

TD n° 1 : Identification et classification des sols

Exercice 1 :

Compléter le tableau suivant :

Sol n°	γ (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	e	ω (%)	Sr (%)	η
1	17,6			0,57	0		
2			26,5		34		0,48
3	17,3		27,1	0,73			
4	19	14,5	27,1				
5			26			90	0,46
6			26,5		40	100	
7	17,9		26,8		16		

Exercice 2 :

Un échantillon d'argile saturé a une masse de **1200g**, après passage à l'étuve sa masse est de **800g**. Le constituant solide des grains a une densité de **2,7 t/m³**.

1. Déterminer les paramètres d'état : Teneur en eau, indice des vides, porosité.
2. Calculer le poids volumique humide γ et le poids volumique déjaugé.

Exercice 3 :

Un échantillon d'argile est analysé en laboratoire. Les résultats obtenus sont : densité spécifique $G_s = 2,69$. Masse initiale de l'échantillon humide : **215g**. Masse de l'échantillon après passage à l'étuve : **126g**.

1- En supposant que l'échantillon humide initial est saturé à 100%, déterminer :

- le volume total
- L'indice des vides
- La porosité

2- Déterminer les mêmes paramètres dans le cas où l'échantillon initial est saturé à 75%.

Exercice 4 :

Dans un essai de compactage sur un sol sableux, la masse du sol humide compacté dans le moule est de **1.982Kg**. Le volume du moule est de **0.944 litres**. La teneur en eau est $\omega = 15\%$. Si la densité des grains secs est de **2.70**, et en prenant $g = 10\text{m/s}^2$, calculer :

- a. la densité humide
- b. la densité sèche
- c. l'indice des vides

- d. le degré de saturation du sol
- e. le pourcentage initial d'air dans le sol

Exercice 5 (Granularité) :

On effectue une analyse granulométrique pour un échantillon de sable de masse 2000g. On retient les résultats suivant :

Tamis (mm)	Refus partiels (g)	Refus cumulés (g)	Refus cumulés (%)	Tamisats cumulé (%)
5	41			
2.5	162			
1.25	494			
0.63	705			
0.315	396			
0.160	159			
0.080	25			
Fines	17			

- 1- Compléter le tableau et vérifier le pourcentage des pertes.
- 2- Tracer la courbe granulométrique
- 3- Calculer le module de finesse.
- 4- Calculer les coefficients de courbure et d'uniformité C_c et C_u , commenter.
- 5- D'après la classification LPC, de quel sol s'agit-il ?

Exercice 6 (Limites d'Atterberg) :

Une couche d'argile possède les caractéristiques suivantes :

$$w_L = 70\% , \quad I_P = 38\% , \quad \omega = 65\%$$

- Déterminer la limite de plasticité.
- Déterminer l'indice de consistance, commenter.
- Classifier cette argile.

Exercice 7 :

On veut déterminer les limites d'Atterberg d'une argile. La méthode à la coupelle de Casagrande fournit les résultats du tableau 1.

La méthode des petits rouleaux donne les résultats du tableau 2.

- Déterminer la limite de liquidité w_L
- Déterminer la limite de plasticité w_P
- Calculer l'indice de plasticité

- Classifier cette argile par la norme LPC.

N° tare	1	2	3	4
Masse totale humide (g)	63,19	82,72	55,27	69,12
Masse totale sèche (g)	51,98	66,01	48,42	57,71
Masse de la tare (g)	20,85	23,35	29,66	28,44
Nombre de coups N	30	20	32	24

Tableau -1-

N° tare	5	6	7	8
ω (%)	22,70	22,50	22,60	22,30

Tableau -2-

Exercice 8 :

Donner, d'après la classification LPC, la dénomination des 7 sols pour lesquels on dispose des informations suivantes :

Sol	Passant (%) à 80 μ m	Passant (%) à 2mm	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	w_L	w_P
1	0	28	0,6	2,5	10	-	-
2	2	54	0,2	0,8	2,5	-	-
3	15	70	-	-	-	48	20
4	30	90	-	-	-	45	32
5	2	60	0,2	0,35	0,7	-	-
6	80	100	-	-	-	42	15
7	95	100	-	-	-	83	32

Tableau -3-

Correction TD n° 1 : Identification et classification des sols

Exercice 1 :

• Sol n°1 :

$$\gamma = 17,6 \text{ kN/m}^3$$

$$e = 0,57$$

$$\omega = 0\%$$

- $\gamma = (1 + \omega)\gamma_d \Rightarrow \gamma_d = \gamma = 17,6 \text{ kN/m}^3$
- $\omega = e \cdot S_r \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \Rightarrow S_r = 0\%$
- $\eta = \frac{e}{1+e} = \frac{0,57}{1+0,57} = 0,36$
- $\gamma_d = (1 - \eta)\gamma_s \Rightarrow \gamma_s = \frac{\gamma_d}{1-\eta} = \frac{17,6}{1-0,36} = 27,5 \text{ kN/m}^3$

• Sol n°2 :

$$\gamma_s = 26,5 \text{ kN/m}^3$$

$$\omega = 34\%$$

$$\eta = 0,43$$

- $\gamma_d = (1 - \eta)\gamma_s = (1 - 0,43) * 26,5 = 13,78 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma = (1 + \omega)\gamma_d = (1 + 0,34) * 13,78 = 18,46 \text{ kN/m}^3$
- $e = \frac{\eta}{1-\eta} = 0,92$
- $S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{e} = \frac{26,5}{10} \cdot \frac{0,34}{0,92} = 0,98$

• Sol n°3 :

$$\gamma = 17,3 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_s = 27,1 \text{ kN/m}^3$$

$$e = 0,73$$

- $\eta = \frac{e}{1+e} = 0,42$
- $\gamma_d = (1 - \eta)\gamma_s = 15,71 \text{ kN/m}^3$
- $\omega = \frac{\gamma}{\gamma_d} - 1 = 0,1$
- $S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{e} = 0,37$

• Sol n°4 :

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_s = 27,1 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_d = 14,5 \text{ kN/m}^3$$

- $\omega = \frac{\gamma}{\gamma_d} - 1 = 0,31$
- $\eta = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = 0,46$
- $e = \frac{\eta}{1-\eta} = 0,85$
- $S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{e} = 0,98$

• **Sol n°5 :**

- $e = \frac{\eta}{1-\eta} = 0,85$
- $\omega = e \cdot S_r \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s} = 0,29$
- $\gamma_d = (1 - \eta)\gamma_s = 14,04 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma = (1 + \omega)\gamma_d = 18,11 \text{ kN/m}^3$

• **Sol n°6 :**

- $S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{e} \Rightarrow e = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{S_r} = 1,06$
- $\eta = \frac{e}{1+e} = 0,51$
- $\gamma_d = (1 - \eta)\gamma_s = 12,98 \text{ kN/m}^3$
- $\gamma = (1 + \omega)\gamma_d = 18,17 \text{ kN/m}^3$

• **Sol n°7 :**

- $\gamma = (1 + \omega)\gamma_d \Rightarrow \gamma_d = 15,43 \text{ kN/m}^3$
- $\eta = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s} = 0,42$
- $e = \frac{\eta}{1-\eta} = 0,72$
- $S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{e} = 0,59$

Sol n°	γ (kN/m ³)	γ_d (kN/m ³)	γ_s (kN/m ³)	e	ω (%)	Sr (%)	η
1	17,6	17,6	27,5	0,57	0	0	0,36
2	18,46	13,78	26,5	0,92	34	98	0,48
3	17,3	15,71	27,1	0,73	10	37	0,42
4	19	14,5	27,1	0,85	31	0,98	0,46
5	18,11	14,04	26	0,85	29	90	0,46
6	18,17	12,98	26,5	1,06	40	100	0,51
7	17,9	15,43	26,8	0,72	16	0,59	0,42

Exercice 2 :

Un échantillon d'argile saturé a une masse de **1200g**, après passage à l'étuve sa masse est de **800g**. Le constituant solide des grains a une densité de **2,7 t/m³**.

1. Déterminons les paramètres d'état :

- **Teneur en eau :**

$$\omega = \frac{M_H - M_S}{M_S} \cdot 100 = \frac{1200 - 800}{800} \cdot 100$$

$$\omega = 50\%$$

- **Indice des vides :**

L'échantillon d'argile est saturé, donc $S_r = 100\%$

Et on a : $\gamma_s = 27 \text{ kN/m}^3$, donc :

$$S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{e} \Rightarrow e = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{S_r} = \frac{27 \cdot 0,5}{10 \cdot 1}$$

$$e = 1,35$$

- **Porosité :**

$$\eta = \frac{e}{1 + e} = \frac{1,35}{1 + 1,35}$$

$$\eta = 0,57$$

2. Calculer le poids volumique humide γ et le poids volumique déjaugé.

- Poids volumique humide :

$$\gamma = \frac{1 + \omega}{1 + e} \gamma_s = \frac{1 + 0,5}{1 + 1,35} \cdot 27$$

$$\gamma = 17,23 \text{ kN/m}^3$$

- Poids volumique déjaugé :

$$\gamma' = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{1 + e} = \frac{27 - 10}{1 + 1,35}$$

$$\gamma' = 7,23 \text{ kN/m}^3$$

Exercice 3 :

Un échantillon d'argile est analysé en laboratoire. Les résultats obtenus sont : densité spécifique $G_s = 2,69$. Masse initiale de l'échantillon humide : **215g**. Masse de l'échantillon après passage à l'étuve : **126g**.

1- L'échantillon humide initial est **saturé à 100%**, déterminons :

- **le volume total :**

$$V_t = V_s + V_v$$

Déterminons le volume des grains solides :

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} = 2,69$$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = G_s \cdot \gamma_w \Rightarrow V_s = \frac{W_s}{G_s \gamma_w} = \frac{M_s \cdot g}{G_s \gamma_w}$$

$$V_s = \frac{126 * 10^{-3} * 10}{2,69 * 10 * 10^3} = 46,84 * 10^{-6} m^3$$

$$\mathbf{V_s = 46,84 cm^3 = 46,84 ml}$$

L'échantillon est complètement saturé donc $S_r = 100\% = \frac{V_w}{V_v} \Rightarrow V_v = V_w$

Déterminons le volume de l'eau :

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{(215 - 126) * 10^{-3} * 10}{10 * 10^3}$$

$$\mathbf{V_w = 89 cm^3}$$

Le volume total est donc :

$$V_t = V_s + V_v = 46,84 + 89$$

$$\mathbf{V_t = 135,84 cm^3}$$

- L'indice des vides :

$$\text{On a : } \omega = e \cdot S_r \cdot \frac{\gamma_w}{\gamma_s} \Rightarrow e = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{S_r}$$

Calculons la teneur en eau ω :

$$\omega = \frac{M_H - M_s}{M_s} \cdot 100 = \frac{215 - 126}{126} \cdot 100 = 70,6\%$$

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{S_r} = G_s \cdot \frac{\omega}{S_r} = 2,69 \cdot \frac{0,7}{1}$$

$$\mathbf{e = 1,9}$$

- La porosité :

$$\eta = \frac{e}{1 + e} = \frac{1,9}{1 + 1,9}$$

$$\mathbf{\eta = 0,65}$$

2- Lorsque l'échantillon initial est saturé à 75% :

- $V_s = 46,84 \text{ cm}^3$
- $S_r = \frac{V_w}{V_v} = 75\%$

$$\Rightarrow V_v = \frac{V_w}{0,75} = \frac{89}{0,75} = 118,66 \text{ cm}^3$$

Le volume total est donc : $V_t = V_s + V_v = 46,84 + 118,66 = \mathbf{165,5 \text{ cm}^3}$

- **L'indice des vides :**

$$e = G_s \cdot \frac{\omega}{S_r} = 2,69 \cdot \frac{0,7}{0,75} = 2,51$$

- **La porosité :**

$$\mathbf{\eta = 0,71}$$

Exercice 4 :

Dans un essai de compactage sur un sol sableux, la masse du sol humide compacté dans le moule est de **1.982Kg**. Le volume du moule est de **0.944 litres**. La teneur en eau est $\omega = 15\%$. Si la densité des grains secs est de **2.70**, et en prenant $g = 10\text{m/s}^2$, calculer :

a. la densité humide :

$$\gamma = \frac{W_t}{V_t} = \frac{M_H \cdot g}{V_t} = \frac{1,982 * 10}{0,944 * 10^{-3}} \cdot 10^{-3}$$

$$\mathbf{\gamma = 21 \text{ kN/m}^3}$$

b. la densité sèche :

On a : $\gamma = (1 + \omega)\gamma_d$

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + \omega} = \frac{21}{1 + 0,15}$$

$$\mathbf{\gamma_d = 18,26 \text{ kN/m}^3}$$

c. l'indice des vides :

$$e = \frac{\gamma_s}{\gamma_d} - 1 = \frac{G_s * \gamma_w}{\gamma_d} - 1 = \frac{2,7 * 10}{18,26} - 1$$

$$\mathbf{e = 0,48}$$

d. le degré de saturation du sol :

$$S_r = \frac{\gamma_s}{\gamma_w} \cdot \frac{\omega}{e} = S_r = G_s \cdot \frac{\omega}{e} = 2,7 \cdot \frac{0,15}{0,48}$$

$$S_r = 84\%$$

e. le pourcentage initial d'air dans le sol :

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} = \frac{V_w}{V_w + V_a} \Rightarrow V_a = \frac{V_w}{S_r} - V_w$$

Avec : $V_w = \frac{W_w}{\gamma_w}$, déterminons le poids de l'eau dans le sol.

On sait que :

$$\omega = \frac{M_H - M_s}{M_s} \Rightarrow M_s = \frac{M_H}{1 + \omega} = \frac{1,982}{1 + 0,15} = 1,723 \text{ kg}$$

$$W_w = (M_H - M_s) \cdot g = 2,59 \text{ N}$$

$$V_w = \frac{W_w}{\gamma_w} = \frac{2,59 \cdot 10^{-3}}{10} = 259 \text{ cm}^3$$

D'où :

$$V_a = \frac{V_w}{S_r} - V_w = \frac{259}{0,84} - 259$$

$$V_a = 49,33 \text{ cm}^3$$

- En pourcentage :

$$\%air = \frac{V_a}{V_v} = 16\%$$

Exercice 6 (Limites d'Atterberg) :

Une couche d'argile possède les caractéristiques suivantes :

$$w_L = 70\% , \quad I_P = 38\% , \quad \omega = 65\%$$

- **Limite de plasticité :**

$$I_P = w_L - w_P \Rightarrow w_P = w_L - I_P$$

$$w_P = 70 - 38 = 32\%$$

- Indice de consistance :

$$I_c = \frac{w_L - w}{I_p} = \frac{70 - 65}{38}$$

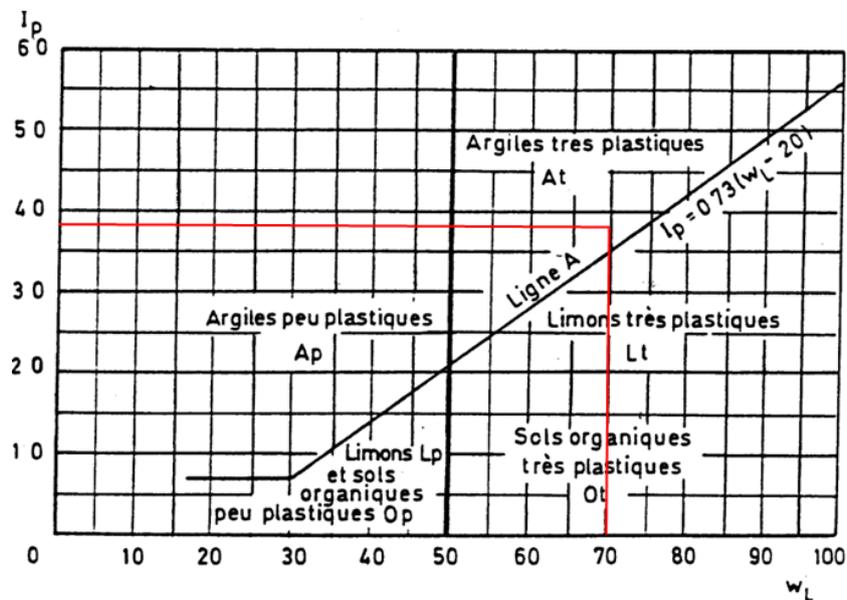
$$I_c = 0,13$$

Indice de consistance	consistance du sol
$I_c \leq 0$	Liquide
$0 < I_c < 1$	Plastique
$I_c = 1$	Solide plastique
$I_c > 1$	Solide ou semi solide.

$0 < I_c < 1 \Rightarrow$ Consistance plastique.

- **Classifier cette argile :**

Selon la classification LPC :



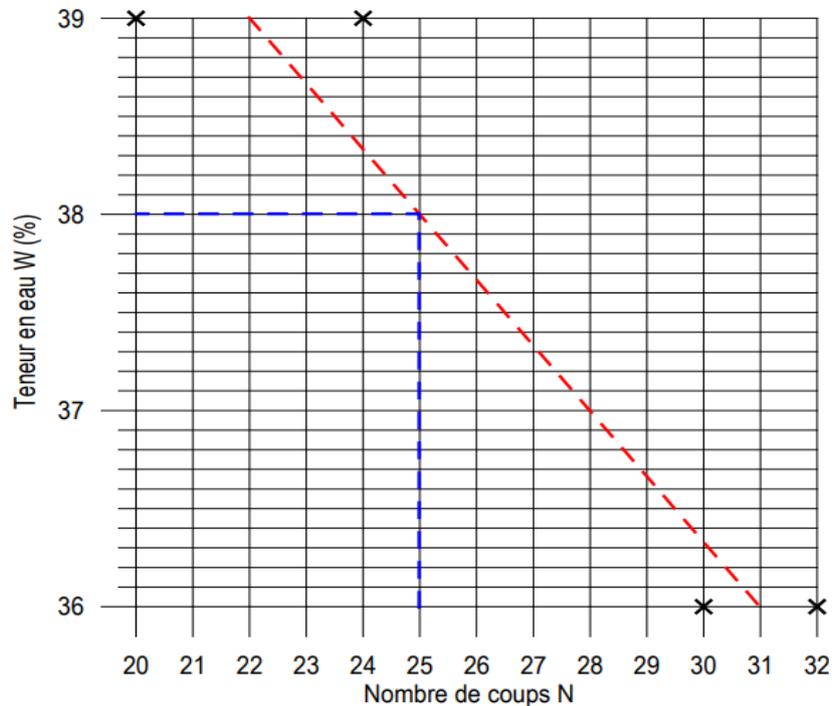
Le point se situe au-dessus de la ligne A \Rightarrow C'est une **argile très plastique A_t**

Exercice 7 :

- **Déterminons la limite de liquidité w_L :**

N° tare	1	2	3	4
Masse totale humide (g)	63,19	82,72	55,27	69,12
Masse totale sèche (g)	51,98	66,01	48,42	57,71
Masse de la tare (g)	20,85	23,35	29,66	28,44
Nombre de coups N	30	20	32	24
Teneur en eau ω(%)	36	39,1	36,5	39

Ensuite, on trace la courbe $\omega = f(N)$. La limite de liquidité est la teneur correspondant à 25 coups.



On retient la valeur : $w_L = 37,9\%$

- Déterminons la limite de plasticité w_P :

N° tare	5	6	7	8
ω (%)	22,70	22,50	22,60	22,30

On calcule la moyenne des valeurs obtenues par la méthode des petits rouleaux :

$$w_P = \frac{\sum \omega}{4} = \frac{22,70 + 22,50 + 22,60 + 22,30}{4}$$

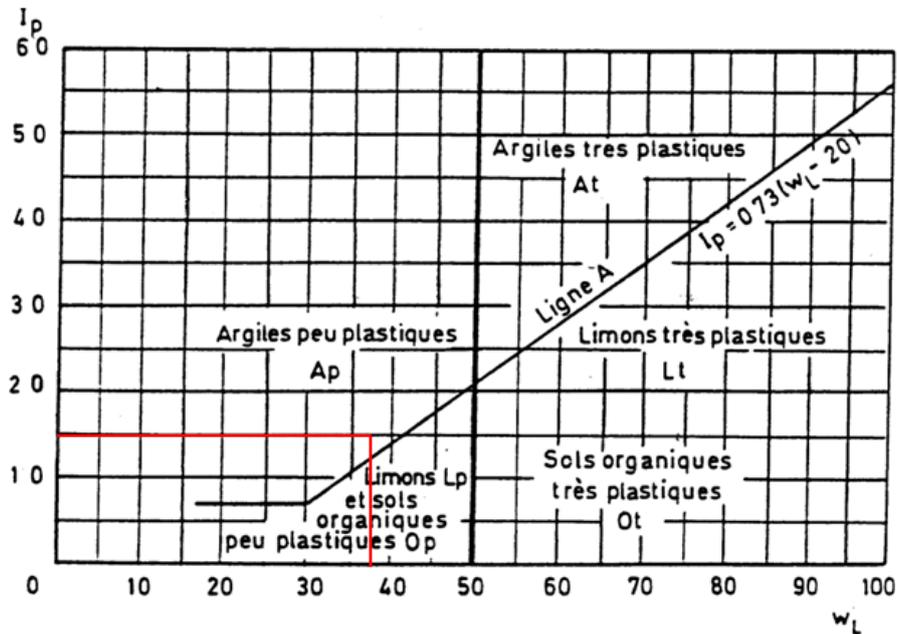
$$w_P = 22,50\%$$

- Calculer l'indice de plasticité :

$$I_P = w_L - w_P = 37,90 - 22,50$$

$$I_P = 15,40\%$$

- Classification LPC du sol :



Exercice 8 :

Donner, d’après la classification LPC, la dénomination des 7 sols pour lesquels on dispose des informations suivantes :

Sol	Passant (%) à 80µm	Passant (%) à 2mm	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	w_L	w_P
1	0	28	0,6	2,5	10	-	-
2	2	54	0,2	0,8	2,5	-	-
3	15	70	-	-	-	48	20
4	30	90	-	-	-	45	32
5	2	60	0,2	0,35	0,7	-	-
6	80	100	-	-	-	42	15
7	95	100	-	-	-	83	32

• **Sol n°3 :**

Passants à 80 µm =15% ⇒ éléments supérieur à 80 µm =85% ⇒ 50% de ces éléments =42%
 Passants à 2mm=70% (>42 %) => Plus de 50% des éléments >80 µm ont un diamètre <2mm
 ⇒ Il s’agit s’un **sable**.

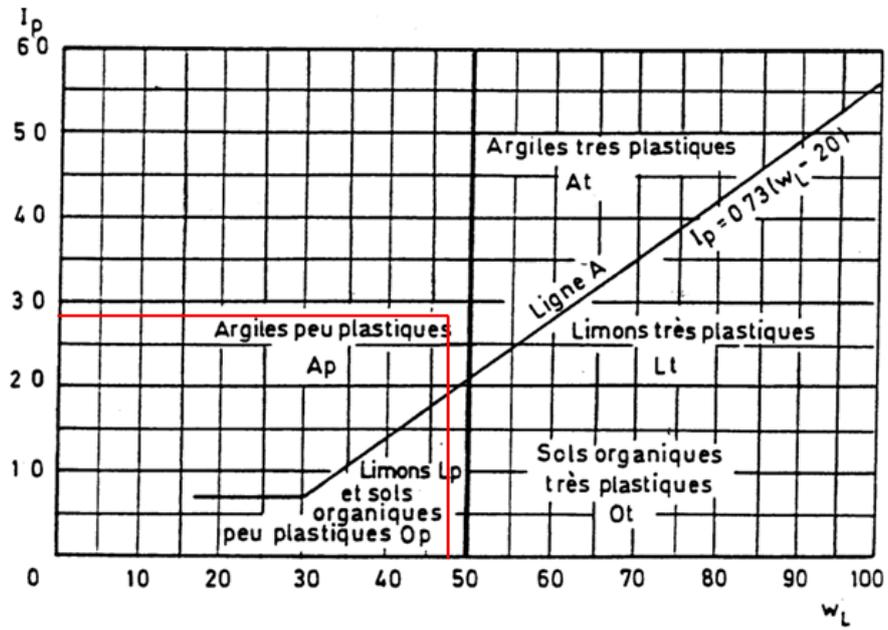
Passants à 80 µm =15% (>12%) .

On dispose des limites de liquidité et de plasticité ⇒ Classification des sols fins.

On doit calculer l’indice de plasticité :

$$I_P = w_L - w_P = 48 - 20 = 28\%$$

On situe le point d’intersection sur le graphique :



Il s'agit d'un sable argileux peu plastique SAp.

Correction TD n° 1 : Identification et classification des sols

Exercice 8 :

Donner, d'après la classification LPC, la dénomination des 7 sols pour lesquels on dispose des informations suivantes :

Sol	Passant (%) à 80µm	Passant (%) à 2mm	d_{10} (mm)	d_{30} (mm)	d_{60} (mm)	w_L	w_P
1	0	28	0,6	2,5	10	-	-
2	2	54	0,2	0,8	2,5	-	-
3	15	70	-	-	-	48	20
4	30	90	-	-	-	45	32
5	2	60	0,2	0,35	0,7	-	-
6	80	100	-	-	-	42	15
7	95	100	-	-	-	83	32

- **Sol n°1 :**

Les passants à 80 µm =0% ⇒ 100% des éléments ont un diamètre >80 µm.

Les passants à 2mm = 28% (<50%) ⇒ Plus de 50% des éléments qui ont un diamètre > 80µm (=50% dans ce cas) ont un diamètre >2mm.

Donc il s'agit d'un **grave**.

Ensuite, les éléments <80µm sont de 0% < 5% ⇒ Première ligne de la case grave.

On calcule alors les coefficients de courbure et d'uniformité :

- $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 16,66 > 4$
- $C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} = 1,04 \in [1; 3]$

Puisque les conditions sont vérifiées, alors la classification du sol 1 est :

Gb : Grave propre bien graduée.

- **Sol n°2 :**

En suivant les mêmes étapes :

Passants à 80 µm = 2% ⇒ Les éléments >80 µm = 98%. ⇒ 50% de ces éléments = 49%.

Géotechnique 1

Passants à 2 mm = 54% (>49%) ⇒ Plus de 50% des éléments qui ont un diamètre > 80µm (=49% dans ce cas) ont un diamètre <2mm.

Donc il s'agit d'un sable.

Passants à 80µm = 2% < 5%

- $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 12,5 > 6$
- $C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} = 1,28 \in [1; 3]$

Il s'agit d'un **sable propre bien gradué Sb**

• Sol n°3 :

Passants à 80 µm = 15% ⇒ éléments supérieurs à 80 µm = 85% ⇒ 50% de ces éléments = 42%

Passants à 2mm=70% (>42 %) => Plus de 50% des éléments >80 µm ont un diamètre <2mm ⇒ Il s'agit d'un **sable**.

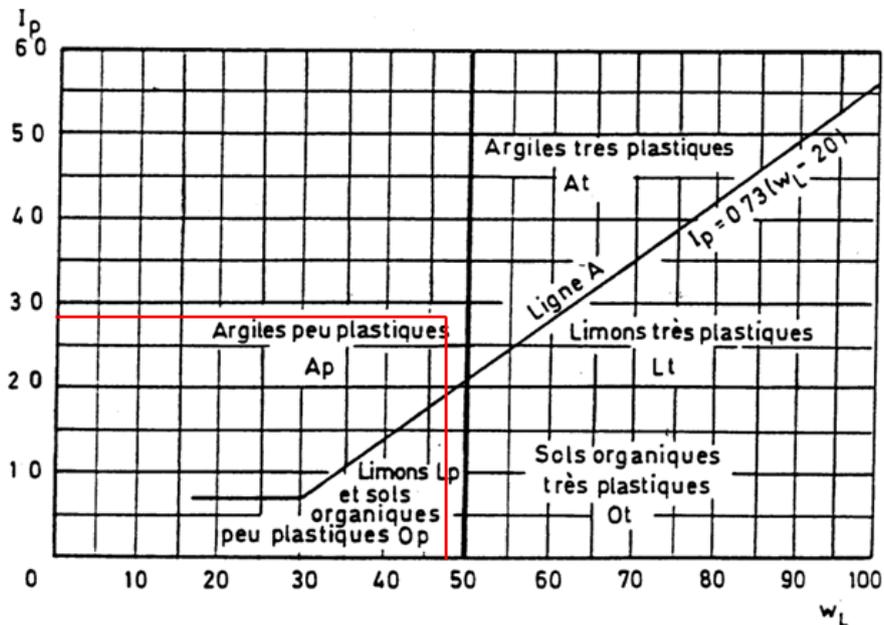
Passants à 80 µm = 15% (>12%) .

On dispose des limites de liquidité et de plasticité ⇒ Classification des sols fins.

On doit calculer l'indice de plasticité :

$$I_p = w_L - w_p = 48 - 20 = 28\%$$

On situe le point d'intersection sur le graphique :



Il s'agit d'un sable argileux peu plastique Sap.

• Sol n°4 :

Géotechnique 1

Passants à 80 μm = 30% \Rightarrow Refus à 80 μm = 70% \Rightarrow 50% du refus = 35%.

Passants à 2mm = 90% (>35%) \Rightarrow Plus de 50% des éléments qui ont un diamètre > 80 μm (=35% dans ce cas) ont un diamètre <2mm.

Donc il s'agit d'un **sable**.

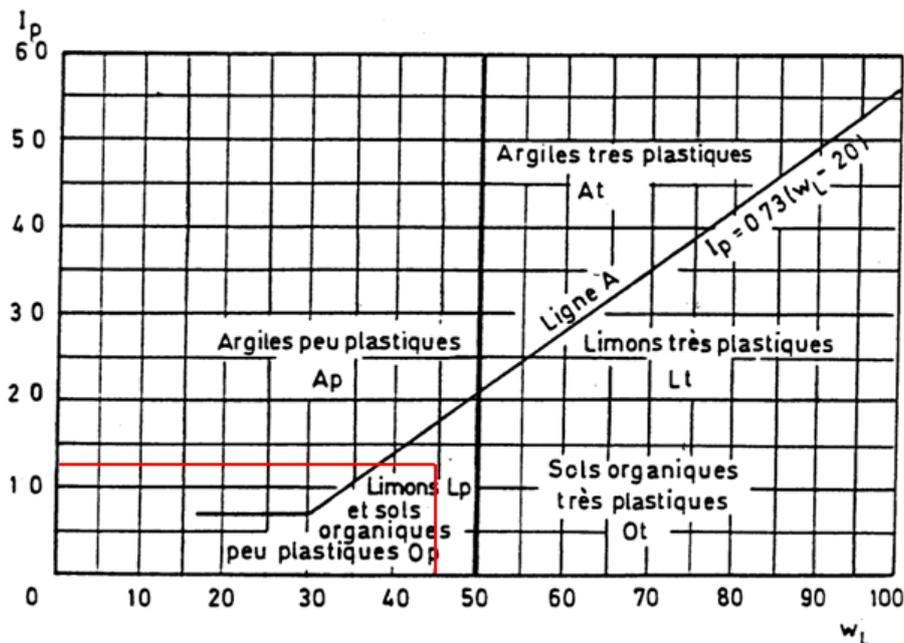
Passants à 80 μm = 30% > 12%

On dispose des limites de liquidité et de plasticité \Rightarrow Classification des sols fins.

Indice de plasticité :

$$I_p = w_L - w_P = 45 - 32 = 13\%$$

On situe le point d'intersection sur le graphique :



Il s'agit d'un **sable limoneux SL**.

- **Sol n°5 :**

Passants à 80 μm = 2% \Rightarrow Refus à 80 μm = 98% \Rightarrow 50% de ces éléments = 49%

Passants à 2 mm = 60% (>49%) \Rightarrow Plus de 50% des éléments qui ont un diamètre > 80 μm (=49% dans ce cas) ont un diamètre <2mm.

Donc il s'agit d'un **sable**.

Passants à 80 μm = 2% < 5%.

- $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} = 3,5 < 6$

Géotechnique 1

$$- C_c = \frac{(d_{30})^2}{d_{10} \cdot d_{60}} = 0,875 \notin [1; 3]$$

Les deux conditions ne sont pas vérifiées \Rightarrow **Sable propre mal gradué Sm**

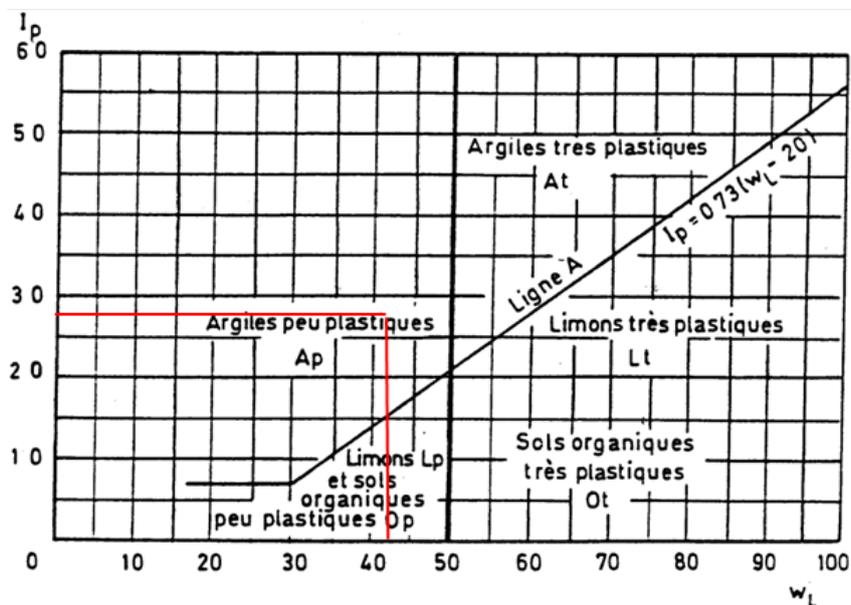
- **Sol n°6 :**

Passants à 80 μm = 80% \Rightarrow Refus = 40% \Rightarrow 50% du refus = 20%.

Passants à 2mm = 100% (>20%) \Rightarrow il s'agit d'un sable.

Passants à 80 μm = 80% > 12% : Grande proportion des sols fins, donc on utilise l'abaque de classification des sols fins.

$$I_p = w_L - w_P = 42 - 15 = 27\%$$



Point au-dessus de la ligne A \Rightarrow **Sable argileux SA.**

- **Sol n°7 :**

Même procédure donne : **Sable argileux SA.**