

PRÉLÈVEMENT DES SOLS ET DES ROCHES

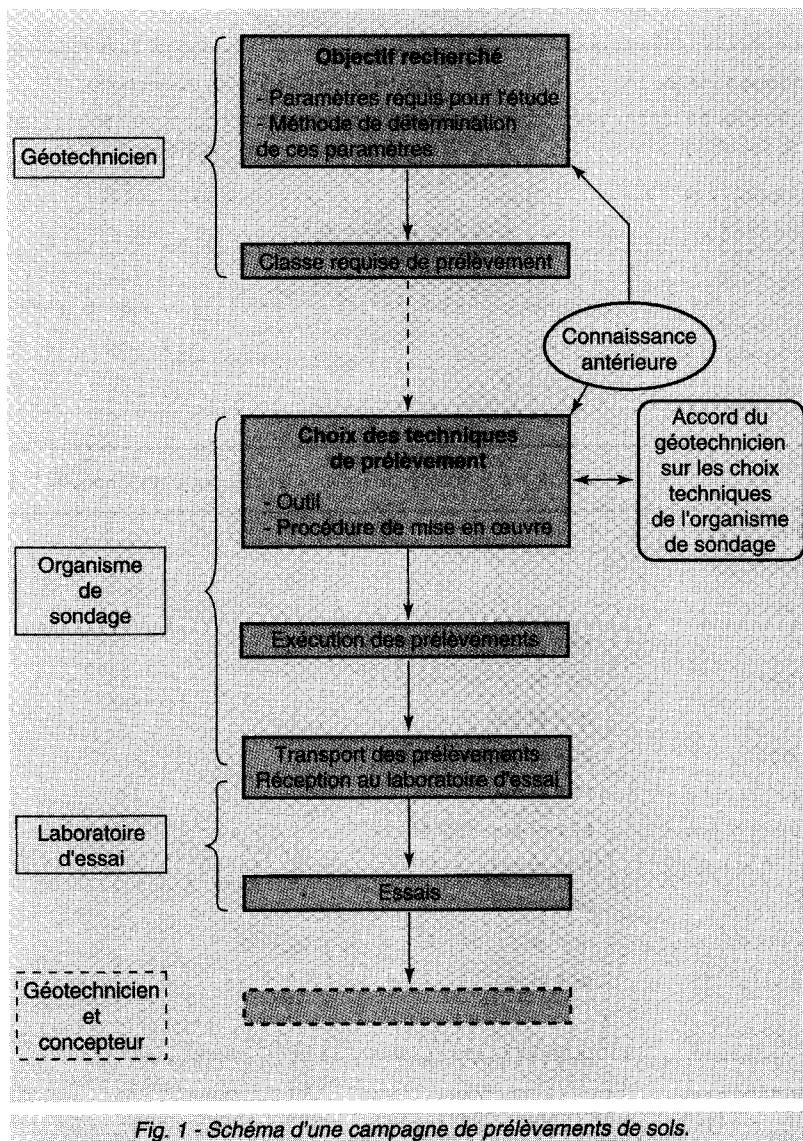
Norme expérimentale XP P 94-202

Gérard BIGOT

Secrétaire de la Commission de normalisation sols : reconnaissance et essais
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de l'Est parisien

Jean-Claude BLIVET

Chef de section Mécanique des sols
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées de Rouen
CETE Normandie Centre



Contexte

Dans le domaine de la géotechnique, la sécurité et le coût des ouvrages sont directement liés au contenu et à la qualité de la reconnaissance des sols. Le prélèvement d'échantillons, destinés à identifier et à caractériser mécaniquement les terrains, est une composante importante de cette reconnaissance.

La norme expérimentale **XP P 94-202** «Sols : reconnaissance et essais - Prélèvement des sols et des roches - Méthodologie et procédures», de décembre 1995, traite de ce point particulier et s'insère dans cette démarche qualité. Elle devrait favoriser la rédaction des marchés de sondage et permettre, sur le site, un contrôle des moyens mis en oeuvre pour atteindre l'objectif fixé.

Toutefois, avant de citer les points importants de cette norme, il faut souligner que le prélèvement d'échantillons n'est qu'un élément de la reconnaissance des sols et plus généralement de l'étude géotechnique.

Le schéma de la figure 1 rappelle qu'une liaison doit nécessairement

exister entre les intervenants de l'étude : géotechnicien, sondeur et laboratoire d'essais.

La reconnaissance des sols n'est pas dissociable de la nature de l'ouvrage et du site.

C'est donc en fonction du couple ouvrage-site qu'est fixé l'objectif, c'est-à-dire l'information qui devra être recueillie grâce aux analyses et essais sur les échantillons de sols prélevés.

Cela impose une classe minimale de prélèvement qui implique que

l'organisme de sondage mette en oeuvre des moyens adaptés pour que les prélèvements aient la qualité requise.

échantillons prélevés pour que les caractéristiques géotechniques que l'on cherche à déterminer y soient mesurables.

La notion de classe de prélèvement se substitue donc à celle d'échantillon intact ou plus ou moins remanié.

Les prélèvements se répartissent en cinq classes en fonction des paramètres géotechniques qui seront obtenus à l'issue d'essais sur les échantillons prélevés (tableau I).

.....

Tableau I
Paramètres géotechniques mesurables en fonction des classes de prélèvement

Classes	Principaux paramètres obtenus à partir de l'échantillon	
	Caractéristiques de nature	Caractéristiques d'état et de comportement
1	D, w_L , w_p , e_{max} , e_{min} , ρ_s , MO, C_c , C_s , Z^+	Z^+ , I_D , e , w_{nat} , ρ_d , τ_f [ϕ' , c' , c_u , ϕ_{uu} , c_{uu}], E, R_c , RTB, RQD, σ'_p , k, C_v
2	D, w_L , w_p , e_{max} , e_{min} , ρ_s , MO, Z^+	Z^+ , e, w_{nat} , ρ_d , RQD, I_D , k
3	D, w_L , w_p , e_{max} , e_{min} , ρ_s , MO, Z^0	Z^0 , w_{nat}
4	D, w_L , w_p , e_{max} , e_{min} , ρ_s , MO, Z^0	Z^0
5	Prélèvement incomplet, Z^-	Z^-

Légende du tableau I		Norme de référence pour obtenir les paramètres géotechniques
Z^+	Description centimétrique	
Z^0	Description décimétrique	
Z^-	Description grossière	
D	Granulométrie	NF P 94-056, XP P 94-041, NF P 94-057
w_L , w_p	Limites d'Atterberg	NF P 94-051, NF P 94-052-1
e_{max} , e_{min}	Compacité	NF P 94-059
e	Indices des vides	NF P 94-053, NF P 94-054
ρ_s	Masse volumique des grains	NF P 94-054
MO	Teneur en matière organique	NF P 94-055 - XP P 94-058
σ'_p , C_v , C_c , C_s , E	Compressibilité - Déformabilité	PR P 94-090-1
I_D	Indice de compacité	NF P 94-059
w_{nat}	Teneur en eau pondérale en place	NF P 94-050, NF P 94-049-1, NF P 94-049-2
ρ_d	Masse volumique sèche	NF P 94-053
k	Perméabilité	
R_c , τ , c' , ϕ' , c_u , c_{uu} , ϕ_{uu}	Résistance au cisaillement	NF P 94-070, NF P 94-071-1, NF P 94-071-2, NF P 94-074
RQD	Pourcentage de carottage	
RTB	Résistance en traction brésilienne	

Fig.2 - Paramètres caractéristiques des carottiers.

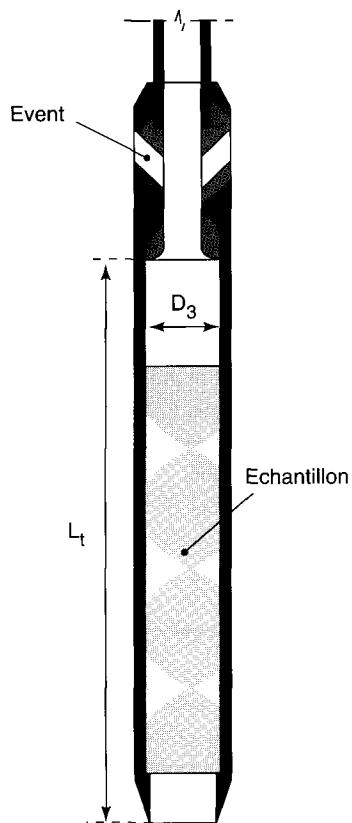


Fig.2a - Schéma d'un carottier.

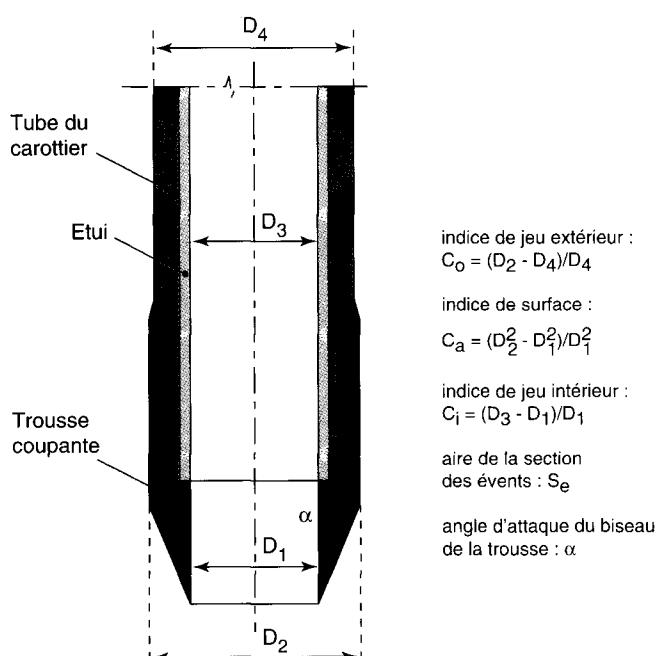


Fig.2b - Définitions.

De la classe 1 à la classe 4, l'état de l'échantillon passe de non remanié (c'est-à-dire apte notamment aux essais mécaniques) à totalement remanié (c'est-à-dire ne fournissant que des paramètres de nature). La classe 5 correspond à un prélèvement non utilisable pour des essais.

Techniques de prélevement

La norme présente les différents procédés de prélevement et les outils disponibles actuellement.

Toutefois, il ne doit pas être perdu de vue que la qualité de l'opération résulte à la fois de la combinaison intime :

- du procédé utilisé pour la mise en œuvre de l'outil de prélevement :
 - puits, tranchée, fouille et galerie,
 - forage manuel (tarière, carottier enfoncé à la main),
 - forage par poinçonnage (par percussion ou battage, par pression),
 - forage par rotation (avec ou sans injection d'un fluide de forage) ;
- des outils :
 - blocs découpés à la main,
 - boîtes de prélèvements,
 - carottiers poinçonneurs,
 - carottiers rotatifs, [voir caractéristiques sur la figure 2]
 - outils désagrégateurs.
- du savoir-faire du personnel face à un contexte géologique et hydrogéologique propre à chaque site.

Il faut en outre rappeler que le prélevement ne doit pas être dissocié non plus du mode de conditionnement, du transport, du stockage et des conditions de conservation avant essais.

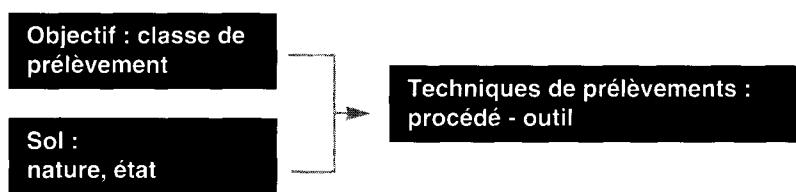
Choix de la technique de prélevement

- La démarche est dictée par :
- l'objectif imposé par les réponses à apporter à l'étude, c'est-à-dire la classe de prélevement que nécessitent les essais de laboratoire à

réaliser (par exemple classe 1 pour des essais à l'appareil triaxial) ;
 - le sol dont la nature est connue ou estimée à partir des données géologiques et géotechniques (par exemple sol marneux, terrains sous la nappe).

Comme aide à la décision, la norme XP P 94-202 contient deux tableaux :

- le tableau C.1 fournit pour une nature de matériau à prélever, les techniques envisageables et les classes à en attendre,
- le tableau C.2 complète le précédent et indique pour une technique donnée (outil et mise en œuvre) les matériaux prélevables



et la classe de prélèvement optimale possible.

L'emploi des tableaux sera différent selon que l'utilisateur est le géotechnicien, l'organisme de sondage ou le laboratoire d'essai. Aussi, afin de montrer un usage qui peut en être fait, nous avons constitué le tableau II qui s'adresse plus particulièrement aux géotechniciens ou aux maîtres d'œuvre

chargés de contrôler le contenu des reconnaissances de sol. Il indique, pour un objectif de classe 1 de prélèvement, les techniques acceptables (recommandé - toléré) en fonction de la nature du matériau à prélever. Il donne ainsi la possibilité d'apprécier l'adéquation des moyens à l'objectif ou la probabilité d'obtenir un échantillon de classe souhaitée dans un terrain donné.

Tableau II
Conditions nécessaires pour obtenir des prélèvements de classe 1

Classe de prélèvement 1 (voir tableau I pour définition)				
Matériau à prélever		Technique de prélèvement	Outil nécessaire	Avis sur la technique
Sol fin	très mou à mou ($c_u \leq 40$ kPa)	fonçage par pression	Carottier à piston stationnaire Carottier à paroi mince avec étui	R T
	ferme (argile limoneuse) (argile sableuse) (limon) ($40 < c_u \leq 75$ kPa)	fonçage par pression	Carottier à piston stationnaire Carottier à paroi mince avec étui	R R
		forage en rotation eau + additif	Carottier triple à trousse dépassante	R
		à la main	Taillage de blocs Fonçage par pression de boîtes	R R
	raide à très raide ($75 < c_u \leq 300$ kPa)	fonçage par pression	Carottier à paroi mince	R
		forage en rotation eau + additif	Carottier triple à trousse dépassante Carottier triple	R T
		à la main	Taillage de blocs Fonçage par pression de boîtes	R R
	dur $c_u > 300$ kPa	forage en rotation eau + additif	Carottier triple	R
		à la main	Taillage de blocs Fonçage par pression de boîtes	R T
		forage en rotation eau + additif	Carottier simple Carottier double Carottier triple	R R R
Sol grenu	propre (sable noyé) (alluvions)	pas de technique adaptée		
	gravier et blocs dans une matrice de sols fins éboulis - moraines	pas de technique adaptée		
R Technique recommandée T Technique tolérée				

Caractéristiques des outils de prélèvement

Carottier à piston stationnaire	α	C_a (%)	C_i (%)	C_o (%)	S_e	D_1 (mm)
Carottier à paroi mince	$\leq 10^\circ$	≤ 15	0,5 à 1,5*	≤ 2		≥ 75
Carottier triple à trousse	$\leq 10^\circ$	≤ 15	0,5 à 1,5*	≤ 2	$0,1 D_1^2$	≥ 75
	$\leq 10^\circ$	≤ 15	1,5 à 3,5			≥ 75

* $C_i = 0$ acceptable pour les carottiers courts ($L_t / D_1 \leq 6$)

Commentaires sur le tableau II

1 - L'examen de ce tableau montre, en particulier, qu'il n'est pas possible d'espérer disposer de prélèvements de sols greus de classe 1. Dans ce cas, pour déterminer des caractéristiques mécaniques qu'auraient nécessité des prélèvements de classe 1, d'autres procédures de reconnaissance sont à prévoir, telles par exemple celles consistant, à partir des prélèvements remaniés, à reconstituer en laboratoire des échantillons à la même masse volumique que le terrain avait en place.

Pour cela, la confection d'échantillons destinés aux essais impose la série d'opérations suivantes :

- tout d'abord, le prélèvement par forage du terrain en place, en volume suffisant pour réaliser les essais prévus en laboratoire, de la classe 5 excepté, en s'a aidant des tableaux C.1 et C.2 de la norme ;
- puis la détermination, en place de la masse volumique du terrain au moyen de sondes à rayonnement gamma et éventuellement à diffusion de neutrons pour apprécier la teneur en eau, ces sondes étant introduites dans le forage après tubage ;
- enfin, la reconstitution, en laboratoire, par compactage quasi statique, d'éprouvettes ayant une masse volumique sèche identique à celle du terrain en place.

Notons également que, lorsqu'il n'est pas possible d'effectuer des prélèvements, même remaniés, il faut s'orienter encore vers d'autres procédures, par exemple vers des essais qui sollicitent directement le terrain en place.

2 - Ce que ne montre pas le tableau en revanche, c'est l'effet du prélèvement sur l'échantillon destiné à un essai mécanique en laboratoire. Indépendamment de ce qui précède, il faut tenir compte du fait que le prélèvement modifie l'état de contrainte de l'échantillon prélevé et lui impose des déformations.

L'objectif poursuivi est d'éviter dans toute la chaîne de prélèvement que l'échantillon ne subisse des déformations telles qu'il se trouve en état plastifié (état de rupture). La figure 3a reconstitue l'histoire de l'échantillon qui va être soumis à un essai, et le schéma de la figure 3b retrace le chemin de contrainte suivi au cours des différentes étapes, selon une représentation des contraintes dans un diagramme (s' , t). Comme il est difficile de quantifier le phénomène, le maximum de précaution doit être pris pour que le point représentatif de l'état de

contrainte reste toujours à l'intérieur et le plus éloigné possible de la courbe d'état limite, c'est-à-dire que les déformations subies par l'échantillon restent dans le domaine élastique (inférieures à 1 % environ) et donc qu'elles soient réversibles. Ainsi non seulement le moyen de prélèvement doit être adapté, mais il faut en plus apporter un soin tout particulier au conditionnement, au transport, au stockage, à la conservation de l'échantillon et au taillage de l'éprouvette afin de bénéficier de la qualité du prélèvement.

Fig.3 - États de contrainte du sol lors des phases de prélèvement.

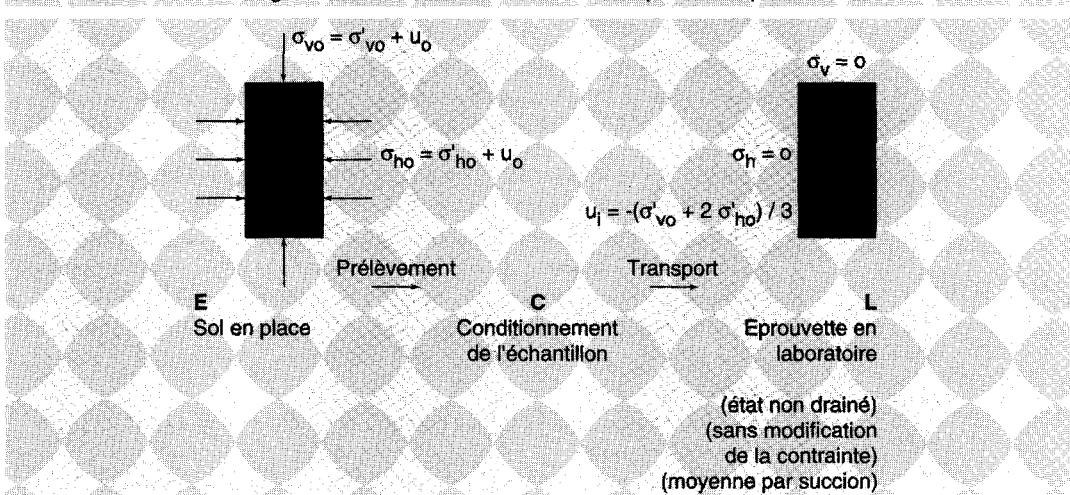


Fig.3a - Histoire de l'échantillon prélevé.

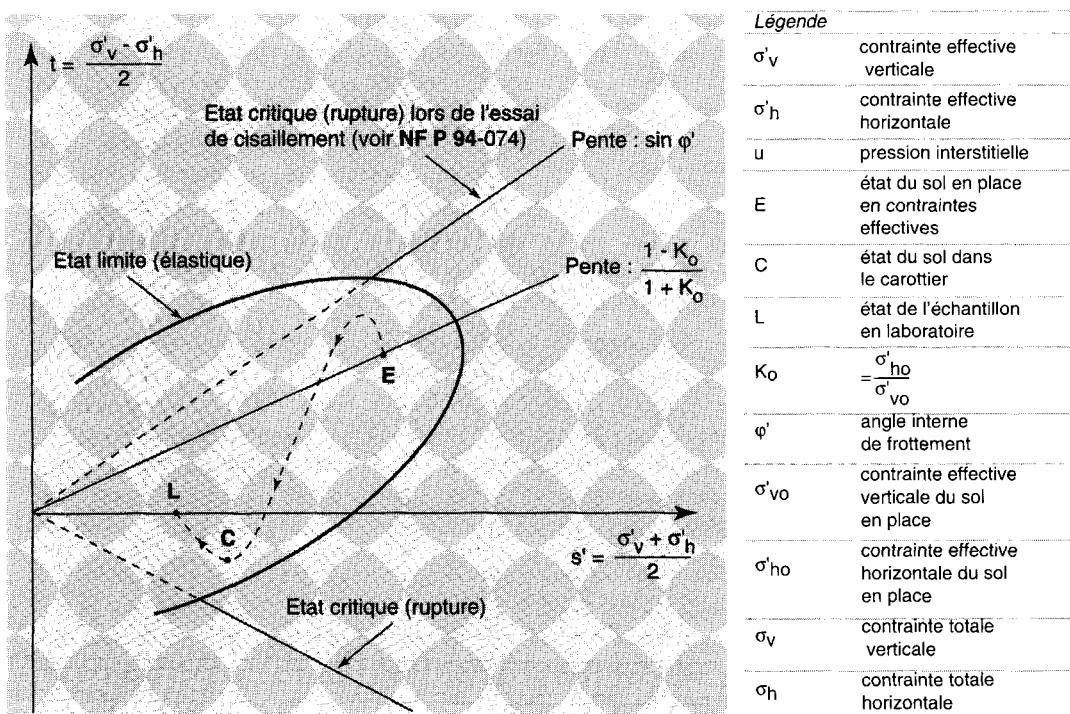


Fig.3b - Chemin de contrainte suivi par un échantillon de sol lors du prélèvement - Exemple - Sol surconsolidé.