

TP 2A : IDENTIFICATION ET CLASSIFICATION DES SOLS

Le TP se découpera en deux parties distinctives :

- Une première partie basée sur l'analyse granulométrique d'un sol
- Une deuxième partie concernant l'analyse de la fraction argileuse d'un sol à l'aide de deux méthodes : la limite d'Atterberg et l'essai au bleu de méthylène
- Une troisième partie concluant sur la classification des sables et de l'argile

I) ANALYSE GRANULOMETRIQUE

➤ Principe de l'essai :

Les deux techniques traditionnelles sont le tamisage pour les particules les plus grosses et la sédimentométrie pour les particules fines. Dans ce TP, nous nous contenterons d'effectuer la première méthode.

➤ Analyse granulométrique par tamisage

Cette technique s'effectue au moyen d'une série de tamis d'ouvertures normalisées. Dans notre cas, les particules du sol sont sèches mais ce n'est pas le cas dans les véritables études. Ces particules sont ensuite fractionnées au moyen des tamis. Les particules retenues par chaque tamis (appelées le refus) sont ensuite pesées.

On appelle :

- Le pourcentage massique de refus pour un tamis donné le rapport de pourcentage entre la masse de matériau retenue par le tamis et la masse totale initiale du matériau sec.
- Le pourcentage massique de tamisat la quantité égale à 100 moins le pourcentage massique de refus

La courbe granulométrique d'un sol représente alors le pourcentage massique de tamisat en fonction du logarithme de la maille du tamis.

➤ Travail demandé

- Echantillonner une masse M_0 de matériau sec. Il est recommandé de se tenir dans l'intervalle

$$200D < M_0 < 600D$$

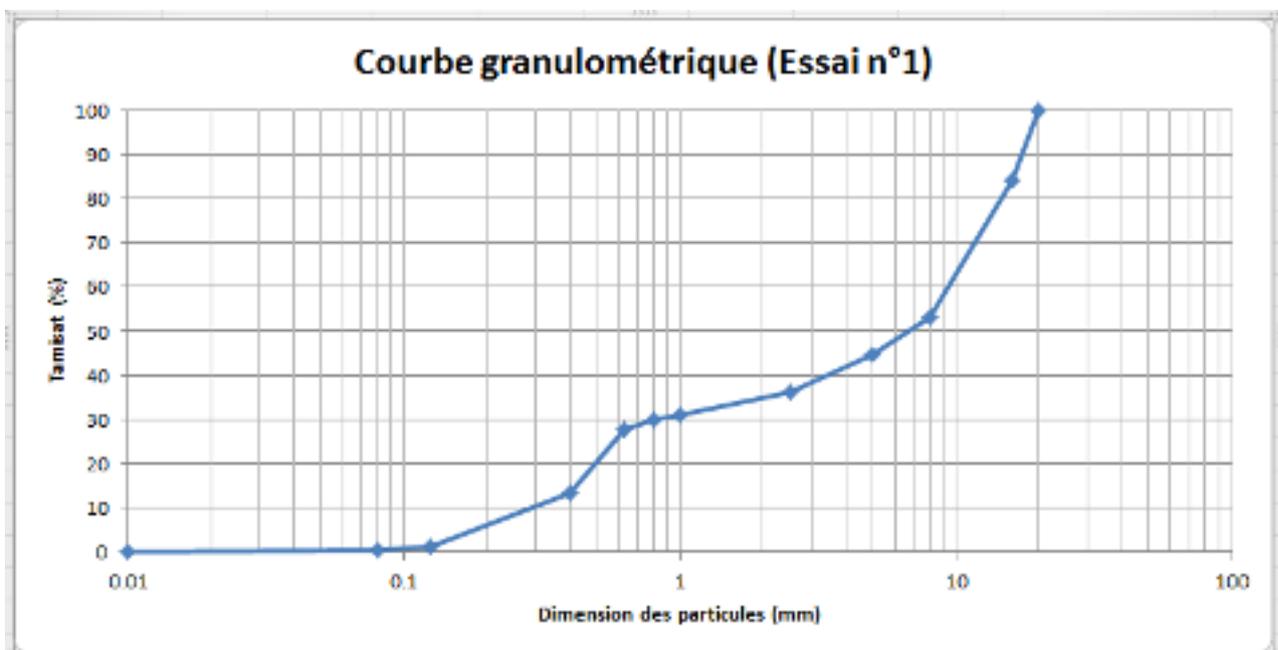
Cependant, les échantillons testés au laboratoire ne dépasseront pas une masse de 4kg pour des raisons de manipulation.

- Verser le matériau sur la colonne de tamis (allant de 16mm à <0.08mm)
- Agiter manuellement la colonne
- Reprendre à un à un chaque tamis, puis les agiter avant de les peser chacun leur tour
- Calculer pour chaque tamis les refus cumulés en pourcentage
- Etablir la courbe granulométrique du matériau

➤ ***Analyse de la courbe granulométrique du matériau n°1***

Essai 1 (Masse initial = 2474 g)

Tamise (mm)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisat (%)
20	0	0	100
16	392	15.9	84.1
8	1161	46.9	53.1
5	1372	55.5	44.5
2.5	1579	63.8	36.2
1	1706	69.0	31.0
0.8	1732	70.0	30.0
0.63	1790	72.4	27.6
0.4	2146	86.8	13.2
0.125	2444	98.8	1.2
0.08	2465	99.7	0.3
0.01	2473	100.0	0.0



On en déduit de la courbe granulométrique précédemment tracée :

- Le diamètre équivalent des plus gros éléments $d_{max} = 20mm$
- Le diamètre efficace $d_{10} = 0.30mm$
- Le diamètre équivalent moyen du sol étudié $d_{50} = 7mm$
- Le pourcentage en masse des différentes fractions granulaires du sol étudié :

Société Internationale de Mécanique des sols (1977)		
Dimensions	Nom	Pourcentage en masse
> 200 mm	Blocs	0%
60 à 200 mm	Galets, cailloux	0%
20 à 60 mm	Gravier grossier	0%
6 à 20 mm	Gravier moyen	47%
2 à 6 mm	Gravier fin	17%
0.6 à 2 mm	Sable grossier	8.50%
0.2 à 0.6 mm	Sable moyen	14%
0.06 à 0.2 mm	Sable fin	13%
20 à 60 μm	Limon grossier	0.50%
6 à 20 μm	Limon moyen	
2 à 6 μm	Limon fin	
< 2 μm	Argile	

On peut donc, selon la répartition granulométrique, considérée que ce matériau est un gravier moyen.

L'étalement de granulométrie est un facteur important qui intervient pour les sols à matrice grossière dans la compacité en géotechnique routière et qui influe également dans la résistance au cisaillement de ces sols. Cet étalement est mesuré par les facteurs suivants :

- Le coefficient d'uniformité C_u (coefficient de Hazen) du sol tel que

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{9.2 \cdot 10^{-3}}{0.3 \cdot 10^{-3}} = 30.7$$

- Le coefficient de courbure C_c :

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} = \frac{0.8 \cdot 10^{-3}^2}{0.3 \cdot 10^{-3} \times 9.2 \cdot 10^{-3}} = 0.23$$

On en déduit donc selon le tableau :

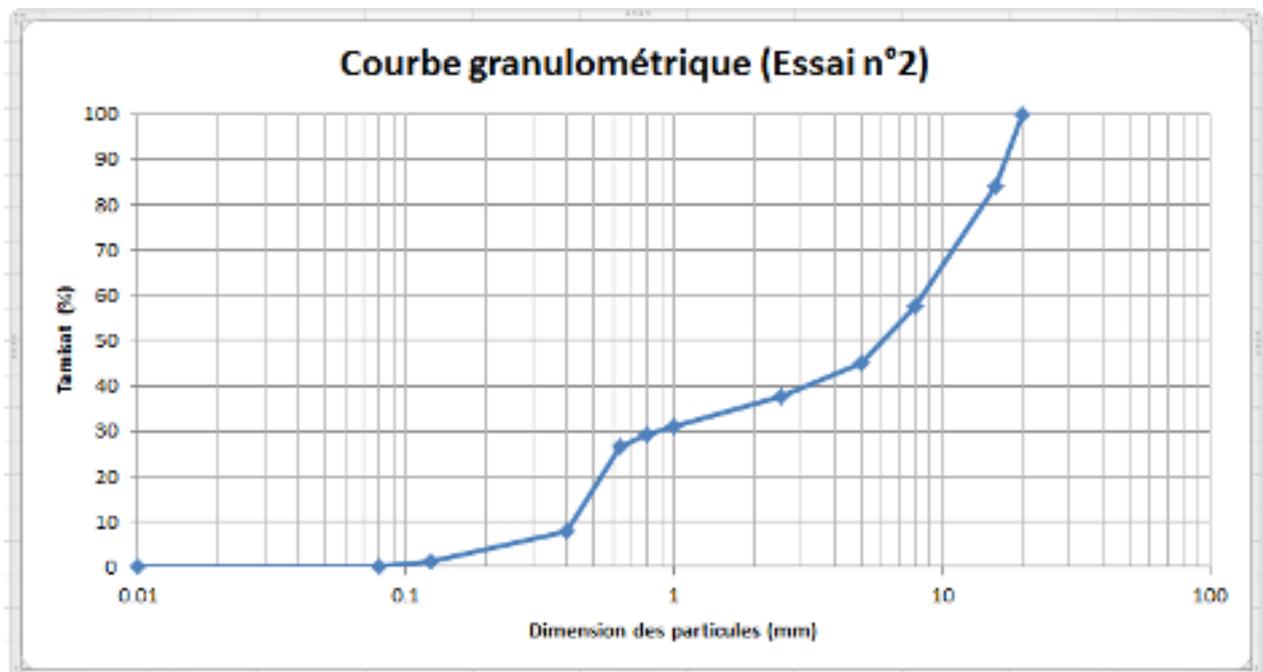
Division granulométrique	Qualificatif	C_u	C_c
Grave (2mm-60mm)	Bien gradué	$C_u > 4$ et $1 < C_c < 3$	
	Mal gradué	$C_u < 4$ ou $C_c < 1$ ou $C_c > 3$	
Sable (0.06mm-2mm)	Bien gradué	$C_u > 6$ et $1 < C_c < 3$	
	Mal gradué	$C_u < 6$ ou $C_c < 1$ ou $C_c > 3$	

Conclusion : Le matériau 1 est un gravier moyen mal gradué.

➤ **Analyse de la courbe granulométrique du matériau n°2**

Essai 2 (Masse initial = 3835 g)

Tamise (mm)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisat (%)
20	0	0	100
16	605	15.8	84.2
8	1626	42.5	57.5
5	2108	55.0	45.0
2.5	2394	62.5	37.5
1	2643	69.0	31.0
0.8	2715	70.9	29.1
0.63	2812	73.4	26.6
0.4	3524	92.0	8.0
0.125	3789	98.9	1.1
0.08	3823	99.8	0.2
0.01	3830	100.0	0.0



Déduire de la courbe granulométrique précédemment tracée :

- Le diamètre équivalent des plus gros éléments $d_{max} = 20mm$
- Le diamètre efficace $d_{10} = 0.42mm$
- Le diamètre équivalent moyen du sol étudié $d_{50} = 6mm$
- Le pourcentage en masse des différentes fractions granulaires du sol étudié :

Société Internationale de Mécanique des sols (1977)		
Dimensions	Nom	Pourcentage en masse
> 200 mm	Blocs	0%
60 à 200 mm	Galets, cailloux	0%
20 à 60 mm	Gravier grossier	0%
6 à 20 mm	Gravier moyen	42%
2 à 6 mm	Gravier fin	20%
0.6 à 2 mm	Sable grossier	8.50%
0.2 à 0.6 mm	Sable moyen	21%
0.06 à 0.2 mm	Sable fin	8%
20 à 60 µm	Limon grossier	0.50%
6 à 20 µm	Limon moyen	
2 à 6 µm	Limon fin	
< 2 µm	Argile	

On peut donc, selon la répartition granulométrique, considérée que ce matériau est un gravier moyen.

- Le coefficient d'uniformité C_u (coefficient de Hazen

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = \frac{8.5 \cdot 10^{-3}}{0.42 \cdot 10^{-3}} = 20.2$$

- Le coefficient de courbure C_c :

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10} \times d_{60}} = \frac{0.8 \cdot 10^{-3}^2}{0.42 \cdot 10^{-3} \times 8.5 \cdot 10^{-3}} = 0.18$$

On en déduit donc selon le tableau :

Division granulométrique	Qualificatif	C_u	C_c
Grave (2mm-60mm)	Bien gradué	$C_u > 4$ et $1 < C_c < 3$	
	Mal gradué	$C_u < 4$ ou $C_c < 1$ ou $C_c > 3$	
Sable (0.06mm-2mm)	Bien gradué	$C_u > 6$ et $1 < C_c < 3$	
	Mal gradué	$C_u < 6$ ou $C_c < 1$ ou $C_c > 3$	

Conclusion : Le matériau 2 est un gravier moyen mal gradué.

II) ANALYSE DE LA FRACTION ARGILEUSE D'UN SOL

Le second critère à prendre en compte dans l'identification d'un sol est son argilosité.

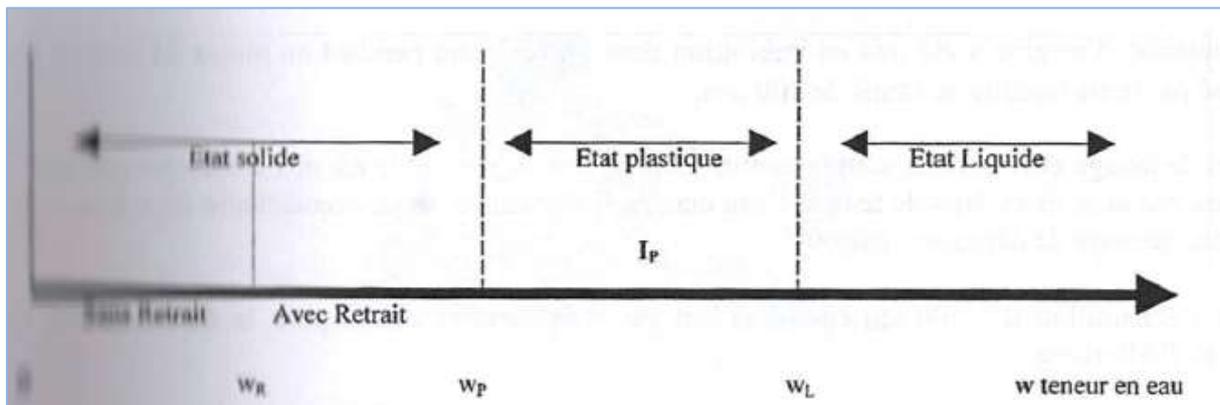
Pour identifier la fraction argileuse, des essais simples ont été développés :

- Les limites d'Atterberg qui caractérisent la consistance des sols fins : solide-plastique-liquide
- L'essai au bleu (VBS), utilisable pour les sols grenus et les sols fins, qui mesurent l'argilosité globale du sol.

A) LIMITES D'ATTERBERG :

➤ Définition de l'essai :

Les limites d'Atterberg sont des grandeurs physiques conventionnelles destinées à caractériser la consistance des sols fins avec la teneur en eau.



L'indice de plasticité est défini par $I_p = w_L - w_p$

➤ Préparation du mortier (passant à 400 μm) :

Le matériau d'origine a été mis en imbibition dans un récipient pendant au moins 24h, puis tamisé par voie humide au tamis de 400 μm.

L'eau de lavage et le tamisat sont recueillis dans un bac. L'ensemble est mis à décanter pendant 24h ; Au bout de ce laps de temps, l'eau claire est siphonnée, l'eau excédentaire étant évaporée à une température ne dépassant pas 60°C.

C'est l'échantillon 0/400μm (mortier) qui est utilisé pour la détermination des limites d'Atterberg.

➤ Détermination de la limite de liquidité (WL) :

On utilise pour cela la coupelle de Casagrande qui consiste à déterminer le nombre de chocs (compris entre 15 et 35) nécessaire afin que la rainure du matériau dans la coupelle se referme.

➤ **Détermination de la limite de plasticité (Wp) :**

On sèche l'échantillon en formant une boule de matériau puis en la roulant sur le marbre lisse. Le rouleau ainsi formé doit être aminci progressivement jusqu'à ce qu'il atteigne 3 mm de diamètre pour 10 à 15 cm de longueur. On peut catalyser le séchage au moyen d'un ventilateur d'air chaud.

La limite de plasticité est atteinte lorsqu'en soulevant ce rouleau d'une hauteur de 1 à 2 cm en son milieu fissure.

Quelques grammes de matériau dans cet état précis sont alors prélevés pour en déterminer la teneur en eau. Cette teneur en eau est la limite de plasticité.

➤ **Présentation et analyse des résultats :**

Nombre de coups (N)	Limite de liquidité				Limite de plasticité			
	23	29	28	15				
N° du récipient	1	2	3	4	1	2	3	4
Masse totale humide (en g)	36.31	34.62	44.87	32.34	33.8	33.2	33.67	35.64
Masse totale sèche (en g)	34.24	33.15	42.11	30.51	33.45	32.78	33.07	35.21
Masse du récipient-Tare (en g)	27.94	29.13	35.1	26.21	31.58	30.87	30.58	32.71
Masse d'eau (en g)	2.34	1.47	2.76	1.83	1.87	1.91	2.49	2.5
Masse du sol sec (en g)	6.3	4.02	7.01	4.3	0.35	0.42	0.6	0.43
Teneur en eau (en%)	37.1	36.6	39.37	42.56	18.7	22	24	17.2
$Wl=w(N/25)^{0.121}$	36.7	37.3	39.9	40		Trop élevé		
WL moyenne	WL=39				Wp=18			

$$I_p = WL - Wp = 39 - 18 = 21$$

$$I_c = \frac{WL - W}{WL - Wp} = \frac{39 - 37}{21} = 0.57$$

Selon les tableaux ci-dessous :

Indice de plasticité Ip	Qualificatif
$I_p < 12$	Non plastique
$12 < I_p < 25$	Peu plastique
$25 < I_p < 40$	Plastique
$I_p > 40$	Très plastique

Ic	<0	0	0.25	0.5	0.75	1	>1
Consistance	Liquide	Très molle	Molle	Ferme	Très ferme	Très ferme	Dure

Conclusion : Le matériau est une argile peu plastique ferme. Selon la classification des sols fins NF P 11-300 ou GTR 1992, c'est une classe A2.

Le procédé d'Atterberg a plusieurs limites :

- La difficulté à obtenir un matériau dont le nombre de coups de la coupelle soit situé entre 15 et 35 (tâtonnement)
- Temps de séchage important afin de calculer les teneurs en eau (catalyser de notre part par un séchage au micro-onde peu recommandé)
- Nombre d'essais à la coupelle parfois importante afin d'avoir une moyenne de résultats acceptable

B) ESSAI AU BLEU De METHYLENE :

➤ Principe de l'essai :

Cet essai est basé sur le principe que le bleu de méthylène est adsorbé préférentiellement par les argiles en solution aqueuse.

La valeur de VBS représente la quantité de bleu pouvant s'adsorber sur les surfaces externes et internes des particules de sol. On peut considérer que la VBS exprime globalement la quantité et l'activité de l'argile contenue dans le sol.

La VBS se détermine sur la fraction 0-5 mm du matériau étudié. Le dosage s'effectue en ajoutant successivement différentes quantités de bleu. A chaque ajout, on contrôle l'adsorption du sol en prélevant une goutte de suspension que l'on dépose sur un papier filtre normalisé pour faire une tâche. L'adsorption maximale est atteinte quand une auréole bleu clair se produit à la périphérie de la tâche.

➤ Manipulation :

Les deux échantillons de de sol fournis sont des sables dont la teneur en fines a été calculée au préalable.

Les échantillons sont dans un bac d'eau déminéralisée et sont soumis à une agitation de 5mn à 600tr/mn, puis à 400 tr/mn pendant toute les durées des essais.

On injecte ensuite des doses successives de 5 cm³ de solution de bleu jusqu'à ce que les tests soient positifs.

➤ Présentation et analyse des résultats :

On calcule :

$$VB = \frac{V_{\text{solution bleu}} \times 0.01 \text{ g/cm}^3}{M_{\text{fines}}} \times 100 = \frac{V_{\text{solution bleu}}}{M_{\text{fines}}}$$

Dans laquelle $V_{\text{solution bleu}}$ est le volume de solution de bleu injecté et M_{fines} la masse de fines en grammes contenu dans l'échantillon.

	Essai n°1	Essai n°2
Caractéristiques du sol		
Passant à 50mm (en%)	100	100
Passant à 5mm (en%)	44.54	45
Proportion de 0/5 dans le sol	0.44	0.45
Masse sèche pour essai (en g)	54.03	50.67
Volume final de solution injectée		
V (en cm3)	20	20
VB(0/5)	0.37	0.39
VBS	0.16	0.18

III) CLASSIFICATIONS DES SOLS TESTES :

A) Les deux sables :

➤ **Sable n°1 :**

Définitions		Symboles LPC	Conditions	Appellations
Plus de 50% des éléments > 80µm ont un diamètre > 2mm	Moins de 5% des éléments < 80µm	Gb	$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 4$ Et $1 < C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} < 3$	Grave propre bien graduée
	Plus de 12% des éléments < 80µm	Gm	Une des conditions de Gb non satisfaite	Grave propre mal graduée
		GL	Limites d'Atterberg au dessous de A	Grave limoneuse
	GA	Limites d'Atterberg au dessus de A	Grave Argileuse	
Plus de 50% des éléments > 80µm ont un diamètre > 2mm	Moins de 5% des éléments < 80µm	Sb	$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 6$ Et $1 < C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} < 3$	Sable propre bien gradué
	Plus de 12% des éléments < 80µm	Sm	Une des conditions de Sb non satisfaite	Sable propre mal gradué
		SL	Limites d'Atterberg au dessous de A	Sable limoneux
	SA	Limites d'Atterberg au dessus de A	Sable argileux	

pourcentage d'éléments < 80µm est compris entre 5% et 12%, on utilise un double symbole

CLASSE B : SOLS SABLEUX ET GRAVELEUX AVEC FINES			
Paramètres de nature 1 ^{er} niveau de classification	Classe	Paramètres de nature 2 ^{ème} niveau de classification	Sous classe fonction de la nature
D _{max} ≤ 50mm Et T _{am} à 80µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	T _{am} à 80µm ≤ 12% T _{am} à 2mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2 ou ES > 35	B1 : Sables silteux
		T _{am} à 80µm ≤ 12% T _{am} à 2mm > 70% VBS > 0,2 ou ES ≤ 35	B2 : Sables argileux (peu argileux),
		T _{am} à 80µm ≤ 12% T _{am} à 2mm > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2 ou ES > 25	B3 : Graves silteuses
		T _{am} à 80µm ≤ 12% T _{am} à 2mm > 70% VBS > 0,2 ou ES > 25	B4 : Graves argileuse (peu argileuses)
		12% < T _{am} à 80µm ≤ 35% VBS ≤ 1,5 ou I _p ≤ 12	B5 : Sables et graves très silteux
		12% < T _{am} à 80µm ≤ 35% VBS > 1,5 ou I _p > 12	B6 : Sables et graves argileux à très argileux

**CONCLUSION : Le sable n°1 est une grave (gravier moyen mal gradué)
limoneuse très silteux (B5).**

➤ Sable n°2 :

Définitions		Symboles LPC	Conditions	Appellations	
Plus de 50% des éléments > 80µm ont un diamètre > 2mm	Moins de 5% des éléments < 80µm	Gb	$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 4$ Et $1 < C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} < 3$	Grave propre bien graduée	
	Plus de 12% des éléments < 80µm	Gm	Une des conditions de Gb non satisfaite	Grave propre mal graduée	
		GL	Limites d'Atterberg au dessous de A	Grave limoneuse	
	Plus de 50% des éléments > 80µm ont un diamètre > 2mm	Moins de 5% des éléments < 80µm	GA	Limites d'Atterberg au dessus de A	Grave Argileuse
			Sb	$C_U = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 6$ Et $1 < C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} < 3$	Sable propre bien gradué
		Plus de 12% des éléments < 80µm	Sm	Une des conditions de Sb non satisfaite	Sable propre mal gradué
Plus de 50% des éléments > 80µm ont un diamètre > 2mm	Plus de 12% des éléments < 80µm	SL	Limites d'Atterberg au dessous de A	Sable limoneux	
		SA	Limites d'Atterberg au dessus de A	Sable argileux	

Si le pourcentage d'éléments < 80µm est compris entre 5% et 12%, on utilise un double symbole

CLASSE B : SOLS SABLEUX ET GRAVELEUX AVEC FINES			
Paramètres de nature 1 ^{er} niveau de classification	Classe	Paramètres de nature 2 ^{ème} niveau de classification	Sous classe fonction de la nature
D ₆₀ ≤ 50mm Et T ₄₀ ≤ 80µm ≤ 35%	B Sols sableux et graveleux avec fines	T ₄₀ ≤ 80µm ≤ 12% T ₂₀₀ > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2 ou ES > 35	B1 : Sables silteux
		T ₄₀ ≤ 80µm ≤ 12% T ₂₀₀ > 70% VBS > 0,2 ou ES ≤ 35	B2 : Sables argileux (peu argileux),
		T ₄₀ ≤ 80µm ≤ 12% T ₂₀₀ > 70% 0,1 ≤ VBS ≤ 0,2 ou ES = 25	B3 : Graves silteuses
		T ₄₀ ≤ 80µm ≤ 12% T ₂₀₀ > 70% VBS > 0,2 ou ES = 25	B4 : Graves argileuse (peu argileuses)
		12% < T ₄₀ ≤ 80µm ≤ 35% VBS ≤ 1,5 ou I _p ≤ 12	B5 : Sables et graves très silteux
		12% < T ₄₀ ≤ 80µm ≤ 35% VBS > 1,5 ou I _p > 12	B6 : Sables et graves argileux à très argileux

**CONCLUSION : Le sable n°2 est une grave (gravier moyen mal gradué)
limoneuse très silteux (B5).**

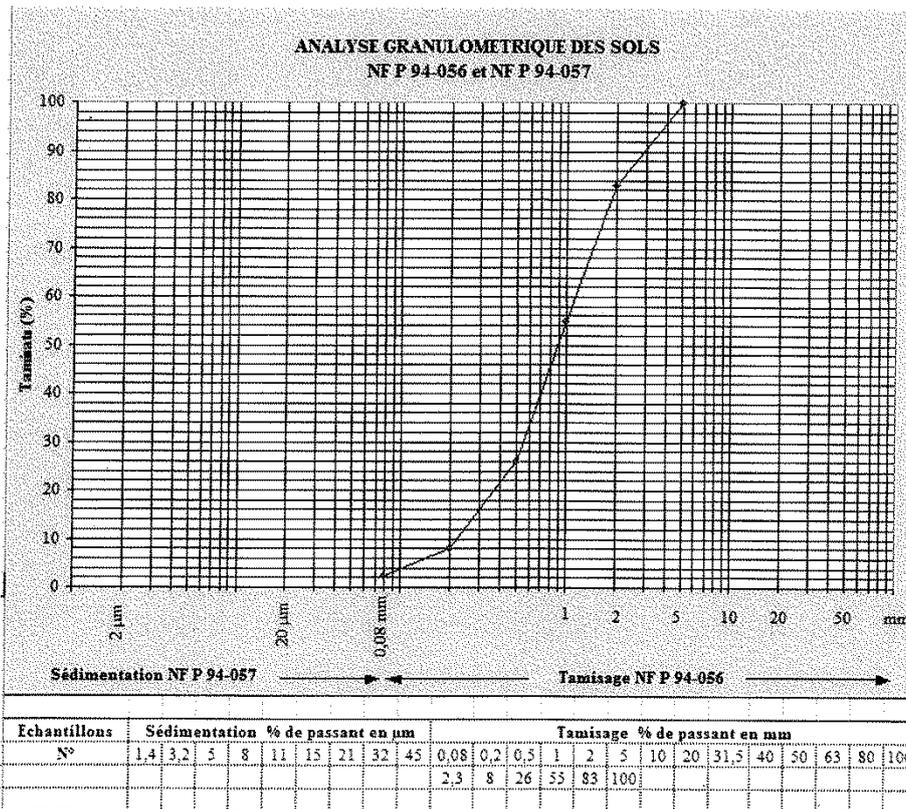
B) L'argile :

CLASSE A : SOLS FINS		
Classe	Paramètres de nature 2 ^{ème} niveau de classification	Sous classe fonction de la nature
A Sols fins	$VBS \leq 2,5$ ou $I_p \leq 12$	A1 : Limos peu plastiques Loess, Sils alluvionnaires, Sables fins peu pollués, Arènes peu plastiques,
	$2,5 \leq VBS \leq 6$ Ou $12 \leq I_p \leq 25$	A2: Sables fins argileux, Limos, Argiles et marnes peu plastiques, Arènes
	$6 \leq VBS \leq 8$ Ou $25 \leq I_p \leq 40$	A3: Argiles et argiles marneuses Limos très plastiques
	$VBS > 8$ ou $I_p > 40$	A4: Argiles et argiles marneuses très plastiques

CONCLUSION : L'argile est peu plastique ferme de classe A2.

IV) ANNEXES : exercices :

ECHANTILLON N°1



Masse sol humique : 1549 grammes

Masse sol sec : 1432 grammes

$$W = 8.2\%$$

Calculer la teneur en eau (en %)

VB (fraction 0/5) = 0,25

Calculer la Valeur au bleu (VBS) = $VBS = VB \times C = 0.25 \times 1 = 0.25$

Classification LCI Sm

Commentaires :

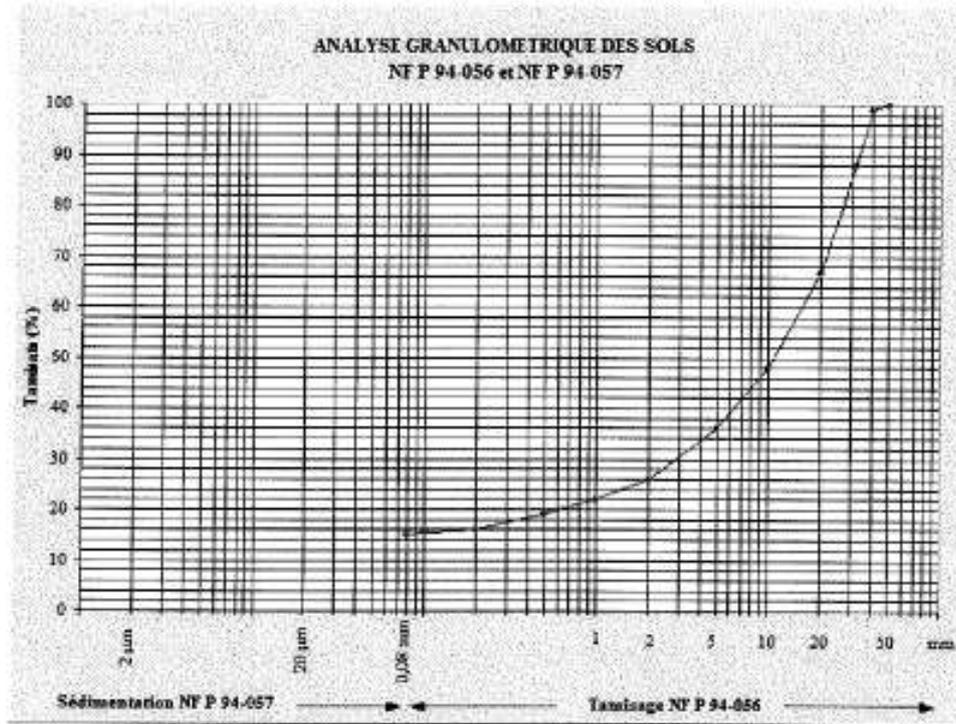
Sable propre mal gradué

Classification NF P 11-300 (GTR) : B2

Commentaires :

Sable argileux

ECHANTILLON N°2



Echantillons	Sédimentation % de passant en µm										Tamisage % de passant en mm													
	1,5	3,5	6	9	12	17	25	37	50	0,08	0,2	0,5	1	2	3	10	20	37,5	40	50	63	80	100	
Ech 2										13,2	16	19	22	26	36	48	67	88	90	100				

VB (fraction 0/5) = 0,98

Calculer la Valeur au bleu (VBS) = $VBS = VB \times C = 0,98 \times 0,36 = 0,35$

Classification LCPC : Gm

Commentaires :

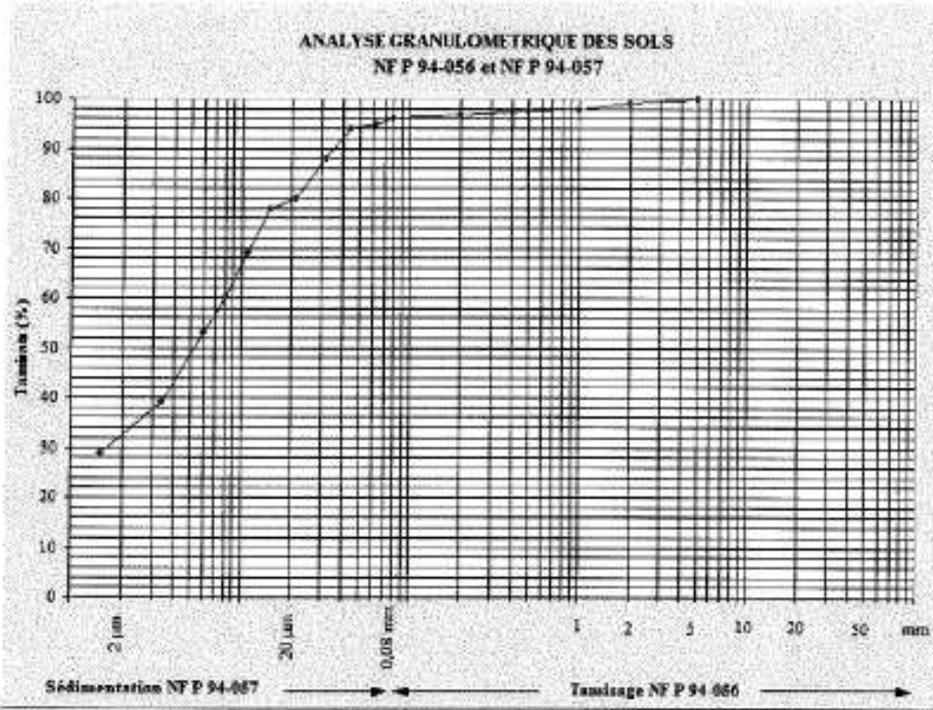
Grave propre mal graduée (absence de Cv et Cc)

Classification NF P 11-300 (GTR) : B5 très silteux

Commentaires :

Sable et grave très silteux

ECHANTILLON N°3



Echantillons N°	Sédimentation % de passant en µm										Tamisage % de passant en mm												
	1,5	3,4	6	8	11	15	21	32	44	62	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	32	40	50	63	80
	29	39	53	60	69	78	80	83	94	95	96	97	98	98	98	99	100						

WL = 39
WP = 11
VBS = 7,56

Calculer l'Indice de Plasticité (IP) = $IP = WL - WP = 28$

Calculer l'activité argileuse (ACB) = $ACB = \frac{VBS}{C2} = \frac{7.56}{0.32} = 23.6$

Classification LCP Ap

Commentaires :

Argile peu plastique

Classification NF P 11-300 (GTR) A3

Commentaires :

Argiles marneuses