

# L'essai pressiométrique

## Etat de l'art de sa conception et de sa réalisation

*Ph. WELTER (S.P.W. – Direction de la Géotechnique)*

*et V. FIQUET (Directeur de l'OREX)*



Service public de Wallonie



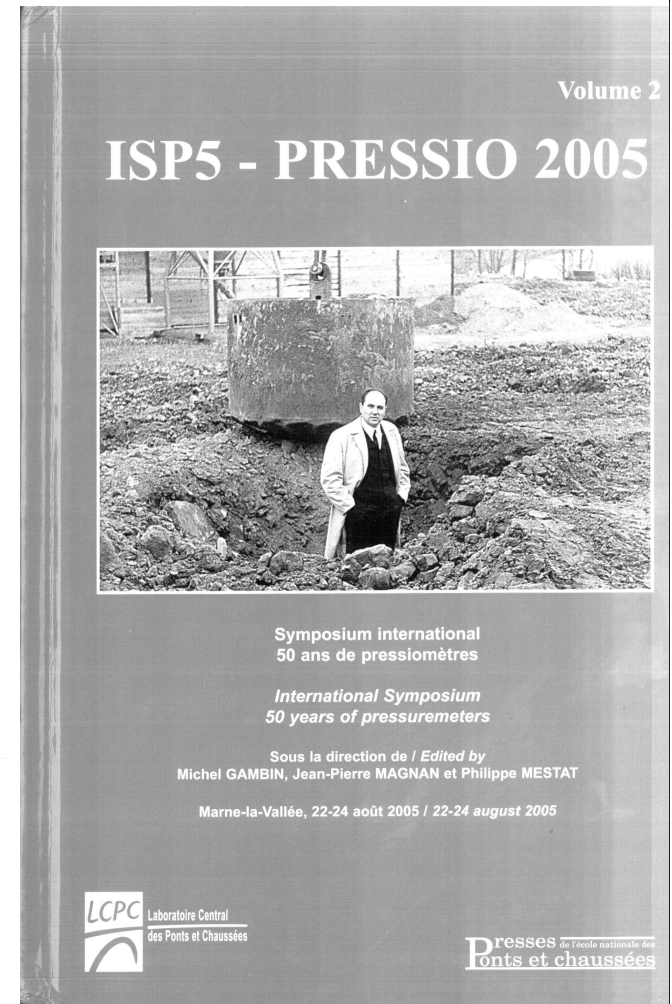
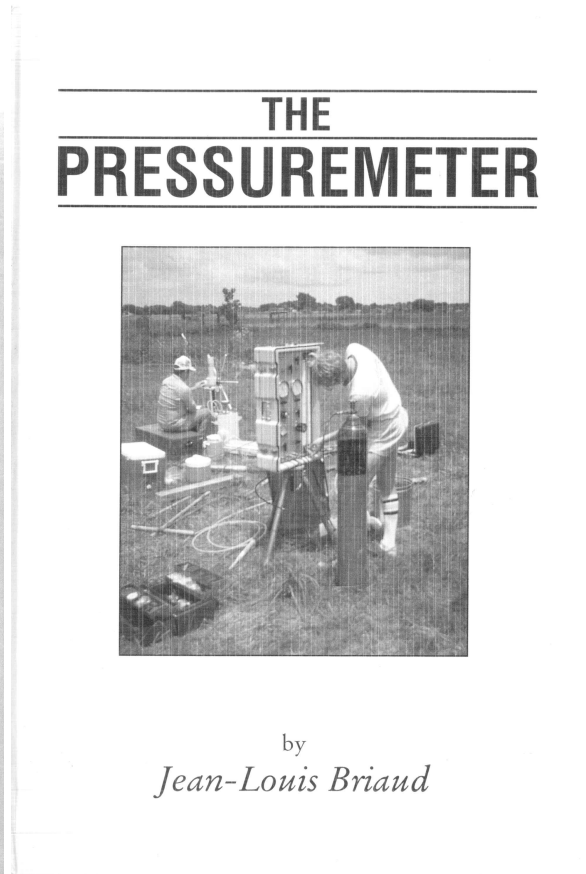
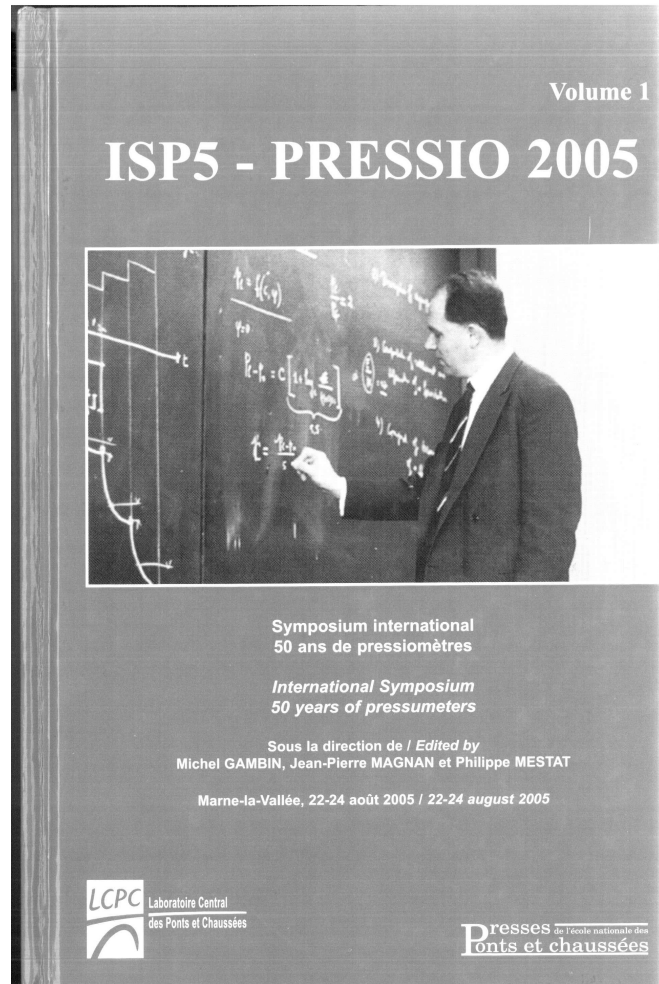
**OREX  
GEOTECHNICS**

Louvain-la-Neuve – 24 février 2011



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

# Documents de référence



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

2 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



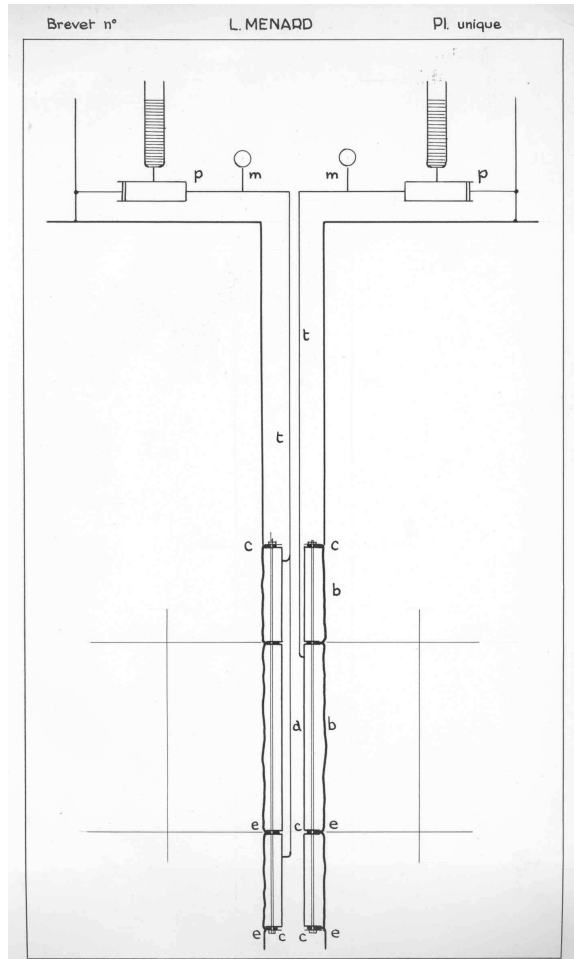
OREX  
GEOTECHNICS



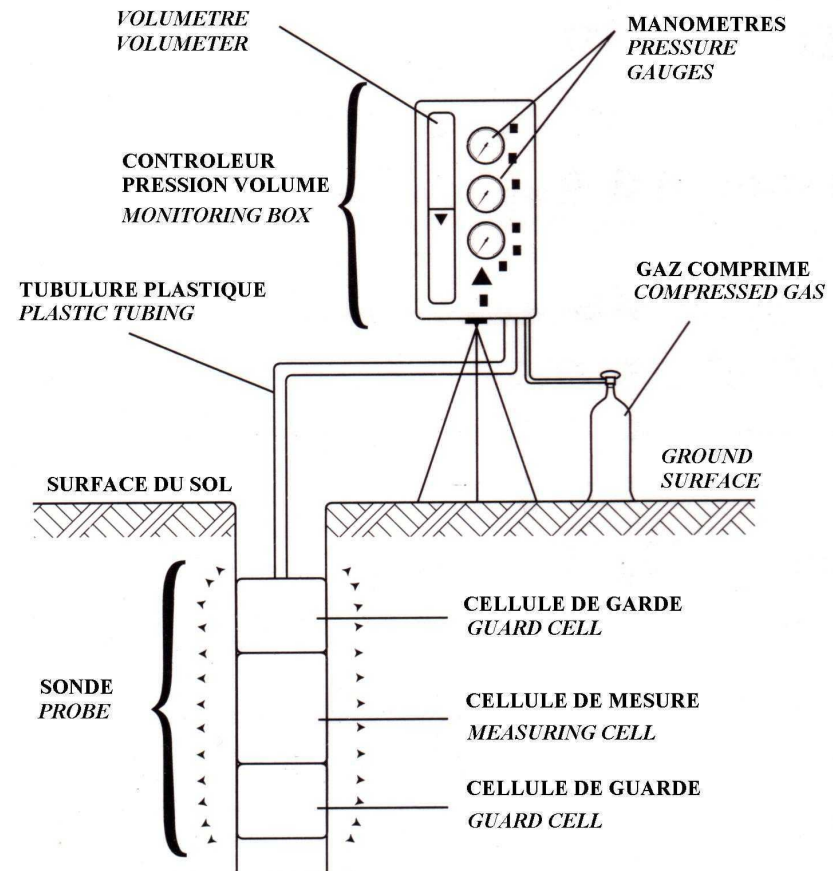
Service public de Wallonie

**Principe de l'essai : introduire dans le sol une sonde déformable et déterminer la relation pression/volume de la sonde**  
**=> obtention de la relation contraintes/déformations du sol**

*Selon le 1er brevet de L. MENARD (1955)*



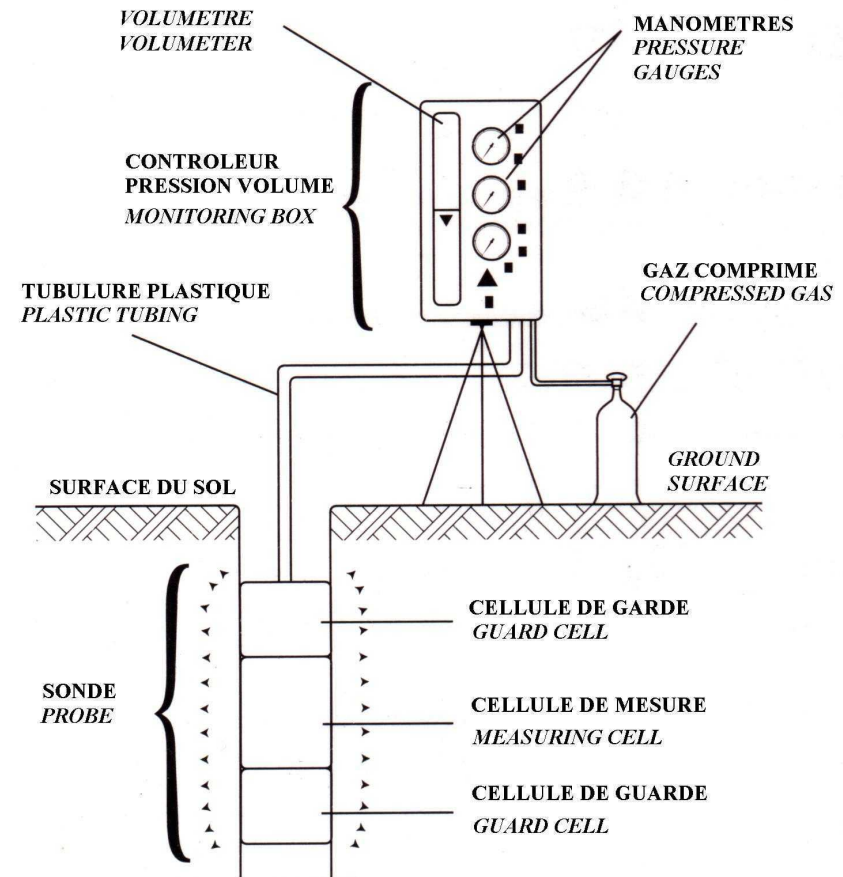
*selon M. GAMBIN (2005)*



**Principe de l'essai** : introduire dans le sol une sonde déformable et déterminer la relation pression/volume de la sonde  
=> **obtention de la relation contraintes/déformations du sol**

selon M. GAMBIN (2005)

« L'essai pressiométrique est un essai de chargement statique pratiqué dans le sol en place au cours duquel on mesure l'expansion de la paroi d'un forage à l'aide d'une sonde cylindrique dilatable en fonction de la pression appliquée au sol par cette sonde »





# Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD

RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
MINISTÈRE  
DE L'INDUSTRIE ET DU COMMERCE  
SERVICE  
de la PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE

## BREVET D'INVENTION

Gr. 12. — Cl. 3.

N° 1.117.983

Classification internationale :

G 01 7

Pressiomètre.

M. LOUIS-FRANÇOIS-AUGUSTE MÈNARD résidant en France (Seine).

Demandé le 19 janvier 1955, à 15<sup>h</sup> 6<sup>m</sup>, à Paris.

Délivré le 5 mars 1956. — Publié le 30 mai 1956.

La présente invention concerne un appareil dénommé « pressiomètre » destiné à l'expérimentation d'un terrain *in situ* en vue de la détermination subséquence des caractéristiques principales de ce terrain, à savoir; le module de compression, l'angle de frottement interne, la cohésion, caractéristiques dont la connaissance précise est très importante dans divers cas et en particulier lorsque ledit terrain doit supporter une fondation.

Selon l'invention, le principe de l'expérimentation *in situ* consiste à introduire dans un trou de sondage à des profondeurs échelonnées, une cellule cylindrique déformable diamétralement, de diamètre correspondant à celui du trou de sondage et sans réaction élastique propre, que l'on gonfle à la demande et conformément à un programme « pression-temps » approprié, avec un fluide incompressible.

sécurité convenable, en regard des cellules extrêmes supérieure et inférieure.

La (les) cellule ((s) intermédiaire(s) dont on enregistrera le gonflement en fonction de la pression, n'opèrera (ront) qu'en regard d'une portion cylindrique des surfaces isostatiques.

Il va de soi qu'au cours de l'expérimentation les cellules extrêmes supérieure et inférieure, devront être portées à une pression du même ordre que celle de la (des) cellule (s) intermédiaire (s). On pourra, si on le désire, enregistrer le gonflement de ces cellules supérieure et inférieure, mais uniquement à titre empirique, tandis que l'enregistrement du gonflement de la (des) cellule(s) intermédiaire(s) servira seul à l'établissement des diagrammes à interpréter.

Dans ce qui va suivre, la (les) cellule (s) intermédiaire (s) sera dite (seront dites) « de mesure », et

Né en 1931

Diplômé de l'ENPC en 1954

Séjour aux Etats-Unis chez Ralph Peck

**1er brevet en 1955**

2ème brevet en 1959

Crée en 1957 « les pressiomètres L. MENARD S.A. »

Crée en 1962 « les Techniques L. MENARD » et « les Etudes Pressiométriques L. MENARD »

Développe le compactage dynamique – type MENARD

Décède en janvier 1978



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

5 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



## Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD

On connaît déjà, notamment par le brevet français n° 1.117.983 du 19 janvier 1955, un dispositif d'étude de la déformation sous charge d'un milieu homogène constitué par au moins trois cellules cylindriques gonflables, de même diamètre, disposées bout à bout, que l'on insère dans un forage du milieu à étudier. Ces cellules sont soumises à la même pression de fluide et des moyens de mesure permettent de connaître, d'une part, la pression régnant dans la cellule centrale, d'autre part, son augmentation de volume.

Dans une telle réalisation, les deux cellules extrêmes sont destinées à assurer, aux deux extrémités de la cellule centrale, des déformations du milieu à étudier égales à celles que provoque ladite cellule centrale, de façon que le champ de forces exercé sur le milieu à étudier par la cellule centrale soit rigoureusement cylindrique, ce qui permet de calculer la déformation par unité de surface du milieu à partir de la déformation globale subie par ce milieu sur la surface totale de la cellule cylindrique centrale.

La présente invention a pour objet des perfectionnements à ce genre d'appareils assurant un équilibrage rigoureux des pressions entre la cellule centrale et les cellules extrêmes et permettant l'utilisation de cet appareil avec de fortes pressions dans des milieux peu déformables (tels que les terrains à grande profondeur ou le béton) ou dans des milieux dépourvus de cohésion (tels que le sable).

Né en 1931

Diplômé de l'ENPC en 1954

Séjour aux Etats-Unis chez Ralph Peck

1er brevet en 1955

**2ème brevet en 1959**

Crée en 1957 « les pressiomètres L. MENARD S.A. »

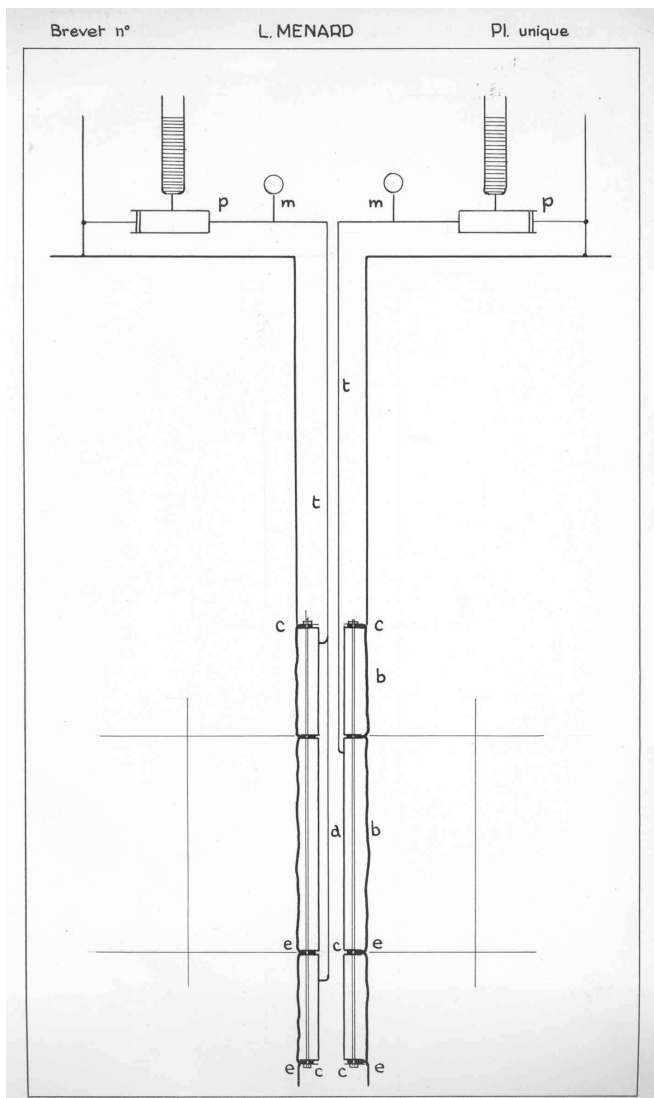
Crée en 1962 « les Techniques L. MENARD » et « les Etudes Pressiométriques L. MENARD »

Développe le compactage dynamique – type MENARD

Décède en janvier 1978



## Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD



### PROTOTYPE TYPE A (celui du brevet en 1955)

- 2 pompes
- 2 volumètres
- Les cellules de garde sont gonflées à l'eau
- Diamètre du forage = 140mm



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

7 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF

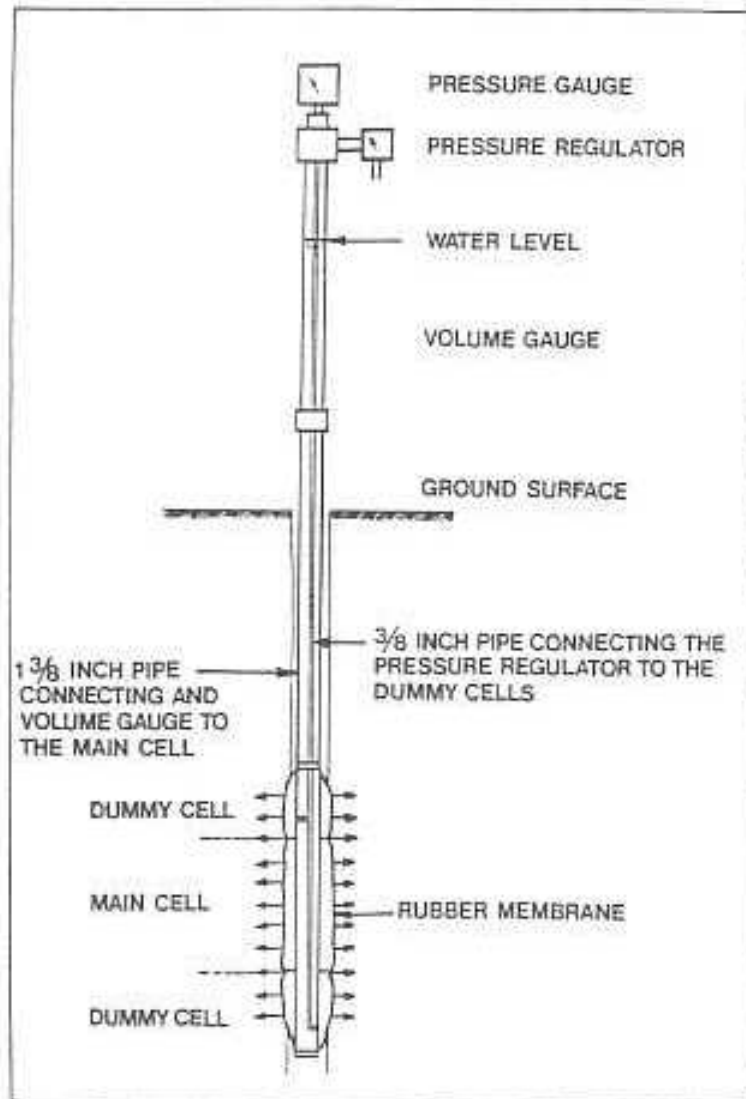


OREX  
GEOTECHNICS



Service public de Wallonie

## Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD



### PROTOTYPE TYPE B (1956)

- 1 volumètre dans le prolongement du tube métallique
- Les cellules de garde sont gonflées à l'air
- Diamètre du forage = 50mm
- Relativement peu maniable





## Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD

### TYPE C et D (1957 - 1958)

- Plus léger et plus maniable
- Volumètres en matière translucide et à lecture directe
- les cellules de garde sont gonflées à l'air
- Profondeur d'investigation maximum = 12m
- Pression maximum = 1MPa.

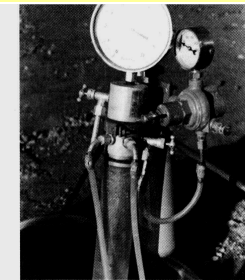
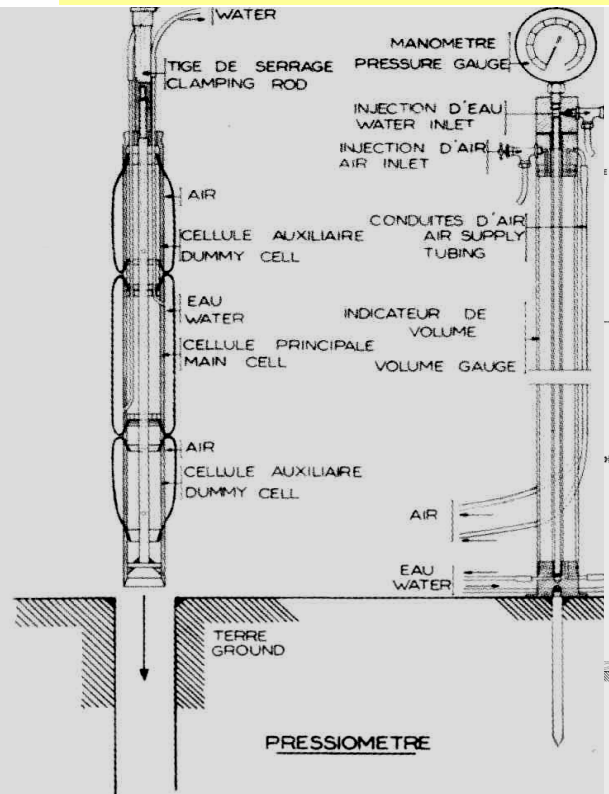
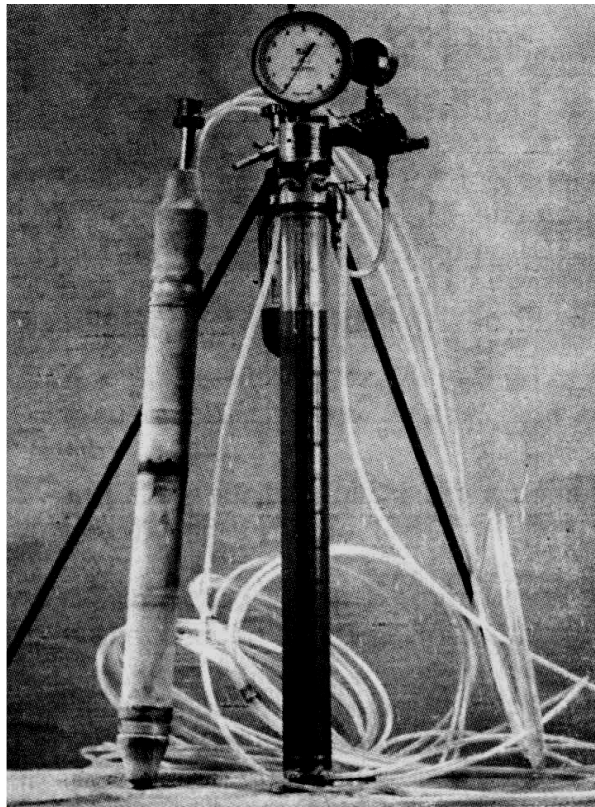


Figure 4. Pressiometre de type D (1958)

Les premières générations véritablement opérationnelles sont celles des types C et D munis de volumètres en matière translucide et à lecture directe.

Le pressiometre de type C (Figure 3), mis en service en 1957, beaucoup plus léger et maniable, n'a toutefois pas eu une longue existence, car très rapidement les utilisateurs se sont aperçus que les embouts en aluminium du volumètre étaient relativement poreux. C'est pourquoi, dès 1958, fut lancée la série des pressiometres de type D (Figure 4).

Ces appareils permettaient d'atteindre des profondeurs d'environ 12 mètres et des pressions de 1 MPa. Dans la même série, une variante à deux volumètres a été mise en service en 1959 mais elle n'a pas eu un grand développement (Figure 5).

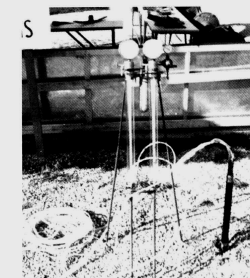


Figure 5. Pressiometre de type D à deux volumètres

127



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

9 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



OREX  
GEOTECHNICS

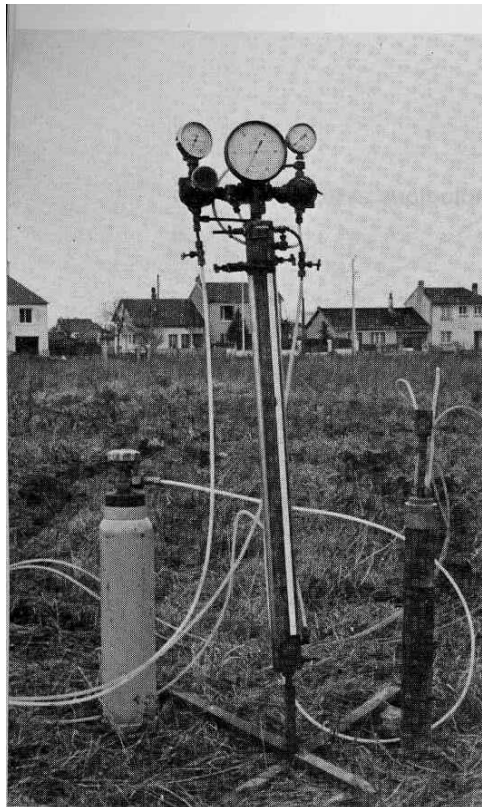


Service public de Wallonie

## Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD

### TYPE E (1960)

- Plus léger et plus maniable
- les cellules de garde sont gonflées à l'air
- Profondeur d'investigation maximum = 12m
- Pression maximum = 2,5MPa avec une précision de lecture de 1/100cm<sup>3</sup>.



a) vue d'ensemble

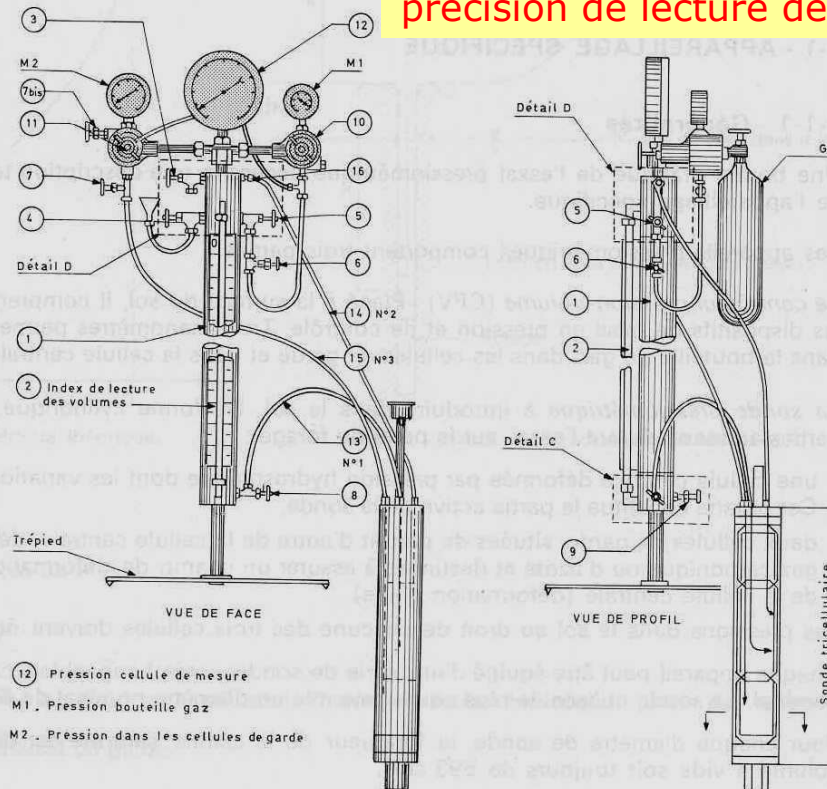


Fig. 3 - Pressiomètre type E.

b) schéma de principe

### Diamètres

- 60mm
- 80 et 100mm
- 44mm
- 76mm



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

10 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



OREX  
GEOTECHNICS



Service public de Wallonie



# Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD

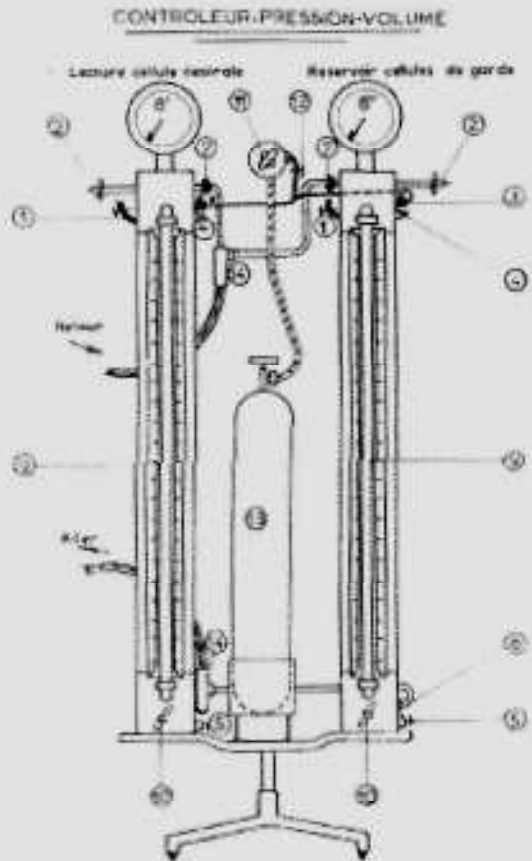


Figure 8. Pressiomètre de type F – Contrôleur-pression-volume

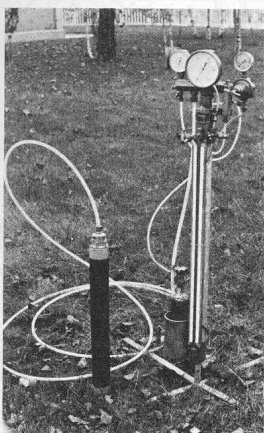
## TYPE F (1963)

- **Isolement** possible entre le volumètre principal et le tube de lecture => meilleure précision de mesures
- les cellules de garde sont gonflées à **l'eau**  
(=> 2ème volumètre)
- Les tubes d'alimentation deviennent **coaxiaux**

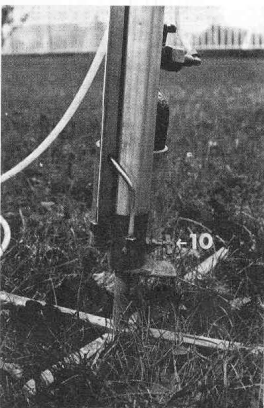


# Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD

Fig. 9 - Pressiomètre type G.



a) vue d'ensemble



b) détail de la partie basse du CPV

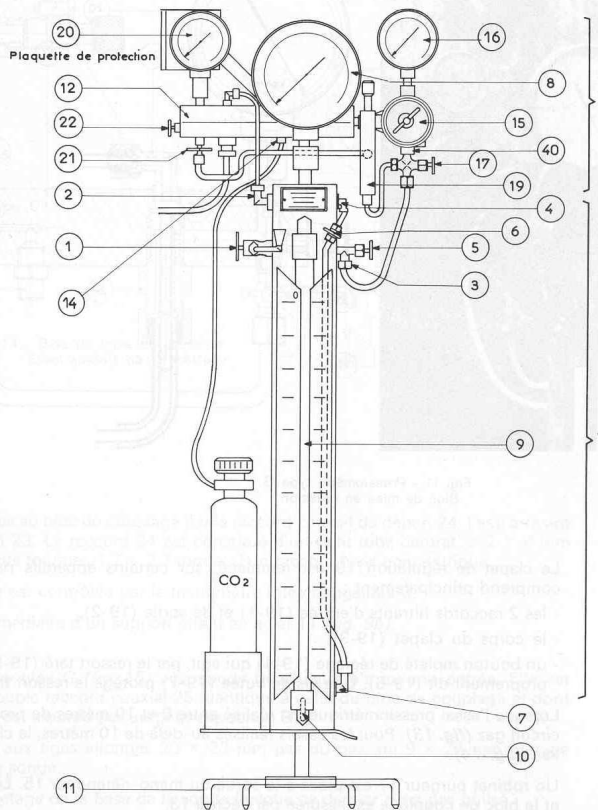


Fig. 10 - Pressiomètre type G - Ensemble du CPV.

## TYPE G (1965)

- Les membranes souples qui isolent les cellules de garde sont supprimées
- les cellules de garde sont gonflées à l'air
- Nécessité d'un manomètre différentiel
- Les tubes d'alimentation restent coaxiaux (l'eau au centre, l'air à l'extérieur)

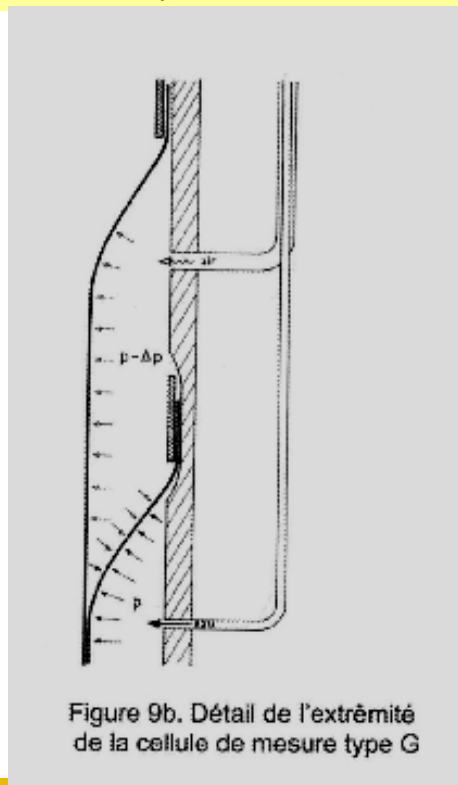
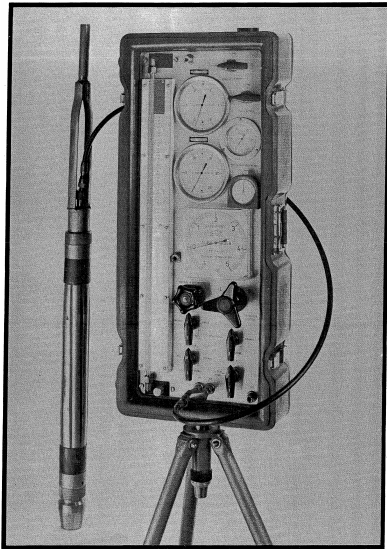


Figure 9b. Détail de l'extrémité de la cellule de mesure type G





## Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD



Pressiomètre Type GA

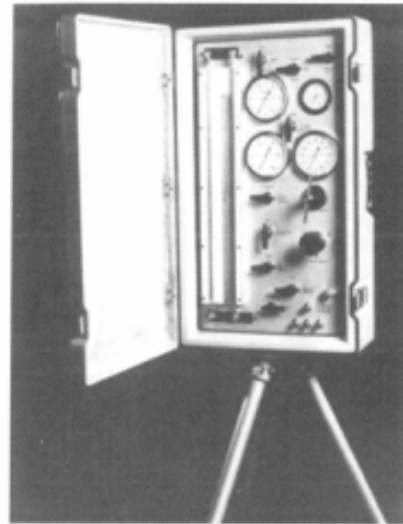


Figure 11. Pressiomètre de type GB (1973)

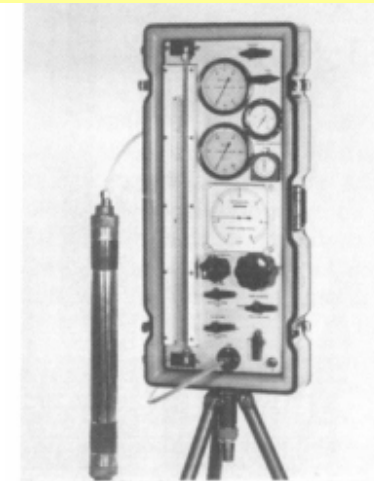


Figure 12. Pressiomètre de type GC (1975)

### TYPES G

- GB (1973) : les cellules de garde sont gonflées à l'eau. Présentation du CPV modernisée.
- GC (1975) : les cellules de garde sont gonflées à l'air.
- GA (1976) : permet l'installation d'une sonde de 76mm de diamètre plus longue que les sondes usuelles (diam. 44 ou 60mm).
- = appareils actuels, généralement de type GA, mais avec manomètres différents selon les plages de pression utilisée.



## Historique : L'invention et les développements de Louis MENARD



PAC (1985) = Pressiomètre assisté par ordinateur (trop en avance sur son temps).

➤ SPAD (1992) = Système Pressiométrique d'Acquisition de Données.

➤ Télétransmission par GSM.

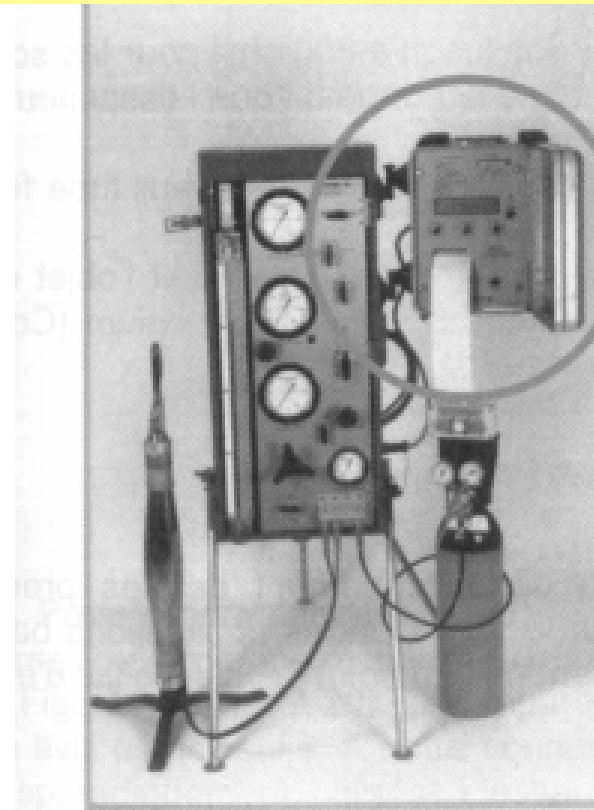


Figure 14. SPAD (1992)



## Historique : Documents de références

La qualité d'un essai pressiométrique – sa représentativité – réside essentiellement dans la **méthode de mise en place de la sonde dans le terrain**

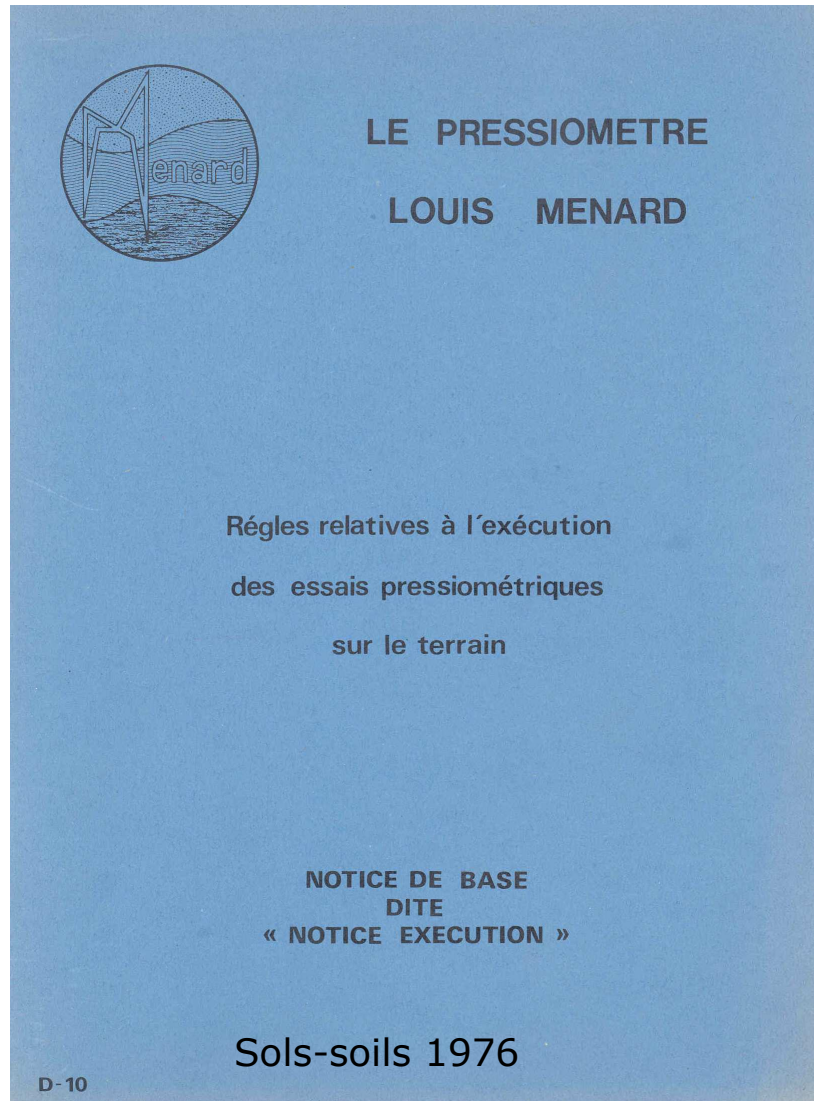
Alors que la qualité d'un forage de reconnaissance s'évalue dans la représentativité des échantillons prélevés (voir norme NBN EN ISO 22475-1), la qualité d'un essai pressiométrique s'évalue dans la **qualité du trou de forage au moment de la mise en place de la sonde pressiométrique.**

Plusieurs techniques :

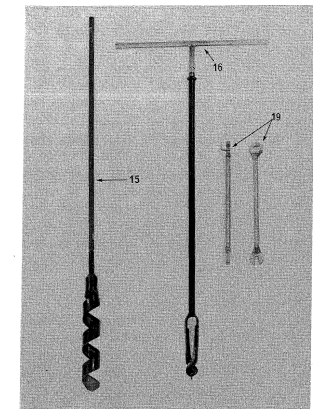
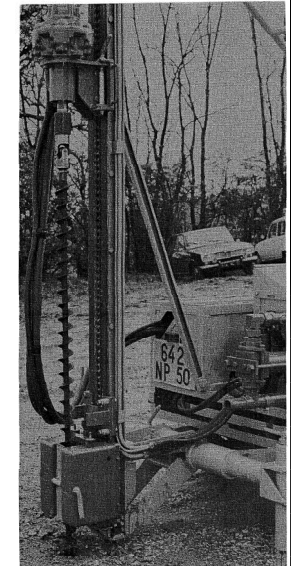
- préforage à la tarière (forage à main ou à la machine)
- préforage destructif en roto-percussion (taillants)
- Préforage par rotation (tarière hélicoïdale, outils désagrégateurs à dents, trépan, ...)
- préforage au carottier (battu)
- par battage, vibrofonçage, ...
- à sec ou sous boue bentonitique
- autoforage (rétrojet, outil désagrégateur)
- STAF (autoforage du tube fendu)



# Historique : Documents de référence



<b>1</b>	<b>Mise en place de la sonde pressiométrique</b>	<b>7</b>
1.1.	<i>Généralités</i>	7
1.2.	<i>Introduction de la sonde pressiométrique avec refoulement du sol (battage, vibro-fonçage)</i>	8
1.3.	<i>Réalisation d'un forage préalable</i>	14
1.4.	<i>Introduction du tube fendu avec enlèvement simultané des matériaux (fig. 20)</i>	19
1.5.	<i>Fonctionnement d'une unité pressiométrique</i>	21
1.6.	<i>Choix du matériel de forage</i>	22
<b>2</b>	<b>Réalisation de l'essai pressiométrique</b>	<b>23</b>
2.1.	<i>Généralités</i>	23
2.2.	<i>Préparation de l'essai (type GC/GA)</i>	23
2.3.	<i>Réalisation de l'essai (voir mode opératoire GC/GA)</i>	24



Par rapport à la procédure détaillée de 1955, les procédures ultérieures ont suivi les développements technologiques (CPV, sondes et techniques de forage) et ont modifié la durée des paliers de pression.



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

16 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



OREX  
GEOTECHNICS



Service public de Wallonie



# Historique : Documents de référence



## Sommaire

	Introduction	3
1	Réalisation de l'essai pressiométrique	3
2	Analyse des résultats obtenus	7
3	Calcul de la force portante	15
4	Calcul du tassement d'une fondation	30
5	Estimation des tassements différentiels et valeurs admissibles	38
	Conclusions	

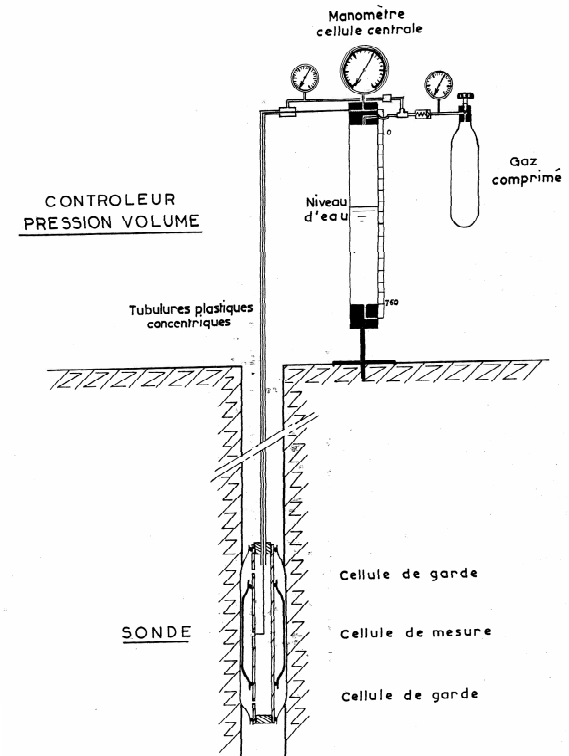


Fig:1

## Annexes (formant documents séparés)

- Calcul rapide de la force portante ou de la fiche d'un pieu (D 32)
- Calcul d'un dé de fondation (D 33)
- Calcul rapide de la force portante d'une paroi moulée (D 35)
- Estimation rapide des tassements (D 37)
- Détermination de la poussée (D 38)



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

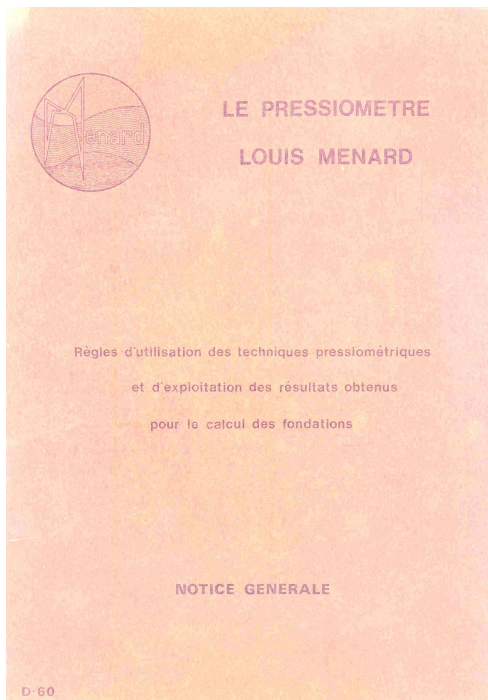
17 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



OREX  
GEOTECHNICS



Service public de Wallonie



Les appareils de mesure actuellement en service appartiennent au type G, caractérisé par deux tubulures d'alimentation eau et air concentriques pour réduire les dilatations parasites, ce qui permet d'étendre leur plage d'utilisation aux rochers résistants (module E supérieur à 200.000 bars).

L'équipement standard des sondes avec des gaines à lamelles métalliques permet de tester la majorité des sols.

Dans le cas des sols très compressibles caractérisés par une pression limite inférieure à 1,5 bar, il convient d'utiliser une membrane et une gaine très souples avec inertie totale inférieure à 0,6 bar ; c'est le cas pour les vases et tourbes.

A l'inverse pour les modules très élevés (supérieurs à 20.000 bars), on emploiera des gaines et membranes résistantes, étalonnées au préalable ; ces membranes sont caractérisées par une compressibilité plus faibles et plus régulière.

Lorsque la variation de volume correspondant à une différence de 1 bar devient inférieure à 0,5 cm<sup>3</sup> (module supérieur à 4.000 bars), on doit utiliser le shunt volumétrique qui multiplie par 50 la sensibilité des lectures de volume.

Il convient enfin de signaler la mise en service récente d'un appareillage plus simple appelé mini-pressiomètre et qui est adapté au contrôle du compactage et aux investigations de sol à faible profondeur ; les sondes utilisées dans ce cas sont plus courtes et correspondent aux diamètres de 22 et 32 mm.

## Historique : Documents de référence



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

18 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



# Historique : Documents de référence

MODES OPÉRATOIRES DU LABORATOIRE CENTRAL DES PONTS ET CHAUSSÉES

## Essai pressiométrique normal

MODE OPÉRATOIRE MS.IS-2

**DUNOD**  
PARIS  
1971

### SOMMAIRE

CHAPITRE 1 — GENERALITES	
1.1 - Définition et but de l'essai	4
1.2 - Principe de la méthode	4
1.3 - Caractéristiques pressiométriques	4
1.4 - Symboles utilisés	4
CHAPITRE 2 — APPAREILLAGE	
2.1 - Appareillage spécifique	7
2.1.1 Généralités	7
2.1.2 Le pressiomètre type E	7
2.1.3 Le pressiomètre type G	11
2.2 - Appareillage de mise en place des sondes	16
2.2.1 Le forage préalable	16
2.2.2 Introduction directe de la sonde avec refoulement du sol.	20
2.2.3 Introduction directe de la sonde sans refoulement du sol.	21
2.3 - Appareillage d'usage courant	21
CHAPITRE 3 — MISE EN PLACE DES SONDES PRESSIOMETRIQUES	
3.1 - Argiles	22
3.2 - Limons et silts	23
3.3 - Sables	23
3.4 - Graves	24
3.5 - Rocher	24
CHAPITRE 4 — EXECUTION DE L'ESSAI	
4.1 - Pressiomètre type E	24
4.2 - Pressiomètre type G	28
CHAPITRE 5 — CALCULS ET RESULTATS	
5.1 - Renseignements généraux et paramètres à relever avant l'essai pressiométrique	32
5.2 - Tracé des courbes	32
5.3 - Calcul des caractéristiques pressiométriques	34
5.4 - Présentation des résultats	37
CHAPITRE 6 — COMMENTAIRES	40



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

19 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



# Historique : Document de référence - Norme AFNOR P94-110 (1991)

ISSN 0335-3931

NF P 94-110

Juillet 1991

norme française

Sols : Reconnaissance et essais  
**Essai pressiométrique Ménard**

E : Soil : Investigation and testing — Menard pressuremeter test  
D : Boden : Erkundung und Prüfungen — Pressiometer-Versuch nach Menard

Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnor le 28 juin 1991 pour prendre effet le 28 juillet 1991.

**correspondance** A la date de publication de la présente norme, il n'y a pas de travaux internationaux ou européens sur ce sujet.

**analyse** La présente norme concerne un essai de chargement de sol en place réalisé à l'aide d'une sonde tricellulaire et à pression contrôlée. Elle définit les termes employés ainsi que les paramètres mesurés en spécifiant les caractéristiques de l'appareillage. Elle fixe le mode opératoire de l'essai, fournit la méthode de calcul des différents paramètres et précise les résultats à présenter.

**descripteurs** Thésaurus International Technique : sol, essai en place, essai à la pression, appareillage, caractéristique.

modifications

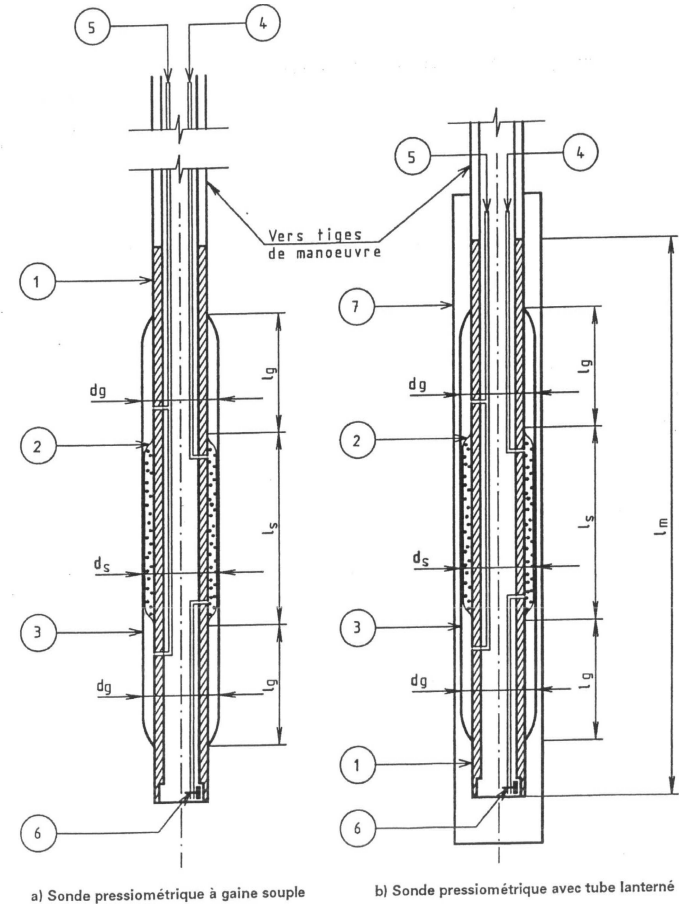
corrections

éditée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), tour europe cedex 7 92049 paris la défense — tél. : (1) 42 91 55 55

afnor 1991

© afnor 1991

1<sup>er</sup> tirage 91-07



- ① Âme métallique creuse
- ② Membrane de la cellule de mesure
- ③ Gaine externe
- ④ Tubulure pour injection dans la cellule de mesure
- ⑤ Tubulure pour injection dans les cellules de garde
- ⑥ Système de purge de la cellule de mesure
- ⑦ Tube lanterne

Figure 6 — Sonde pressiométrique



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

20 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



OREX  
GEOTECHNICS



Service public de Wallonie



# Historique : Document de référence - Norme AFNOR P94-110 (1991)

Tableau C.1 — Méthodes de réalisation des forages pressiométriques

Nature des terrains	Forage préalable						Battage et autres			Refoulement
	Rotation *						BATTAGE			
	T.S.	T.IN.°	THC	O. DG. IN	CAR.	ROTOP.	CAR. BAT.	CAR. VBF	TF	BAT/VBF
Vase et argiles molles	—	R	—	O	—	—	—	O	—	—
Argiles moyennement compactes	R	R	R	R	O	—	—	O	—	—
Argiles compactes, marnes raides			R	R	R	O	—	—	—	—
Limons	R	O	R	O	—	—	O	O	O	—
— au-dessus de la nappe	—	R	—	O	O	O	—	—	—	—
— sous la nappe	—	R	—	O	O	O	—	—	—	O
Sables lâches	R	R	O	O	—	—	O	O	O	—
— au-dessus de la nappe	—	R	—	O	—	—	—	—	—	—
— sous la nappe	—	R	—	O	—	—	—	—	—	O
Sables moyennement compacts et compacts	R	R	R	R	—	—	R	O	O	O*
Sols grossiers : graviers, galets, argiles à silex, etc.			O	O	O	R	O	O	O	O*
Roches			R	R	O	R	O	O	O	O*
— altérées			R	R	O	R	O	O	O	O*
— saines			R	R	R	R	O	O	O	O*

**Légende :**

<b>R</b> Recommandé	T.S. Tarière à sec	T.IN.° Tarière avec injection de boue de forage
<b>O</b> Toléré	THC Tarière hélicoïdale continue à sec	CAR. Carottier
— Non toléré	O. DG. Outil désagrégateur	IN Avec injection de boue
— Inadapté	ROTOP. Rotopercussion	poing Carottier à parois minces foncé
	BAT. Battage	VBF Vibroforage
	TF Tube fendu	

- \* Vitesse de rotation < 60 tr/min
- + éventuellement forage préalable en petit diamètre ( $d_1 < d_2$ )
- [ Injection avec boue (pression < 500 kPa — débit < 15 l/min) Si rotation = pression sur l'outil < 200 kPa

Tableau C.2 — Longueur maximale de forage fait avant l'essai

Nature des terrains	Longueur maximale de forage fait avant l'essai (m)
Vase et argiles molles	1**
Argiles moyennement compactes	3
Argiles compactes, marnes raides	5
Limons	5
— au-dessus de la nappe	3
— sous la nappe	3
Sables lâches	3
— au-dessus de la nappe	1**
— sous la nappe	3
Sables moyennement compacts et compacts	5
Sols grossiers : graviers, galets, argiles à silex, etc.	5
Roches	5
— altérées	*
— saines	*

\* Longueur maximale correspondant au poste de travail.  
\*\* Ou intervalle entre deux essais consécutifs.

Le forage et les essais pressiométriques doivent être réalisés pendant le même poste de travail.

ESSAI PRESSIOMETRIQUE MÉNARD											
Temp. : Mètres : cm <sup>3</sup>		Efficacité conformément à la norme NF P 94-110									
N° Dossier :		LIEU :				SONDAGE :					
N° Forage :		CHANTIER :				MATERIEL DE FORAGE :					
DATE :		HEURE :		OUTIL :		Ferage fait avant l'essai :		m			
MATERIEL DE FORAGE :		CIV N° :		SAINTE SOUPLE :		Cote conditionnel :		Cote essai :			
DIFFERENCES PRESSION :		P <sub>1</sub> :		P <sub>2</sub> :		P <sub>3</sub> :		P <sub>4</sub> :		P <sub>5</sub> :	
P <sub>1</sub> :		P <sub>2</sub> :		P <sub>3</sub> :		P <sub>4</sub> :		P <sub>5</sub> :		P <sub>6</sub> :	
V <sub>1</sub> :		V <sub>2</sub> :		V <sub>3</sub> :		V <sub>4</sub> :		V <sub>5</sub> :		V <sub>6</sub> :	
N° :		N° :		N° :		N° :		N° :		N° :	
P <sub>1</sub> :		P <sub>2</sub> :		P <sub>3</sub> :		P <sub>4</sub> :		P <sub>5</sub> :		P <sub>6</sub> :	
V <sub>1</sub> :		V <sub>2</sub> :		V <sub>3</sub> :		V <sub>4</sub> :		V <sub>5</sub> :		V <sub>6</sub> :	
N° :		N° :		N° :		N° :		N° :		N° :	
0	0										
1	7										
2	8										
3	9										
4	10										
5	11										

COURBE BRUTE

SCHEMA

OPERATEUR : OBSERVATIONS : Cote nappe : z<sub>0</sub> = m

FIRME : ADRESSE : TEL. :

## D.4 Pression limite pressiométrique

C'est par convention la pression qui entraîne le doublement du volume de la cellule centrale de mesure. Cela correspond à un volume de liquide injecté :  $V = V_s + 2 V_1$ . Elle s'exprime en kilopascals ou mégapascals.

Lorsque, au cours d'un essai d'expansion de la sonde pressiométrique, le volume de liquide injecté  $V$  est insuffisant pour provoquer le doublement du volume de la cellule centrale de mesure, la pression limite est calculée en respectant les règles ci-après :

- si le nombre de paliers de pression au delà de la pression  $p_1$  (définie en D.3) est inférieur ou égal à 2, alors :

$$p_l = 1,7 p_1 - 0,7 \sigma_{HS}$$

avec :

$\sigma_{HS}$  défini au paragraphe 4.2.2.

Cette expression résulte de la corrélation expérimentale :

$$p_l^* = 1,7 p_1^*$$

- si le nombre de paliers de pression au delà de la pression  $p_2$  est supérieur à 2, la courbe pressiométrique est extrapolée à partir du couple de valeurs ( $p_2, V_2$ ) suivant la loi :

$$Y = Ap + B$$

avec :

$$Y = V^{-1}$$

A et B : coefficients obtenus par la méthode «des moindres carrés» sur les valeurs expérimentales ( $Y, p$ )

Par convention, la pression limite est la valeur la plus faible des deux pressions suivantes :

$$p_l = - B/A + 1/ [A (V_s + 2 V_1)]$$

et

$$p_l = 1,7 p_1 - 0,7 \sigma_{HS}$$

En l'absence de données sur le sol, on adopte conventionnellement :

- un poids volumique  $\gamma$  de 18 kN/m<sup>3</sup>,
- une valeur de 0,5 pour le coefficient  $K_0$  de pression des terres au repos (voir paragraphe 4.2.1).

La pression limite nette est calculée à partir de :

$$p_l^* = p_l - \sigma_{HS}$$

avec :

$\sigma_{HS}$  défini au paragraphe 4.2.2.



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

21 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF

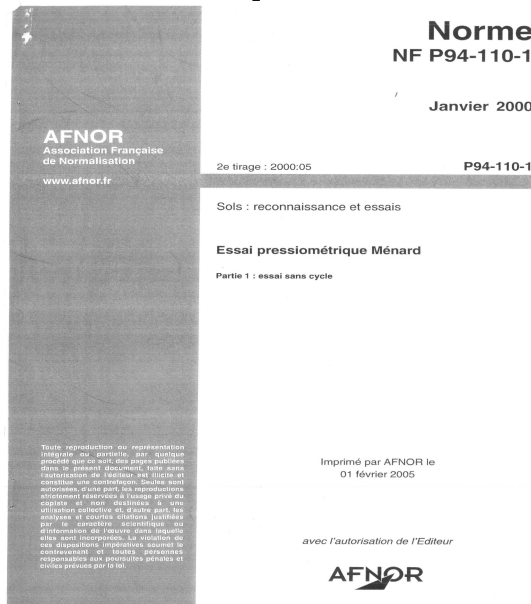


OREX  
GEOTECHNICS



Service public de Wallonie

# Historique : Document de référence - Norme AFNOR P94-110-1 (2000)



## Modifications

Par rapport au document destiné à être remplacé, les modifications portent sur :

- la caractérisation de la courbe d'expansion pressiométrique ;
- le dispositif de mesurage associé à une saisie et au stockage des valeurs mesurées (pression, volume, temps) sur un support physique ;
- les types de sonde utilisables et leurs caractéristiques géométriques ;
- la détermination de la pression limite pressiométrique.

## Corrections

Par rapport au 1<sup>er</sup> tirage, correction de la formule de calcul de la pression limite  $p_{lh}$ , au paragraphe D.3.2.2.

### 5.6 L'enregistreur

L'enregistreur (dispositif d'acquisition de données) doit être équipé :

- d'une horloge interne ;
- d'une imprimante ;
- d'un support d'enregistrement pouvant être relu par un micro-ordinateur.

L'enregistreur ne doit pas masquer les commandes d'acquisition et doit pouvoir restituer l'identification des capteurs ainsi que les lois de passage, entre les mesures brutes et les valeurs de pression et de volume archivées.

L'enregistreur ne doit imposer aucune modification au déroulement de l'essai conforme au paragraphe 6.3 et être conçu pour :

- fournir automatiquement ses caractéristiques propres : date, heure, minute, seconde, numéro du CPV, numéro de l'enregistreur, numéro du support d'enregistrement ;
- imposer l'introduction des informations nécessaires à l'identification de l'essai (voir paragraphe 6.1) ;
- ne pas permettre d'introduire des informations et des valeurs de pression et de volume en dehors du processus d'essai.

L'enregistreur doit comporter un système d'alarme ou d'affichage au moins dans les cas suivants :

- absence de support d'enregistrement ;
- absence des identificateurs de l'essai (voir paragraphe 6.1) ;
- défaut d'alimentation électrique.

La résolution du dispositif enregistreur numérique doit être inférieure ou égale à 5 kPa pour les pressions et inférieure ou égale à 0,5 cm<sup>3</sup> pour le volume.

c) les cellules de garde peuvent être réalisées de deux manières différentes :

- dans le cas d'une sonde G à cellules emboîtées, la gaine qui recouvre la cellule centrale et qui est fixée à ses deux extrémités, délimite les cellules de garde ;
- dans le cas d'une sonde E à cellules juxtaposées, les cellules de garde sont individualisées par une membrane souple et élastique. Une même gaine souple peut recouvrir à la fois les cellules de garde et la cellule centrale.



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

22 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



# Historique : Document de référence - Norme AFNOR P94-110-1 (2000)

## C.4 Choix de la sonde pressiométrique

L'essai pressiométrique est généralement réalisé au moyen d'une sonde type G à cellules emboîtées.

La résistance limite propre de la sonde pressiométrique, y compris le tube fendu éventuel, doit être la plus faible possible par rapport à la pression limite pressiométrique du terrain.

Le choix de la sonde et de son habillage est guidé par le respect des conditions suivantes :

$$p_{e1} = p_1/4 + 25 \text{ kPa pour } p_1 \leq 900 \text{ kPa}$$

$$p_{e1} = \text{valeur inf} \left\{ p_1/18 + 200 \text{ kPa}; 350 \text{ kPa} \right\} \text{ pour } p_1 \geq 900 \text{ kPa}$$

$$\text{et } p_m \leq 75 \text{ kPa}$$

Dans les terrains dont la pression limite est inférieure à 400 kPa, une sonde type E à cellules juxtaposées est susceptible de fournir des résultats présentant une incertitude plus faible.

NOTE En cas d'éclatement répété d'une sonde à gaine souple descendue dans un forage pressiométrique, l'essai peut être réalisé en utilisant un tube fendu, à condition que la résistance limite propre soit telle que :

$$p_{e1} \leq 0,5 \text{ MPa et } p_1 \geq 2,5 \text{ MPa}$$

### D.3.2.1 Méthode de la courbe «inverse»

Elle consiste à transformer les couples de valeur (p, V) en (p, 1/V) et à effectuer une régression linéaire pour toutes les valeurs telles que  $p \geq p_2$ .

L'extrapolation est faite par la transformation :

$$Y = Ap + B$$

avec :

$$Y = V - 1$$

où :

A et B sont les coefficients obtenus par la méthode «des moindres carrés» par rapport aux pressions sur les valeurs expérimentales (Y, p) au delà de ( $p_2, V_2$ ) inclus.

La pression limite est obtenue à partir de l'équation suivante :

$$p_{li} = -\frac{B}{A} + \frac{1}{A(V_s + 2V_E)}$$

### D.3.2.2 Méthode d'extrapolation «hyperbolique»

L'extrapolation est faite avec toutes les valeurs mesurées telles que  $p > p_E$  par la transformation suivante :

$$Y = CX - D$$

avec :

$$X = \frac{V^2 - V_E^2}{p - p_E} \quad \text{et} \quad Y = \frac{pV^2 - p_E V_E^2}{p - p_E}$$

où :

C et D sont les coefficients obtenus par la méthode «des moindres carrés» par rapport aux X sur les valeurs expérimentales (X, Y).

La pression limite  $p_{lh}$  est obtenue pour  $V_1 = V_s + 2V_1$ .

$$p_{lh} = \left[ p_E(V_E^2 + D) + C(V_1^2 - V_E^2) \right] / (V_1^2 + D)$$

### D.3.3 Pression limite conventionnelle par extrapolation

La pression limite est égale à la plus faible des deux valeurs  $p_{li}, p_{lh}$  calculées aux paragraphes D.3.2.1 et D.3.2.2.

Si :  $\frac{|p_{li} - p_{lh}|}{p_{lh}} \geq 0,2$ , l'essai ne permet pas de déterminer la pression limite.

NOTE 1 Un minorant de la pression limite peut être pris égal à la dernière pression corrigée mesurée.

NOTE 2 En site aquatique (avec un niveau de plan d'eau variable, par exemple), la référence par rapport à laquelle la pression limite est donnée devra être précisée (voir annexe E).



# Document de référence - EN-ISO 22476 – 4 (12/2009 -Final draft for FV)

## Geotechnical investigation and testing — Field testing — Part 4: Ménard pressuremeter test

*Reconnaissance et essais géotechniques — Essais en place — Partie 4: Essai pressiométrique Ménard*

- the Ménard EM modulus,
- the limit pressure pLM and
- the Ménard creep pressure pf.
- procedure A: data are recorded manually;
- procedure B: data are recorded automatically.

This Standard refers to a probe historically described as the 60 mm G type probe. This standard applies to test depths limited to 50 m and test pressure limited to 5 MPa.

NOTE 1 Ménard pressuremeter tests can be carried out with other diameter probes such as 44 mm and 76 mm probes.

NOTE 2 Typical Probe and pocket drilling dimensions are given below :

Probe Designation	Probe Diameter mm	Drilling Diameter (mm)	
		Min	Max
AX	44	46	52
BX	58	60	66
NX	70/74	74	80

### 1 Scope

This document deals with equipment requirements, the execution of and reporting on the Ménard pressuremeter test as part of geotechnical investigation and testing according to EN 1997-1 and EN 1997-2.

The present document describes the procedure for conducting a Ménard pressuremeter test in natural soils, treated or untreated fills and in weak rocks, either on land or off-shore.

The pressuremeter tests results of this document are suited to a quantitative determination of ground strength and deformation parameters. They may yield lithological information. They can also be combined with direct investigation (e.g; sampling according to EN ISO 22475-1) or compared with other in situ tests (see EN 1997-2, 2.4.1.4(2) P, 4.1 (1) P and 4.2.3(2) P).

The Ménard pressuremeter test is performed by the radial expansion of a tricell probe placed in the ground (see Figure 1). During the injection of the liquid volume in the probe, the inflation of the three cells first brings the outer cover of the probe into contact with the pocket wall and then presses on them resulting in a soil displacement. Pressure applied to, and the associated volume expansion of the probe are measured and recorded so as to obtain the stress-strain relationship of the soil as tested.





## Historique : exemples d'autres types de pressiomètres

Classes	Type (pays d'origine)	Pression maximale (MPa)	Elancement de la sonde	Système de mesure de l'expansion
Pressiomètres  avec  Préforage	Ménard (France, Canada)	6	8 -16 *	Volumétrique
	Texam (Canada)	10	7	Volumétrique (imposé)
	LLT (Japon)	2,5	8 -10 *	Volumétrique
	Elastmeter (Japon)	10 ou 20	8	3 capteurs dans un plan
	HPD (Grande - Bretagne)	20	6	3x3 capteurs dans 3 plans
	Dilatomètre Mazier (France)	10 ou 20	11	3 capteurs dans un plan
	Tri-mod (Canada)	10	6	6 capteurs dans 2 plans
	Probex (Canada)	30	6	Volumétrique
Pressiomètres  autoforeurs	PAF (LCPC, France)	2,5	2	Volumétrique (imposé)
	SBP (Grande-Bretagne)	4	6	3 capteurs dans un plan
	Boremac (Canada)	4	5	Volumétrique
Pressiomètres  foncés	Minipressiomètre (France)	2,5	10	Volumétrique
	Pencil (Canada)	2,5	8	Volumétrique (imposé)
	Fugro (Pays - Bas)	10	10	3 capteurs dans un plan



# L'essai pressiométrique MENARD

*sa réalisation*

*et*

*la détermination des caractéristiques géomécaniques du sol*



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

26 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



# Document de référence - EN-ISO 22476 – 4 (12/2009 -Final draft for FV)

## Geotechnical investigation and testing — Field testing — Part 4: Ménard pressuremeter test

*Reconnaissance et essais géotechniques — Essais en place — Partie 4: Essai pressiométrique Ménard*

- the Ménard EM modulus,
- the limit pressure pLM and
- the Ménard creep pressure pf.
- procedure A: data are recorded manually;
- procedure B: data are recorded automatically.

This Standard refers to a probe historically described as the 60 mm G type probe. This standard applies to test depths limited to 50 m and test pressure limited to 5 MPa.

NOTE 1 Ménard pressuremeter tests can be carried out with other diameter probes such as 44 mm and 76 mm probes.

NOTE 2 Typical Probe and pocket drilling dimensions are given below :

Probe Designation	Probe Diameter mm	Drilling Diameter (mm)	
		Min	Max
AX	44	46	52
BX	58	60	66
NX	70/74	74	80

### 1 Scope

This document deals with equipment requirements, the execution of and reporting on the Ménard pressuremeter test as part of geotechnical investigation and testing according to EN 1997-1 and EN 1997-2.

The present document describes the procedure for conducting a Ménard pressuremeter test in natural soils, treated or untreated fills and in weak rocks, either on land or off-shore.

The pressuremeter tests results of this document are suited to a quantitative determination of ground strength and deformation parameters. They may yield lithological information. They can also be combined with direct investigation (e.g; sampling according to EN ISO 22475-1) or compared with other in situ tests (see EN 1997-2, 2.4.1.4(2) P, 4.1 (1) P and 4.2.3(2) P).

The Ménard pressuremeter test is performed by the radial expansion of a tricell probe placed in the ground (see Figure 1). During the injection of the liquid volume in the probe, the inflation of the three cells first brings the outer cover of the probe into contact with the pocket wall and then presses on them resulting in a soil displacement. Pressure applied to, and the associated volume expansion of the probe are measured and recorded so as to obtain the stress-strain relationship of the soil as tested.



# Document de référence - EN-ISO 22476 – 4 (12/2009 -Final draft for FV)

Table C.1 — Maximum continuous drilling or driving stage length before testing

Soil type	Maximum continuous drilling or tube driving stage length (m)		
	Adapted rotary drilling b	Rotary percussive drilling b	Tube pushing, driving and vibrodriving c
Sludge and soft clay, soft clayey soil	1 <sup>a</sup>	----	1 <sup>a</sup>
Firm clayey soils	2	2	3
Stiff clayey soils	5	4	4
Silty soils: - above ground water table - below water table	4 2 <sup>a</sup>	3 1 <sup>a</sup>	3 ---
Loose sandy soils: - above ground water table - below water table	3 1 <sup>a</sup>	2 1 <sup>a</sup>	--- ---
Medium dense and dense sandy soils	5	5	4
Coarse soils: gravels, cobbles	3	5	3
Coarse soils with cohesion	4	5	3
Loose non homogeneous soils, other soils not specified above (e.g. tills, etc.)	2	3	2
Weathered rock, weak rock	4	5	3

<sup>a</sup> Or the required interval between two successive tests.  
<sup>b</sup> refer to Table C.2 for acceptable techniques  
<sup>c</sup> Not applicable to STDTM technique (see C.2.6.3).

Table C.2 — Guidelines for pressuremeter probe placement techniques

Boring technique → Soil Type ↓	Probe placing without soil displacement $1 < d/d_c \leq 1,15$										Probe placing by direct driving ( $d/d_c \approx 0$ )
	Rotary Drilling				Rotary percussion			Tube pushing, driving or vibrodriving			Driven slotted tube.
	OHD *	HA/HAM *	CFA	CD	RP	RPM	STD TM	PT	DT	VDT	DST
Sludge and soft clay	***°	***°	-	-*	-	-	***	TWT	-	-	*
Soft to firm clayey soils	***°	***°	**	**	-	**°	**	*	*	-	-
Stiff clayey soils	***°	***°	***	***°	**	**°	***°	-	**	-	-
Silty soils: - above water table - below water table	**°	***°	**	**°	-	**°	**°	*	*	*	-
Loose sandy soils: - above water table - below water table	**°	***°	-	**°	-	**°	***°	-	-	-	**
Medium dense and dense sandy soils	***°	***°	***	**°	*	**°	***°	-	*	*	***+
Gravels, cobbles	**°	-°	-*	-*	*	***°	**°	-	*	*	***+
Cohesive non homogeneous soils (e.g. boulder clay)	**°	**°	*	**°	*	***°	**°	-	*	*	***+
Loose non homogeneous soils, other soils not specified above (e.g. tills, some alluvial deposits, man made soils, treated or untreated fills ...)	**°	**°	*	**°	*	**°	***°	-	*	*	***+
Weathered rock, weak rock	***°	**°	**	***°	*	**°	***°	-	**	**	-

The corrected pressuremeter curve shall be defined by the succession of coordinates (p,v) shown in Figure 5. At the start of the pressuremeter test, the pocket wall shall be loaded by the probe until it returns approximately to its original condition. The slope of the pressuremeter curve shall then be sensibly constant. After the end of this stage, the probe radial expansion rate shall increase rapidly as the pressure increases.

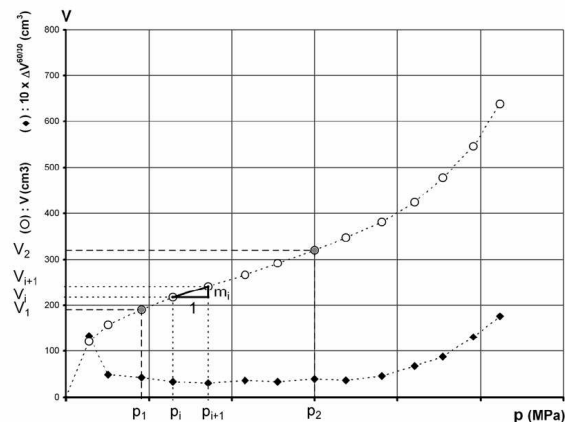


Table C.2 — Guidelines for pressuremeter probe placement techniques (Key)

***	Recommended	OHD	Open hole drilling.	PT	Pushed tube
**	Suited	HA	OHD performed with a hand auger	TWT	Thin wall tube, pushed
*	Acceptable	HAM	OHD performed with a hand auger and mud	DT	Driven tube
-	Not suited	CFA	Continuous flight auger	VDT	Vibro driven tube
■	Not covered by this standard	CD	Core drilling	DST	Driven slotted tube
		RP	Rotary percussion		
		RPM	Rotary percussion with mud		
		STD TM	Slotted tube with inside disintegrating tool and mud circulation		
■	Depending on the actual site conditions and on the evaluation of the operator -				
*	Rotation speed should not exceed 60 rpm and tool diameter not be more than 1,15 d <sub>c</sub>				
°	Slurry circulation: pressure should not exceed 500 kPa and the flow rate 15 l/min. The flow can be temporarily interrupted if necessary.				
+	Pilot hole with possible preboring techniques: DST, RP and RPM				



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

28 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF





# Document de référence - EN-ISO 22476 – 4 (12/2009 -Final draft for FV)

## D.4.3.3 Double hyperbolic method

The pressuremeter curve shall be approximated by a straight line tangential to two hyperbolic segments as defined by the following equation:

$$V = A_1 + A_2 \times p + \frac{A_3}{(A_5 - p)} + \frac{A_4}{(A_6 - p)}$$

The coefficients  $A_5$  and  $A_6$  are the abscissae of the vertical asymptotes to each hyperbola.

The matrix of four coefficients  $[A] = [A_1, A_2, A_3, A_4]$  shall be obtained for values of the asymptotic limits  $A_5$  and  $A_6$ , by the following matrix transformation.

$$[A] = [X^t \times X]^{-1} \times [X^t \times V]$$

where

$$[V] = \begin{bmatrix} V_1 \\ V_1 \\ \vdots \\ V_n \end{bmatrix}, \quad [X] = \begin{bmatrix} 1 & p_1 & 1/(A_5 - p_1) & 1/(A_6 - p_1) \\ 1 & p_1 & 1/(A_5 - p_1) & 1/(A_6 - p_1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & p_n & 1/(A_5 - p_n) & 1/(A_6 - p_n) \end{bmatrix}$$

$A_5$  and  $A_6$  are found by a least square analysis on  $V$  based on the Gauss/Newton method.

The limit pressure  $p_{LMDH}$  shall be determined for  $V_L = V_c + 2V_1$  as derived from the double hyperbolic equation above, using the analytical expression given by the unique positive solution such as  $0 < p_{LMDH} < A_6$ , in the third degree equation:

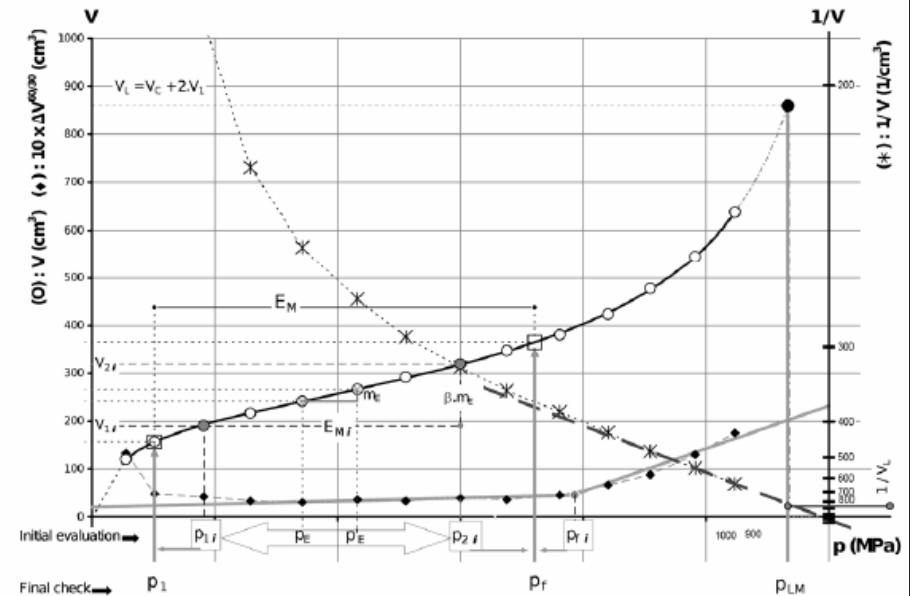
$$-A_2 \cdot p_{LMDH}^3 + [V - A_1 + A_2(A_5 + A_6)] \cdot p_{LMDH}^2 + [(A_1 - V)(A_5 + A_6) - A_5 \cdot A_6 \cdot A_2 + A_3 + A_4] \cdot p_{LMDH} + [(V - A_1) \cdot A_5 \cdot A_6 - A_3 \cdot A_6 - A_4 \cdot A_5] = 0$$

NOTE Reference for the mathematical modelling can be found in Bibliography

## D.4.4 Limit pressure by extrapolation, final step

The sum of the errors  $\Sigma_i |V \text{ calculated} - V \text{ measured}|$  for each extrapolated curve obtained by the two methods described in D.4.3.2 and D.4.3.3 shall be calculated and divided by the number of data points used. The limit pressure  $p_{LM}$  retained shall be the one obtained by the method giving the lowest mean error.

## D.4.3.2 Reciprocal (1/V) method



### Key :

- (O) corrected pressuremeter test data points fitted with double hyperbolic curve
- (◆) Pressuremeter creep data points (volume scale enlarged ten times)
- (X) corrected pressuremeter test data points on 1/V scale (volume reciprocal scale on the vertical axis, right hand side)
- (□) points retained to obtain  $E_M$  after final check for  $p_{LM}$  and  $p_r$
- (●) the black point retained for  $p_{LM}$  (D.4.2)
- (●) the 2 grey points initially limiting the pseudo-elastic range (D.5.1)
- (i) stands for "initial"
- Double hyperbolic fitted curve
- Inverse volume straight line fitting the last three values
- ..... Example of creep data points fitting

Figure D.2 — Pressuremeter test curve analysis – Example



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

29 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



## Validation des résultats d'un essai pressiométrique

- ✓ Traçabilité de l'exécution et des mesures
- ✓ Qualité des mesures et des courbes
- ✓ Qualité de l'interprétation (déduction des paramètres géomécaniques)
- ✓ Rapport d'essai



# Validation des résultats d'un essai pressiométrique

The identification parameters of the test are recorded, either in the memory device or on the data sheet with a carbon copy (see Annex F):

- test operator identification;
- file number;
- sounding number;
- type of probe;
- technique of pocket drilling (see Annex C)
- ground identification and description according to ISO 14688-1 and ISO 14689-1
- method of probe setting;
- calibrations test references (see Annex B.);
- elevation  $z_c$  of the pressure transducer or value of  $z_c - z_N$  for this transducer (see Figure D.1);
- elevation  $z_s$  of the test location or depth ( $z_N - z_s$ ) of the probe (see Figure D.1).
- differential pressure setting (see B.4.4).



# Validation des résultats d'un essai pressiométrique

## F.1 Ménard pressuremeter test data sheet

NAME / ADDRESS	<b>MENARD PRESSUREMETER TEST DATA</b> according to EN ISO 22476-4 procedure A <input type="checkbox"/> procedure B <input type="checkbox"/>	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px;">SITE</td><td>File</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Country</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Job site identification</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Location plan ref.</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Sounding No.</td><td></td></tr> </table>	SITE	File			Country			Job site identification			Location plan ref.			Sounding No.																																																																
SITE	File																																																																															
	Country																																																																															
	Job site identification																																																																															
	Location plan ref.																																																																															
	Sounding No.																																																																															
PROBE	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="2">CELL PARAMETERS</th> <th colspan="3">TUBING AND FLUID PARAMETERS</th> <th colspan="2">PRESSURE LOSS PARAMETERS</th> </tr> <tr> <td>Code</td> <td></td> <td>Type</td> <td>Co-axial Twin Lines</td> <td>Liquid</td> <td>Nature</td> <td>Calibration sheet reference No.</td> </tr> <tr> <td>Length</td> <td>Cover</td> <td rowspan="2">Total length (m)</td> <td rowspan="2"></td> <td rowspan="2">Gas</td> <td>Unit weight <math>\gamma_w</math></td> <td>Ultimate pressure loss <math>P_{ul}</math> (MPa)</td> </tr> <tr> <td>310 mm</td> <td>Rubber</td> <td>Nature</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">VOLUME LOSS PARAMETERS</td> </tr> <tr> <td>370 mm</td> <td>Nylon canvas</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Compressibility <math>\gamma_w m^{-1}</math></td> <td>Calibration sheet reference No.</td> </tr> <tr> <td>Type</td> <td>Steel canvas</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">MEMBRANE PARAMETERS</td> <td colspan="2">Calibration cylinder diameter <math>d_c</math> (mm)</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>with Metal Strips</td> <td colspan="3">Supplier type and code</td> <td colspan="2">Calibration coefficient <math>a</math> (<math>cm^3/MPa</math>)</td> </tr> <tr> <td>G</td> <td>Slotted Tube</td> <td colspan="3">Pressure loss <math>P_m</math> (MPa)</td> <td colspan="2">Probe volume <math>V_c</math> (<math>cm^3</math>)</td> </tr> </table>	CELL PARAMETERS		TUBING AND FLUID PARAMETERS			PRESSURE LOSS PARAMETERS		Code		Type	Co-axial Twin Lines	Liquid	Nature	Calibration sheet reference No.	Length	Cover	Total length (m)		Gas	Unit weight $\gamma_w$	Ultimate pressure loss $P_{ul}$ (MPa)	310 mm	Rubber	Nature	VOLUME LOSS PARAMETERS		370 mm	Nylon canvas				Compressibility $\gamma_w m^{-1}$	Calibration sheet reference No.	Type	Steel canvas	MEMBRANE PARAMETERS			Calibration cylinder diameter $d_c$ (mm)		E	with Metal Strips	Supplier type and code			Calibration coefficient $a$ ( $cm^3/MPa$ )		G	Slotted Tube	Pressure loss $P_m$ (MPa)			Probe volume $V_c$ ( $cm^3$ )		<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td style="width: 20px;">TEST</td><td>Test No. &amp; depth</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Test date and time</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Control unit No.</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Data logger No.</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Operator's name</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Differential pressure (MPa)</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>Observations</td><td></td></tr> <tr><td></td><td>(Weather, etc.)</td><td></td></tr> </table>	TEST	Test No. & depth			Test date and time			Control unit No.			Data logger No.			Operator's name			Differential pressure (MPa)			Observations			(Weather, etc.)	
CELL PARAMETERS		TUBING AND FLUID PARAMETERS			PRESSURE LOSS PARAMETERS																																																																											
Code		Type	Co-axial Twin Lines	Liquid	Nature	Calibration sheet reference No.																																																																										
Length	Cover	Total length (m)		Gas	Unit weight $\gamma_w$	Ultimate pressure loss $P_{ul}$ (MPa)																																																																										
310 mm	Rubber				Nature	VOLUME LOSS PARAMETERS																																																																										
370 mm	Nylon canvas				Compressibility $\gamma_w m^{-1}$	Calibration sheet reference No.																																																																										
Type	Steel canvas	MEMBRANE PARAMETERS			Calibration cylinder diameter $d_c$ (mm)																																																																											
E	with Metal Strips	Supplier type and code			Calibration coefficient $a$ ( $cm^3/MPa$ )																																																																											
G	Slotted Tube	Pressure loss $P_m$ (MPa)			Probe volume $V_c$ ( $cm^3$ )																																																																											
TEST	Test No. & depth																																																																															
	Test date and time																																																																															
	Control unit No.																																																																															
	Data logger No.																																																																															
	Operator's name																																																																															
	Differential pressure (MPa)																																																																															
	Observations																																																																															
	(Weather, etc.)																																																																															
SITE READINGS		CORRECTED DATA																																																																														
Pressure Hold No.	PRESSURE $p_r$ (MPa)				VOLUMES $V_r$ ( $cm^3$ )				PRES $p$ (MPa)	VOL $V$ ( $cm^3$ )	SLOPE $m_i$ $\Delta V/\Delta p$ ( $cm^3/MPa$ )	CREEP $\Delta V$ 60/30 ( $cm^3$ )																																																																				
	1 s	15 s	30 s	60 s	1 s	15 s	30 s	60 s																																																																								
0																																																																																
1																																																																																
2																																																																																
3																																																																																
4																																																																																
5																																																																																
6																																																																																
8																																																																																
9																																																																																
10																																																																																
11																																																																																
12																																																																																
13																																																																																
14																																																																																
15																																																																																
16																																																																																
17																																																																																
18																																																																																
19																																																																																
20																																																																																
21																																																																																
22																																																																																
23																																																																																
24																																																																																

LEVELS	DATUM	Levels	Relative levels

PRESSUREMETER SOUNDING	Localization system	X =	
		Y =	
	Drilling rig		
	Drilling technique		
	Use (table C.2 abbreviations)		
	Drilling tool	type	
		Diameter (mm)	
Casing foot at (m depth)			
Drilling fluid			
	from level (m)		
	to level (m)		
Length drilled before testing	Time (H + mn) completed		

UNITS	Elevations	Metre	
	Time	second	
	Volumes	Cubic centimetre	
	Pressures	Megapascal	

(To be continued)





# Validation des résultats d'un essai pressiométrique

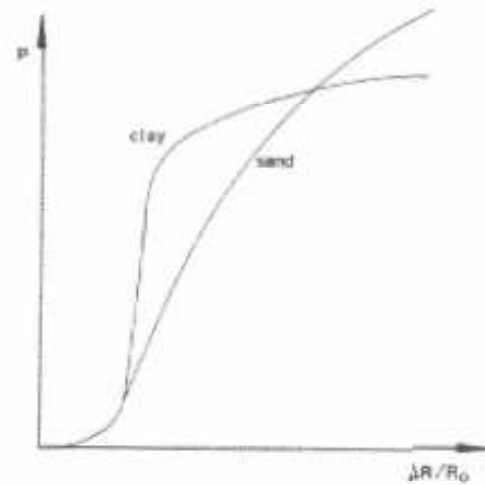
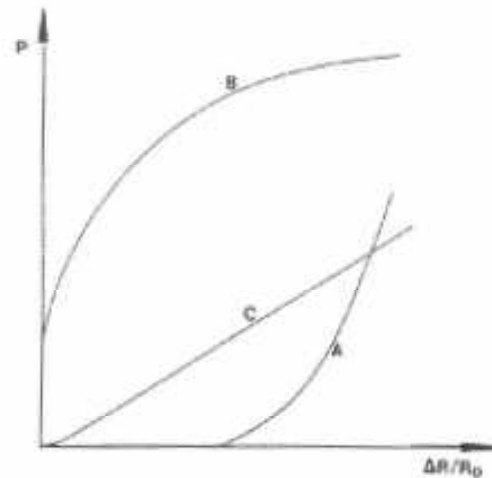


Figure 43. Difference in pressuremeter curve for clay and sand.



- A = trou trop large
- B = trou trop petit
- C = parois remaniées

Figure 44. Examples of poor quality pressuremeter curves.



# Validation des résultats d'un essai pressiométrique

Table 10. Approximate common values for the pressuremeter parameters.

CLAY					
Soil type	Soft	Medium	Stiff	Very stiff	Hard
$p_L^*$ (kPa)	0 - 200	200 - 400	400 - 800	800 - 1600	>1600
$E_o$ (kPa)	0 - 2500	2500 - 5000	5000 - 12000	12000 - 25000	>25000

SAND				
Soil type	Loose	Compact	Dense	Very dense
$p_L^*$ (kPa)	0 - 500	500 - 1500	1500 - 2500	> 2500
$E_o$ (kPa)	0 - 3500	3500 - 12000	12000 - 22500	> 22500

Note: 100 kPa = 1.04 tsf

clays  $\frac{E_o}{p_L^*} > 12$

sands  $7 < \frac{E_o}{p_L^*} < 12$

Table 9. Menard's  $\alpha$  factor.

Soil type	Peat		Clay		Silt		Sand		Sand and gravel	
	$E/p_L^*$	$\alpha$	$E/p_L^*$	$\alpha$	$E/p_L^*$	$\alpha$	$E/p_L^*$	$\alpha$	$E/p_L^*$	$\alpha$
Over consolidated		1	> 16	1	> 14	2/3	> 12	1/2	> 10	1/3
Normally consolidated	For all values	1	9-16	2/3	8-14	1/2	7-12	1/3	6-10	1/4
Weathered and/or remoulded		1	7-9	1/2		1/2		1/3		1/4
Rock	Extremely fractured			Other			Slightly fractured or extremely weathered			
	$\alpha = 1/3$			$\alpha = 1/2$			$\alpha = 2/3$			

Types de sols	Seuil d'auto-portance (kPa)
argiles	250 - 300
Limons	400
sables	600
sables, graves et galets	800

$E_M/P_{LM}^*$	Types de sols
< 5	sols remaniés et triturés
de 5 à 8	argiles sous consolidées ou légèrement remaniées
de 8 à 12	argiles normalement consolidées
de 12 à 15	argiles légèrement surconsolidées
> 15	argiles surconsolidées
de 6 à 8	sables et graviers immergés
>10	sables, sables et graviers secs et serrés



# Validation des résultats d'un essai pressiométrique

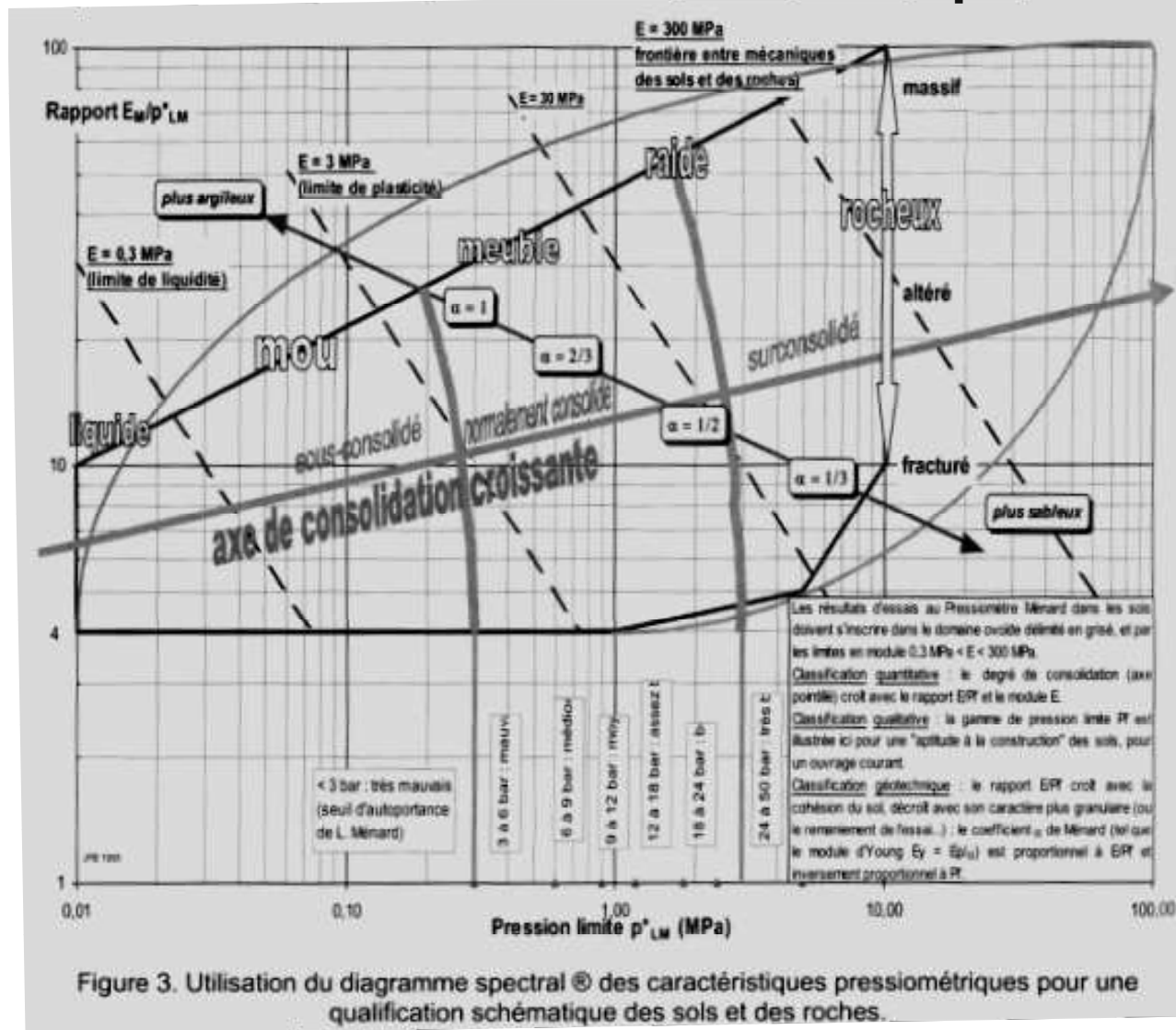
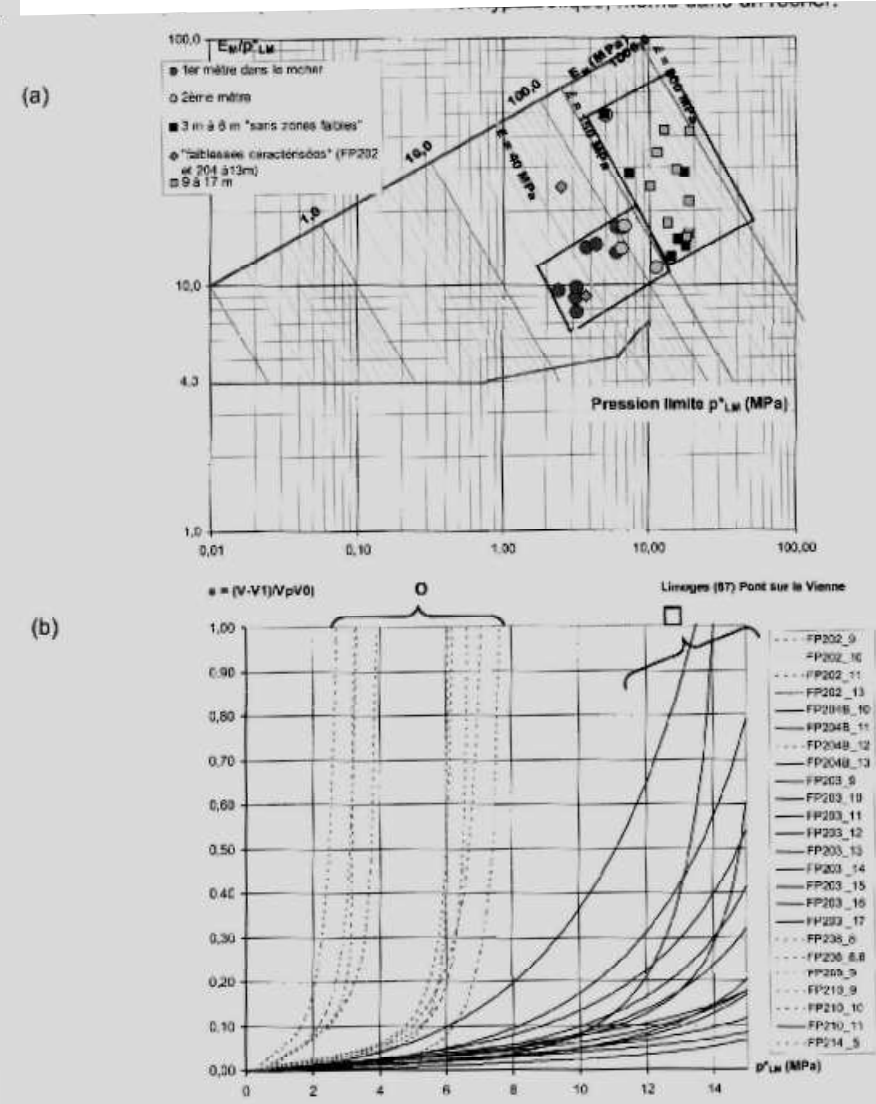
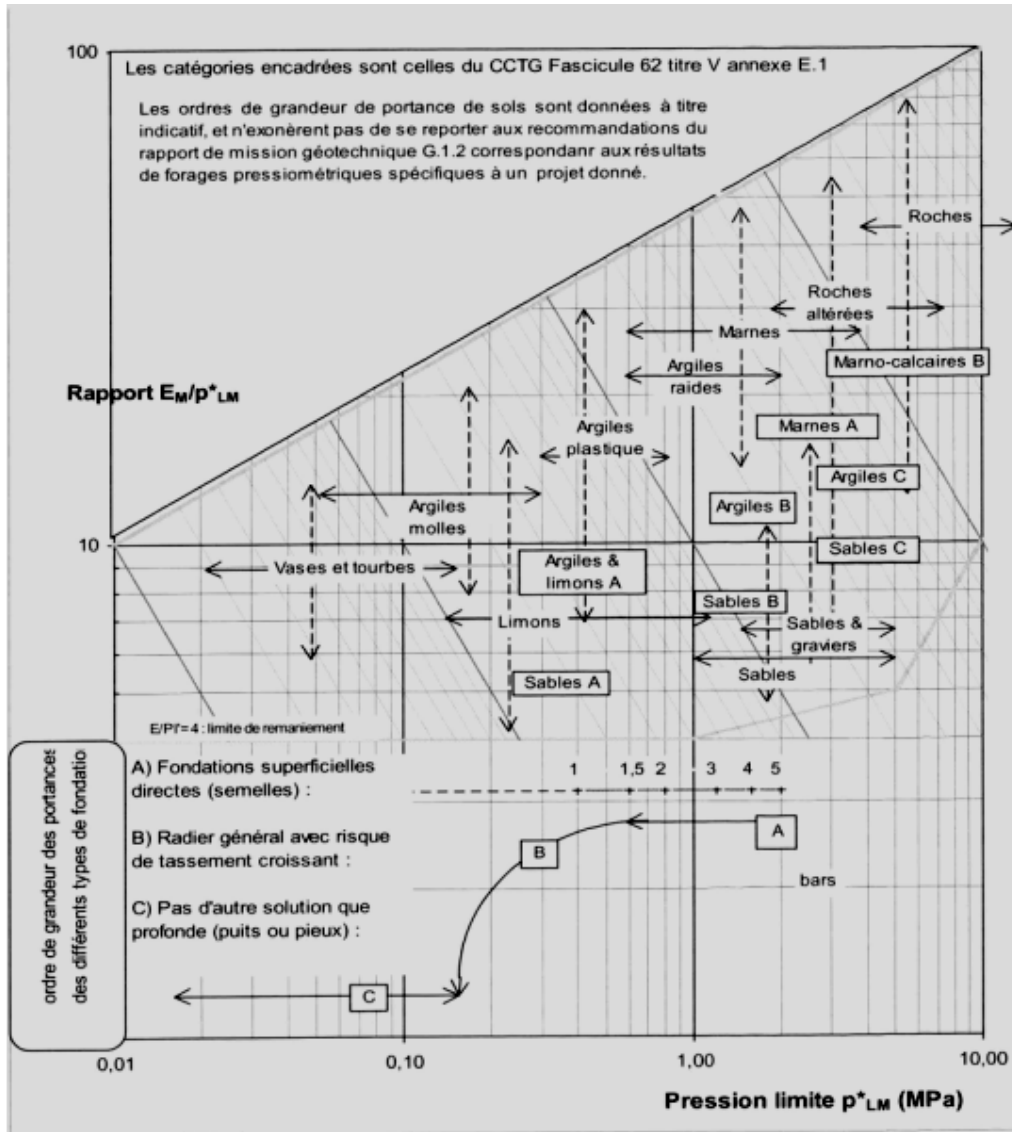


Figure 3. Utilisation du diagramme spectral des caractéristiques pressiométriques pour une qualification schématique des sols et des roches.



# Validation des résultats d'un essai pressiométrique





# Validation des résultats d'un essai pressiométrique

## 7.3 Test report

The test report shall include the pressuremeter test identification parameters (see 5.4) and the Ménard pressuremeter test files (see 6.1). The test report shall be signed by the field manager responsible for the project.

### 7.3.1 Ménard pressuremeter test file

The file for a single pressuremeter test shall include, as shown in Annex F, the corrected data, the pressuremeter curve and the pressuremeter test parameters.

It shall also contain the field reports including a copy of either the signed data sheet (see 6.1.1) or of the signed print-out (see 6.1.2) and in the case of procedure B the corresponding readable electronic data recorded on the memory device as described in 4.7.

The file shall include the following data as a minimum:

- a) reference to the present standard EN ISO 22476-4 ;
- b) type of procedure used for the test: A or B ;
- c) identification number of the sounding where the pressuremeter test was performed ;
- d) elevation of the test or its depth from the top of the sounding or casing ;




# Validation des résultats d'un essai pressiométrique

- e) type of drilling technique and drilling tool used to create the pocket and the top and bottom elevations of the drilling stage,
- f) time of completion of the test pocket, correct to the minute ;
- g) type, make, and serial number of the control unit and of the data logger if separate from the control unit;
- h) information on the recent checks of all control and measuring devices used (see B.1)
- i) time at the start of the test, correct to the minute;
- j) type of probe used (E or G) and its details (slotted tube, short probe, long probe), the volume loss and the pressure loss calibration test results as defined in Annex B ;
- k) differential pressure ( $p_r - p_g$ ) at CU elevation;
- l) table of the liquid pressure and volume readings at 1 second (procedure B only), 15 s, 30 s and 60 s at each pressure loading level;
- m)  $p, V$  coordinates of each point used to plot the corrected pressuremeter curve;
- n) all mishaps during the test (such as a probe bursting);
- o) elevations of the pressuremeter sounding top  $z_N$  and the pressure transducers  $z_c$  as shown in F.1 and Figure D.1;
- p) elevation of the drilling fluid level when applicable and the ground water table when known:  $z_w$  ;
- q) name of the company performing the pressuremeter sounding i.e. drilling and testing ;
- r) corrected pressuremeter curve and the methods used for pressure and volume loss corrections;
- s) Ménard pressuremeter modulus  $E_M$  and the method used to obtain it ;
- t) pressuremeter limit pressure  $p_{LM}$  and the method used to obtain it;
- u) creep pressure  $p_f$  and the method used to obtain it;
- v) ground identification and description according to ISO 14688-1 and ISO 14689-1 for the pressuremeter test pocket.



# Validation des résultats d'un essai pressiométrique

## F.2 Ménard pressuremeter test log

Pressuremeter log According to EN ISO 22476-4 procedure A <input type="checkbox"/> procedure B <input type="checkbox"/>					Pressuremeter sounding <u>inclination if any</u>	File No.
Grid reference x= y= z <sub>s</sub> =					Sounding North direction 	Pressuremeter sounding No. Layout Drwg No.
Elevation z (m)	Depth below GL (z <sub>h</sub> ) (m)	Information on the ground strata	Water levels	Drill tools Pocket formation technique & dates Casings dates	Pressuremeter limit pressure p <sub>LM</sub> <sup>a</sup> $\pm$ Pressuremeter creep pressure p <sub>i</sub> <sup>a</sup> $\circ$ (MPa)	Ménard pressuremeter modulus E <sub>M</sub> <sup>a</sup> (MPa)
①	①					
②	②					
③	③					
④	④					
⑤	⑤					
⑥	⑥					
⑦	⑦					
⑧	⑧					
⑨	⑨					
⑩	⑩					
Comments				Company	Name Signature	

<sup>a</sup> Arithmetic or logarithmic scales are acceptable.



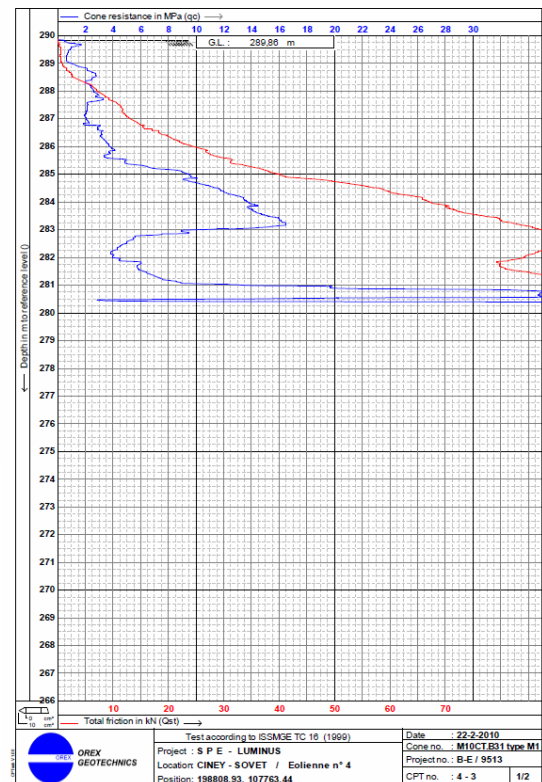
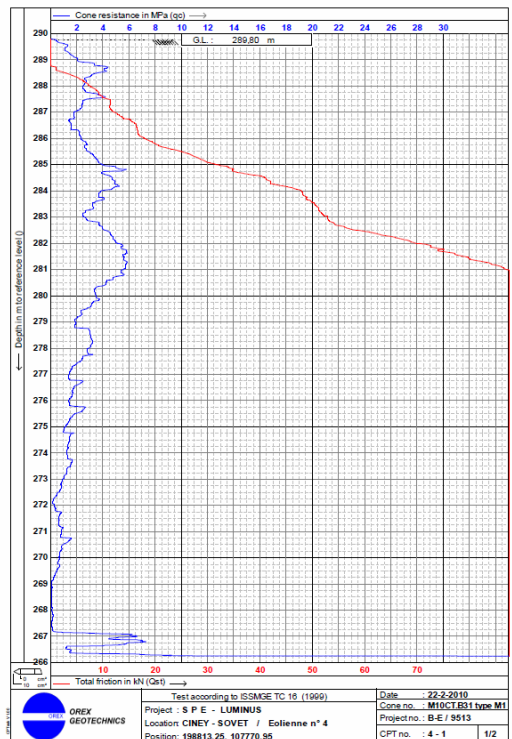
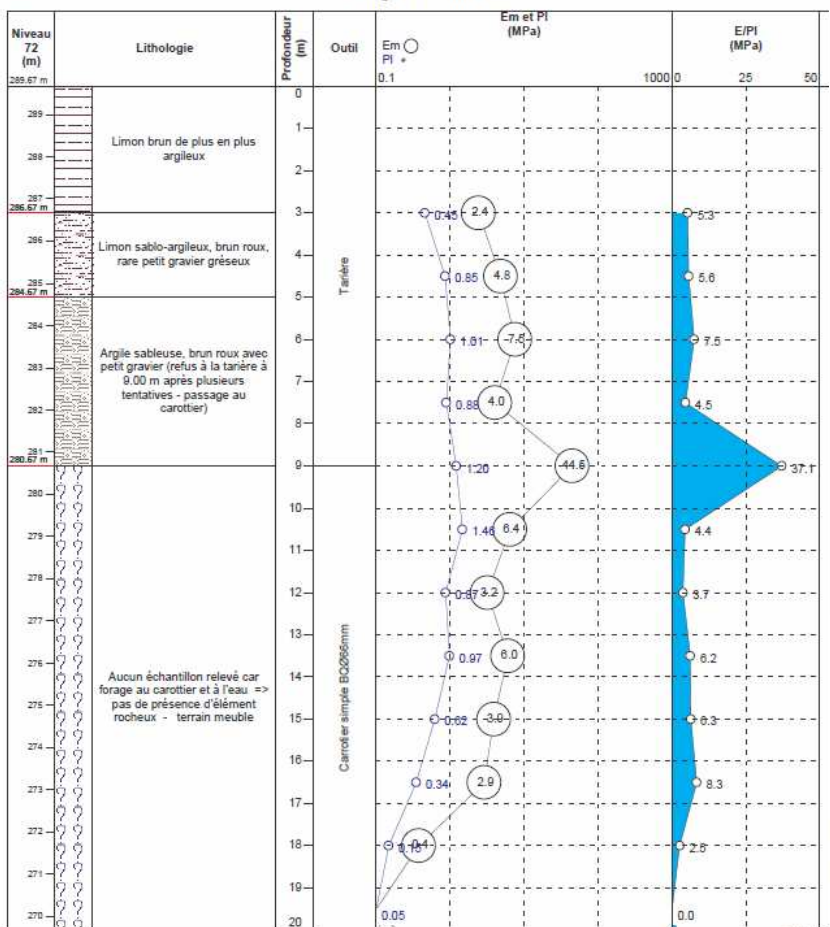
# Avantage d'un essai pressiométrique

**OREX GEOTECHNICS** Contrat SPE-LUMINUS

**CINEY-SOVET**

Date : 22/03/2010    Cote NGF : 289.67    Profondeur : 0,00 - 35,00 m  
Machine : GEOTEC 3

1/100    Forage : Eolienne 4    EXGTE B2.25.0/GTE



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

40    JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



**OREX  
GEOTECHNICS**



Service public de Wallonie



Nous vous remercions de votre attention



DIRECTION GÉNÉRALE OPÉRATIONNELLE  
DES ROUTES ET DES BÂTIMENTS

41 JE SBGIMR-GBMS – LLN – 24 février 2011 – PHW - VF



**OREX  
GEOTECHNICS**



Service public de Wallonie