

Sols : reconnaissance et essais

Essai de pénétration au carottier

E : Soils : investigation and testing — Standard penetration test

D : Boden : Erkundung und Prüfungen — Drucksondierung mit dem Entmahmerohr

Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnor le 20 septembre 1991 pour prendre effet le 20 octobre 1991.

correspondance À la date de publication de la présente norme, il n'existe pas de norme ou projet de norme européenne ou internationale sur le sujet.

analyse La présente norme concerne l'essai de pénétration au carottier qui est un essai permettant de tester certains terrains en place.
Elle définit les termes employés et les paramètres mesurés, spécifie les caractéristiques de l'appareillage, fixe le mode opératoire de l'essai et précise les résultats à présenter.

descripteurs **Thésaurus International Technique** : sol, fondation, essai en place, essai de pénétration, appareillage, caractéristique, mode opératoire.

modifications

corrections

Membres de la commission de normalisation

Président : M PAREZ

Secrétaire : M BIGOT — Laboratoire Régional de l'Est Parisien

M	AMAR	Laboratoire Central des Ponts et Chaussées
M	BARNOUD	Union Syndicale Géotechnique
M	BLONDEAU P.	Comité Professionnel de la Prévention et du Contrôle Technique
M	CASSAN	FONDASOL
M	CHAILLOT	S.N.C.F. — Direction de l'Équipement
MME	DAURELLE	AFNOR
M	DORÉ	MECASOL
M	GONIN	SIMECSOL
M	MALATERRE	EDF-CEMETE
M	PAREZ	SOL-ESSAIS
M	PHILIPPONNAT	SOPENA
M	RINCENT	Centre Expérimental de Recherches et d'Études du Bâtiment et des Travaux Publics
M	THONIER	Sondage, Forage et Fondations Spéciales — Syndicat National des Entrepreneurs

A participé en tant qu'expert :

M	WASCHKOWSKI	Laboratoire Régional de Blois
---	-------------	-------------------------------

Avant-propos

L'essai de pénétration au carottier est connu sous l'appellation Standard Penetration Test dont le sigle est SPT.

Sommaire

	Page
1 Objet	3
2 Domaine d'application	3
3 Définition — Terminologie	3
3.1 Définition générale	3
3.2 Terminologie — Symboles	4
4 Principe de l'essai	4
5 Appareillage	4
5.1 Présentation	4
5.2 Description	4
6 Mode opératoire	8
6.1 Contrôles à réaliser avant l'essai	8
6.2 Déroulement de l'essai	8
6.3 Après l'essai	9
7 Procès-verbal	10
8 Bibliographie	10
Annexe A (normative) Caractéristiques principales de l'appareillage de l'essai de pénétration au carottier	11
Annexe B (informative) Présentation des résultats — Exemple	12

1 Objet

La présente norme fixe les termes employés et les définitions des paramètres mesurés, spécifie les caractéristiques de l'appareillage et définit le mode opératoire de l'essai de pénétration au carottier.

2 Domaine d'application

L'essai de pénétration au carottier s'applique aux sols fins et aux sols grenus dont la dimension maximale des éléments ne dépasse pas 20 mm.

L'essai de pénétration au carottier est limité à une profondeur de 50 m.

3 Définition — Terminologie

3.1 Définition générale

L'essai de pénétration au carottier est un essai géotechnique qui teste le terrain en place et fournit une caractéristique conventionnelle et un échantillon remanié du sol. L'essai consiste à déterminer la résistance à la pénétration dynamique d'un carottier normalisé battu en fond d'un forage préalable.

L'essai de pénétration au carottier permet d'établir une relation entre la résistance à la pénétration d'une part et les caractéristiques et la variabilité des sols d'autre part.

3.2 Terminologie — Symboles

3.2.1 Enfoncement d'amorçage

Lors de l'essai de pénétration, le carottier est enfoncé par battage. N_0 désigne le nombre de coups de mouton nécessaires pour un premier enfoncement du carottier de 15 cm appelé enfoncement d'amorçage.

3.2.2 Enfoncement d'essai

L'enfoncement d'essai succède à l'enfoncement d'amorçage. Le carottier est battu afin d'obtenir un enfoncement de 30 cm résultant de deux enfoncements successifs de 15 cm sous N_1 puis N_2 coups de mouton.

3.2.3 Paramètre «N»

Par convention la résistance à la pénétration est caractérisée par «N», le nombre de coups de mouton correspondant à l'enfoncement d'essai : $N = N_1 + N_2$.

4 Principe de l'essai

L'essai de pénétration au carottier consiste à :

- enfoncer dans le sol par battage un carottier à partir du fond d'un forage aux parois stabilisées après la pénétration du carottier sous l'effet de la pesanteur et de l'enfoncement d'amorçage de 15 cm,
- noter le nombre de coups de mouton, «N», nécessaire pour faire pénétrer le carottier dans le sol d'une hauteur de 30 cm.

5 Appareillage

5.1 Présentation

Le schéma de la figure 1 montre les différents éléments par fonction dans leur environnement.

5.2 Description

L'essai de pénétration au carottier nécessite l'appareillage suivant :

- un équipement de forage et de tenue de la paroi,
- un dispositif de battage,
- un train de tiges et son guidage,
- un carottier,
- un système de mesure.

Les caractéristiques du matériel ainsi que les tolérances sont données dans l'annexe A.

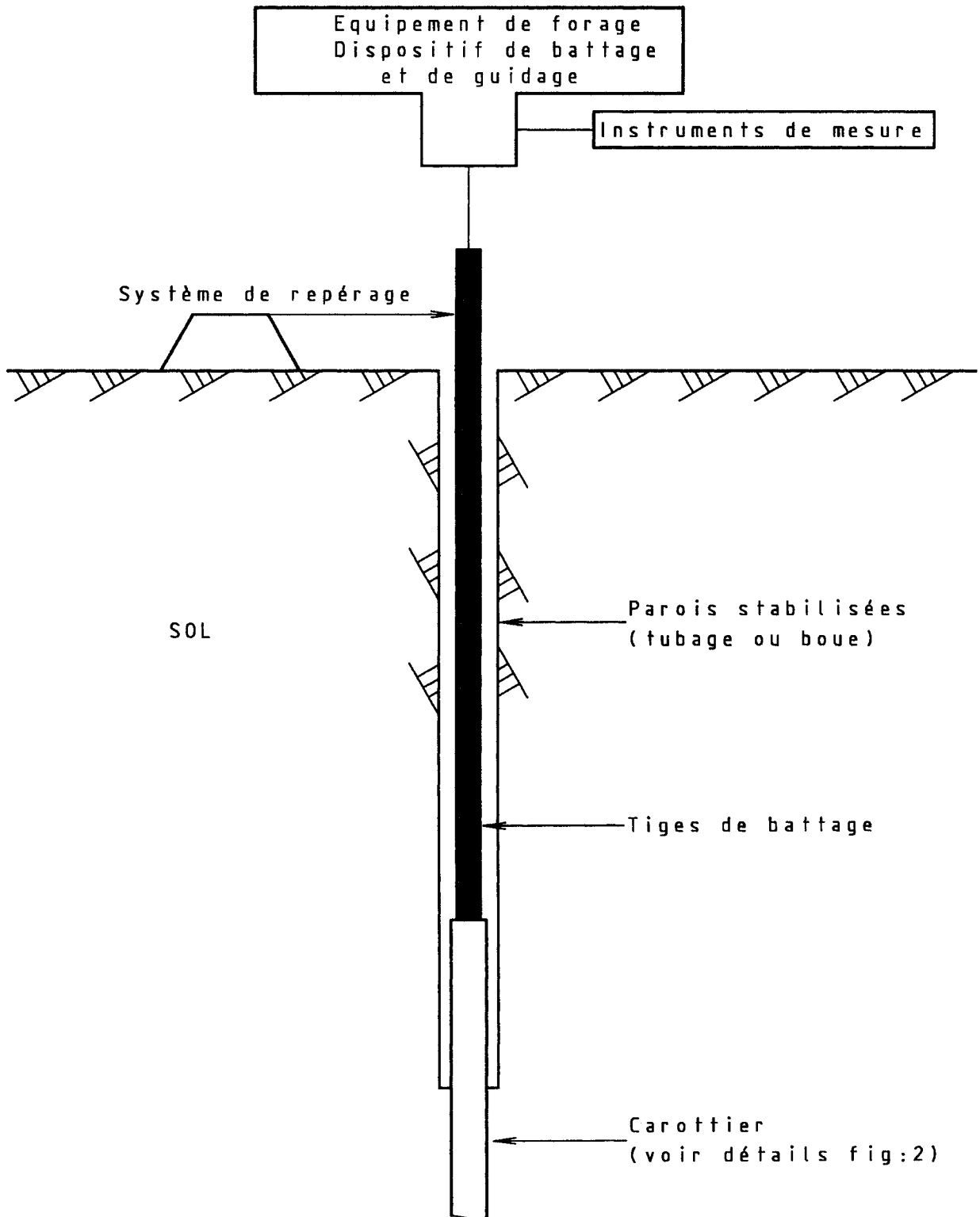


Figure 1 : appareillage pour l'essai de pénétration au carottier

5.2.1 Équipement de forage et de tenue de la paroi

L'équipement de forage doit permettre de réaliser un trou de forage nettoyé avant l'insertion du carottier et doit garantir que l'essai de pénétration sera réalisé dans un sol relativement peu remanié.

Dans le cas d'un forage au trépan avec injection de fluide, l'outil doit comporter des orifices de décharge latérale et non orientés vers la base. Le recours au lançage à l'eau claire à l'aide du carottier et l'exécution de l'essai dès que la profondeur envisagée est atteinte ne sont pas autorisés.

Lorsque le forage est exécuté à la tarière avec un tubage provisoire, le diamètre des outils de forage ne doit pas être supérieur à 90 % du diamètre intérieur du tubage. Le diamètre du trou de forage doit être aussi petit que possible et inférieur à 130 mm.

Lorsque les parois du forage sont instables, on doit utiliser un tubage et/ou de la boue.

5.2.2 Dispositif de battage

Il comporte un mouton, une enclume, un dispositif de guidage, un système de relevage et de déclenchement de la chute du mouton. La masse totale ne doit pas dépasser 115 kg.

5.2.2.1 Mouton

Le mouton a une masse de 64 kg.

5.2.2.2 Enclume et système de guidage

L'enclume est en acier et solidaire du train de tiges. L'enclume, le système de guidage et le train de tiges sont coaxiaux.

5.2.2.3 Système de relevage et de déclenchement

La hauteur de chute est de 0,75 m.

Le mouton est libéré automatiquement avec une vitesse initiale nulle. Il tombe librement.

La cadence de battage est de 15 à 30 coups par minute.

5.2.2.4 Tiges de battage

Les tiges de battage sont en acier. Elles sont assemblées fermement pour constituer un train de tiges rigidement lié à l'enclume et au carottier selon un axe rectiligne et continu.

Les tiges ainsi que leur jonction présentent le même diamètre extérieur.

La flèche des tiges utilisées est inférieure à 0,1 % de leur longueur. Les tiges doivent avoir un module d'inertie approprié à leur longueur.

Pour les profondeurs supérieures à 20 m, des centreurs peuvent être placés sur les tiges à intervalle de 3 m.

5.2.2.5 Carottier

Le carottier doit avoir les dimensions indiquées sur la figure 2.

Le tube central du carottier est fendu pour faciliter l'extraction de l'échantillon de sol.

L'extrémité inférieure du carottier comporte une trousse coupante de mêmes diamètres que le tube fendu et qui se termine en forme tronconique.

L'extrémité supérieure du carottier comporte un raccord muni à sa partie supérieure d'un filetage de jonction aux tiges de battage et à sa partie inférieure une bille formant un clapet anti-retour communiquant avec quatre événements.

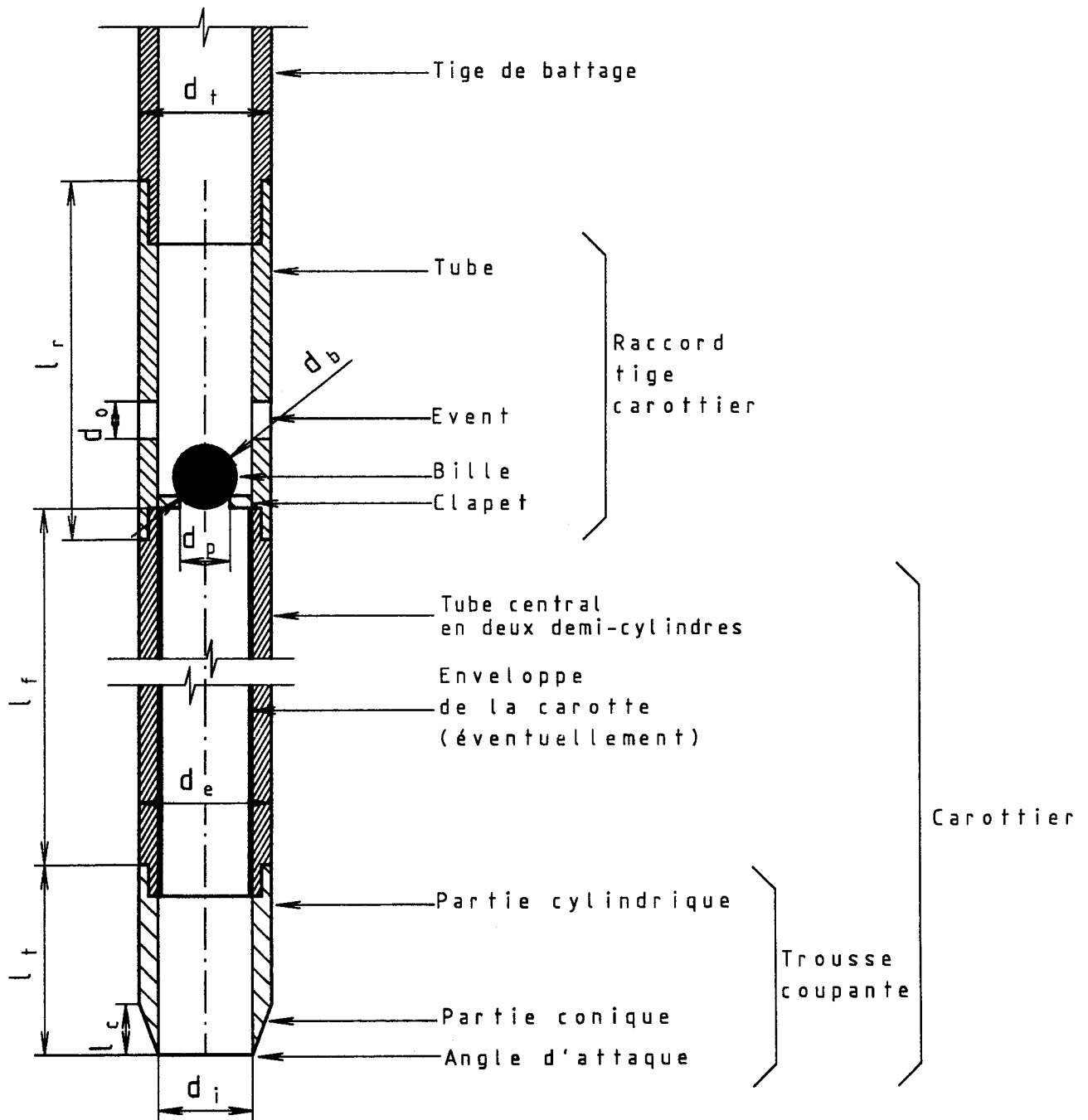


Figure 2 : coupe du carottier

5.2.2.6 Instruments de mesure

Les appareils sont adaptés en fonction des informations à recueillir. Ils doivent permettre de fournir au minimum :

- le nombre de coups de mouton,
- la profondeur du carottier dans le forage,
- l'enfoncement du carottier pendant le battage.

6 Mode opératoire

6.1 Contrôles à réaliser avant l'essai

On distingue ceux qui sont à effectuer préalablement à l'essai de ceux à réaliser au cours de l'essai.

6.1.1 Caractéristiques du dispositif de battage

Avant sa mise en service et après toutes modifications mécaniques, le dispositif de battage doit faire l'objet de la mesure :

- des masses et des dimensions de ses différents éléments constitutifs,
- de la hauteur de chute du mouton,
- de la vitesse de percussion du mouton,
- de l'énergie de percussion incidente (la procédure d'étalonnage fait l'objet d'une norme à paraître).

6.1.2 Repérage sur un plan de situation et identification de l'essai de pénétration sur un plan coté

REMARQUE : pour avoir des résultats représentatifs du sol vierge, il faut s'assurer que le terrain n'a pas été perturbé au préalable au droit de l'essai. Sur un site où un grand nombre de sondages de différentes natures sont effectués, l'ordre chronologique doit être indiqué. On rappelle que l'influence d'un forage non tubé et non rebouché peut affecter le sol sur un rayon atteignant 25 fois le diamètre du forage.

6.1.3 Vérifications de l'appareillage

Mensuellement pour une utilisation régulière ou tous les 20 sondages, contrôler la flèche des tiges en les faisant rouler de 360° sur une surface plane.

Avant chaque sondage, contrôler :

- la rectitude des tiges avec une règle de référence,
- l'état du carottier et de sa trousse coupante,
- le système de comptage du nombre de coups en fonction de l'enfoncement.

6.2 Déroulement de l'essai

6.2.1 Préparation du trou de forage

Le trou de forage doit être soigneusement nettoyé jusqu'à la profondeur de l'essai avec un équipement qui ne remanie pas le sol devant être soumis à l'essai. Quand le forage concerne des sols dans lesquels les parois sont instables, un tubage et/ou une boue de forage doivent être utilisés. Les tubages du type tarière creuse ne doivent pas être utilisés pour les essais en dessous de la nappe.

Quand le forage est exécuté en dessous de la nappe, le niveau de l'eau ou du fluide de forage dans le trou de forage doit être maintenu à une distance suffisante au-dessus du niveau de la nappe pour limiter le remaniement. Le niveau de l'eau ou du fluide de forage dans le trou de forage doit être maintenu pendant le retrait des outils de forage et pendant toute la durée de l'essai.

Les outils de forage, par exemple les tubes, doivent être retirés lentement pour éviter que les effets de succion ne décompriment le sol devant être soumis à l'essai. Si un tubage est utilisé, il ne doit pas être enfoncé en dessous du niveau de début de l'essai.

6.2.2 Enfouissement du carottier

Mise en place :

le carottier solidaire de l'ensemble du train de tiges et du dispositif de battage est posé au fond du trou de forage. La pénétration du carottier sous l'effet de la pesanteur est notée. Si cet enfouissement dépasse 45 cm, l'essai est interrompu et la valeur «N» attribuée est zéro.

La profondeur de l'essai correspond à la position de la base de la trousse coupante après l'enfouissement d'amorçage.

Enfouissement d'amorçage :

le carottier est enfoué dans le sol d'une profondeur de 15 cm et le nombre de coups de mouton nécessaire est noté N_0 . Si la pénétration de 15 cm ne peut être atteinte en 50 coups de mouton, la profondeur ainsi obtenue sera considérée comme enfouissement d'amorçage.

Enfouissement d'essai :

après l'enfouissement d'amorçage, les nombres de coups de mouton N_1 et N_2 nécessaires pour obtenir deux enfouissements successifs du carottier de 15 cm chacun doivent être notés. La valeur $N = N_1 + N_2$ nécessaire pour obtenir l'enfouissement total de 30 cm est appelée résistance à la pénétration N.

L'essai peut être interrompu lorsque N_1 ou N_2 est supérieur à 50. Dans ce cas l'enfouissement obtenu à l'arrêt de l'essai est noté.

6.3 Après l'essai

6.3.1 Récupération de l'échantillon de sol

Le carottier est remonté à la surface puis ouvert. Le ou les échantillons de sols sont placés dans des récipients hermétiques.

6.3.2 Étiquetage de l'échantillon de sol

Des étiquettes portant les renseignements suivants sont apposées sur les récipients :

- a) site,
- b) numéro du trou de forage,
- c) numéro de l'échantillon,
- d) profondeur de pénétration,
- e) longueur de l'échantillon,
- f) date de l'essai,
- g) nombre de coups : N_0 — N_1 — N_2 .

7 Procès-verbal

Le procès-verbal comporte les informations minimales suivantes :

- la référence à la présente norme NF P 94-116,
- l'identification du forage et ses coordonnées, la date et la référence du plan d'implantation,
- le niveau du début du forage par rapport à la surface du sol et la cote altimétrique du sol par rapport à un système de référence précisé,
- la méthodologie de forage, le diamètre de forage, l'utilisation d'un tubage, la présence ou non d'eau ou d'un fluide de forage dans le trou de forage,
- les caractéristiques du système de battage et des tiges,
- la profondeur de chaque essai : base de la trousse après l'enfoncement d'amorçage,
- l'enfoncement du carottier sous l'effet de la pesanteur, le nombre de coups de mouton nécessaire pour chaque intervalle d'enfoncement successif de 15 cm (N_0 pour l'enfoncement d'amorçage, et N_1 puis N_2 pour l'enfoncement d'essai) ou l'enfoncement obtenu lors de l'interruption du battage,
- description des sols identifiés.

À titre indicatif, un exemple de procès-verbal est donné dans l'annexe B.

8 Bibliographie

- BSI Determination of the penetration resistance using the split-barrel sampler (the standard penetration test SPT) — Juillet 1988.
- ASTM D 1586-84. Penetration test and split-barrel sampling of soils.
- ISOPT 1 Recommandations — Standard penetration test SPT Florida — 20/24 mars 1988.

Annexe A

(normative)

Caractéristiques principales de l'appareillage de l'essai de pénétration au carottier

Désignation		Symbole	Unité	Valeur	Tolérance d'utilisation	
Mouton	Masse	M	kg	64	+ 0 - 0,7	
	Hauteur de chute	H	m	0,75	± 0,02	
	Cadence de battage	—	coups par min	15 à 30	—	
	Élancement rapport longueur par largeur D_M du mouton	—	—	1 à 2	—	
Enclume	Diamètre	—	cm	$< 0,5 \times D_M$ $D_M > 10$	—	
	Masse enclume seule	—	kg	10 à 15	—	
	Masse enclume et guidage solidarisés	—	kg	≤ 25	—	
Tiges de battage	Masse linéique	—	kg/m	4,0	- 0,5 + 1,0	
	Diamètre extérieur	d_t	mm	42,5	± 3,5	
Carottier	Trousse coupante	Diamètre extérieur	d_e	mm	51	± 1
		Diamètre intérieur	d_i	mm	35	± 1
		Longueur totale	l_t	mm	76	± 1
		Longueur partie conique	l_c	mm	19	± 1
		Rayon d'attaque	r	mm	16	± 1
	Tube central	Longueur	l_f	mm	≥ 450	—
Raccord tige carottier	Longueur raccord	l_r	mm	150	± 2	
	Event : diamètre	d_o	mm	≥ 13	—	
	Bille : diamètre	d_b	mm	25	± 1	
	Clapet : diamètre	d_p	mm	22	± 1	
Forage	Diamètre	—	mm	≤ 130	—	

Annexe B
(informative)
Présentation des résultats — Exemple

B.1 Procès-verbal

Il comporte une présentation des résultats dont un exemple est donné ci-dessous :

Essai de pénétration au carottier effectué conformément à la norme NF P 94-116							
Firme :		Date du forage : début : fin :		N° de dossier :			
Lieu :		Implantation : x : y : z :		N° du sondage :			
Méthode de forage :		Diamètre du forage : mm		Diamètre du tubage : mm			
Niveau de l'eau :							
Profondeur		Nombre de coups				Description du sol	Cote m
Tubage	Essai	Amorçage	Essai		N		
m	m	N ₀	N ₁	N ₂			
0,85	1,0	2	3	4	7	Sable fin à moyen gris devenant moyennement dense	0
1,85	2,0	3	4	5	9		1
2,85	3,0	8	10	13	23		2
3,85	4,0	9	11	14	25		3
4,85	5	7	8	11	19		4
5,65	5,8	10	14	17	31	Sable fin à moyen brun dense à très dense	5
6,85	7,0 arrêt 7,27	20	23	> 50	> 73		6
7,75	7,9	17	20	24	44	Sable grossier gris et gravier	7
							8
							arrêt à 8,2
							9
Masse totale : enclume et guidage du mouton = kg				Masse d'une tige = kg/m			

B.2 Feuille d'essai

Les observations (anomalies, état de la trousse du carottier, état des tiges après extraction...) sont notées par l'opérateur dans un compte rendu interne qui est communiqué sur demande.