

NF EN ISO 22476-3

JUILLET 2005

www.afnor.org

Ce document est à usage exclusif et non collectif des clients Normes en ligne.;
Toute mise en réseau, reproduction et rediffusion, sous quelque forme que ce soit,
même partielle, sont strictement interdites.

This document is intended for the exclusive and non collective use of AFNOR Webshop
(Standards on line) customers. All network exploitation, reproduction and re-dissemination,
even partial, whatever the form (hardcopy or other media), is strictly prohibited.



**DOCUMENT PROTÉGÉ
PAR LE DROIT D'AUTEUR**

Droits de reproduction réservés. Sauf prescription différente, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans accord formel.

Contacteur :
AFNOR – Norm'Info
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél : 01 41 62 76 44
Fax : 01 49 17 92 02
E-mail : norminfo@afnor.org

afnor

Normes en ligne

Pour : JEAN LUTZ SA

Client : 9082200

Commande : N20140303-116693

le : 21/05/2014 à 11:23

Diffusé avec l'autorisation de l'éditeur

Distributed under licence of the publisher

norme européenne

NF EN ISO 22476-3

Juillet 2005

norme française

Indice de classement : P 94-521-3

ICS : 93.020

Reconnaissance et essais géotechniques

Essais en place

Partie 3 : Essai de pénétration au carottier

E : Geotechnical investigation and testing — Field testing —
Part 3: Standard penetration test

D : Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Felduntersuchungen —
Teil 3: Standard penetration test

Norme française homologuée

par décision du Directeur Général d'AFNOR le 20 juin 2005 pour prendre effet le 20 juillet 2005.

Est destinée à remplacer la norme homologuée NF P 94-116, d'octobre 1991.

Correspondance

La Norme européenne EN ISO 22476-3:2005 a le statut d'une norme française. Elle reproduit intégralement la Norme internationale ISO 22476-3:2005.

Analyse

Le présent document 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, géotechnique, essai en place, essai de pénétration, carottier.

Modifications

Par rapport au document destiné à être remplacé, adoption de la norme européenne.

Corrections



Commission de normalisation Reconnaissance et Essais Géotechniques

BNSR REG

Membres de la commission de normalisation

Président : M MICHALSKI

Secrétariat : M BIGOT — DREIL/LREP

M	CARPINTEIRO	COPREC / SOCOTEC
M	DORE	USG / EEG.SIMECSOL
M	GANGNEUX	CEBTP
M	GOULESCO	BOUYGUES
M	LEGENDRE	SOFFONS / SOLETANCHE-BACHY
M	LESCOT	LRPC DE LYON
M	MALATERRE	EDF
M	MASSONNET	FONDASOL
M	MAUREL	SETRA
M	MICHALSKI	ANTEA
MME	PINEAU	AFNOR
M	REIFFSTECK	LCPC
M	RINCENT	RINCENT-BTP
M	ZERHOUNI	USG / SOLEN GEOTECHNIQUE

Avant-propos national

Références aux normes françaises

La correspondance entre les normes mentionnées à l'article «Références normatives» et les normes françaises identiques est la suivante :

EN ISO 22475-1 : NF EN ISO 22475-1 (indice de classement : P 94-510-1) ¹⁾

1) À l'étude.

**NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM
EUROPEAN STANDARD**

EN ISO 22476-3

Janvier 2005

ICS : 93.020

Version française

**Reconnaissance et essais géotechniques — Essais en place —
Partie 3 : Essai de pénétration au carottier
(ISO 22476-3:2005)**

Geotechnische Erkundung und Untersuchung —
Felduntersuchungen —
Teil 3: Standard penetration test
(ISO 22476-3:2005)

Geotechnical investigation and testing —
Field testing — Part 3: Standard penetration test
(ISO 22476-3:2005)

La présente Norme européenne a été adoptée par le CEN le 4 novembre 2004.

Les membres du CEN sont tenus de se soumettre au Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, qui définit les conditions dans lesquelles doit être attribué, sans modification, le statut de norme nationale à la Norme européenne.

Les listes mises à jour et les références bibliographiques relatives à ces normes nationales peuvent être obtenues auprès du Centre de Gestion ou auprès des membres du CEN.

La présente Norme européenne existe en trois versions officielles (allemand, anglais, français). Une version dans une autre langue faite par traduction sous la responsabilité d'un membre du CEN dans sa langue nationale et notifiée au Centre de Gestion, a le même statut que les versions officielles.

Les membres du CEN sont les organismes nationaux de normalisation des pays suivants : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

CEN

COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization

Centre de Gestion : rue de Stassart 36, B-1050 Bruxelles

Sommaire

	Page
Avant-propos	3
1 Domaine d'application	4
2 Références normatives	4
3 Termes et définitions	4
4 Appareillage	5
5 Procédure d'essai	7
6 Résultats d'essai	8
7 Rapport	8
Annexe A (informative) Facteurs de correction	10
A.1 Énergie transmise aux tiges de battage	10
A.2 Pertes d'énergie relatives à la longueur des tiges	10
A.3 Autres facteurs de correction	11
A.4 Effet de la contrainte due au poids des terres dans les sables	11
A.5 Utilisation des facteurs de correction	12
Annexe B (informative) Méthode recommandée de mesure de l'énergie réelle	13
B.1 Principe	13
B.2 Appareillage	13
B.3 Mesurages	13
B.4 Calcul	14
Bibliographie	16

Avant-propos

Le présent document EN ISO 22476-3:2005 a été élaboré par le Comité Technique CEN/TC 341 «Reconnaissance et essais géotechniques», dont le secrétariat est tenu par DIN, en collaboration avec le Comité Technique ISO/TC 182 «Géotechnique».

Cette Norme européenne devra recevoir le statut de norme nationale, soit par publication d'un texte identique, soit par entérinement, au plus tard en juillet 2005, et toutes les normes nationales en contradiction devront être retirées au plus tard en juillet 2005.

EN ISO 22476, *Reconnaissance et essais géotechniques — Essais en place* comprend les parties suivantes :

- *Partie 1 : Essai de pénétration statique à pointe électrique et essai au piezocône* (ISO/WD 22476-1)
- *Partie 2 : Essai de pénétration dynamique* (ISO 22476-2:2005)
- *Partie 3 : Essai de pénétration au carottier* (ISO 22476-3:2005)
- *Partie 4 : Essai pressiométrique Ménard* (ISO/WD 22476-4)
- *Partie 5 : Essai au dilatomètre flexible* (ISO/WD 22476-5)
- *Partie 6 : Essai au pressiomètre autoforeur* (ISO/PDTS 22476-6)
- *Partie 7 : Essai au vérin dans un forage* (ISO/WD 22476-7:2003)
- *Partie 8 : Essai de déplacement pressiométrique dans un forage* (ISO/PDTS 22476-8)
- *Partie 9 : Essai au scissomètre de chantier* (ISO/WD 22476-9)
- *Partie 10 : Essai de sondage par poids* (ISO/DTS 22476-10:2004)
- *Partie 11 : Essai au dilatomètre plat* (ISO/DTS 22476-11:2004)
- *Partie 12 : Essai de pénétration statique à pointe mécanique* (ISO/WD 22476-12)
- *Partie 13 : Essai de chargement à la plaque* (ISO/WD 22476-13).

Selon le Règlement Intérieur du CEN/CENELEC, les instituts de normalisation nationaux des pays suivants sont tenus de mettre cette Norme européenne en application : Allemagne, Autriche, Belgique, Chypre, Danemark, Espagne, Estonie, Finlande, France, Grèce, Hongrie, Irlande, Islande, Italie, Lettonie, Lituanie, Luxembourg, Malte, Norvège, Pays-Bas, Pologne, Portugal, République Tchèque, Royaume-Uni, Slovaquie, Slovénie, Suède et Suisse.

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les exigences pour les reconnaissances indirectes du terrain par essais de pénétration au carottier dans le cadre des reconnaissances géotechniques selon EN 1997-1 et EN 1997-2 en complément des reconnaissances directes (par exemple prélèvement conforme à prEN ISO 22475-1).

L'essai de pénétration au carottier a pour objectif la détermination à la base d'un trou de forage, de la résistance des sols à la pénétration dynamique d'un carottier en deux demi-coquilles et le prélèvement d'échantillons remaniés dans un but d'identification (SPT). Dans les sols graveleux et dans les roches tendres, une pointe conique peut aussi être utilisée (SPT (C)).

L'essai de pénétration au carottier est utilisé essentiellement pour déterminer les caractéristiques de résistance des sols sans cohésion, mais d'autres données importantes peuvent aussi être obtenues dans d'autres types de sol.

Le principe de l'essai consiste à enfoncer un carottier en laissant tomber un mouton d'une masse de 63,5 kg sur une enclume ou une tête de battage, d'une hauteur de 760 mm. Le nombre de coups (N) nécessaires pour faire pénétrer le carottier de 300 mm (après sa pénétration sous son propre poids et après un enfoncement d'amorçage) constitue la résistance dynamique.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence (y compris les éventuels amendements) s'applique.

prEN ISO 22475-1, *Reconnaissance et essais géotechniques — Méthodes de prélèvement par forage ou excavation et mesurages piézométriques — Partie 1 : Principes techniques d'exécution* (ISO/DIS 22475-1:2004).

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

3.1

enclume ou tête de battage

partie du dispositif de battage frappée par le mouton et grâce à laquelle l'énergie provenant de la frappe du mouton est transmise aux tiges de battage

3.2

mouton

partie du dispositif de battage constituée d'une masse frappante de 63,5 kg qui est successivement soulevée et relâchée pour procurer l'énergie nécessaire à la pénétration et au prélèvement

3.3

hauteur de chute

distance parcourue par le mouton tombant en chute libre une fois libéré

3.4

dispositif de battage

ensemble constitué du mouton, de la tige-guide du mouton, de l'enclume et du système de guidage

3.5

tiges de battage

tiges qui relient le dispositif de battage au carottier

3.6 énergie réelle

E_{meas}

énergie, résultat d'une mesure, transmise par le dispositif de battage à la tige de battage située juste sous l'enclume

3.7 énergie théorique

E_{theor}

énergie due au dispositif de battage obtenue par calcul :

$$E_{\text{theor}} = m \times g \times h$$

où :

m est la masse du mouton ;

g est l'accélération due à la pesanteur ;

h est la hauteur de chute du mouton.

3.8 rapport d'énergie

E_r

quotient de l'énergie réelle E_{meas} par l'énergie théorique E_{theor} du dispositif de battage, exprimée en pourcentage

3.9 valeurs N

nombre de coups nécessaires pour enfoncer le carottier de 300 mm après la pénétration d'amorçage

4 Appareillage

4.1 Appareillage de forage

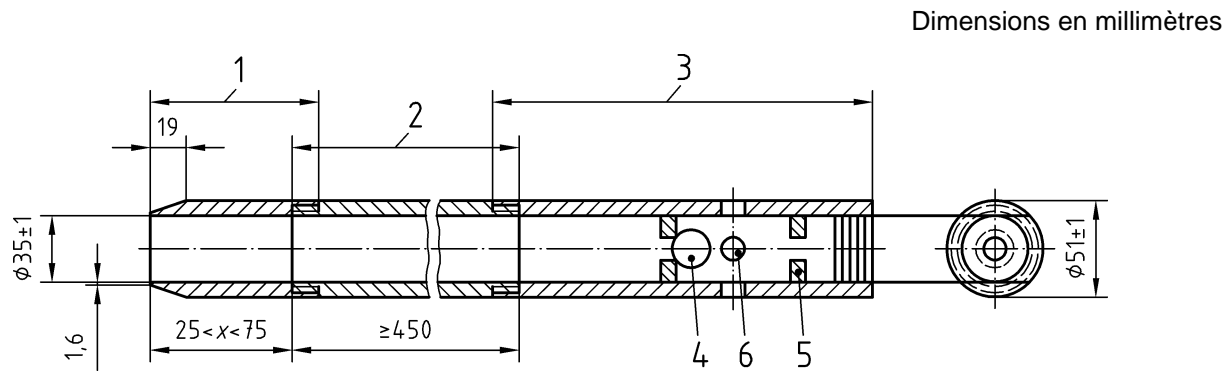
L'appareillage de forage doit être capable de creuser un trou et de le nettoyer de sorte que l'essai de pénétration soit effectué sur un sol remanié le moins possible.

L'aire de la base du trou de forage avant l'essai peut avoir une incidence sur les résultats et, en conséquence, le diamètre du forage doit toujours être consigné. Un effet significatif peut affecter les résultats quand le diamètre est supérieur à 150 mm.

4.2 Carottier

Le carottier, constitué de deux demi-coquilles en acier, doit avoir les dimensions indiquées sur la Figure 1 et doit être équipé d'un clapet anti-retour avec suffisamment de jeu pour permettre la libre circulation de l'eau ou de la boue durant le battage.

Le diamètre intérieur du carottier peut dépasser de plus de 3 mm celui de la trousse coupante pour permettre d'y placer un étui. Dans le sable graveleux, une pointe conique pleine de 60° d'angle au sommet peut être utilisée à la place de la trousse coupante normalisée. Dans ce cas l'essai doit être noté SPT (C).

**Légende**

- 1 Trousse coupante
- 2 Carottier en demi-coquilles
- 3 Raccord tige de battage — carottier
- 4 Clapet anti-retour (diamètre recommandé : pour la bille de 25 mm et pour le siège de la bille 22 mm)
- 5 Butée
- 6 Quatre trous d'évent (diamètre minimal 12 mm)
- x Longueur de la trousse coupante

Figure 1 — Coupe axiale du carottier SPT sans réservation pour un étui

4.3 Tiges de battage

Les tiges de battage doivent être suffisamment rigides pour éviter le flambement durant le battage. Des tiges ayant une masse supérieure à 10,0 kg/m ne doivent pas être utilisées. Seules des tiges droites doivent être utilisées, et des contrôles périodiques doivent être effectués sur le site, y compris sur les raccords entre tiges consécutives. La flèche mesurée et rapportée à la longueur totale de chaque tige ne doit pas dépasser 1 pour 200.

4.4 Dispositif de battage

Le dispositif de battage, d'une masse totale ne dépassant pas 115 kg, doit comprendre :

- un mouton en acier de $63,5 \text{ kg} \pm 0,5 \text{ kg}$ convenablement guidé pour présenter une résistance minimale durant sa chute ;
- un mécanisme de libération automatique du mouton qui permet à ce dernier de tomber en chute libre d'une hauteur constante de $(760 \pm 10) \text{ mm}$, avec une vitesse initiale du mouton négligeable et en n'introduisant aucun mouvement parasite dans les tiges de battage ;
- une enclume ou tête de battage fixée de manière rigide à la partie supérieure des tiges de battage. Elle peut constituer une partie interne de l'ensemble, comme pour les moutons avec dispositif de sécurité.

4.5 Appareillage optionnel**4.5.1 Compteur du nombre de coups**

Un dispositif destiné à compter le nombre de coups du mouton en mesurant des impulsions mécaniques ou électriques peut être ajouté à l'ensemble de l'appareillage.

4.5.2 Dispositif de mesure de la profondeur de pénétration

La profondeur de pénétration est mesurée soit en comptant des graduations sur les tiges, soit au moyen de capteurs enregistreurs. Dans ce dernier cas, la résolution doit rester inférieure à 1/100 de la longueur mesurée.

5 Procédure d'essai

5.1 Contrôles et étalonnage de l'appareillage

Avant chaque série d'essais, le carottier doit être contrôlé pour s'assurer de son bon état (dimensions). La rectitude des tiges doit être contrôlée une fois sur chaque nouveau site et au plus tous les 20 essais de pénétration par site. Après chaque essai, un contrôle visuel de la rectitude des tiges doit être fait.

Sur le site d'essai, la hauteur de chute, l'absence de frottement du mouton dans sa chute, le bon état de l'enclume et du mécanisme de libération du mouton doivent être contrôlés, ce bon fonctionnement devant être assuré pour l'ensemble des séries d'essais. Lorsqu'un système d'enregistrement est utilisé, son propre fonctionnement doit être également contrôlé.

La fidélité des instruments de mesure, doit — si cela est pertinent — être contrôlée après chaque détérioration, surcharge ou réparation, et une fois tous les six mois au plus, sauf dans le cas où le fabricant préconise des intervalles de contrôle plus courts. Les pièces défectueuses doivent être remplacées. Les étalonnages doivent être conservés avec l'appareillage.

Des pertes d'énergie se produisent par exemple à cause du frottement du mouton (perte de vitesse par rapport à celle en chute libre) ou à cause des pertes d'énergie dues à l'impact du mouton sur l'enclume. Par conséquent, le rapport d'énergie E_r de l'appareillage utilisé doit être connu lorsque les valeurs N sont utilisées pour l'évaluation quantitative, dans le cas de fondations ou lors de la comparaison de résultats. Un certificat d'étalonnage de la valeur E_r transmise sous la tête de battage ou sous l'enclume doit être disponible.

NOTE Une méthode recommandée pour déterminer l'énergie réelle est fournie dans l'Annexe B.

5.2 Préparation du trou de forage

Le trou de forage doit être préparé en fonction de la profondeur d'essai spécifiée. La base du trou de forage doit être propre et dans un état le moins remanié possible au niveau de l'essai et sans gradient de pression d'eau ascendant.

Quand des taillants sont utilisés, ils doivent être munis de buses latérales situées à une distance suffisante du niveau d'essai et non à la base du taillant.

Dans le cas d'essais sous le niveau de la nappe, un soin particulier doit être apporté afin d'éviter toute entrée d'eau par la base du trou de forage, ce qui pourrait rendre le terrain plus lâche ou même provoquer un entraînement du terrain. Afin d'éviter un tel phénomène, le niveau d'eau ou de liquide de forage dans le trou doit être constamment maintenu à une hauteur suffisante au-dessus du niveau de la nappe, même durant la remontée des outils de forage. La remontée des outils doit s'effectuer doucement et l'espace entre les outils de forage et la paroi du trou doit être tel qu'il permet d'éviter des effets de succion au fond du trou.

Quand un tubage est utilisé, il ne doit pas être mis en place au-dessous du niveau du début de l'essai.

5.3 Déroulement de l'essai

Le carottier et les tiges de battage, avec le dispositif de battage en tête, doivent être descendus jusqu'au fond du trou de forage. La pénétration initiale doit être notée. Lors d'une pénétration initiale ou pénétration d'amorçage, le carottier doit être battu afin de pénétrer de 150 mm sous l'effet du mouton de 63,5 kg tombant en chute libre d'une hauteur de 760 mm. Le nombre de coups N_0 doit être noté. Ensuite, le carottier doit être enfoncé de la même manière de 300 mm en deux fois sur une profondeur de 150 mm. Le nombre de coups nécessaires doit être noté pour chaque phase d'enfoncement N_n . L'essai peut être arrêté si le nombre total de coups atteint 50 ($N = 50$) ; dans les roches tendres, il peut être porté à 100 ($N = 100$). Le nombre total de coups nécessaires pour 300 mm de pénétration après l'enfoncement d'amorçage du carottier est appelé la résistance à la pénétration ($N = N_n + N_{n+1}$).

Dans les terrains durs ou les roches tendres, où la résistance à la pénétration est très élevée, on peut noter la pénétration pour un nombre de coups déterminé.

Si le carottier s'enfonce à partir du fond du trou de forage seulement sous le poids des tiges de battage et du dispositif de battage, la pénétration obtenue ne doit pas être comptée comme enfoncement d'amorçage et il y a lieu de noter cette information. En aucun cas, des matériaux ne doivent atteindre dans le carottier le niveau du clapet anti-retour.

Les échantillons prélevés doivent être étiquetés et manipulés selon prEN ISO 22475-1.

5.4 Règles de sécurité

Les règles de sécurité nationale doivent être observées, par exemple les règles concernant :

- l'appareillage pour la sécurité et la santé du personnel ;
- le filtrage de l'air, si le travail s'effectue dans un espace confiné ;
- la sécurité de l'appareillage.

6 Résultats d'essai

Les résultats des essais doivent être notés et exploités à partir de la valeur de N ou des coups du battage d'essai.

Les valeurs de N peuvent varier en fonction de l'appareillage d'essai, du mode opératoire ainsi que des conditions géotechniques (voir Annexe A). Les corrections de l'Annexe A doivent être prises en considération.

7 Rapport

7.1 Feuille d'essai

7.1.1 Généralités

Pour un site donné, une feuille d'essai doit être établie. Cette feuille d'essai doit comporter, si cela est applicable :

- a) la coupe du sondage conforme à prEN ISO 22475-1 ;
- b) les valeurs mesurées et les résultats d'essai.

Toutes les reconnaissances sur le terrain doivent être notées de manière à ce qu'une tierce personne puisse contrôler et comprendre les résultats.

7.1.2 Procès-verbal des valeurs mesurées et résultats d'essai

Sur le site, les informations suivantes doivent être notées pour chaque essai :

- a) information générale :
 - 1) nom du donneur d'ordre ;
 - 2) nom de l'organisme effectuant l'essai ;
 - 3) numéro de dossier ou de projet ;
 - 4) nom et la localisation du site ;
 - 5) nom et signature de l'opérateur ayant réalisé l'essai ;
- b) information sur l'emplacement de l'essai :
 - 1) numéro du trou de forage ;
 - 2) croquis (à l'échelle ou non) ;
 - 3) cote du terrain pour référence à un point fixe ;
 - 4) coordonnées x, y, z du trou de forage ;
 - 5) opération en site terrestre ou en site aquatique ;

- c) information sur l'appareillage utilisé :
- 1) méthode de forage et diamètre du forage au niveau de l'essai ;
 - 2) fabricant, modèle et numéro de l'appareillage d'essai ;
 - 3) type et dimensions des tiges de battage ;
 - 4) type et dimension du mouton, type de mécanisme de libération du mouton et masse de l'enclume ;
 - 5) carottier fendu avec ou sans étui ;
 - 6) pointe conique pleine (SPT (C)), si elle a été utilisée ;
 - 7) le rapport d'énergie E_f et le procès-verbal d'étalonnage ;
- d) information sur la procédure d'essai :
- 1) date et numéro d'essai ;
 - 2) documentation concernant le contrôle de l'appareillage et l'étalonnage réalisé conformément à 5.1 ;
 - 3) valeurs notées lors de l'essai :
 - la valeur N non-corrigée pour chaque essai et l'intervalle de profondeur correspondant ;
 - N_n , N_{n-1} si exigé ;
 - valeur de la pénétration, si l'enfoncement cesse après 50 coups (ou 100 coups dans les roches tendres) ;
 - pénétration par coup dans des conditions difficiles de terrain, si cela est exigé ;
 - profondeur de pénétration du carottier sous son propre poids ;
 - 4) relevé des échantillons prélevés ;
 - 5) niveau de la nappe ou de la nappe artésienne s'ils sont connus ;
 - 6) niveau d'eau ou du liquide de forage pendant la préparation et l'exécution de chaque essai ;
 - 7) profondeur de l'essai et du tubage ;
 - 8) conditions atmosphériques ;
 - 9) tous les évènements imprévus et les observations pendant l'opération (par exemple faible nombre de coups, pénétration sans coup, obstacles temporaires, dysfonctionnement de l'appareillage) ;
 - 10) observations sur le carottier de prélèvement et/ou les tiges ;
 - 11) toutes les interruptions pendant l'essai et pour l'ajout de tige ainsi que leur durée ;
 - 12) raisons de l'arrêt prématuré de l'essai ;
 - 13) rebouchage du forage conforme à prEN ISO 22475-1, si cela est exigé.

7.2 Rapport d'essai

Afin de contrôler la qualité des données recueillies, le rapport d'essai doit contenir ce qui suit en complément des informations données en 7.1 :

- a) la feuille d'essai (l'original et/ou sous forme électronique) ;
- b) une représentation graphique des résultats d'essai ;
- c) les corrections éventuelles appliquées et les valeurs N corrigées ;
- d) une représentation graphique en fonction de la profondeur de N et de la valeur corrigée, le cas échéant ;
- e) toutes les restrictions sur les données (par exemple non pertinent, insuffisant, résultats d'essai incorrects ou défavorables) ;
- f) les nom et signature du responsable sur le site.

Les résultats d'essai doivent être fournis de telle manière que des tierces personnes soient capables de contrôler et de comprendre les résultats.

Annexe A

(informative)

Facteurs de correction

A.1 Énergie transmise aux tiges de battage

Les pertes d'énergie sont induites par le dispositif de battage du fait du frottement et autres phénomènes parasites, ce qui entraîne une vitesse du mouton à l'impact inférieure à la vitesse strictement en chute libre. D'autres pertes d'énergie proviennent de l'impact sur l'enclume en relation avec sa masse et d'autres caractéristiques. Le type de machine, l'habileté de l'opérateur et d'autres facteurs peuvent également influencer l'énergie transmise aux tiges de battage.

Le nombre de coups, N , dans le sable est inversement proportionnel au rapport d'énergie E_r de telle sorte que :

$$N_a \times E_{r,a} = N_b \times E_{r,b} \quad \dots \text{(A.1)}$$

Pour le dimensionnement en général et aussi à des fins de comparaison, il convient de corriger les valeurs N dans le sable par le rapport d'énergie de référence de 60 % selon l'équation suivante :

$$N_{60} = \frac{E_r}{60} N \quad \dots \text{(A.2)}$$

où :

N est le nombre de coups ;

E_r est le rapport d'énergie de l'appareillage spécifique de l'essai.

Si une méthode de dimensionnement pour les sables a été élaborée pour une valeur de E_r différente de 60 %, il est recommandé de déterminer la valeur N corrigée correspondante sur la base de l'équation A.1.

A.2 Pertes d'énergie relatives à la longueur des tiges

Si la longueur des tiges est inférieure à 10 m, les facteurs de correction présentés dans le Tableau A.1 peuvent être appliqués au nombre de coups dans les sables ; pour des longueurs de tiges supérieures à 10 m, il est recommandé de n'appliquer aucune correction.

Tableau A.1 — Facteurs de correction dans les sables en fonction de la longueur des tiges

Longueur des tiges sous l'enclume	Facteur de correction
m	λ
> 10	1,0
6 à 10	0,95
4 à 6	0,85
3 à 4	0,75

A.3 Autres facteurs de correction

Si le diamètre intérieur du carottier est supérieur de 3 mm à celui de la trousse coupante, tel que précisé en 4.2, une correction n'est pas nécessaire pour autant qu'un étui d'une épaisseur appropriée soit utilisé, de telle manière que l'intérieur de l'ensemble du carottier soit quasiment d'un diamètre uniforme de 35 mm. Toutefois, il convient d'attirer l'attention sur l'influence que pourrait avoir d'éventuels endommagements de l'étui, pendant le battage, sur le nombre de coups. Si aucun étui n'est utilisé, le jeu supplémentaire à l'intérieur du carottier par rapport à la trousse coupante conduit à des valeurs N inférieures de 10 % à 20 % dans les sables.

A.4 Effet de la contrainte due au poids des terres dans les sables

L'effet de la contrainte due au poids des terres sur la valeur N , dans les sables, peut être prise en compte, par exemple, en appliquant à la valeur mesurée N le facteur de correction C_N fourni dans le Tableau A.2 selon l'état de consolidation et l'indice de densité I_D .

Tableau A.2 — Facteurs de correction C_N pour les contraintes verticales σ_v' dues au poids des terres dans les sables

État de consolidation	Indice de densité I_D %	Facteur de correction C_N
Normalement consolidé	40 à 60	$\frac{200}{100 + \sigma_v'}$
	60 à 80	$\frac{300}{200 + \sigma_v'}$
Surconsolidé	—	$\frac{170}{70 + \sigma_v'}$
(σ_v' en kPa)		

Un autre exemple de correction pour le sable normalement consolidé est l'utilisation de C_N tel que donné par l'équation suivante :

$$C_N = \sqrt{\frac{98}{\sigma_v'}} \quad \dots \text{(A.3)}$$

Il est recommandé de ne pas utiliser des valeurs du facteur de correction C_N supérieures à 2,0 et même supérieures à 1,5.

Le nombre de coups corrigé par le rapport d'énergie E_r de 60 % et normalisé pour une contrainte verticale effective $\sigma_v = 100$ kPa est alors :

$$\left(N_1\right)_{60} = \frac{E_r \times N \times C_N}{60} \quad \dots \text{(A.4)}$$

A.5 Utilisation des facteurs de correction

Plusieurs facteurs de correction ont été mentionnés dans les paragraphes précédents. Attendu que les méthodes actuelles de dimensionnement des fondations basées sur le SPT sont de nature empirique, il convient d'utiliser seulement les facteurs de correction correspondants, sauf dans des cas dûment justifiés.

Si tous les facteurs de correction correspondant à cette procédure d'essai sont appliqués pour une méthode de dimensionnement basée sur un rapport d'énergie de 60 %, il conviendrait de calculer cette valeur pour le nombre de coups final (sans exclure celle mentionnée en A.3) :

$$N_{60} = \frac{E_r}{60} \times \lambda \times C_N \times N \quad \dots \text{(A.5)}$$

où :

- λ est le facteur de correction pour des pertes d'énergie liées à la longueur des tiges dans le sable ;
- C_N est le facteur de correction dû à la contrainte verticale effective dans le sable provenant du poids des terres sus-jacentes.

Annexe B (informative)

Méthode recommandée de mesure de l'énergie réelle

B.1 Principe

La mesure de l'énergie transmise aux tiges de battage peut être effectuée sur une partie de tige instrumentée placée sous le point d'impact du mouton sur l'enclume à une distance d'au moins 10 fois le diamètre de la tige (voir Figure B.1).

Pour information complémentaire voir [1] et [6] dans la Bibliographie.

Légende

- 1 Enclume
- 2 Partie de la tige instrumentée
- 3 Tige de battage
- 4 Jauge de déformation (transducteur)
- 5 Accéléromètre
- 6 Terrain
- F Force
- d_r Diamètre de la tige

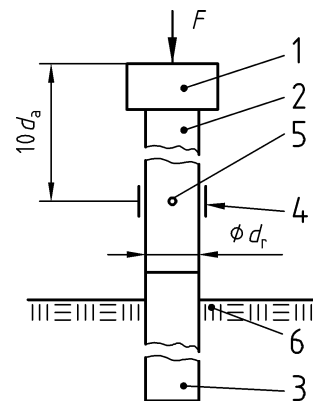


Figure B.1 — Tige instrumentée (exemple)

B.2 Appareillage

Le dispositif de mesure est constitué d'une tige instrumentée amovible fixée entre l'enclume et la tête des tiges. Il comprend :

- un système de mesure de l'accélération verticale avec une réponse linéaire jusqu'à 5 000 g ;
- un système de mesure de la déformation axiale induite dans la tige ;
- un appareil avec une résolution inférieure à $1 \cdot 10^{-5}$ s, pour visionner, enregistrer et pré-traiter les signaux ;
- un système de traitement informatique (enregistreur chronologique et ordinateur).

Si des jauges de déformation sont utilisées pour la mesure de la déformation axiale, il est recommandé de les répartir uniformément autour de la tige instrumentée.

B.3 Mesurages

À chaque impact, contrôler le bon fonctionnement de l'équipement de mesure et des capteurs par affichage des résultats des mesures.

Il convient de vérifier que les signaux en provenance des accéléromètres et des jauges sont nuls avant et après l'impact.

Pour la mesure de l'accélération et de la déformation, il est recommandé d'avoir une fidélité inférieure à 2 % de la valeur mesurée.

B.4 Calcul**B.4.1** La force transmise aux tiges est calculée comme suit :

$$F(t) = A_a \times E_a \times \varepsilon_m(t) \quad \dots \text{(B.1)}$$

où :

 $\varepsilon_m(t)$ est la mesure de la contrainte axiale de la tige instrumentée au moment t ; A_a est l'aire de la section transversale de la tige instrumentée ; E_a est le module de Young de la tige instrumentée.**B.4.2** La vitesse particulière $v(t)$ de la section de mesure est calculée par intégration de l'accélération $a(t)$ par rapport au temps t .**B.4.3** L'équation de base donnant l'énergie E qui passe dans les tiges de battage est :

$$E(t') = \int_0^{t'} F(t)v(t) dt \quad \dots \text{(B.2)}$$

où :

 $E(t')$ est l'énergie transmise à la tige de battage jusqu'au temps t' après l'impact.

Diverses méthodes pour résoudre l'équation ci-dessus ainsi que d'autres informations sont disponibles dans la bibliographie.

B.4.4 L'énergie du dispositif de battage à considérer est la valeur moyenne obtenue par au moins cinq mesures :

$$E_{\text{meas}} = \frac{1}{n} \sum_1^n E \quad \dots \text{(B.3)}$$

B.4.5 Le rapport d'énergie du dispositif de battage qui caractérise chaque appareillage est donné par :

$$E_r = \frac{E_{\text{meas}}}{E_{\text{theor}}} \leq 1 \quad \dots \text{(B.4)}$$

où :

 $E_{\text{theor}} = m \times g \times h$; h est la hauteur de chute du mouton ; m est la masse du mouton ; g est l'accélération due à la pesanteur.

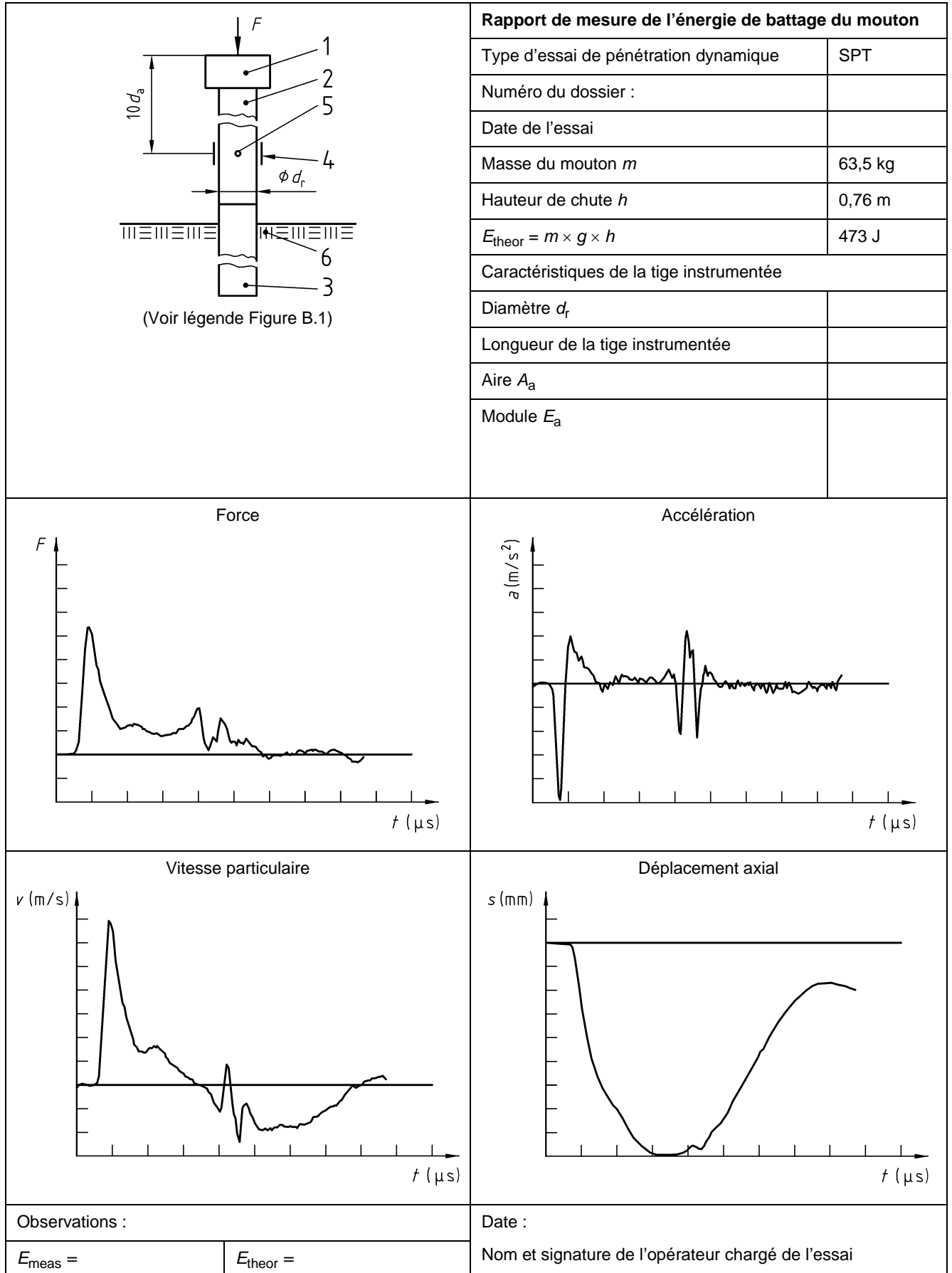


Figure B.2 — Exemple du rapport de mesurage de l'énergie de battage d'un mouton

Bibliographie

- [1] ASTM D 4633-86: *Standard test method for stress wave energy measurements for dynamic penetrometer testing systems*. American Society for Testing and Materials, Philadelphia 1986.
- [2] Butler, J.J., Caliendo, J.A., Goble, G.G. : Comparison of SPT energy measurements methods. Proc. 1st Int. Conf. on Site Characterization, Atlanta 1998, Vol. 2, 901–905.
- [3] Farrar, J.A.: Summary of Standard Penetration Test (SPT) energy measurements experience. Proc. 1st Int. Conf. on Site Characterization, Atlanta 1998, Vol. 2, 919–926.
- [4] Gonin, H. : Du Pénétrömètre dynamique au battage des pieux. Revue Française de Géotechnique No 76, 1996.
- [5] Gonin, H. : La formule des Hollandais ou le conformisme dans l'enseignement. Revue Française de Géotechnique No 87, 1999.
- [6] Matsumoto, T ; Sekeguchi, H., Yoshida, H. & Kita, K.: Significance of two-point strain measurements in SPT. — Soils and Foundations, JSSMFE, Vol. 32, 1992, No 2, pp. 67-82.
- [7] EN 1997-1, *Eurocode 7 : Calcul géotechnique — Partie 1 : Règles générales*.
- [8] EN 1997-2, *Eurocode 7 : Calcul géotechnique — Partie 2 : Reconnaissance des terrains et essais*.