

الحمد لله وحده نحمده ونشكره ونستعين به ونستغفره ونعوذ بالله

من شرور أنفسنا

ومن سيئات أعمالنا

من يهده الله فلا مضل له ومن يضلل فلا هادي له

أشهد ان لا إله الا الله وحده لا شريك له

وأشهد أن محمدا عبده ورسوله

صلى الله عليه وسلم وعلى آله وصحبه أجمعين

ومن تبعهم بالإحسان الى يوم الدين

ربنا لا علم لنا إلا ما علمتنا, إنك أنت العليم الخبير

ربنا لا فهم لنا إلا ما أفهمتنا, إنك أنت الجواد الكريم

ربي اشرح لي صدري ويسر لي أمري واحلل لي

... عقدة لساني يفقهوا قولي

أما بعد.

فإن أصدق الحديث كتاب الله تعالى وخير الهدي, هدي سيدنا

محمد صلى الله عليه وسلم تسليما

وشر الأمور محدثاتها وكل محدثة بدعة وكل بدعة ضلالة وكل

ضلالة في النار

فאלلهم أجرنا وقنا عذابها برحمتك يا ارحم الراحمين

Série 2 : GRANULOMETRIE, PLASTICITE ET CLASSIFICATION DES SOLS

Exercice n°1 :

L'analyse granulométrique par tamisage d'un sol, a donné les résultats suivants :

Ouverture tamis (mm)	20	12.5	10	6.30	5	2.5	2	14.6	0.5	0.315	0.16	0.08	Fond
Refus (g)	00	01.7	02.3	08.4	05.7	12.9	03.5	01.1	30.5	45.3	25.4	07.4	03.0

La masse totale de l'échantillon testé est de ~~15~~¹⁵¹ 20 g. On demande de :

- Tracer la courbe granulométrique de ce sol
- En déduire les proportions de sable, limon et d'argile de ce sol
- Déterminer les diamètres efficaces et les coefficients qu'ils construisent. En déduire la qualité granulométrique du sol

Exercice n°2 :

Une entreprise est chargée de réaliser un remblai routier avec un matériau à granulométrie étalée et bien calibrée. Pour ce faire, on évalue un matériau en réalisant une analyse granulométrique par tamisage sur un poids sec de 2 kg de ce sol. On obtient les résultats donnés dans le tableau suivant :

Ouverture tamis(mm)	100	50	20	10	05	02	01	0.4	0.2	0.1	0.08	Fond
Masse refus (g)	00	52	132	165	188	156	128	137	176	161	138	569

Sur la fraction de ce sol passant au tamis ~~0.008~~^{0.075} mm, 50 g sont prélevées et sont soumises à une analyse sédimentométrique, les résultats de l'analyse sont :

Diamètre équivalent (µm)	63	29	17	8	2.9	0.5	0.3
% Passant	88	74	61	54	39	12	4

Tracer la courbe granulométrique de ce sol. Etablir si ce matériau répond aux exigences du remblai à construire.

Exercice n°3 :

Un échantillon de sol de 15 kg est prélevé sur un site routier. L'analyse granulométrique de ce sol est faite en trois étapes. L'échantillon est d'abord passé sur une première batterie de tamis pour séparer les grosses particules. Les résultats sont donnés dans le tableau ci-dessous :

Ouverture tamis (mm)	80	50	25	20
Masse refus (g)	0	300	900	1250

Sur la masse passant au tamis 20mm, on prend une masse représentative de 2275g sur laquelle on réalise un deuxième tamisage dont les résultats apparaissent dans le tableau suivant :

Ouverture tamis (mm)	5	2
Masse refus (g)	550	450

Sur la masse des particules passant le tamis 2mm, on réalise un troisième tamisage sur une masse de 200g. On obtient les résultats du tableau suivant :

Ouverture tamis (mm)	0.4	0.25	0.08	Fond
Masse refus (g)	90	67	39	4

Tracer la courbe granulométrique de ce sol et faire son interprétation.

Exercice n°4 :

On donne dans le tableau ci-dessous les résultats d'analyse granulométriques réalisées sur 3 sols :

Ouverture des tamis ou diamètres équivalents (mm)	Masse de sol retenu sur chaque tamis ou équivalent (g)		
	A	B	C
6	0	0	0
2	0	0	70
0.60	0	0	18
0.20	0	62	12
0.06	38	4	0
0.02	12	1	0
0.006	4	1	0
0.002	6	18	0
Fond	40	15	0

Tracer sur le même graphique les courbes granulométriques des 3 sols. Conclure sur la qualité de ces sols et indiquer les autres essais qui seraient nécessaire pour obtenir une classification complète.

Exercice n°5 :

Rappeler la signification physique des termes : limites de consistance ; limite de liquidité, limite de plasticité, limite de retrait. Expliquer l'importance de ces paramètres dans l'identification de ces sols.

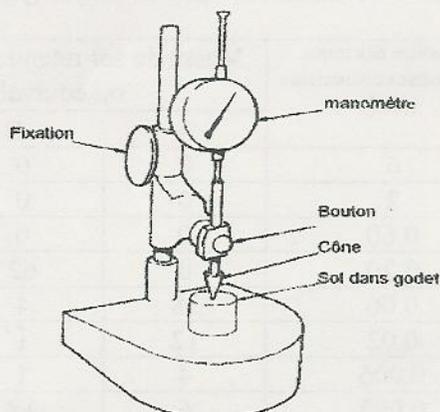
On donne ci-après les résultats bruts d'un essai de détermination de la limite de liquidité, réalisé à l'appareil de Casagrande, sur un échantillon de sol fin inorganique prélevé en dessous de la nappe phréatique. Deux essais de détermination de la limite de plasticité de ce sol ont donné 26.6 et 29 %. La teneur en eau naturelle du sol a été à 75%.

- 1- Déterminer la limite de liquidité de ce sol
- 2- Déduire l'indice de plasticité et classer ce sol selon la classification des sols fins de Casagrande
- 3- Déterminer l'indice de consistance (ou de liquidité) et conclure quant à l'état de consistance naturelle de ce sol

Exercice n°6 :

On donne les résultats bruts d'un essai de limite de liquidité d'un sol réalisé avec la méthode de pénétration à cône (schématisé ci-dessous). Rappeler le principe et la méthode et déduire des résultats donnés la limite de liquidité du sol testé :

Profondeur pénétration du cône (mm)	15.5	17.3	19.6	22.4	23.9
Teneur en eau (%)	47	51	56	63	66



Pénétromètre à Cône

Exercice n°7 :

On donne dans le tableau ci-dessous les résultats géotechniques réalisées sur 2 sols A et B. On demande de trouver, sans faire de calculs, lequel des 2 sols a :

- a) La plus grande quantité d'argile
- b) La plus grande densité humide
- c) La plus grande densité sèche
- d) Le plus grand indice des vides

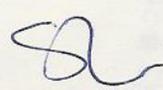
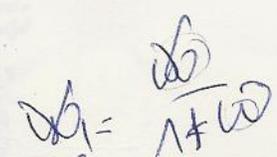
Expliquer ces réponses

Propriétés	Sol A	Sol B
Limite de liquidité	0.62	0.34
Limite de plasticité	0.26	0.19
Teneur en eau	38 %	25 %
Densité des grains solides	2.72	2.67
Degré de saturation	1.00	1.00

Exercice n°8 :

Afin de compléter l'identification des sols A, B et C étudiés dans l'exercice 4, on donne les résultats de la plasticité des sols : B (limite de liquidité = 38%, limite de plasticité = 26%) et C (limite de liquidité = 85%, limite de plasticité = 28%).

Effectuer la classification complète des sols A, B et C

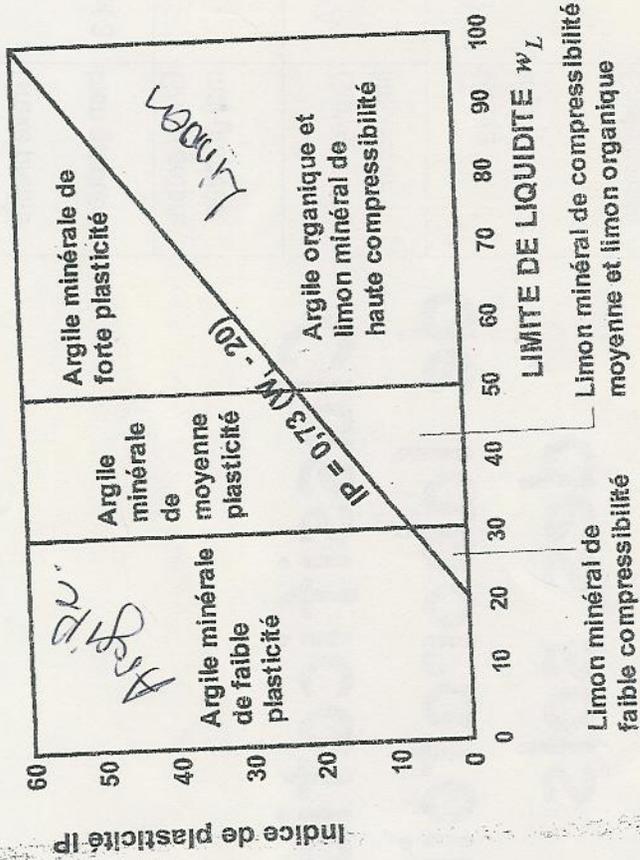
SABLES		GRAVES					
Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm Ont un diamètre de < 2 mm		Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm Ont un diamètre de > 2 mm					
Plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm	Plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	Moins de 5 % d'éléments < 0,08 mm				
SA	SL	Sm	Sb	GA	GL	Gm	Gb
Limite d'Atterberg au-dessus de A (voir p. 8)	Limite d'Atterberg au-dessous de A (voir p. 8)	Une des conditions de Gb non satisfait	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3	Limite d'Atterberg au-dessus de A (voir p. 8)	Limite d'Atterberg au-dessous de A (voir p. 8)	Une des conditions de Gb non satisfait	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$ compris entre 1 et 3
Sable argileuse	Sable limoneuse	Sable propre mal graduée	Sable propre bien graduée	Grave argileuse	Grave limoneuse	Grave propre mal graduée	Grave propre bien graduée

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

Classification de laboratoire des sols grenus

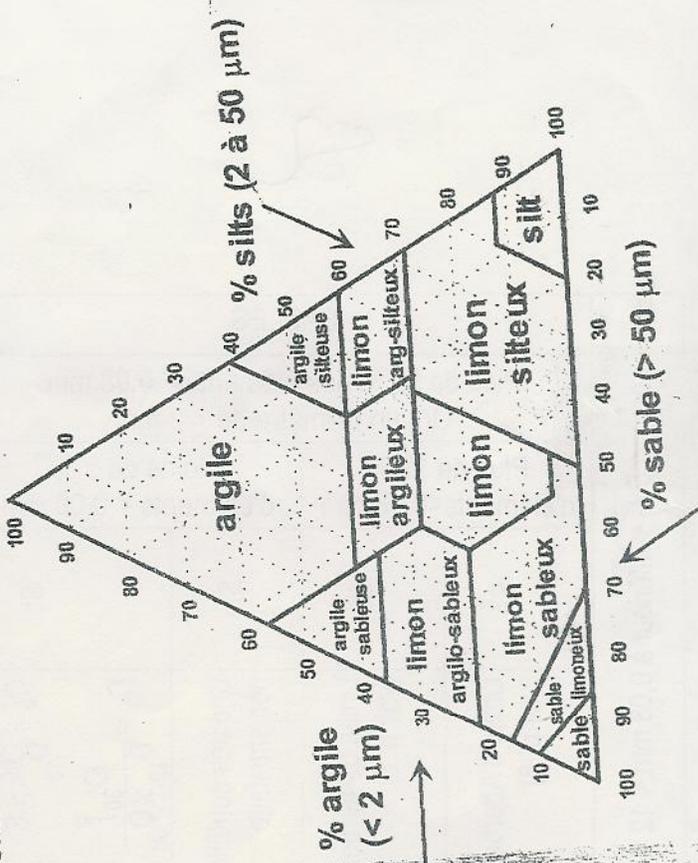
$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

Diagramme de Casagrande



Classification triangulaire des sols fins

(sols contenant moins de 30% d'éléments de diamètre supérieur à 2 mm)



Serie 2 → MDS →

→ Granulométrie, plasticité, Classification.
des sols →

→ Ex 1: →

ϕ (mm)	20	12.5	10	6.3	5	2.5	1.6	0.5	0.315	0.16	0.08	Fond	2
Refus (g)	0	1.7	2.3	8.4	5.7	12.9	3.1 20.5	4.5 45.5	95.4	7.4	3		3.5
Résumé (g)	0	1.7	4	12.4	18.1	31	35.6	66.1	111.4	126.8	144.2	147.2	34.5
Tamisé (%)	100	98.84	97.28	91.57	87.7	78.94	75.81	55.05	24.32	7.06	2.03	0	76.56

$$\text{Tamisé } (\%) = \frac{W_T - W_{\text{refus cumulé}}}{W_{\text{Total}}} (100)$$

→ 2) Les proportions de sable, limon, argile : →

- Gravier (20-2) : 100 % - 76,56 % = 23,44 %
- Gros sable (2-0,2) = 76,56 % - 13 % = 63,56 %
- Sable fin et restes = 13 % (0,2, 0,02)

→ 3) Les diamètres : →

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{0,6}{0,19} = 3,15$$

$$C_u = \frac{D_{30}^2}{D_{10} D_{60}} = \frac{0,36^2}{0,19 \times 0,6} = 1,13$$

→ Ex 2: →

→ Tamisage: →

ϕ (mm)	100	50	20	10	5	2	1	0.4	0.2	0.1	0.08	Fond
R(g)	0	52	132	165	188	156	128	137	176	161	138	569
T(%)	100	97.4	90.80	82.56	73.17	65.38	58.89	53.14	43.35	35.31	28.42	0
RC(g)	0	52	184	349	537	693	821	958	1134	1295	1433	2002

→ Sédimentométrie: →

ϕ (μ m)	63	29	17	8	2.9	0.5	0.3
Passant (%)	88	74	61	54	38	19	4
T(g)	500.72	421.06	347.09	307.26	221.91	68.28	22.76
T(%)	25.01	21.03	17.33	15.34	11.08	3.4	1.13

On a: à 0.08 fond
569 refus.

et parmi ses 569 g, on a
88% passant (sédimen-
tométrie).

donc $569 \text{ g} \rightarrow 100\%$ } $\alpha_i = \text{le poids des Tamisets (g)}$
 $\alpha_i \rightarrow 88\%$ }

et pour déterminer le (%) des tamisets (sédimentométrie).

On a: $2002 \text{ g} \rightarrow 100\%$ } $\beta_i = \%$ (Tamiset)
 $\alpha_i \text{ g} \rightarrow \beta_i$ }

→ Étalié et bien calibré: →

Étalié \approx lèches et calibré \approx minipable.

D'après le graphe, le matériau se compose de 6 classes donc sa granulométrie est bien étalié

Vue la pente de la courbe (45%), granulométrie bien équilibrée (presque la même quantité pour les 6 classes)

On déduit que le matériau répond favorablement au remblais routier demandé.

→ Questions supplémentaires: →

→ L.C.P.C: →

① % d'éléments $\phi > 0,08 = 71,58\% \Rightarrow$ grenu
 $\phi < 0,08 = 28,42\%$

② % d'éléments: $\phi > 0,08 \text{ mm}$ } 34,62%
 $\phi > 2 \text{ mm}$ } } \Rightarrow sable
 $\phi > 0,08 \text{ mm}$ } 36,96%
 $\phi < 2 \text{ mm}$ }

③ % d'éléments: $\phi < 0,08 \text{ mm} \Rightarrow 28,42\% > 12$

\Rightarrow SL/SA. (limite Aterberg).

Exemple

$\begin{cases} w_L = 60\% \\ IP = 40\% \end{cases}$

\Rightarrow Argile (Diagramme de Casagrande)

alors. Sable argileux. SA

→ Exercice supplémentaire: →

ϕ	80	20	10	3	0,6	0,2	0,1	0,06	0,01	2 μ	w_L	IP
T(%)	100	92	82	64	33	17	10	7	3	0,1	60	10

→ LC.P.C →

① % d'éléments:

$$\phi > 0,08 \text{ mm} = 91,5\% \rightarrow 50\%$$

$$\phi < 0,08 \text{ mm} = 8,5\%$$

⇒ grau.

② % d'éléments:

$$\phi > 0,08 \text{ mm} = \left. \begin{array}{l} 43\% \\ 43\% \end{array} \right\}$$

$$\phi > 2 \text{ mm} =$$

$$\phi > 0,08 \text{ mm} = \left. \begin{array}{l} 48,5\% \\ 48,5\% \end{array} \right\}$$

$$\phi < 2 \text{ mm} =$$

48,5% + 43% ⇒ Sable

③ % d'éléments: $\phi < 0,08 = 8,5\%$

5% ≤ 8,5 ≤ 12% (double symbole, on utilise C_u, C_e, IP, w_L)

Pour la classification:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} = 25,7 > 6 \quad C_e = \frac{D_{30}^2}{D_{60} D_{10}} = 1 \in [4,3]$$

⇒ Sable bien gradué

et w_L et IP est au dessous.

$\Rightarrow S_b$ et S_L .

$\rightarrow S_i \rightarrow$

% d'éléments $\phi < 0,08mm. = 3\% < 5\%$

\Rightarrow Sable.

les m^êm e_u et e_c de l'exemple précédent.

$e_u = 25\%$ et $e_c = 4,0471$

vérifier.



S_b .

$\rightarrow S_i \rightarrow$

% d'éléments $\phi > 0,08mm = 13\% < 50\%$,

\Rightarrow sol fin. On utilise case grande.

$w_L = 60\%$ et $IP = 10\%$.

Au dessous de la ligne A \Rightarrow Limon de haute compressibilité.

RQ: $\phi < 0,08 \text{ mm} = \alpha < 5\% \Rightarrow$ Sable

On utilise lu et le pour le classifieur.

$\phi > 0,08 \text{ mm} = \alpha < 50\% \Rightarrow$ S_{OP} fin.

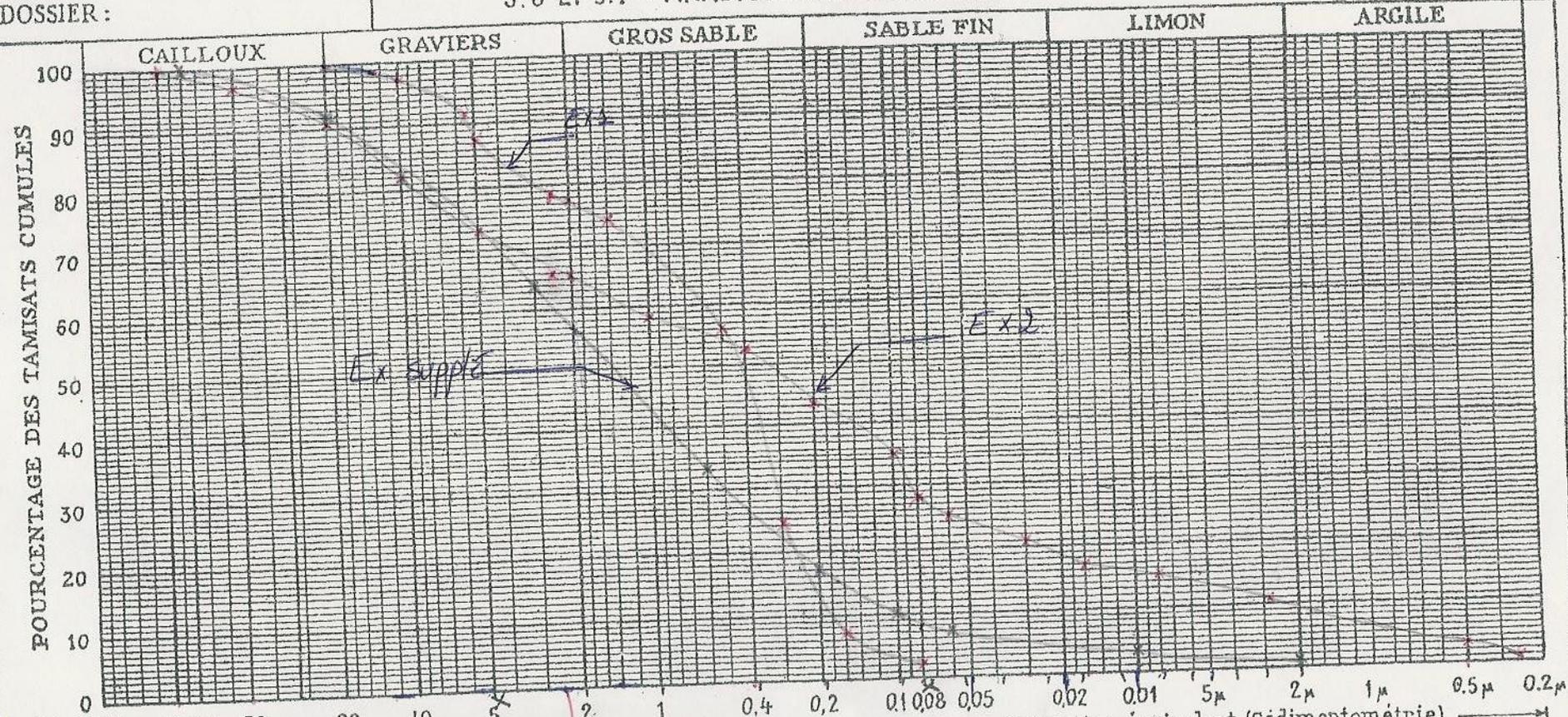
On utilise l'osegrauze pour le classifieur.

$\phi < 0,08 \text{ mm} = 5\% \leq \alpha \leq 12\%$

On utilise un double symbole. (lc, Cu, W₂, IP).

Désignation des échantillons } _____ N° _____
 } _____ N° _____
 } _____ N° _____

DOSSIER : S. 6 ET S. 7 - ANALYSE GRANULOMETRIQUE



maillage \square
 pesoir \circ
 Module

200	100	80	50	20	10	5	2	1	0.4	0.2	0.1	0.08	0.05	0.02	0.01	5 μ	2 μ	1 μ	0.5 μ	0.2 μ
	100	63	40	25	125	63	25	1.25	0.5											
	50	48	46	44	41	38	34	31	27	24	21	20	18							

Diamètre équivalent (sédimentométrie)

Série 2. →