



Essais de chargements cycliques sur pieux



Spécification pour la réalisation des pieux

Site de Merville (59)

Alain PUECH
Frédéric Rocher-Lacoste
Alain Le Kouby
Omar BENZARIA

Fugro France
LCPC
LCPC
Fugro France / LCPC

Le 18 août 2010

Table des matières

Introduction.....	3
1 Type et dimensions de pieux.....	3
1.1 Pieux d'essais :	3
1.2 Pieux de réactions :	3
2 Schéma d'implantation des pieux.....	4
3 Essais de chargement prévus	5
4 Description des pieux d'essais de chargements statiques et cycliques.....	6
4.1 Les pieux d'essais forés à la tarière	6
4.2 Les pieux d'essais battus en acier fermé	7
4.3 Les pieux de réactions forés à la tarière	8
5 Massif de chargement.....	9
5.1 Schéma descriptif d'un essai de chargement de pieux en traction.....	9
5.2 Schéma descriptif d'un essai de chargement de pieux en compression.....	10
5.3 Schéma descriptif d'un essai de chargement cyclique alterné de pieux	11
5.4 Equipements nécessaires pour réaliser le massif de chargement.....	12
6 Option : Pas d'essais de chargement cyclique alterné.....	13
7 Instrumentation des pieux.....	14

Introduction

Pour atteindre les objectifs du projet national SOLCYP, les essais de chargements cycliques sur pieux réels prévus sur le site d'argile raide de Merville doivent être réalisés dans les plus brefs délais.

Dans cette perspective, deux entreprises FRANKI et KELLER ont proposé un premier devis pour la réalisation des pieux. Ces devis ont été discutés lors de deux réunions qui se sont tenues au LCPC le 03 et 04 Août 2010 en présence des représentants des entreprises. L'examen de ces devis et leur comparaison au budget alloué pour cette opération dans le cadre du Projet National SOLCYP a montré que :

- le programme d'essais devait être ramené au strict minimum pour respecter les orientations du projet ;
- des précisions devaient être apportées au cahier de charges des pieux, de manière à permettre une cotation optimale.

La présente note spécifie les besoins tels que redéfinis :

- le nombre de pieux a été réduit : 18 pieux au total,
- le nombre de pieux tests initialement considéré est maintenu : soit 4 pieux forés et 4 pieux battus,
- dans la version de base, il est prévu la possibilité de tester un pieu foré en traction/compression cyclique. Une variante est demandée dans laquelle cette possibilité est supprimée (les pieux ne pourront alors être sollicités selon le cas qu'en compression statique, compression cyclique ou traction cyclique) ;
- l'équipement à prévoir sur chaque pieu est spécifié ;
- les dispositifs de chargement sont décrits et le matériel à fournir par les entreprises est identifié.

Des bordereaux de prix ont été établis pour :

- la réalisation de l'ensemble des pieux en version de base ;
- la fourniture des pièces et équipements nécessaires pour effectuer les chargements ;
- les moins-values en cas d'abandon de l'essai de traction compression cyclique (option)

1 Type et dimensions de pieux

Comme initialement envisagé, trois types de pieux sont à réaliser : deux types de pieux tests et les pieux de réaction.

1.1 Pieux d'essais :

- 4 pieux forés réalisés à la tarière (F1, F2, F3, F4) de longueur $L=13,5$ m (0,5m au dessus du niveau de sol) et diamètre $\Phi = 420$ mm.

- 4 pieux battus type tube métallique fermé à la base (B1, B2, B3, B4) de longueur $L=15$ m (2 m au dessus du niveau de sol) et diamètre théorique $\Phi = 420$ mm. En pratique ce diamètre pourra selon disponibilité de tubes se situer entre 380 et 440 mm. L'épaisseur des tubes sera idéalement de 15 mm mais pourra se situer dans la fourchette 12- 18 mm selon disponibilité. Les pieux devront être obturés à la base de manière à refouler totalement le sol. Il pourra s'agir de deuxième choix pour autant que le grade et le module d'élasticité de l'acier soit connus (certificat). Les tubes à soudure hélicoïdale sont à proscrire.

1.2 Pieux de réactions :

- 10 pieux forés réalisés à la tarière (R1...R10) de longueur $L=13$ m et diamètre $\Phi = 420$ mm.

Pour chaque essai de chargement sur un pieu 4 pieux de réaction sont mobilisés.

2 Schéma d'implantation des pieux

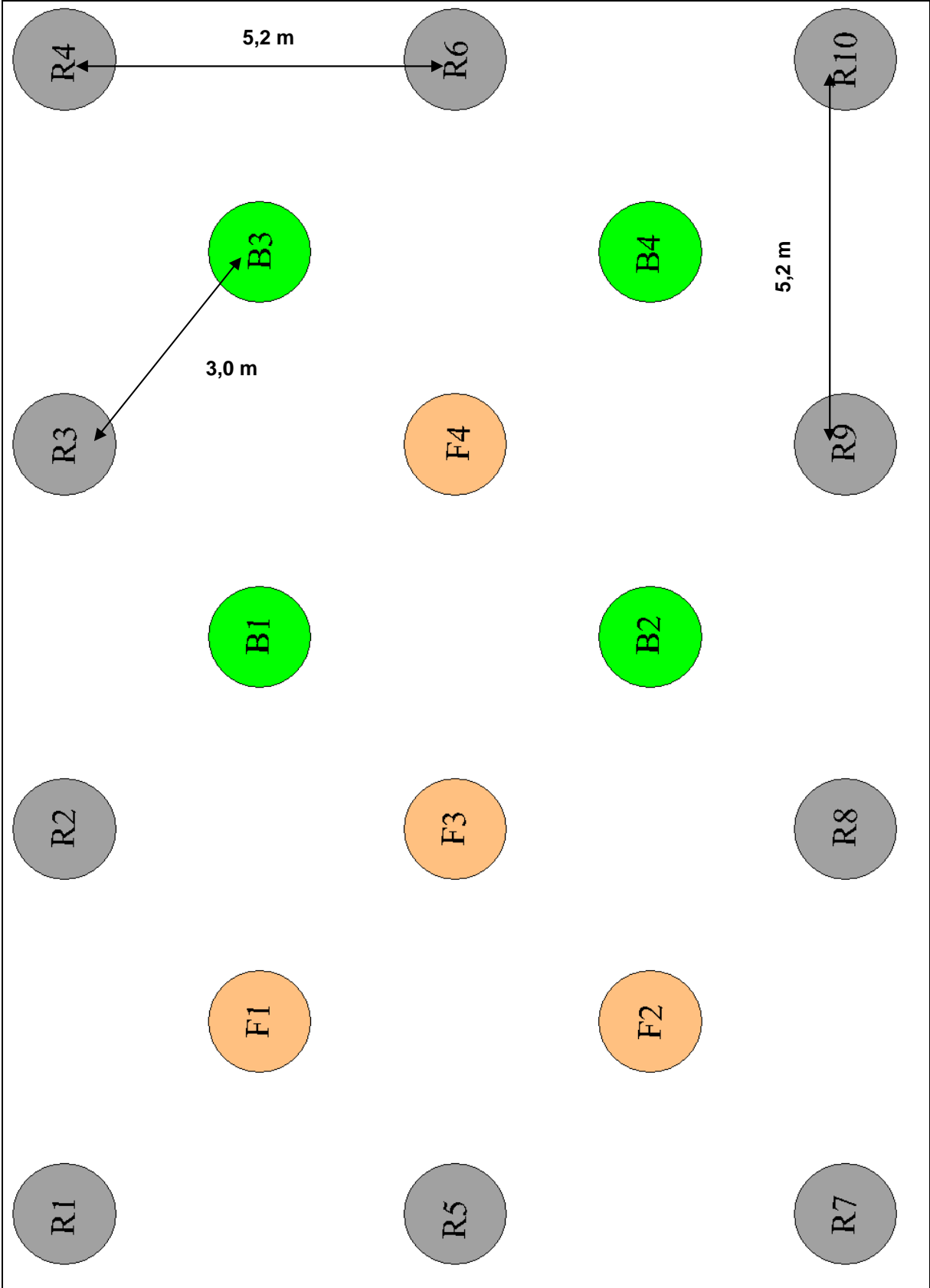


Figure 1 : Implantation des pieux

Le dispositif d'implantation des pieux d'essais et des pieux de réaction est précisé ci-dessus (figure1). Les distances entre pieux (centre à centre) sont des distances idéalement souhaitées. Elles pourront être sensiblement modifiées en fonction de la longueur de la poutre de réaction effectivement disponible.

3 Essais de chargement prévus

Pour les deux types de pieux d'essais, il est prévu de réaliser :

- un essai statique en compression de référence : B1 et F1
- une série d'essais cycliques en compression : B2 et F2
- une série d'essais cycliques en traction : B3, F3
- une série d'essais cycliques alternés (compression/traction) : F4

Le pieu B4 sera un pieu de réserve pour faire éventuellement des essais complémentaires.

Lors de chaque essai, les pieux de réaction sont sollicités en mode inverse de celui du pieu test mais dans une bien moindre proportion (1/4). On considèrera que ces chargements seront sans effet notable sur le comportement ultérieur d'un pieu d'essai lorsque celui-ci aura au préalable servi de pieu de réaction.

Les modes de sollicitation de chaque pieu sont indiqués dans le tableau 1, ci-après.

L'ordre des essais s'avère important pour une meilleure gestion de temps et de travail sur place. On prévoit d'effectuer les essais dans l'ordre suivant :

- Essai statique en compression sur le pieu foré F1
- Essai cyclique en compression sur le pieu foré F2
- Essai cyclique alterné en compression/traction sur le pieu foré F4
- Essai cyclique en traction sur le pieu foré F3
- Essai statique en compression sur le pieu battu B1
- Essai cyclique en compression sur le pieu battu B2
- Essai cyclique en traction sur le pieu battu B3
- Essai de réserve sur le pieu battu B4

Tableau1 : Mode de sollicitation de chaque pieu

Essais		Réaction	
Type	Pieu	Type	Pieux
statique compression	F1	statique traction	R1-R2-R5-F3
	B1		R2-R3-F3-F4

cyclique compression	F2	cyclique traction	R5-F3-R7-R8
	B2		F3-F4-R8-R9
cyclique compression / traction	F4	cyclique traction / compression	B1-B2-B3-B4
cyclique traction	F3	cyclique compression	F1-B1-F2-B2
	B3		F4-R6-R9-R10

4 Description des pieux d'essais de chargements statiques et cycliques

Dans ce qui suit, on présente les séquences de chargements pour chaque pieu (test ou réaction ; traction ou compression ; statique ou cyclique). En fonction de ces séquences, les équipements nécessaires pour chaque pieu ont été définis.

4.1 Les pieux d'essais forés à la tarière

Nom du pieu	Efforts appliqués	Equipements
F1	Test : statique compression	Pieu foré de L=13,5m (fiche 13m) et $\Phi = 420$ mm. Cage d'armature 1 Tube de réservation Tête de pieu de L= 0,5m
F2	Test : cyclique compression	Pieu foré de L=13,5m (fiche 13m) et $\Phi = 420$ mm. Cage d'armature 1 Tube de réservation Tête de pieu de L= 0,5m
F3	Test : cyclique traction	1 Pieu foré de L=13,5m (fiche 13m) et $\Phi = 420$ mm. Cage d'armature 1 Tube de réservation Tête de pieu de L= 0,5m 3 barres DYWIDAG de L =13 m 3 couvres barre en mousse pour le bétonnage (Zone de manchonnage en haut de la tête de pieu)

F4	Test : cyclique compression / traction	1 Pieu foré de L=13,5 m (fiche 13m) et $\Phi = 420$ mm. Cage d'armature 1 Tube de réservation Tête de pieu de L= 0,5m 3 barres DYWIDAG de L =13 m 3 couvres barre en mousse pour le bétonnage (Zone de manchonnage en haut de la tête de pieu)
----	--	--

4.2 Les pieux d'essais battus en acier fermé

Nom du pieu	Efforts appliqués	Equipements
B1	Test : statique compression	- Pieu tubulaire métallique (L=15m soit fiche 13 m + 2m en dessus du sol ; $\Phi = 420$ mm) -Plaque épaisse pour obturer la base -2 Tubes de réservation soudés au pieu
B2	Test : cyclique compression	- Pieu tubulaire métallique (L=15m soit fiche 13 m + 2m en dessus du sol ; $\Phi = 420$ mm) -Plaque épaisse pour obturer la base -2 Tubes de réservation soudés au pieu
B3	Test : cyclique traction	- Pieu tubulaire métallique (L=15m soit fiche 13 m + 2m en dessus du sol ; $\Phi = 420$ mm) - Plaque épaisse pour obturer la base - 4 barres petites DYWIDAG $\Phi = 36$ de 70 cm mm soudés à la tête de pieu sur 50 cm. - 2 Tubes de réservation soudés au pieu
B4	Test : réserve	- Pieu tubulaire métallique (L=15m soit fiche 13 m + 2m en dessus du sol ; $\Phi = 420$ mm) -Plaque épaisse pour obturer la base -2 Tubes de réservation soudés au pieu

Note 1 : les quatre pieux seront recepés à 13.5m après avoir servi de pieu de réaction pour tester le pieu F4 en traction/compression cyclique

Note 2 : les pieux seront mis en place par battage. IHC mettra gracieusement à disposition de l'entreprise le marteau hydraulique et un technicien spécialisé pour guider les opérations de battage. L'entreprise est invitée à se mettre en contact direct avec IHC (D. Guillaume) pour gérer l'interface sur les plans opérationnel et financier.

Afin de faciliter la mise en fiche, il est admis que les pieux pourront être stabilisés dans un trou préforé de 2 à 3m.

Alternativement, le vibrofonçage peut être considéré sur les 2 à 3 premiers mètres mais ne sera pas toléré au-delà de cette pénétration

4.3 Les pieux de réactions forés à la tarière

Nom du pieu	Efforts appliqués	Equipements
R1	Réaction : cyclique traction	- Pieu foré de L=13 m et $\Phi = 420$ mm. - 1 barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm et L=13 m
R2	Réactions : cyclique traction statique traction	- Pieu foré de L=13 m et $\Phi = 420$ mm. - 1 barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm et L=13 m
R3	Réactions : statique traction cyclique compression	- Pieu foré de L=13,5m (fiche 13m) et $\Phi = 420$ mm. - 1 barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm et L=13 m - Tête de pieu de 50 cm -1 couvre barre en mousse pour le bétonnage (Zone de manchonnage en haut de la tête de pieu)
R4	Réaction : cyclique compression	- Pieu foré de L=13 m et $\Phi = 420$ mm. - Tête de pieu de 50 cm
R5	Réaction : cyclique traction	- Pieu foré de L=13 m et $\Phi = 420$ mm. - 1 barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm et L=13 m
R6	Réaction : cyclique compression réserve (traction ?)	- Pieu foré de L=13,5m (fiche 13m) et $\Phi = 420$ mm. - 1 barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm et L=13 m - Tête de pieu de 50 cm -1 couvre barre en mousse pour le bétonnage (Zone de manchonnage en haut de la tête de pieu)
R7	Réaction : cyclique traction	- Pieu foré de L=13 m et $\Phi = 420$ mm. - 1 barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm et L=13 m
R8	Réactions : cyclique traction statique traction	- Pieu foré de L=13 m et $\Phi = 420$ mm. - 1 barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm et L=13 m
R9	Réactions : cyclique traction réserve (traction ?)	- Pieu foré de L=13,5m (fiche 13m) et $\Phi = 420$ mm. - 1 barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm et L=13 m - Tête de pieu de 50 cm -1 couvre barre en mousse pour le bétonnage (Zone de manchonnage en haut de la tête de pieu)
R10	Réaction : réserve (traction ?)	- Pieu foré de L=13,5m (fiche 13m) et $\Phi = 420$ mm. - 1 barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm et L=13 m - Tête de pieu de 50 cm -1 couvre barre en mousse pour le bétonnage (Zone de manchonnage en haut de la tête de pieu)

5 Massif de chargement

Pour bien visualiser le massif de chargement, on présente sur les figures suivantes les schémas de principe des systèmes envisagés pour appliquer respectivement les efforts de traction (§ 5.1), compression (§ 5.2) et traction/compression (§ 5.3) sur les pieux d'essais.

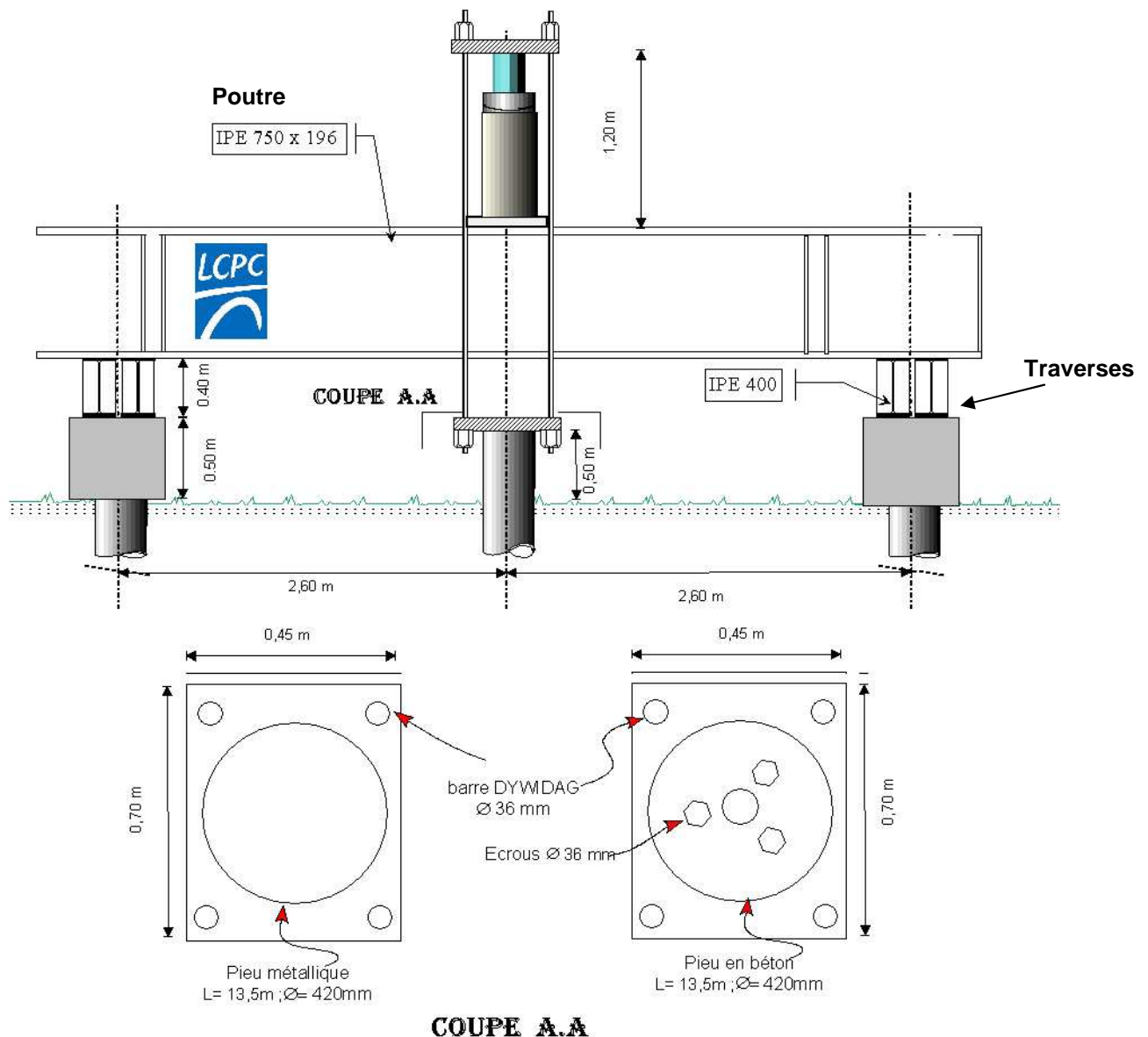
Le type de profilé est donné à titre indicatif. Ces profilés permettent d'assurer :

- la reprise des efforts à appliquer (charge maximale estimée en compression statique : 120T)
- la rigidité requise de l'ensemble du dispositif (pieu test, traverses, poutres) sous les charges cycliques.

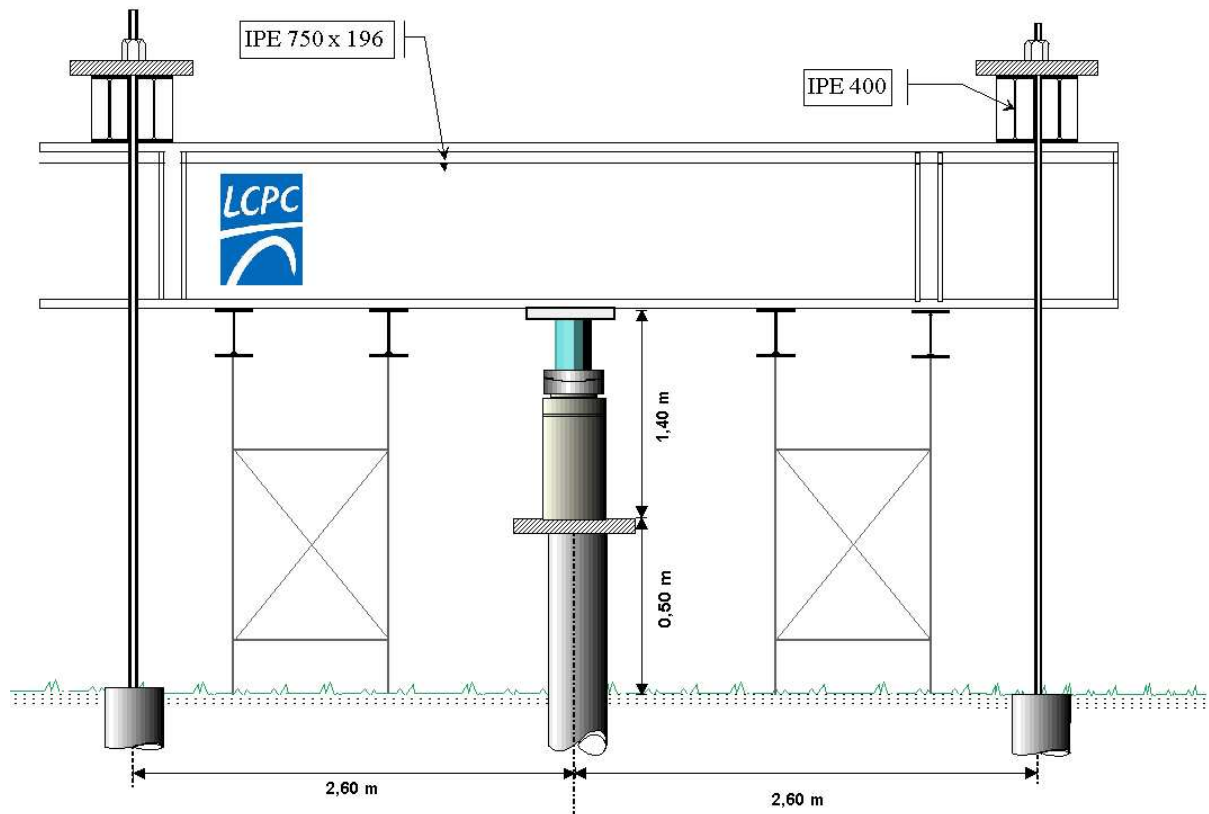
Des variantes sont bien sûr acceptables selon disponibilité éventuelle de poutre et de profilés pour les traverses.

Les cotes des plaques d'accrochage des vérins sont également indicatives à ce stade. Leur épaisseur sera suffisante pour transmettre les efforts de test sans déformation significative.

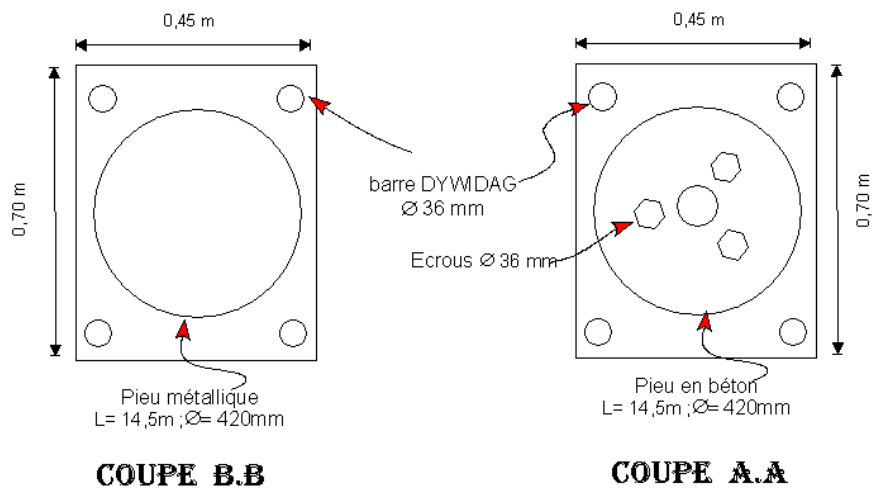
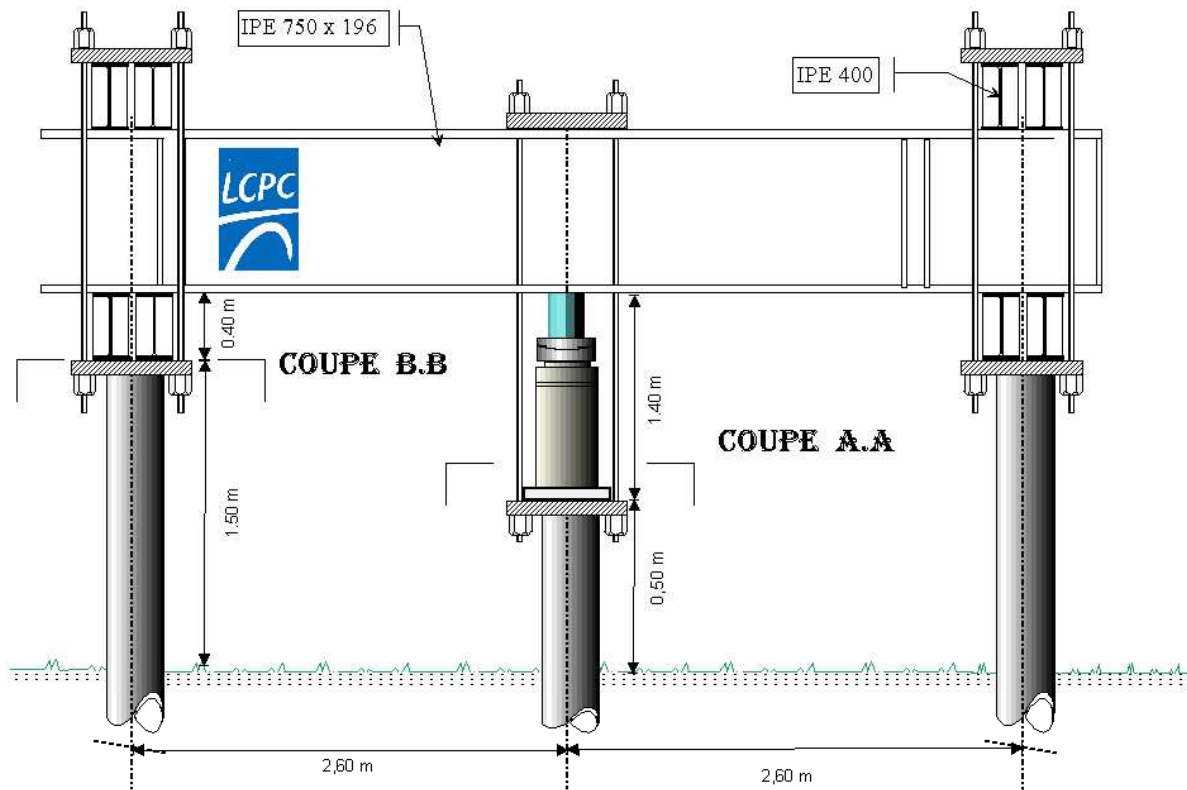
5.1 Schéma descriptif d'un essai de chargement de pieux en traction



5.2 Schéma descriptif d'un essai de chargement de pieux en compression



5.3 Schéma descriptif d'un essai de chargement cyclique alterné de pieux



5.4 Equipements nécessaires pour réaliser le massif de chargement

Pour réaliser les essais prévus à Merville, l'équipe du LCPC de Paris possède les équipements qui sont présentés sur le tableau suivant :

Equipements	Nombre
- Vérin double effet de 300 T pour statique - Vérin cyclique de 100 T	1 1
- barre DYWIDAG $\Phi = 36$ mm de L =1,5 m - barre DYWIDAG $\Phi = 40$ mm de L =2,5 m	6 8
- manchons $\Phi = 36$ mm - écrous $\Phi = 36$ mm	8 12

Il est donc demandé aux entreprises de fournir le complément suivant:

- poutre de réaction (par exemple IPE 750 x 196, longueur environ 6m ou équivalent selon disponibilité),
- 4 traverses de longueur environ 3.80m de type 2 IPE 400 jumelés,
- 20 barres DYWIDAG $\Phi = 36$ mm de L=2m (taille à confirmer) et les systèmes d'accrochages (plaques, manchons, écrous, etc.).

6 Option : Pas d'essais de chargement cyclique alterné

Dans le cas où les essais de chargement cyclique alterné sur le pieu F4 seraient supprimés, la disposition et les équipements de quelques pieux seraient modifiés. Le tableau suivant synthétise les changements.

Initial	changement
<ul style="list-style-type: none"> - 4 pieux battus (B1, B2, B3, B4) de longueur L=15 m (2 m au dessus du niveau de sol) et diamètre Φ = (entre 380 et 440 mm). 	<ul style="list-style-type: none"> - 3 pieux battus (B1, B2, B3) de longueur L=13,5 m (0,5 m au dessus du niveau de sol) et diamètre Φ = (entre 380 et 440 mm). - 1 pieu forés réalisés à la tarière (F5) de longueur L=13,5 m (0,5m au dessus du niveau de sol) et diamètre Φ = 420 mm. <ul style="list-style-type: none"> + Cage d'armature + 1 Tube de réservation
<p style="text-align: center;">Pieu de réaction R6</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pieu foré de L=13 m et Φ = 420 mm. - 1 barre DYWIDAG Φ = 36 mm et L=13 m <ul style="list-style-type: none"> - Tête de pieu de 50 cm -1 couvre barre en mousse pour le bétonnage (Zone de manchonnage en haut de la tête de pieu) 	<p style="text-align: center;">Pieu de réaction R6</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pieu foré de L=13 m et Φ = 420 mm. - Tête de pieu de 50 cm
<p style="text-align: center;">Pieu de réaction R10</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pieu foré de L=13 m et Φ = 420 mm. - 1 barre DYWIDAG Φ = 36 mm et L=13 m <ul style="list-style-type: none"> - Tête de pieu de 50 cm -1 couvre barre en mousse pour le bétonnage (Zone de manchonnage en haut de la tête de pieu) 	<p style="text-align: center;">Pieu de réaction R10</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pieu foré de L=13 m et Φ = 420 mm. - Tête de pieu de 50 cm
<ul style="list-style-type: none"> - 4 traverses de type 2 IPE 400 collés - 20 barres DYWIDAG Φ = 36 mm de L=2,5 m 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 traverses de type 2 IPE 400 collés - 10 barres DYWIDAG Φ = 36 mm de L=2,5 m

7 Instrumentation des pieux

Les pieux seront équipés d'extensomètres amovibles type LCPC. Ces derniers seront introduits avant les essais dans des tubes de réservation (52/60mm) préalablement installés. Pour les pieux forés, un tube sera installé tandis que pour les pieux battus, 2 tubes seront soudés à l'extérieur.

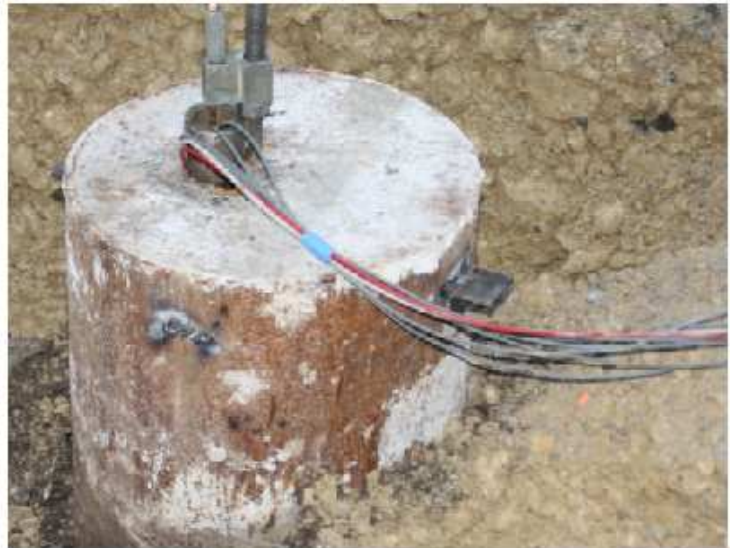
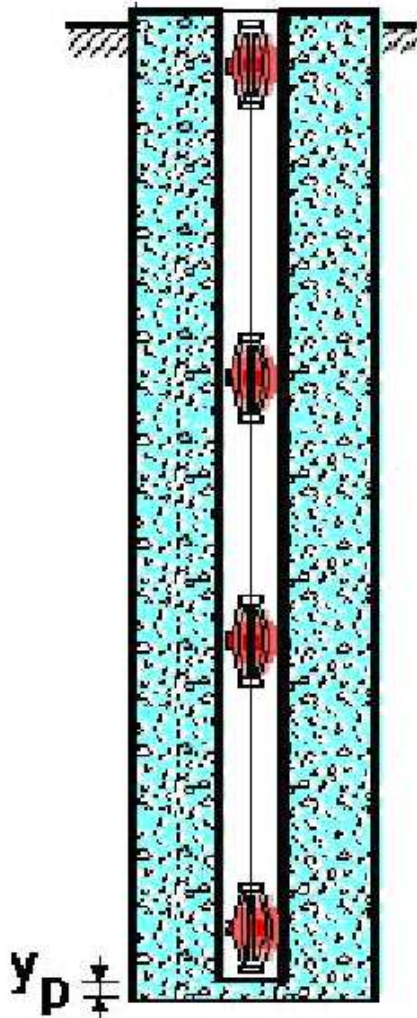


Figure 2 : schéma d'instrumentation pour un pieu en béton

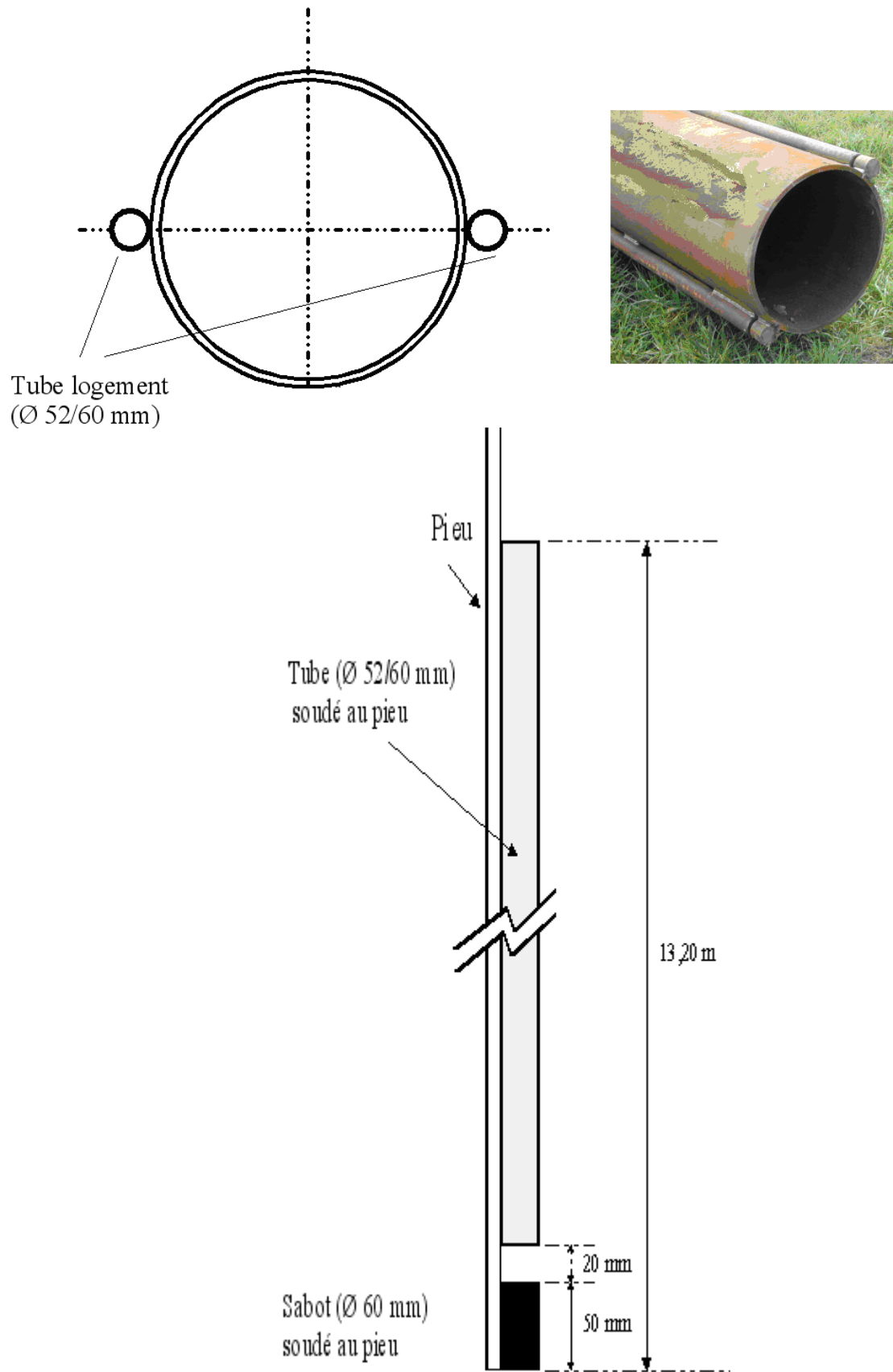


Figure 4 : schéma d'instrumentation pour un pieu métallique