des pieux installés dans l'argile et, d'autre part, pour estimer la dégradation de résistance après chaque série de cycles. Le temps très court de réalisation permet de faire un essai statique avant et après chaque chargement cyclique.

Cet essai est inspiré de la méthode ASTM qui propose de réaliser un essai à déplacement (ou vitesse) contrôlé »

3.3 Essais cycliques

Les paramètres nécessaires à la définition d'un essai de chargement cyclique (voir Figure 2) sont :

- la charge moyenne V_m ,
- l'amplitude de charge cyclique V_c ,
- la fréquence des cycles,
- le nombre de cycles N dans la série.

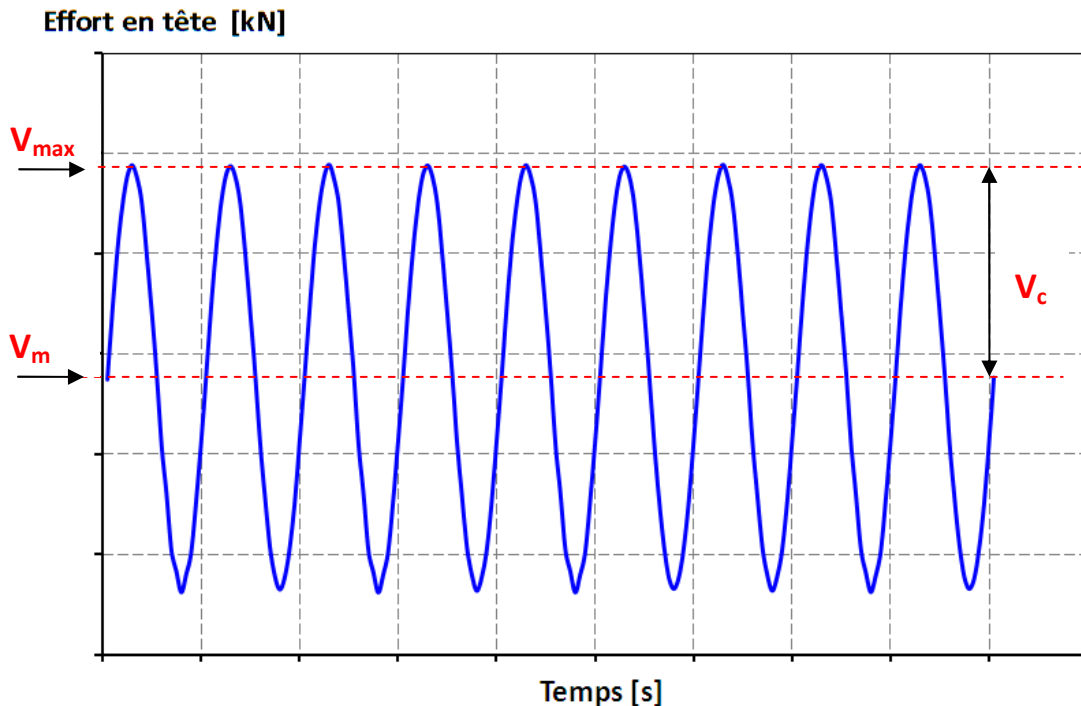


Figure 2 : Définition d'un chargement cyclique

La majorité des essais de chargements cycliques ont été réalisés à fréquence de 0,5 Hz qui est apparue un bon compromis pour rester dans le domaine quasi-statique tout en permettant de réaliser des nombres de cycles importants dans une journée de test. Quelques essais ont été effectués à 0,1 et 1Hz pour étudier l'effet de la fréquence sur la réponse des pieux sous chargements cycliques.

Trois grands types d'essais cycliques ont été réalisés :

- des essais répétés en compression
- des essais répétés en traction
- des essais alternés

Lors d'essais « répétés » - dits essais « one-way » en Anglais - il n'y a pas inversion de la charge en cours de cyclage (V_{max} et V_{min} sont de même signe). Dans les essais « alternés » - dits essais « two-way » - il y a changement du signe de la charge appliquée (passage de compression en traction et vice-versa lors de chaque cycle).

Les amplitudes de charges ont été choisies de manière à :

- appliquer des séries de chargements dont la valeur maximale V_{max} ne dépasse pas $1/3$ puis $1/2$ de la résistance ultime du pieu. On espère avec ce type d'essais montrer que le pieu reste stable lorsqu'il est sollicité par des charges opérationnelles (Facteur de sécurité de 3 ou 2).
- appliquer des séries de chargements dont la valeur maximale V_{max} dépasse approche voire dépasse la charge de fluage de pieu. Cette procédure a été

appliquée essentiellement sur des pieux vierges. On espère ainsi amener le pieu à la rupture sous un nombre de cycles limité.

Différentes combinaisons de chargement pouvaient ensuite être enchaînées afin de permettre à terme le développement des lois de dégradation et étudier l'influence de la charge moyenne et l'amplitude cyclique sur l'accumulation du déplacement en tête du pieu.

Le programme global des essais réalisés est synthétisé dans le Tableau 2.

3.4 Procédure expérimentale

La procédure expérimentale suivie pour chaque pieu s'inspire de la procédure type ci-après:

- 1- Exécution de l'essai statique NF avec des paliers de 1 heure,
- 2- Exécution d'un essai statique rapide (ESR) avec paliers de 3 minutes. La charge statique à la rupture V_r de l'essai ESR est prise comme charge de référence pour la définition de la séquence cyclique suivante. Ce choix reste arbitraire dans l'attente d'une meilleure appréhension de l'influence de l'histoire du chargement.
- 3- Exécution d'une ou plusieurs séries d'essais cycliques enchaînées à une fréquence de 0,5 Hz (quelques essais à 0,1 Hz et 1 H). En règle générale la montée à la charge moyenne est appliquée comme dans le cas d'un chargement statique rapide, puis les cycles sont lancés à la fréquence prescrite.
- 4- Exécution d'un nouvel essai statique rapide ESR après une rupture sous cycle (grands déplacements) ou un déplacement cumulé de l'ordre de 2-3 mm pour évaluer la dégradation de la capacité portante.

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des types d'essais, des séquences de chargement et du nombre de cycles.

Pieux	Essai	Effort	Type	F(Hz)	V _m	V _c	Nbr de cycles
F1	F1S1	Traction	Statique NF				
	F1C2		Cyclique (F=3)	0,5	160	120	126
	F1TR1		Statique rapide				
	F1C3		Cyclique	0,5	50	30	500
	F1C4		Cyclique	0,5	75	50	500
	F1C5		Cyclique	0,5	100	50	760
	F1TR2		Statique rapide				
	F2C1	Traction	Cyclique	0,5	320	240	367
F2	F2TR1		Statique rapide				
	F2C2		Cyclique	0,5	120	80	315
	F2TR2		Statique rapide				
	F3C1	Alterné	Cyclique	0,5	35	125	1000
	F3C2		Cyclique	0,1	35	125	50
	F3C3		Cyclique	0,5	100	160	1000
	F3TR1		Statique rapide				
	F3C4		Cyclique	0,5	25	160	1000
F3	F3C5		Cyclique	0,5	-85	100	100
	F3C6		Cyclique	0,5	40	160	15
	F3CR2		Statique rapide				
	F3C7		Cyclique	0,5	35	125	796
	F3TR3		Statique rapide				
	F3CR4		Statique rapide				
	F4S1	Compression	Statique NF				
	F4C1		Cyclique (F=2)	0,5	200	147	1879
F4	F4CR1		Statique rapide				
	F4C2		Cyclique	0,5	400	200	200
	F4C3		Cyclique	0,5	400	300	200
	F4C4		Cyclique	0,5	500	300	100
	F4C5		Cyclique	0,5	500	400	200
	F4CR2		Statique rapide				
	F4CR3		Statique rapide				
	F4C6		Cyclique	0,5	500	400	38
F5	F4C7		Cyclique	0,5	500	300	300
	F4CR4		Statique rapide				
	F5C1		Cyclique	0,5	400	300	15
	F5C2		Cyclique	0,5	300	100	5000
	F5C3		Cyclique	0,5	400	200	280

Pieux	Essai	Effort	Type	fHz)	Vm/Vr	Vc/Vr	Nombre de cycles
B1	B1S1	Traction	Statique rapide				
B2	B2C1	Traction	Cyclique	0,5	500	300	94
	B2TR1		Statique rapide				
	B2C2		Cyclique		500	300	750
	B2C3		Cyclique		500	400	500
	B2C4		Cyclique		500	450	1105
	B2TR2		Statique rapide				

4 DISPOSITIF EXPERIMENTAL

4.1 Equipements utilisés

4.1.1 Vérin statique

Les propriétés du vérin hydraulique à simple effet qui a été utilisé pour le chargement statique sont :

- Charge maximale = 300 T
- Poids = 594 kg
- Diamètre = 356 mm
- Hauteur = 765 mm
- Course = 300 mm
- Plaque de 400mm x 400 mm

Les caractéristiques de la rotule sont :

- Diamètre = 270 mm
- Hauteur = 125 mm

Les caractéristiques du peson sont :

- Charge maximale = 250 T
- Diamètre = 220 mm
- Hauteur = 230 mm

Une photo est présentée sur la Figure 3.



Figure 3 : photo du vérin hydraulique de 300T

Le vérin statique (rouge) est piloté par une pompe hydraulique manuelle. L'effort est appliqué par paliers de 1 heure. Le palier est donc aussi maintenu manuellement.

4.1.2 Vérin cyclique

Le vérin hydraulique utilisé pour appliquer les essais cycliques sur les pieux a été développé et mis en œuvre par le CECR de Rouen. Il a une capacité de 100 T et une course de 200mm. Il peut effectuer des essais cycliques à de faibles fréquences (0,05 à 2 Hz).

La Figure 4 et la Figure 5 illustrent les caractéristiques de ce vérin.

Ce vérin est mis en œuvre par le CER de Rouen. Une équipe du CER était donc présente sur le site en permanence pour l'utilisation du vérin mais aussi pour aider l'IFSTTAR dans la réalisation des essais.

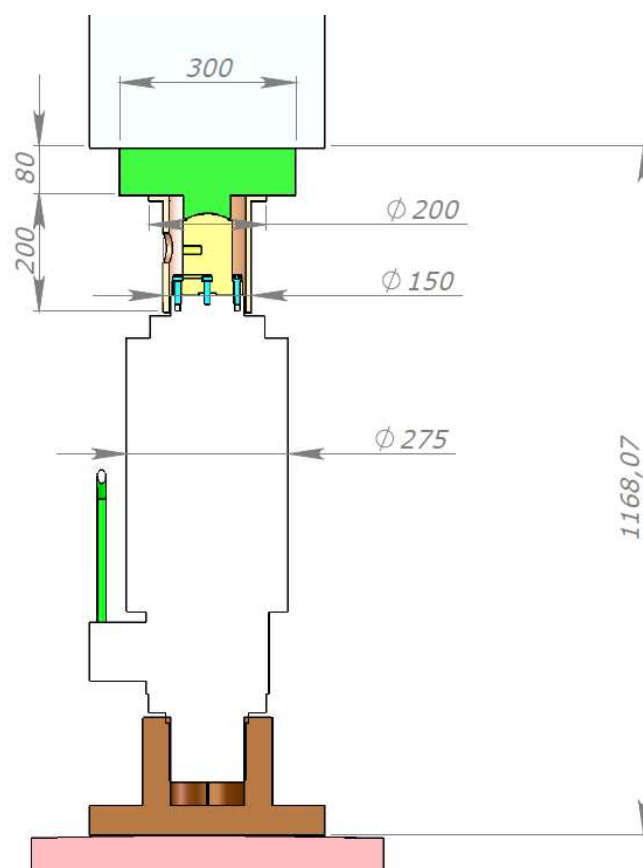


Figure 4 : Vérin hydraulique cyclique (schéma)



Figure 5 : Vérin hydraulique cyclique en opération

4.1.3 *Chargement alterné*

L'application d'un chargement alterné a nécessité la mise en œuvre simultanée des deux vérins agissant en opposition :

- le vérin statique applique un effort de traction maintenu constant par l'intermédiaire d'un accumulateur.
- le vérin cyclique applique des efforts variables qui s'ajoutent (traction) ou se retranchent (compression) à l'effort constant.

Le montage est décrit plus en détail au paragraphe 3.4.

4.1.4 *Capteurs de déplacements*

Pour mesurer les déplacements en tête du pieu, on a utilisé deux types de capteurs :

- des palpeurs LVDT de 50 mm de course utilisés essentiellement pour le chargement cyclique parce qu'ils ont une linéarité de 0,05% (figure 6).
- des palpeurs LVDT de 125 mm avec une linéarité de 0,1%. utilisés pour le chargement statique (figure 7).



Figure 6 : capteur LVDT de 50 mm de course



Figure 7 : capteur LVDT de 125 mm de course

4.1.5 Extensomètres amovibles

Les pieux ont été équipés d'extensomètres amovibles LCPC. Deux tubes de réservation ont été soudés à l'extérieur des pieux battus. Un tube de réservation a été introduit dans le béton après coulage au centre des pieux forés (voir rapport d'installation)

La figure 8 présente un schéma descriptif de l'instrumentation des pieux et la figure 9 montre des photos de l'extensomètre amovible et son montage dans un pieu (Rocher-Lacoste et al, Méthode d'essai n°68, 2011). Pour chacun des types de pieux, 12 niveaux de jauges ont été prévus : un premier tronçon de 1 m en tête de pieu, un second tronçon de 1,40 m puis 10 tronçons de 1 m de long. Dans le cas du pieu battu, étant donné qu'un pré-forage de 4 m a été réalisé pour guider

l'installation, l'instrumentation installée dans les 4 premiers tronçons ne sera pas prise en compte car il n'y a pas de frottement mobilisé sur ces quatre mètres.

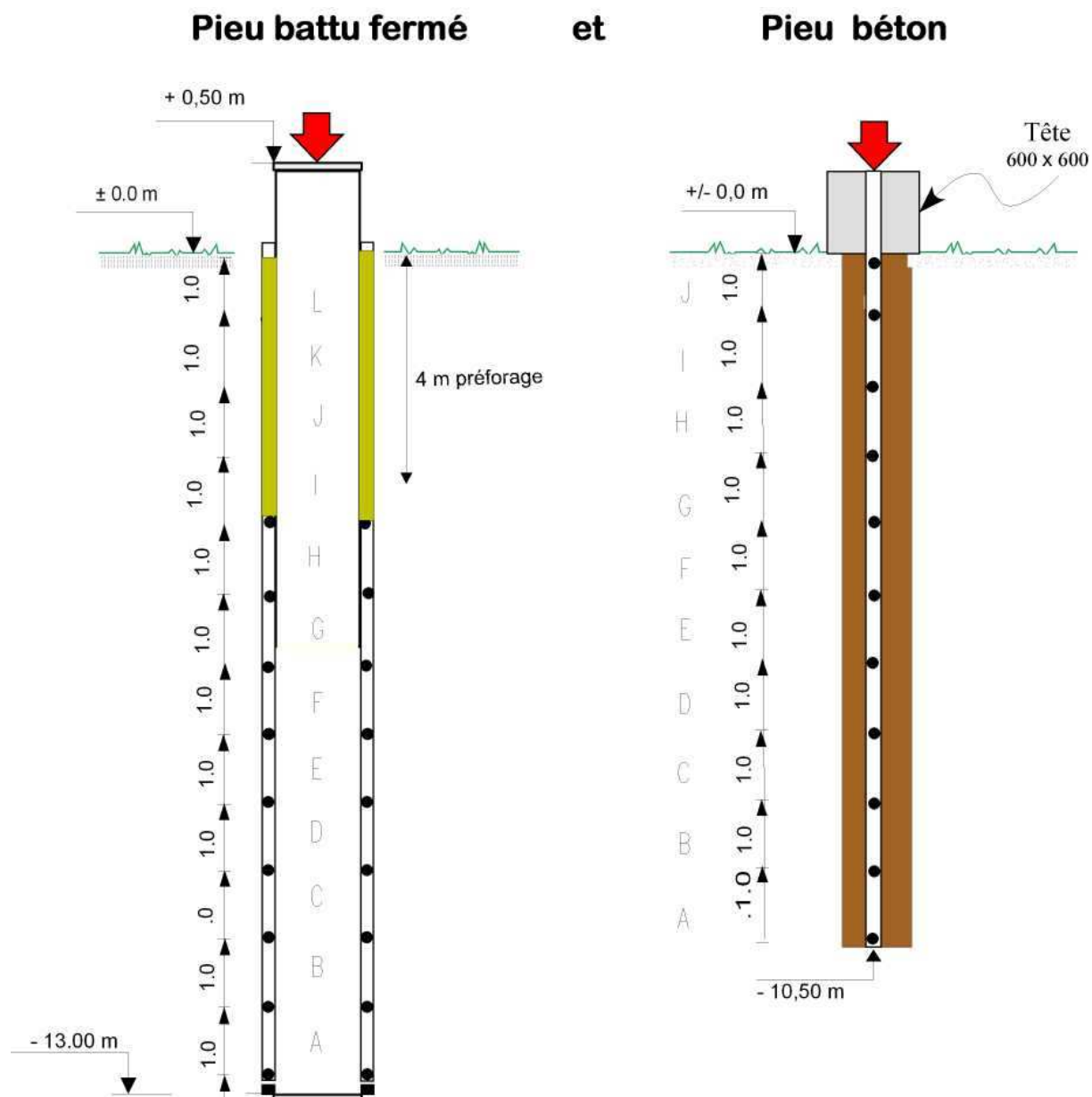


Figure 8 : schéma descriptif de l'instrumentation des pieux



Figure 9 : photos de l'extensomètre amovible

4.2 Montage d'un essai de chargement en compression

Lors de l'essai de chargement en compression, le massif de réaction subit de la traction. En effet, le vérin applique un effort de compression en tête du pieu et un effort sur la poutre qui est transféré via les traverses aux barres ancrées dans les pieux de réactions.

Ce montage (Figure 10 et Figure 11) est identique pour les essais statiques et cycliques en changeant seulement le vérin.

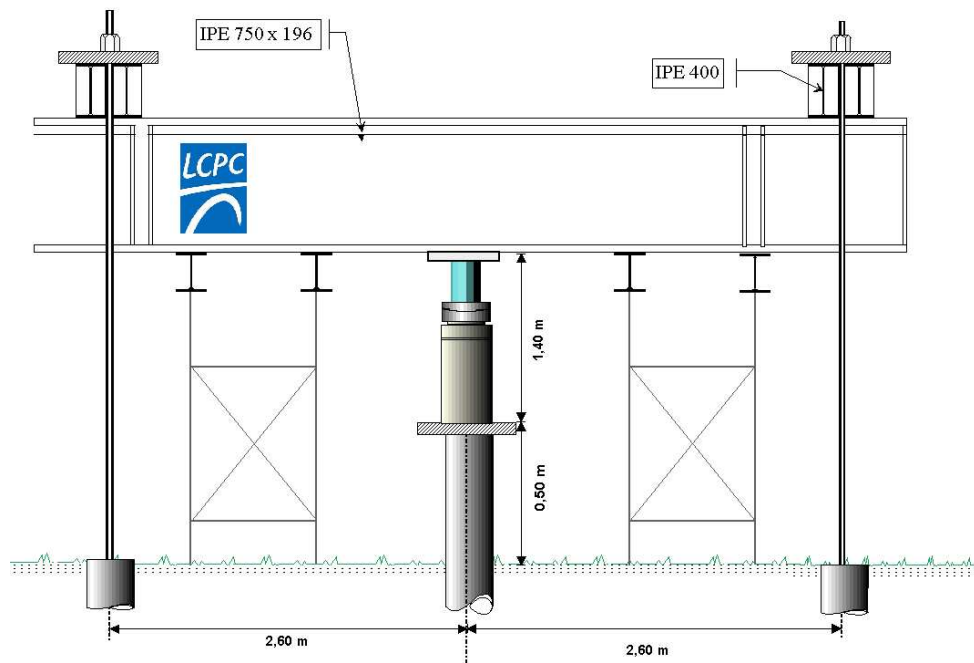


Figure 10 Montage pour essais de chargement à Loon Plage



Figure 11 : photo du montage d'un essai de chargement en compression

4.3 Montage d'un essai de chargement en traction

Pour cet essai, le dispositif est inversé par rapport à l'essai de compression. En effet, le vérin est au dessus de la poutre et applique l'effort de traction via les barres qui

sont boulonnés à la tête du pieu. Cet effort appliqué par le vérin est transmis par la poutre et les traverses aux quatre pieux de réaction sous forme de compression (Figure 12).



Figure 12: photo du montage d'un essai de chargement en traction

4.4 Montage d'un essai de chargement cyclique alterné

Le montage (Figure 13) de cet essai a nécessité deux vérins. Le vérin statique au dessus de la poutre et le vérin cyclique en dessous de celle-ci.

Le vérin statique est relié à un accumulateur air/huile (Figure 14) qui permet de compenser toute variation d'effort et donc d'appliquer un effort de référence constant. Cet effort de référence peut être réglé par ajustement de la pression de l'accumulateur. Le système a été conçu par FUGRO France. Le vérin cyclique agit en opposition par rapport au vérin statique.

Ce type de montage ne fonctionne que si la valeur maximale du chargement cyclique de compression dépasse celle l'effort statique appliqué en traction.

De plus, les pieux de réaction devaient sortir d'au moins un mètre au dessus du sol afin de pouvoir les fixer aux traverses et laisser suffisamment de place pour mettre le

vérin cyclique en dessous de poutre. Ce montage n'a été possible qu'en utilisant les pieux battus comme pieux de réaction (en fin de campagne)

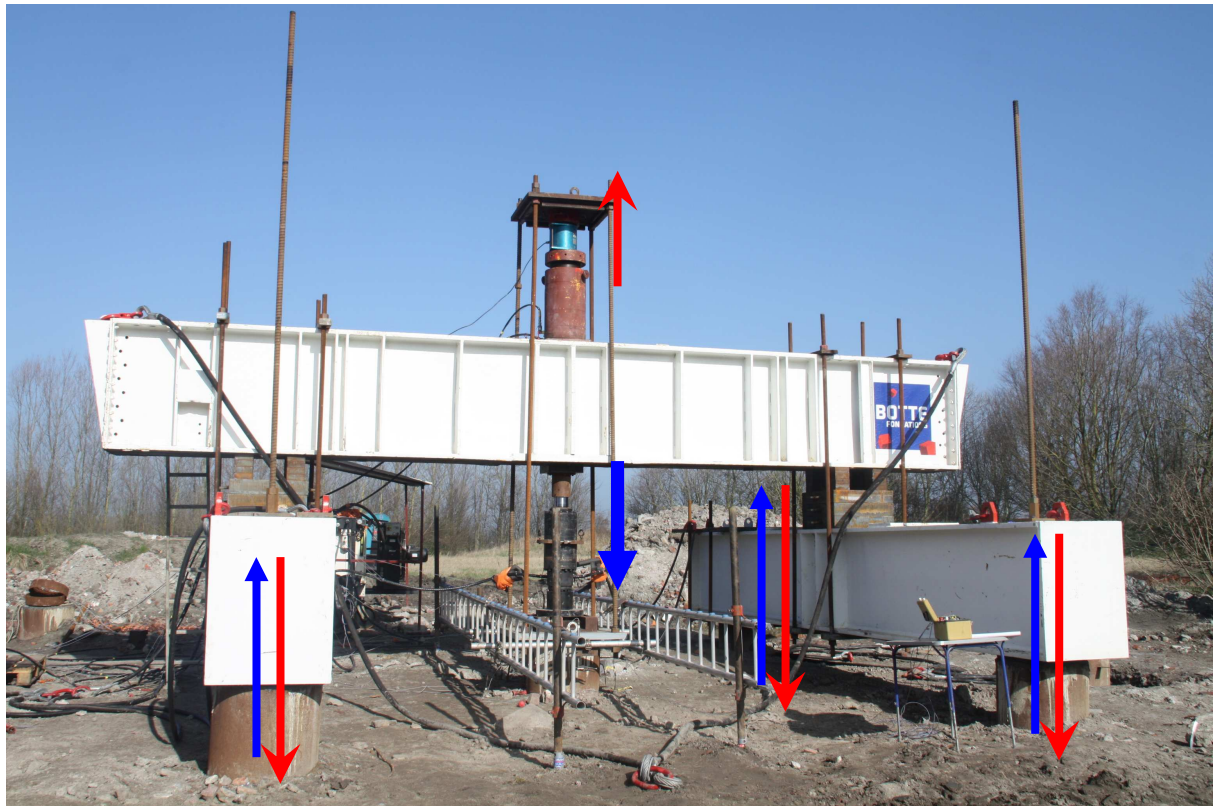


Figure 13 : photo du montage d'un essai de chargement cyclique alterné



Figure 14 : photo de l'accumulateur

4.5 Pilotage du vérin cyclique

Le vérin cyclique, asservi par ordinateur, permet d'appliquer des sollicitations à des fréquences maximales de 1 Hz et un effort maximal de 100 tonnes en compression et 80 tonnes en traction. Cinq séquences consécutives peuvent être programmées et effectuées à la suite. La Figure 15 illustre le passage d'une séquence à une autre. Une consigne de sécurité en déplacement est programmée afin de bloquer le système en cas de déplacement trop important en cours de séquence.



Figure 15 Pilotage du vérin

4.6 Acquisition

Le système d'acquisition est équipé de 30 voies de mesure. Il permet d'enregistrer la réponse des quatre capteurs de déplacement, du peson (force appliquée par le vérin) et des extensomètres amovibles.

Pour avoir une précision adéquate, on a choisi d'effectuer :

- 1 mesure par seconde pour l'essai statique.
- 1 à 50 mesures par capteur par cycle.

Les mesures des capteurs y compris les 4 capteurs de déplacement (Figure 16) et les 24 jauges de déformation (Figure 17) installées dans les tubes logements, étaient visualisées en temps réel.

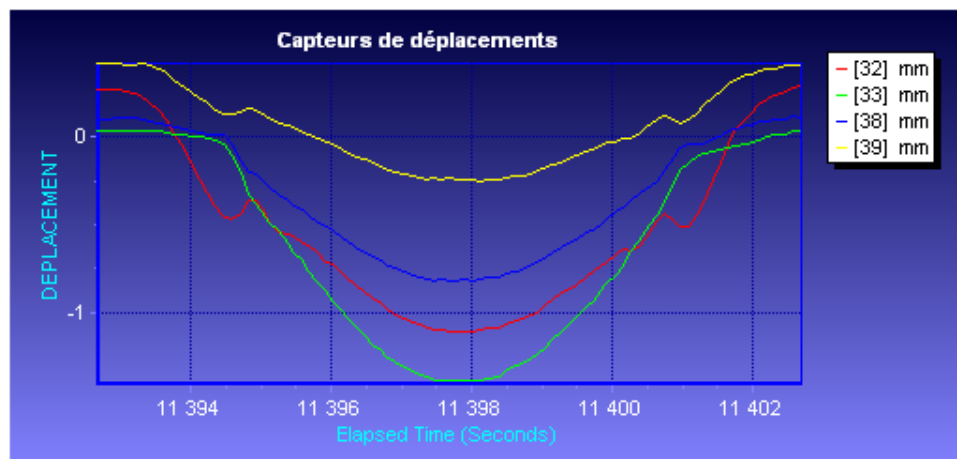


Figure 16 : Mesure en temps réel des 4 capteurs de déplacement



Figure 17 : Mesure en temps réel d'un des trains de jauges pendant une séquence cyclique.

5 COURBES TYPIQUES

5.1 Chargement statique

Sur la Figure 18, on présente les courbes Force – Déplacement enregistrées pour les deux types de pieux. Le pieu foré a la capacité portante la plus faible. Cette hiérarchie est conforme aux prévisions.

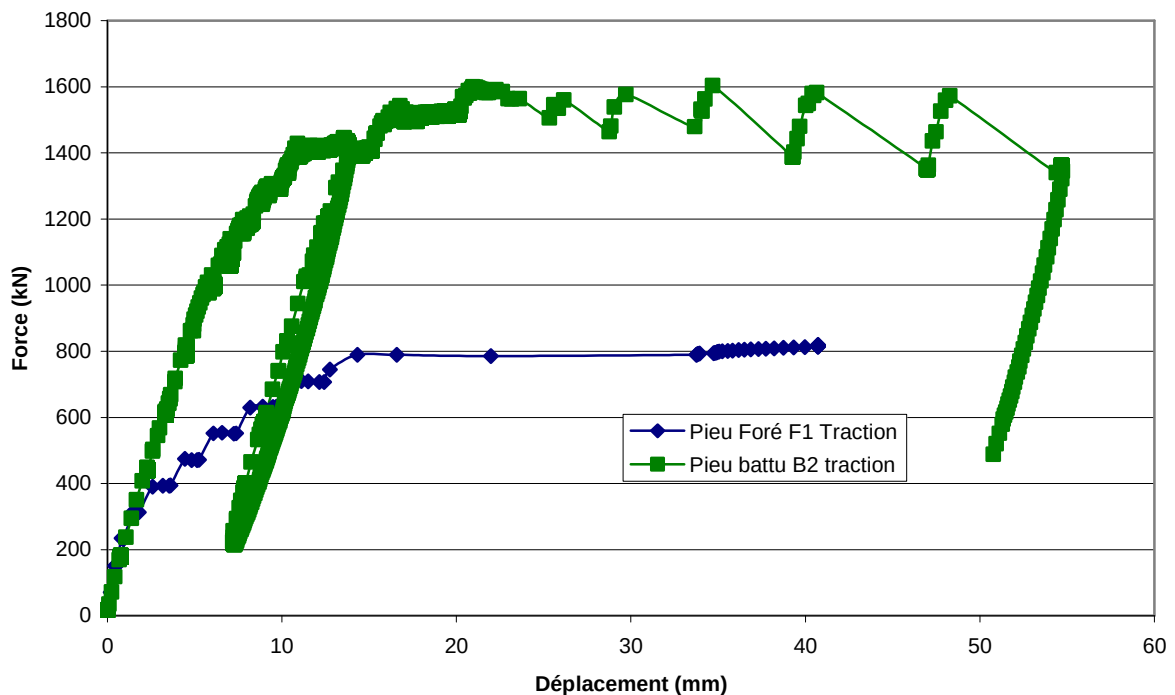


Figure 18 : Comparaison entre les deux types de pieux en traction (pieu foré et pieu battu)

5.2 Chargement cyclique

5.2.1 Chargement en traction

Pour l'essai du pieu foré F1C1 (traction cyclique) qui a conduit à la rupture, on présente à titre d'illustration, les courbes Force en tête – Temps (Figure 19), Force – Déplacement (Figure 20), Déplacement – Temps (Figure 21), Jauge 12 – Temps (Figure 22), Jauge 4 – Temps (Figure 23).

De même, pour l'essai cyclique F5C2, une combinaison de chargement (V_m , V_c) a été appliquée pendant 5000 cycles. La Figure 24 montre l'évolution du déplacement maximum en fonction du nombre de cycles.

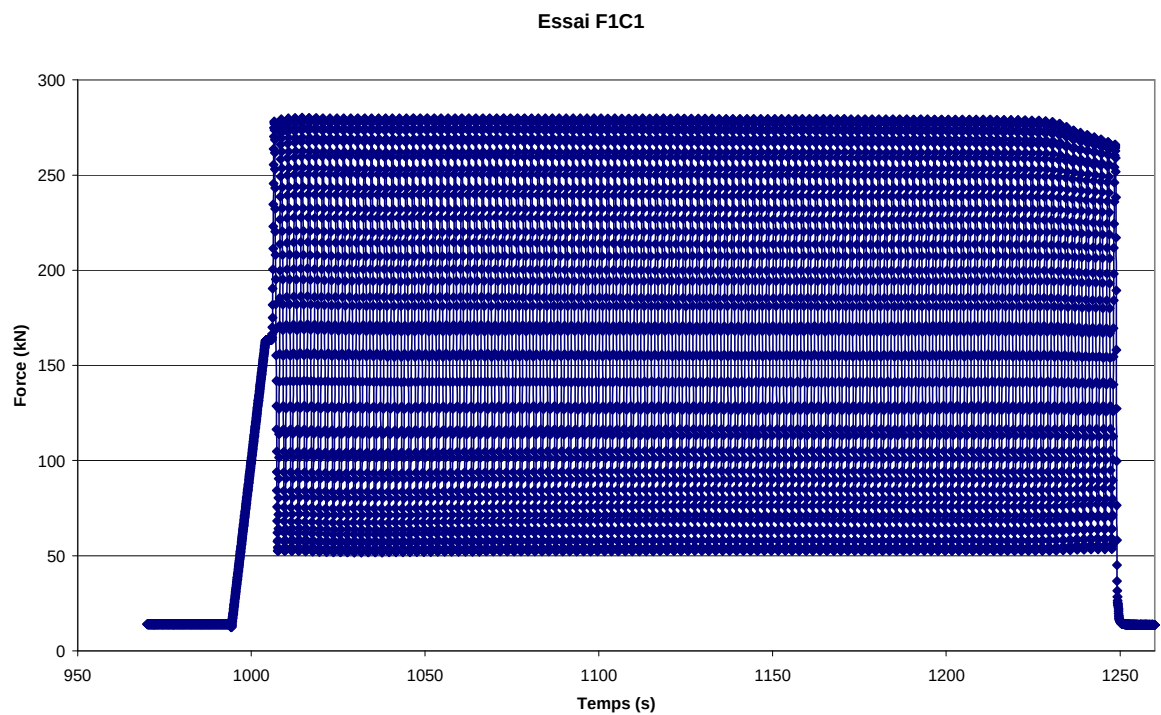


Figure 19 Courbe Effort – Temps (Essai F1C1)

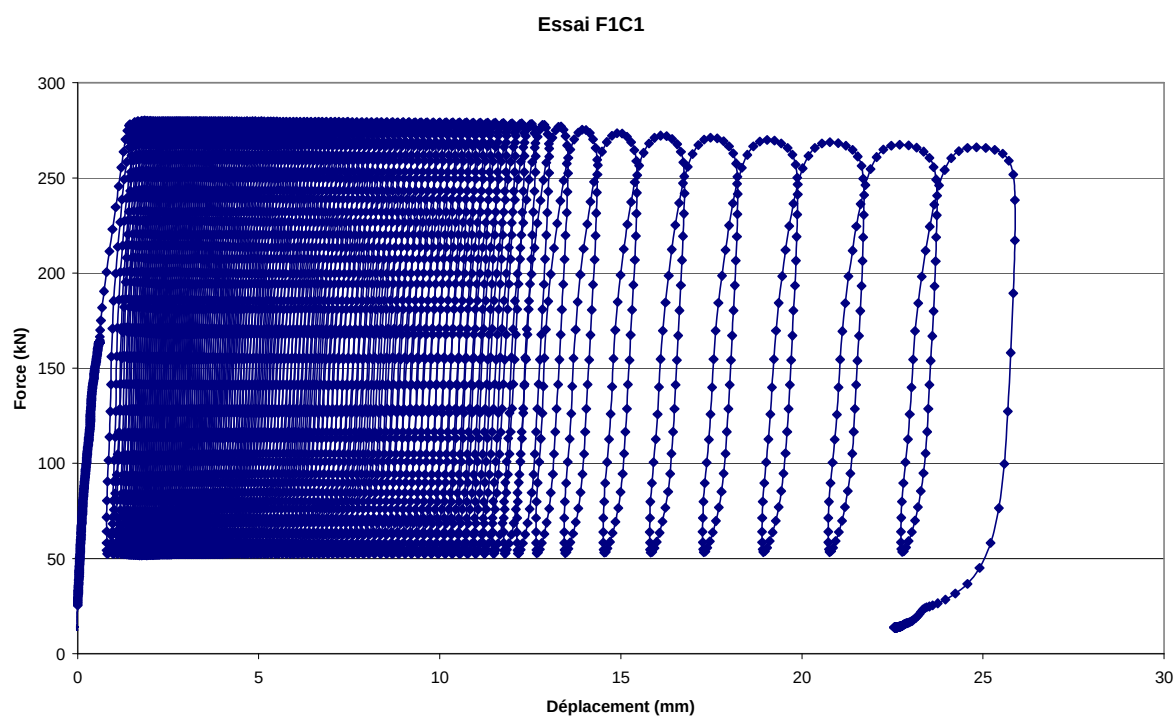


Figure 20 Courbe Effort – Déplacement (Essai F1C1)

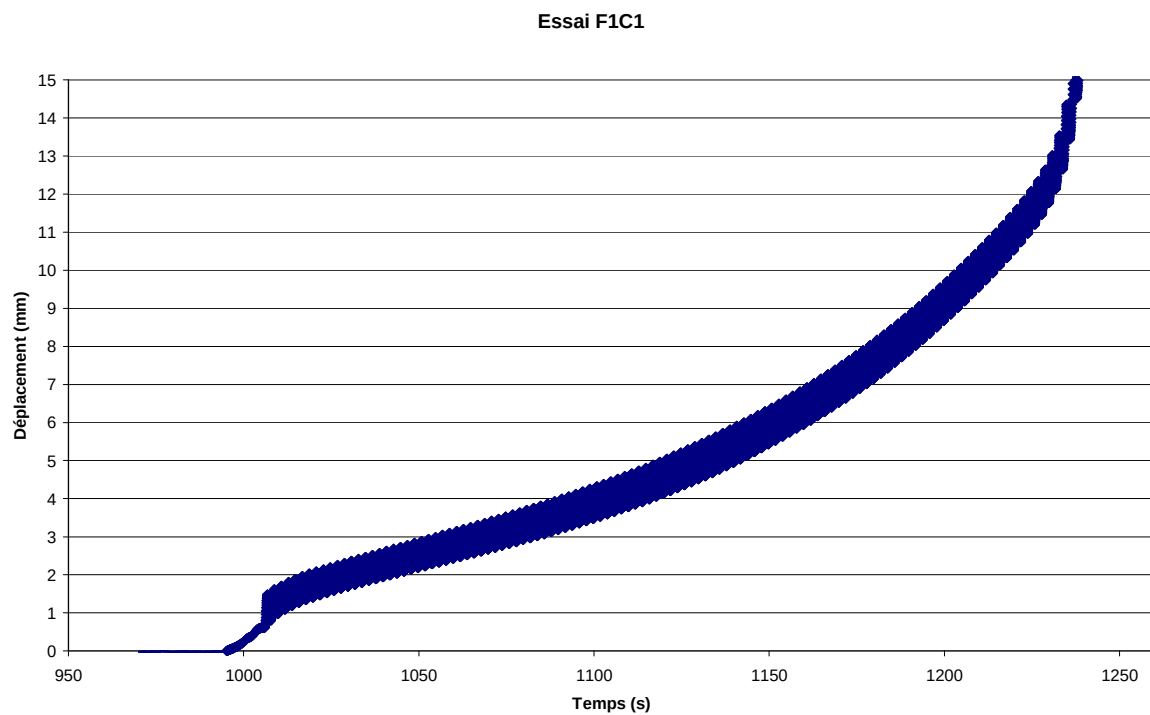


Figure 21 Accumulation des déplacements en fonction du temps (Essai F1C1)

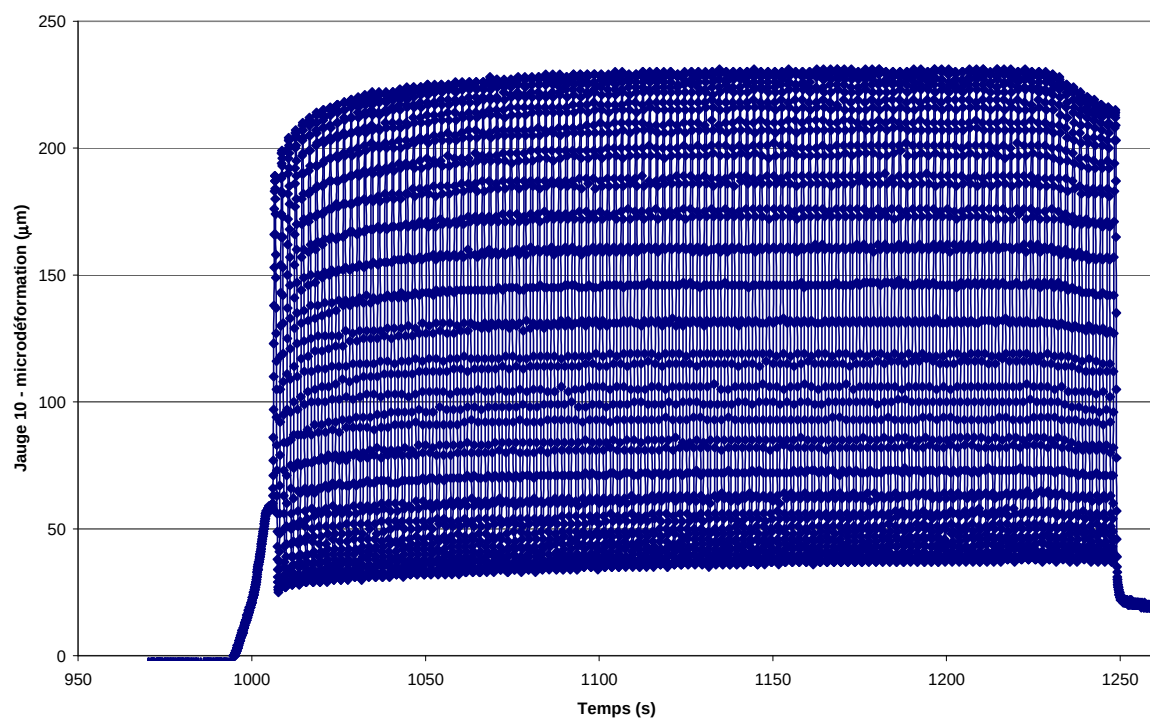


Figure 22 Jauge 10 au niveau de la tête du pieu – Essai F1 C1

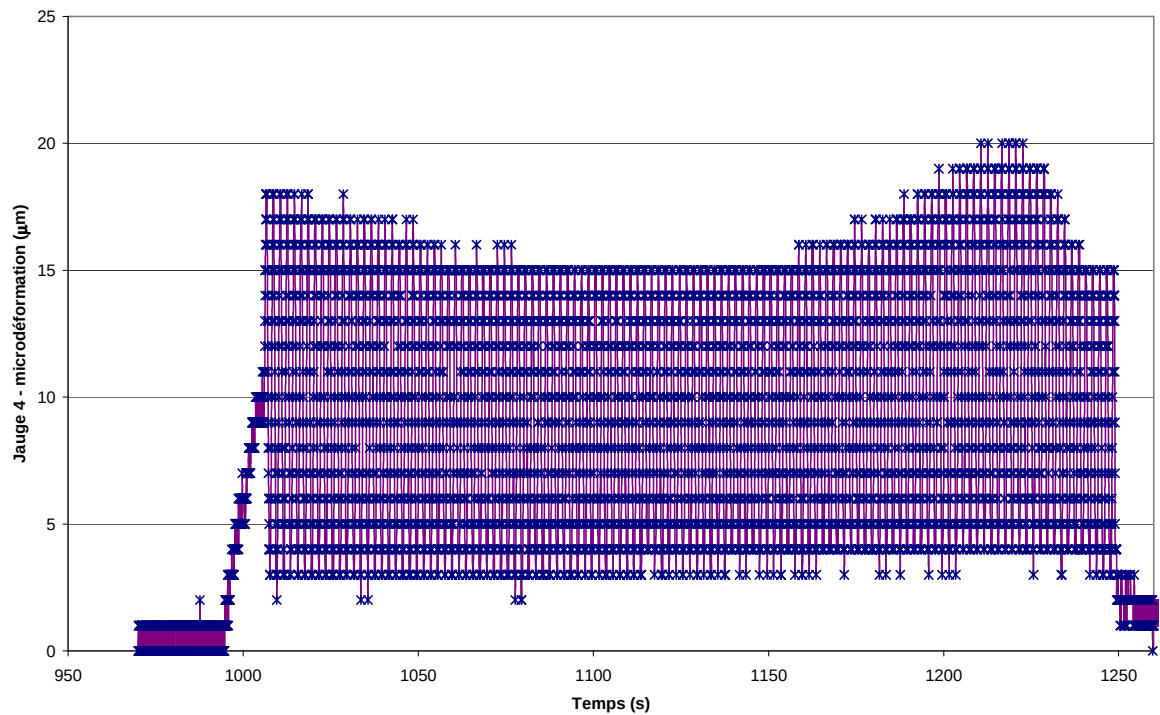


Figure 23 Jauge 4 en bas du pieu – Essai F1 – C1

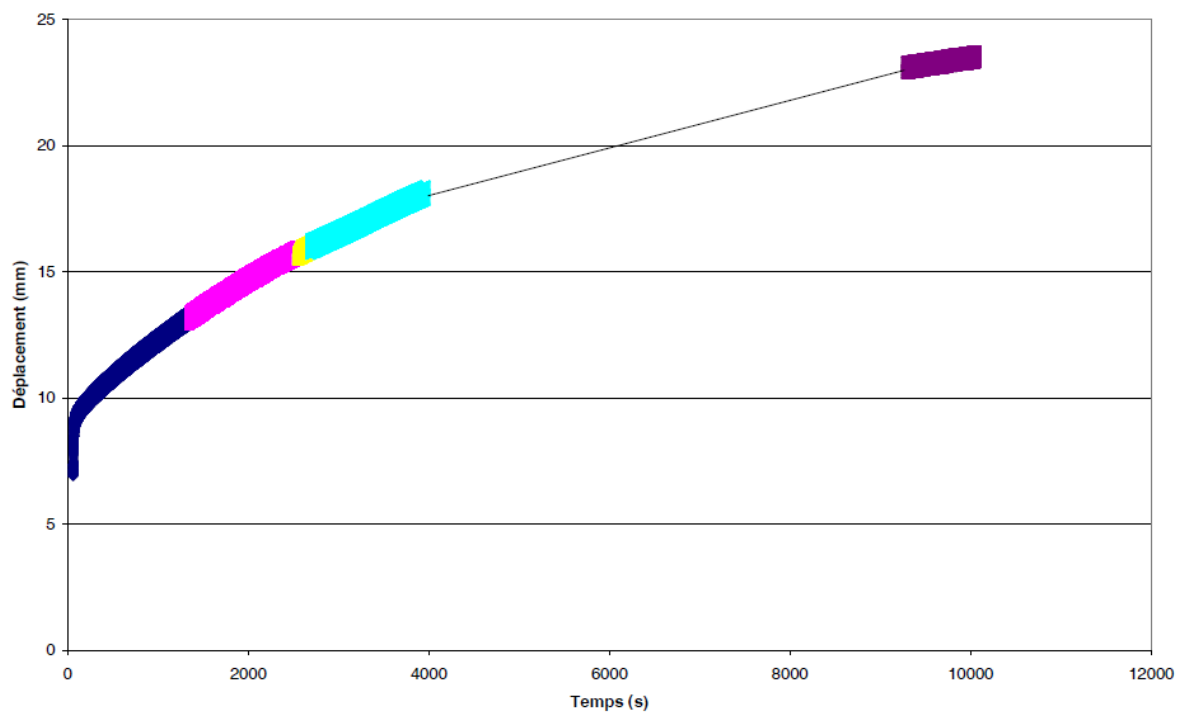


Figure 24 Accumulation des déplacements en tête lors d'une séquence cyclique en compression (Essai F5C2 N = 5000)

5.2.2 Chargement alterné

Sur la, on présente une petite partie d'une séquence cyclique alternée résultant de l'effort statique en compression appliqué à partir du vérin statique (450 kN) et de l'amplitude cyclique (150 à 750 kN) appliquée par le vérin cyclique. L'effort cyclique appliqué à la tête du pieu est compris entre 140 kN en compression et 110 kN en traction.

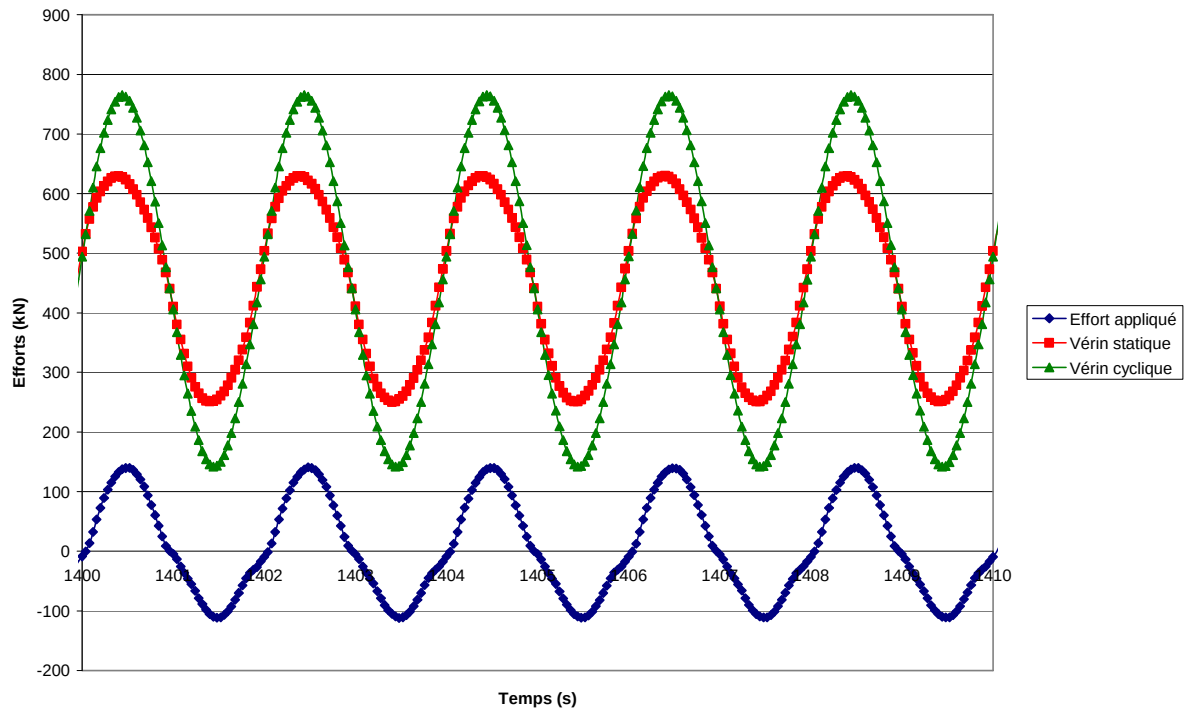


Figure 25 : Exemple de séquence cyclique alterné : l'effort appliqué résultant de la somme de l'effort appliqué par le vérin statique et le vérin cyclique (F3C1)

6 CONCLUSIONS

La campagne d'essais de chargement de pieux de Loon Plage a été effectuée en collaboration entre l'IFSTTAR et FUGRO France avec l'assistance de l'entreprise BOTTE Fondations et du CER de Rouen. Elle s'est déroulée du 22 février au 29 mars 2012.

Les pieux étaient de deux types : métalliques battus (2) et forés à la tarière (5). Ils ont été soumis à des essais de chargement en compression, traction et alternés (traction-compression). Les modes de chargement étaient de type statique conventionnel, statique rapide et cyclique.

La réalisation d'essais cycliques sur deux types de pieux dans les sables denses était l'objectif principal de cette campagne et représentait un défi opérationnel majeur. Des résultats importants sur la réponse des pieux sous sollicitations cycliques en compression, traction et alterné ont été obtenus. Les équipements spécifiques mis en œuvre, notamment :

- le vérin cyclique et son système de pilotage,
- les extensomètres amovibles et le système d'acquisition de données,

ont, encore une fois, donné satisfaction.

L'examen des premiers résultats permet de penser que les données sont représentatives et de bonne qualité. L'interprétation des résultats est en cours.

La mise en évidence de la différence de réponse des pieux sous chargements cycliques dans les sables de Dunkerque et dans l'argile de Merville nous permet de dire que le projet SOLCYP a couvert des types de terrain tout à fait intéressants.

Cette campagne d'essais, unique en son genre, devrait permettre des avancées importantes dans la compréhension de la réponse axiale des pieux sous chargements cycliques et fournir une base de données précieuse pour le projet SOLCYP.

7 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

ASTM (1994) Standard test method for piles under static axial compressive load. ASTM Designation D1143 – 81, 11 pages.

Rocher-Lacoste, R., Dudouyt, F., Le Kouby, A., 2011. Méthode d'essai n°68 – Essai statique de pieu isolé instrumenté avec la technique de l'extensomètre amovible sous charge axiale. Laboratoire Central des Ponts et Chaussées / IFSTTAR, Paris, 40 pages.