HAL
open science

Projet pieux bois : construction d'un plot expérimental et instrumentation des pieux en bois

Jérôme Christin, Philippe Reiffsteck, Alain Le Kouby, Charles Barthram, Jean Francois Bocquet

To cite this version:

Jérôme Christin, Philippe Reiffsteck, Alain Le Kouby, Charles Barthram, Jean Francois Bocquet. Projet pieux bois : construction d'un plot expérimental et instrumentation des pieux en bois. Journées nationales de géotechnique et de géologie de l'Ingénieur - JNGG2012, CFMS, Jul 2012, Bordeaux, France. pp.641-648. hal-04520415

HAL Id: hal-04520415

https://univ-eiffel.hal.science/hal-04520415

Submitted on 25 Mar 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PROJET PIEUX BOIS : CONSTRUCTION D'UN PLOT EXPERIMENTAL ET INSTRUMENTATION DES PIEUX EN BOIS

TIMBER PILE RESEARCH PROJECT : CONSTRUCTION OF AN EXPERIMENTAL SITE AND INSTRUMENTATION OF TIMBER PILES

Jérôme CHRISTIN[1], Philippe REIFFSTECK[1], Alain LE KOUBY[1], Charles BARTHRAM[2], Jean-François BOCQUET[2]

1 Université Paris Est / IFSTTAR, Paris, France
2 Université de Lorraine / ENSTIB, Epinal, France

RÉSUMÉ – Dans ce papier, un plot expérimental à l'occasion du projet Pieux Bois (2010-2013) a été lancé afin de tester des pieux de différentes essences. L'instrumentation par la technique de l'extensomètre amovible a été adaptée. Ce papier présente la préparation du plot ainsi que les courbes de battage.

ABSTRACT — An experimental site was built in the Timber Pile Research Project (2010-2013) with a view to testing different species of timber piles. The instrumentation of piles with the technique of removable extensometer was adapted. This paper presents the preparation of the experimental site and the curves of piles driving.

1. Contexte et enjeux

1.1. Patrimoine français fondé sur des pieux en bois

La construction des premières fondations profondes à l'aide de pieux en bois remonte à l'époque du néolithique, il y a plus de 6000 ans. A cette époque, les pieux étaient enfoncés dans le sol à la force humaine. Les premières traces écrites de l'emploi de cette technique sont datées de l'époque romaine, période durant laquelle les machines de battage ont été inventées. Durant les siècles suivants, de l'époque de la Renaissance jusqu'à l'ère industrielle en passant par l'époque moderne, ce mode de fondations s'est progressivement développé et diversifié : le battage des pieux en bois précédait la construction des grillage et platelage en bois, avant que ces derniers ne soient remplacés par du béton immergé ; technique qui a entrainé un déclin progressif de l'utilisation des pieux en bois dès le 19ème siècle.
Les ouvrages reposant sur des pieux en bois et construits sur le territoire français sont très nombreux : des ponts fondés sur la Loire (pont de Belle Croix, pont Rousseau à Nantes), sur la Seine (pont de la Concorde, pont Mirabeau) aux ouvrages tels que le Château de Chambord, le Grand Palais, la cathédrale de Strasbourg, ou encore aux quais portuaires comme à Rouen ou au Havre, la nature des ouvrages et des fondations de type pieux bois se révèle être d'une grande diversité.

1.2. Absence de contexte normatif français

En France, l'arrêt de la technique des pieux en bois a été contemporain de l'invention du béton immergé au début de l'ère industrielle (début du 19ème siècle). Cet abandon a donc été antérieur au développement du pressiomètre par L. Ménard dans les années 1950 ; dont les résultats des essais constituent aujourd'hui la base du dimensionnement des fondations profondes en France. Il n'existe donc à ce jour aucune règle professionnelle ni contexte normatif français permettant d'asseoir le dimensionnement de fondations de cette nature sur le territoire. Les bases de données d'essais de pieux conduisant à l'élaboration des règles de calculs et abaques du Fascicule 62 Titre V (MELT, 1993) ont été construites à partir d'essais de chargement statiques de pieux en acier et béton instrumentés avec des extensomètres amovibles.
A l'inverse, les Etats-Unis, le Canada et les Pays-Bas ont su mettre en place un contexte normatif en publiant des documents officiels (le Timber Pile Manual (AWPI, 2002) aux Etats-Unis et la NEN 6743 (NEN, 1991) aux Pays-Bas) qui ont permis d'asseoir les règles de dimensionnement pour ce type de fondation.
Cet article présente les objectifs et les enjeux du projet « Pieux Bois ». Il détaille le dispositif d'instrumentation des pieux en bois à partir de l'extensomètre amovible ainsi que la mise en œuvre des pieux par battage sur un site expérimental.

2. Présentation du projet « Pieux Bois »

2.1. Création du projet

Le projet Pieux Bois (2010-2013), initié et piloté par l'IFSTTAR, a été lancé en 2010 afin de répondre aux enjeux créés par l'absence de contexte normatif français relatif aux fondations de type pieux bois. Issu de l'appel à projet C2D2 (Concevoir et Construire pour le Développement Durable), ce projet est constitué de cinq partenaires complémentaires : l'IFSTTAR, une scierie (entreprise GROUAZEL) fournissant la ressource en bois nécessaire dans le cadre du projet, un bureau de contrôle (entreprise BATIPLUS) validant les règles de calculs établies, un cabinet d'architecte (entreprise CARTIGNIES-CANONICA) et le laboratoire LERMAB de l'école nationale supérieure des techniques et industries du bois (ENSTIB).

2.2. Objectifs du projet

L'objectif du projet Pieux Bois est de promouvoir la technique de fondations de type pieux bois dans la construction de bâtiments et petits ouvrages en proposant une solution alternative aux pieux en acier et en béton. Il est pour cela nécessaire de créer un contexte normatif français sur lequel les maitres d'œuvre pourront s'appuyer lors du dimensionnement des fondations.
La mise en place de ce contexte normatif français relatif au dimensionnement des pieux en bois passe par la proposition d'une courbe de frottement unitaire limite le long du fût des pieux en bois ; courbe qui viendra par la suite s'ajouter à celles de la norme NFP94-262 qui succède au Fascicule 62 Titre V et au DTU 13.2. La

construction de cette courbe est réalisée à partir de résultats d'essais de chargement statiques sur des pieux en bois instrumentés avec des extensomètres amovibles.
Un des points importants du projet a été de développer une instrumentation adaptée aux pieux en bois. En effet, les pieux en bois ne sont pas rectilignes et contrairement aux pieux en béton et en acier, le tube logement ne peut être mis en place dans le matériau frais ou soudé. Un plot expérimental sur lequel les pieux sont battus et chargés statiquement a par la suite été mis en place.

3. Géométrie et instrumentation des pieux en bois

3.1. Géométrie des pieux en bois

Les pieux en bois utilisés dans le cadre du projet sont issus de quatre essences différentes : le chêne car il est considéré comme étant l'essence la plus durable et constitue une ressource de proximité sur une partie importante du territoire français, le pin car c'est l'essence la moins durable, le hêtre qui présente des caractéristiques intermédiaires et l'acacia qui possède également une très grande durabilité. Huit pieux au total sont instrumentés, deux par essence.
La conicité naturelle des pieux est conservée, ils ne sont pas équarris. Ils sont cylindriques et bruts (partiellement écorcés). Le tableau 1 présente la géométrie des pieux en tête et en pointe et leur conicité.

Tableau 1. Géométrie des pieux en bois

Numéro du pieu	Essence	Longueur (m)	Diamètre tête (cm)	Diamètre pointe (cm)	Conicité (mm/m)
1	Hêtre	5	27,2	24,4	2,8
2	Hêtre	5	32,3	29,4	2,9
3	Pin	5	26,7	24,2	2,5
4	Pin	5	24,8	23,1	1,8
5	Chêne	5	27,1	23,9	3,2
10	Chêne	5	26,9	23,6	3,3
8	Acacia	5	22,1	19,6	2,5
9	Acacia	5	23,1	21,2	1,9

Chaque essence est représentée sur le plot expérimental par deux pieux. Ces doublons permettront de comparer la résistance en frottement latéral et la capacité portante ultime des pieux en fonction de leur conicité et de leur diamètre en pointe et en tête.

3.2. Caractéristiques mécaniques des pieux en bois

Dans le but de disposer du module d'élasticité longitudinal moyen de chaque pieu, une analyse vibratoire couplée à un modèle aux éléments finis a été mis en œuvre. Dans un premier temps, le profil en long de chaque pieu ainsi que leur masse totale ont été mesurés. La densité a également été mesurée en prélevant une tranche à l'extrémité de chaque pieu. En plaçant le pieu sur deux appuis, celui-ci a été mis en vibration libre. A l'aide de trois accéléromètres, la première fréquence propre a été obtenue par analyse fréquentielle. Après avoir réintroduit le profil en long du pieu et

sa masse dans le modèle MEF, le module moyen tenant compte d'un rapport E/G de 16 a été retrouvé pour chaque pieu.
Le tableau 2 présente les caractéristiques mécaniques des huit pieux.

Tableau 2 . Caractéristiques mécaniques des pieux en bois

Numéro du pieu	Essence	Masse (kg)	Masse volumique (kg/m3)	Fréquence de résonance (Hz)	Module d'Young (MPa)
1	Hêtre	136	475	18,2	6090
2	Hêtre	275	709	21,1	8650
3	Pin	153	572	19,9	9050
4	Pin	120	587	20,5	9440
5	Chêne	201	723 [1]	16,4	7850
10	Chêne	192	723	14,6	6700
8	Acacia	150	806	15,2	10700
9	Acacia	153	757	18,8	12900

3.3. Instrumentation des pieux en bois

3.3.1. Objectifs

L'objectif de l'instrumentation des pieux en bois est de mesurer à différentes profondeurs le raccourcissement élastique du pieu en fonction de la charge appliquée en tête (Bustamante et Jézéquel, 1975). La valeur du raccourcissement permet, via le module d'Young de chaque pieu, de déterminer la charge reprise par chaque tronçon du pieu et donc le frottement latéral entre le pieu et le sol à différentes profondeurs.

3.3.2. Présentation des extensomètres et difficultés rencontrées

La mesure du raccourcissement élastique s'effectue à l'aide d'un dispositif constitué d'une chaîne d'extensomètres amovibles. Cette dernière consiste en des rubans métalliques porteurs de jauges de déformation, maintenus sous tension par l'intermédiaire de bloqueurs. Les bloqueurs permettent alors de fixer les rubans aux extrémités des tronçons (Figure 1).

Figure 1 . Bloqueur et jauges de déformation

Dans la pratique courante, la chaine d'extensomètres amovibles est introduite dans un tube métallique solidaire du pieu, une fois le pieu battu dans le sol.
La non-linéarité et la conicité naturelle du pieu, mêlées aux difficultés que représentent la fixation du tube en acier au bois rendent l'emploi de cette méthode

[1] La masse volumique du pieu n°5 n'a pas été mesurée. Elle a été prise égale à celle du pieu n°10.

difficile. Un dispositif d'instrumentation à l'aide d'extensomètres amovibles spécifique aux pieux en bois a donc été élaboré.

3.3.3. Système d'instrumentation des pieux en bois

Dans un premier temps, une saignée de 80 mm de largeur et de 60 mm de hauteur a été réalisée sur toute la longueur du pieu, au niveau de la section où le pieu était le plus rectiligne (figure 2). Cette étape complexe n'a pu être réalisée que par l'utilisation d'un robot 6 axes possédé par l'ENSTIB.

Figure 2 . Saignée dans les pieux

Des pattes de fixation, de largeur 60 mm et de longueur 80 mm, ont été fixées au bois à l'aide de vis et d'inserts dans la saignée au droit des futurs emplacements des bloqueurs. Les pattes étaient espacées les unes des autres de 75 cm (figure 3).

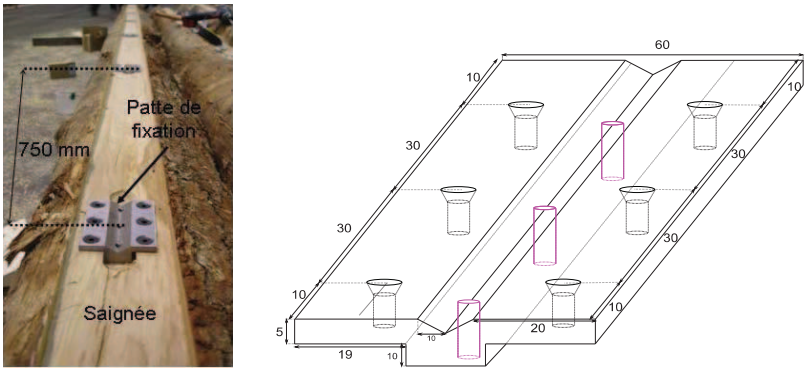

Figure 3 . Pattes de fixation

Une fois les pattes solidaires du bois, des tubes de logement (tubes accueillant les bloqueurs) de 35 mm de diamètre et de 25 cm de longueur, chanfreinés à chaque extrémité et diamétralement percés à 3 endroits ont été fixés sur les pattes. L'usinage d'une rainure en « V » sur la patte de fixation a permis le calage du tube cylindrique (figure 4).

Des fenêtres de 26 cm de longueur et de 80 mm de largeur ont été usinées sur un tube métallique à section rectangulaire de dimensions 80 * 60 mm. Ce tube métallique (qualifié de tube extérieur) est venu chapeauter et protéger l'ensemble « patte de fixation + tubes de logement » dans la saignée. Il a été fixé au bois avec des vis et des tirefonds (figure 5).

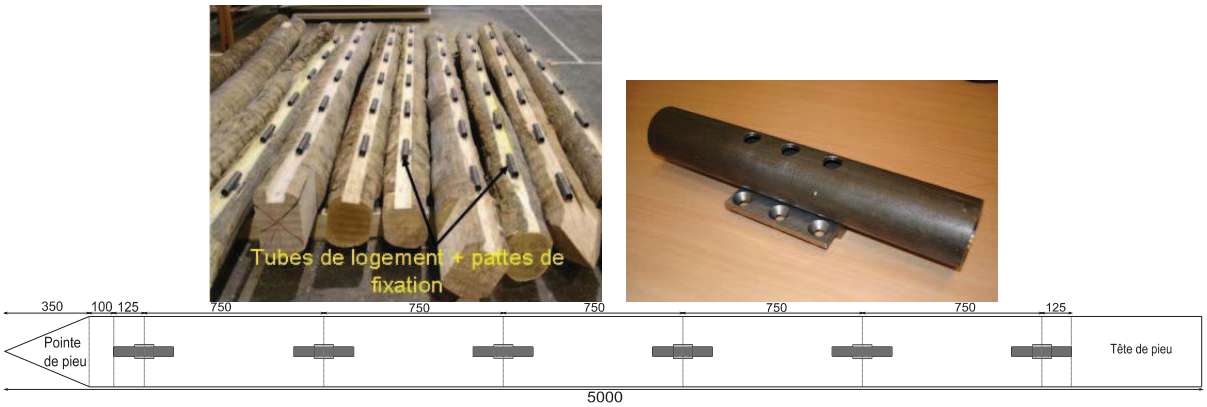

Figure 4 . Fixation des tubes sur les pattes

La pointe des pieux a été usinée en forme pyramidale. L'extrémité du tube extérieur au niveau de la pointe a été biseautée de sorte que le biseau soit dans le prolongement d'une des faces de la pointe. La pointe a été renforcée avec 4 plats métalliques (un sur chaque face) dont l'un a été soudé au biseau du tube extérieur (figure 6).

Figure 5. Fixation des tubes extérieurs dans la saignée

Figure 6. Protection de la pointe à l'aide de plats métalliques

Deux plats diamétralement opposés et distants de 20 cm (distance constante sur tous les pieux) ont été usinés sur la tête du pieu. Ils avaient pour objectifs de faciliter la fixation du casque de battage au pieu lors de la phase chantier (figure 7).

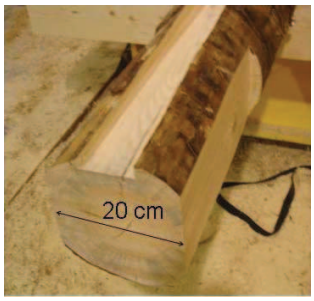

Figure 7. Usinage de plats en tête de pieux

4. Construction d'un plot expérimental

4.1. Présentation du site

Le Grand Port Maritime de Rouen (GPMR) est un maitre d'ouvrage public qui possède de nombreux quais fondés sur des pieux en bois de hêtre. Souhaitant s'impliquer dans le projet, le GPMR a mis à disposition de l'IFSTTAR une parcelle en bordure de Seine sur laquelle le plot expérimental a été construit (figure 8).

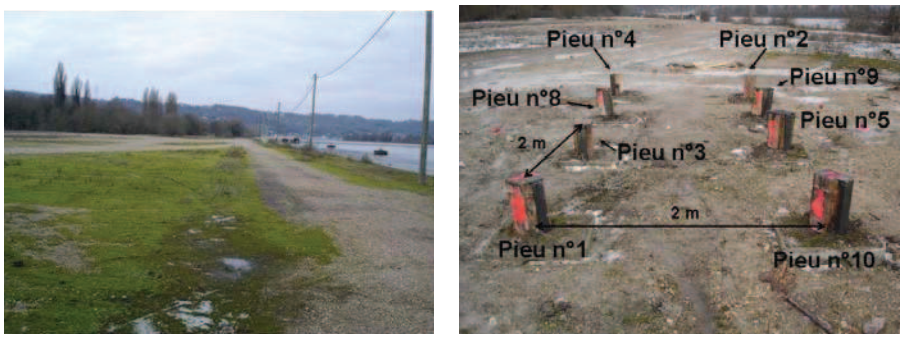

Figure 8 . Localisation du site et implantation des pieux

Le terrain est composé de remblai graveleux sur les 50 premiers centimètres. Les couches sous-jacentes à ce remblai sont constituées de limons humides jusqu'à 2,5-3 m de profondeur, puis de matériaux sablo-graveleux dont l'épaisseur est supérieure à 4 m. Les sondages réalisés à la pelle mécanique (profondeur d'arrêt de 4 m) n'ont pas permis de déterminer la profondeur du niveau d'eau. Néanmoins, compte tenu de la proximité de la Seine, on peut estimer la profondeur du niveau d'eau à environ 5 m.

4.2. Battage des pieux en bois

Les huit pieux sont espacés longitudinalement et transversalement d'environ 2m. Des regards béton ont été installés au droit des futurs emplacements des pieux en bois et remplis de limons afin d'éviter tout frottement entre la couche de remblai graveleux et le pieu lors de la phase de battage.
Le battage des pieux en bois a été réalisé par l'entreprise GTS à l'aide d'un trépideur (marteau pneumatique de type PAJOT 600), sans système de guidage. Les pieux ont été battus sur une hauteur de 4,5 m. Un casque de battage a été mis en place sur la tête des pieux afin de la protéger des chocs du marteau hydraulique (figure 9a). Ce casque était constitué de trois plats métalliques et fixé à la tête de pieux par l'intermédiaire de tirefonds. Un HEB200 faisant office de raccord entre la tête des pieux et le marteau hydraulique a été soudé sur les plats. Les courbes de battage des pieux sont présentées sur la figure 9b.

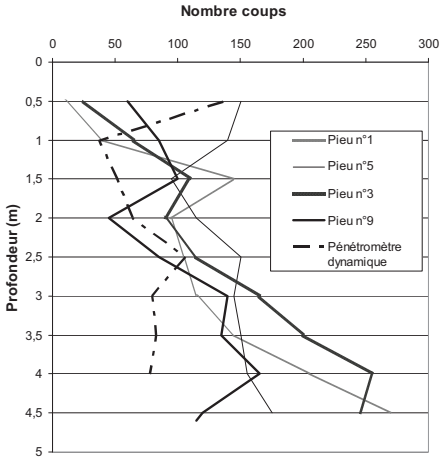

Figure 9a . Casque de battage Figure 9b . Courbes de battage

Le nombre de coups augmente au fur et à mesure que les pieux pénètrent dans le sol. Le pieu n°9 présente une résistance au battage moins élevée que les trois autres, probablement due à des diamètres en tête et en pointe plus petits : le diamètre moyen du pieu n°9 est de l'ordre de 22 cm, contrairement à 25 cm pour les trois autres. On remarque que la courbe de battage du pénétromètre dynamique présente une tendance similaire à celle des courbes de battage des pieux en bois jusqu'à 2,5 m de profondeur.

5. Conclusion et perspective

Après dissipation des surpressions interstitielles créées par le battage des pieux, les bloqueurs seront introduits dans les tubes métalliques et les pieux seront chargés statiquement en compression. Ce dispositif d'instrumentation des pieux en bois ne pourra alors être totalement validé que lors des essais de chargement.

Remerciements

Les auteurs remercient le projet Pieux Bois, le GPMR, le CETE Normandie Centre et le SETRA pour leur aide apportée durant le projet, ainsi que l'entreprise CALCIA pour la fourniture du ciment utilisé lors de la réalisation des micropieux (massif de réaction).

Références bibliographiques

American Wood Preservers Institute (2002). Timber Pile Design and Construction Manual, pp.145.

Bustamante M., Jézéquel J.-F. (1975). Mesure des élongations dans les pieux et tirants à l'aide d'extensomètres amovibles, Travaux, 489, déc. 1975.

Fascicule 62 Titre V (1993). Règles techniques de calcul et de conception des fondations des ouvrages de génie civil, CCTG, Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports, Texte officiel N° 93-3, pp. 182.

NEN 6743, (1991). Geotechnics – Calculation method for bearing capacity of pile foundation - Compression pile NEN 6743, pp.30.