Master 1 - Génie Civil et Maîtrise de Projet

Corrigés des travaux dirigés de géotechnique

Introduction aux sondages et essais in situ

Version du 20.03.2020

Année universitaire 2019 - 2020

Franck AVRIL

UFR Sciences et Sciences de l'Ingénieur
Université de Bretagne Sud - Rue Coat Saint Haouen
56321 LORIENT

ARVOR Géotechnique - 11 Route de Toulindac - 56870 BADEN
Tel. : 09.63.46.57.81 – Port. 06.35.94.13.78
Courriel : **contact@arvor-geo.fr** – Site : **www.arvor-geo.fr**

LEXIQUE

A) Carottages

Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
RQD	**R**ock **Q**uality **D**esignation	%	$RQD = \frac{\sum longueur\ des\ morceaux > 10\ cm}{longueur\ totale\ du\ forage} \times 100$

B) Essais in situ au stade de l'étude géotechnique

PENETROMETRE DYNAMIQUE			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
m	Masse du mouton	kg	
m_e	Masse enclume + tige guide + porte pointe	kg	
m_t	Masse d'une tige	kg/ml	
m_p	Masse de la pointe perdue	kg	
H	Hauteur de chute du mouton	m	
A	Section droite de la pointe	cm²	
e	Enfoncement moyen sous un coup :	m	$e = 0.1/N_{d10}$ (m)
g	Accélération de la pesanteur	$m.s^{-2}$	9,81
q_d	Résistance dynamique en pointe	MPa	$q_d = \frac{m.g.H}{A.e} \cdot \frac{m}{m+m'}$

STANDARD PENETRATION TEST			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
N1	Nb de coups pour un Enfoncement de 15 à 30 cm	coups	
N2	Nb de coups pour un Enfoncement de 30 à 45 cm	coups	
N – SPT N	Résistance à la pénétration	coups	N1 + N2
Er	Rapport d'énergie	%	
N_{60}	Résistance normalisée	coups	$N_{60} = N.n_1.n_2.n_3.n_4.n_5.n_6$
γ_w	Poids volumique de l'eau	kN/m^3	**10**

γ_{sat}	Poids volumique du sol saturé	kN/m^3	
γ'	Poids volumique du sol déjaugé	kN/m^3	
z	Profondeur de l'essai	m	
h_w	Profondeur de la nappe	m	
σ'_v	Contrainte effective dans un sol à la profondeur Z	kPa	$\sigma'_v = \gamma.h_w + \gamma'.(z - h_w)$
C_N	Facteur de correction de la contrainte	-	$C_N = \left[\frac{100}{\sigma'_{v0}}\right]^{1/2}$
$N_{1,60}$	Résistance normalisée corrigée à la pression effective de 100 kPa	coups	$N_{1,60} = C_N.N_{60}$
PENETROMETRE STATIQUE			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
Q_t	Effort total de pénétration	kN	
Q_c	Effort apparent sur le cône	kN	
Ac	surface de la base du cône :	m²	
q_c	La résistance apparente à la pénétration du cône	kPa	$q_c = \frac{Q_c}{A_c}$
Q_{st}	Effort total de pénétration	kN	$Q_{st} = Q_t - Q_c$
Q_s	Effort de frottement latéral local	kN	
A_s	surface latérale du manchon de frottement	m²	
f_s	Frottement latéral unitaire local	kPa	$f_s = \frac{Q_s}{A_s}$
R_f	Rapport de frottement	%	$R_f = \frac{f_s}{q_c}$
I_f	Indice de frottement	%	$I_f = \frac{q_c}{f_s}$

ESSAI PRESSIOMETRIQUE			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
z_N	Cote altimétrique du terrain	m	
z_c	Cote altimétrique de la prise de pression sur le CPV	m	
z_s	Cote altimétrique du milieu de la cellule de mesure de la sonde pressiomètrique lors de l'essai	m	
z_w	Cote altimétrique de la nappe	m	
γ_w	Poids volumique de l'eau	kN/m^3	10
γ	Poids volumique total du terrain au moment de l'essai.	kN/m^3	
γ_i	Poids volumique injecté dans la cellule centrale de mesure	kN/m^3	10
p_h	Pression due à la charge hydraulique entre le CPV et la cellule centrale de la sonde pressiomètrique	kPa	$p_h = \gamma_i.(z_c - z_s)$
u_s	Pression de l'eau interstitielle dans le terrain au niveau d'essai.	kPa	- au-dessus de la nappe : $u_s = 0$ - au-dessous de la nappe : $u_s = \gamma_w \cdot (z_w - z_s)$
K_0	Coefficient de pression des terres au repos au niveau de l'essai.	-	0,5
σ_{vs}	Contrainte totale verticale du terrain au niveau de l'essai	kPa	$\sigma_{vs} = \gamma \cdot z_s$
σ_{hs}	Contrainte totale horizontale du terrain au niveau de l'essai	kPa	$\sigma_{hs} = K_0 \cdot (\sigma_{vs} - u_s) + u_s$
p_{el}	Résistance limite propre de la sonde pressiomètrique à 700 cm^3 (550 cm^3 pour un tube lanterné)	kPa	
V_{30}	Volume injecté dans la cellule centrale de mesure 30 secondes après le début du palier	cm^3	
V_{60}	Volume injecté dans la cellule centrale de mesure 60 secondes après le début du palier	cm^3	
p_f	Pression de fluage pressiomètrique du terrain	MPa	
p_f^*	Pression de fluage pressiomètrique nette du terrain	MPa	$p_f^* = p_f - \sigma_{hs}$
p_l ou p_{lM}	Pression limite pressiomètrique du terrain	MPa	
p_l^*	Pression limite pressiomètrique nette du terrain	MPa	$p_l^* = p_l - \sigma_{hs}$
E_M	Module pressiomètrique Ménard	MPa	

ESSAI DE CISAILLEMENT AU PHICOMETRE			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
l_s	Longueur conventionnelle de la zone de mesure	m	
d_s	Diamètre extérieur hors tout de la sonde après injection d'un volume V	m	
T_l	Effort d'arrachement limite conventionnel	kN	
τ	Contrainte de cisaillement limite conventionnelle	kPa	$\tau = \frac{T_l}{\pi . l_s . d_s}$
c_i	Cohésion in situ	kPa	
φi	Angle de frottement in situ	°	

RISQUE SISMIQUE			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
v_s	Vitesse de propagation des ondes de cisaillement	m/s	
v_i	Célérité des ondes de cisaillement de la couche i	m/s	
h_i	Epaisseur de la couche i	m	
$v_{s,30}$	Vitesse moyenne des ondes de cisaillement sur les 30 mètres supérieurs	m/s	$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{I=1,N} \frac{h_i}{v_i}}$
NOTION DE LIQUEFACTION DES SOLS - Formule de Coulomb			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
γ	poids volumique du sol au-dessus de la nappe	kN/m^3	
γ_{sat}	poids volumique saturé (au-dessous de la nappe)	kN/m^3	
γ_w	poids volumique de l'eau	kN/m^3	
γ'	poids volumique déjaugé	kN/m^3	$\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$
z	profondeur	m	
z_w	profondeur du niveau supérieur de la nappe	m	

σ'_v	contrainte effective verticale	kPa	$\sigma_v' = \sigma_v - u$ $\sigma_v' = \gamma . z_w + \gamma_{sat} . h_w - \gamma_w . h_w$.
σ_v	contrainte verticale	kPa	$\sigma_v = \gamma . Z_w + \gamma_{sat} . h_w$
h_w	hauteur de la nappe au- dessus du point considéré.	m	
u	pression interstitielle	kPa	$u = \gamma_w . h_w$.
ϕ	angle de frottement du sol	°	
τ	contrainte de cisaillement	kPa	$\tau = (\sigma_n - u) \tan \phi$

C) Essais de contrôle in situ sur sols et matériaux

CONTROLE DE COMPACTAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE A ENERGIE CONSTANTE			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
X_c	Valeur mesurée de l'enfoncement de la pointe pour un choc de la masse tombante	mm/coup	
e_c	Valeur corrigée de l'enfoncement de la pointe pour un choc de la masse tombante	mm/coup	
e_R	Valeur moyenne de l'enfoncement de la pointe perdue par coup obtenue sur des matériaux type d'une classe donnée, lorsque la densité correspond à la valeur moyenne prescrite	mm/coup	
e_L	Valeur maximale de l'enfoncement de la pointe perdue par coup à une profondeur donnée qui ne doit pas être dépassée pour obtenir une densification suffisante des matériaux.	mm/coup	

CONTROLE DE COMPACTAGE AU PENETROMETRE DYNAMIQUE A ENERGIE VARIABLE			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
q	Valeur de la résistance à la pénétration dynamique	MPa	
q_L	Valeur limite de la résistance à la pénétration dynamique	MPa	
q_R	Valeur de référence de la résistance à la pénétration dynamique	MPa	

ESSAI STATIQUE A LA PLAQUE – Coefficient de Westergaard			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
p	Pression moyenne exercée sous la plaque	kPa	70
ϕ	Diamètre de la plaque	mm	600 – 750 ou 762
e	Enfoncement provoqué par le chargement de la plaque	mm	
Kw	Coefficient de réaction de Westergaard	MPa/m	$Kw = (P/e) \times (\phi/762)$
Dmax	200 mm.	mm	

ESSAI STATIQUE A LA PLAQUE – Module Ev2			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
p	Pression moyenne exercée sous la plaque	kPa	- 1er cycle : 250 - 2eme cycle : 200
d	Diamètre de la plaque	mm	600
ν	Coefficient de Poisson du matériau constituant la plate-forme	-	0,25
z_2	Enfoncement de la plaque produit par le second chargement.	mm	$z_2 = z_1 - z_0$
EV1 EV_2	Module de déformation statique à la plaque $EV_1 = \frac{\pi}{4}.(1-0{,}25^2).\frac{0{,}250.600}{e_1}$ $EV_2 = \frac{\pi}{4}.(1-0{,}25^2).\frac{0{,}200.600}{z_2}$	MPa	$EV_2 = \frac{\pi}{4}(1-\nu^2).\frac{p.d}{z_2}$ $EV_1 \approx \frac{112{,}5}{e_1}$ $EV_2 \approx \frac{90}{z_2}$
PLAQUE DYNAMIQUE LEGERE			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
E_{VD}	Module dynamique	MPa	

D) Essais de perméabilité

TEST DE PERMEABILITE DANS UNE EXCAVATION			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
L	Longueur de la fouille	m	
L'	Largeur de la fouille	m	
H	Hauteur d'eau / fond de fouille	m	
t	Temps de mesure	s	
V	Volume injecté	m^3	
k	coefficient d'infiltration	m/s	

ESSAI LUGEON			
Notation	Désignation	Unité	Formule ou valeur
U.L	1 l / min / m sous une pression de 1 MPa. Si le débit ramené à 1,0 m de forage est de ***n*** litres/minute on dira que la perméabilité de la roche est de ***n*** Lugeons.		

1. Exercice n°1 : Prélèvement d'échantillons de sol

1.1. Question 1 :

Indiquer la ou les classes de prélèvement des sols, au sens de la norme NF P 94-202, autorisées pour réaliser :

Investigations	Essais triaxiaux	Essai à l'oedomètre	Granulométrie	Mesure de RQD
Paramètres mesurés	φ', c', φ_{uu}, c_{uu}	C_v, C_c, C_g, E	D	R.Q.D
Classe de prélèvement	1	1	1-2-3-4	1-2
Exemple de carottier	Carottier poinçonneur paroi mince	Carottier à piston stationnaire	Carottier poinçonneur paroi mince - Vibro-percussion	Carottier double.

1.2. Question 2 :

Quelles les classes de prélèvement peut-on atteindre avec une tarière à main et avec une tarière continue ?

Classe 3 et 4

2. Exercice n° 2 : Sondage au pénétromètre dynamique

Le pénétromètre présente les principales caractéristiques suivantes :

m	Masse du mouton	kg	64
m_e	Masse enclume + tige guide + porte pointe	kg	18
m_t	Masse d'une tige	kg/ml	6
m_p	Masse de la pointe perdue	kg	0,5
H	Hauteur de chute du mouton	m	0,75
A	Section droite de la pointe	cm²	20

2.1. Question 1

A 4 mètres et 7 mètres de profondeur on mesure 15 coups de mouton pour enfoncer le train de tiges de 10 cm. On considéra dans chacun des cas que le nombre de tiges (longueur d'une tige = 1,0 m) est suffisant pour que le marteau de frappe puisse être arrêté au mieux à 0,2 m au dessus du sol avant de devoir mettre la tige suivante.

Calculer à partir de la formule des Hollandais les valeurs de la résistance dynamique de pointe q_d.en MPa.

<u>Réponse</u>

$$qd = \frac{m.g.H}{A.e} \cdot \frac{m}{m + m'} \quad (1)$$

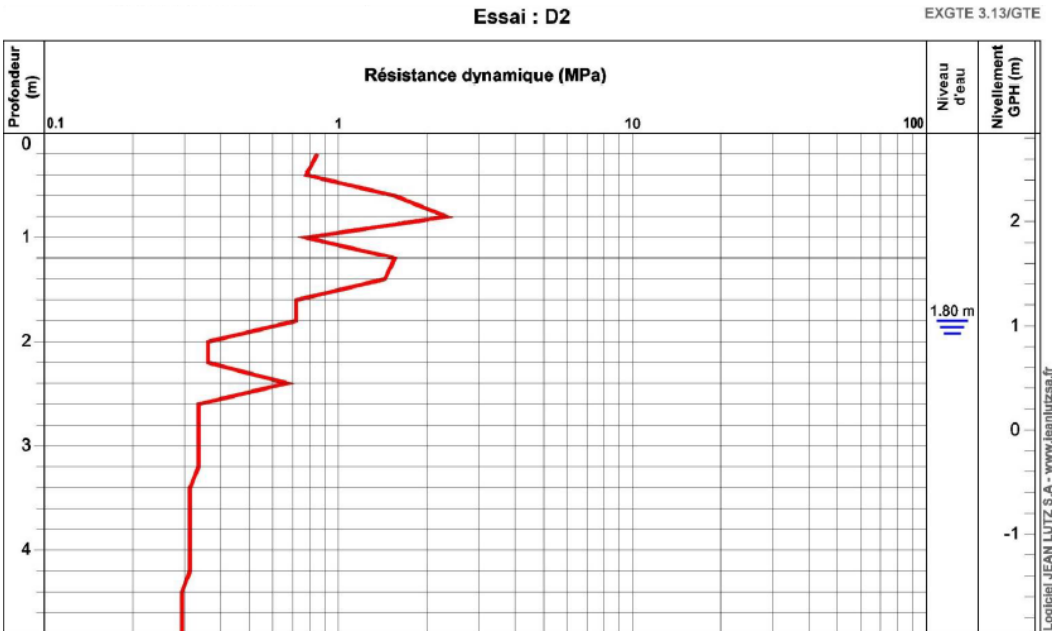
m : masse du mouton (kg)
g : accélération de la pesanteur (m.s²)
H : hauteur de chute du mouton (m)
A : section de la pointe (m²)
e : enfoncement moyen sous un coup : e= 0.1/N_{d10} (m)
m' : masse frappée (enclume, tige guide, tiges et pointe, en kg)

- à 4 mètres : $qd = \frac{m.g.H}{A.e}.\frac{m}{m+m'} = \frac{(64^2 \times 9{,}81 \times 0{,}75)}{(20 \times 10^{-4} \times 0{,}1/15 \times (64+18+5\times 6+0{,}5)}.10^{-6} = 20{,}09 \ MPa$

- à 7 mètres : $qd = \frac{m.g.H}{A.e}.\frac{m}{m+m'} = \frac{(64^2 \times 9{,}81 \times 0{,}75)}{(20 \times 10^{-4} \times 0{,}1/15 \times (64+18+8\times 6+0{,}5)}.10^{-6} = 17{,}32 \ MPa$

2.2. Question 2

Un géotechnicien indique sur une coupe pénétromètrique une valeur de résistance dynamique de q_d = 0,3 MPa à 4 mètres de profondeur avec un pénétromètre dynamique type B ou DPSH-B.



Calculer le nombre de coups correspondant pour un enfoncement de 10 cm et pour un mètre :

$$q_d = \frac{m.g.H}{A.e}.\frac{m}{m+m'} \text{ soit } e = \frac{m.g.H}{A.q_d}.\frac{m}{m+m'}$$

$$e = 0{,}1/n = \frac{(64^2 \times 9{,}81 \times 0{,}75)}{(20 \times 10^{-4} \times 0{,}3 \times (64+18+5\times 6+0{,}5)}.10^{-6} = 0{,}446m$$

Soit n = 0,22 coups/10 cm ≈ 2 coups/mètre.

2.3. Question 3

La norme NF EN ISO 22476-2 considère que le nombre normal de coups $\mathbf{N_{20}}$ (nombre de coups pour enfoncer la pointe de 20 cm) doit se situe généralement pour entre **5 et 100** dans le cas du pénétromètre DPSH-B.

En deçà de 5 coups pour 20 cm, il convient normalement d'avoir recours à un pénétromètre de plus faible énergie.

Quelle est la valeur minimale de q_d qui est mesurée à 4 mètre de profondeur pour un nombre mini de 2,5 coups de mouton pour 10 cm :

- à 4 mètres : $q_d = \frac{m.g.H}{A.e}.\frac{m}{m+m'} = \frac{(64^2 \times 9{,}81 \times 0{,}75)}{(20 \times 10^{-4} \times 0{,}1/2{,}5 \times (64+18+5\times 6+0{,}5)}.10^{-6} = 3{,}35\ MPa$

<u>Commentaires :</u> Au sens de la norme, le pénétromètre PDSH-B ne peut être utilisé pour des sols présentant des valeurs de q_d < 3 MPa.

3. Exercice n°3 : Standard Pénétration Test

Contrainte effective dans un sol à la profondeur Z : $\sigma'_v = \gamma.h_w + \gamma'.(z - h_w)$

Poids volumique déjaugé : $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_w$

Facteur de correction sur la contrainte effective du sol $C_N = \left[\frac{100}{\sigma'_{v0}}\right]^{1/2}$

Compléter le tableau suivant :

z	m	Profondeur de l'essai	6,5
h_w	m	Profondeur de la nappe	0,0
γ_w	kN/m^3	Poids volumique de l'eau	10,0
γ_{sat}	kN/m^3	Poids volumique du sol saturé	19,69
σ'_{v0}	kPa	Contrainte effective à la profondeur z	**6,5 x 9,69 = 63**
N_0	u	Nb de coups de mouton de 0 à 15 cm	15
N_1	u	Nb de coups de mouton de 15 à 30 cm	20
N_2	u	Nb de coups de mouton de 30 à 45 cm	25
N	u	Résistance à la pénétration in situ (N Value)	**20+25 = 45**
Er	-	Rapport d'énergie	0,7
C_E	-	Facteur de correction du taux d'énergie / standard = Er / 0,6	**0,7 / 0,6 = 1,167**
C_R	-	Facteur de correction du train de tiges	0,9
C_B	-	Facteur de correction du diamètre de forage	1,05
Cs	-	Facteur de correction sur le carottier	1,0
N_{60}	u	Résistance normalisée $N_{60} = N \times C_E \times C_B \times C_S \times C_R$	$N_{60} = \frac{45.0{,}7.1{,}05.1{,}0.0{,}9}{0.6} = 50$

C_N	-	Facteur de correction sur la contrainte effective en profondeur	$C_N = \left[\frac{100}{63}\right]^{1/2} = 1{,}26$
$N_{1,60}$	u	Résistance normalisée corrigée à la pression effective de 100 kPa.	$(N_1)_{60} = C_N.N_{60} = 1{,}26.50 = 62$

4. Exercice n°4 : Pénétromètre statique

4.1. Question 1

- A quels sols s'applique l'essai de pénétration statique : dans tous les sols fins et les sols grenus dont la ***dimension moyenne*** des éléments ne ***dépasse pas 20 mm***.

- Quelle est la vitesse normalisée de pénétration de la pointe dans le terrain : 2 cm/s.

4.2. Question 2

Classer les sols suivants selon la NF P 94-262 de juillet 2012 :

Nature du sol	**q_c (MPa)**	**Classe du sol**
Craies	7	Altérées
Argiles et limons	2	Fermes
Sables et graves	8	Moyennement denses

5. Exercice n° 5 : Essai au pressiomètre Ménard

5.1. Réalisation de forage

En forage pressiomètrique, quel est le rapport maximal autorisé entre le diamètre de la sonde et le diamètre de l'outil ?

Pour un forage pressiomètrique dans les argiles moyennement compactes jusqu'à 8 mètres de profondeur, quels sont les moyens de forage recommandés et la longueur maximale de forage avant l'essai pressiomètrique. ?

Réponse :

Le choix des outils de forage est très important. Le **diamètre de l'outil** ne doit pas dépasser ***1,15 fois*** le **diamètre de la sonde.**

TAM	**TIN**	**THC**	**O DG IN**

Passage : 3 +

5.2. Classification des sols à partir de résultats d'essais pressiomètriques

Classer les sols suivants selon la NF P 94-262 de juillet 2012 :

Nature du sol	**p_l (MPa)**	**Classe du sol**
Craies	0,5	Molles
Argiles et limons	1,4	Raides
Rocher	5,0	Fragmenté

6. Exercice n° 6 : Essais à la plaque

6.1. Diffusion des contraintes selon Boussinesq

Selon Boussinesq, la répartition des contraintes dans l'axe d'une fondation circulaire de rayon R s'exprime par :

Cas 1 : semelle souple :

$$\sigma_v(z) = q \times \left[1 - \left[\frac{1}{1 + (\frac{R}{z})^2} \right]^{3/2} \right]$$

Cas 2 : Semelle rigide :

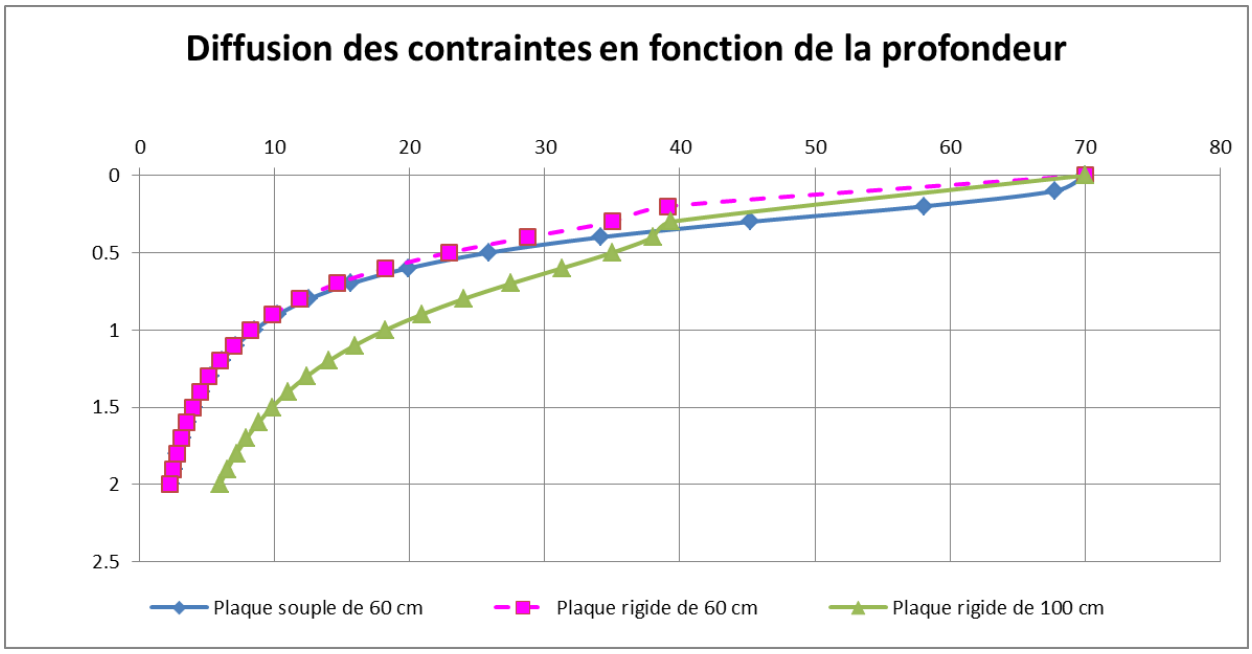
$$\sigma v(z) = q \times \left[\frac{1 + 3 \times (\frac{z}{R})^2}{2 \times (1 + (\frac{z}{R})^2)^2} \right]$$

Soit $\sigma_{v\,(z)} = q \times I_o$

- Pour une plaque de 60 cm de diamètre chargée en tête à 70 kPa, tracer la courbe diffusion des contraintes $\sigma_{v\,(z)}$ par pas de profondeur 0,1 m jusqu'à 2 mètres de profondeur

- Même exercice pour une plaque de 100 cm de diamètre.

- Faire un commentaire



Contrainte appliquée en tête de la plaque q (kPa)								**70**
Diamètre plaque (m)		**0.60**				**1.00**		
Type de plaque		Souple		Rigide		Rigide		
Prof (m)	Z/R	Facteur Io	σv(z) (kPa)	Facteur Io	σv(z) (kPa)	Z/R	Facteur Io	σv(z) (kPa)
0		1	70.0	1.00	70.0		1	70.0
0.1	0.33	0.97	67.8					
0.2	0.67	0.83	58.1	0.56	39.1			
0.3	1.00	0.65	45.3	0.50	35.0	0.60	0.56	39.4
0.4	1.33	0.49	34.2	0.41	28.7	0.80	0.54	38.0
0.5	1.67	0.37	25.9	0.33	22.9	1.00	0.50	35.0
0.6	2.00	0.28	19.9	0.26	18.2	1.20	0.45	31.3
0.7	2.33	0.22	15.6	0.21	14.6	1.40	0.39	27.5
0.8	2.67	0.18	12.5	0.17	11.9	1.60	0.34	24.0
0.9	3.00	0.15	10.2	0.14	9.8	1.80	0.30	20.9
1	3.33	0.12	8.5	0.12	8.2	2.00	0.26	18.2
1.1	3.67	0.10	7.1	0.10	6.9	2.20	0.23	15.9
1.2	4.00	0.09	6.1	0.08	5.9	2.40	0.20	14.0
1.3	4.33	0.07	5.2	0.07	5.1	2.60	0.18	12.4
1.4	4.67	0.07	4.6	0.06	4.5	2.80	0.16	11.0
1.5	5.00	0.06	4.0	0.06	3.9	3.00	0.14	9.8
1.6	5.33	0.05	3.5	0.05	3.5	3.20	0.13	8.8
1.7	5.67	0.04	3.1	0.04	3.1	3.40	0.11	7.9
1.8	6.00	0.04	2.8	0.04	2.8	3.60	0.10	7.2
1.9	6.33	0.04	2.5	0.04	2.5	3.80	0.09	6.5
2	6.67	0.03	2.3	0.03	2.3	4.00	0.08	5.9

-

6.2. Application de l'essai à la plaque

Quel est le diamètre D_{max} sur matériau autorisé pour les essais à la plaque ?

200 mm

6.3. Calculs de k_w – EV1 – EV2

Le coefficient de réaction de WESTERGAARD Kw de la plateforme est déterminé par la formule :

$$Kw = (P/e) \times (\varnothing/762) \text{ en MPa/m}$$

Où :

- P : pression moyenne exercée sous la plaque chargée, P = 70 kPa
- e : enfoncement provoqué par le chargement de la plaque (mm)
- ∅ : diamètre de la plaque (mm)

Pour une plaque de 60 cm, nous avons :

$$Kw = (0{,}07/e) \times (600/762) \text{ en MPa/m}$$

$$=55{,}1/e \text{ (mm)} = 55{,}1/ (2*\text{lecture comparateur}) =27{,}6 / (\text{lecture comparateur})$$

<u>Modules EV1 et EV2 :</u>

$$\boxed{E' = \approx \frac{1.5.q'.r}{s}}$$

L'essai comprend deux cycles de chargement :

- *<u>1ère cycle de chargement de 0 à 0,25 MPa</u>* (= 7068 daN ± 140) : mesure de l'enfoncement e_1 (mm)
  - pour EV_1 (q'=0,25 MPa) ⇒ (1.5 x 0,25 x 300)/e_1 = 112.5 / e_1, soit EV_1 = 112.5/ e_1 (MPa)- Valeur indicative hors norme.
- *<u>2ème cycle de chargement de 0 à 0,2 MPa</u>* (=5654 daN ± 110) : mesure de l'enfoncement z_2 (e_2) (mm)
  - pour EV_2 (q'=0,2 MPa) ⇒ (1.5 x 0,2 x 300)/e_2 = 90 / e_2 soit EV2 = 90/ z_2 (MPa)
- *<u>le rapport de compactage</u>* (valeur indicative donnée hors norme)

	Pression sur plaque (MPa)	Charge du vérin lue sur cadran (daN)	Déplacement lu sur comparateur (mm)	Palier n°	**Résultats**		
Westergaard	0.01	**283**	**1.92**	①			
	0.00	**0**	**1.87**	②	**Kw =** 28 / (③-②) =	**50.11**	MPa/m
	0.07	**1979**	**2.42**	③			
EV1	0.25	**7069**	*Début palier - t = 0 s*	④	**EV1 =** 56.25 / (⑤-②) =	**35.2**	MPa
			3.40				
			Palier stabilisé - t = 20 s	⑤			
			3.47				
EV2	0.00	**0**	**2.87**	⑥	**EV2** 45 / (⑧-⑥) =	**78.9**	MPa
	0.20	***5655***	*Début palier - t = 0 s*	⑦			
			3.42				
			Palier stabilisé - t = 15 s	⑧			
			3.44				
			Rapport de compactage :		**K =** EV2 / EV1 =	**2.2**	

Kw = (P/e) x (∅/762) en MPa/m

$$k_w = 0{,}07/e \times (600/762) \times 1000 = 55{,}1/e = 27{,}56/(lecture\ comparateur)$$

7. Exercice n° 7 : Test d'infiltration dans une excavation à la pelle

7.1. Test d'infiltration à niveau constant

Après saturation d'une arène granitique on mesure les éléments suivants :

L (m)	L' (m)	H (m)	S (m²)	Temps d'injection (min)	Vol. injecté (litres)	Q moyen (m^3/h)	k (m/s)
1,20	0,45	0,35	1,695	70	217	0,186	$\approx 3.10^{-5}$

Calculer le coefficient de perméabilité du terrain en m/s

$$Q_{moyen} = 217/1000 * 70/60 = 0{,}186 \ m^3/h$$

$$k = Q_{moyen}/S = 0{,}186/3600/1{,}695 = 3{,}04 \ .10^{-5} m/s$$

7.2. Test d'infiltration à niveau variable

On réalise une excavation à la pelle mécanique avec les caractéristiques suivantes :

Profondeur (m)	Largeur (m)	Longueur (m)
2.0	0.5	1.0

$$B = \frac{2.(L+L')}{L.L'} = \frac{2.(0{,}5+1)}{0{,}5\times 1} = 6$$

Profondeur (m)	Largeur (m)	Longueur (m)	Coef B
2.0	0.5	1.0	6

Après saturation des sols on mesure la variation du niveau d'eau dans le sondage en fonction du temps.

$$\boxed{k = \frac{\ln(1+B.H_1) - \ln(1+B.H_2)}{B.\Delta t}}$$

Calculer pour chacun des paliers de mesures la valeur du coefficient de perméabilité k en m/s et en mm/h

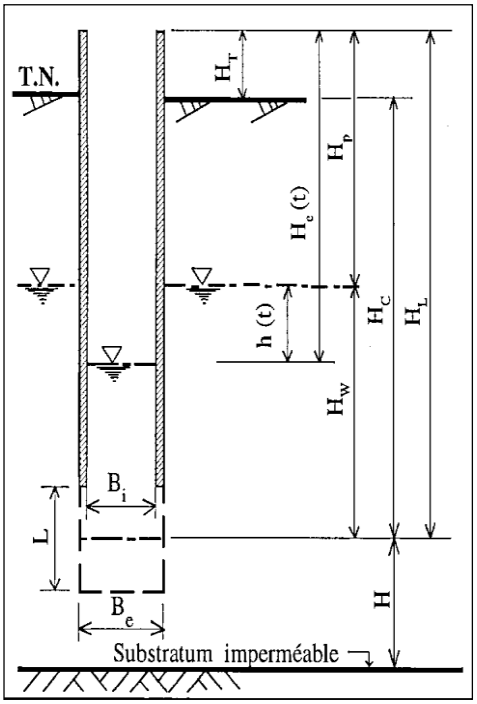
Temps (min)	Δt (s)	Hauteur d'eau / fond de la fouille H (m)	ΔH (m)	k 10^{-6} (m/s)	k (mm/h)
0	-	0.52	-	-	-
18	1080	0.50	0.02	4.6	16.4
48	1800	0.46	0.04	5.7	20.6
69	1260	0.44	0.02	4.3	15.4
118	2940	0.41	0.03	2.9	10.3

8. Exercice n° 8 : Essai d'eau LEFRANC à niveau variable

ARVOR Géotechnique
Ingénierie des sols et des fondations

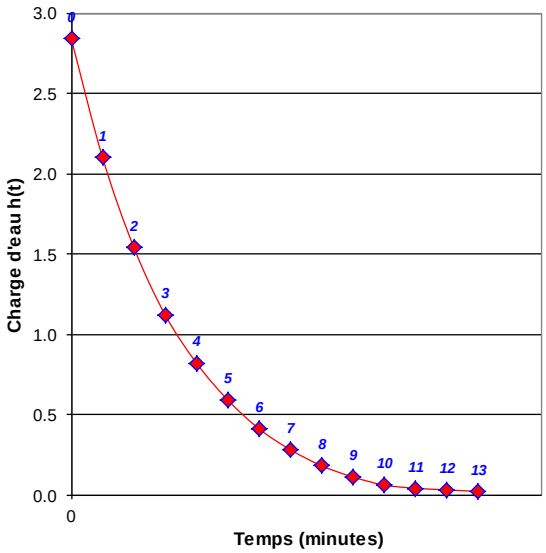
PROCES VERBAL
ESSAI D'EAU LEFRANC A NIVEAU VARIABLE
réalisé conformément à la norme NF P 94 -132 - Octobre 2000

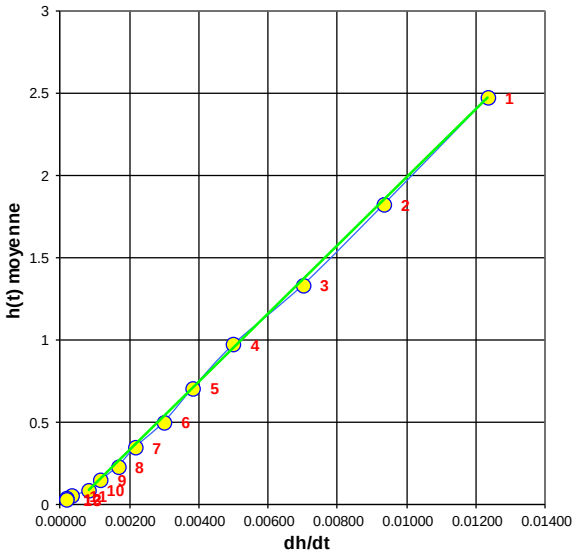
Dossier n° :	11.089-1
Lieu :	SAINT BREVIN LES PINS
Sondage n°	PZ2
Date :	20.03.2020



Conditions de réalisation de l'essai			Tubage hors sol		H_T =	0.50
					Cote alti. tête	100.50
Tube d'injection	Diam. **D** (m)	0.045	Niveau piézomètrique /haut du tubage : H_P =		Hp =	2.84
					Cote alti.	97.7
	Section **S** (m²)	0.00159	Cote moyenne de la cavité : Z_{TN} - H_c =			95
Par prélèvement	Q =	-	**CAVITE**		**L** =	1.0
			Prof. par rapport au bord supérieur du tubage	de :	5.00	
				Cote alti. :	95.5	B_e = 0.11
Par apport d'eau	Q =	-		à :	6.00	
				Cote alti. :	94.5	c = L/B_e 9.1
Par prélèvement unique d'eau	H_e =	-		H_L =	5.5	
			Distance axe cavité / surface de la nappe H_w :			2.7
			Distance de la base de l'aquifère **H** :			
			hypotèses des limites de l'aquifère:	Cavité proche de la surface de la nappe		
Par vidange du forage	H_L + 0,5 L	-	Facteur de forme m			19.06
			IMPLANTATION DU SONDAGE		X =	50.00
					Y =	103.50
					Z_{TN} =	100.00

t (mn)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
H_e (m)	0	0.74	1.3	1.72	2.02	2.25	2.43	2.56	2.66	2.73	2.78	2.8	2.81	2.82	
t (mn)															
H_e (m)															





Nature du sol testé	Altération
Commentaire	Conditions non conformes à la norme

Droite de regression	n°	h(t) moy	dh/dt	Pente α	k_L (m/s)
	1	2.47	0.01233	0.0048218	3.66E-06
	10	0.085	0.00083		

L	B	C	m_0	H_w	Position de la cavité	Formule pour calcul de m	Facteur de forme m	Section S (cm²)	Diamètre B (cm)
1,0	0,11	9,09	19,69	2,7	Proche de la surface de la nappe	$1/m = [1/m_0] + B/[8.\pi.H_w]$	19,06	15,9	11

	Intervalle des mesures n°1	Intervalle des mesures n°2
Charge début (m)	2,84	0,11
Charge fin (m)	2,10	0,06
Charge moyenne h(t) (m)	2,47	0,085
Durée du palier t (s)	60	60
v = Δh/Δt	0,0123	0,000833
Pente ***a*** sur graphique	0,00482	
Perméabilité k (m/s)	$3,66\ 10^{-6}$	