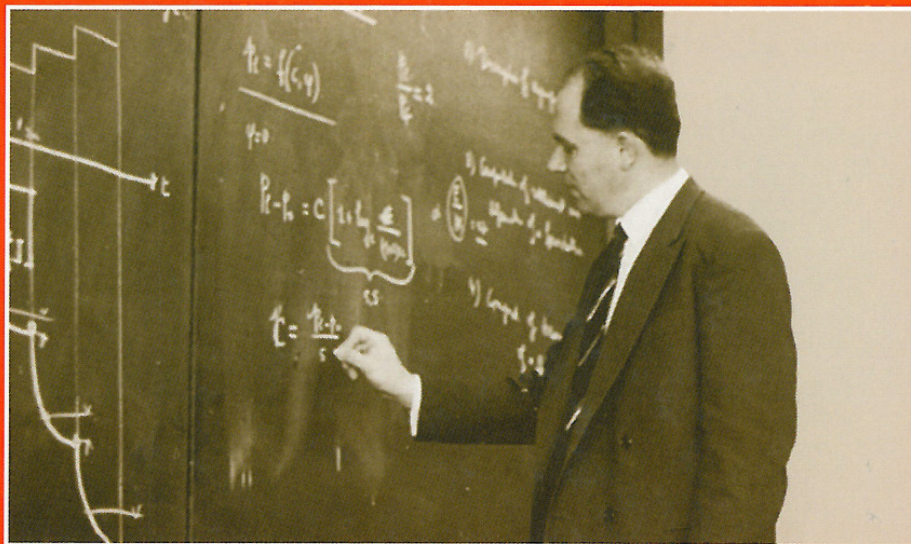


L'ESSAI AU PHICOMETRE

SBGIMR - Louvain-la-Neuve - 24 février 2011
R. Heintz, EURASOL S.A. (eurasol@pt.lu)

Volume 1

ISP5 - PRESSIO 2005



Symposium international
50 ans de pressiomètres

*International Symposium
50 years of pressumeters*

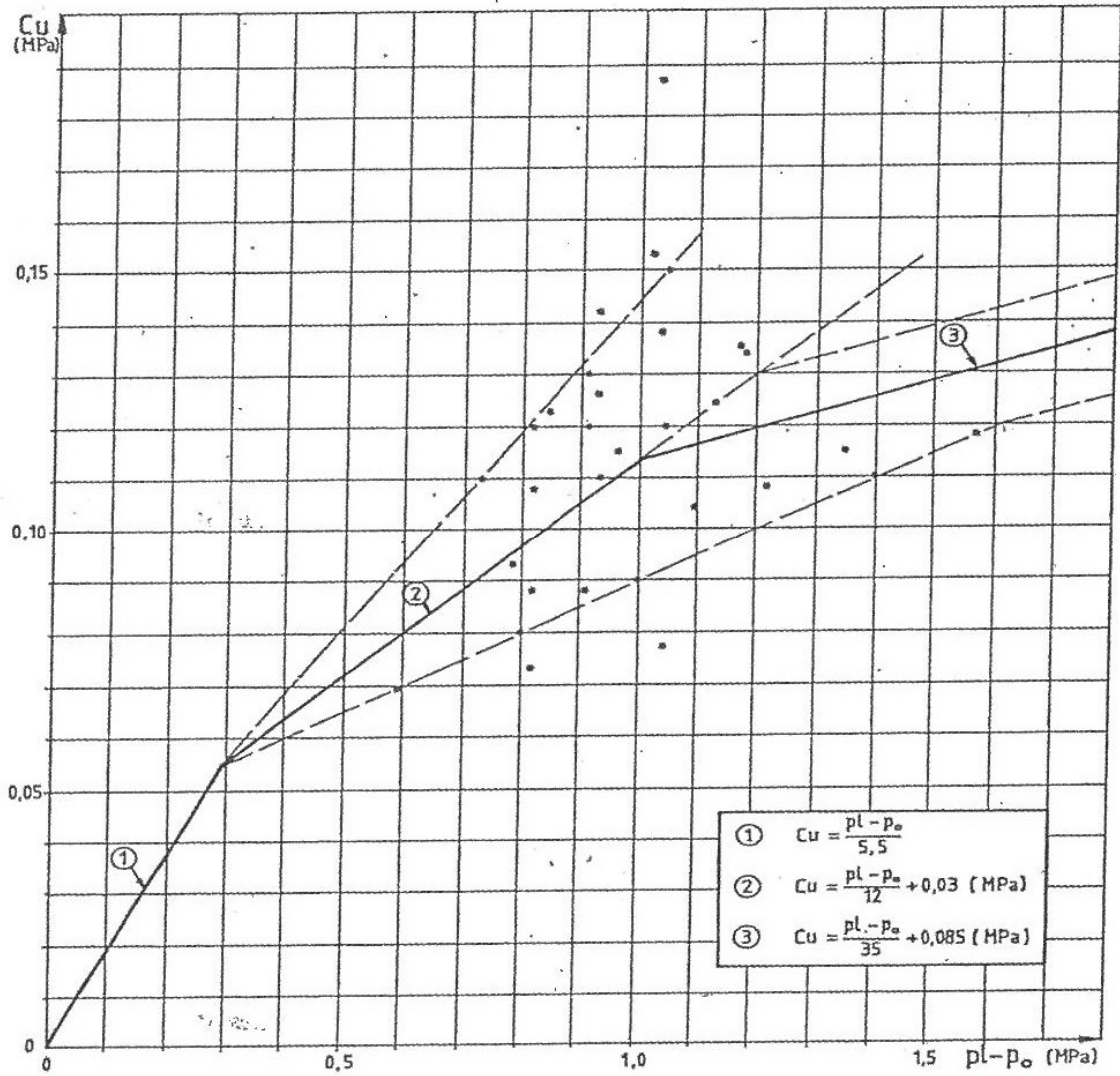
Sous la direction de / Edited by
Michel GAMBIN, Jean-Pierre MAGNAN et Philippe MESTAT

Marne-la-Vallée, 22-24 août 2005 / 22-24 august 2005



Presses de l'école nationale des
Ponts et chaussées

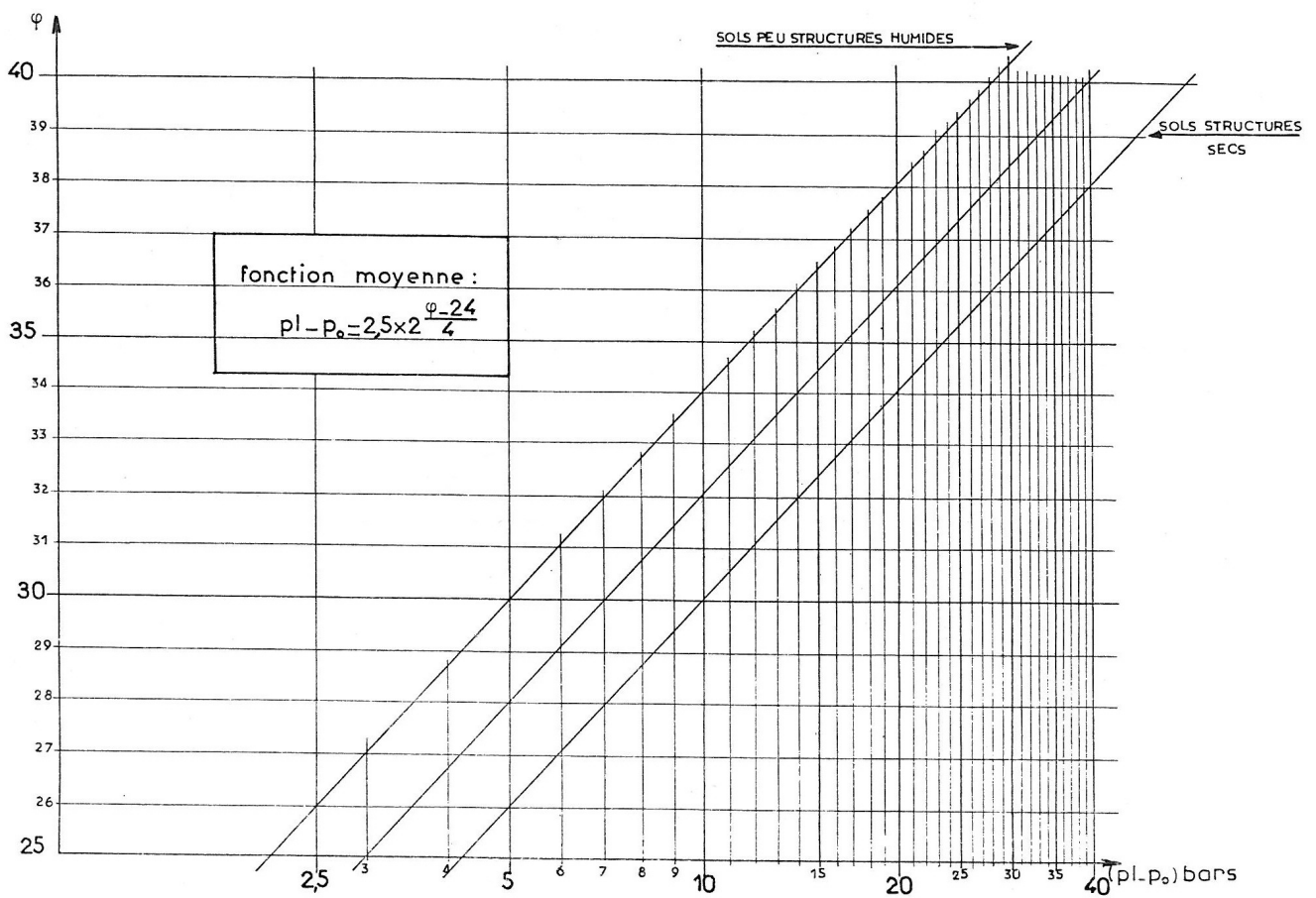
SOLS PUREMENT COHERENTS : $\phi = 0$



(Ménard 1970) (Amar, Jézéquel 1972) (Cassan 2005)

SOLS PUREMENT PULVERULENTS : C = 0

Abaque donnant φ en fonction de $Pl-P_0$

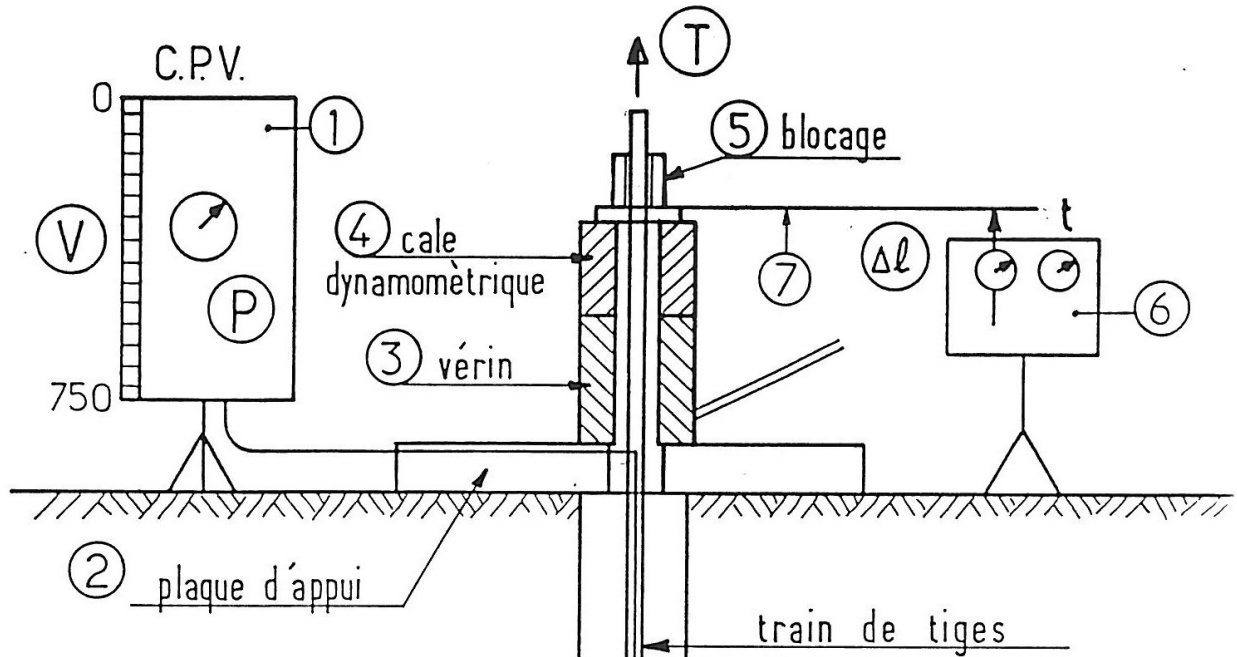


(Ménard 1963, Gambin 1977)

LE PHICOMETRE

Présenté par G. Philipponnat le 17/02/1986 au Comité Français de Mécanique des Sols ;
normé en 1992 (PrP94-120-p)

③ Appareillage de surface



② Organe de liaison

— système de rappel

coquilles de frottement

① Sonde du Phicomètre

sonde gonflable monocellulaire

Fig. 1

ETALONNAGE

Exemple de feuille d'essai d'étalonnage :

| PHICOMETRE | | Etalonnage n° 7 |
|---------------------------|------------------------------------|--|
| Chantier : CHARTRES | Date : 12/5/90 | Heure : 10 h 00 |
| N° sonde : 1 | | |
| Volume en cm ³ | Pression en 10 ² kPa | Diamètre extérieur en mm (au milieu de la sonde) |
| 200 | 1.7 | 71.0 |
| 300 | 2.0 | 75.4 |
| 400 | 2.1 | 78.5 |
| 500 | 2.3 | 81.3 |
| 600 | 2.5 | 84.0 |

REMARQUE IMPORTANTE :

Une sonde en bon état doit présenter les critères d'étalonnage suivants :

| Volume en cm ³ | Gaine standard | Gaine renforcée |
|------------------------------|------------------------|--------------------|
| 200 | 68 < d < 72 p < 1.8 | |
| 500 | 79 < d < 84 p < 2.6 | |

Si on s'écarte sensiblement de ces valeurs :

- ou bien de la matière s'est insérée entre la cellule et la sonde au cours des essais précédents (diamètre trop fort) ; il faut démonter la sonde, la nettoyer et recommencer l'étalonnage.
- ou bien la sonde est trop usagée et déformée (en général diamètre pour 500 cm³ < 79 mm) et il faut en changer.



1) Retrait de la sonde pressiométrique



2) Mise en place du tubage



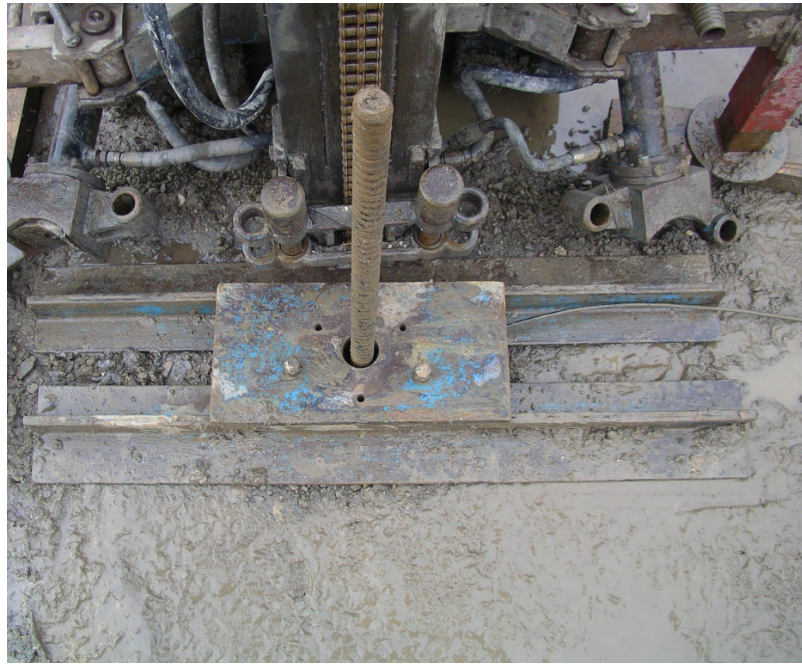
3) Sonde picométrique nettoyée avant la réalisation de l'essai picométrique



4) Mise en place de la sonde picométrique



5) Mise en place des tiges de traction



6) Mise en place des plaques de répartition



7) Mise en place du vérin creux



8) Dispositifs de mise en traction et de mesure de déplacements verticaux mis en place

PENETRATION DES DENTS

La pression p_r mesurée à l'indicateur de pression est augmentée progressivement par paliers de pression de pas Δp :
 $\Delta p = 50$ kPa pour les sols moyennement compacts (pression limite estimée $0,3 < p_l < 1$ MPa),

$\Delta p = 100$ kPa pour les sols compacts (pression limite estimée $p_l > 1$ MPa).

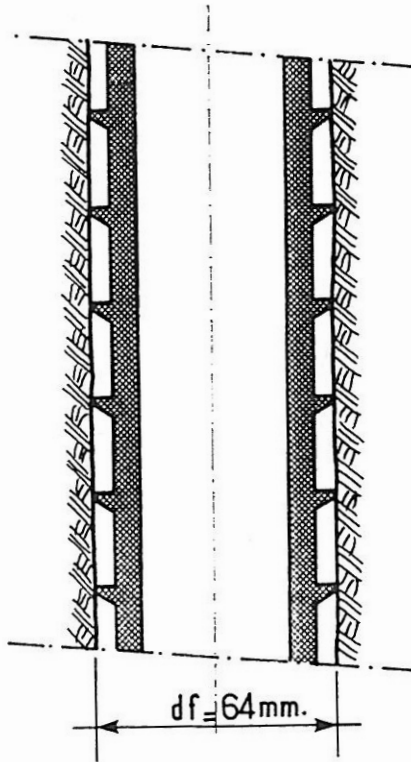


Figure 3a : Mise en contact de la sonde

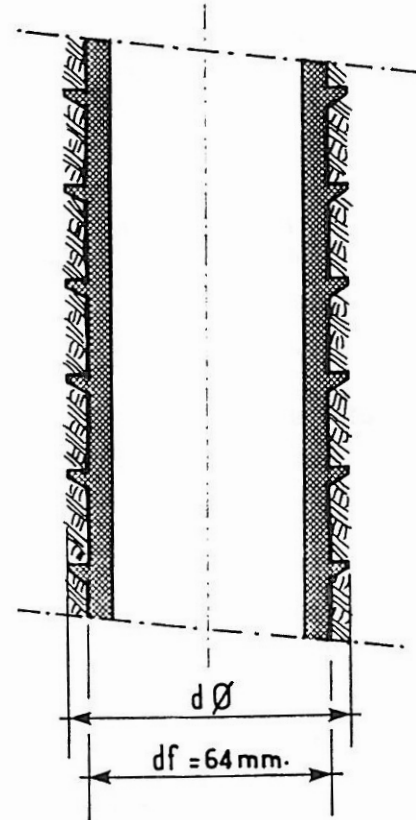


Figure 3b : Pénétration des dents

Cette phase préliminaire est poursuivie jusqu'à obtention des conditions suivantes :

1) la pression appliquée au niveau de la sonde est supérieure d'au moins 50 kPa à la pression nécessaire à sa dilatation pour le volume correspondant.

2) le volume de la sonde est d'au moins 200 cm^3 ou la pression lue atteint 600 kPa, ou encore les variations de volume entre 30 s et 60 s font apparaître un début de fluage du sol.

Le fluage du sol est conventionnellement considéré comme atteint si la variation de volume ΔV entre 30 s et 60 s est à la fois supérieure à 6 cm^3 et à 1,5 fois celle mesurée au palier précédent.

Si le fluage du sol est observé avant que la première condition ne soit atteinte, l'essai est arrêté (sol trop mou ou trop lâche en dehors du domaine d'application de l'essai).

**CHOIX DU PROGRAMME DE MONTEE EN PRESSION EN FONCTION DE p_1
 ET RETOUR DE LA PRESSION FINALE DE MISE EN PLACE
 DES DENTS VERS LA PRESSION DE DEPART
 DE L'ESSAI DE CISAILLEMENT PROPREMENT DIT**

| Pression limite estimée du sol | Pression (MPa) paliers 1 à 4 | | | | TEST | Pression (MPa) paliers suivants | | | |
|-----------------------------------|---------------------------------|------|------|------|-----------------------------------|------------------------------------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | 5 | 6 | 7 | 8 |
| $0,3 < p_1 < 1$ MPa | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,35 | $V_f > \frac{3}{50} \text{ cm}^3$ | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,55 |
| | | | | | $V_f < \frac{3}{50} \text{ cm}^3$ | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 |
| $p_1 > 1$ MPa | 0,25 | 0,3 | 0,35 | 0,4 | $V_f > \frac{3}{50} \text{ cm}^3$ | 0,45 | 0,55 | 0,65 | 0,75 |
| | | | | | $V_f < \frac{3}{50} \text{ cm}^3$ | 0,55 | 0,70 | 0,85 | 1,0 |



ESSAI AU PHICOMETRE

Essai n°: 1

Chantier: Esch Belval B2

Sondage: F12

Date: 1-06-2010

Heure: debut

Différence de hauteur entre le manomètre et l'orifice du forage: 0,80m

Coefficient de la Cale: 0,25 kN

Etalonnage n°: ?

Prof. essai: 4m

Fin: 17h49

① mise en contact et pénétration des dents

calage Ø = ? div.

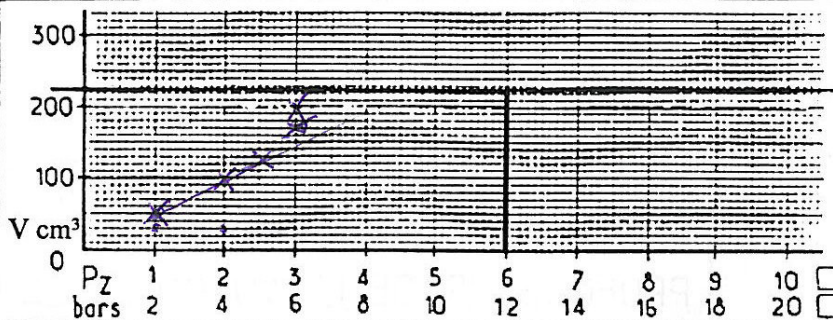
Sonde Standard
 Sonde Renforcée

| Pression | V _{15'} | V _{30'} | V _{1'} | ΔV | Pression | V _{15'} | V _{30'} | V _{1'} | ΔV |
|----------|------------------|------------------|-----------------|----|----------|------------------|------------------|-----------------|----|
| PM+Qz | 33 | 33 | 34 | 1 | PM+Qz | 156 | 167 | 169 | 8 |
| Pz = 0,5 | | | | | Pz = 7 | | | | |
| PM+Qz | 49 | 51 | 53 | 2 | PM+Qz | 194 | 194 | 194 | 2 |
| Pz = 1 | | | | | Pz = 3,5 | | 260m | | |
| PM+Qz | 71 | 75 | 79 | 4 | PM+Qz | | | | |
| Pz = 1,5 | | | | | Pz = | | | | |
| PM+Qz | 98 | 104 | 109 | 5 | PM+Qz | | | | |
| Pz = 2 | | | | | Pz = | | | | |
| PM+Qz | 125 | 128 | 133 | 5 | PM+Qz | | | | |
| Pz = 2,5 | | | | | Pz = | | | | |

| Pression | V _{15'} | V _{30'} | V _{1'} | ΔV |
|----------|------------------|------------------|-----------------|----|
| PM+Qz | | | | |
| Pz = | | | | |
| PM+Qz | | | | |
| Pz = | | | | |

Fin mise en contact:

- 1) si Pz > 6 bars
- ou
- 2) si V_{1'} > 200 cm³
- ou
- 3) si ΔV_{30'/V_{1'}} > 6 cm³ et > 1.5 x ΔV_{30'/V_{1'}} du palier précédent



② Paliers de mesure

| N° | ① | PM | ΔL (mm) | T | Palier | ③ | PM | ΔL (mm) | T | Palier | ⑤ | PM | ΔL (mm) | T |
|-----|---|------------------------|---------|-----|--------|------------------------|------|---------|-----|------------------------|------|------|---------|---|
| VD | | | | | VD | | | | | VD | | | | |
| 2 | ① | V _{15'} : 180 | 1 | 1 | 3,0 | V _{15'} : 214 | 1 | 7,0 | 4,5 | V _{15'} : 307 | 1 | 13,0 | ⑤ | |
| | | V _{30'} : 180 | 2 | 2,5 | | V _{30'} : 216 | 2 | 7,6 | | V _{30'} : 306 | 2 | 13,9 | | |
| | | | 3 | 3 | | V _{1'} : 179 | 3 | 8,1 | | V _{1'} : 310 | 3 | 15,0 | | |
| | | | 4 | 4 | | VF: 177 | 4 | 8,6 | | VF: 350 | 4 | 15,8 | | |
| | | 5 | 4 | | | 5 | 8,6 | | | 5 | 15,8 | | | |
| | | 6 | 5 | | | 6 | 8,6 | | | 6 | 15,8 | | | |
| | | 7 | 5 | | | 7 | | | | 7 | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| 2,5 | ② | V _{15'} : 185 | 1 | 4,9 | 3,5 | V _{15'} : 247 | 1 | 9,5 | 5,5 | V _{15'} : 373 | 1 | 17,1 | ⑥ | |
| | | V _{30'} : 186 | 2 | 5,3 | | V _{30'} : 249 | 2 | 10,1 | | V _{30'} : 378 | 2 | 18,1 | | |
| | | | 3 | 5,8 | | V _{1'} : 190 | 3 | 10,5 | | V _{1'} : 384 | 3 | 19,1 | | |
| | | | 4 | 5,9 | | VF: 205 | 4 | 10,9 | | VF: 438 | 4 | 19,4 | | |
| | | 5 | 6,1 | | | 5 | 11,2 | | | 5 | 20,5 | | | |
| | | 6 | | | | 6 | 12,0 | | | 6 | 21,2 | | | |
| | | 7 | | | | 7 | 12,0 | | | 7 | 21,2 | | | |

INTERPRETATION DES RESULTATS

(Données brutes $\rightarrow \Phi_i, C_i$)

Page - 22/31 -

Calcul des contraintes corrigées normales pc et tangentielles t :

Page - 24/31 -

Courbe intrinsèque :

On reporte sur un diagramme les couples de valeurs (t, pc) qui en général s'alignent correctement et permettent de tracer la droite intrinsèque et de déterminer les valeurs :

Φ_i = angle de frottement interne in situ,
ci = cohésion in situ.

Procédure recommandée :

Il est fortement recommandé de procéder comme suit :

a) Après avoir éliminé les points anormaux, on procède à un ajustement de la droite intrinsèque par la méthode des moindres carrés.

Rappel :

$$\Phi_i = (n\sum pc \cdot t - \sum pc \cdot \sum t) / (n\sum pc^2 - (\sum pc)^2)$$

$$c_i = (\sum t \cdot \sum pc^2 - \sum pc \cdot \sum pc \cdot t) / (n\sum pc^2 - (\sum pc)^2)$$

avec :

n = nombre de points.

b) Pour les sols à cohésion voisine de zéro, il peut arriver, compte tenu de la précision des mesures, que cet ajustement donne une légère cohésion négative.

Dans ce cas, on réajuste les caractéristiques par la méthode des moyennes, c'est-à-dire :

$$\Phi' = \text{Arctg} (\sum (t/pc) / n)$$

Courbes auxiliaires :

- courbe de fluage : V1' - V30"
- courbe de dilatation : VF - VDébut d'arrachage (V1')
- courbe des volumes : VD (V1') et VF par palier

LA MAISON DES MATERIAUX II

ESSAI PHICOMETRIQUE

Forage: FP12

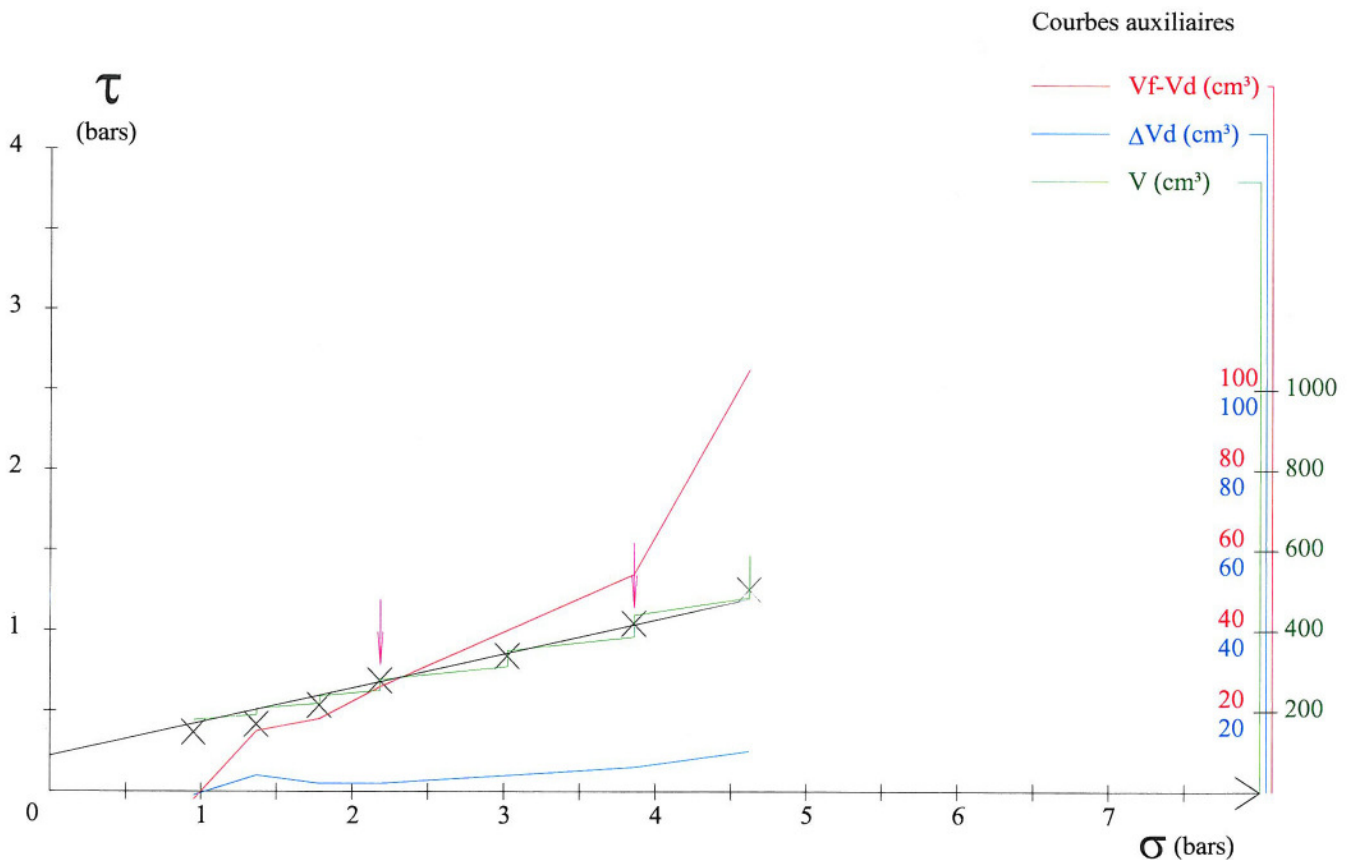
Date: 01-06-10

Profondeur: 4,0 m

$C_i = 0,221 \text{ bar}$

$\phi_i = 11,9^\circ$

| σ (bars) | τ (bars) |
|--------------------|------------------|
| 0,9501 | 0,3668 |
| 1,3669 | 0,4171 |
| 1,7830 | 0,5355 |
| 2,1822 | 0,6902 |
| 3,0242 | 0,8412 |
| 3,8596 | 1,0444 |
| 4,6238 | 1,2542 |



INTERPRETATION DE L'ESSAI AU PHICOMETRE

$(\Phi_i, C_i \rightarrow \Phi_u, C_u \text{ et } \Phi', C')$

(Revue Française de Géotechnique n° 65)

Caractéristiques à court terme —
Comparaison avec les caractéristiques
non consolidées rapides (Φ_u et c_u)

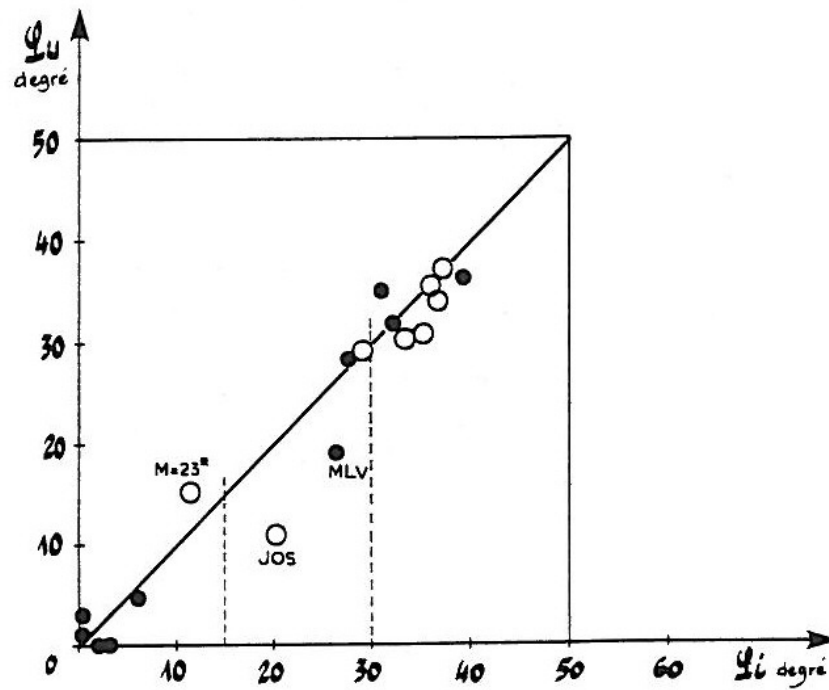


Fig. 1.1. — Estimation de Φ_u à partir du Phicomètre.

Fig. 1.1. — Estimation of Φ_u from Phicometer test.

ESTIMATION DES CARACTERISTIQUES A COURT TERME

1) Sols argileux non drainants : $\Phi_i < 15^\circ$

$$\Phi_u = \Phi_i$$

$$C_i < 75 \text{ kPa} \Rightarrow C_u = C_i$$

$$C_i > 75 \text{ kPa} \Rightarrow C_u = C_i^2/75 \text{ [kPa]}$$

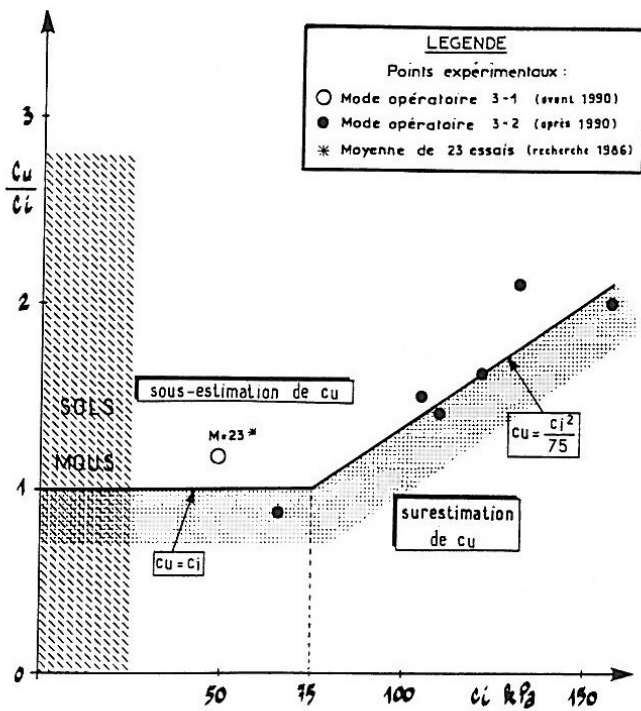


Fig. 1.2. — Estimation de c_u à partir du Phicomètre pour les sols argileux ($\Phi_i < 15^\circ$).

Fig. 1.2. — Estimation of c_u from Phicometer test for clayey soils ($\Phi_i < 15^\circ$).

2) Sols frottants à drainage rapide : $\Phi_i > 30^\circ$

$$\Phi_u = \Phi_i$$

$$C_u < C_i$$

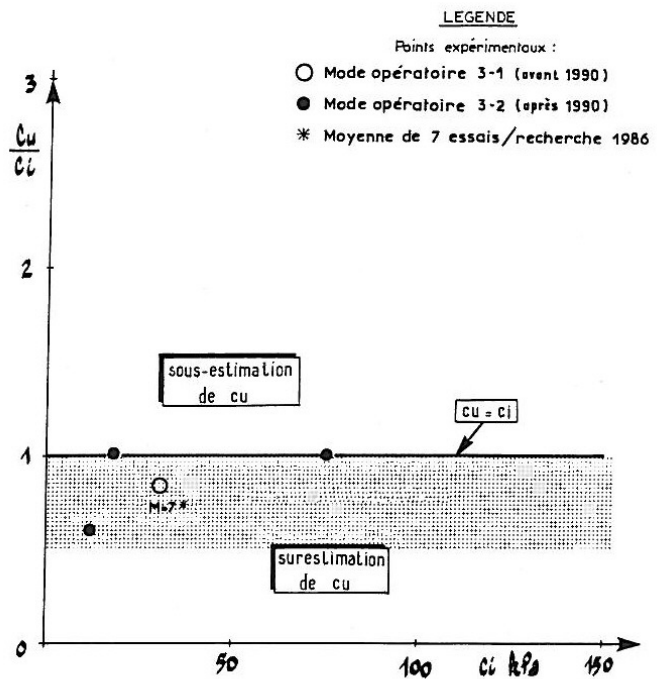


Fig. 1.3. — Estimation de c_u à partir du Phicomètre pour les sols frottants et cohérents ($\Phi_i > 30^\circ$).

Fig. 1.3. — Estimation of c_u from Phicometer test for both granular and cohesive soils ($\Phi_i > 30^\circ$).

3) Sols à perméabilité intermédiaire : $15^\circ < \varphi_i < 30^\circ$

$$\varphi_u < \varphi_i$$

$$c_u > c_i$$

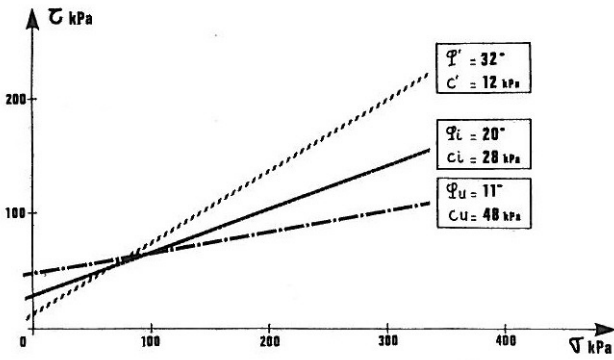


Fig. 1.5. — Limon (Jossigny) — $\Phi_i = 20^\circ$;
comparaison de différents types d'essai.

Fig. 1.5. — Silt (Jossigny) — $\Phi_i = 20^\circ$;
comparaison between several kind of tests.

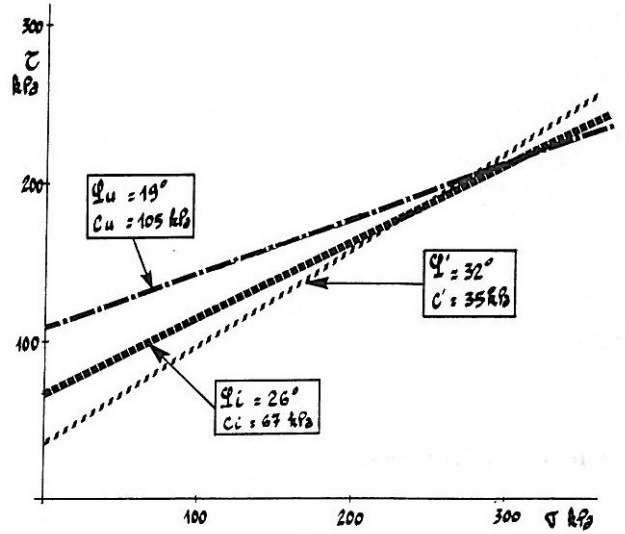


Fig. 1.4. — Marne blanche (Marne-la-Vallée) — $\Phi_i = 26^\circ$;
comparaison de différents types d'essai.

Fig. 1.4. — White marl (Marne-la-Vallée) — $\Phi_i = 26^\circ$;
comparaison between several kind of tests.

Estimation des caractéristiques effectives

Tableau 1.1. — Estimation des caractéristiques effectives.

| φ_i (deg) | c_i kPa | Nature du sol | Estimation | |
|---------------------------|--------------|---|---------------------------------|---------------|
| | | | φ' (deg) | c' (kPa) |
| ≤ 15 | — * | Argile molle* | 17 | 0 |
| | ≥ 20 | Argile moyenne à raide | 17 | $c_i/4$ |
| > 15 et ≤ 30 | < 20 | Autres sols lâches* | ** max (25, φ_i) | 0 |
| | ≥ 20 | Limon, complexes argilo-sableux marnes argileuses | ** max (25, φ_i) | $c_i/3$ |
| > 30 | < 10 | Sols granulaires | φ_i | 0 |
| | ≥ 10 | Sols granulaires et cohérents sauf roches tendres | φ_i | $c_i/2$ |
| (> 25) | — * | Roches tendres* | φ_i | $> c_i$ |

* Sols en dehors du domaine d'application de l'essai

** $\varphi' = 25^\circ$, si $\varphi_i \leq 25^\circ$ et $\varphi' = \varphi_i$, si $\varphi_i > 25^\circ$.

LA MAISON DES MATERIAUX II

ESSAI PHICOMETRIQUE

Forage: FP12

Date: 01-06-10

Profondeur: 4,0 m

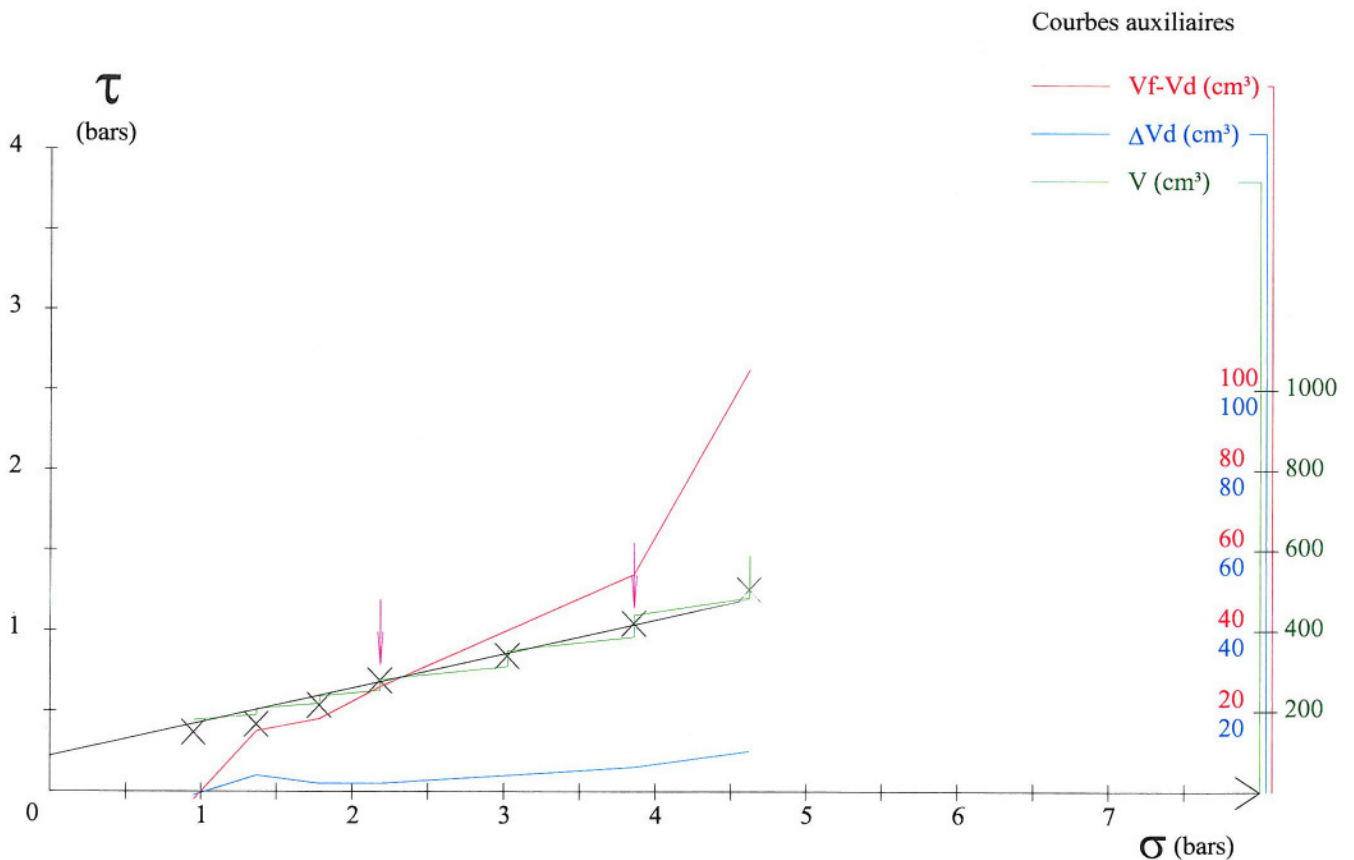
$C_i = 0,221 \text{ bar}$

$\phi_i = 11,9^\circ$

$\text{Phi}_u = 12^\circ \quad c_u = 0,22 \text{ bar}$

$\text{Phi}' = 17^\circ \quad c' = 0,06 \text{ bar}$

| σ (bars) | τ (bars) |
|--------------------|------------------|
| 0,9501 | 0,3668 |
| 1,3669 | 0,4171 |
| 1,7830 | 0,5355 |
| 2,1822 | 0,6902 |
| 3,0242 | 0,8412 |
| 3,8596 | 1,0444 |
| 4,6238 | 1,2542 |



CISAL - KIRCHBERG

ESSAI PHICOMETRIQUE

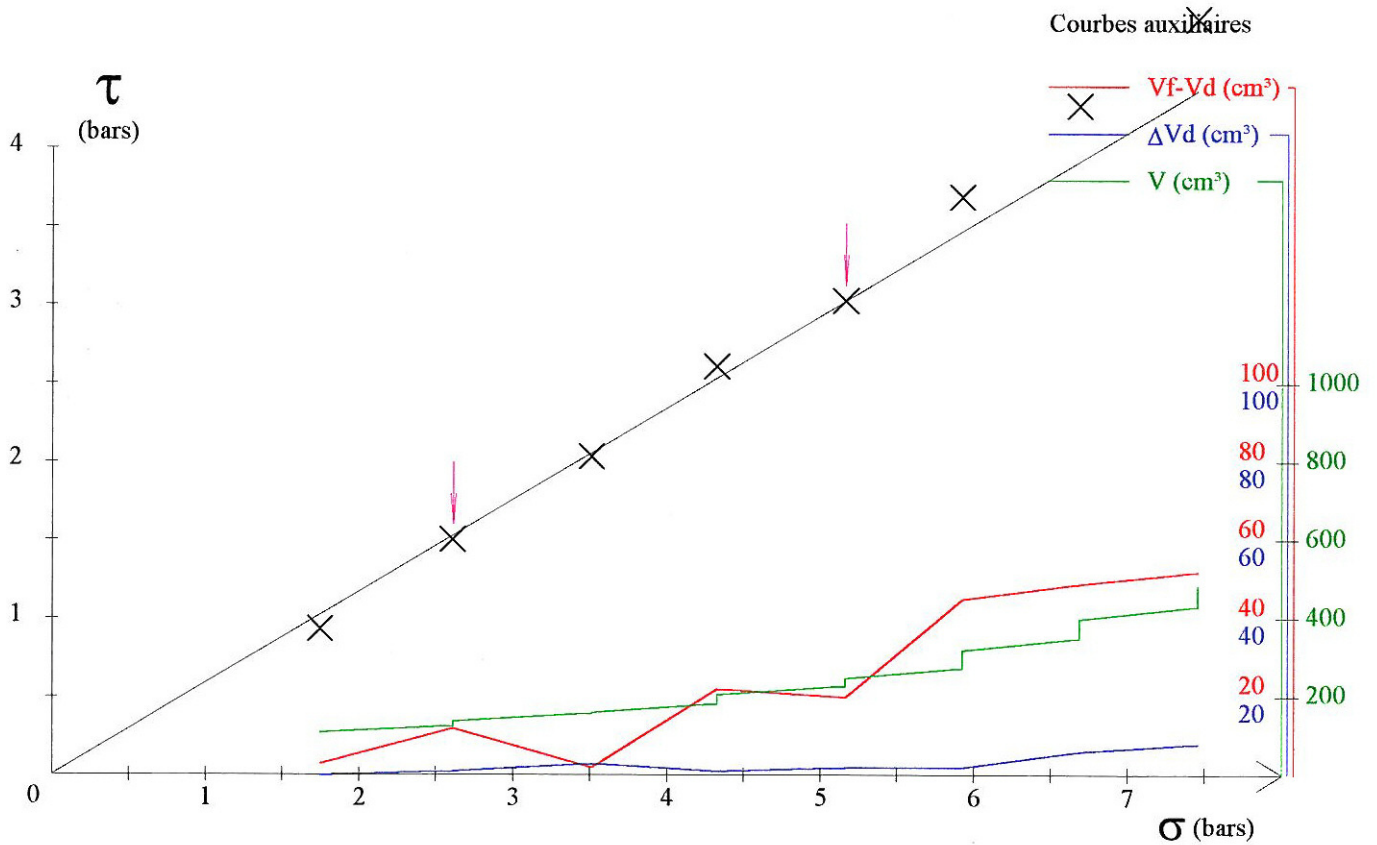
Forage: FP6

Date: 11.01.01

Profondeur: 1.5 m

$C_i = 0.000 \text{ bar}$
 $\phi_i = 30.4^\circ$

| σ (bars) | τ (bars) |
|--------------------|------------------|
| 1.7494 | 0.9325 |
| 2.6108 | 1.5039 |
| 3.5111 | 2.0347 |
| 4.3257 | 2.6095 |
| 5.1660 | 3.0290 |
| 5.9257 | 3.6907 |
| 6.6874 | 4.2716 |
| 7.4580 | 4.8260 |



HEINERSCHIED ÉOLIENNES

ESSAI PHICOMETRIQUE

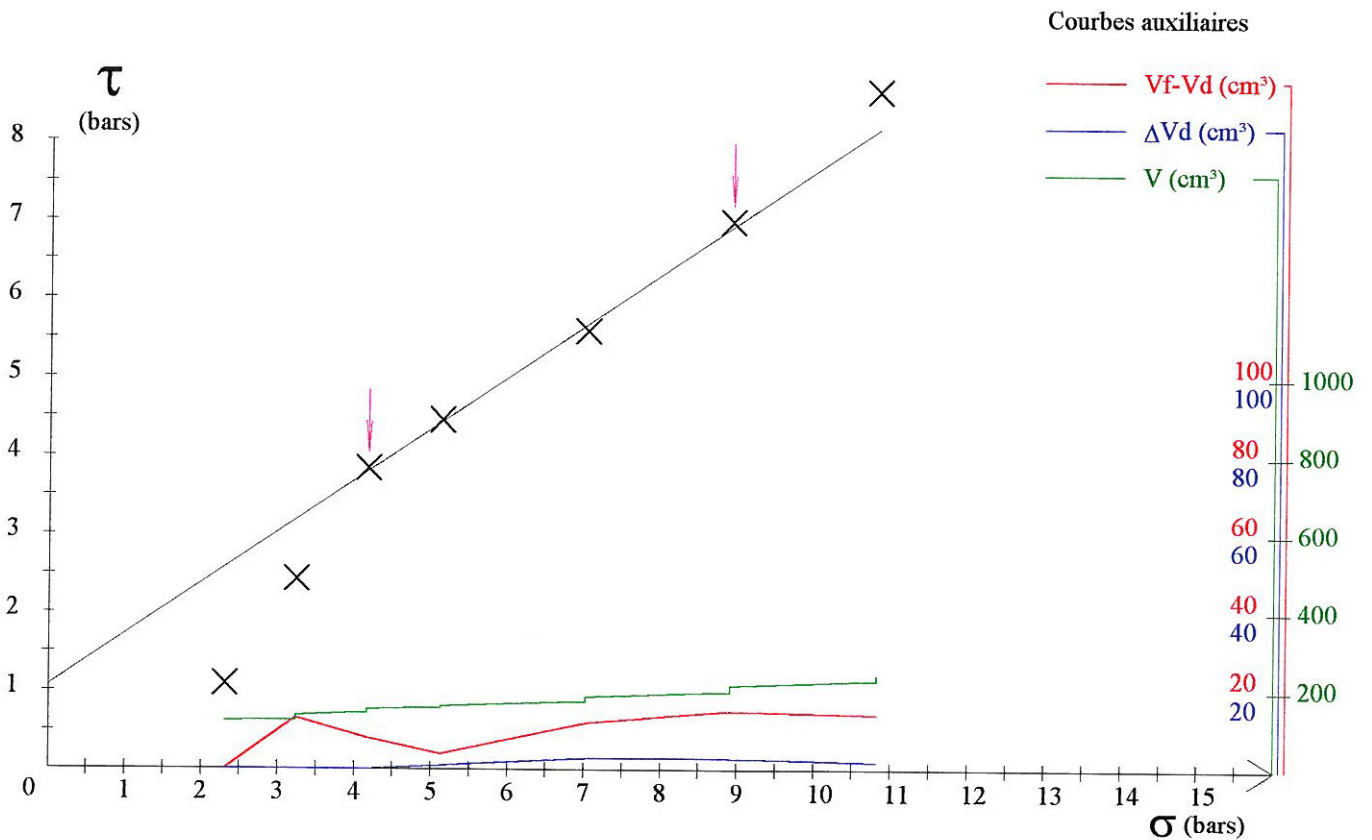
Forage: F 1.1

Date: 25-09-02

Profondeur: 3,0 m

$C_i = 1,070 \text{ bar}$
 $\phi_i = 33,4^\circ$

| σ (bars) | τ (bars) |
|--------------------|------------------|
| 2,3132 | 1,0882 |
| 3,2408 | 2,4258 |
| 4,1720 | 3,8455 |
| 5,1323 | 4,4618 |
| 7,0272 | 5,5981 |
| 8,9172 | 6,9975 |
| 10,8174 | 8,6600 |



STATION D'EPURATION A MOERSDORF

ESSAI AU PHICOMETRE

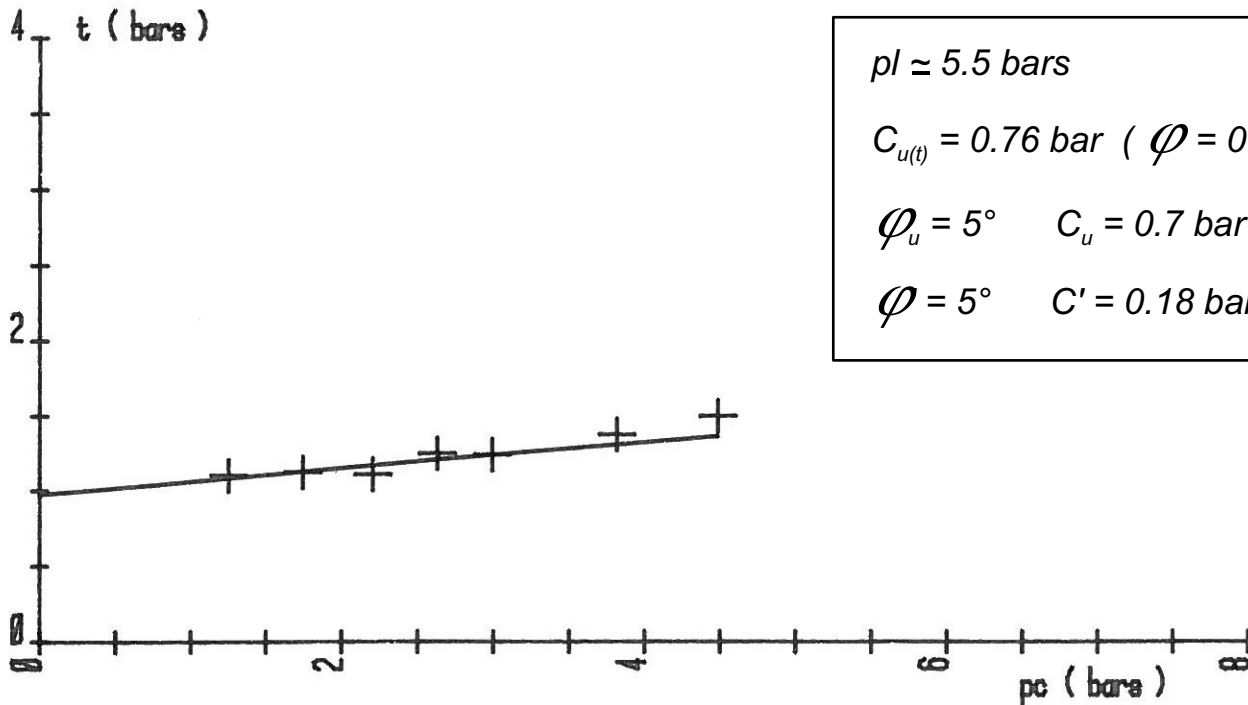
FORAGE: 1

Date : 23.10.1990

Profondeur: 1.50 m

$C_i = 0.978 \text{ bar}$ $\Phi_{ii} = 5^\circ$

t (bars)



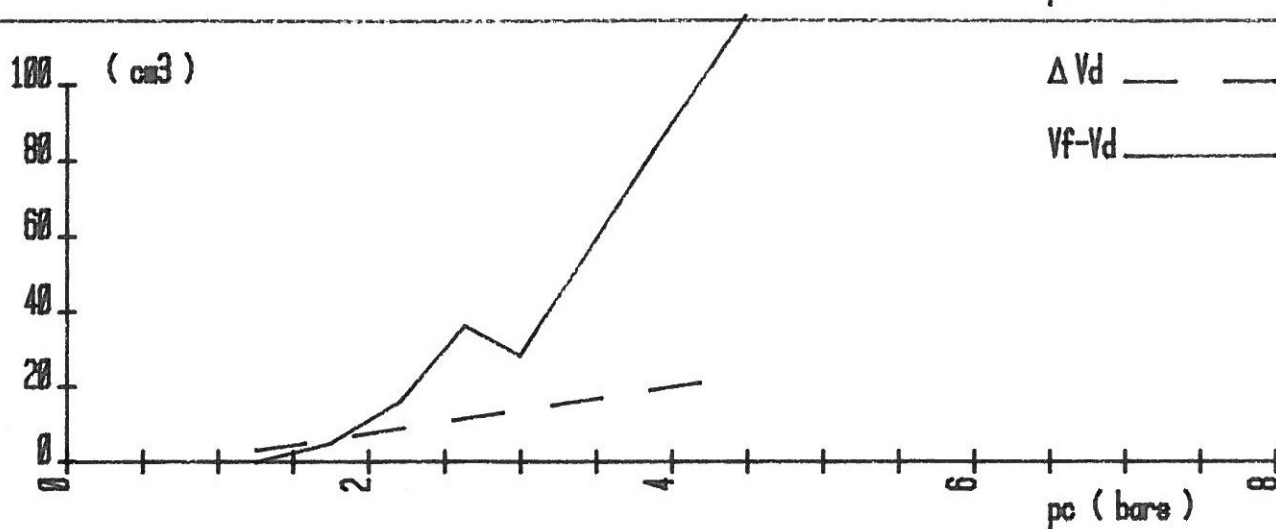
$p_l \approx 5.5 \text{ bars}$

$C_{u(t)} = 0.76 \text{ bar} (\Phi = 0)$

$\Phi_u = 5^\circ$ $C_u = 0.7 \text{ bar}$

$\Phi = 5^\circ$ $C' = 0.18 \text{ bar}$

(cm³)



ΔV_d — — —

$V_f - V_d$ — — —

V (cm³)

