

norme française

NF P 94-114
Décembre 1990

Géotechnique

Sols : Reconnaissance et essais

Essai de pénétration dynamique type A

E : Soils investigation and testing — In situ tests — Dynamic penetration A tip
D : Geotechnik — Erdboden : Erkundung und Prüfungen — Dynamische
Eindringprüfung Typ A

Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnor
le 20 novembre 1990 pour prendre effet le 20 décembre 1990.

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

analyse La présente norme traite de l'essai de pénétration dynamique de type A (PDA).
Elle définit les termes employés et les paramètres mesurés, spécifie les caracté-
ristiques de l'appareillage, fixe le mode opératoire et précise les résultats à
présenter.

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

modifications

corrections

Membres de la commission de normalisation chargée de l'élaboration de la présente norme

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	SNCF — Direction de l'Équipement
MME	DAURELLE	AFNOR
M	DORE	MECASOL
M	GONIN	SIMECSOL
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
M	WASCHKOWSKI	Laboratoire Régional de Blois — Expert

AVANT-PROPOS

Deux types de matériel de pénétration dynamique sont normalisés. À chacun est associée une procédure d'investigation du sol.

Le pénétromètre dynamique type A (PDA) permet de réaliser des essais de pénétration dynamique (NF P 94-114) qui sont considérés comme des essais de référence.

Le pénétromètre dynamique type B (PDB) est utilisé pour effectuer des sondages de reconnaissance du sol (NF P 94-115).

SOMMAIRE

	Page
1 OBJET	3
2 DOMAINE D'APPLICATION	3
3 DÉFINITION — TERMINOLOGIE	4
3.1 Définition générale	4
3.2 Terminologie — Symboles	4
4 PRINCIPE DE L'ESSAI	5
5 APPAREILLAGE ET INSTRUMENTS DE MESURE	5
5.1 Présentation du pénétromètre dynamique PDA	5
5.2 Description	6
5.3 Instruments de mesure	7
6 MODE OPÉRATOIRE	8
6.1 Contrôles à effectuer	8
6.2 Réalisation de l'essai	9
7 PROCÈS-VERBAL D'ESSAI	9
ANNEXE A — Caractéristiques principales du pénétromètre PDA	10
ANNEXE B — Exemple de présentation des résultats	11

1 OBJET

La présente norme traite de l'essai de pénétration dynamique type A. Elle a pour objet de définir les termes employés et les paramètres mesurés, de spécifier les caractéristiques de l'appareillage, de fixer le mode opératoire de l'essai et de préciser les résultats à présenter.

2 DOMAINE D'APPLICATION

La norme s'applique aux essais de pénétration dynamique réalisés dans tous les sols fins et les sols grenus dont la dimension moyenne des éléments ne dépasse pas 60 mm.

L'essai de pénétration dynamique est limité à une profondeur de 30 m.

3 DÉFINITION — TERMINOLOGIE

3.1 Définition générale

L'essai de pénétration dynamique est un essai géotechnique qui teste le terrain en place et fournit, en tant que tel, une caractéristique du sol dénommée résistance dynamique. Il consiste à mesurer, selon la procédure définie au chapitre 6, l'enfoncement d'une pointe soumise, par l'intermédiaire d'un train de tiges, à une énergie de battage.

L'essai de pénétration dynamique permet d'apprécier entre autres :

- la succession de différentes couches de terrain,
- l'homogénéité d'une couche ou la présence d'anomalies,
- la position d'une couche résistante dont l'existence est déjà connue.

Cet essai peut servir :

- à orienter le choix des fondations,
- à évaluer un ordre de grandeur des capacités portantes lorsque l'on dispose d'informations complémentaires.

3.2 Terminologie — Symboles

3.2.1 Nombre de coups pour un enfoncement donné

N_{dh} désigne le nombre de coups de mouton nécessaire pour un enfoncement h de la pointe. L'enfoncement h est également appelé refus permanent.

3.2.2 Enfoncement par coup

L'enfoncement e est la valeur moyenne conventionnelle de l'enfoncement par coup :

$$e = \frac{h}{N_{dh}}$$

La valeur de h est prise égale à 10 cm.

3.2.3 Résistance dynamique de pointe q_d

La résistance dynamique de pointe à la pénétration sous l'action du choc du mouton est donnée conventionnellement par l'expression suivante :

$$q_d = \frac{m \times g \times H}{A \times e} \times \frac{m}{m + m'}$$

où :

- q_d est exprimé en pascals,
- m est la masse du mouton en kilogrammes,
- g est l'accélération de la pesanteur en mètres par seconde carrée,
- H est la hauteur de chute libre du mouton en mètres,
- A est l'aire de la section droite de la pointe en mètres carrés,
- e est l'enfoncement par coup en mètres,
- m' est la masse cumulée, exprimée en kilogrammes, de l'enclume et de la tige-guide, si celle-ci est solidaire de l'enclume, des tiges, du porte-pointe, de la pointe (masses frappées).

4 PRINCIPE DE L'ESSAI

L'essai de pénétration dynamique consiste à :

- enfoncer dans le sol, par battage de manière continue, un train de tiges muni, en partie inférieure d'une pointe débordante, tout en injectant une boue de forage entre la paroi du sondage et les tiges ;
- noter le nombre de coups nécessaires (N_{d10}) pour faire pénétrer dans le sol la pointe d'une hauteur h de 10 cm.

5 APPAREILLAGE ET INSTRUMENTS DE MESURE

5.1 Présentation du pénétromètre dynamique PDA

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

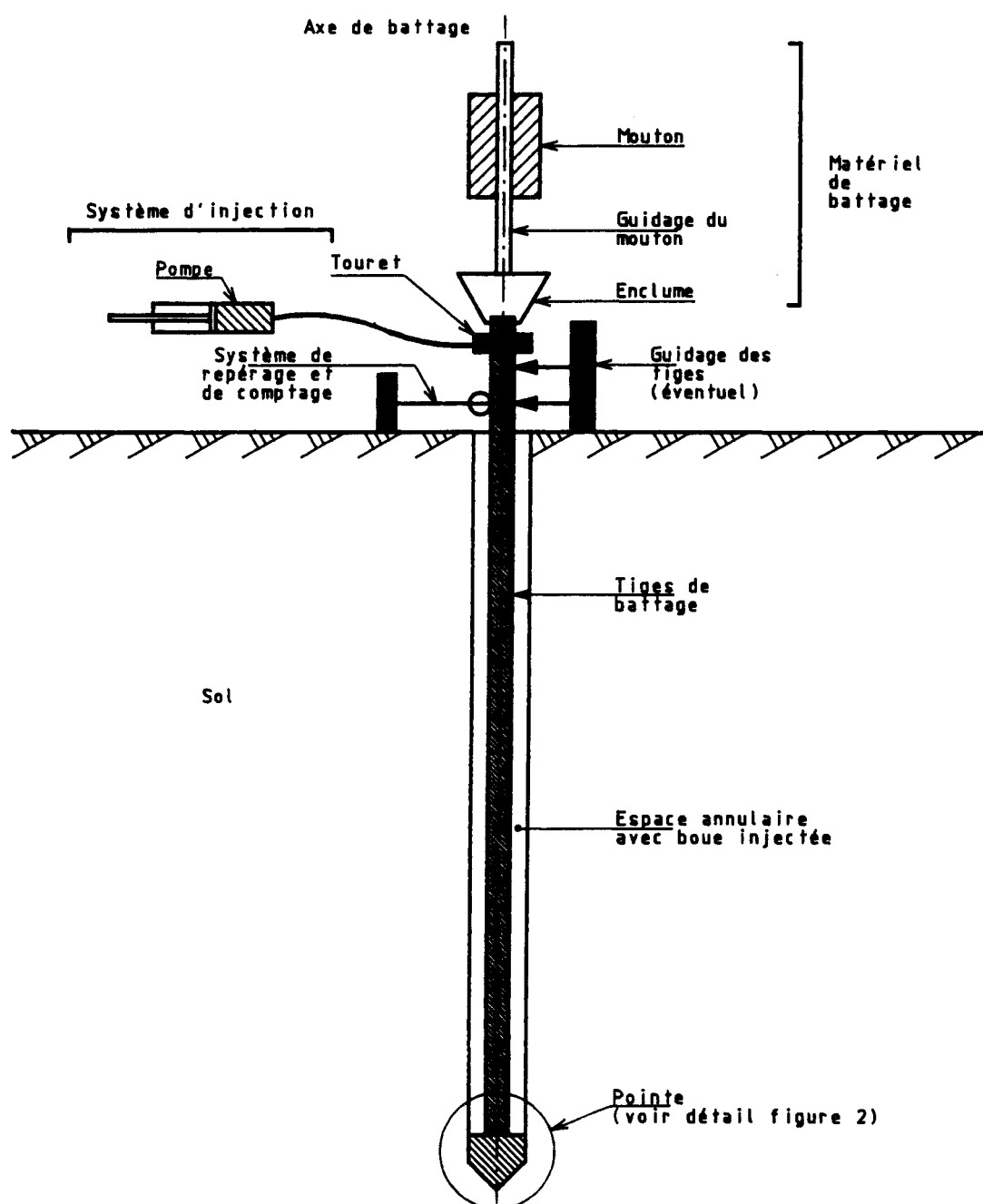


Figure 1 — Pénétromètre dynamique PDA

5.2 Description

Le pénétromètre dynamique se compose d'un dispositif de battage et de guidage, d'un train de tiges, d'une pointe, d'un matériel d'injection et d'un système de mesure.

Les caractéristiques de ces différents constituants sont données ci-après ainsi que dans l'annexe A qui précise également les tolérances.

5.2.1 Dispositif de battage

Il comporte un mouton, une enclume, un ensemble de guidage, de relevage et de déclenchement de la chute du mouton.

5.2.1.1 Mouton

Le mouton a une masse adaptable de 32, 64, 96 et 128 kg. Il est cylindrique, de section circulaire ou carrée et d'élanement compris entre 1 et 2.

5.2.1.2 Enclume et guidage du mouton

L'enclume est en acier et solidaire du train de tiges.

Sa masse est comprise entre 10 et 15 kg et son diamètre est supérieur à 0,1 m et inférieur à la demi-largeur du mouton.

La masse totale de l'enclume et de l'élément de guidage du mouton n'excède pas 25 kg.

L'enclume, l'élément de guidage du mouton et le train de tiges sont coaxiaux.

5.2.1.3 Système de relevage et de déclenchement de la chute

La hauteur de chute H du mouton est de 0,75 m.

Le mouton est libéré automatiquement avec une vitesse initiale nulle. Il tombe librement à une cadence de 15 à 30 fois par minute.

5.2.2 Tiges de battage

Les tiges de battage sont en acier. Elles sont creuses et identiques. Leur diamètre extérieur est d_e .

Toutes les tiges utilisées dans un même essai sont de la même longueur.

Les tiges sont assemblées fermement pour constituer un train de tiges rigidement lié selon un axe rectiligne et continu.

Toutes les tiges ainsi que les jonctions présentent le même diamètre intérieur et extérieur. L'excentricité maximale tolérée aux jonctions est de 0,2 mm.

La flèche des tiges utilisées est inférieure à 0,1 % de leur longueur.

5.2.3 Pointe

La pointe est débordante. Elle est en acier. Elle peut être, soit perdue soit récupérable et fixée à la tige inférieure.

La pointe est adaptée au train de tiges de façon à ne subir ni déplacement latéral, ni inclinaison par rapport à l'axe de battage, ni être perdue avant la fin de l'essai.

5.2.4 Système d'injection

Il est constitué par un dispositif permettant d'injecter une boue de forage par le train de tiges creuses.

La tige porte-pointe comporte 2 orifices de 5 mm de diamètre situés au-dessus de la pointe et permettant de diriger la boue horizontalement ou légèrement vers le haut (voir figure 2)

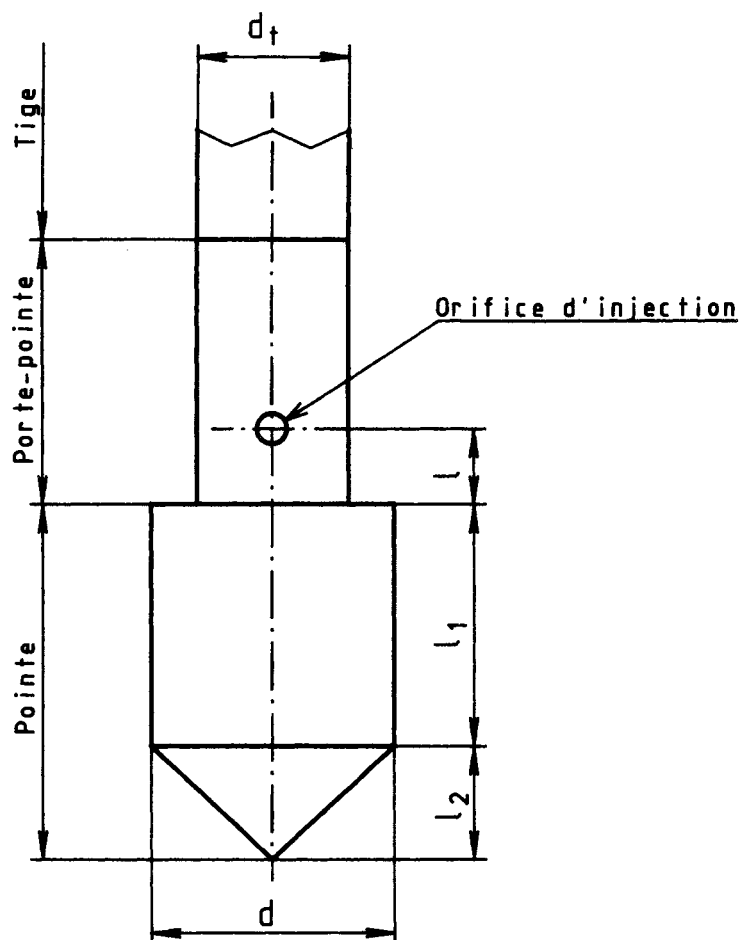


Figure 2 — Pointe du pénétromètre dynamique PDA

5.3 Instruments de mesure

Les appareils de mesure sont adaptés en fonction des informations à recueillir. Ils comportent au minimum :

- un compteur de nombre de coups de mouton,
- un repérage de la profondeur à l'aide d'un marquage indélébile par rainurage des tiges de battage selon un intervalle de 10 cm.

Un système d'enregistrement automatique du nombre de coups et de l'enfoncement du train de tiges peut être utilisé pour autant qu'il permette un contrôle visuel permanent.

6 MODE OPÉRATOIRE

6.1 Contrôles à effectuer

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

6.1.1 Vérifications périodiques

Après toute modification de l'appareillage, les éléments suivants doivent être vérifiés comme ils l'ont été à la première mise en service :

- masses et dimensions des composants du pénétromètre,
- hauteur de chute du mouton,
- vitesse de percussion du mouton,
- énergie de percussion incidente (la procédure d'étalonnage fera l'objet d'une norme).

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

6.1.2 Avant essai

6.1.2.1 *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.

6.1.2.2 *Vérifications*

- de la rectitude des tiges au moyen d'une règle de référence,
- du vide intérieur des tiges et orifices et du bon fonctionnement du système d'injection de la boue,
- des dimensions de la pointe s'il s'agit d'une pointe récupérée,
- du fonctionnement du système de comptage ou d'acquisition du nombre de coups,
- de l'existence d'un moyen de repérage de la profondeur atteinte par la pointe et éventuellement de son initialisation dans le cas d'utilisation d'un enregistrement automatisé,
- de la solidarisation, dans le cas où un avant-trou est nécessaire, de la pointe avec son porte-pointe afin d'éviter sa perte sur la hauteur de l'avant-trou,
- de la hauteur libre afin de mettre en place un système de guidage si la distance entre la base du pénétromètre et le sol dépasse 3 m.

6.1.3 Pendant l'essai

Il faut au cours de l'ensemble des manœuvres s'assurer que :

- l'axe du train de tiges coïncide avec celui de l'effort de battage,
- les tiges et la pointe sont enfoncées verticalement. L'inclinaison maximale tolérée est de 2 % par rapport à la verticale pendant le battage,
- la boue de forage est injectée sous une pression juste suffisante pour qu'elle puisse remplir l'espace annulaire entre le sol et le train de tiges.

6.1.4 Après essai

Lors de l'extraction du train de tiges du sol, la rectitude des tiges est contrôlée avec une règle de référence.

6.2 Réalisation de l'essai

Sous l'effet de la chute du mouton à la cadence de 15 à 30 fois par minute, le train de tiges est battu d'une manière continue.

Tout arrêt du battage excédant 5 min ou tout arrêt pour rallonger le train de tiges doit être indiqué sur la feuille d'essai.

Le nombre de coups de mouton nécessaire pour enfoncer la pointe de 10 cm est noté en fonction de la longueur totale des tiges introduites dans le sol.

La masse du mouton doit être adaptée en cours de battage et choisie parmi l'une des quatre masses 32, 64, 96, 128 kg afin que le nombre de coups, pour un enfoncement de 10 cm, soit compris entre 2 et 30 inclus, sauf hétérogénéité locale (blocs, vides, passages faibles...).

La fin de l'essai correspond à la satisfaction de l'une des conditions suivantes :

- la profondeur déterminée préalablement est atteinte,
- l'enfoncement sous 30 coups de mouton est inférieur ou égal à 10 cm avec la masse de 128 kg,
- le rebond du mouton est supérieur à 5 cm.

La perte totale de la boue d'injection est également un critère d'arrêt de l'essai qui peut cependant être poursuivi hors norme.

7 PROCÈS-VERBAL D'ESSAI

Le procès-verbal comporte les informations minimales suivantes :

- la référence à la présente norme NF P 94-114,
- la date de l'essai,
- le nom de la firme qui a réalisé l'essai,
- l'identification de l'essai, la référence du plan d'implantation et les coordonnées de l'essai,
- le niveau du début de l'essai de pénétration dynamique par rapport à la surface du sol et la cote altimétrique du sol par rapport à un système de référence précisé,
- les valeurs de la résistance dynamique de pointe q_d en fonction de la profondeur présentées sous forme graphique avec échelles arithmétiques. Pour une même opération, une convention unique d'échelles adaptées aux sols rencontrés est adoptée,
- la masse du mouton utilisé en fonction de la profondeur,
- les caractéristiques des différents éléments du pénétromètre (masse des tiges, de la pointe, du porte-pointe, de l'enclume),
- les observations liées à la réalisation de l'essai ainsi que les incidents et les détails opératoires non prévus dans la norme.

Sur demande, les valeurs numériques de la masse du mouton et du nombre de coups de mouton (N_{d10}) en fonction de la profondeur seront fournies sous forme de tableau.

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

ANNEXE A

(fait partie intégrante de la norme)

Tableau 1 — Caractéristiques principales du pénétromètre dynamique type A

	Désignation		Symbole	Unité	Valeur	Tolérance d'utilisation
Mouton	Masses		m_1	kg	32	0 % — 1
			m_2	kg	64	
			m_3	kg	96	
			m_4	kg	128	
	Hauteur de chute		H	m	0,75	± 0,02
	Élancement - Rapport longueur sur largeur D_m du mouton		—	—	1 à 2	—
	Cadence de battage		—	Coups/min	15 à 30	—
Enclume	Diamètre		—	cm	$< 0,5 D_m$ > 10	—
	Masse	Enclume seule	—	kg	10 à 15	—
		Enclume et guidage solidarisés	—	kg	≤ 25	—
Tiges	Longueur		—	m	1 à 2	± 0,1 %
	Masse		—	kg/m	4,0	— 0,5 + 1,0
	Diamètre extérieur		d_t	mm	42,5	± 3,5
Pointe	Aire de la section droite		A	cm ²	30	—
	Diamètre extérieur		d	mm	61,8	+ 0,4 — 1,8
	Longueur de la partie conique		l_2	mm	30,9	+ 0,2 — 2,0
	Longueur de la partie cylindrique		l_1	mm	61,8	+ 0,4 — 5
Porte-pointe	Masse		—	kg	≤ 4	—
	Diamètre extérieur		d_t	mm	42,5	± 3,5
	Orifices d'injection	Diamètre	—	mm	5	— 0 + 0,2
		Distance à la pointe	l	mm	< 20	—

ANNEXE B

(ne fait pas partie intégrante de la norme)

EXEMPLE DE PRÉSENTATION DES RÉSULTATS

B.1 Procès-verbal

Il comporte une présentation graphique des résultats dont un exemple est donné figure B.1.

B.2 Feuille de chantier

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

Essai de pénétration dynamique PDA Effectué conformément à la norme NF P 94-114		N° de dossier
Firme	Date	N° de l'essai D
Lieu	X Y Z	

Résistance dynamique de pointe q_d (MPa)		32 64 128
0		
5		
10		
15		32 64 128
20		
Caractéristiques du pénétromètre dynamique PDA		
Masse totale : enclume et guidage du mouton kg Hauteur de chute du mouton : 0,75 m Aire de la section droite de la pointe : 30 cm ²	Longueur des tiges : m Masse d'une tige : kg Masse de la pointe : kg Masse du porte-pointe : kg	

Figure B.1 — Procès-verbal de l'essai de pénétration dynamique PDA