

classification géotechnique des sols basée sur la classification U.S.C.S. (*)

par Ch. SCHON
Ingénieur, Chef du Groupe de
Géotechnique Routière de la Section
des Sols du Laboratoire Central

INTRODUCTION

En 1947, le Professeur A. Casagrande écrivait (1) que les deux chapitres les plus controversés de l'étude géotechnique des sols étaient :

1) *la classification des sols - Chapitre le plus confus ;*

2) *la résistance au cisaillement des sols - Chapitre le plus difficile.*

Je me garderai de prendre position sur le point 2, mais crois pouvoir dire que le « Chapitre » de la classification des sols reste encore controversé et le restera probablement toujours.

Toutefois, plutôt que de voir chaque ingénieur appeler les sols à « sa manière » et utiliser un système de classification plus ou moins personnel, il apparaît indispensable que nous adoptions un système de classification unique — même imparfait — qui devra être appliqué « servilement et intelligemment ».

Le système de classification dont je vais parler semble être le plus complet et le mieux adapté à nos problèmes. Evidemment, il est déjà et sera encore critiqué par certains utilisateurs (ou plutôt ceux qui ne veulent pas faire « l'effort » de l'utiliser) qui trouvent qu'il s'applique mal ou même pas du tout à « leurs » sols locaux. Je pense qu'il faut dire aujourd'hui à ces derniers qu'il sera certainement possible — à l'aide de quelques retouches et modifications à faire après un certain temps d'utilisation — de mieux adapter le système de classification à certains cas particuliers.

QU'EST-CE QU'UNE CLASSIFICATION GEOTECHNIQUE DES SOLS? QUELLE EST SON UTILITE ?

Une classification géotechnique des sols a pour but de ranger les sols par catégories présentant les mêmes caractéristiques géotechniques ou du moins des caractéristiques géotechniques voisines.

C'est ainsi que les Allemands (2), par exemple, associent directement à la classification une appréciation sur la gélivité. Les Américains (3) vont jusqu'à donner pour chaque type de sol de la classification, une appréciation sur : sa valeur en tant que couche de fondation ou couche de base, sa sensibilité au gel, ses caractéristiques drainantes, ses possibilités de tassement et de gonflement, la fourchette moyenne des densités sèches, C.B.R., modules de réactions atteints sur chantier, etc.

Il semble utile de préciser que des formations géologiques identiques peuvent donner des sols très divers du point de vue géotechnique, et inversement, des formations géologiques diverses peuvent donner des sols analogues du point de vue géotechnique.

(*) Unified Soil Classification System (U.S.A.).

(1) American Society of Civil Engineers, juin 1947, page 783.

(2) Cf. document ZTVE-StB 59 ou article de M. Dücker dans *Strasse und Autobahn* - N° 1, 1964, page 2.

(3) Cf. tableau II-2, page 66 du « Soils Manual » (The Asphalt Institute) donné « à titre indicatif » dans l'Annexe VI du document « Reconnaissance Géotechnique des Tracés d'Autoroutes ».

Ceci ne veut pas dire que l'indication de la formation géologique n'intéresse pas le géotechnicien. Au contraire, elle doit être donnée systématiquement pour :

— d'une part compléter la description du sol (à côté de la désignation locale et d'une désignation géotechnique détaillée dont je dirai quelques mots),

— d'autre part fournir un renseignement directement utilisable par le géotechnicien. Par exemple, les sables éoliens sont la plupart du temps peu compacts, à granulométrie très serrée et à base de grains « ronds-mats ». Ou bien, pour les problèmes de tassement il est intéressant de savoir si le sol a été soumis à la surcharge d'un glacier, etc.

Pour en revenir à l'utilité d'une classification géotechnique, je dirai encore qu'elle fournit un langage à l'aide duquel les connaissances d'une personne sur les caractéristiques générales d'un sol donné peuvent être transmises à d'autres personnes d'une manière claire et concise, — donc sans avoir à entrer dans de longues descriptions et analyses détaillées.

Enfin, la classification est encore un instrument de travail qui permet de regrouper méthodiquement les très nombreux échantillons d'une campagne de sondage en vue d'établir les coupes géotechniques du terrain. C'est d'ailleurs à ce moment-là que l'utilisateur devra faire preuve dans sa synthèse « d'intelligence dans son application servile » du système de classification — en ayant par exemple présent à la mémoire la dispersion des résultats de nos essais classiques de laboratoire (tamisage et limites d'Atterberg).

QUELS SONT LES SYSTEMES DE CLASSIFICATION QUI EXISTENT ?

Ils sont nombreux et il ne peut donc être question de les décrire ici. Indiquons simplement qu'il en existe plusieurs qui sont basés uniquement sur la granularité (en représentation triangulaire par exemple) et plusieurs qui utilisent à la fois la granularité et la plasticité des matériaux. Parmi ces derniers nous avons retenu la classification U.S.C.S. (Unified Soil Classification System) qui nous paraissait la plus satisfaisante.

POURQUOI AVONS-NOUS PREFERE LE SYSTEME U.S.C.S. ?

J'indiquerai les quatre raisons suivantes :

1) Son utilisation, après quelque temps de pratique est relativement simple

2) Il est assez complet ; en effet, 15 solstypes sont retenus, affectés chacun d'un symbole composé de deux lettres.

Par ailleurs, plusieurs combinaisons sont possibles, par l'emploi de doubles-symboles, pour classer les sols dans lesquels la granularité autant que la plasticité des éléments fins jouent un rôle, et pour classer les sols n'appartenant pas franchement à l'un des 15 solstypes. Le système est donc « souple ».

3) Il est « parlant » car ses symboles sont les abréviations d'une terminologie couramment utilisée par l'ingénieur par exemple Gb = grave bien graduée.

4) Il est adopté par d'autres pays européens, par exemple la Suisse, l'Allemagne, l'Autriche...

SUR QUELS ELEMENTS GRANULOMETRIQUES ET DE PLASTICITE EST BASE LE SYSTEME DE CLASSIFICATION U.S.C.S. ?

Ce système dû, nous le rappelons, au Professeur A. Casagrande, est basé uniquement sur des caractéristiques granulométriques pour les sols contenant un pourcentage de fines suffisamment faible pour ne pas affecter le comportement géotechnique du matériau. Il est basé au contraire uniquement sur des caractéristiques de plasticité pour les sols dans lesquels les fines jouent un rôle prépondérant. Le recours simultané aux caractéristiques granulométriques et de plasticité se fera pour les sols compris entre ces deux catégories.

Les caractéristiques granulométriques retenues sont :

- les pourcentages de graviers, de sable et de fines ;
- la forme de la courbe granulométrique.

Les caractéristiques de plasticité retenues sont :

- la limite de liquidité et l'indice de plasticité.

T A B L E A U 2

SEUILS GRANULOMETRIQUES POUR DIVERS PAYS	60	20,0	6,0	2,0	0,6	0,4	0,2	0,06	0,02	0,006	0,002	
Atterberg (1905) Nomencl. Routière	Cailloux	Graviers	Sables gros fins					Limons	Argiles			
British Standard System	Cailloux	Graviers	Sables gros moyens fins			Limons gros moyens fins			Argiles			
Sté Autrichienne de recherches routières	Cailloux	Graviers	Sables gros fins				Limons	Argiles				
Massachus. Instit. of Technology	Cailloux	Graviers	Sables				Limons	Argiles				
Sté Allemande de Rech. Rout. ; DIN 4022	Cailloux	Graviers gros moyens fins	Sables gros moyens fins				Limons	Argiles				
Suisse Norme S.N.V.	Cailloux	Graviers	Sables				Limons	Argiles				
C.R.R. Bruxelles Belgique	Cailloux Fraction (VI)	Graviers (v)	Sables gros (IV) fins (III)				Limons (II)	Argiles (I)				
A.S.T.M.	Cailloux	Graviers gros fins	gros	Sables fins			Limons	Argiles				
U.S.C.S. Corps of engineers	Cailloux	Graviers gros fins	gros	Sables moyens fins			Limons et (ou) Argiles					
A.A.S.H.O.	Cailloux	Graviers gros moyens fins	gros	Sables moyens fins			Limons	Argiles				
Civils Aeronautics Administration (U.S.Q.)	Graviers		Sables gros fins				Limons	Argiles				
	76,2	25,4 19,1	9,52 4,76	2,0	0,42	0,25	0,074 0,05	0,005				

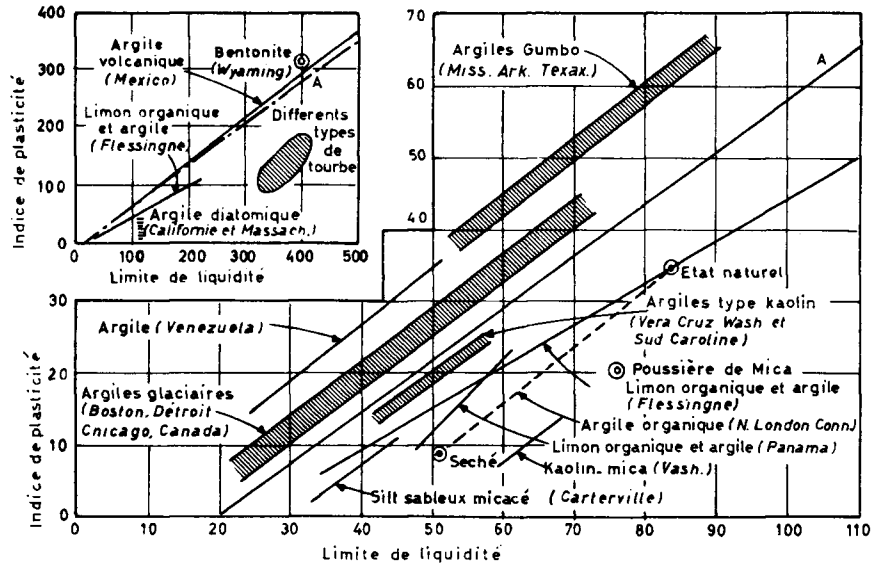
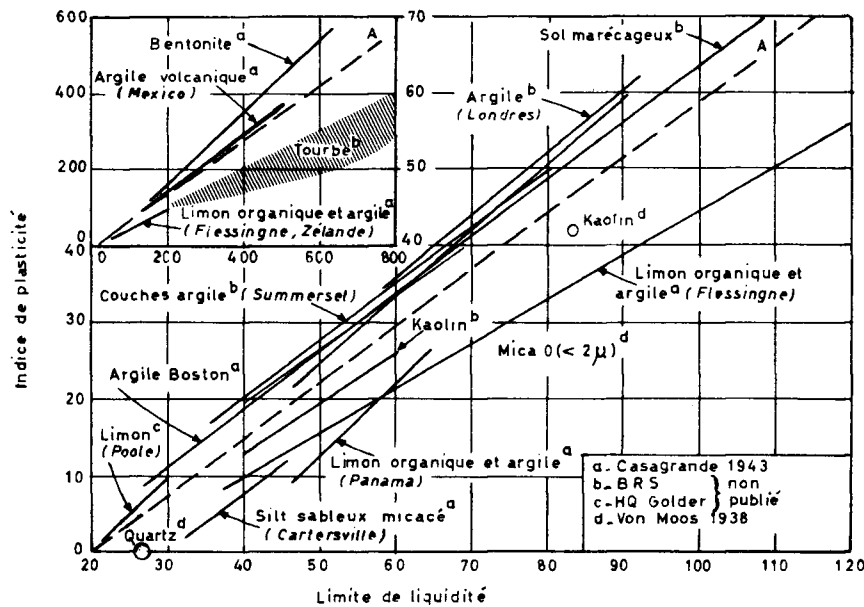


Fig. 1a - Relation entre la limite de liquidité et l'indice de plasticité pour des sols caractéristiques.

Fig. 1b - Relation entre la limite de liquidité et l'indice de plasticité.



Éléments granulométriques

Quelles sont les dimensions correspondant aux graviers, sables et fines ?

Les classes granulométriques utilisées actuellement en France sont celles définies par Atterberg en 1905. Les « diamètres » d des particules sont les suivants :

Cailloux		$d > 20$ mm
Graviers	2 mm	$< d < 20$ mm
Gros sable	0,2 mm	$< d < 2$ mm
Sable fin	0,02 mm	$< d < 0,2$ mm
Limon	0,002 mm	$< d < 0,02$ mm
Argile		$d < 0,002$ mm

Ces classes granulométriques, dont les seuils sont fixés arbitrairement, diffèrent sensiblement d'un pays à un autre et même — dans un pays — d'un organisme à un autre (*Tableau 2*). En particulier, les seuils retenus dans la classification U.S.C.S. d'origine ne correspondent pas aux seuils utilisés en France puisque cette classification U.S.C.S. porte sur :

Graviers		$d > 4,76$ mm
Sable	0,074 mm	$< d < 4,76$ mm
Fines (limon et argile)		$d < 0,074$ mm

Le *Tableau 2* explique pourquoi nous avons remplacé dans la classification U.S.C.S. d'origine 4,76 mm par 2 mm pour le seuil entre gravier et sable ; en effet ce seuil de 2 mm est adopté par de nombreux pays.

La dimension 0,074 mm a été remplacée par le tamis français le plus voisin, c'est-à-dire 0,08 mm.

La classification U.S.C.S. ne fait pas la différence du point de vue granulométrique — entre limon et argile. Cette différenciation se fera à l'aide des limites d'Atterberg. Signalons simplement, en passant, que le seuil de 0,002 mm étant fréquemment retenu par divers pays, il n'y a pas lieu d'envisager sa modification et nous sommes alors amenés à considérer que la classe granulométrique des limons serait telle que

$$0,002 \text{ mm} < d < 0,08 \text{ mm}$$

En se reportant encore au *tableau 2*, nous constatons d'ailleurs que, pratiquement, seules les divisions retenues en France fixent la limite supérieure des limons à 0,02 mm. Les autres pays hésitent entre 0,05 et 0,06 mm et on comprend dès lors que les auteurs américains aient décidé de fixer à 0,074 mm (0,08 mm) le seuil entre sable et « fines », cette dimension correspondant au tamis le plus fin couramment utilisé.

En conclusion donc, du point de vue granulométrique, la classification utilisera :

- 1) le pourcentage de tamisat à 0,08 mm ;
- 2) le pourcentage de tamisat à 2 mm ;

et en plus

3) deux coefficients permettant d'apprécier la forme de la courbe granulométrique et calculés à partir de cette dernière :

— le coefficient d'uniformité (ou de Hazen)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

— le coefficient de courbure

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

D_{10} , D_{30} et D_{60} représentent les diamètres des grains à 10, 30 et 60 % de tamisat (4).

Éléments de plasticité

Comment sont utilisées les limites d'Atterberg pour classer les sols plastiques ?

Ces sols sont classés à l'aide d'un diagramme de plasticité établi en portant en ordonnées l'indice de plasticité et en abscisses la limite de liquidité.

En reportant ainsi de très nombreux résultats de limites d'Atterberg, Casagrande a obtenu la *figure 1 a*, la *figure 1 b* ayant été obtenue par Cooling, Skempton et Glossop (5) sur des sols britanniques.

On remarque sur ces figures que :

1) d'une manière générale les argiles se situent au-dessus d'une droite « A » d'équation

$$I_p = 0,73 (W_L - 20).$$

Font exception les argiles du type « Kaolin » peu plastiques, qui entrent souvent dans la composition des limons ;

2) les sols contenant des matières organiques, qui se situent au-dessous de la droite « A ».

C'est en se basant sur les graphiques de la *figure 1* que Casagrande a établi le diagramme de plasticité de la *figure 2* qui sera utilisé pour classer les sols plastiques.

REMARQUE IMPORTANTE : Les graphiques de la *figure 1* sont obtenus en réalisant les limites d'Atterberg sur matériaux n'ayant pas subi

(4) Passant au tamis de « x » mm.

de séchage à l'étuve à 105°C. Il faut ne pas oublier qu'on a malheureusement pris l'habitude, en France, d'exécuter les limites d'Atterberg sur matériaux ayant séché plusieurs heures dans une étuve à 105°C. Ce séchage influençant sensiblement les résultats, le dernier Mode Opératoire du Laboratoire Central (L.C. P.C.) demande de l'éviter.

LA CLASSIFICATION PROPREMENT DITE, SON UTILISATION

La classification L.P.C. * utilise soit les résultats classiques d'essais de laboratoire (tamisage, limites d'Atterberg), soit l'appréciation visuelle et des tests simples sur le chantier. Disons tout de suite qu'il faut une grande expérience pour employer correctement la méthode rapide ou méthode de chantier.

Les symboles utilisés sont les suivants :

a) Eléments du sol

G = Gravier, le gravier est la fraction principale
S = Sable, le sable est la fraction principale
L = Limon ou limoneux
A = Argile ou argileux
T = Tourbe
O = Organique, le sol contient des matières organiques.

b) Granulométrie du sol

b = bien gradué, toutes les dimensions de grains sont représentées — aucune ne prédomine
m = mal gradué — une (ou plusieurs) dimension de grains prédomine.

c) Plasticité du sol

t = très plastique (limite de liquidité élevée)
p = peu plastique (limite de liquidité faible).

Cette méthode prévoit trois étapes pour classer un sol :

1) détermination des caractéristiques fondamentales du sol qui se fera par la granulométrie et par la détermination de l'influence de l'eau sur les caractéristiques des grains très fins.

2) classification du sol, qui obtient une dénomination type et un symbole de groupe ;

3) description du sol, nécessaire pour différencier éventuellement deux sols classés dans le même groupe.

Détermination des caractéristiques fondamentales

— *La composition granulométrique* : en laboratoire, la courbe granulométrique est établie par tamisage, alors que sur chantier (ou méthode rapide) on se contente de l'appréciation des tamisats à 0,08 mm et à 2 mm.

— *La plasticité* : elle est déterminée en laboratoire par les limites d'Atterberg ; l'appréciation sur chantier (ou méthode rapide) se fera par les essais d'agitation, de consistance et de résistance à sec.

— *La teneur en matières organiques* : elle est mesurée en laboratoire ; sur chantier, elle est appréciée par la couleur (foncée), l'odeur, l'aspect spongieux, la texture fibreuse.

Classification du sol (tableau 1)

Subdivision préliminaire

Une première subdivision, d'après la proportion des grains inférieurs et supérieurs à 0,08 mm, permet de distinguer :

- les sols grenus : plus de 50 % des éléments > 0,08 mm.
- les sols fins : plus de 50 % des éléments < 0,08 mm.

Classification des sols grenus (tableaux 3 et 4)

Les sols grenus sont eux-mêmes divisés en deux grandes catégories :

- les graves : plus de 50 % des éléments supérieurs à 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm.
- les sables : plus de 50 % des éléments supérieurs à 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm.

Cette division est complétée par la méthode de laboratoire de la façon suivante (tableau 3) :

1) Moins de 5 % d'éléments inférieurs à 0,08 mm.

Les sols sont alors classés d'après la valeur des deux coefficients suivants : C_u et C_c définis au paragraphe : « *Eléments granulométriques* ».

(5) American Society of Civil Engineers, March 1948, page 406.

* Etant donné les modifications déjà apportées à la classification U.S.C.S. d'origine, et celles que nous serons amenés à apporter ultérieurement pour mieux l'adapter à nos sols, nous proposons de l'appeler dorénavant classification L.P.C. (Laboratoires des Ponts et Chaussées).

T A B L E A U 3

CLASSIFICATION DES SOLS GRENUS

(plus de 50 % des éléments > 0,08 mm)

Définitions		Symboles	Conditions	Appellations		
GRAVES	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre de > 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	Gb	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	grave propre	
			(GW)		bien graduée	
			Gm		Une des conditions de Gb non satisfaite	grave propre mal graduée
			(GP)			
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	GL	Limite d'Atterberg au-dessous de A	grave limoneuse	
			(GM)			
			GA	Limite d'Atterberg au-dessus de A	grave argileuse	
			(GC)			
SABLES	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm	moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	Sb	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ et $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	sable propre	
			(SW)		bien gradué	
			Sm		Une des conditions de Sb non satisfaite	sable propre mal gradué
			(SP)			
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	SL	Limite d'Atterberg au-dessous de A	sable limoneux	
			(SM)			
			SA	Limite d'Atterberg au-dessus de A	sable argileux	
			(SC)			

Lorsque 5 % < % inférieur à 0,08 mm < 12 % → on utilise un double symbole.

T A B L E A U 4

CLASSIFICATION RAPIDE DES SOLS GRENUS					
PROCEDURE D'IDENTIFICATION SUR CHANTIER éléments > 60 mm exclus ; poids des fractions estimés				SYMBOLES (U.S.C.S.)	DESIGNATION géotechnique
1	2	3	4	5	6
Plus de la moitié des éléments sont > 0,08 mm SOLS GRENUS	Plus de la moitié des éléments 0,08 mm ont un diamètre > 2 mm GRAVES	sans fines	Tous les diamètres de grains sont représentés, aucun ne prédomine	Gb (GW)	Grave propre bien graduée
			Une dimension de grains ou un ensemble de dimensions de grains prédominant	Gm (GP)	Grave propre mal graduée
		avec fines	Les éléments fins n'ont pas de cohésion	Gl (GM)	Grave limoneuse
			Les éléments fins sont cohérents	GA (GC)	Grave argileuse
	Plus de la moitié des éléments 0,08 mm ont un diamètre < 2 mm SABLES	sans fines	Tous les diamètres de grains sont représentés, aucun ne prédomine	Sb (SW)	Sable propre bien gradué
			Une dimension de grains ou un ensemble de dimensions de grains prédominant	Sm (SP)	Sable propre mal gradué
		avec fines	Les éléments fins n'ont pas de cohésion	SL (SM)	Sable limoneux
			Les éléments fins sont cohérents	SA (SC)	Sable argileux

Une grave sera dite bien graduée si :

$$C_u > 4 \text{ et } 1 < C_c < 3$$

Un sable sera dit bien gradué si :

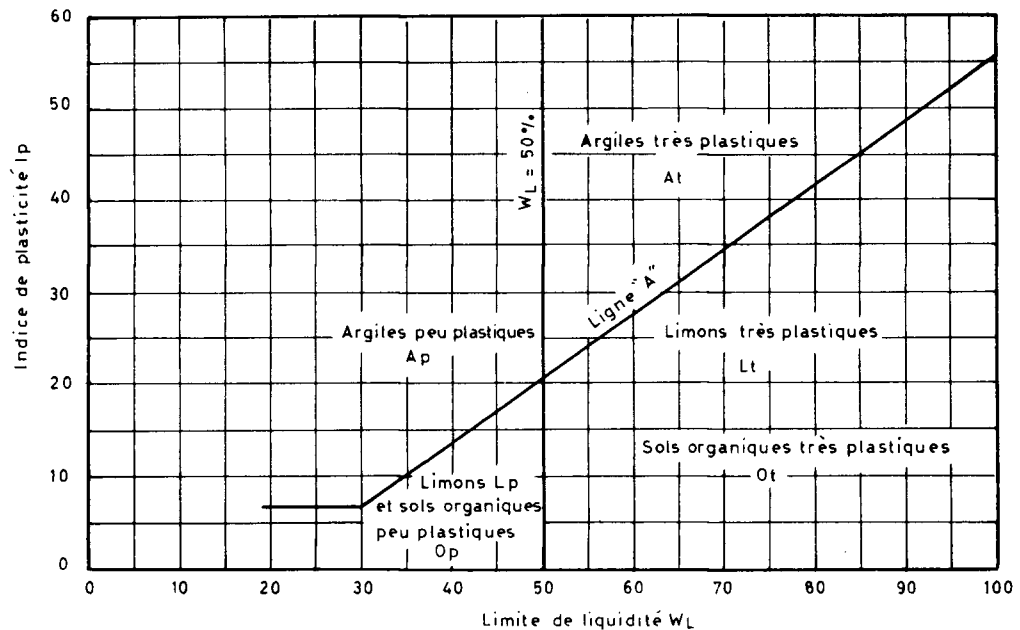
$$C_u > 6 \text{ et } 1 < C_c < 3$$

Si l'une des deux conditions n'est pas satisfaite, le sol sera qualifié de mal gradué.

Les symboles seront donc Gb, Gm, Sb et Sm. On remarquera que la première lettre du symbole indique la nature du sol tandis que la deuxième traduit plus spécialement une caractéristique géotechnique.

2) Plus de 12 % d'éléments > 0,08 mm : la fraction fine est étudiée comme un sol fin.

Fig. 2
Classification de laboratoire
des sols fins
diagramme de plasticité



On considère par ailleurs que les caractéristiques de plasticité de ces fines jouent un rôle aussi important, souvent même plus important que la granularité — c'est-à-dire que, sauf cas particulier, on ne fera plus intervenir les notions de bien ou mal gradué.

Selon la plasticité des éléments fins, on retiendra le qualificatif de « limoneux » ou « argileux » (utilisation du diagramme de plasticité) (fig. 2).

Les symboles utilisés seront alors :
GL, SL, GA ou S.A.

3) Entre 5 et 12 % de fines : dans ce cas granularité et plasticité des fines ont de l'importance, et pour pouvoir traduire ces deux éléments, on aura recours à un double symbole. Le document « Reconnaissance Géotechnique des Tracés d'Autoroutes » a indiqué quelques-uns de ces doubles symboles ; ce sont : Gb-GL, Gb-GA, Gm-GA, Gm-GL, Gm-GA, et de même pour les sables.

D'autres doubles symboles sont possibles. (Chapitre suivant : *Les possibilités fournies par l'emploi de doubles symboles*).

Pour la méthode de chantier, on apprécie à l'œil la teneur en fines pour appliquer les règles du tableau 4. Il est évident que l'utilisation de doubles symboles sur chantier est très difficile ; elle est en général à exclure.

Classification des sols fins (fig. 2 et tableau 5)

La méthode de laboratoire est basée sur les limites d'Atterberg — elle est indiquée sur la figure 2.

La méthode rapide ou de chantier est basée sur des tests rapides, dont 3 sont indiqués tableau 5. D'autres tests sont indiqués dans le document « Reconnaissance Géotechnique des Tracés d'Autoroutes ». Il est recommandé de les utiliser chaque fois que les tests d'agitation, de consistance et de résistance à sec du tableau 5 ne permettent pas de prendre une décision.

Descriptions complémentaires du sol

La classification est basée sur un petit nombre d'essais et ne rend pas compte de toute l'information qu'on peut retirer des identifications de laboratoire et de l'examen du sol.

La description du sol doit donc comporter, en plus du symbole, des indications complémentaires ; on peut citer les suivantes :

- forme des grains,
- couleur,
- odeur,
- teneur en CO_3Ca ,
- l'équivalence de sable,
- la résistance au pénétromètre de poche,
- la gamme de teneurs en eau naturelles,
- la densité sèche,

TABLEAU 5

CLASSIFICATION RAPIDE DES SOLS FINS							
PROCEDURE D'IDENTIFICATION SUR CHANTIER (poids des fractions estimés)					SYMBOLE (U.S.C.S.)	DESIGNATION géotechnique	
			Détermination de la plasticité sur chantier				
1	2	3	Agitation 4a	Consistance 4b			Résistance à sec 4c
La moitié des éléments ou davantage sont < 0,08 mm SOLS FINS - ARGILE et LIMON	Limite de liquidité < 50 %	Rapide à lente	Nulle	Nulle	Lp (ML)	Limons peu plastiques	
		Nulle à lente	Moyenne	Moyenne à grande	Ap (CL)	Argiles peu plastiques	
		Lente	Faible	Faible à moyenne	Op (OL)	Limons et argiles organiques peu plastiques	
	Limite de liquidité > 50 %	Lente à nulle	Faible à moyenne	Faible à moyenne	Lt (MH)	Limons très plastiques	
		Nulle	Grande	Grande à très grande	At (CH)	Argiles très plastiques	
		Nulle à très lente	Faible à moyenne	Moyenne à grande	Ot (OH)	Limons et argiles organiques très plastiques	
	Les matières organiques prédominent		Reconnaisables à l'odeur, couleur sombre, texture fibreuse, faible densité humide			T (Pt)	Tourbes et autres sols très organiques

T A B L E A U 6

DENOMINATION DETAILLEE DES SOLS							
GRAVE	{ propre bien ou mal graduée limoneuse argileuse }	avec { peu de (3 à 15 %) du (16 à 30 %) beaucoup de (31 à 50 %) }	sable et { des blocs de mm des matières organiques de la tourbe . très (> 80 %) peu (< 20 %) ou pas calcaire				
				SABLE	{ propre bien ou mal gradué limoneux argileux }	avec { peu de (3 à 15 %) du (16 à 30 %) beaucoup de (31 à 50 %) }	graviers et { des blocs de mm des matières organiques de la tourbe très, peu ou pas calcaire

- la structure de l'échantillon,
- un complément de description granulométrique.

Dans cette liste j'insisterai sur :

- la teneur en CO_3Ca , qui permet d'aborder le cas des marnes,
- le complément de description granulométrique, toujours utile mais qui est indispensable lorsqu'on se trouve en présence d'un « cas limite ».

1) Teneur en CO_3Ca

Elle permet, entre autres, de distinguer les catégories de sols suivants :

0- 10 %	de CO_3Ca	Argile
10- 30 %	» »	Argile marneuse
30- 70 %	» »	Marne
70- 90 %	» »	Calcaire marneux
90- 100 %	» »	Calcaire.

Sauf la catégorie « Argile » ces sols n'entrent pas dans la classification. Il en est d'ailleurs ainsi de tous les sols pour lesquels la dimension des grains ou granularité n'a pratiquement pas de sens dans le cas général (marnes, schistes, craies...). Il sera peut-être possible d'inclure ultérieurement de tels matériaux dans le système de classification, en utilisant par exemple, pour les marnes, les critères de CO_3Ca ci-dessus, des critères de plasticité et une appréciation complémentaire de l'état intact (compact, granuleux, etc.). En attendant, il n'est pas question d'attribuer un symbole à ces sols, pour lesquels il apparaît plus utile de fournir des dénominations géologique et locale et une description détaillée.

2) Description granulométrique complémentaire

Le *tableau 6* donne des exemples de description complémentaire. Son application permet une dénomination détaillée qui peut éviter, dans certains cas, des erreurs — en particulier pour les

« cas limites » tels que sables cohérents ou « sols fins très sableux ». Il est d'ailleurs très possible de traduire tous les cas limites dans la classification par l'emploi de doubles symboles. On en dira quelques mots au paragraphe suivant, mais il faut souligner que cette possibilité n'a pas été détaillée dans le document « *Reconnaissance Géotechnique des Tracés d'Autoroutes* ». Il a en effet paru plus prudent d'utiliser dans un premier temps le système tel qu'il vient d'être exposé ; plus tard on pourra l'adapter, après un certain temps d'utilisation, compte tenu des cas particuliers qui peuvent être rencontrés en France.

LES POSSIBILITES FOURNIES PAR L'EMPLOI DE DOUBLES SYMBOLES

Une mise en garde est indispensable :

Un système de classification des sols comporte obligatoirement une schématisation importante des éléments d'identification qu'il utilise. Par exemple, la courbe granulométrique n'interviendra que par quelques points particuliers.

Il y aura donc toujours des problèmes de cas limites qui, si on appliquait le système de classification sans discernement, entraîneraient des erreurs, voire des absurdités.

Il est évident, par exemple, que l'utilisation du diagramme de plasticité pour un sol dont les limites d'Atterberg sont telles que les points représentatifs soient proches de la droite A ou sur la droite « A » d'équation $I_p = 0,73 (W_L - 20)$, entraîne des classifications tantôt dans la catégorie « Limon », tantôt dans la catégorie « Argile ». Ceci est dû :

- d'une part à la dispersion des limites d'Atterberg,
- d'autre part à l'hétérogénéité des sols.

Il est en général possible de traduire les cas limites par un double symbole

- Lt - At points représentatifs I_p/W_L proches de la droite « A »
- Ap - Lp points voisins de $W_L = 50$, en-dessous de la droite « A »
- Ap - At points voisins de $W_L = 50$, au-dessus de la droite « A », etc.

Par ailleurs, lorsque W_L est inférieur à 30, on se trouve souvent en présence d'un sable cohérent et non d'une argile ou d'un limon peu

plastique. Il faudra dans ce cas tenir compte de la granularité et si $\% < 0,08 \text{ mm} \neq 50 \%$ on pourrait tenir compte de la fraction sableuse en utilisant

$$\begin{array}{ll} \text{SL - Lp} & \text{si } I_p < 7 \\ \text{SA - Ap} & \text{si } I_p > 7 \end{array}$$

De même, les deux conditions $C_u > 4$ et $1 < C_c < 3$ pour une grave bien graduée, sont extrêmement sévères ; il s'agit pratiquement d'une courbe de Füller ou d'une courbe s'écartant très peu de l'équation de Füller. Dans ces conditions, beaucoup de nos graves routières se trouvent classées Gm, ce qui peut paraître exagéré, en particulier si elles entrent correctement dans un fuseau granulométrique pour couches de base type A.A.S.H.O. par exemple. On pourra distinguer ces matériaux de ceux présentant réellement une granularité défectueuse, en ayant recours au symbole Gb-Gm.

Bien d'autres possibilités sont encore offertes par l'emploi des doubles symboles de la classification ; mais il nous faudra, avant d'en proposer l'adoption définitive, préciser en détails leurs modalités d'emploi.

CONCLUSION

Le dernier paragraphe de cet article avait essentiellement pour objet d'indiquer que le système de classification est très « souple » et pourra être adapté à de nombreux cas particuliers. Mais il nous faudra au préalable recenser ces derniers et espérer que la centralisation systématique des indications portées par les Laboratoires Régionaux sur les feuilles de renseignements et de sondages types (notamment à propos du document F.O.C.S. ou du document « *Reconnaissance Géotechnique des Tracés d'Autoroutes* ») nous permettra de progresser rapidement dans cette voie. L'utilisation de l'ordinateur, s'il est abondamment alimenté en résultats, nous facilitera beaucoup cette tâche.

Mais, bien entendu, nous ne pouvons pas compter seulement sur les renseignements portés sur les feuilles de sondages ; il est tout à fait nécessaire que les Ingénieurs et Techniciens qui s'occupent des Sols, et notamment ceux des Laboratoires collaborent à cette mise au point, nous fassent connaître les difficultés rencontrées, suggèrent des solutions pour perfectionner le système de classification L.P.C. des Sols.