

norme française

P 11-212

septembre 1992

Référence DTU 13.2

fondations profondes pour le bâtiment **partie 1 : cahier des clauses techniques**

E : deep foundation for building

D : tiefen Baugründungen

Statut

Norme expérimentale publiée par l'afnor en septembre 1992.

Les observations relatives à la présente norme expérimentale doivent être adressées à l'afnor, avant le 1^{er} mars 1993.

Le présent document annule et remplace le Cahier des Charges DTU 13.2, publié en juin 1978.

Correspondances

A la date de parution de la présente norme expérimentale, il n'existe pas de norme internationale sur le sujet

Analyse

La présente norme vise à donner les prescriptions techniques nécessaires à la réalisation des ouvrages de fondations profondes entrant dans la construction de bâtiments, en mettant en oeuvre l'un des procédés choisis parmi les pieux façonnés à l'avance, forés, à tube battu ou foncé, les micropieux et les puits. Elle traite aussi de la mise en oeuvre des colonnes ballastées et des picots.

Descripteurs

Thésaurus International Technique : bâtiment, fondation, cahier des charges, pieu de fondation, puits de fondation, colonne, battage de pieu, pieu en béton, béton armé, produit en métal, définition, armature, forage, façonnage, implantation, caractéristique, construction, mise en oeuvre, contrainte admissible, corrosion, essai, contrôle

© afnor 1992

membres de la commission de normalisation chargée de l'élaboration du présent document

Président :

M. HURTADO (CEBTP)

Co-Rédacteurs :

MM.

- HURTADO (CEBTP)
- PERCHAT (FNB)

Membres :

MM.

- ADAM,
- BERARD, représentant l'EMCC
- BOUCHERIE, représentant la SOCOTEC
- BOLLE, représentant SPIE BATIGNOLLES
- BRULOIS, représentant SIF BACHY
- BUSTAMANTE, représentant LCPC
- CLAUZON, représentant l'UNM
- COQUAND, représentant SOFFONS

- les efforts obliques transmis même provisoirement à la tête de certains pieux (par exemple, par des engins de levage, par des matériels de compactage, par des butons, etc.) ;
- les terrassements dissymétriques proches des pieux ;
- les stockages de matériaux ou de matériels, même de courte durée, au voisinage des pieux.

1.1.4 implantation et piquetage

1.1.4.1

Les repères devant servir à l'implantation des pieux, fournis par le maître d'ouvrage, doivent être solides et bien protégés.

COMMENTAIRE

Les repères d'implantation réalisés sous la responsabilité du maître d'oeuvre doivent être solides et bien protégés : ils sont placés dans une zone stable suffisamment loin du futur bâtiment pour ne pas risquer d'être endommagés par le travail normal des machines.

Sur au moins un repère est portée une cote d'altitude rattachée au nivellement général. L'entrepreneur, après réception écrite, reçoit la garde et l'entretien desdits repères.

1.1.4.2

Les repères de piquetage sont placés sous la responsabilité de l'entrepreneur. Chaque repère doit être enfoncé sur toute sa longueur à 1 cm près.

COMMENTAIRE

Les repères de piquetage sont, en général, constitués par des fiches métalliques enfoncées dans le sol suffisamment profondément pour ne pas être déplacées par la circulation des engins. S'ils dépassaient du sol, ils pourraient être la cause d'accidents de personnes.

1.1.5 tolérances d'implantation au niveau du recépage (excentrement)

COMMENTAIRE

L'hétérogénéité du sol (blocs, couche dure inclinée, etc.), l'état de la plate-forme de travail, la proximité d'un talus sont fréquemment la cause d'excentrement ou d'écarts d'inclinaison.

1.1.5.1

Sauf indications différentes dans les pièces contractuelles du marché, la tolérance sur l'axe des pieux est de 15 cm en écart ponctuel (c'est-à-dire en toutes directions), - 5 % en inclinaison (distance de la pointe à sa position théorique inférieure à 5 centièmes de la longueur utile du pieu).

COMMENTAIRE

Les tolérances d'implantation sont fixées dans le devis descriptif : des valeurs trop faibles entraînent l'utilisation de dispositifs de guidage onéreux ; des valeurs trop fortes conduisent à une augmentation du coût de la structure.

La tolérance de 15 cm est une valeur extrême à ne dépasser en aucun cas. Les valeurs ci-dessous donnent les valeurs moyennes courantes conseillées en site terrestre, pour les arases normales, quel que soit le diamètre (tolérances en cm) :

- battu préfabriqué : 6
- métal battu : 4
- tubulaire précontraint : 9
- battu enrobé : 6
- battu pilonné : 6
- battu moulé : 6
- foré simple : 12
- foré tubé : 6
- foré boue : 12
- tarière creuse : 12
- vissé moulé : 9
- micropieu : 4

*si armé
+ D/8 non armé ≥ 6 cm.*

Les ouvrages surmontant les pieux sont conçus de telle sorte qu'ils ne soient pas à modifier tant que les écarts d'implantation sont inférieurs aux tolérances d'implantation.

Pour les problèmes d'excentrement, il faut faire une différence :

- entre les pieux isolés et ceux liés à une longrine ou un massif,
- entre les pieux munis d'une cage d'armature et les pieux non armés.

Dans certains terrains de surface très hétérogènes, le forage, en tête, peut avoir une forme quelconque. Le tubage ou la virole de tête

La virole est mise en place en fonction des repères d'axe et il y a intérêt à procéder à un remblaiement autour du tubage ou de la virole.

En fin de bétonnage, c'est l'axe du tubage ou de la virole qui sert au repérage de la mise en place des barres d'attente. Dans ce cas, on mesure la distance de l'épicentre des barres d'attente (qui définit l'axe réel du pieu) à l'axe théorique, et on compare cette distance à la tolérance.

En cas de doute sur la position de l'axe réel du pieu, on procède à des vérifications contradictoires : il y a lieu de dégager le pieu sur une longueur suffisante pour que son axe puisse être déterminé au mieux.

1.1.5.2

Dans le cas particulier des pieux qui sont à la fois :

- verticaux,
- de section circulaire,
- en béton,
- sans armatures,
- soumis à des efforts verticaux seulement,
- en site terrestre,

la distance, dans le plan horizontal de recépage, entre l'axe théorique et l'axe réel du pieu doit être inférieure au huitième du diamètre.

COMMENTAIRE

Pour les pieux non armés, la règle du huitième de diamètre ne s'applique qu'à des cotes de recépage situées entre 0 et 1,50 m de profondeur sous la plate-forme de travail. *6 cm maximum*

Au delà de cette profondeur, il est admis une tolérance supplémentaire correspondant à la tolérance d'inclinaison dont on tiendra compte dans les calculs.

L'inclinaison du pieu sur la verticale doit être inférieure à 3 % et inférieure à 2 % si plus de 3 pieux d'un même groupe sont inclinés dans la même direction.

1.1.6 problèmes non traités dans le présent Cahier des charges (site aquatique, pieux faiblement ancrés dans un substratum dur incliné, etc.).

Les problèmes non traités dans le présent Cahier des Clauses Techniques font l'objet de dispositions particulières arrêtées par le maître d'ouvrage en accord avec l'entrepreneur.

1.1.7 exécution des travaux annexes

Les pieux exécutés à flanc de talus doivent être débutés par un avant trou.

Le recépage relève normalement du lot semelles et longrines. Exceptionnellement, il peut faire partie du marché ouvrages de fondations profondes.

Le recépage doit éliminer tout béton pollué ou de caractéristiques médiocres, en tête de pieu ou barrette et être poursuivi sur une hauteur de dix centimètres dans le béton sain.

COMMENTAIRE

Dans le cas des pieux exécutés en place, le recépage est destiné à éliminer la partie supérieure du béton détérioré par l'eau, le terrain ou la terre. Il doit permettre de retrouver un béton sain et d'amener la tête du pieu au niveau fixé par les plans.

Dans le cas des pieux façonnés à l'avance, le recépage a pour objectif, d'une part, d'éliminer la partie de la tête du pieu qui a souffert au battage, d'autre part, d'amener la tête du pieu au niveau fixé par les plans.

Les documents particuliers du marché indiquent l'endroit où les résidus de recépage doivent être évacués.

Lorsque le marché de fondations comporte l'exécution du béton armé des semelles et longrines et des terrassements correspondants, ces travaux sont exécutés conformément aux dispositions du Cahier des charges DTU n°13.1 applicable aux fondations superficielles.

COMMENTAIRE

Si les documents particuliers précisent que le marché de travaux de fondation comporte l'exécution du béton armé des semelles et longrines et des terrassements correspondants, ils indiquent alors les dispositifs de liaison à prévoir.

Le béton de propreté ne doit pas recouvrir les têtes de pieux ou puits.

Les barres d'attente (voir définition), lorsqu'elles sont prévues, doivent être coudées.

Lorsque les arases sont en contrebas de la plate-forme de travail, les trous correspondants doivent être immédiatement comblés sur toute la hauteur.

COMMENTAIRE

Plus le niveau théorique de recépage est profond sous le niveau de la plate-forme de travail, plus la hauteur du recépage à prévoir est importante par suite des grandes difficultés de contrôle du toit du béton sain en fin de coulage et de la pénétration dans le béton frais des blocs de terre qui risquent de s'écrouler. La hauteur limite de recépage, fixée par le Cahier des Charges pour chaque type de pieu, est celle qui intervient à l'article 9 du Cahier des Clauses Spéciales.

Les arases en contrebas de la plate-forme, si elles ne sont pas immédiatement comblées, sont souvent la cause d'accidents de personnes.

1. Essais

Le nombre et la nature des essais sont fixés par les documents particuliers du marché : toutefois, le nombre des essais d'information ne doit pas être inférieur à 1 sur 20 pieux, ou fraction de 20 pieux, par ouvrage.

COMMENTAIRE

Il est rappelé que les essais de pieux sont répartis en deux groupes :

- les essais de reconnaissance, qui ont pour but de compléter les résultats des reconnaissances des sols ;
- les essais de contrôle, qui ont pour but de vérifier la qualité de la fondation exécutée.

Pour le détail des commentaires relatifs aux essais, il y a lieu de se reporter au chapitre 10.

1.2.1

Les essais d'information donnent lieu, pour chaque pieu concerné :

1.2.1.1 dans le cas des pieux battus

A l'établissement d'une courbe de battage complète établie en portant en ordonnées les profondeurs et en abscisses la résistance dynamique calculée par la formule des Hollandais sans coefficient de réduction.

$$R_d = \frac{M^2 h}{e (M + P)}$$

dans laquelle :

- R_d = résistance dynamique
- M = poids du mouton
- h = hauteur de chute du mouton
- P = poids des pièces mobiles intéressées au battage
- e = enfoncement moyen par coup de mouton.

Sur les trois derniers mètres, tous les 1 m de profondeur, on relève le refus élastique e^1 et on porte sur le graphique de battage les quatre points représentatifs obtenus par la formule de Crandall sans coefficient de réduction.

$$R_d = \frac{M^2 h}{\left(e + \frac{e^1}{2} \right) (M + P)}$$

dans laquelle e^1 = refus élastique.

1.2.1.2 dans le cas des pieux foncés

A l'établissement d'une courbe de fonçage complète établie en portant en ordonnées les profondeurs et en abscisses la résistance statique en MPa égale à la force de fonçage divisée par la section de la pointe du pieu ;

1.2.1.3 dans le cas des pieux forés

A l'établissement d'une coupe des terrains rencontrés qui comporte la description des matériaux extraits.

Un échantillon de terrain, même très remanié mais caractéristique de chaque couche traversée, doit être conservé, dans un emballage étanche numéroté, jusqu'à la fin des travaux.

1.3 justification des fûts des pieux

COMMENTAIRE

La charge admissible peut être, selon les cas, limitée par les caractéristiques mécaniques du sol ou celles des matériaux constitutifs du fût du pieu.

- La limite imposée par le sol (charge nominale) résulte de l'étude géotechnique. Elle est définie au chapitre 11.
- La limite imposée par les matériaux constitutifs du fût du pieu est définie par les articles 1.3.1 et 1.3.2. L'attention est attirée sur le fait qu'il y a lieu de considérer la section du fût la plus défavorable, en tenant compte notamment du frottement négatif éventuel et de l'excentricité.

1.3.1 justification des pieux métalliques ou mixtes

Se reporter au chapitre correspondant

1.3.2 justification des pieux en béton armé

1.3.2.1 résistances à prendre en compte

1.3.2.1.1 résistance de calcul conventionnelle du béton

Les calculs justificatifs des fondations sont conduits à partir d'une résistance conventionnelle du béton notée f^*c , définie par :

$$f_c^* = \inf \frac{(f_{cj} ; f_{clim})}{k_1 k_2}$$

avec :

f_{cj} : résistance caractéristique à j jours d'âge telle qu'elle est définie par les Règles BAEL

f_{clim} : valeur limite dépendant de la technique de fondation et définie dans le tableau ci-après

k_1 : coefficient tenant compte du mode de mise en place dans le sol ainsi que des variations possibles des sections, selon le procédé d'exécution adoptée

k_2 : coefficient tenant compte des difficultés de bétonnage liées à la géométrie de la fondation.

a. Les valeurs de f_{clim} et k_1 sont données dans le tableau suivant :

Les valeurs de f_{clim} et k_1 sont données dans le tableau suivant :

	Type de fondation		f_{clim}	$k_1(1)$
Groupe A	Pieux ou parois préfabriqués mis en place dans un forage		f_{c28}	1,00
	Pieux tubulaires précontraints		f_{cj}	1,15
	Pieux préfabriqués battus en béton armé		f_{cj}	1,15
	Puits avec béton vibré		f_{c28}	1,00
	Puits avec béton non vibré		f_{c28}	1,20
Groupe B	Pieux battus moulés		f_{c28}	1,3
	Pieux et barettes forés simples		f_{c28}	1,3
	Pieux forés tubés	bétonnés à sec	f_{c28}	1,2
		bétonnés sous l'eau	f_{c28}	1,3
	Pieux et barettes bétonnés sous boue, parois moulées		f_{c28}	1,3

(1)
Il est loisible de diminuer d'au plus 0,1 la valeur absolue du coefficient k_1 :

- pour les pieux et barettes forés simples, lorsque la nature des terrains rencontrés garantit une stabilité absolue des parois ;
- pour les pieux forés tubés, lorsque l'extraction du tube est effectuée avec vibrations et présente toutes les garanties vis-à-vis du respect de l'intégrité du pieu.

b. Le coefficient k_2 prend normalement les valeurs suivantes :

○ Eléments du groupe A :

$$k_2 = 1$$

○ Eléments du groupe B :

- dont le rapport du plus petit diamètre d à la longueur est inférieur à $1/20$:

$$k_2 = 1,05$$

- dont le plus petit diamètre est inférieur à 0,60 m :

$$k_2 = (1,3 - d/2)$$

- réunissant les deux conditions précédentes :

$$k_2 = (1,35 - d/2)$$

d étant exprimé en mètres.

- ne réunissant aucune des conditions précédentes :

$$k_2 = 1$$

1.3.2.1.2 résistance caractéristique à la traction

La résistance caractéristique à la traction f_{tj} s'obtient en appliquant à la résistance conventionnelle f_c définie ci-dessus la formule de l'article A.2.1,12 des Règles BAEL.

1.3.2.2 justifications en phase définitive

Les justifications doivent être conduits à partir des dimensions nominales des éléments de fondation considérés.

1.3.2.2.1 états limites de service

Les sollicitations de calcul à considérer résultent des combinaisons rares, telles qu'elles sont définies par les Règles BAEL.

Les hypothèses de calcul sont celles définies à l'article A.4.5,2 des Règles BAEL.

Etat limite de compression du béton

Cet état limite est défini par les deux conditions suivantes :

1. la contrainte maximale de compression du béton est égale à $0,6 f^*c$;
2. la contrainte moyenne de compression du béton sur la seule section comprimée de celui-ci est égale à $0,3 f^*c$.

b. Etat limite de fissuration

L'état limite de fissuration correspond à une contrainte de traction des armatures égale aux valeurs indiquées aux articles A.4.5,33 (fissuration considérée comme préjudiciable) ou A.4.5,35 (fissuration considérée comme très préjudiciable) des Règles BAEL.

1.3.2.2 états limites ultimes de résistance

a. Justifications vis-à-vis des sollicitations normales

Les sollicitations de calcul à considérer vis-à-vis de ces états limites résultent des combinaisons d'actions définies par les Règles BAEL.

Les justifications sont conduites conformément aux articles A.4.3,1 à A.4.3,4 des Règles BAEL, en remplaçant f_{cj} par f^*c .

b. Justifications vis-à-vis des sollicitations tangentes

Les justifications sont conduites conformément aux articles A.5.1,1 et A.5.1,2 des Règles BAEL, en substituant à la résistance caractéristique f_{cj} du béton sa résistance de calcul f^*c définie par les Règles BAEL.

Pour les pieux circulaires, la contrainte tangente τ_u est prise conventionnellement égale à :

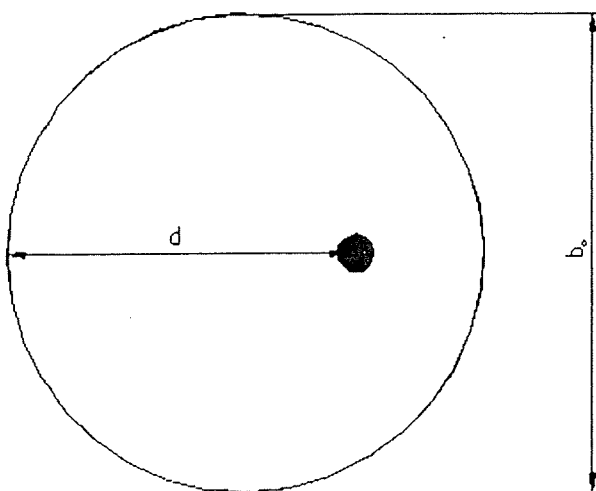
$$\tau_u = 1,4 \frac{V_u}{b_o d}$$

avec :

b_o : diamètre du pieu

d : distance entre la fibre la plus comprimée et l'armature la plus tendue.

V_u : valeur de l'effort tranchant à l'ELU.



1.3.2.3 justification en phases de construction

On doit justifier de l'état-limite ultime de résistance et de l'état-limite ultime d'équilibre statique durant les phases de construction, sous la combinaison d'actions fondamentale définie dans les Règles BAEL.

Pour les vérifications aux états-limites ultimes de résistance, il est loisible d'utiliser pour l'acier un coefficient partiel de sécurité réduit à 1 au lieu de 1,15.

1.3.2.4

Lorsqu'il est procédé à un contrôle renforcé de continuité et de qualité du fût, les contraintes de calcul peuvent être augmentées de 20 % au plus.

chapitre 2 pieux façonnés à l'avance

2.1 battu préfabriqué

2.1.1 caractéristiques

2.1.1.1

4.3.4.2.3

Barrettes armées : quelques-unes doivent être munies sur toute leur longueur de tubes permettant les mesures soniques par transparence. Le nombre de tubes par barrette est tel que, sur chaque face de la barrette, la distance entre tubes est inférieure à 1,50 m :

- une barrette sur 6 doit faire l'objet de mesures par transparence

ou bien

- une barrette sur 8 doit faire l'objet de mesures par transparence et une barrette sur 6 doit faire l'objet de mesures d'impédance mécanique.

4.4 tarière creuse

4.4.1 caractéristiques

COMMENTAIRE

L'emploi des pieux de ce type exige une reconnaissance préalable du sol suffisamment dense afin de bien cerner les variations de niveau de la couche d'ancrage. En effet, il est difficile de contrôler en cours d'exécution la nature des couches traversées. Ces pieux ne peuvent être utilisés en cas de rencontre d'obstacles enterrés (passages durs, béton, grosses maçonneries,...) ou de nécessité de s'ancrer dans le substratum résistant.

4.4.1.1

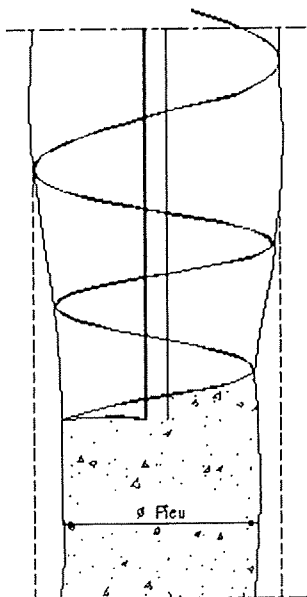
La tarière à axe creux, d'une longueur totale au moins égale à la profondeur des pieux à exécuter, est vissée dans le sol sans extraction notable de terrain. Le diamètre nominal du pieu est le diamètre des pales de la tarière à proximité de la pointe.

COMMENTAIRE

La tarière proprement dite est prolongée à sa base par un outil dont le diamètre en terrain cohérent est légèrement supérieur à celui de la tarière. Le diamètre nominal est celui des pales de la tarière et non celui de l'outil de forage.

Le sol reste entre les pales de la tarière. Il y est légèrement comprimé.

Si les pales proches de la pointe ont un diamètre réduit du fait de l'usure, on peut craindre une décompression du sol encaissant et donc une réduction du frottement latéral par rapport au frottement estimé.



4.4.1.2

La tarière est extraite du sol sans dévisser pendant que, simultanément, du béton est injecté par l'axe creux de la tarière prenant la place du sol extrait.

4.4.1.3

On distingue deux catégories de matériel :

- la tarière creuse continue SANS enregistrement spécifique des paramètres de forage et de bétonnage, mais avec visualisation de la pression du béton mesurée au droit du col de cygne ;
- la tarière creuse continue AVEC enregistrement spécifique des paramètres de forage et de bétonnage (profondeur, pression du béton, quantité de béton), équipée ou non d'un dispositif de bétonnage rétractable.

4.4.2 dispositions constructives

4.4.2.1 aciers

Si les pieux sont armés dans la partie supérieure ou sur toute la hauteur, par l'insertion de cages d'armatures rigides ou de profilés, descendus dans le béton frais, l'entrepreneur apporte la preuve (références et essais de faisabilité) qu'il est en mesure d'atteindre la profondeur voulue, et cela sans déformation des cages et armatures.

4.4.2.2 bétons

4.4.2.2.1

La composition et le dosage des bétons sont déterminés en fonction de la charge intrinsèque à obtenir.

4.4.2.2.2

Le dosage minimal est de 350 kg de ciment par mètre cube de béton.

4.4.2.2.3

Le choix du liant tient compte des résultats d'analyse chimique des eaux prélevées dans le sol.

4.4.2.2.4

Le béton doit pouvoir être pompé sans difficulté. En conséquence, le béton doit être riche en sable et la granulométrie des granulats limitée.

COMMENTAIRE

Le dosage et la composition du béton ont une grande influence sur sa maniabilité. En général, la proportion de sable se situe entre 40 et 50 %, et la dimension maximale des granulats est voisine de 15 mm.

4.4.2.2.5

L'ouvrabilité du béton est mesurée avec un appareil adéquat. Si le cône est utilisé, l'affaissement mesuré doit être compris entre 15 et 22 cm. Une telle gamme d'ouvrabilité peut être obtenue par l'addition d'adjuvants fluidifiants sur chantier ou en centrale, lorsqu'elle est suffisamment proche du chantier.

COMMENTAIRE

La condition essentielle est la possibilité de pompage. L'affaissement au cône est le plus souvent proche de 16 cm.

4.4.2.2.6

Lors de l'utilisation de fibres d'acier, l'entrepreneur doit apporter la preuve que les propriétés de celles-ci (résistance, adhérence) et la technique d'incorporation au béton garantissent un matériau homogène, ayant des caractéristiques conformes à celles prises en compte dans les justifications.

4.4.3 mise en oeuvre

4.4.3.1

La tarière creuse comporte le minimum d'éléments et au maximum 3.

Une rallonge sans pales d'une longueur maximale de 3 m peut être utilisée en tête.

COMMENTAIRE

Les éléments de tarière sont réunis par des raccords étanches. Le risque de déviation est réduit lorsqu'il y a moins de raccords. Il est recommandé d'utiliser un guidage inférieur pour lutter contre les déviations.

4.4.3.2

La partie basse de la tarière est munie d'un système d'obturation ou de lumières de bétonnage.

Si la partie basse de la tarière est munie d'un système d'obturation (bouchon, système de verrouillage) pour éviter l'entrée de sol pendant le vissage, il est interdit de remonter de plus de 10 cm, pour expulser le bouchon ou déverrouiller, sans bétonner.

Si le bouchon ne peut être expulsé, il faut extraire la tarière par dévissage. Le pieu doit être refait.

4.4.3.3

Après l'expulsion du bouchon, ou le déverrouillage des lumières de bétonnage pour les tarières équipées de tels dispositifs, l'alimentation en béton à l'intérieur du pieu doit être ininterrompue pendant l'extraction de la tarière. Pour éviter une striction dans le pieu en cours de réalisation, on arrête impérativement l'extraction de la tarière en cas d'interruption de l'alimentation en béton.

COMMENTAIRE

Pour éviter une striction dans le pieu en cours de réalisation, on arrête l'extraction de la tarière si l'alimentation en béton s'interrompt, ou si la pression mesurée au col de cygne descend en-dessous de 20 kPa, sauf au voisinage de la tête du pieu. Dans les sols très mous (vases, tourbes, argiles molles), cette pression peut descendre jusqu'à 10 kPa.

On arrête l'opération de bétonnage (pompe et treuil) si la pression mesurée au col de cygne dépasse 150 kPa, de manière à prévenir la formation de *bouchons* dans les conduits ou de désordres dans les pieux voisins. Cette pression maximale peut être réduite dans les sols très mous.

Ces diverses opérations sont avantageusement faites automatiquement.

Le pieu devrait posséder au moins un manomètre de secours en état de fonctionnement.

4.4.3.4

On ne doit pas bétonner deux pieux voisins dont l'entr'axes est inférieur à 1,5 fois la somme des diamètres de ces deux pieux. Toute remontée de béton frais dans un pieu voisin est immédiatement signalée par écrit au Maître d'oeuvre, et les dispositions sont modifiées en conséquence.

COMMENTAIRE

Généralement, un pieu dans lequel une remontée de béton frais est constatée, à la suite du bétonnage d'un pieu voisin, est refait.

Le risque de striction existe dans des terrains vaseux si les pieux sont trop voisins et réalisés dans des délais trop proches.

4.4.3.5

La quantité de béton utilisée pour chaque pieu est portée sur les rapports d'essais d'information.

4.4.3.6

La pression dans le béton doit être maintenue tant que la base de la tarière n'atteint pas le niveau théorique de recépage.

COMMENTAIRE

A proximité du niveau de la plate-forme de travail, la pression du béton décroît.

4.4.3.7

Sauf dispositions particulières, le bétonnage des pieux est exécuté jusqu'au niveau de la plate-forme de travail.

4.4.4 contraintes de calcul

4.4.4.1

Suivant la catégorie de matériel utilisé, la contrainte maximale en compression uniforme à l'état Limite de service (ELS) est de :

- 5 MPa pour les tarières sans dispositif d'enregistrement,
- 5,5 MPa pour les tarières avec dispositif d'enregistrement.

COMMENTAIRE

Des valeurs supérieures à 5,5 MPa peuvent être adoptées pour les tarières qui font l'objet d'un cahier des charges particulier conformément au commentaire de l'article 1,11 du présent DTU.

4.4.4.2

Pour l'application de l'article 1,324, le contrôle renforcé de continuité et de qualité du fût doit comporter au moins les essais suivants :

- carottage mécanique de 1 pieu sur 100, avec mesures de la résistance du béton carotté,

et

- 1 pieu sur 10 doit faire l'objet de mesures d'impédance mécanique.

COMMENTAIRE

L'exécution et l'interprétation de ces essais sont confiées à un spécialiste agréé par le maître d'oeuvre. Si l'élancement des pieux dépasse 20, l'impédance mécanique n'est pas très fiable et le carottage risque de sortir du pieu latéralement avant d'atteindre la pointe.

4.4.4.3

La résistance de pointe et le frottement latéral du sol sont calculés en appliquant le mode de calcul des commentaires du chapitre 11 du présent DTU.

- Les pieux SANS dispositif d'enregistrement (cf. § 4,413 a) sont classés FORE BETON.
- Les pieux AVEC dispositif d'enregistrement (cf. § 4,413 b) sont classés INJECTES FAIBLE PRESSION.

4.5 vissé moulé

4.5.1 caractéristiques

COMMENTAIRE

L'emploi des pieux de ce type exige une reconnaissance préalable du sol suffisamment dense afin de bien cerner les variations de niveau de la couche d'ancrage. En effet, il est difficile de contrôler en cours d'exécution la nature des couches traversées. Ces pieux ne peuvent être utilisés en cas de rencontre d'obstacles enterrés (bancs rocheux, béton, grosses maçonneries).

4.5.1.1

Ce procédé ne s'applique aux sols sableux sans cohésion situés sous la nappe, et qui risqueraient de provoquer des éboulements importants, si on tient compte d'une réduction de frottement latéral.

COMMENTAIRE

Chapitre 10 les essais de pieux (Commentaire)

10.1 classification des différents essais de pieux

Le Cahier des Clauses Techniques impose, et les documents particuliers du marché peuvent imposer, l'exécution d'un certain nombre d'essais de pieux.

Ces essais se classent en 2 catégories :

10.1.1 les essais de reconnaissance

Ils comprennent :

- les essais préliminaires :
les essais préliminaires, qui sont réalisés au moment de la conception du système de fondation de l'ouvrage, sont destinés à vérifier et à préciser les conclusions de l'étude géotechnique relative au dimensionnement et au comportement des pieux (charge nominale et déplacements) ;
- les essais d'information :
ils sont effectués au cours de la réalisation des pieux pour recueillir des informations complétant celles fournies par la reconnaissance de sol.

10.1.2 les essais de contrôle

Ils sont effectués sur des pieux finis de l'ouvrage pour vérifier la qualité de leur exécution ou leur portance.

Ils distinguent :

- les essais de contrôle du fût ;
- les essais de contrôle de portance.

10.2 les essais de reconnaissance

10.2.1 les essais préliminaires

Les essais préliminaires sont des *essais de chargement statiques préalables*.

Les essais préliminaires sont à envisager dans les cas où :

- il subsiste une incertitude sur les caractéristiques mécaniques des sols ;
- l'application des différentes méthodes de calcul de portance conduit à des valeurs par trop divergentes ;
- les conditions d'exécution du pieu peuvent notablement influencer sur sa capacité portante, sans que cette influence puisse être véritablement chiffrée au niveau du calcul ;
- l'ouvrage est important et comporte un grand nombre de pieux.

Dans aucun cas, les essais préliminaires de pieux ne peuvent dispenser de l'étude géotechnique des sols (essais en place et essais de laboratoire).

Ils sont effectués, en général, sur des pieux indépendants de l'ouvrage. Les pieux d'essai doivent être représentatifs (dimensions, type de pieu (condition d'exécution) des pieux de l'ouvrage.

Il est conseillé d'entreprendre les essais préliminaires 2 à 3 mois avant l'exécution des pieux de l'ouvrage, afin que les résultats obtenus puissent être utilement exploités pour la mise au point du projet. Les essais préliminaires peuvent faire l'objet d'un marché particulier et il est souhaitable que l'interprétation et l'utilisation des résultats précèdent la signature du marché d'exécution des pieux de l'ouvrage.

Les essais préliminaires consistent à éprouver un pieu en lui appliquant des efforts de même nature que ceux transmis par le futur ouvrage.

Ces essais peuvent être en conséquence :

- un essai d'enfoncement, dans le cas de pieux travaillant à la compression (NF P 94-150) ;
- un essai d'arrachement, dans le cas d'une fondation soumise à la traction ;
- un essai de chargement horizontal, lorsque les pieux sont appelés à mettre le terrain en butée latérale (NF P 94-151).

Les essais préliminaires doivent être conduits selon un programme défini par le maître d'oeuvre.

Ce programme définit :

- l'ensemble des paramètres à relever lors de la mise en place ou de la confection du pieu d'essai ;
- l'importance du délai de repos entre la mise en place du pieu et la réalisation de l'essai ;
- le choix et la disposition de l'appareillage de mesure, ainsi que les conditions minimales requises quant à sa précision ;
- le programme de chargement de l'essai ;
- la méthode d'interprétation des résultats.

10.2.1 a) instrumentation

Les pieux devant faire l'objet d'essais de chargements statiques doivent, dans la mesure du possible, être équipés à divers niveaux de

Les dispositifs de mesures extensométriques permettant d'évaluer la répartition des efforts sur toute la hauteur du fût. Ces dispositifs, qui ne représentent qu'une faible part du coût total de l'essai (cordes vibrantes, extensomètres amovibles, jauges collées, etc.), constituent actuellement la seule façon d'obtenir des informations sur la valeur des différents paramètres entrant dans le calcul de la portance du pieu.

10.2.1.2 b) paliers de chargement

La durée des 5 premiers paliers de chargements du 2^e cycle de charge peut être réduite à 30 minutes.

10.2.1.3 c) présentation des résultats

On établit les graphiques ci-après :

10.2.1.2.1 charge en tête / déplacement vertical en tête

L'échelle des déplacements, portée en ordonnée, doit être de 1 cm sur le graphique pour 2 mm de déplacement. L'échelle des charges en tête, portée en abscisse, doit être telle que l'abscisse de la charge nominale soit d'une dizaine de centimètres sur le graphique.

10.2.1.2.2 déplacement vertical en tête / logarithme du temps

L'échelle des déplacements, portée en ordonnées, doit être de 1 cm sur le graphique pour 1 mm de déplacement. L'échelle des temps doit être telle que l'espace entre 1 minute et 60 minutes occupe 15 à 20 cm.

10.2.1.2.3 construction de la charge de fluage

On porte en abscisse les charges avec la même échelle que sur le 1^{er} graphique. On porte en ordonnées les pentes des droites de stabilisation de telle sorte que le millimètre de tassement corrigé entre 30 et 60 minutes soit représenté par 2 cm sur le graphique.

Pour la construction de ce graphique, on ne tient compte que du 1^{er} cycle et de la partie du 2^e cycle concernant les charges supérieures à celles atteintes par le 1^{er} cycle.

10.2.1.4 d) interprétation des résultats

Il apparaît que, dans certains cas, la construction de la charge de fluage peut présenter des difficultés d'interprétation. A titre indicatif, il est rappelé que la charge de fluage correspond à un tassement entre 30 minutes et 60 minutes de l'ordre de 0,3 à 1 mm.

L'ordre de grandeur de la charge nominale du pieu essayé est obtenu en appliquant un coefficient minorateur de 1,4 à la charge de fluage.

On vérifie que la charge nominale ainsi obtenue reste inférieure à la moitié de la charge limite dans la mesure où elle a pu être atteinte en cours de l'essai.

Par convention, la charge limite sera celle qui produit un tassement résiduel de 50 mm.

La charge nominale ainsi déterminée est applicable au seul pieu d'essai.

10.2.2 les essais d'information

Ils sont destinés à recueillir des données relatives au battage, forage, fonçage des pieux. Les pieux soumis à ces essais font partie de l'ouvrage et leur mode d'exécution n'est pas distinct de celui des autres pieux.

Ces essais sont de préférence pratiqués sur l'un des 5 premiers pieux de chaque série prévue au marché (série de 20 pieux au plus suivant art. 1.2 du Cahier des Clauses Techniques).

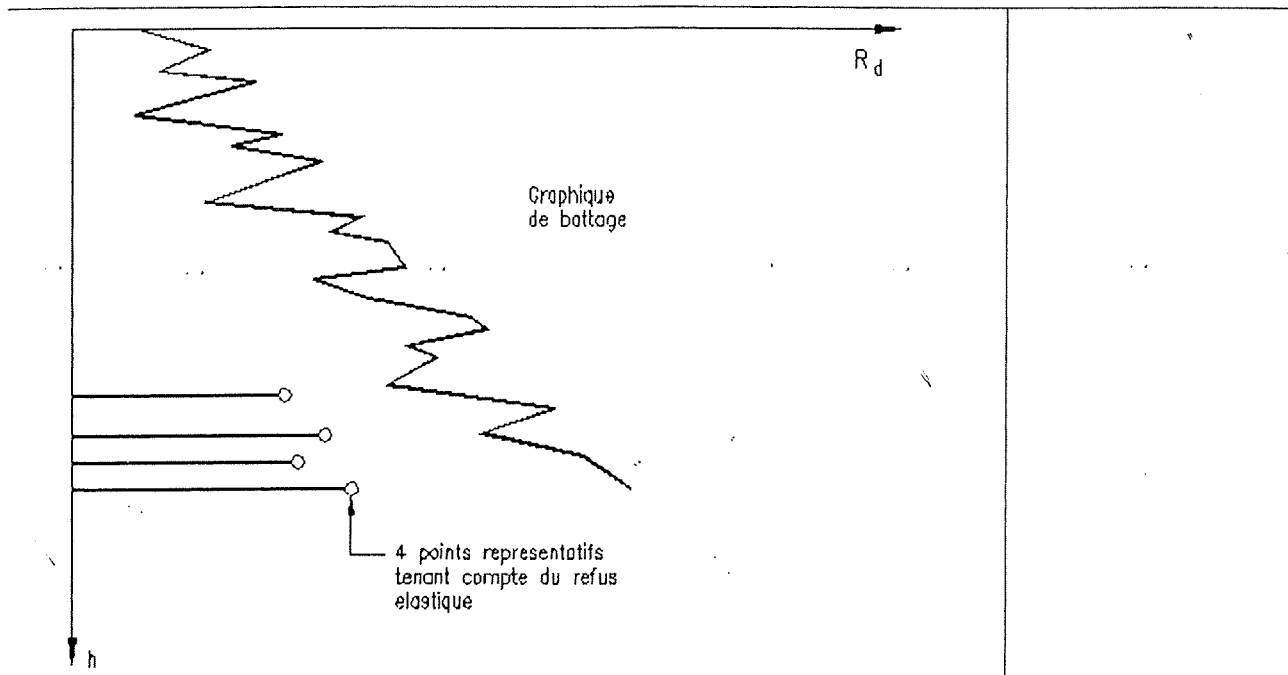
Il est recommandé de réaliser certains de ces essais sur des pieux à proximité de points de reconnaissance de sol de manière à pouvoir effectuer des corrélations.

10.2.2.1 le battage (art. 1.2.1.1)

Dès la mise en fiche du pieu, on établit sur le chantier une feuille d'essai de battage qui comporte :

- le numéro d'identification et le type de pieu ;
- la date et l'heure du début et de la fin du battage ;
- le type de mouton utilisé (à simple effet, double effet, Diesel, etc.) ;
- le poids de la masse frappante et de la masse frappée (pieu, faux pieu, casque, etc.), ainsi que l'énergie de battage dans le cas d'un mouton Diesel ;
- le nombre de coups nécessaires pour enfoncer le pieu d'une longueur donnée, en général 50 cm. Ce relevé est effectué sur toute la longueur de pénétration dans le sol en précisant la ou les hauteurs de chute du mouton ;
- les refus élastiques en fin de battage ;
- les refus sous les trois dernières volées de 10 coups de mouton.

Pour obtenir les refus élastiques, on peut placer une feuille de papier sur le fût du pieu et déplacer horizontalement un crayon sur ce papier pendant l'application du coup de mouton ;



- les incidents qui peuvent survenir en cours de battage (obstacles s'opposant à la pénétration du fût, déplacements des têtes de pieux voisins, interruptions de battage, etc.).

C'est à partir de cette feuille d'essai qu'est établi le graphique de battage prescrit en 1.2.1.1 du Cahier des Clauses Techniques.

10.2.2.2 le fonçage

Lors du fonçage du pieu, on établit une feuille d'essai qui comporte :

- le numéro d'identification et le type de pieu ;
- la date et l'heure de début et de fin de fonçage ;
- les dimensions des éléments foncés (diamètres intérieurs et extérieurs, longueur) et la nature du matériau constitutif ;
- les caractéristiques du vérin (force maximale, section utile) et des manomètres (pression maximale) ;
- la durée d'enfoncement de chaque élément ;
- les indications du manomètre tous les 20 cm d'enfoncement ;
- les déplacements de la tête du pieu en fin de fonçage sous l'application d'une charge égale à 1,5 fois la charge de service, jusqu'à ce que le déplacement obtenu pendant la dernière heure soit inférieur à 1 mm. Les mesures sont généralement effectuées tous les quarts d'heure ;
- les incidents éventuels en cours de fonçage (déviation, rupture d'éléments, mauvais fonctionnement du vérin, obstacles rencontrés).

C'est à partir de cette feuille d'essai qu'est établie la courbe de fonçage prescrite en 1.2.1.2 du Cahier des Clauses Techniques.

10.2.2.3 le forage

Lors de la réalisation du forage, on établit une feuille d'essai mentionnant :

- le numéro d'identification et le type de pieu ;
- la date et l'heure de début et de fin de forage ;
- les caractéristiques des différents outils de forage utilisés (trépan, soupape, hammergrab, tarière, etc.) et des tubages éventuels ;
- la description des échantillons caractéristiques de chaque couche de sol traversée ;
- les incidents éventuels de forage (éboulements, cavités, pertes accidentelles de fluide de forage, venues d'eau, etc.).

C'est à partir de cette feuille d'essai qu'est établie la coupe des terrains prescrite au 1.2.1.3 du Cahier des Clauses Techniques.

10.3 les essais de contrôle

Les essais de contrôle peuvent être des essais de contrôle de fût et des essais de contrôle de portance.

Ces essais peuvent être prévus par les documents particuliers du marché (ils le sont obligatoirement dans le cas du contrôle renforcé indiqué à l'art. 1.324 du Cahier des Clauses Techniques). Ils sont effectués sur des pieux qui font partie du système de fondation de l'ouvrage. Le nombre de pieux essayés est fixé par le maître de l'ouvrage.

Si les résultats d'un des pieux essayés mettent en évidence une anomalie, il y a lieu d'en déterminer la cause et de procéder éventuellement à de nouveaux essais.

10.3.1 essais de contrôle du fût

Ces essais de contrôle ont pour objet de vérifier la continuité du fût du pieu et la résistance mécanique du béton ainsi que de s'assurer de la bonne qualité du contact sol-pieu. Ils peuvent comporter suivant les cas :

- des essais soniques par transparence ;
- des essais par microsismique transparence ;
- des essais d'impédance mécanique ;
- des carottages mécaniques.

10.3.1.1 essais soniques par transparence

10.3.1.1.1 principe de la méthode

Les essais soniques par transparence, appelés aussi carottages soniques, consistent à mesurer le temps de propagation et la variation d'amplitude d'ondes acoustiques se déplaçant à travers le béton du pieu entre une sonde émettrice et une sonde réceptrice. Les sondes sont mises en place dans des tubes de réservation parallèles. Les mesures sont effectuées de façon continue par remontée des sondes sur toute la hauteur du pieu. Si une anomalie est repérée, on répète les mesures.

Cette méthode d'auscultation impose de choisir, avant leur exécution, les pieux qui feront l'objet d'un contrôle afin de les équiper des tubes de réservation, qui sont fixés sur les cages d'armature.

La présence d'anomalies (inclusion de sol ou de boue, interruption de bétonnage, poches de béton pollué) est mise en évidence par l'apparition simultanée d'une augmentation du temps de propagation des ondes, d'une diminution d'amplitude en conséquence, et d'une modification des flux reçus.

10.3.1.1.2 répartition des tubes verticaux d'auscultation

Les anomalies ne peuvent être détectées que dans la mesure où elles sont situées sur le trajet des ondes acoustiques. Il importe donc de prévoir un nombre suffisant de tubes verticaux d'auscultation à la périphérie du pieu pour reconnaître, à chaque niveau, la majeure partie de la section du fût. La répartition des tubes dépend de la forme et des dimensions de l'élément de fondation. Les dispositions suivantes sont retenues :

- pieux $\phi \leq 60$ cm : 2 tubes diamétralement opposés ;
- pieux 60 cm $< \phi \leq 120$ cm : 3 tubes disposés à 120° ;
- pieux $\phi > 120$ cm : 4 tubes disposés à 90° ;
- barrettes : les tubes sont disposés sur tout le périmètre de la barrette et la distance entre tubes n'est pas supérieure à 1,50 m de façon à pouvoir ausculter la totalité de la barrette.

10.3.1.1.3 recommandations pour la mise en oeuvre

- Le recépage du pieu n'est jamais exécuté avant les mesures, de manière à éviter la déformation des tubes, ce qui interdirait la descente des sondes.
- Pour que les résultats des essais soient significatifs, il est nécessaire que le béton ait un âge minimal de 7 jours.
- Les tubes d'auscultation sont parallèles et fixés convenablement sur la cage d'armature.
- La base des tubes est fermée par un bouchon pour éviter la pénétration de boue ou de béton.
La partie supérieure des tubes dépasse nettement la tête du pieu et est munie d'un bouchon de protection.
- Avant la réalisation des mesures, les tubes sont remplis d'eau propre.

10.3.1.2 les essais par microsismique transparence (MST)

10.3.1.2.1 principe de la méthode

On réalise à proximité immédiate du pieu à ausculter un forage parallèle à celui-ci et d'une profondeur supérieure de quelques mètres à celle du pieu. Ce forage est équipé sur toute la hauteur d'un tube en matière plastique rigide de diamètre voisin de 60 mm.

On descend dans le tube un accéléromètre et on mesure, à diverses profondeurs, le temps mis par un ébranlement, choc provoqué en tête du pieu ou de la structure solidaire du pieu, pour atteindre l'accéléromètre.

On trace la courbe temps / profondeur de l'accéléromètre. L'interprétation de cette courbe permet de situer la pointe du pieu à quelques décimètres près. On obtient également la vitesse moyenne du son dans le béton du pieu.

10.3.1.2.2 mise en oeuvre

Cette méthode est mise en oeuvre après l'exécution des pieux, et même après l'exécution complète de l'ouvrage. Les pieux essayés peuvent être choisis après leur exécution et au hasard.

Pendant les mesures, il y a lieu de veiller à ce que le tube soit plein d'eau jusqu'au niveau de l'accéléromètre et que le contact tube-sol soit assuré.

10.3.1.2.3 remarque

Les documents du marché peuvent prévoir quelques essais de ce type en laissant au maître de l'ouvrage le soin de choisir, après la fin des travaux de fondations, les pieux qui seront essayés. Dans le cadre de la surveillance des travaux, ces mesures permettent de vérifier les documents prévus par le Cahier des Clauses Spéciales art. 6.1 d.

10.3.1.3 les essais d'impédance mécanique

10.3.1.3.1 principe de la méthode

Une force verticale sinusoïdale entretenue F est appliquée en tête du pieu au moyen d'un exciteur de vibration. On mesure à l'aide d'un capteur la vitesse sinusoïdale correspondante V de la tête du pieu pour une fréquence d'excitation f . Le rapport F/V est appelé impédance mécanique et son inverse V/F l'admittance mécanique.

L'analyse de la courbe qui représente l'admittance mécanique en fonction de la fréquence d'excitation permet d'obtenir des renseignements sur les différents paramètres suivants :

- longueur et section du pieu ;
- présence de défauts ;
- raideur de la couche d'ancrage du pieu ;
- qualité moyenne du béton.

10.3.1.3.2 recommandations

- La tête du pieu est recouverte d'une chape de mortier de manière à obtenir une surface d'appui lisse et horizontale.
- La méthode de l'impédance mécanique est à déconseiller si l'élanement du pieu est supérieur à 20 ou si le pieu est fiché sur une trop grande hauteur dans des sols entraînant un amortissement important de l'énergie de propagation.
- L'existence d'une excroissance du fût à une certaine profondeur peut rendre impossible la détection d'anomalies graves, par exemple étranglements, situées en dessous de ce niveau.
- L'interprétation de ces mesures implique la connaissance aussi complète que possible des conditions d'exécution du pieu ainsi que de la nature du sol.

10.3.1.4 les carottages mécaniques

10.3.1.4.1 objet

Les carottages mécaniques continus permettent de vérifier de façon précise la résistance et l'homogénéité du béton du pieu, le niveau et la nature des anomalies, la qualité du contact sol-pieu. Etant donné qu'il s'agit d'un moyen de contrôle onéreux, les carottages mécaniques ne sont effectués le plus souvent qu'après l'exécution d'essais soniques par transparence ou des essais d'impédance mécanique.

Les carottes de béton prélevées font généralement l'objet d'essais en laboratoire.

Dès que l'élanement du pieu est important, il est très difficile de maintenir le carottage dans le pieu et par conséquent de le carotter sur toute sa hauteur.

10.3.1.4.2 carottage de la pointe du pieu

Si l'on veut vérifier à coup sûr la qualité du contact sol-pieu, il est possible de prévoir, au moment de l'exécution des fondations, la mise en place d'un tube guide métallique, de diamètre supérieur à 100 mm, fixé sur la cage d'armature et arrêté à 1 m environ au-dessus de la base du pieu. Il faut que ce tube soit fermé à sa base par un bouchon facile à détruire avec l'outil de carottage (par exemple : plâtre). Le carottage mécanique est effectué à l'intérieur du tube guide jusqu'à une profondeur de 1,50 m environ sous la pointe du pieu.

Le tube guide peut également être utilisé comme tube d'auscultation dans le cas d'essais soniques par transparence. Il permet, en outre, d'inspecter sous la pointe du pieu lorsqu'un défaut de contact sol-pieu a été détecté.

10.3.1.4.3 examen par caméra de télévision

Dans certains cas particuliers, le carottage mécanique peut être complété par un examen des parois du forage au moyen d'une caméra miniature de télévision, à prises de vues axiales ou latérales.

Pour avoir des images exploitables, il est nécessaire de nettoyer avec soin le forage, de le remplir d'eau claire et de le laisser reposer plusieurs heures.

L'examen par caméra de télévision est particulièrement recommandé lorsque l'on veut faire une observation précise de la qualité du contact sol-pieu.

10.3.1.4.4 recommandations

- Le béton doit avoir un âge minimal de 8 jours pour pouvoir être carotté.
- Le diamètre du carottier n'est pas inférieur en général à 75 mm. On n'emploie que des carottiers doubles.
- Le carottage mécanique est réalisé dans l'axe de l'élément de fondation, de façon à réduire le risque de sortir du fût avant d'avoir atteint la base. Le réglage de la direction du sondage est fait avec une grande précision.

10.3.2 les essais de contrôle de portance

Les essais de contrôle de portance sont des essais de chargement statique qui intéressent les pieux finis de l'ouvrage. Lorsque ces essais sont prévus dans les documents particuliers du marché, il est souhaitable de ne désigner les pieux d'essai qu'après leur exécution en choisissant si possible parmi les pieux les plus chargés ou parmi les pieux qui sont situés dans les zones présentant les moins bonnes caractéristiques techniques. Le choix de ces pieux appartient au maître d'œuvre.

Ces essais de contrôle de portance ont pour objet de vérifier que la charge nominale des pieux est conforme à celle fixée à partir de l'étude géotechnique. Ils ne permettent pas en général, contrairement aux essais préliminaires, de revoir le dimensionnement des pieux de l'ouvrage.

La réalisation d'essais de contrôle de portance peut également être décidée en cours de travaux sur des pieux qui ont fait l'objet de difficultés d'exécution ou qui présentent des anomalies mises en évidence par l'une des méthodes de contrôle du fût (art. 10.3.1)).

De même que les essais préliminaires, les essais de contrôle de portance consistent à éprouver les pieux en leur appliquant des efforts de même nature que ceux qui seront transmis par l'ouvrage : chargement vertical, arrachement, sollicitations horizontales. Ces pieux peuvent être équipés d'extensomètres placés à l'intérieur de forages exécutés dans le fût du pieu.

La charge d'épreuve est généralement la charge à l'ELS majorée de 40 %.

Ces essais sont conduits selon un programme défini par le maître d'oeuvre.

chapitre 11 calcul des fondations profondes soumises à charge axiale (Commentaire)

11.1 principe de calcul

Lorsque la nature et la qualité des sols sont telles qu'elles ne permettent pas de fondations directes pour une structure déterminée, il est fait appel aux fondations profondes, qui transmettent la majorité des efforts extérieurs au niveau des horizons résistants. Le présent chapitre ne donne pas des règles de calcul d'application obligatoire mais propose seulement des méthodes de calcul qui pourront être rendues contractuelles si le maître de l'ouvrage, sur avis du maître d'oeuvre, en décide ainsi. Il sera notamment précisé dans ce cas si le tableau IV doit être ou non préféré au tableau IV bis.

Nature du sol	q_c (kPa)	Facteur de portance k_c $q_p = k_c q_c$		Coefficient α $q_s = q_c / \alpha$				Valeur maximale *** de q_s en kPa					
		Pieu foré	Pieu battu	Pieu foré		Pieu battu		Pieu foré		Pieu battu		Pieu injecté	
				Fût béton	tubé	Fût béton	Fût métal	Fût béton	tubé	Fût béton	Fût métal	Faible pression	Haute pression
Argile molle * et vase	0 à 2 000	0,4	0,5	30	30	30	30	15	15	15	15	35	
Argile moyennement consistante	2 000 à 5 000	0,35	0,45	40	80	40	80	(80)35	(80)35	(80)35	35	80	≥ 120
Argile raide à très raide	> 5000	0,45	0,55	60	120	60	120	(80)35	(80)35	(80)35	35	80	≥ 200
Limon ou sable lâche	0 - 2 500	0,4	0,5	(60) **120	150	(60)80	(120) 160	35	35	35	35	80	
Sable moyennement compact	2 500 à 10 000	0,4	0,5	(100) 180	(200) 250	100	(200) 250	(120) 80	(80) 35	(120) 80	80	120	≥ 200
Sable compact à très compact	> 10 000	0,3	0,4	150	300 (200)	150	300 (200)	(150) 120	(120) 80	(150) 120	120	150	≥ 200
Craie molle	≤ 5 000	0,2	0,3	100	120	100	120	35	35	35	35	80	
Craie altérée fragmentée	> 5 000	0,2	0,4	60	80	60	80	(150) 120	(120) 80	(150) 120	120	150	≥ 200

* Il faut être extrêmement prudent pour la prise en compte du frottement latéral des argiles molles et des vases. En effet, le moindre tassement du sol, même sous son poids propre, peut entraîner une inversion du frottement qui se transforme en frottement négatif.

** Les valeurs entre parenthèses correspondent, pour les pieux forés, à une exécution soignée du pieu et une technologie de mise en oeuvre susceptible de remanier au minimum le sol au contact du fût. Pour les pieux battus, par contre, elles correspondent à un resserrement du sol sur le pieu après battage.

*** Pour les pieux forés $\varnothing \geq 1,50$ m, les puits coulés à pleine fouille, les barrettes, il y a lieu de faire un abbatement de 15 % sur ces valeurs en l'absence des résultats expérimentaux.

Tableau IV valeurs des coefficients k_c et α (d'après M. Bustamante et L. Ganeselli)