

Chapitre IV : Exploitation des résultats d'une reconnaissance géotechnique (Exemple d'un rapport géotechnique du sol)

Objectifs visés par ce chapitre

A la fin de ce chapitre l'apprenant sera capable de :

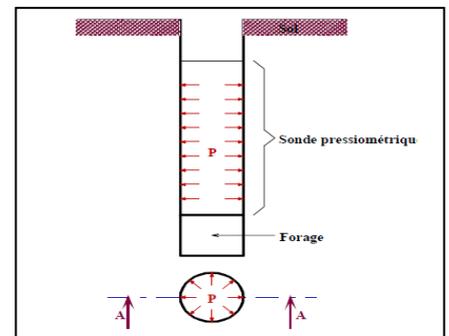
- Exploiter les résultats d'une campagne de reconnaissance géotechnique ;
- Savoir les composantes principales d'un rapport géotechnique du sol ;
- Faire un rapport de sol pour un projet géotechnique.

I- Essai In-situ

ESSAIS PRESSIOMETRIQUE :

Principe de l'essai

L'essai pressiométrique est un essai in-situ, il consiste à descendre dans un forage soigneusement calibré une sonde cylindrique gonflable on mesure les variations de volume du sol au contact de la sonde en fonction de la pression appliquée, les essais sont réalisées par passe de 1m et 2m en profondeur.



Trois caractéristiques du sol sont déterminées de l'essai :

- Le module pressiométrique « E » qui définit le comportement pseudo-élastique du sol ;
- Pression de fluage « Pf » qui définit la limite entre le comportement pseudo-élastique et la phase plastique ;
- La pression limite « Pl » qui définit la résistance du sol à la rupture.

Caractéristiques pressiométrique et interprétation des résultats

Les valeurs du module pressiométrique « E » et de la pression limite « Pl » ainsi que celle du rapport « E/ Pl » et « α » sont reportées sur les tableaux suivants :

Sondage pressiométrique SP N ° : 01

Profondeur (m)	Pression limite "PL"	Module pressiométrique "E" (Bars)	E/PL	Etat du sol	α
1.50	5.90	64.00	10,85	Normalement consolidé	2/3
3.00	5.20	75.00	14,42		
7.50	7.00	61.00	8,71	Altéré et remanie	1/2
9.00	6.60	90.00	13,64	Normalement consolidé	2/3
10.00	4.70	37.00	7,87	Altéré et remanie	1/2

Sondage pressiométrique SP N ° : 02

Profondeur (m)	Pression limite "PL" (Bars)	Module pressiométrique "E" (Bars)	E/PL	Etat du sol	α
3.00	6.20	74.00	11,94	Normalement consolidé	2/3
4.50	4.70	44.00	9,36		
6.00	4.10	56.00	13,66		
7.50	6.50	88.00	13,54		
9.00	4.40	38.00	8,64	Altéré et remanié	1/2
10.00	6.90	66.00	9,57	Normalement consolidé	2/3

Les valeurs de la pression limite (PL) enregistrées systématiquement chaque un mètre cinquante; varient entre **4.10 et 7.00 Bar**, le rapport (E/PL) dénote un sol Altéré et remanié et Normalement consolidé enregistré à différent niveaux tout en long de la profondeur dévoilée jusqu'à **10.00m**.

Classification du site :

La classification du site est basée sur les valeurs moyennes de la pressions limite « Pl » et le module pressiométrique «E»,

$$\checkmark \text{ SP N}^\circ : 01 \quad \bar{P}_l = 5.75 \text{ Bars} \quad \bar{E}_p = 59.88 \text{ Bars}$$

$$\checkmark \text{ SP N}^\circ : 01 \quad \bar{P}_l = 5.00 \text{ Bars} \quad \bar{E}_p = 54.48 \text{ Bars}$$

Donc le site est classé en catégorie **S4 (site très meuble)**.

II – ESSAIS DE LABORATOIRES

Des échantillons intacts de la formation argileuse ont été soumis à des essais physico mécaniques et chimique les résultats sont consignés dans un tableau récapitulatif en annexe

GRANULOMETRIE :

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la distribution et la répartition des grains constitutifs d'un sol par classes de taille suivant leur dimension.

Elle s'effectue par :

-Tamisage : (norme NF P 94-056) pour les grains d'un diamètre supérieur à 80 μ m.

-Sédimentométrie (norme NF P 94-057) pour les grains les plus fins.

Les résultats sont exprimés sous forme d'une courbe appelée courbe granulométrique, qui donne le pourcentage cumulé d'éléments de dimension inférieure à chaque diamètre.

Les échantillons étudiés présentent une fraction de diamètre inférieur à **80 μ** élevée, le pourcentage est de l'ordre de **18.00 à 95.00%**, ce qui dénote un sol pulvérulent (formation sableuse) et un sol fi (la formation argileuse)

PARAMETRES NATURELS :

Sondages	Profondeur de prélèvement (m)	Densité sèche $\gamma_d(t/m^3)$	Degré de saturation S_r (%)	Teneur en eau W (%)	Densité humide $\gamma_h(t/m^3)$
SC 01	4.00 – 4.50	1.62	96.00	24.00	2.01
	8.50 – 9.00	1.69	65.00	21.00	2.05

Les échantillons présentent des sols de densité moyenne. Celles-ci sont associées à des teneurs en eau moyennes à élevées. Les valeurs du degré de saturation relatent que le sol est dans un état détremé, selon la classification de Terzaghi.

LIMITES d'ATTERBERG

Les limites d'Atterberg sont des teneurs en eau particulières qui permettent de quantifier la plasticité du sol.

- La limite de liquidité (W_L) entre l'état liquide et l'état plastique ;
- L'indice de plasticité (I_p) est la différence entre la limite de liquidité et la limite de plasticité, il permet de définir le degré de plasticité du sol.

Sondages	Profondeur de prélèvement (m)	WL%	IP%	Classification des sols fins
SC 01	4.00 – 4.50	61.52	27.52	LP
	8.50 – 9.00	50.56	25.01	AT

D'après la classification de Casagrande, basée sur le couple (IP-WL), il ressort que le sol s'intègre généralement dans le domaine des argiles très plastiques « At » et des limons très plastiques « Lt ».

ESSAIS MECANIQUES :

Essais de Cisaillement Rectiligne DE TYPE « Cu » et « Uu »

Les essais de cisaillement caractérisent le comportement du sol vis-à-vis de la déformation par l'application d'une contrainte normale, et un déplacement à vitesse constante, la composante horizontale qui s'oppose au déplacement du chariot suivant un plan de rupture caractérise la quantification de la

résistance au cisaillement traduite par les mesures de la cohésion (C_u) et de l'angle de frottement (ϕ_u) donne une possibilité de calculer la contrainte limite à la rupture, d'un sol.

Les valeurs obtenues se résument comme suit :

Sondages	Profondeur de prélèvement (m)	Cohésion (Bar)	Angle de frottement (ϕ°)
SC 01	4.00 – 4.50	0.85	8.01
	8.50 – 9.00	0.42	6.77

Essais de Compressibilité à L'oedomètre

Les essais de compressibilité à la cellule oedométrique ont permis d'évaluer les déformations du sol sous l'action de différentes charges appliquées et transmises par le piston.

Les résultats sont représentés sous forme graphique à l'échelle semi-logarithmique, portant sur l'axe des abscisses, les pressions et en ordonnées, les indices des vides obtenus par les calculs.

Les courbes oedométriques se présentent en deux branches.

- Chargement : caractérisant les déformations et permet le calcul de tassement.
- Déchargement : caractérisant le gonflement.

Sondages	Profondeur de prélèvement (m)	Pc (Bar)	Ct (%)	Cg (%)	Pg (Bar)
SC 01	4.00 – 4.50	1.38	18.27	3.78	0.02
	8.50 – 9.00	2.77	15.28	1.59	/

De l'analyse des résultats oedométriques, on constate que cette formation est **moyennement compressible**

En ce qui concerne le gonflement, les valeurs de Cg mettent en évidence un sol **peu gonflant** avec une pression de gonflement maximale de **Pg = 0.02bar**.

Analyses chimiques

Les échantillons prélevés des sondages ont été soumis à des analyses chimiques, afin de déterminer le taux d'agressivité du sol vis-à-vis du béton de l'infrastructure, la teneur en matières organique, en carbonates et en chlorure.

Résultats des analyses chimiques du sol exprimés en % poids :

Sondage	Profondeur (m)	Sulfates SO ₄ ²⁻	Carbonates CaCO ₃	Chlorures Cl ⁻	Matières organiques
SC 01	1.70 – 2.70	Traces	5.45	Traces	0.10

✓ Agressivité

Selon la norme FDP18-011 du 12/09, les résultats obtenus révèlent un sol d'une agressivité chimique nulle.

✓ Teneur en carbonates

Les teneurs en carbonates est de 5.45%, elles traduisent un sol non marneux (Argile et Sable).

✓ Teneur en matière organique

Le taux des matières organiques est de **0.10%**. Indique que le sol n'est pas organique par référence à la norme NFP 94-011.

CALCUL DES FONDATIONS

1- Contrainte admissible du sol à partir des essais in situ:

A- Contrainte admissible du sol à partir des essais de pénétromètre dynamique :

La contrainte admissible sera calculée selon la relation de DTR BC 2.331:

$$q_a = \gamma D + \frac{q_u - \gamma D}{F}$$

Avec :

q_a : Contrainte admissible du sol en bars.

q_u : Contrainte ultime, avec **q_u = Rd/5 à 7**

Rd : Résistance dynamique minimale moyenne du sol.

γ: Poids volumique apparent du sol.

D : Ancrage des fondations

F ≥ 3 : Facteur de sécurité.

Profondeur (m)	Résistance (Bars)	Qa (bars)
2.50	20.00	1.16

B- Calcul de la contrainte admissible à partir des essais pressiométriques:

L'estimation de la contrainte admissible à partir de la méthode pressiométrique ; selon la relation de Louis Menard :

$$q_d = K(P_L - P_0) + q_0$$

Avec ;

P_0 : Contrainte horizontale initiale du sol au repos au niveau de la fondation (contrainte totale).

q_0 : Contrainte verticale totale initiale du sol au niveau de la fondation.

P_L : Pression limite du sol.

K : Coefficient de proportionnalité (facteur de portance = **0.8**)

On a :

$P_0 = K_0 q_0$: pression des terres au repos ($K_0 = 0.5$)

De ce fait ; la contrainte admissible est donnée par la formule suivante :

$$q_{ad} = K/3 (P_L - P_0) + q_0$$

Profondeur (m)	Qa (bars)
2.50	1.50

2- A partir des essais de laboratoire

Suivant la relation de Terzaghi, La contrainte admissible est calculée par la même formule du DTR-BC 2.331 Cité déjà.

$$\sigma_{limite} = S_c C N_c + S_q \gamma D N_q + 0.5 S_\gamma B \gamma \cdot N_\gamma$$

D'où :

$N_c ; N_q ; N_\gamma$: sont des paramètres sans dimension dépendant de l'angle de frottement (φ).

$S_c ; S_q ; S_\gamma$: Les coefficients de forme de la fondation .

Les résultats obtenus sont récapitulés dans les tableaux suivants :

Profond (m)	C' (bar)	Angle de frottement Φ°	Paramètr $N_c ; N_q ; N_\gamma$	γ (t/m ³)	Qa (bars)
2.50	6.77	0.42	0.00 1.49 6.33	1.62	1.24

EVALUATION DES TASSEMENTS

A partir des essais pressiométrique:

Les tassements seront calculés d'après la relation suivante :

$$S_f = S_c + S_d$$

$$s_c = \frac{\alpha}{9 \cdot E_M} (q' - \sigma'_{v0}) \cdot \lambda_c \cdot B$$

$$s_d = \frac{2}{9 \cdot E_M} (q' - \sigma'_{v0}) \cdot B_0 \cdot \left(\lambda_d \cdot \frac{B}{B_0} \right)^\alpha$$

f	m	Tassement final,
s_c	m	Tassement sphérique,
s_d	m	Tassement déviatoriques,
E_M	t/m²	Module pressiométrique,
q'	t/m²	Contrainte effective moyenne appliquée au sol par la fondation, Contrainte verticale effective calculée dans la configuration avant
σ'_{v0}	t/m²	travaux
B₀	m	Largeur de référence égale 0.6m,
B	m	Largeur de la base de la fondation,
α	SU	Coefficient rhéologique dépendant de la nature de sol,
λ_c	SU	Coefficients de forme, fonction du rapport L/B,
λ_d	SU	
γ_h	t/m³	Poids volumique du sol,
D	m	Ancrage de la fondation.

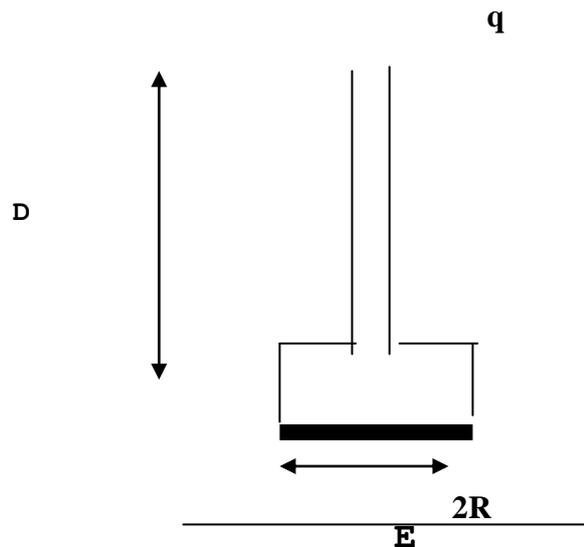


TABLEAU RECAPITULATIF DES CALCULS DE TASSEMENT

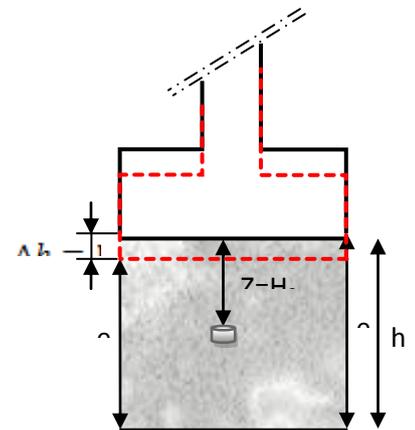
Semelle	Profondeur (m)	Fondations B (m)	L/B	λ_c	λ_d	Qa (bars)	W (cm)	Observation
Semelle isolée	2.50	1.50	1.00	1.10	1.12	1.16	1.62	Tassement admissible
		2.00	1.00				0.78	
Semelle filante		L = 30.00 B = 1.50	20.00	1.50	2.65		1.01	
		L = 30.00 B = 2.00	15.00	1.46	2.48		1.21	

A Partir Des Essais Au Laboratoire

Nous avons effectué des essais de compressibilité à l'oedomètre sur des échantillons prélevés sous la fondation ; Le principe de calcul du tassement sous la fondation consiste à évaluer le taux de compressibilité admissible du sol, et cela suivant la formule citée ci-dessous et qui dépend de la fermeture des vides dus aux réarrangements des grains et à l'expulsion des essais interstitiels.

$$\Delta v_p = h \frac{C_c}{1+e_0} \log \left(1 + \frac{\Delta \sigma}{\sigma'_{v0}} \right) \text{ pour un sol normalement consolidé}$$

$$\Delta v_p = h \frac{C_c}{1+e_0} \log \left(1 + \frac{\Delta \sigma}{\sigma'_p} \right) \text{ pour un sol surconsolidé}$$



- h : hauteur de la couche
- Cc : indice de compression
- e₀ : indice des vides
- Δσ : contrainte effective moyenne appliquée au sol de fondation
- σ'v0 : contrainte effective verticale du sol
- σ'p : pression de préconsolidation

TABLEAU RECAPITULATIF DES CALCULS DE TASSEMENT

Semelle	Profondeur (m)	Fondations B (m)	Qa (bars)	W (cm)	Observation
Semelle isolée	2.50	1.50	1.16	0.45	Tassement admissible
		2.00		0.59	
Semelle filante		L = 30.00 B = 1.50		0.67	
		L = 30.00 B = 2.00		0.78	