

Essais géotechniques en laboratoire

Description - Identification - Caractérisation du comportement mécanique des terrains

Gérard BIGOT

Secrétaire de la Commission de normalisation sols : reconnaissance et essais (CNSRE)

Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de l'Est parisien

Centre de Melun

Les études géotechniques comportent des reconnaissances et des essais qui ont pour but de décrire, d'identifier et de caractériser les terrains. Cette note traite des paramètres géotechniques qui sont directement issus d'essais en laboratoire sur des échantillons prélevés en place ou reconstitués. Les corrélations entre essais en place et en laboratoire n'y sont pas abordées.

Contexte normatif

La présentation synthétique ci-après s'appuie sur les normes d'essais en laboratoire actuellement disponibles et sur la norme **XP P 94-202** : Sols : reconnaissance et essais - Prélèvement des sols et roches - Méthodologie et procédures.

Les notations adoptées pour les symboles sont celles de la norme **XP P 94-010** - Sols : reconnaissance et essais - Glossaire géotechnique - Définitions, notations, symboles.

Classes de prélèvement

Cinq classes de prélèvement sont définies dans la norme **XP P 94-202**. À chaque classe sont associés un objectif et des paramètres géotechniques.

Les classes 1 à 4 caractérisent la qualité du prélèvement : l'échantillon passe de non remanié, en classe 1, à totalement remanié en classe 4.

Les prélèvements de classe 5 ne permettent qu'une description géologique à l'échelle métrique seulement.

L'étude du comportement mécanique des sols nécessite en général un prélèvement de classe 1.

L'état des matériaux peut être appréhendé avec des prélèvements de classe 1 à 3.

Pour déterminer les paramètres de nature, des prélèvements de classe 4 sont satisfaisants.

Il en résulte qu'il n'est donc pas toujours nécessaire d'avoir un prélèvement de la qualité la plus élevée (classe 1) pour recueillir une information sur un matériau donné. Inversement et bien sûr sous réserve d'avoir une quantité suffisante de matériau, il est possible à partir d'un prélèvement d'une classe plus élevée de déterminer des paramètres qu'un prélèvement d'une classe inférieure aurait pu fournir.

Le tableau (au verso) indique, pour les paramètres recherchés, quelles sont les normes d'essai à utiliser et quelle est la qualité minimale (classe) du prélèvement nécessaire. Il montre également dans quel ordre doivent être enchaînés les essais pour aboutir à la détermination de certains paramètres.

Toutefois le tableau ne traduit pas les difficultés rencontrées, ni les causes d'incertitude qui sont liées à la chaîne des opérations à effectuer pour déterminer certains paramètres.

En effet le résultat d'un essai dépend non seulement :

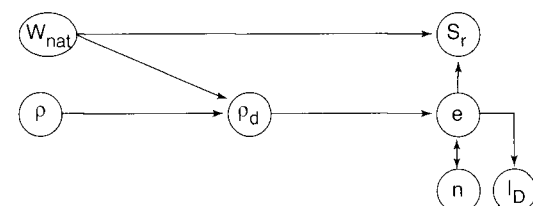
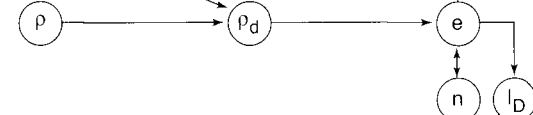
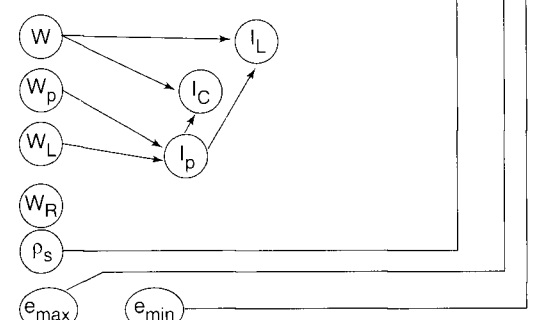
- du prélèvement (opérateur - appareillage),
- du conditionnement de l'échantillon,
- du stockage sur chantier (température, etc.),
- du transport (chocs, vibrations, température),
- de la conservation en laboratoire avant essais (hygrométrie, température),

mais également

- de la quantité de matériau prélevé, de la dimension des éprouvettes,
- du traitement des éprouvettes (découpage, etc.),
- du type d'essai (saturation, vitesse de cisaillement, etc.),
- du traitement des résultats des mesures (critères choisis, etc.),
- des appareils de mesure utilisés (étalonnage, etc.).

Il importe donc pour certains objectifs de répéter les essais, de procéder à un éventail d'essais le plus large possible, d'analyser la dispersion des résultats et de vérifier certaines relations entre les paramètres. Ainsi, par exemple, pour un même prélèvement, la cohérence entre les valeurs déterminées de teneur en eau (w), de masse volumique des grains (ρ_s), de degré de saturation (S_r), d'indice des vides (e) et de masse volumique de l'eau (ρ_w) pourra être appréciée à partir de la formule théorique : $S_r \rho_w = w \rho_s$.

Paramètres à déterminer		Essai à réaliser	
Symbole (XP P 94-010)		Titre	
c' φ' c_u	Cohésion effective Angle de frottement effectif Cohésion non drainée	Essai à l'appareil triaxial de révolution : UU CU + u CD	
c_{uu} , φ_{uu} λ_{cu}	Cohésion et angle de frottement apparent d'un sol non saturé Facteur d'augmentation de la cohésion non drainée en fonction de la pression de consolidation		
c'_R φ'_R	Cohésion résiduelle Angle de frottement résiduel	Essai de cisaillement rectiligne à la boîte	Cisaillement direct Cisaillement alterné
R_c	Résistance en compression uniaxiale	Essai de compression uniaxiale	
s_{ul}	Cohésion scissométrique en laboratoire	Essai au scissomètre de laboratoire	
σ'_p C_c c_v C_s $E_{\text{œd}}$	Pression de préconsolidation Indice de compression Coefficient de consolidation verticale Indice de recompression Module œdométrique	Essai œdométrique	
σ_g R_g	Pression de gonflement Rapport de gonflement	Essai de gonflement à l'œdomètre	
W_{Re} R_l	Teneur en eau de retrait effectif Facteur de retrait	Teneur en eau de retrait effectif	
w_{nat}	Teneur en eau naturelle	Teneur en eau naturelle pondérale Méthode par étuvage	
ρ_d ρ e n S_r I_D	Masse volumique sèche Masse volumique Indice des vides Porosité Degré de saturation Indice de densité	Masse volumique des sols fins en laboratoire	
w	Teneur en eau	Teneur en eau pondérale	
w_L w_P W_R I_p I_C I_L	Limite de liquidité Limite de plasticité Limite de retrait Indice de plasticité Indice de consistance Indice de liquidité	Limite d'Atterberg ($D_{max} \leq 400 \mu m$)	Limite de plasticité Limite de liquidité Limite de retrait
ρ_s	Masse volumique des particules	Masse volumique des particules solides	
e_{max} e_{min}	Indice des vides maximal Indice des vides minimal	Masses volumiques minimale et maximale des sols non cohérents	
C_{M0}	Teneur en matières organiques	Teneur pondérale en matières organiques Taux de pressage	
V_{BS}	Valeur de bleu du sol	Mesure de la quantité et de l'activité de la fraction argileuse	
E_s	Équivalent de sable	Équivalent de sable ($d_{max} \leq 5mm$)	
d_N	Identification granulométrique	Identification granulométrique Méthode de tamisage par voie humide	
C_{ca}	Teneur en carbonate	Teneur en carbonate - Méthode au calcimètre	
D_{max} , d_{10} , d_{30} , d_{60}	Granularité	Analyse granulométrique	
C_U C_C	- Coefficient d'uniformité - Coefficient de courbure	Méthode par tamisage à sec après lavage Méthode par sédimentation	
V_{BS} , d_N	Granularité et valeur de bleu	Identification simplifiée de la fraction 0/50 mm d'un matériau grenu	
	Description géologique		
I_{CBR} I_{pi}	Indice CBR Indice portant immédiat	Indice CBR après immersion Indice CBR immédiat - Indice portant immédiat	
ρ_d, OPN ρ_d, OPM	Masse volumique sèche à l'optimum Proctor	Caractéristiques de compactage d'un sol - Essai Proctor normal - Essai Proctor modifié	

Norme d'essai	Paramètres		Prélèvement (XP P 94-202)	Caractère du paramètre
	Mesurés	Calculés		
{ NF P 94-070 NF P 94-074	c', φ' $c'R, \varphi'R$		Classe 1	Comportement mécanique
	c_{uu}, φ_{uu} λ_u			
{ NF P 94-071-1 NF P 94-071-2	$c'_p, \varphi'_p - c'_r, \varphi'_r$ $c'_p, \varphi'_p - c'_R, \varphi'_R$			
NF P 94-077	R_c			
NF P 94-072	s_{ul}			
XP P 94-090-1	σ'_p C_c c_v C_s E_{oed}			
XP P 94-091	$\sigma_{g'}, R_g$			
XP P 94-060-2	w_{Re}, R_i		Classe 2	État
NF P 94-050				
NF P 94-053				
{ NF P 94-050 NF P 94-049-1 et 2				
NF P 94-052-1 NF P 94-051				
XP P 94-060-1 NF P 94-054 NF P 94-059				
NF P 94-055 XP P 94-047 XP P 94-058	C_{M0}, C_{M0C} p_e			
P 94-068	V_{BS}			
P 18-598	E_s			
XP P 94-041	d_N			
NF P 94-048	C_{ca}			
NF P 94-056 NP P 94-057	$D_{max}, d_{10}, d_{30}, d_{60}$	$C_u = d_{60} / d_{10}$ $C_c = (d_{30})^2 / d_{10} \cdot d_{60}$		
NF P 94-040	V_{BS} , tamisat à 2 mm, tamisat à 80 μm		Classe 5	
	Description grossière d'un échantillon			
NF P 94-078	I_{CBR}, I_{PI}		Échantillon reconstitué	État
NF P 94-093	ρ_d, w	$P_d, OPN ; P_d, OPM$ $w_d, OPN ; w_d, OPM$		

Référence AFNOR	Normes d'essais sur échantillons	Date
	Titre	
XP P 94-010	Sols : reconnaissance et essais - Glossaire géotechnique - Définitions - Notations - Symboles.	Décembre 1996
XP P 94-011	Sols : reconnaissance et essais - Description - Identification - Dénomination des sols - Terminologie - Élément de classification.	Août 1999
NF P 94-040	Sols : reconnaissance et essais - Méthode simplifiée d'identification de la fraction 0/50 mm d'un matériau grenu - Détermination de la granulométrie et de la valeur de bleu.	Octobre 1993
XP P 94-041	Sols : reconnaissance et essais - Identification granulométrique - Méthode de tamisage par voie humide.	Décembre 1995
XP P 94-047	Sols : reconnaissance et essais - Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d'un matériau - Méthode par calcination.	Décembre 1998
NF P 94-048	Sols : reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en carbonate - Méthode du calcimètre.	Octobre 1996
NF P 94-049-1	Sols : reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Partie 1 : Méthode de la dessiccation au four à micro-ondes.	Février 1996
NF P 94-049-2	Sols : reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Partie 2 : Méthode à la plaque chauffante ou panneaux rayonnants.	Février 1996
NF P 94-050	Sols : reconnaissance et essais - Détermination de la teneur en eau pondérale des matériaux - Méthode par étuvage	Septembre 1995
NF P 94-051	Sols : reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Limite de liquidité à la coupelle - Limite de plasticité au rouleau.	Mars 1993
NF P 94-052-1	Sols : reconnaissance et essais - Détermination des limites d'Atterberg - Partie 1 : Limite de liquidité - Méthode du cône de pénétration.	Novembre 1995
NF P 94-053	Sols : reconnaissance et essais - Détermination de la masse volumique des sols fins en laboratoire - Méthodes de la trousse coupante, du moule et de l'immersion dans l'eau.	Octobre 1991
NF P 94-054	Sols reconnaissance et essais - Détermination de la masse volumique des particules solides des sols - Méthode du pycnomètre à eau.	Octobre 1991
NF P 94-055	Sols : reconnaissance et essais - Détermination de la teneur pondérale en matières organiques d'un sol - Méthode chimique.	Décembre 1993
NF P 94-056	Sols : reconnaissance et essais - Analyse granulométrique - Méthode par tamisage à sec après lavage.	Mars 1996
NF P 94-057	Sols : reconnaissance et essais - Analyse granulométrique des sols - Méthode par sédimentation.	Mai 1992
P 94-058	Sols : reconnaissance et essais - Détermination de l'état de décomposition (humification) des sols organiques - Essai Von Post.	Octobre 1993
NF P 94-059	Sols : reconnaissance et essais - Détermination des masses volumiques minimale et maximale des sols non cohérents.	Septembre 1992
XP P 94-060-1	Sols : reconnaissance et essais - Essai de dessiccation - Partie 1 : Détermination conventionnelle de la limite de retrait sur le passant à 400 µm d'un matériau	Décembre 1997
XP P 94-060-2	Sols : reconnaissance et essais - Essai de dessiccation - Partie 2 : Détermination effective de la limite de retrait sur un prélèvement non remanié.	Décembre 1997
NF P 94-068	Sols : reconnaissance et essais - Mesure de la capacité d'absorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux. Détermination de la valeur de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux par l'essai à la tache.	Octobre 1998
NF P 94-070	Sols : reconnaissance et essais - Essais à l'appareil triaxial de révolution - Généralités, définitions.	Octobre 1994
NF P 94-071-1	Sols : reconnaissance et essais - Essai de cisaillement rectiligne à la boîte - Cisaillement direct.	Août 1994
NF P 94-071-2	Sols : reconnaissance et essais - Essai de cisaillement rectiligne à la boîte - Cisaillement alterné.	Août 1994
NF P 94-072	Sols : reconnaissance et essais - Essai scissométrique en laboratoire	Septembre 1995
NF P 94-074	Sols : reconnaissance et essais - Essais à l'appareil triaxial - Appareillage - Préparation des éprouvettes - Essais UU - CU + u - CD.	Octobre 1994
NF P 94-077	Sols : reconnaissance et essais - Essais de compression uniaxiale.	Décembre 1997
NF P 94-078	Sols : reconnaissance et essais - Indice CBR après immersion - Indice CBR immédiat - Indice portant immédiat - Mesure sur échantillon compacté dans le moule CBR.	Mai 1997
XP P 94-090-1	Sols : reconnaissance et essais - Essai œdométrique - Partie 1 : Essai de compressibilité sur matériaux fins quasi saturés avec chargement par paliers.	Décembre 1997
XP P 94-091	Sols : reconnaissance et essais - Essai de gonflement à l'œdomètre - Détermination des déformations par chargement de plusieurs éprouvettes.	Décembre 1995
NF P 94-093	Sols : reconnaissance et essais - Détermination des caractéristiques de compactage d'un sol - Essai Proctor normal - Essai Proctor modifié.	Septembre 1997
XP P 94-202	Sols : reconnaissance et essais - Prélèvement des sols et des roches - Méthodologie et procédures.	Décembre 1995
P 18-598	Granulats - Equivalent de sable.	Octobre 1991

Norme XP : expérimentale

Norme NF : homologuée