

**Zeitschrift:** Bulletin technique de la Suisse romande  
**Band:** 102 (1976)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Palplanches et connaissance du sol  
**Autor:** Lattre, Jean de  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-72962>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 22.01.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

Il faut bien se rendre compte que le développement qui se fait en Suisse dans les domaines cités ne peut pas rester en retard sur celui de l'étranger, et particulièrement de nos voisins. Tôt ou tard, notre industrie de la construction sera confrontée à la concurrence étrangère et, si nous voulons qu'elle demeure compétitive, il faut tenir compte aujourd'hui déjà de l'évolution à venir.

C'est là un débat inévitable qui doit être pris en charge dès maintenant par la profession elle-même. Débat qui n'exclut pas des solutions partielles dans l'une ou l'autre voie d'intégration. Cependant il ne fait aucun doute que le marché pour lequel nous devons nous battre sera en tout état de cause différent de celui que nous connaissons aujourd'hui.

#### BIBLIOGRAPHIE

- [1] T. WIESEL : *La préfabrication des immeubles d'habitation en Suisse*. Schweizerisches Baublatt N° 61/62, 1975, Bulletin FIB/GCI/SIA N° 58/59/1975.
- [2] P. PEITREQUIN, Prof. EPF-L : *Cours de construction de tunnels*. Lausanne 1972.
- [3] *Construction actuelle de tunnels dans des massifs rocheux à résistance limitée*. Documentation GTS-SIA ; journée d'étude du 5.12.1976.
- [4] F. DU PASQUIER : *La construction de la N2 sur la rive gauche de lac des Quatre-Cantons*. Chantiers, N° 9/1975.
- [6] R. STÜSSI : *Vorfabrizierte Tunnelauskleidungen* ; Industrie-Rundschau, N° 7/1969.
- [7] H. GERUNG : *Die Beton-Wandverkleidung im San Bernadino Strassentunnel*. Industrie Rundschau nr. 11/1967.
- [5] W. ENG und P. LÜHBI : *Der Bau des Blatt-Tunnels und die Ausführung der Erdarbeiten*. Strasse und Verkehr, N° 12/1968.
- [8] *Galerie technique et galerie d'eaux pluviales*, Genève. Bulletin technique de la Suisse romande, N°s 4 et 9/1976.
- [9] *Passage souterrain pour piétons à Tolochenaz/VD*. Bulletin technique de la Suisse romande, N° 1/1972.
- [10] G. Y. FENOUX et S. MILANESE : *Applications récentes de la paroi préfabriquée PANASOL*. Travaux, décembre 1971.
- [11] P. DUPEUPLE et J. GILLARD : *La paroi préfabriquée — Procédé PREFASIF*. Applications. Travaux, décembre 1971.
- [12] A. BOLLIER et R. ADAMCZYK : *La pratique des parois moulées*. Bau-sélection, N° 2/1973.
- [13] P. EDER et H. RÜMMELI : *La première paroi en panneaux préfabriqués en Suisse*. Bulletin technique de la Suisse romande, N° 25/1974.
- [14] R. FREI und W. GRAF : *Schlitzwände mit vorgefertigten Betonteilen*. Schweizerische Bauzeitung, N° 28/1973.

Adresse de l'auteur :  
Tibère Wiesel  
Ingénieur civil SIA  
1111 Tolochenaz

## Palplanches et connaissance du sol

par JEAN DE LATTRE, Hayange et Rombas (France)

La détermination d'un rideau de palplanches nécessite a priori une bonne connaissance du sol qui s'acquiert par un certain nombre de procédés en laboratoire et sur place. Tout ingénieur d'entreprise doit pouvoir interpréter les résultats qui lui sont communiqués. Cet exposé aura pour but de faire connaître tous ces moyens d'investigation et de montrer une interprétation des résultats.

Il convient d'abord de bien distinguer l'état naturel d'un sol in situ et l'état dans lequel peut se trouver une éprouvette d'essai.

Dans la nature, un sol peut être :

- non saturé : air et eau entre les grains ;
- saturé : uniquement eau entre les grains ;
- sous-consolidé : c'est-à-dire n'ayant pas terminé de tasser sous les charges qui lui sont appliquées ;
- consolidé : tassement d'équilibre atteint ;
- sur-consolidé : obtenu à des époques géologiques antérieures.

Une éprouvette peut être saturée ou non, mais pratiquement on s'assure de sa saturation préalablement à tout essai. Selon l'état donné à l'éprouvette, trois essais sont envisageables :

1. Essai non consolidé, non drainé (U-U). Après saturation, l'éprouvette est soumise rapidement aux contraintes biaxiales ou triaxiales sans évacuation de l'eau. Les grains n'étant pas en contact, il n'y a pas angle de frottement, mais par contre on pourra mesurer une cohésion représentant la plus ou moins grande facilité des filets liquides à circuler.
2. Essai consolidé non drainé (C-U). Après saturation, l'éprouvette est soumise sur toute sa surface à une pression uniforme  $T_3$ , vanne de drainage ouverte. L'éprouvette se tasse jusqu'au point d'équilibre correspondant à la contrainte  $T_3$ . On traite ensuite comme pour le cas précédent.

Le sol se présente alors de la façon suivante :

- filets liquides plus petits,
- grains en contact,
- poches d'eau sous pression donnant la pression interstitielle.

On obtient donc :

un angle de frottement  $\phi_0$   
une cohésion  $C_u$ , plus petite que dans l'essai précédent, du fait de l'accélération des filets liquides par la pression interstitielle.

3. Essai consolidé drainé (C-D). Après saturation et consolidation, on applique lentement la contrainte verticale  $T_1$ , vanne ouverte.  
D'où :  $\phi$  augmente à  $\phi'$ ,  
 $C'$  diminue.

### 1. Essais de laboratoire

Il existe deux sortes d'essais :

- Essais d'identification permettant de déterminer la nature exacte du sol analysé.
- Essais mécaniques permettant de déterminer les caractéristiques mécaniques intrinsèques.

#### 1.1 Essais d'identification

Ils sont au nombre de trois :

- la courbe granulométrique ;
- les limites d'Atterberg ;
- la teneur en  $\text{CO}_2\text{Ca}$ .

La courbe granulométrique est réalisée au tamis pour les grains  $> 0,08$  mm et par sédimentomètre pour toutes les particules  $\leq 0,10$  mm. La variation de densité donne le pourcentage des fins qui est déposé et, selon la loi des vitesses de Stokes, leur diamètre.

La limite d'Atterberg convient pour les sols argileux et n'est faite que pour des sacs de grains  $\leq 0,42$  mm.

Il existe deux limites : la limite de liquidité  $W_L$  et la limite de plasticité  $W_P$ . On utilise également l'indice de plasticité  $I_P = W_L - W_P$ .

La plasticité de l'argile est classée ainsi :

- $0 \leq I_P \leq 5$  non plastique
- $5 \leq I_P \leq 15$  peu plastique
- $15 \leq I_P \leq 40$  plastique
- $I_P > 40$  très plastique

Teneur en  $CO_3Ca$  (carbonate de calcium). Cette teneur est intéressante pour fixer la position du sol entre argile et calcaire. On a :

- $0 \leq CO_3Ca \leq 10\%$  argile
- $10\% \leq CO_3Ca \leq 30\%$  argile limoneuse
- $30\% \leq CO_3Ca \leq 70\%$  marne
- $70\% \leq CO_3Ca \leq 90\%$  calcaire marneux
- $90\% \leq CO_3Ca \leq 100\%$  calcaire limoneux

## 1.2 Essais mécaniques

Trois appareils sont utilisés : l'œdomètre, la boîte de Casagrande et la cellule triaxiale.

### œdomètre

L'œdomètre est un appareil qui mesure l'état de consolidation d'un sol. On en déduit la valeur du tassement sous l'action d'une charge donnée.

Cet appareil est essentiellement constitué d'une boîte dans laquelle on place l'échantillon entre deux pierres poreuses. Le tout est surmonté d'un couvercle piston auquel on appliquera une pression croissante  $\sigma'$ .

On sait que :

$$e = \text{indice des vides} = \frac{\text{volume des vides } V_V}{\text{volume des grains solides } V_S}$$

La courbe œdométrique est une courbe  $e - \lg \sigma'$  (fig. 1).

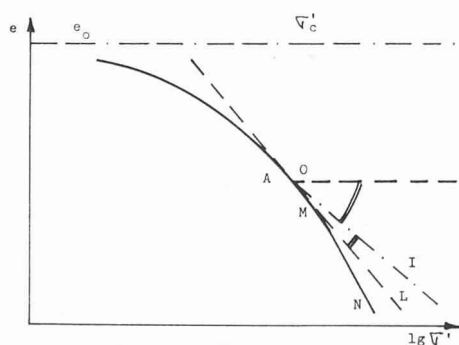


Fig. 1. — Courbe œdométrique.

$AL = \text{tg}$  à  $45^\circ$  à la courbe ;

$AI =$  bissectrice de l'angle ;

$O$  rencontre  $MN$  avec bissectrice ;

Abscisse de  $O = \sigma'_c =$  pression maximale supportée par le sol au cours de son histoire.

L'asymptote à la courbe donne  $e_0 =$  indice des vides initial. La courbe donne  $e_0, \sigma'_c, C_c, H$  (hauteur de l'échantillon).

Le tassement sous une pression supérieure à  $\sigma_c$  de  $\Delta\sigma$  est égal à :

$$\Delta H = \frac{H \times C_c}{1 + e_0} \lg \frac{\sigma'_c + \Delta\sigma}{\sigma'_c}$$

### Boîte de Casagrande

Il s'agit d'un appareil biaxial permettant de déterminer la cohésion et l'angle de frottement. Comme pour l'œdomètre, l'appareil est constitué d'une boîte contenant l'échantillon entre deux pierres poreuses pour accélérer le drainage, le tout recouvert d'un couvercle-piston permettant d'exercer une contrainte normale sur l'échantillon. A mi-hauteur cette boîte est discontinue, de telle sorte que la partie supérieure peut glisser sur la partie inférieure. En principe, on peut mesurer ainsi la résistance au cisaillement tangentiel de l'échantillon.

Soit  $\tau$  la contrainte dans la section de l'échantillon, due à la force  $F$ . Pour une valeur choisie de  $\sigma$ , on peut tracer la courbe  $\tau - \Sigma, \Sigma$  étant le rapport  $\frac{\Delta l}{l}$ .

$l =$  longueur de l'échantillon,

$\Delta l =$  déplacement de la partie mobile.

Ces courbes passent par un maximum puis décroissent rapidement lorsqu'il y a rupture de l'échantillon (fig. 2).

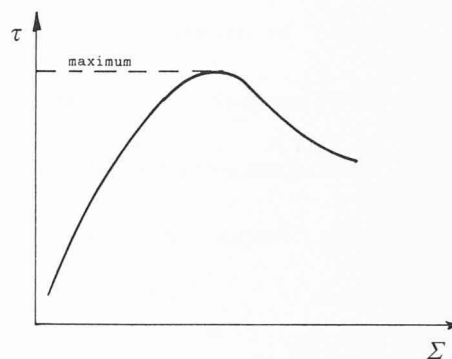


Fig. 2. — Exemple de courbe  $\tau - \Sigma$ .

En faisant varier  $\sigma$  on obtient une famille de courbes  $\tau - \Sigma$  et en conséquence pour chaque valeur de  $\sigma$  on a une valeur maximale de  $\tau$ .

La courbe  $\tau_{\text{max}} - \sigma$  est la courbe intrinsèque du sol.

### Cellule triaxiale

L'appareil est constitué d'une cellule cylindrique étanche à l'intérieur de laquelle on place l'éprouvette. En remplissant la cellule d'eau, on peut exercer ainsi une pression triaxiale  $\sigma_3$  sur l'éprouvette. On peut exercer également une contrainte verticale axiale (déviateur)  $\sigma_1$  par un piston appliqué sur l'éprouvette. Avec cet appareil on peut pratiquer les trois types d'essais U-U, C-U et C-D. Pour un certain nombre de valeurs de  $\sigma_3$ , on détermine les valeurs  $\sigma_1 - \sigma_3$  à la rupture.

La tangente aux cercles de Mohr donne la courbe intrinsèque.

## 2. Essais in situ

Les appareils de reconnaissance universellement utilisés sont :

- le pressiomètre,
- le pénétromètre statique,
- le pénétromètre dynamique,
- le Standard Penetration Test,
- le pénétromètre statique dynamique,
- le scissomètre ou vane test.

Il existe une grande variété de pénétromètres statiques et dynamiques. Les plus couramment utilisés en France sont le pénétromètre statique hollandais et le pénétromètre dynamique système Fondasol.

## 2.1 Pressiomètre

Constitué d'une sonde en caoutchouc dilatable, introduite dans un forage de 60 mm. Lorsqu'on rencontre du sable et gravier sous nappe, il est nécessaire d'utiliser un pieu lanterne de 47/60 et une sonde spéciale de 44 mm. Les données fournies par le pressiomètre sont :

- le module de déformation  $E$ ,
- la pression de fluage  $pf$ ,
- la pression limite  $pl$ .

### Interprétation des données

#### a) Terrain cohérent

$$\text{Cohésion } C = \frac{pf}{3,2}$$

En terrain purement cohérent on a  $\frac{pl}{pf} = 1,7$

On a d'autre part :

- $\frac{E}{pl} \leq 5$  argiles remaniées, triturées ;
- $5 < \frac{E}{pl} \leq 8$  argiles sous-consolidées ;
- $8 < \frac{E}{pl} \leq 12$  argiles normalement consolidées ;
- $12 < \frac{E}{pl} \leq 15$  argiles légèrement surconsolidées ;
- $\frac{E}{pl} > 15$  argiles fortement consolidées.

#### b) Terrains pulvérulents

$$\begin{array}{llll} \frac{pl}{pf} = 1,5 & \phi = 15^\circ & \frac{pl}{pf} = 3,2 & \phi = 30^\circ \\ \frac{pl}{pf} = 1,9 & \phi = 20^\circ & \frac{pl}{pf} = 4,6 & \phi = 35^\circ \\ \frac{pl}{pf} = 2,4 & \phi = 25^\circ & \frac{pl}{pf} = 7,4 & \phi = 40^\circ \end{array}$$

D'autre part, comme on a la relation :

$$\lg pl = a + b \lg \frac{E}{pl} \quad \text{avec } b = \sin \phi,$$

il suffit de tracer les points de coordonnées  $\lg pl - \lg \frac{E}{pl}$  et d'en déduire une droite moyenne. La pente de cette droite est égale à  $\sin \phi$ .

## 2.2 Pénétrömètre statique (pénétrömètre hollandais)

Il existe deux types :

- le type 2,5 t, la poussée sur le cône se faisant par l'intermédiaire d'une crémaillère ;
- le type 10 t, la poussée s'exerçant hydrauliquement.

Le type 2,5 t ne peut donner que la résistance de pointe.

Le type 10 t étant muni d'un manchon mobile du diamètre du cône, il peut donner la résistance due au frottement latéral. Pour les deux types le cône a les mêmes dimensions :

$$\begin{array}{l} D = 35,7 \text{ mm} \\ S = 10 \text{ cm}^2 \end{array}$$

Par définition  $Rp$  = pression correspondant à un enfoncement de 4 cm.

### Terrain pulvérulent

$$\text{On a la relation } bs R(\phi s) = \frac{Rp}{1,4 \gamma H}$$

$\phi$  est tiré du tableau suivant :

$bs R(\phi s)$	$\phi s$	$\phi$
7,6	10	15
11,5	12	18
17,6	14	20,5
27,1	16	23
42,1	18	26
66	20	28,5
105	22	31
160	24	34
274	26	36
454	28	39
766	30	41

$$\text{Sachant que } \tg \phi s = \frac{2}{3} \tg \phi.$$

### Terrain cohérent

$$\text{On a } \frac{Rp}{20} < c < \frac{Rp}{10}$$

$$\text{En moyenne on prend } c = \frac{Rp}{15}$$

## 2.3 Pénétrömètre dynamique (Fondasol)

Constitué d'une pointe conique ( $D = 60$  mm,  $S = 28,274$  cm<sup>2</sup>), surmontée d'une colonne  $\phi 32/42$  passant dans un tube  $\phi 47/60$ . Battage effectué au Delmag H 2.

La valeur  $Rp$  est ramenée à l'unité de section du cône.

## 2.4 Standard Penetration Test (SPT)

Battage d'un carottier au fond d'un forage nettoyé. Les dimensions du carottier sont  $L = 813$  mm et  $\phi = 35/51$  mm.

Le battage se fait par mouton à chute libre de 63,5 kg. Hauteur de chute : 76,2 cm.

On opère le battage par tranches de 15 cm.

- 1) Enfoncement de 15 cm pour éviter la zone remaniée.
  - 2) Enfoncement de 15 cm, soit  $N_1$  le nombre de coups.
  - 3) Enfoncement de 15 cm, soit  $N_2$  le nombre de coups.
- On prend  $N = N_1 + N_2$ .

Le SPT est surtout valable pour les sables et non pour les argiles. L'interprétation des résultats donne :

$0 < N \leq 5$	sable très lâche
$5 \leq N \leq 10$	sable lâche
$10 \leq N \leq 30$	sable moyen
$30 \leq N \leq 50$	sable dense
$50 \leq N \leq 70$	sable très dense

## 2.5 Pénétrömètre statique dynamique

Il réunit les avantages de deux pénétrömètres.

Il existe trois fabricants :

Meurisse	Statique pour $R \leq 300$ bars — Dynamique au-dessus
Jangot-Bonneton et Andina	} Statique pour $R \leq 1000$ bars — Dynamique au-dessus.

Caractéristiques du pénétrömètre Andina :

Pointe	$D = 80$ mm	$S = 50$ cm <sup>2</sup>
Manchon	$D = 80$ mm	$H = 250$ mm
Fut	$D = 80$ mm	

La sonde centrale pour terrain très compact est constituée d'une tige  $D = 35$  mm terminée par une pointe  $D = 39$  mm ( $s = 12$  cm<sup>2</sup>).

## 2.6 Scissomètre (ou vane test)

Appareil constitué par quatre pales de hauteur  $h$  balayant un cercle de diamètre  $d$ . Ces pales sont surmontées d'une tige. La rotation est assurée par un bras de levier de longueur  $l$ .

Un dynamomètre mesure la force  $R$  nécessaire à la rotation.

Appareil utilisé pour la recherche de la cohésion non drainée  $C_u$  des vases et argiles molles.

$$C_u = \frac{6 R \times l}{\pi d^2 (d + 3h)}$$

### 3. Interprétation des essais in situ

Les appareils de mesure peuvent nous fournir sept caractéristiques fondamentales du sol.

- $E$  = module de déformation
- $pf$  = pression de fluage
- $pl$  = pression limite
- $C_u$  = cohésion non drainée
- $R_p$  = résistance de pointe statique
- $R_d$  = résistance de pointe dynamique
- $N$  = coefficient SPT (nombre de coups pour 30 cm)

Les données d'utilisation du matériel sont les suivants :

Pressiomètre : argile, sable, gravier, marne, roche.

Pénétromètre statique : argile, sable, petit gravier.

Pénétromètre dynamique : argile, sable, gravier.

SPT : sable.

Les relations les plus intéressantes sont les suivantes :

#### 1) Terrains cohérent et normalement consolidés

$$\frac{pf}{C_u} = 3,2 \quad \frac{pl}{C_u} = 5,5 \text{ à } 6 \quad \frac{R_p}{C_u} = 15 \text{ à } 20$$

$$\frac{pl}{pf} = 1,7 \quad \frac{E}{pl} = 9 \text{ à } 10 \quad \frac{R_p}{pl} = 3$$

$$\frac{E}{R_p} = 3 \quad \frac{R_p}{R_d} = 1 \text{ à } 1,1$$

#### 2) Terrains pulvérulents

Outre les valeurs de  $\phi$  données en fonction du rapport

$\frac{pl}{pf}$ , il existe aussi des valeurs données en fonction du rapport  $\frac{R_p}{pl}$ .

$\phi$	$\frac{R_p}{pl}$		
	$\lambda = 1,5$	$\lambda = 1,8$	$\lambda = 2$
10	2,30	2,70	3,10
20	3,60	4,30	4,70
30	5,50	6,60	7,30
40	8,70	10,50	11,60
50	14,70	17,70	19,60

$\lambda$  est un coefficient de forme.

Entre données il existe également les relations suivantes :

$$\frac{R_p}{R_d} = 0,6 \text{ à } 0,7 \quad \frac{N}{pl} = 5 \quad \frac{N}{E} = 0,6$$

En définitive, les essais in situ nous donnent les caractéristiques mécaniques instantanées. Les essais de laboratoire permettent de définir l'évolution de ces caractéristiques mécaniques dans le temps. Les deux groupes de résultats ne doivent pas être dissociés, car ils ont tous deux une importance équivalente dans la tenue de l'ouvrage.

### 4. Conclusions

La connaissance des caractéristiques du sol est absolument nécessaire pour une utilisation rationnelle des palplanches. Elle s'impose d'abord pour le calcul, car une méconnaissance des valeurs intrinsèques du sol peut soit amener à réaliser un ouvrage 20 à 30 % plus lourd qu'il ne devrait être, soit provoquer la rupture de l'ouvrage par manque de fiche ou en raison d'ancrages trop faibles. Elle s'impose ensuite pour la détermination la plus exacte possible du procédé de mise en œuvre, de la puissance de l'engin et du temps de fonçage. Ainsi, par exemple, lorsque le sol est argileux, la connaissance de la cohésion et de la plasticité permettra de choisir entre la percussion, la vibration et le trépideur. La pénétration dans les roches ne peut sérieusement être traitée que si l'on connaît la porosité et la résistance à la rupture à la compression.

En conclusion, module, épaisseur, forme d'une palplanche ne peuvent être fixés avec certitude et le plus économiquement possible que si l'on connaît les caractéristiques du sol car de celles-ci dépendent les efforts auxquels seront soumises les palplanches, la résistance à la pénétration et en conséquence le procédé d'enfoncement.

Adresse de l'auteur :

Jean de Lattre, ingénieur ETP,  
Département technique Palplanches  
SACILOR, Acieries et Laminoirs de Lorraine,  
Hayange et Rombas (France).

*N.B.* — Cette étude a été conçue comme introduction aux colloques « Choix d'un profil de palplanche » et « Choix du type d'engin de fonçage selon les conditions du site » organisés par DAVUM SA fin automne/courant hiver 76/77. Renseignements : DAVUM SA, 8042 Zurich 6.

## Carnet des concours

### Nouveau Conservatoire à Lausanne

#### Jugement

Sur les 56 projets rendus, le jury en a primé 8 et a recommandé l'achat de 4 autres.

L'exposition des projets a lieu au Casino de Montbenon, Lausanne, du 4 au 21 novembre 1976.

Le *Bulletin technique de la Suisse romande* reviendra sur cet important concours.

## EPFZ

Les prochaines conférences organisées par l'Institut d'hydraulique de l'EPFZ auront lieu en l'auditoire de l'Institut, Gloriastrasse 37-39, 1<sup>er</sup> étage, Zurich :

« Der Wasserdurchbruch am Elbe-Seitenkanal bei Lüneburg, vom 18. Juli 1976 » (avec projections)  
par M. G. Gysel, ingénieur, chargé de cours à l'EPFZ, le mardi 16 novembre 1976, à 16 h. 15.

« Verfahren zur Berechnung des optimalen Trassees von Leitungen »  
par M. U. Moser, D<sup>r</sup> sc. techn., le mardi 30 novembre 1976, à 16 h. 15.