Etude des sols

- Chapitre I
  Propriétés physiques des sols – Compactage des Sols

- Chapitre II
  Contraintes dans les sols

- Chapitre III
  Hydrauliques des sols

- Chapitre IV
  Tassement et Consolidation

- Chapitre IV
  Résistance au cisaillement des sols

Chapitre I

Propriétés physiques des sols

Objectifs de ce chapitre

- Terminologie de base et définitions
- Essais simples d'identification des constituants des sols
- Classification des sols
- Compactage des sols

1- Définition – éléments constitutifs d'un sol

1.1 Définition des sols

Matériaux à la surface de l'écorce terrestre

Roches — Sols

grains minéraux fortement liés

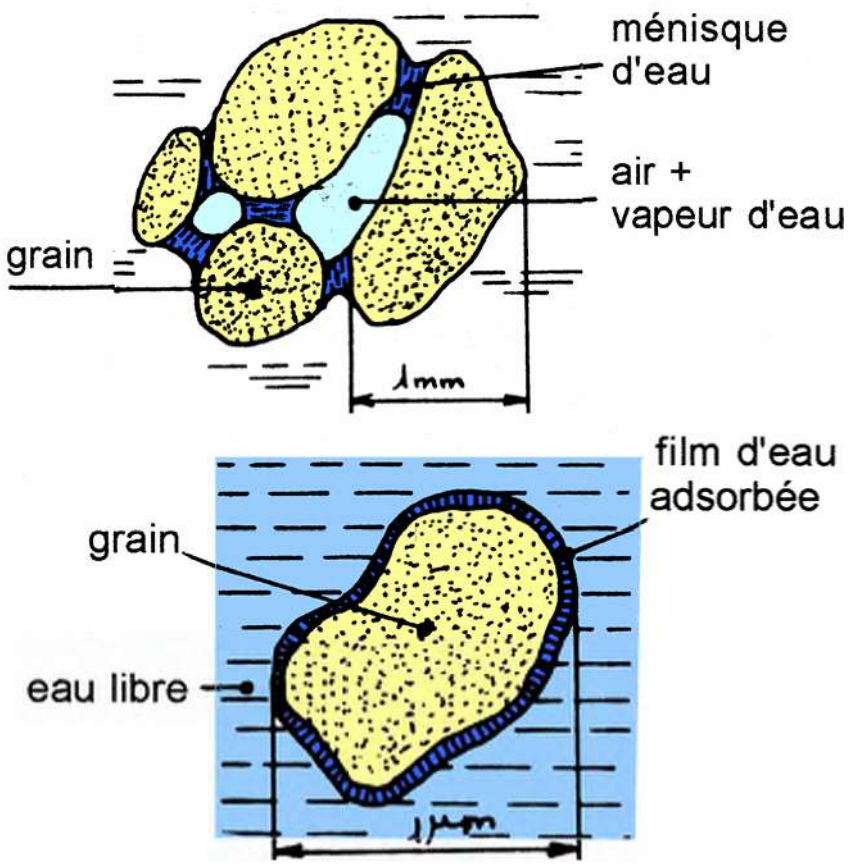
1.2 Éléments constitutifs d'un sol

squelette solide + eau + gaz

effet de la taille

libre, adsorbée

air



2- Caractéristiques physiques des sols

2.1 Description

2.2 Relations entre les paramètres

2.3 Détermination des caractéristiques physiques

2.3.1 Teneur en eau w

2.3.2 Poids volumique

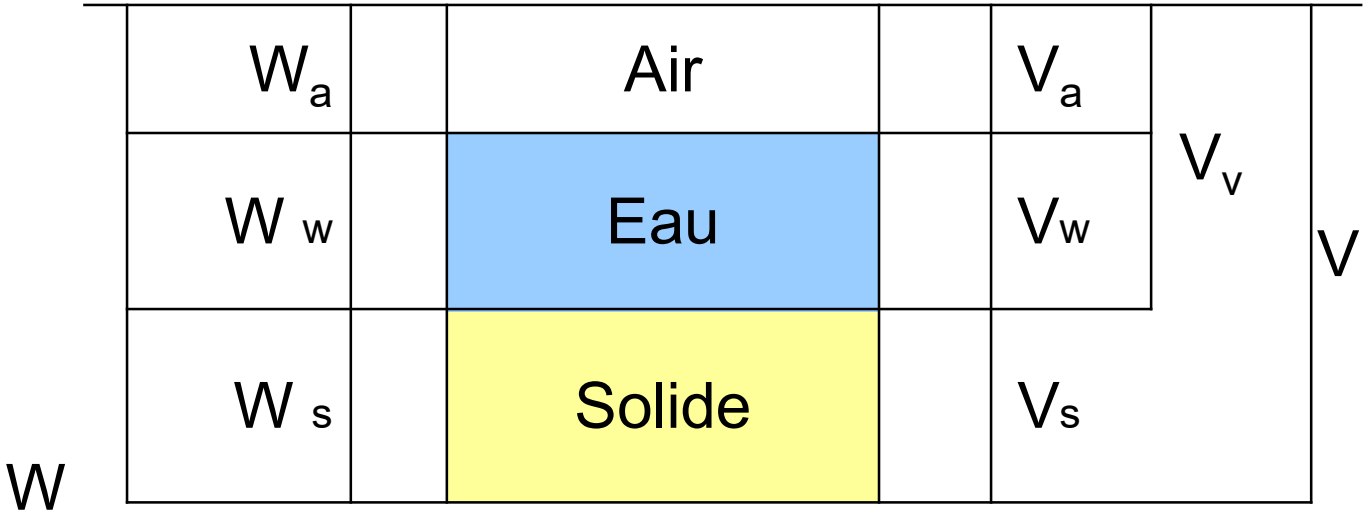
2.3.3 Poids volumique des particules solides

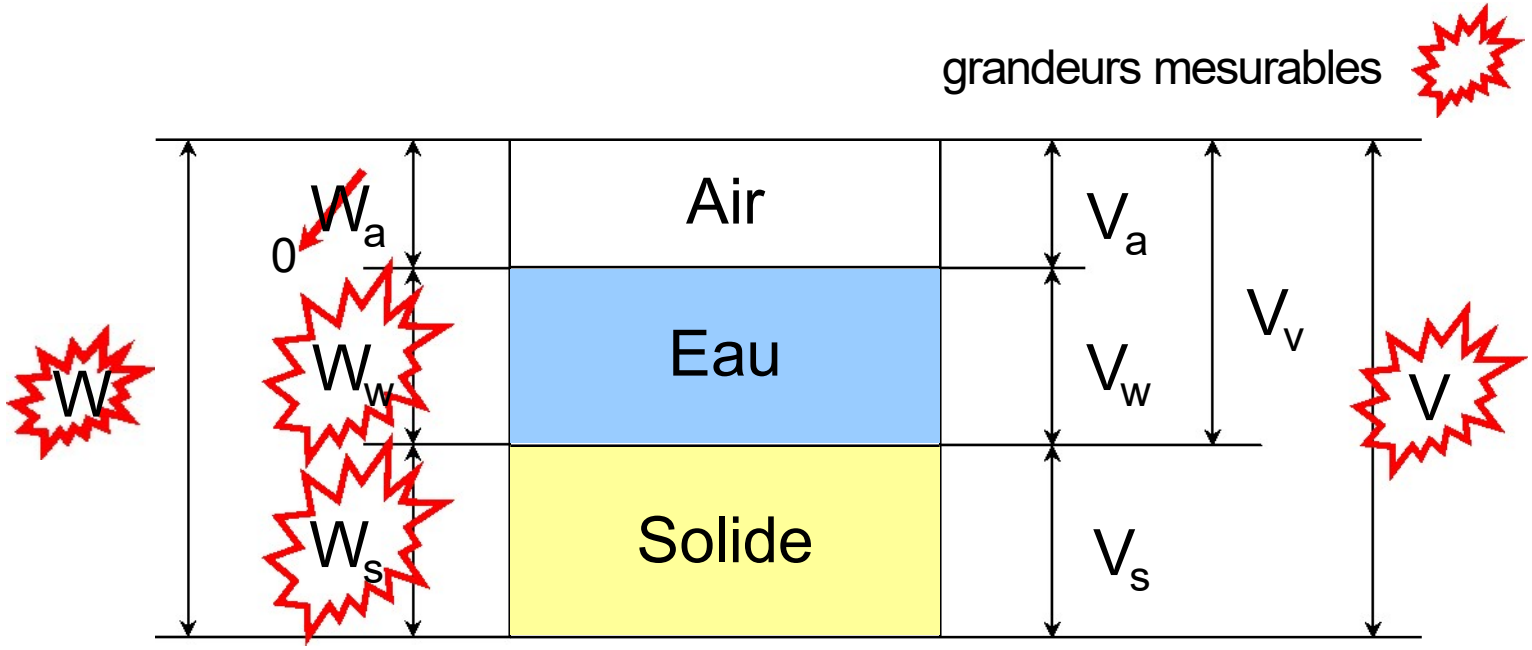
2.1 Description

Existence de trois phases *définition de paramètres caractéristiques des sols*

Représentation schématique

- *volume élémentaire de sol*
- *trois phases séparées*
- *volumes et poids de chacune des phases*





W : poids total du sol

W_s : poids des particules solides

W_w : poids de l'eau

$$W = W_s + W_w$$

V : volume total (apparent)

V_s : volume des particules solides

V_v : volume des vides entre les particules

V_w : volume de l'eau

V_a : volume de l'air

$$V_v = V_w + V_a$$

$$V = V_s + V_v = V_s + V_w + V_a$$

Paramètres dimensionnels → Poids volumiques

Poids volumique...

- des grains solides $\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$

- de l'eau $\gamma_w = \frac{W_w}{V_w}$

- Total (du sol) $\gamma = \frac{W}{V}$

- du sol sec $\gamma_d = \frac{W_s}{V}$

- du sol saturé $\gamma_{sat} = \frac{W_s + \gamma_w V_v}{V} = \frac{W_{sat}}{V}$

- du sol déjaugé $\gamma' = \gamma_{sat} - \gamma_W$

Ordre de grandeur

Paramètres	Sable	Argile
γ	18 kN/m³	10 à 20 kN/m³
γ_d	14 à 18 kN/m³	10 à 20 kN/m³
γ_{sat}	19 à 22 kN/m³	19 à 22 kN/m³
γ_s	26 à 30 kN/m³	26 à 30 kN/m³

Paramètres sans dimension → *caractérisation de l'état du sol*

relations volumiques

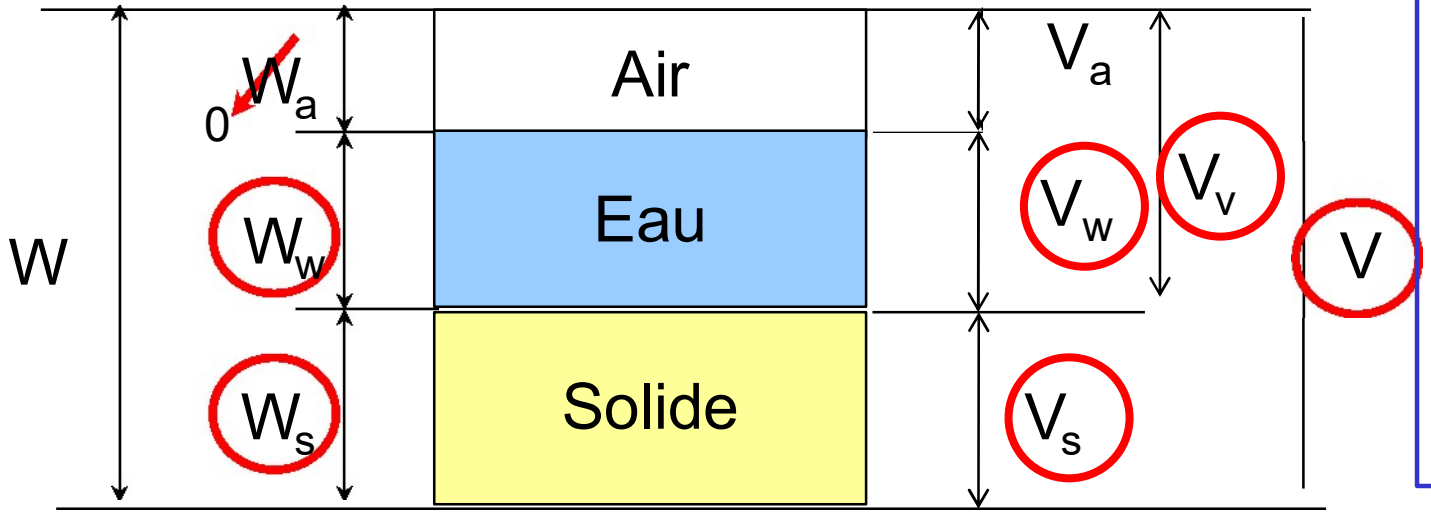
- porosité $n = \frac{V_v}{V}$

- indice des vides $e = \frac{V_v}{V_s}$

- degré de saturation $S_r = \frac{V_w}{V_v} \cdot 100$

- teneur en eau $w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$

relation pondérale



Ordre de grandeur
Sable :
n = 0,25 à 0,50
e = 0,5 à 1
Argile:
n= 0,20 à 0,80
e= 0,3 à 2

2.2 Relations entre les paramètres

Les paramètres physiques définissent l'état d'un sol

- état de compressibilité $\longrightarrow$ *poids volumique* ($\gamma_s \approx$ constant (27 kN/m^3))
- quantité d'eau $\longrightarrow$ w *ou* S_r
- quantité de vides $\longrightarrow$ e *ou* n

La caractérisation d'un sol nécessite 3 paramètres indépendants

- utilisation d'un diagramme de phases
- utilisation d'un formulaire: *relations entre caractéristiques physiques*

$$n = \frac{e}{1+e} \qquad e = \frac{n}{1-n}$$

$$\gamma = \gamma d \cdot (1 + w)$$

$$\gamma = (1 - n) \cdot \gamma s$$

$$\gamma' = \gamma d \cdot \frac{\gamma s - \gamma w}{\gamma s}$$

$$\gamma = \frac{1 + w}{1 + e} \cdot \gamma s$$

2.3 Détermination des caractéristiques physiques

Essais d'identification

- connaissance du sol
  - paramètres nécessaires à leur classification

↳ *3 paramètres indépendants*

- essais en laboratoire
  - dispersion des mesures (plusieurs essais)

2.3.1 Teneur en eau w

$$w = \frac{W_w}{W_s} \cdot 100$$

2 pesées : avant et après étuve à 105°C

-poids total
- poids solide

2.3.2 Poids volumique

$$\gamma = \frac{W}{V} \longrightarrow$$ détermination de W et V

↳ *3 méthodes*

- immersion dans l'eau
- trousse coupante
- moule

Détermination du volume total d'échantillon de sol (V)

- Méthode par immersion dans l'eau (paraffine)



- Méthode de la trousse coupante

  - poinçonnement dans l'éch
  -volume V de l'éch = *aire de la section* x *hauteur*



- Méthode du moule

  - remplissage d'un moule Proctor
  - arasage à la règle de l'e*ssai Proctor*

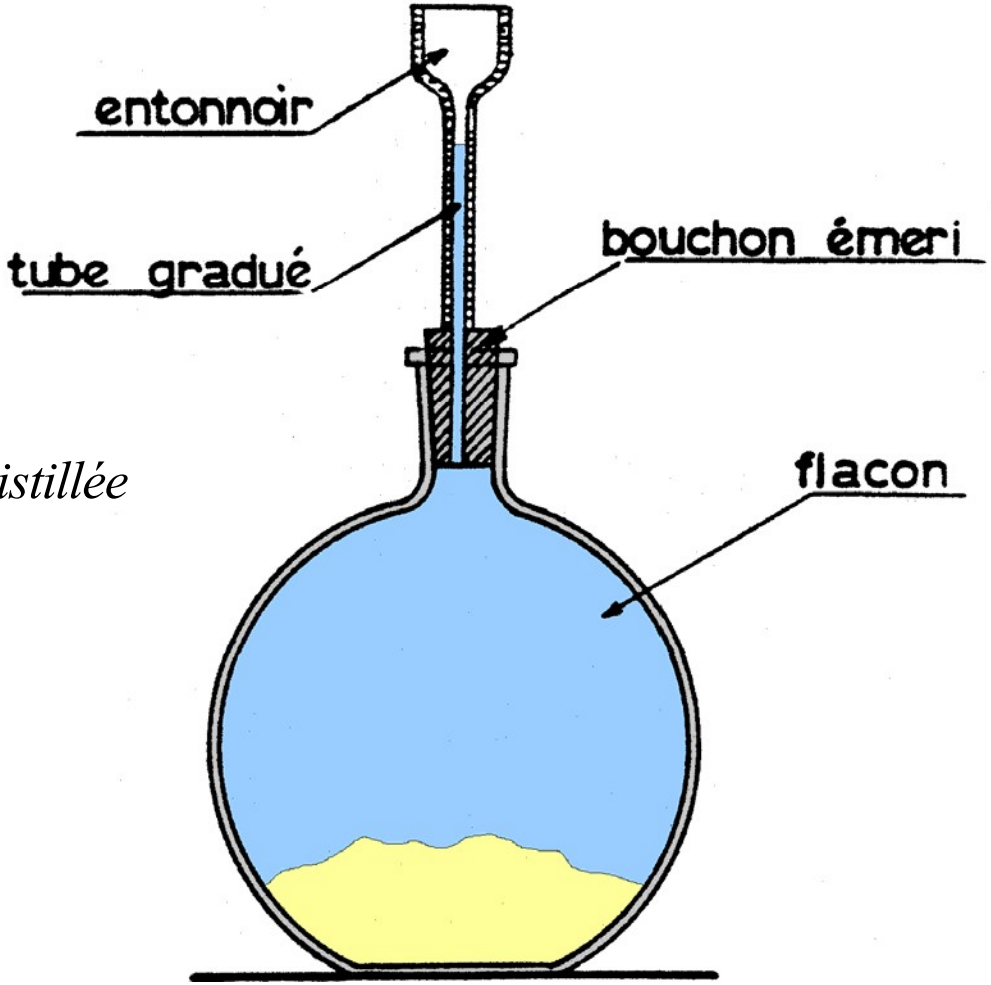


2.3.3 Poids volumique des particules solides

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s}$$

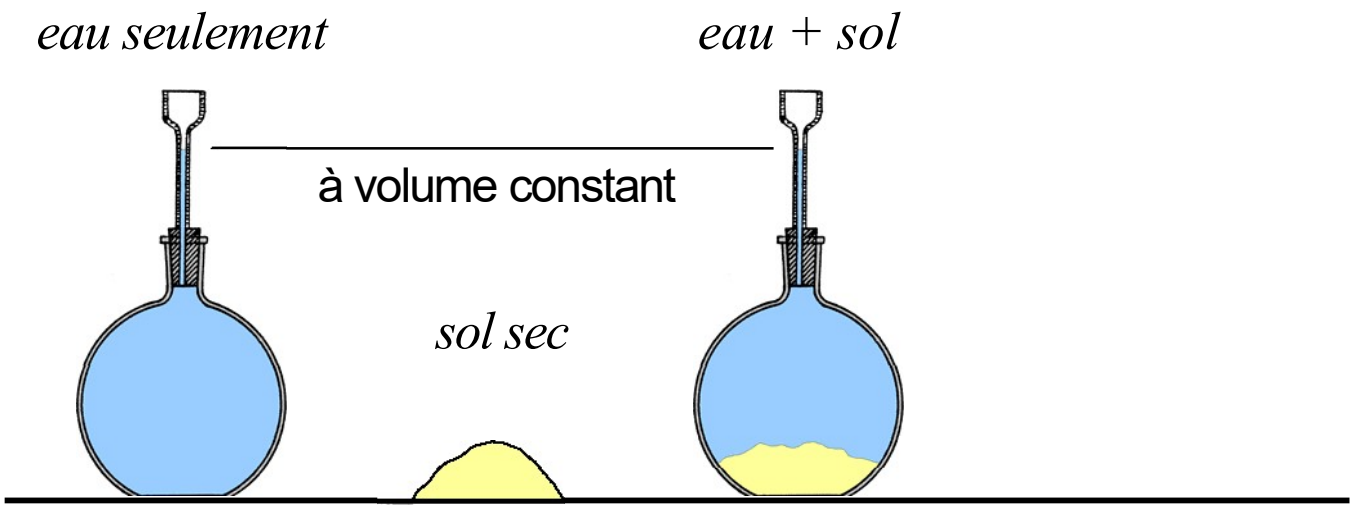
→ *pesée*

→ *à mesurer de façon précise* (a) pycnomètre
(b) pesée hydrostatique



Pycnomètre

- *sol séché puis pesé (W_s)*
- *sol dans le récipient contenant de l'eau distillée*
- *enlever les buller d'air*
- *volume d'eau déplacé par le sol*



$$W_w = W_2 - W_s$$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{V_s} = \frac{W_s}{V_{tot} - V_w} = \frac{W_s}{W_1 - (W_2 - W_s)} \cdot \gamma_w$$

$$\gamma_s = \frac{W_s}{W_1 - W_2 + W_s} \cdot \gamma_w$$

3- Caractéristiques dimensionnelles

3.1 Forme

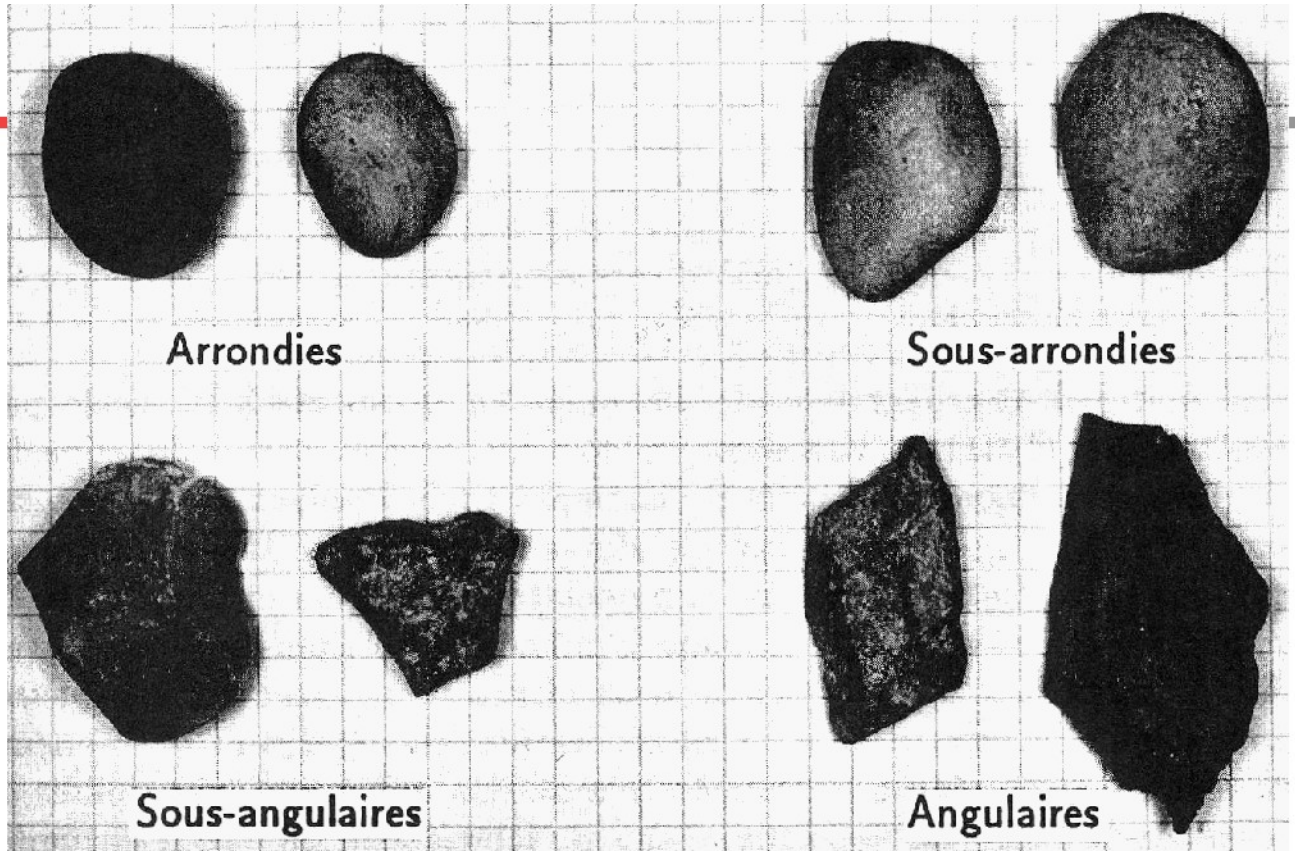
3.2 Dimensions

3.3 Caractéristiques granulométriques

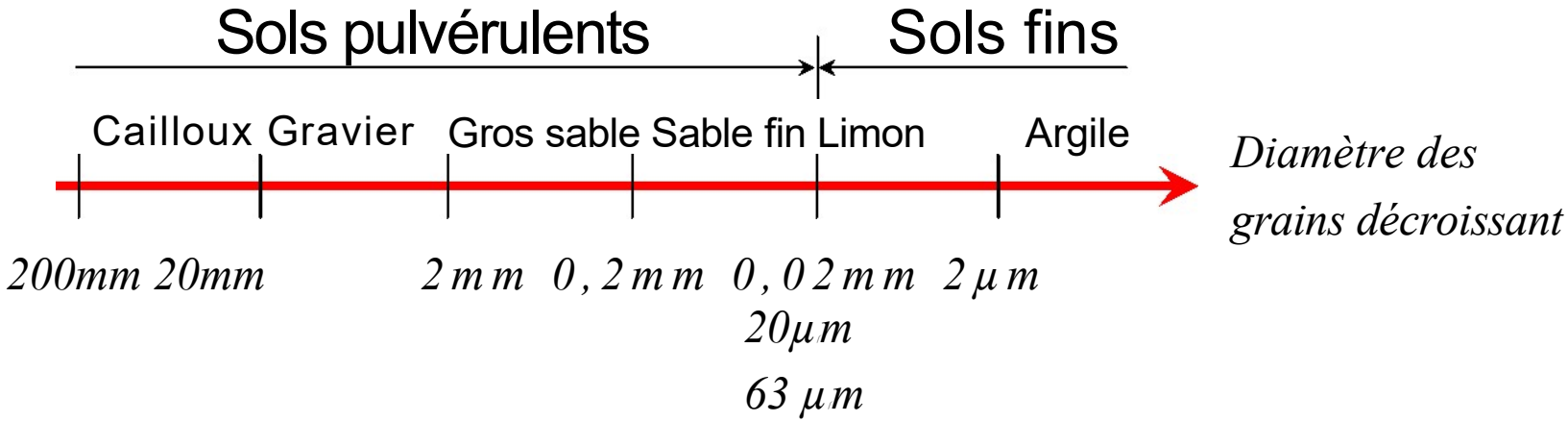
3.3.1 Courbe granulométrique

3.3.2 Surface spécifique

3.1 Forme



3.2 Dimensions

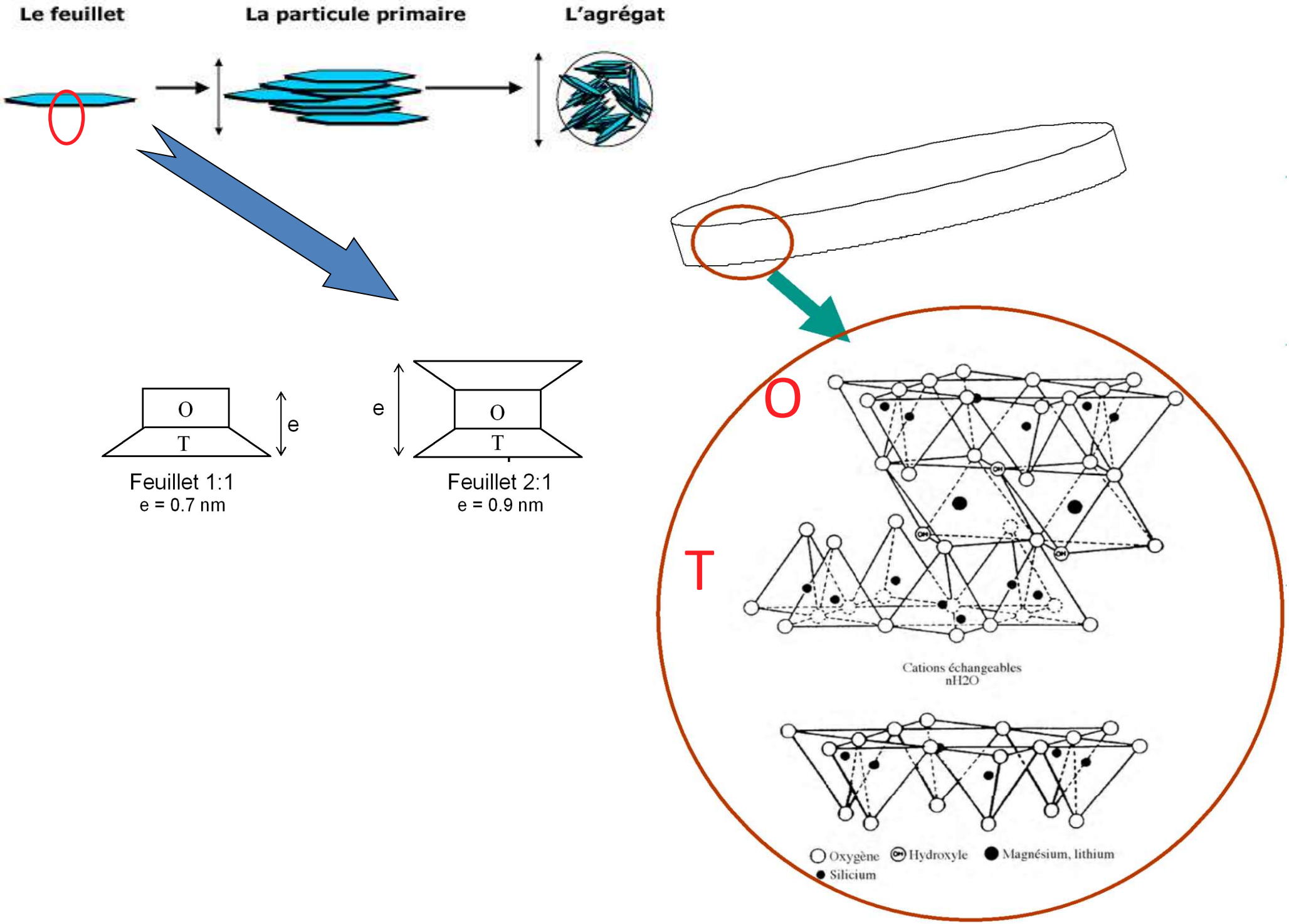


Grains size Scale: The Unified Soil Classification System, (USCS)

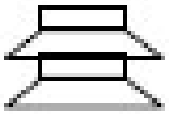
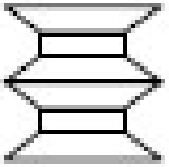
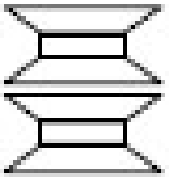
Grain size scale (USCS)

Clay : <0.002mm	Gravel : 2 - 64mm
Silt : 0.002 - 0.063mm	Cobble : 64 - 256mm
Sand : 0.063 - 2.0mm	Boulder : <256mm




Le feuillet
La particule primaire
L'agrégat
O
T
e
Feuillet 1:1
e = 0.7 nm
e
O
T
Feuillet 2:1
e = 0.9 nm
O
T
Cations échangeables
nH2O
Oxygène
Hydroxyle
Magnésium, lithium
Silicium

Famille d'Argile et leurs caractéristiques

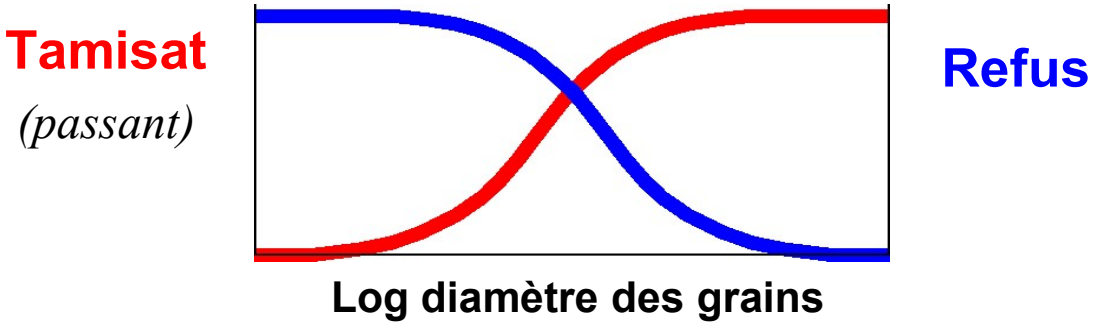
Noms	Feuillets élémentaires	Nombre de feuillets par particule	Dimension d'une particule l x e (µm x µm)	Surface spécifique (m^2/g)
Kaolinite		100 – 150	1 x 0,1	20 - 70
Illite		10	0,3 x 0,01	10 - 40
Montmorillonite		1	0,1 x 0,01	100

3.3 Caractéristiques granulométriques

3.3.1 Courbe granulométrique

technique d'obtention différente selon le type de sol

- Sol pulvérulent : tamisage
  - *-jusqu'à 40 ou 80 µm*
    - *utilisation de passoires et de tamis*
      - *à sec pour les gros grains*
      - *sous eau pour les matériaux cohérents*
- Sol fins : sédimentométrie
  ou granulométrie laser



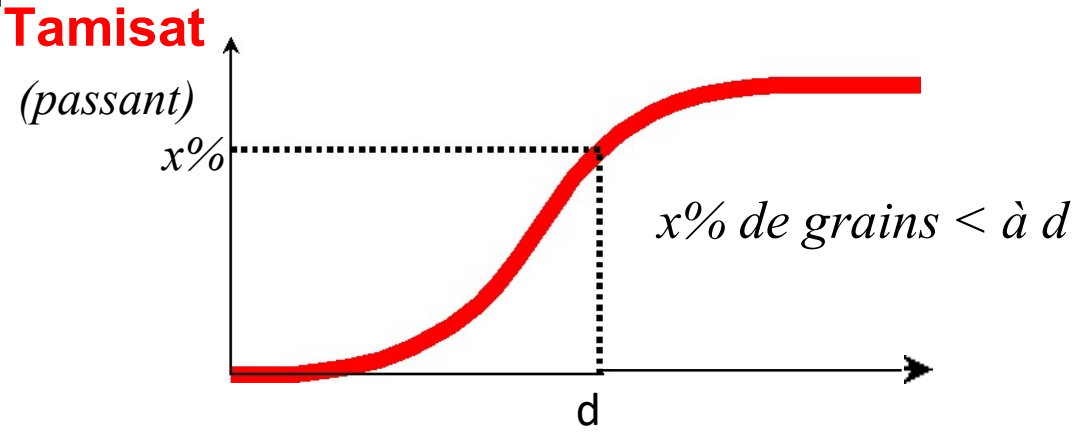
Courbe granulométrique représentation graphique donnant :

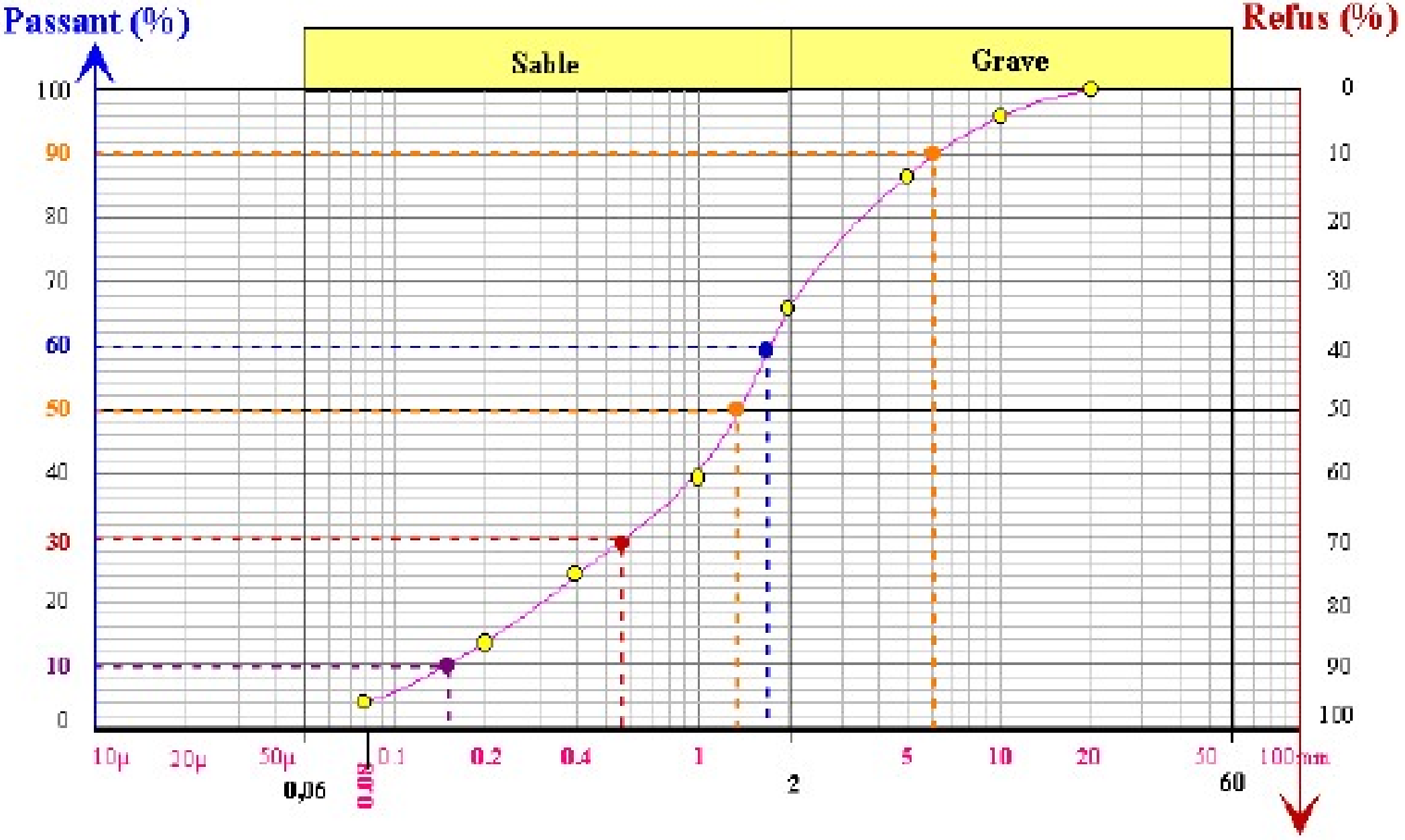
-la masse de tamisat cumulé (en %)

échelle arithmétique

-le diamètre des particules

échelle logarithmique




Passant (%)
Refus (%)
Sable
Grave
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
10µ
20µ
50µ
0,1
0,2
0,4
1
5
10
20
50
100mm
0,06
0,08
2
60

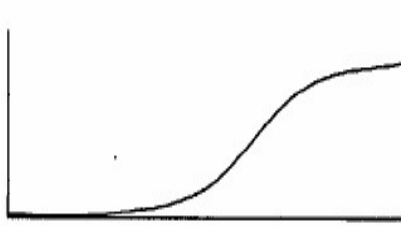
Tab.2.1 : Appellation des sols selon la proportion des types de sols.

Proportion des types de sols	Terminologie	Exemples
> 35% 20% à 35% 10% à 20% < 10%	Nom Adjectif Un peu Des traces	Gravier, sable, silt, etc. Graveleux, sableux, etc. Un peu de silt, de sable, etc. Avec des traces d'argiles, de silt, etc.

3.3.2 Caractérisation de la granulométrie d'un sol → utilisation de coefficients

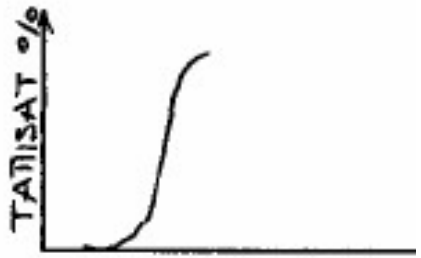
coefficient d'uniformité C_u

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



$C_u > 2$ *granulométrie étalée*

$C_u < 2$ *granulométrie uniforme ou serrée*



coefficient de courbure Cc

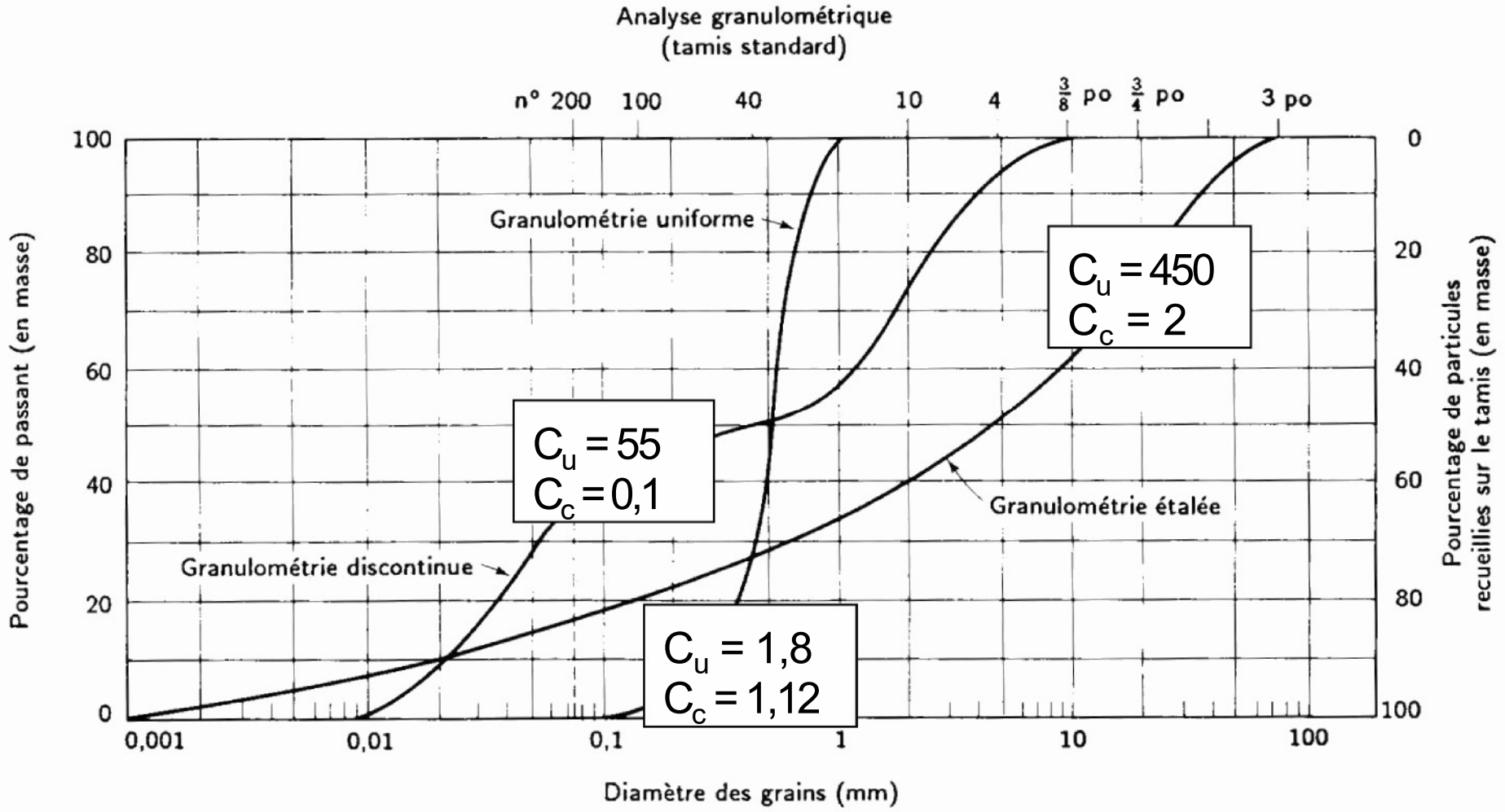
$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{60} \times D_{10}}$$

$1 < C_c < 3$ sols bien gradués : *Continuité bien répartie*



$C_c < 1$ ou $C_c > 3$ sols mal gradués: *Continuité mal répartie*




Analyse granulométrique
(tamis standard)
n° 200
100
40
10
4
3/8 po
3/4 po
3 po
Granulométrie uniforme
Granulométrie discontinue
Granulométrie étalée
Cu = 450
Cc = 2
Cu = 55
Cc = 0,1
Cu = 1,8
Cc = 1,12
Pourcentage de passant (en masse)
Pourcentage de particules recueillies sur le tamis (en masse)
Diamètre des grains (mm)
0,001
0,01
0,1
1
10
100
0
20
40
60
80
100

4- Structure des sols

4.1 Structure des sols pulvérulents (grenus)

4.2 Structure des argiles

4.3 Sols organiques

4.1 Structure des sols pulvérulents (grenus)
4.2 Structure des argiles
4.3 Sols organiques

Sol grenu → $d > 20\mu m$ → *Sables* → comportement des sables dépend de l'état de compacité

Sol fin ou cohérent → $d < 20\mu m$ → *Argiles* → Comportement des argiles dépend de la quantité d'eau

Sol organique → mauvaises propriétés géotechniques

propriétés géotechniques très différentes

5- Essais d'identification – sols grenus

comportement des sols grenus

dépend du squelette solide, peu importe l'état d'humidité

importance de la dimension des grains et de leur état de compacité

5.1 Essai d'équivalent de sable

5.2 Indice de densité

5.1 Essai d'équivalent de sable

Évaluer la proportion relative d'éléments fins dans un sol

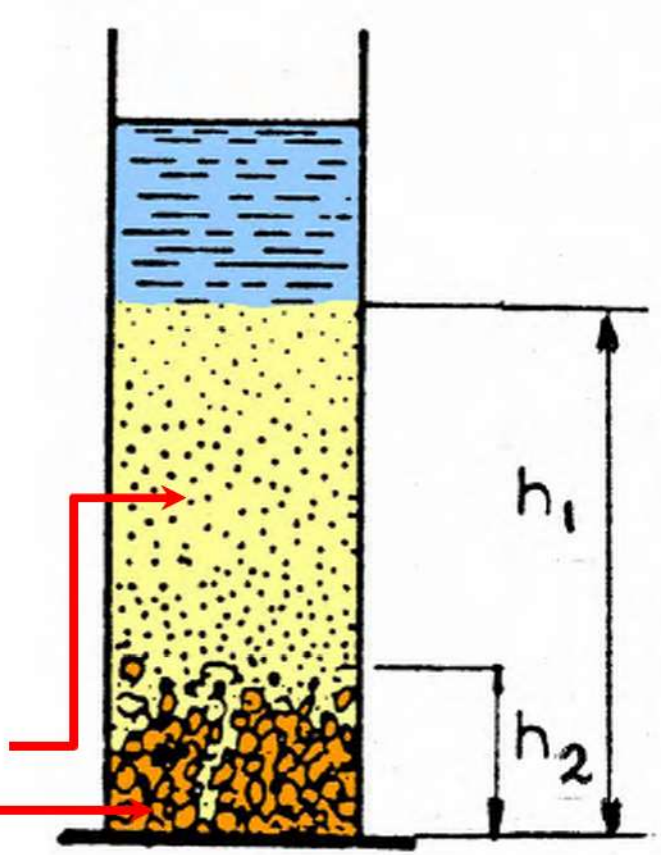
- essai simple et rapide
- appareillage élémentaire
- géotechnique routière

Principe

- fraction < 5mm
- lavage énergique avec solution lavante
- repos de l'ensemble

Résultat

- floculat gonflé par la solution (particules fines)
- dépot solide (sable) au fond de l'éprouvette



$$E.S. = \frac{h_2}{h_1} 100$$

Nature	Equivalent de sable
Argile pure	E. S. = 0
	E. S. = 20
	E. S. = 40
	E. S. = 100

5.2 Indice de densité

État de densité dans lequel se trouve un sol pulvérulent

effet important sur le comportement mécanique

$$I_D = \frac{e_{max} - e}{e_{max} - e_{min}}$$

e_{max} et e_{min}

indices des vides max et min sur le matériau

Sol lâche $e = e_{max}$ → $I_D = 0$

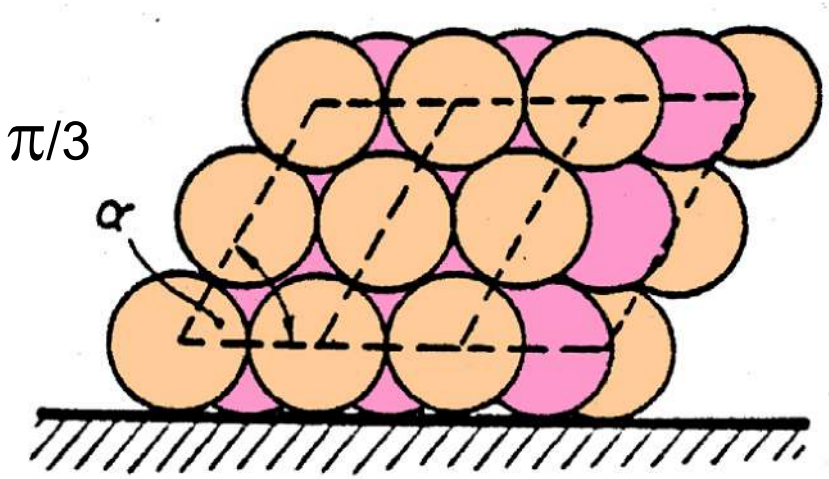
Sol serré $e = e_{min}$ → $I_D = 1$

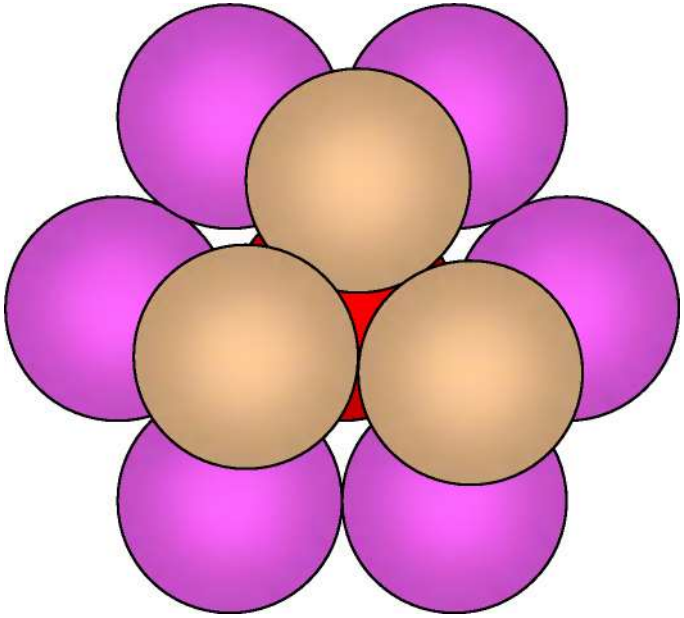
e_{min} et e_{max} dans le cas de matériaux théoriques

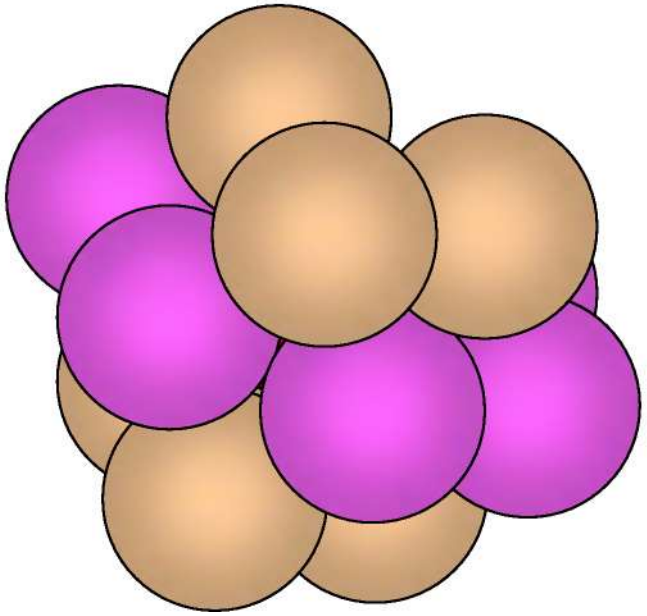
État le plus compact

$e_{min} = 0,35$

porosité n = 25,9%







Vue en plan

Vue en 3d

6- Essais d'identification – sols fins

comportement des sols fins

- taille des grains ⇒ forces de cohésion
- présence d'eau ⇒ changement de consistance

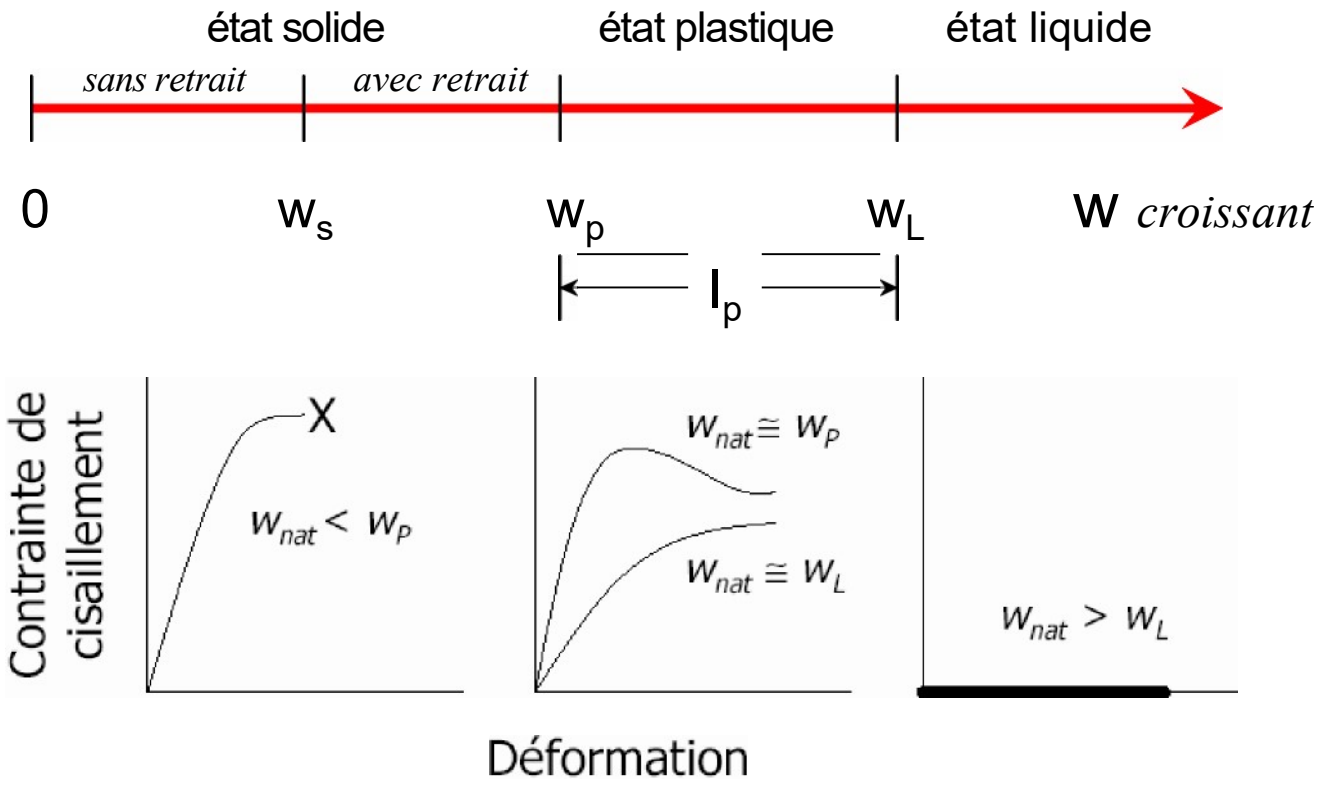
6.1 Limites d'Atterberg

6.1.1 Limite de liquidité w_L
6.1.2 Limite de plasticité w_p
6.1.3 Indice de plasticité I_p
6.1.4 Indice de consistance I_c
6.1.5 Ordre de grandeur

6.2 Activité

6.3 Valeur de bleu de méthylène

Comportement des sols fins avec la variation de w



état liquide

- pas de capacité portante

état plastique

-fortes déformations

- déformations plastiques

état solide (avec retrait)

- déformations élastiques

état solide (sans retrait)

- pas de changement de volume avec la baisse de w



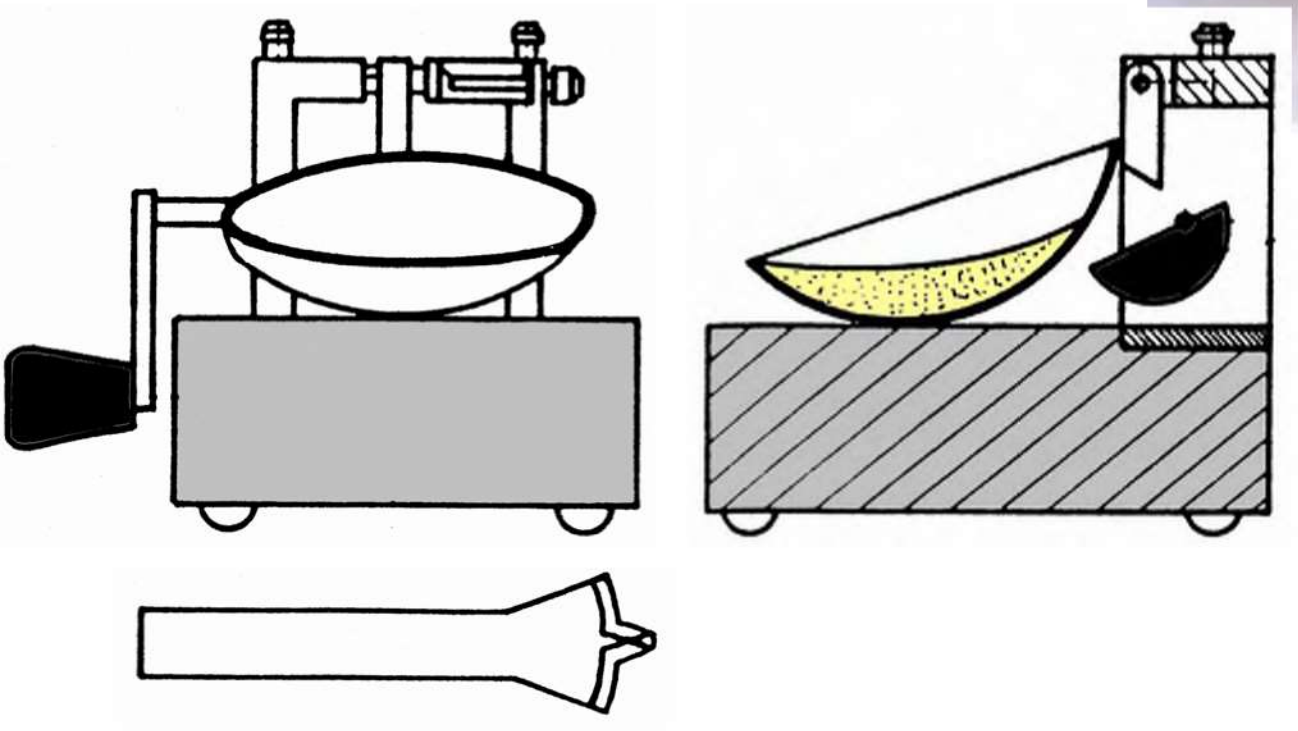
6.1 Limites d'Atterberg



6.1.1 Limite de liquidité w_L

Méthode de Casagrande

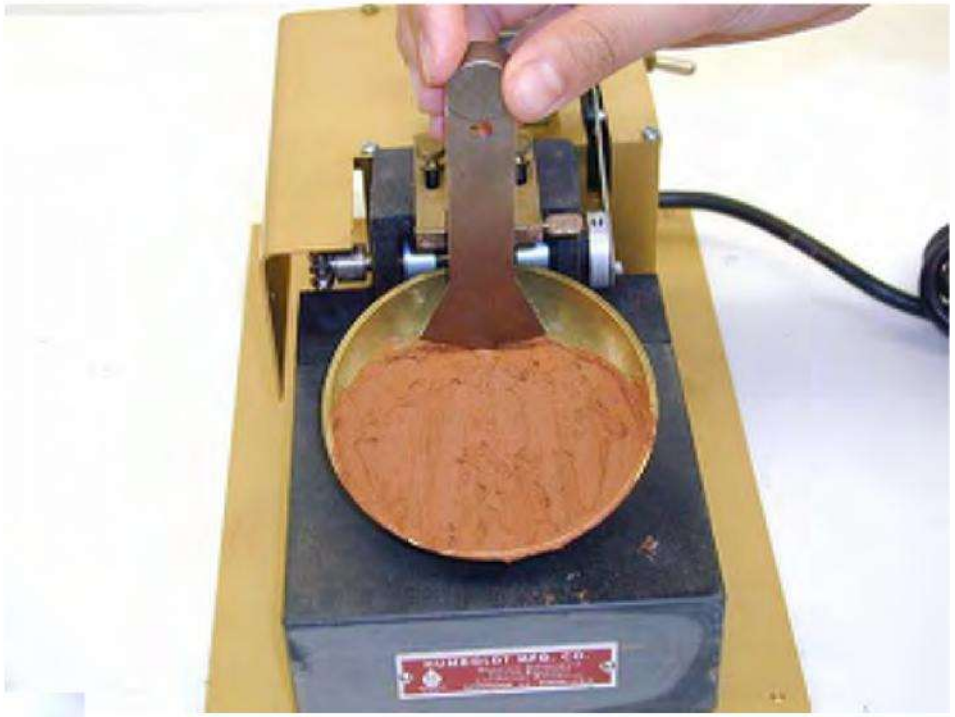
Teneur en eau pour laquelle une entaille est refermée sur 10mm après 25 chocs



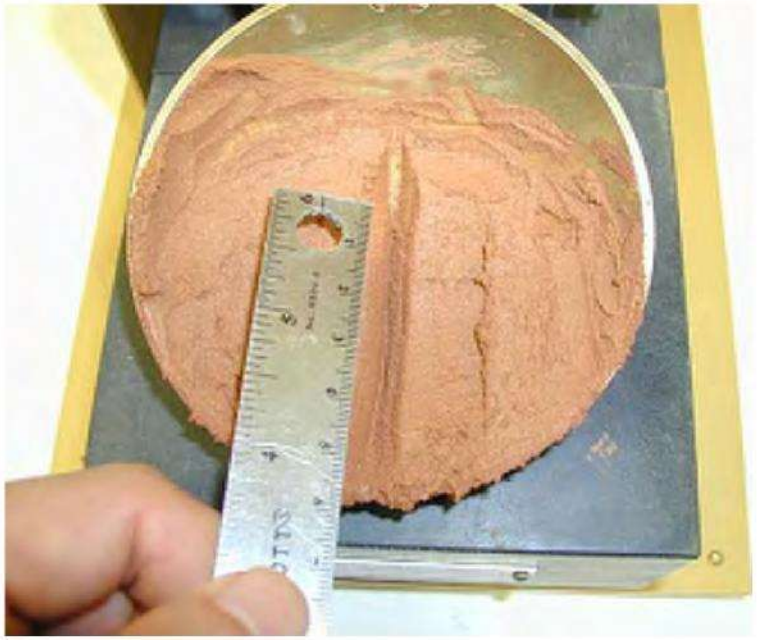


Méthode du cône de pénétration

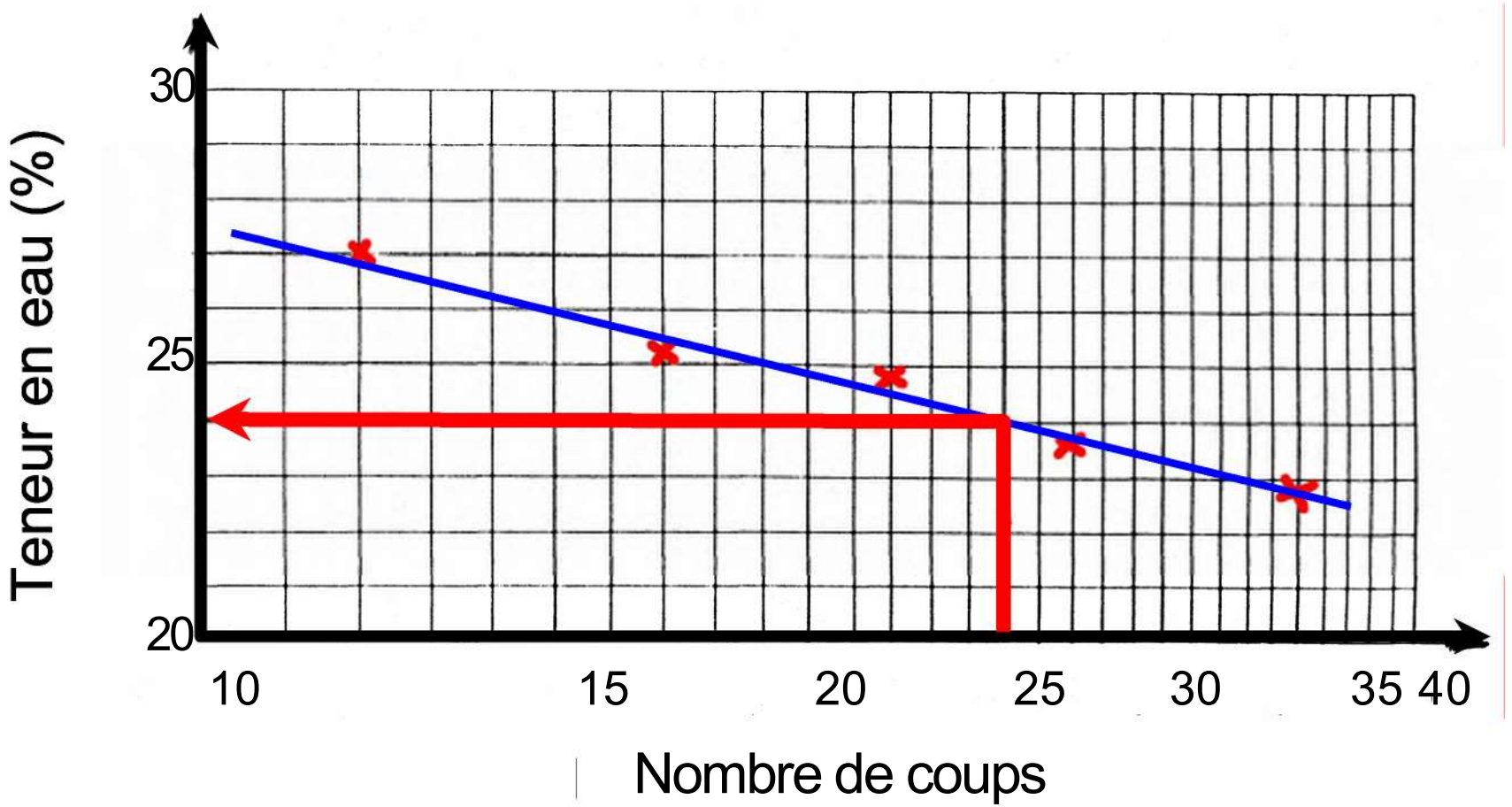








En pratique



6.1.2 Limite de plasticité w_p

Teneur en eau correspondant à une limite arbitraire entre les états plastique et semi-solide de la consistance d'un sol.

➔ *cylindre de 3mm de diamètre se brisant en tronçons de 10 à 20mm*



6.1.3 Indice de plasticité I_p

$$I_p = w_L - w_p$$

étendue du domaine de plasticité

- *domaine de travail du sol*
- *le plus grand possible*

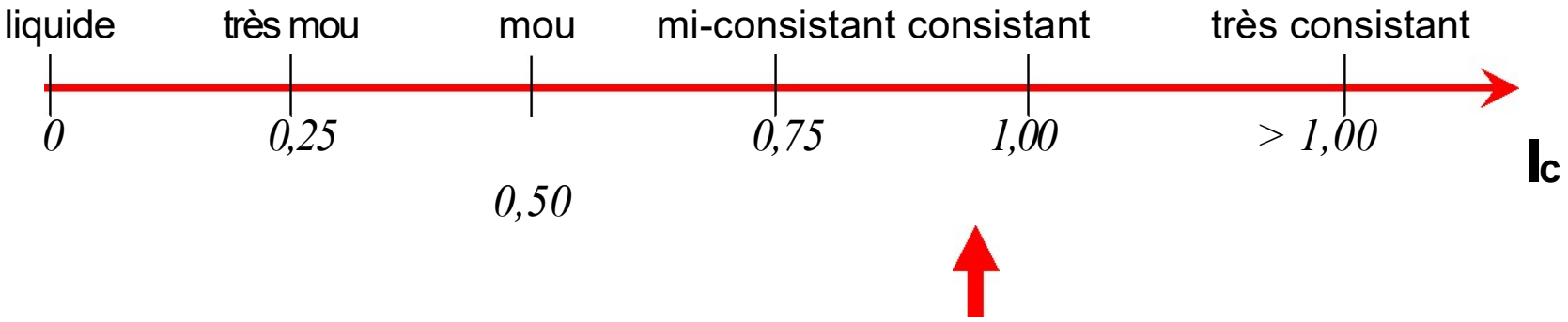
Habituellement

w_p < teneur en eau des sols en place = W_n < W_L

6.1.4 Indice de consistance I_c

$$I_C = \frac{W_L - W_n}{I_p}$$

sol en place par rapport à l'état liquide



6.1.5 Ordre de grandeur

Nature	W_L (%)	W_P (%)	I_P (%)
Limon	24	17	7
Argile limoneuse peu plastique	40	24	16
Argiles plastiques	114	29	85
Argile de Mexico	500	125	375
Bentonite	710	54	656

6.2 Activité

$$A_c = \frac{I_p}{\text{teneur en argile}}$$

$$\text{teneur en argile} = \frac{\text{poids} < 2\mu m}{\text{poids total sec} (< 0{,}4 \text{ mm})}$$

Nature	Activité	
Kaolinite	0,38	(inactive)
Illite	0,9	(normale)
Montmorillonite	7,2	(active)

6.3 Valeur de bleu de méthylène

Argilosité d'un sol

Quantité de bleu de méthylène pouvant s'adsorber sur les particules argileuses

↳ *importance de la surface spécifique*

- Tant que le bleu de méthylène est absorbé, il ne colore pas l'eau.
- On le vérifie en déposant une goutte sur un papier buvard: le centre de la tache est bleu vif (argile ayant absorbé le bleu) et l'auréole de la tache reste incolore.
- A partir d'une certaine dose de bleu, l'auréole se colore aussi : c'est le signe que toute l'argile a épuisé sa capacité d'absorption.

- La quantité de bleu consommée est donc une indication de la quantité d'argile.
- La valeur de bleu (VBS) s'exprime par la quantité de bleu en grammes consommée par 100 grammes de fines.



7- Autres essais

7.1 Analyse minéralogique

Diffraction des rayons X

↳ *composition minéralogique*

7.2 Teneur en matière organique

↳ *rétention d'eau, compressibilité*

7.3 Teneur en carbonate de calcium

Teneur en CaCO3 (%)	Désignation géotechnique	
0 - 10	Argile	
10 - 30	Argile marneuse	Sols
30 - 70	Marne	
70 - 90	Calcaire marneux	
90 - 100	Calcaire	Roches

8- Classification des sols

8.1 Sols à granulométrie uniforme

8.2 Sols à granulométrie non uniforme

8.2.1 Sols grenus

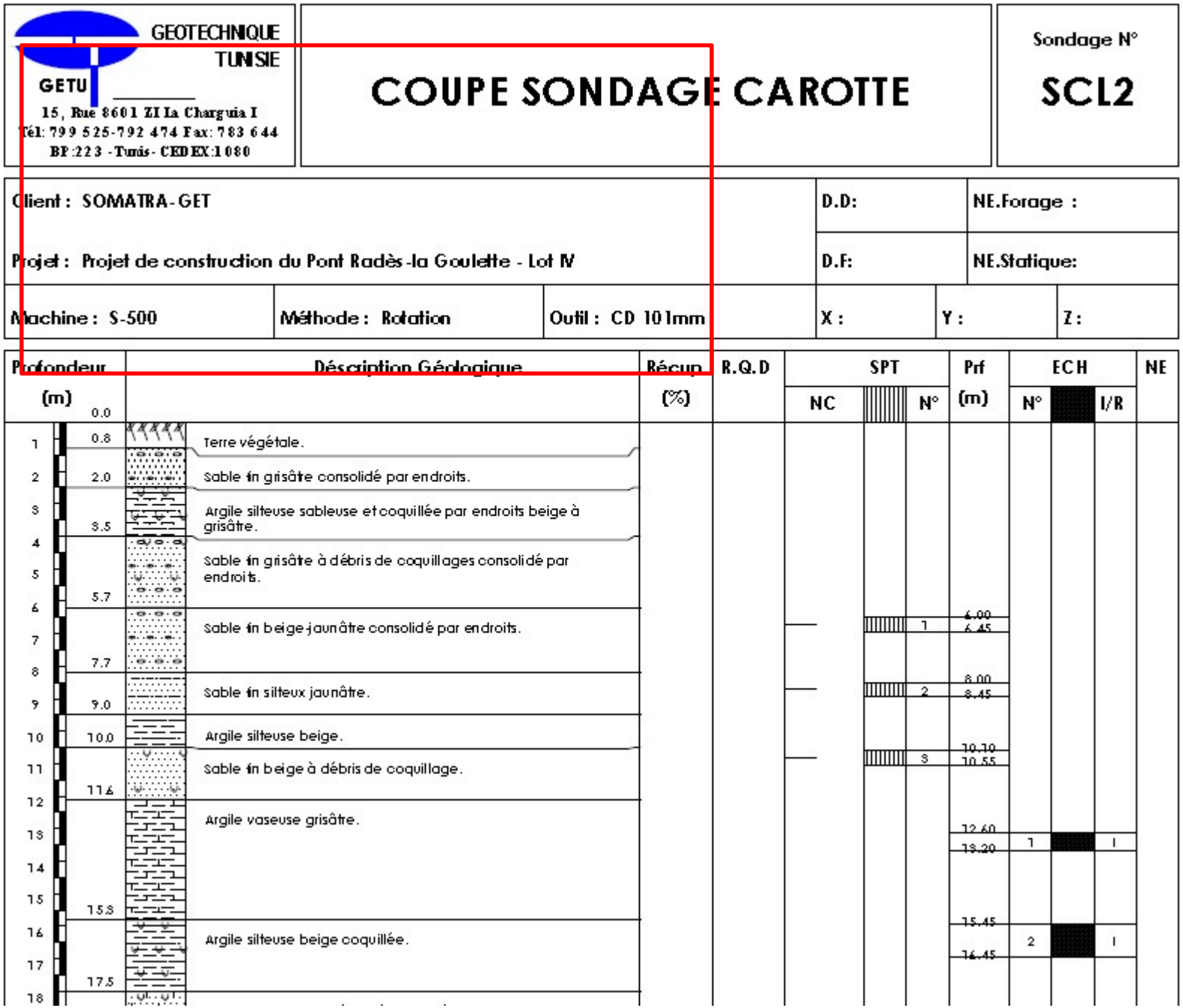
8.2.2 Sols fins

8.3.3 Sols organiques

- Classification : rattachement à un groupe de sols de caractéristiques semblables

- Nombreuses classifications dans différents pays
  - USCS
  - AASHTO
  - LPC
  - GTR *(remblais et couches de forme)*

Exemple de sondage



GEOTECHNIQUE TUNISIE
GETU
15, Rue 8601 ZI La Charguia I
Tél: 799 525-792 474 Fax: 783 644
BP:223 -Tunis- CEDEX:1080

COUPE SONDAGE CAROTTE

Sondage N°
SCL2

Client : SOMATRA-GET
D.D:
NE.Forage :

Projet : Projet de construction du Pont Radès-la Goulette - Lot IV
D.F:
NE.Statique:

Machine : S-500
Méthode : Rotation
Outil : CD 101mm
X :
Y :
Z :

Profondeur (m)	Description Géologique	Récup (%)	R.Q.D	SPT NC	SPT N°	Prf (m)	ECH N°	ECH	ECH I/R	NE
0.0										
0.8	Terre végétale.									
2.0	Sable fin grisâtre consolidé par endroits.									
3.5	Argile silteuse sableuse et coquillée par endroits beige à grisâtre.									
5.7	Sable fin grisâtre à débris de coquillages consolidé par endroits.									
7.7	Sable fin beige-jaunâtre consolidé par endroits.				1	6.00 6.45				
9.0	Sable fin silteux jaunâtre.				2	8.00 8.45				
10.0	Argile silteuse beige.									
11.6	Sable fin beige à débris de coquillage.				3	10.10 10.55				
15.8	Argile vaseuse grisâtre.					12.60 13.20	1		1	
17.5	Argile silteuse beige coquillée.					15.45 16.45	2		1	

Classification GTR

CLASSE	Définition	Caractéristique	Sous-classe
A	Sols fins	$D_{max} \leq 50$ mm et passant à 80 µm > 35 %	A1 à A4 selon VBS ou Ip
B	Sols sableux et graveleux avec fines	$D_{max} \leq 50$ mm et passant à 80 µm ≤ 35 %	B1 à B6 selon VBS ou Ip et tamisat
C	Sols comportant des fines et des gros éléments	$D_{max} > 50$ mm et passant à 80 µm > 12 % ou passant à 80 µm ≤ 12 % + VBS > 0,1	30 sous-classes selon VBS, Ip et tamisat à 50 mm
D	Sols insensibles à l'eau avec fines	VBS ≤ 0,1 et passant à 80 µm ≤ 12%	D1 à D3
R	Matériaux rocheux	voir la norme NF P 11-300	
F	Sols organiques et sous-produits industriels	voir la norme NF P 11-300	

D_{max} = diamètre pour lequel 95 % des grains du sol ont une dimension inférieure (soit D_{95} si la courbe granulométrique est disponible, sinon appréciation visuelle de la dimension des plus gros éléments).

Classification des sols LCPC

Classification des Sols fins

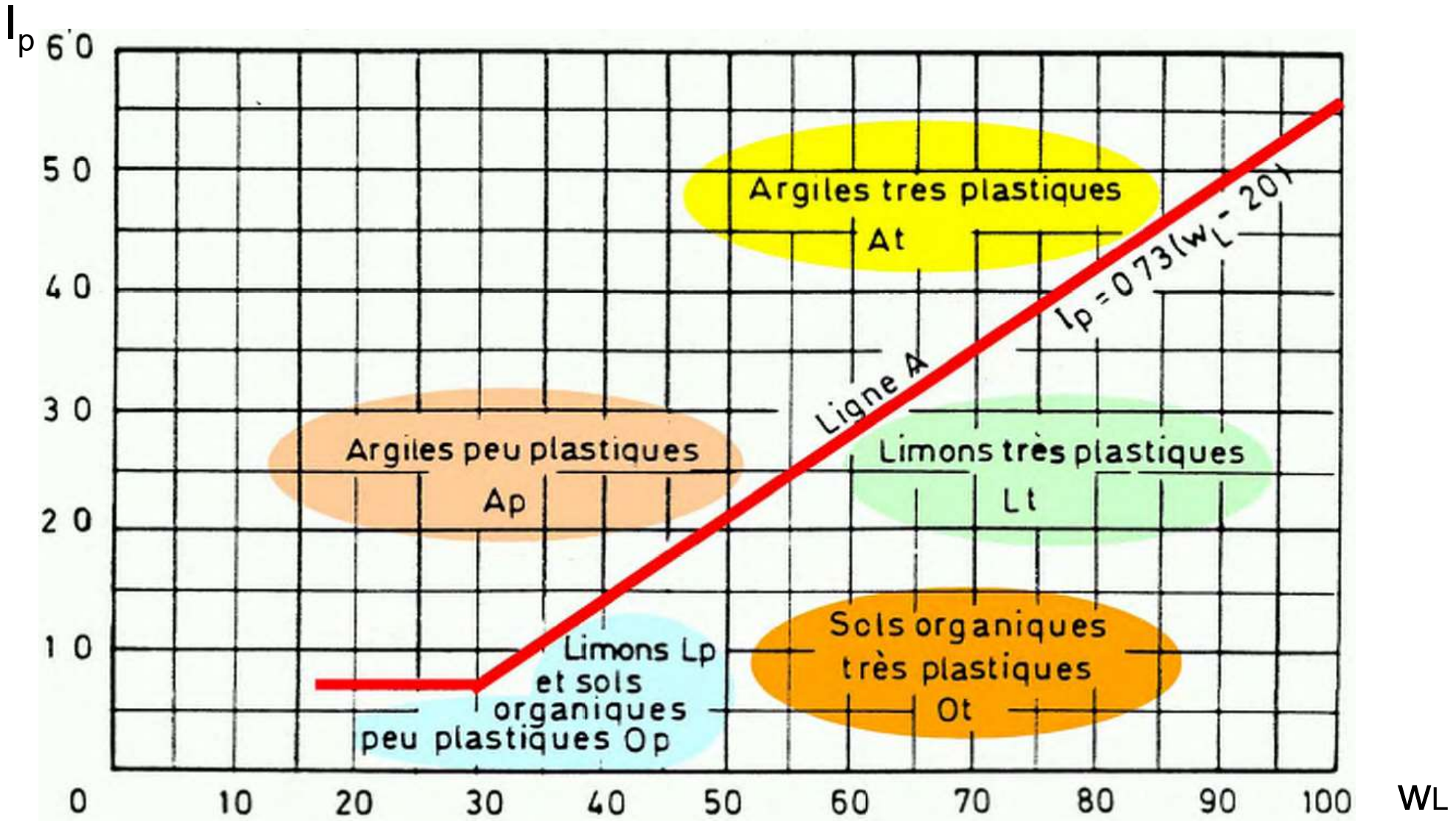
(plus de 50% des éléments ont un diamètre < 0,080 mm)

Classification des Sols grenus

(plus de 50% des éléments ont un diamètre > 0,080 mm)

Classification des Sols fins

(plus de 50% des éléments ont un diamètre < 0,080 mm)



Classification des Sols grenus

(plus de 50% des éléments ont un diamètre > 0,080 mm)

Définitions			Symboles	Conditions	Désignation géotechnique
GRAVES	Plus de 50 % des éléments > 0,08 mm ont un diamètre > 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 bien graduée
			Gm	Une des conditions de Gb non satisfaite	grave propre mal graduée
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	GL	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A (fig. 2)	grave limoneuse
			GA	Limite d'Atterberg au-dessus de la ligne A	grave argileuse
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 bien gradué
			Sm	Une des conditions de Sb non satisfaite	sable propre mal gradué
		plus de 12 % d'éléments < 0,08 mm	SL	Limite d'Atterberg au-dessous de la ligne A	sable limoneux
			SA	Limite d'Atterberg au-dessus de la ligne A	sable argileux

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

Classification des Sols organiques

exemple : Von Post

Teneur en matière organique (%)	Désignation géotechnique		
0 - 3	Sol inorganique		
3 - 10	Sol faiblement organique	fO	Vase
10 - 30	Sol moyenne organique	mO	Sol tourbeux
> 30	Sol très organique	tO	Tourbe

Etude des sols

- Chapitre I
  Propriétés physiques des sols **– Compactage des Sols**

- Chapitre II
  Contraintes dans les sols

- Chapitre III
  Hydrauliques des sols

- Chapitre IV
  Tassement et Consolidation

COMPACTAGE DE SOLS







Compacter un sol en place, un remblai, une plate-forme, une couche de forme, un corps de chaussée, un noyau de barrage en terre, un enrobé,…

Pourquoi ? → Objectifs=?

Comment ? → Procédure=?

Objectifs poursuivis par le compactage

	Remblai	Couche de forme	Assise de chaussée	Enrobé de chaussée	Enrobé d'étanchéité	Plate-forme pour ouvrage	Noyau de barrage en terre	Corps de barrage en terre
Minimisation ou suppression des tassements	P	S	S	P	A	P	P	S
Suppression des tassements différentiels	« E »					« E »		
Amélioration des Caractéristiques mécaniques	S	P	« E »	« E »	P	« E »	P	« E »
Diminution de l'attrition			S	S				
Diminution de la perméabilité	A	A	S	P	« E »		« E »	

E : objectif essentiel : celui pour lequel on compacte
S : objectif secondaire : effet induit recherché
P : objectif principal : idem mais pas le plus important
A : objectif accessoire : effet induit non recherché

un sol ayant un poids volumique sec γ_d = 15 kN/m^3
un degré de saturation Sr = 40 %.
Lors du compactage, γ_d augmente de 20%.
le poids volumique γ_s des grains solides (γ_s =27 kN/m^3),

déterminer la teneur en eau initiale du sol ainsi que l'augmentation Sr du sol due au compactage

Essai Proctor Standard

- Propriétés de l'équipement:

$m_{marteau}$ = 2,495 kg

h_{chute} = 304,88 mm

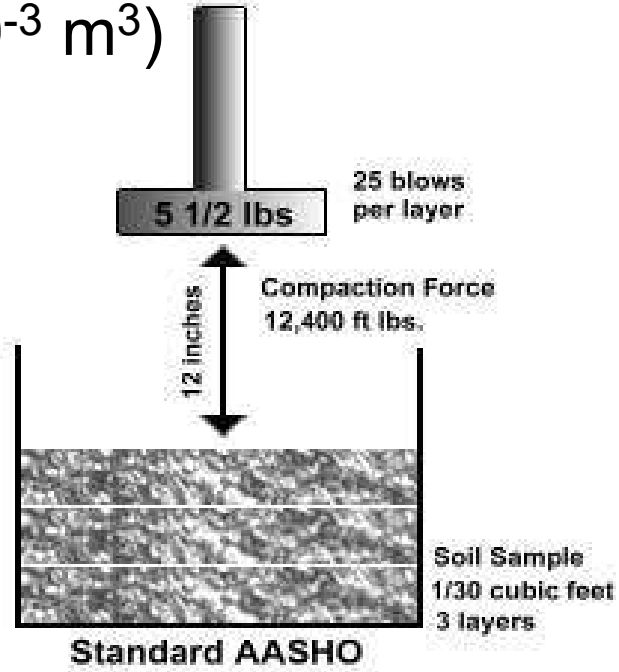
V_{moule} = 1 L (0,944 • 10^{-3} m^3)



- Essai Proctor Standard:

→ 3 couches de sol

→ 25 coups par couche





- Énergie de compactage/unité de V

$$E_{comp} = \frac{m_{marteau} \cdot g \cdot h_{chute} \cdot nb_{couche} \cdot {}^{nb_{coup}}/_{couche}}{V_{moule}}$$

$$= \frac{2{,}495\ kg \cdot 9.81\ m/s^2 \cdot 0{,}3048\ m \cdot 3\ couches \cdot 25\ coups/couche}{0{,}944 \cdot 10^{-3}\ m^3}$$

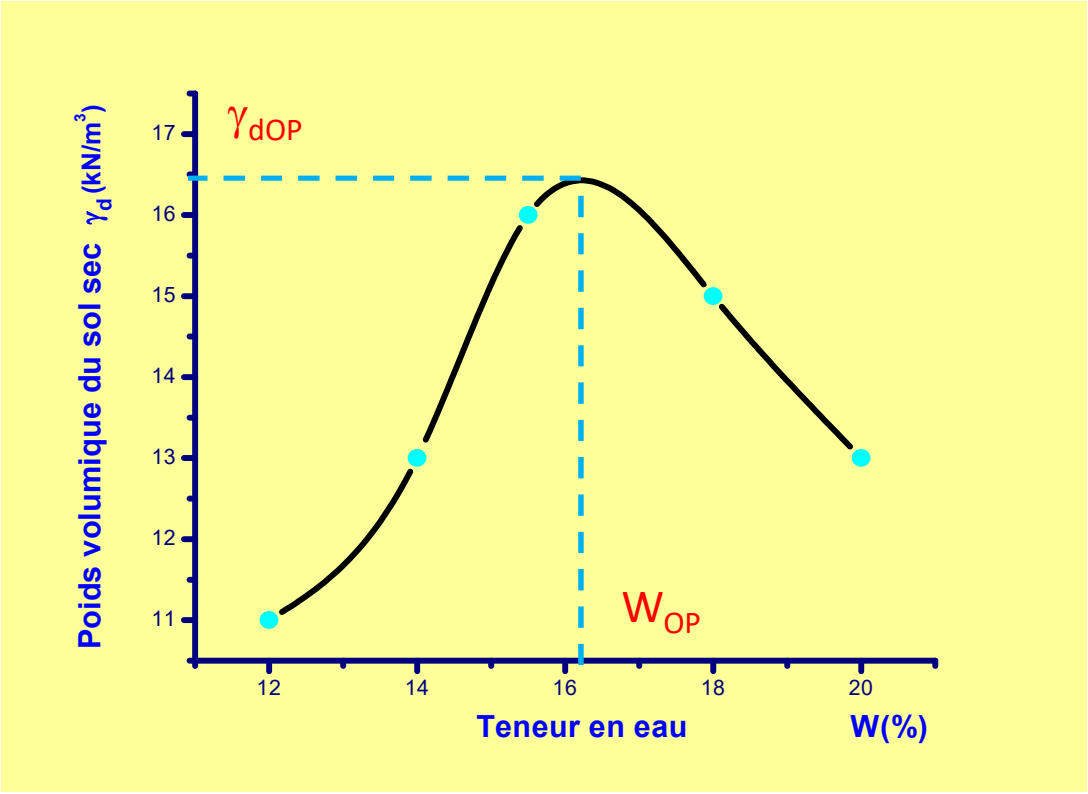
$$= 592{,}7\ kJ/m^3$$

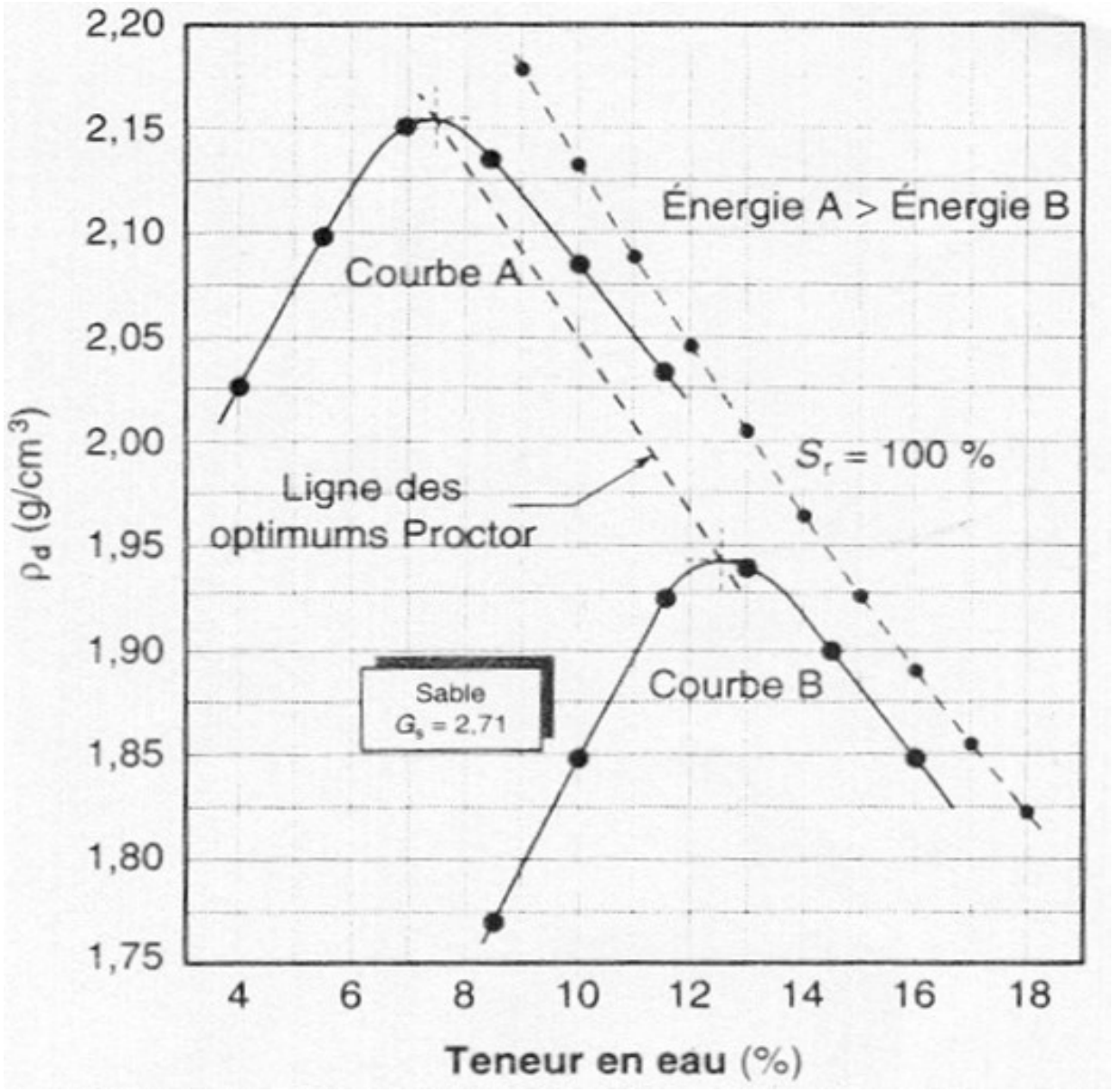
Courbe Proctor

Un matériaux donné (sol traité ou non, GNT, GC,..)

Energie de compactage d'intensité donné

Compacité max, Porosité min: W_{OP} et γ_{dOP}





Lignes de saturations

$$\gamma_d = \gamma_w \left[\frac{Gs}{1 + \left(\frac{w}{Sr} \right) Gs} \right]$$

Il existe 2 essais normalisés suivant la valeur de l'énergie de compactage :

L'essai Proctor Normal ou PN :

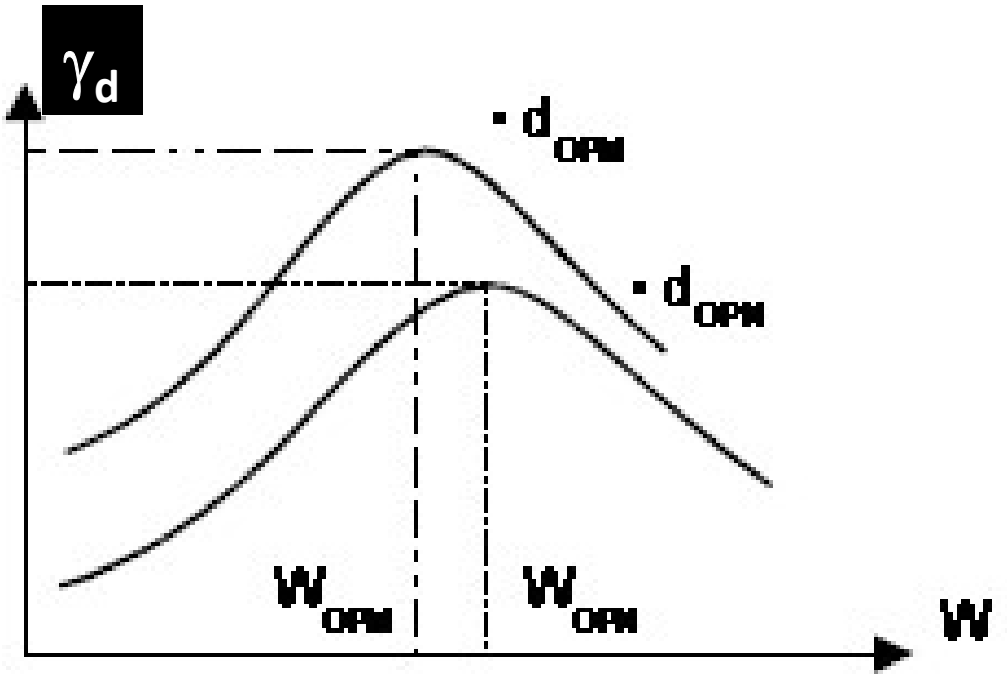
énergie de compactage modérée (600 m. kN/m3)

Servant de référence pour les opérations de compactage des ouvrages en terre, des remblais et des couches de forme

L'essai Proctor Modifié ou PM :

énergie de compactage élevée (2700 m. kN/m3)

Servant de référence pour les opérations de compactage des assises de chaussées en matériaux non bitumineux: GNT type A ou B, GC, SC.



Ordre de grandeur

Nature du sol	γ_{dmax} en kN/m³	WOP en %
Argile	20	20
Limon	17	17
Sable de rivière	16	6
Sable limoneux	19	12
Grave naturelle	20	8
Grave reconstituée	22	6

Utilisation des résultats de l’essai Proctor

Caractérisation de l’état hydrique = m - s - ts

Détermination des valeurs de référence pour les opérations de compactage

Caractérisation de l'état hydrique = m - s - ts

Le GTR utilise les résultats de l'essai Proctor Normal →

Caractériser l'état hydrique des sols des classes (A-B-C) avant compactage

Comparaison de Wn (fraction 0/20) avec W_{OPN}

$W_{NAT} < W_{OPN}$	**(ts) ou (s) : très sec ou sec : à humidifier avant compactage**
$W_{NAT} \approx W_{OPN}$	**(m) : état hydrique idéal : rien à modifier**
$W_{NAT} > W_{OPN}$	(h) ou (th) : humide ou très humide : à assécher avant compactage par aération, par traitement à la chaux vive

Détermination des valeurs de référence pour les opérations de compactage

Les valeurs de γ_d servent de référence « chantier » pour les opérations de compactage des couches de forme (γ_{dOPN}) et des assises de chaussée (γ_{dOPM})

→ Exemple :
si le CCTP précise Compactage de la GC à 97% OPM

cela signifie atelier de compactage devra être prévu : en tout point du chantier, le γ_d en place soit > 97% γ_{dOPM}

Loi de la résistance croissante

Amélioration des caractéristiques mécaniques = l'1 des objectifs essentiels du compactage

Compactage plus efficace → Caractéristiques mécaniques meilleures

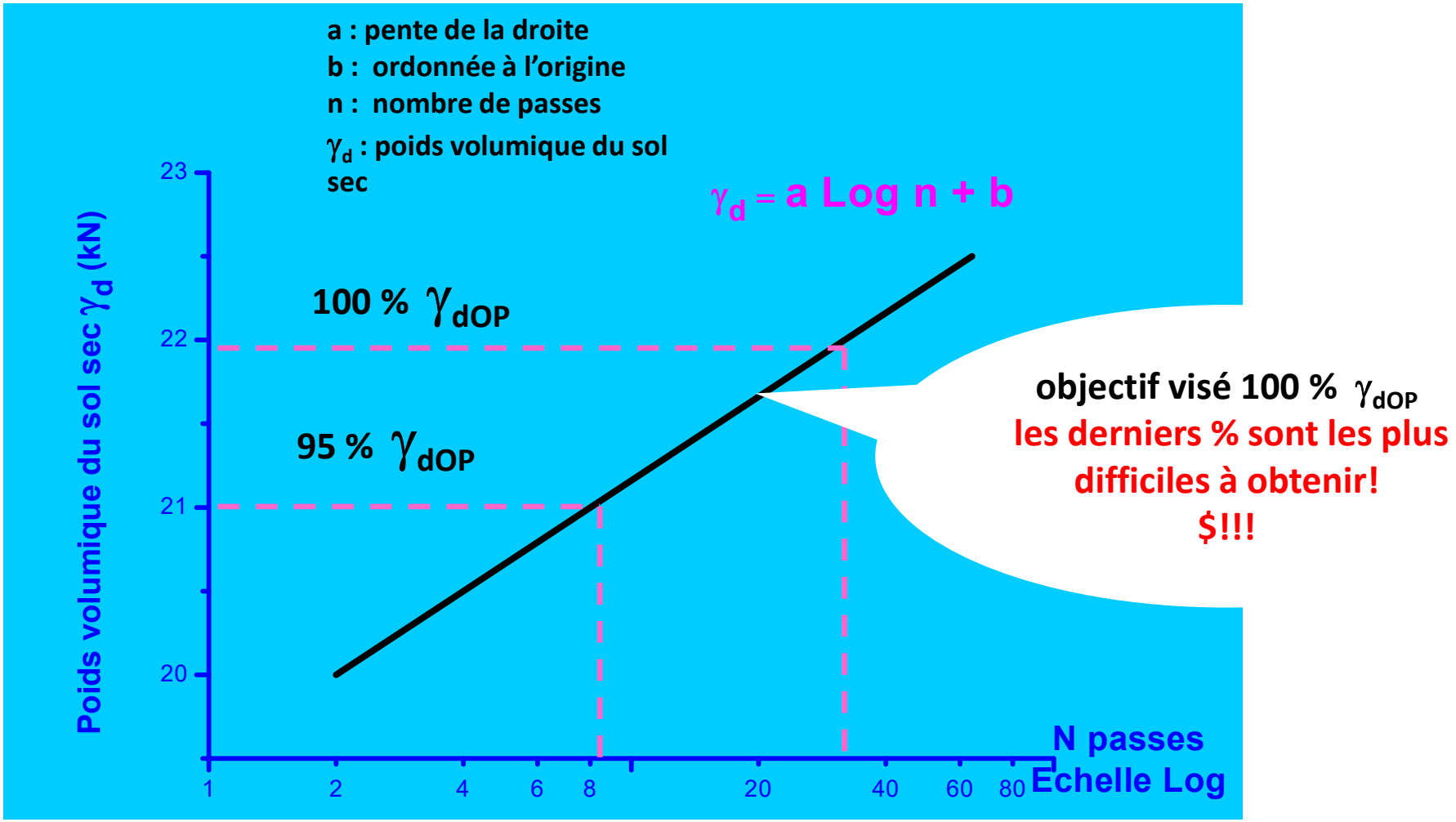
Exemple: une étude menée sur le comportement des gaves ciment montre qu'une baisse de 3% de γ_d par rapport à l'OPM entraine une chute d'environ:

18% sur la résistance à la compression
21% sur la résistance à la traction
15% sur le module de rigidité (E)
50% sur la contrainte de rupture au bout de 10^6 cycles charge/décharge (essai de fatigue)

Loi de logarithme

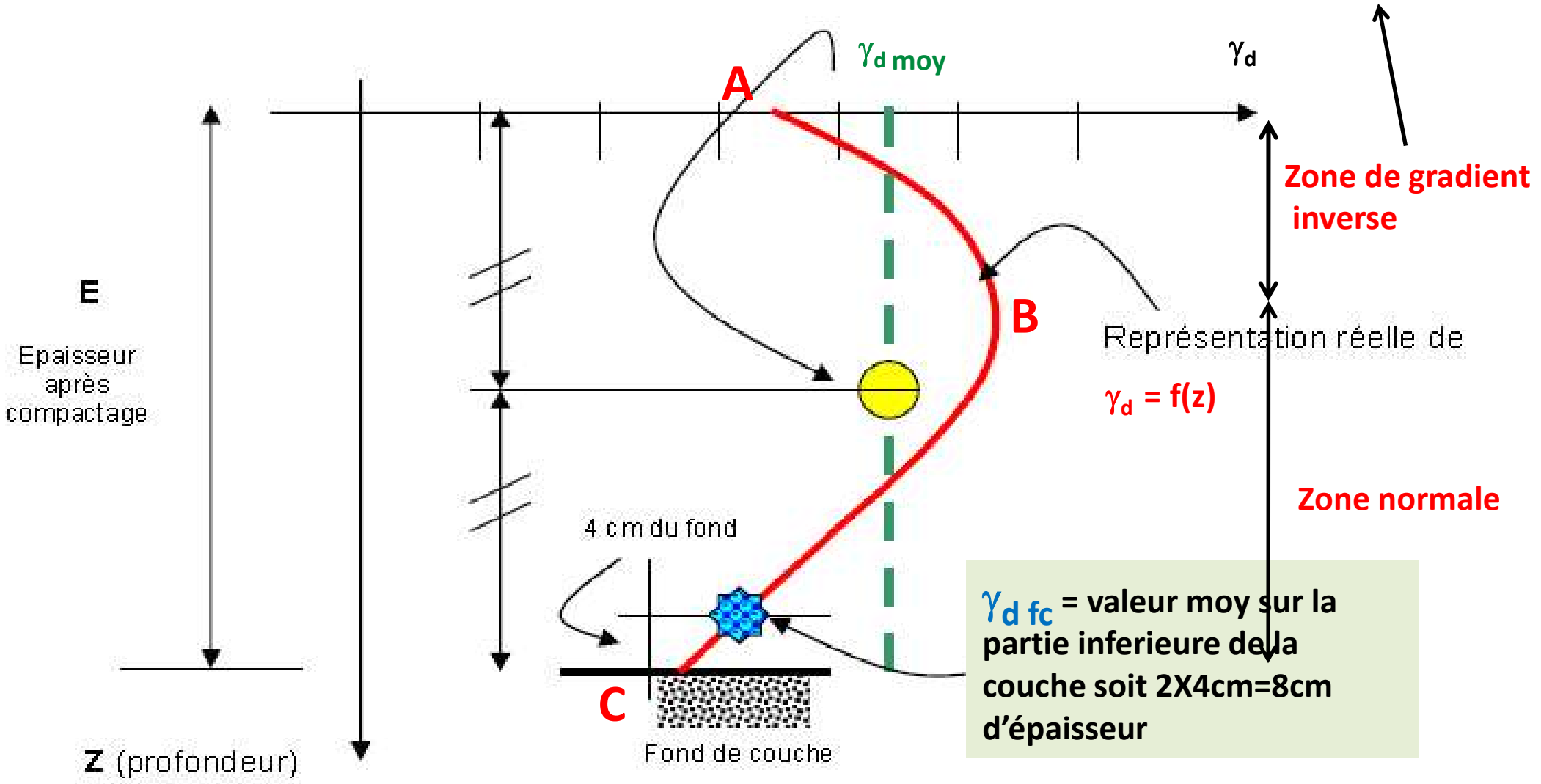
Atteindre (sur chantier) 100% γ_{dOP}

Energie de compactage : Caractéristique: type d'engins, nombre de passes,

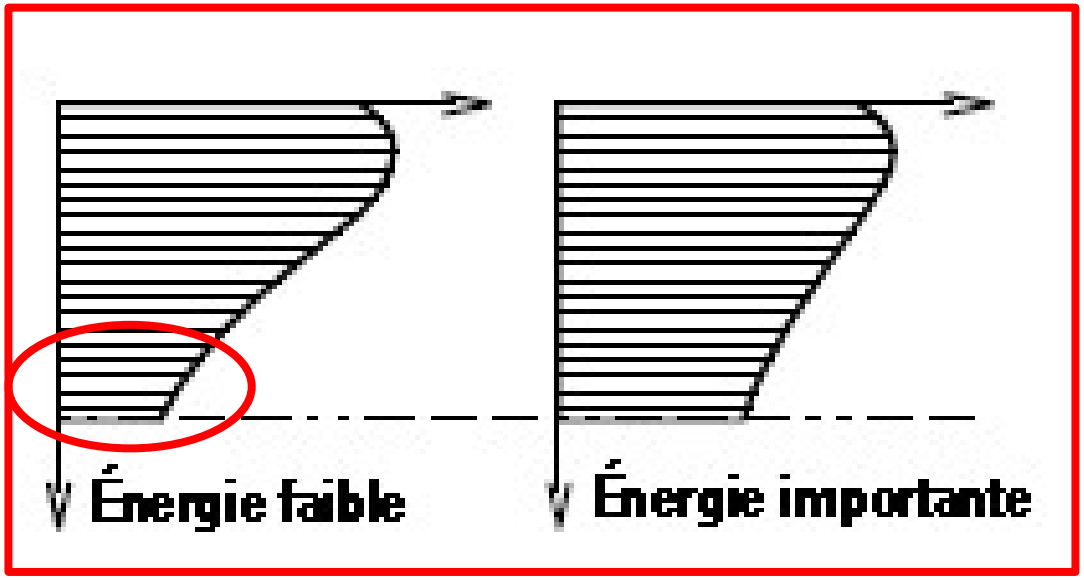


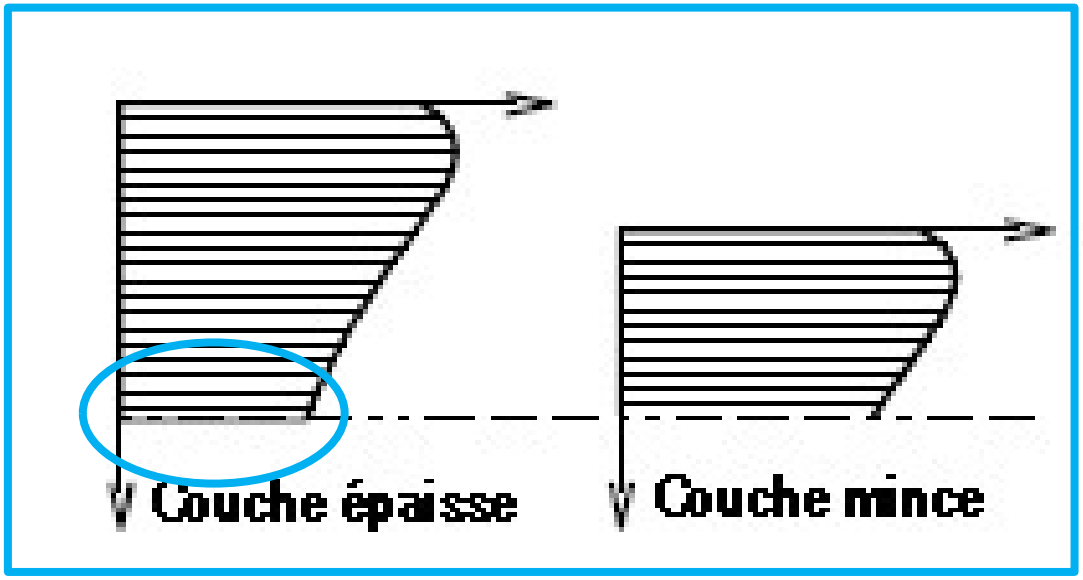
Loi du gradient densité

= zone de décompactions (n'existe pas forcément)



$\gamma_d = f(z)$

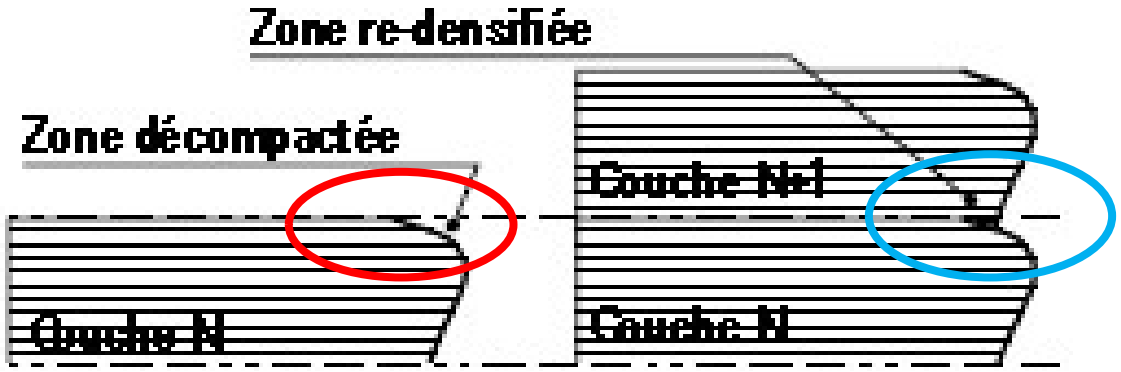




Si énergie de compactage est faible

Si couche compactée est épaisse

→ $\gamma_{d\,fc}$ est faible



Zone de gradient inverse est due aux efforts horizontaux (cisaillement) engendrés par les déplacements des engins de compactage

La partie superficielle décompactée d'une couche se re-densifie lorsqu'on compacte la couche suivante

Problème de la dernière couche demeure : Finition par quelques passes d'un compacteur pneu

→

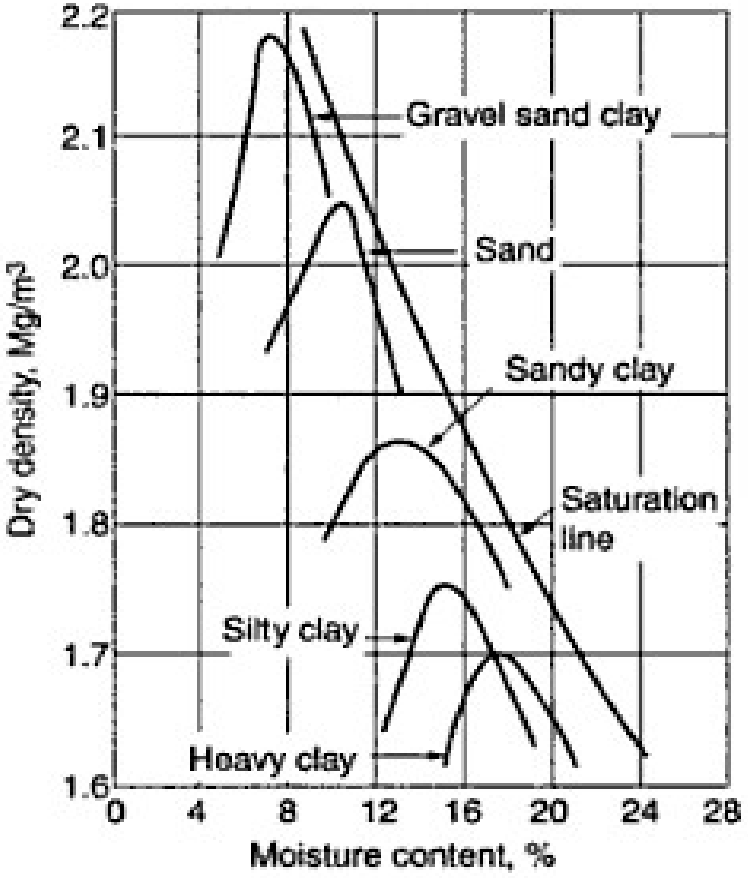
Sachant que le $\gamma_{d\,fc}$ très forte influence sur la durée de vie de chaussée

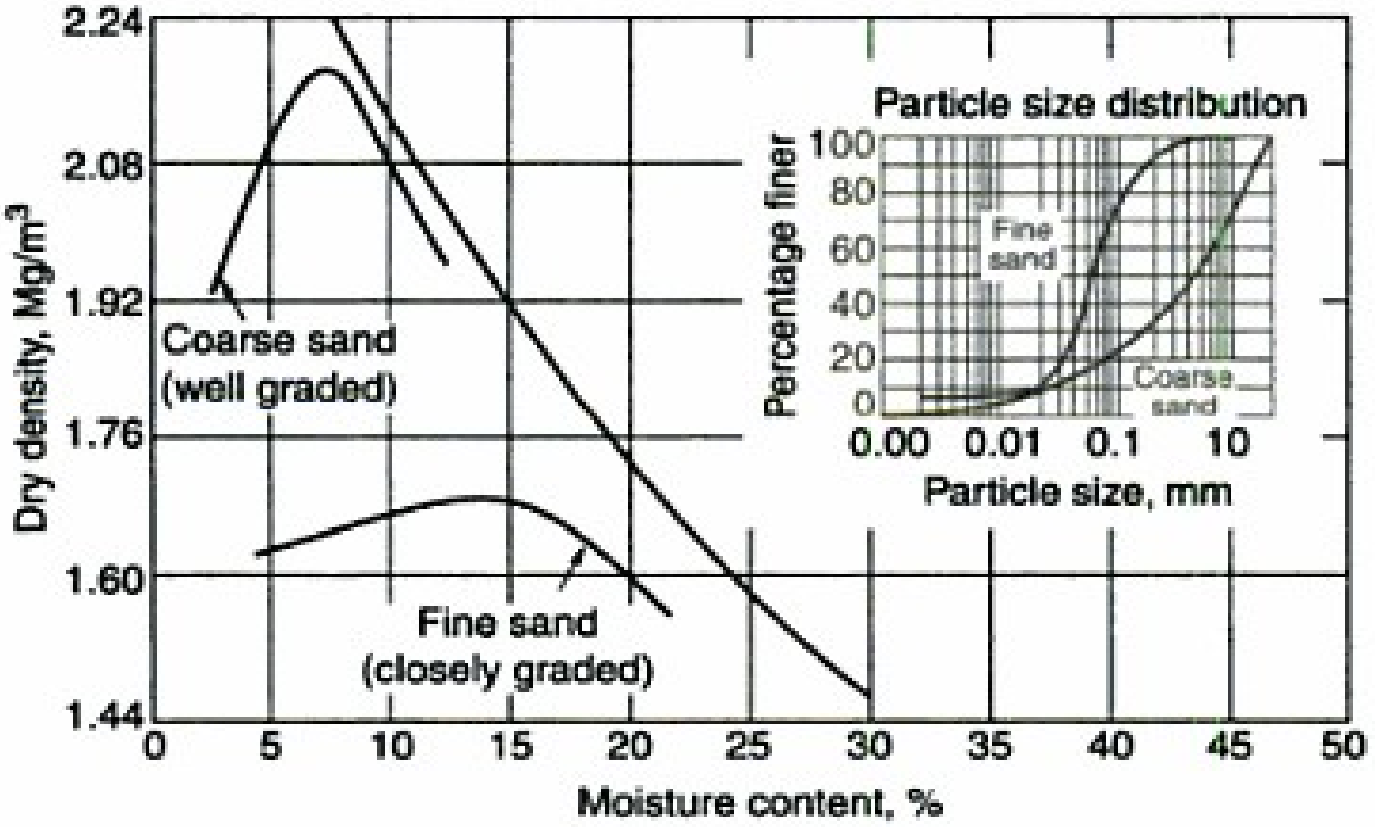
Et pour éviter d'avoir $\gamma_{d\,fc}$ trop faible,

soit diminuer l'épaisseur de la couche

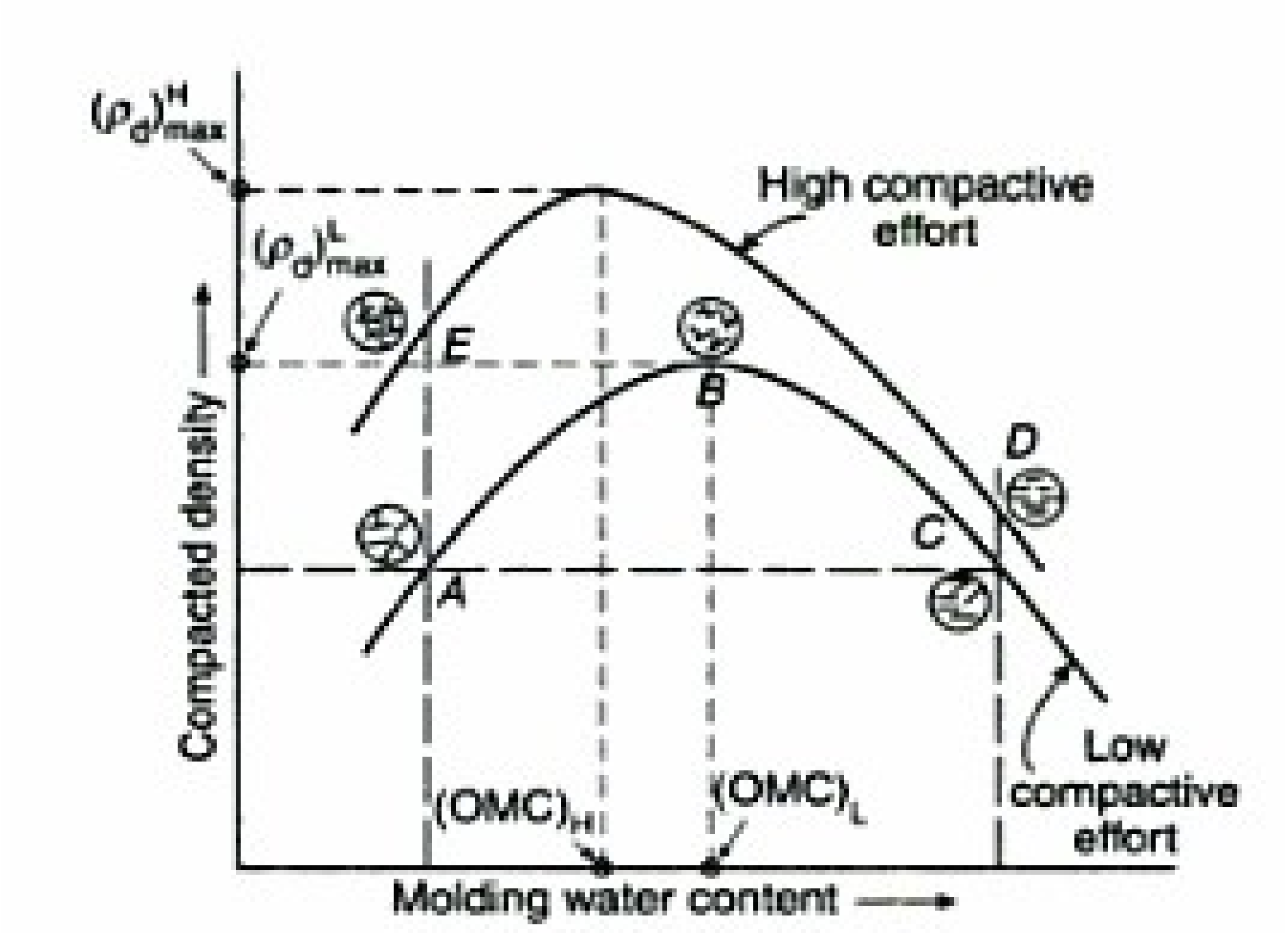
Soit utiliser un compacteur plus puissant (solution préférable)

IMPACT DE LA NATURE DU SOL





EFFET DE L'EFFORT DU COMPACTAGE



Effect of compactive effort (lambe, 1962)

Les niveaux de qualité de compactage

Pour les travaux routiers, (GTR), il existe 4 niveaux de qualité

q_1 qui correspond ce qui est ordinairement requis pour une **couche de base**

q_2 qui correspond ce qui est ordinairement requis pour une **couche de fondation**

q_3 qui correspond ce qui est ordinairement requis pour une **couche de forme**

q_4 qui correspond ce qui est ordinairement requis pour un **remblai**

chaussée

Terrassement

q_1 correspond à $\gamma_{dmoy} \geq 100\ \% \gamma_{dOPM}$ et $\gamma_{dfc} \geq 98\% \gamma_{dOPM}$

q_2 correspond à $\gamma_{dmoy} \geq 97\ \% \gamma_{dOPM}$ et $\gamma_{dfc} \geq 95\% \gamma_{dOPM}$

q_3 correspond à $\gamma_{dmoy} \geq 98{,}5\ \% \gamma_{dOPN}$ et $\gamma_{dfc} \geq 96\% \gamma_{dOPN}$

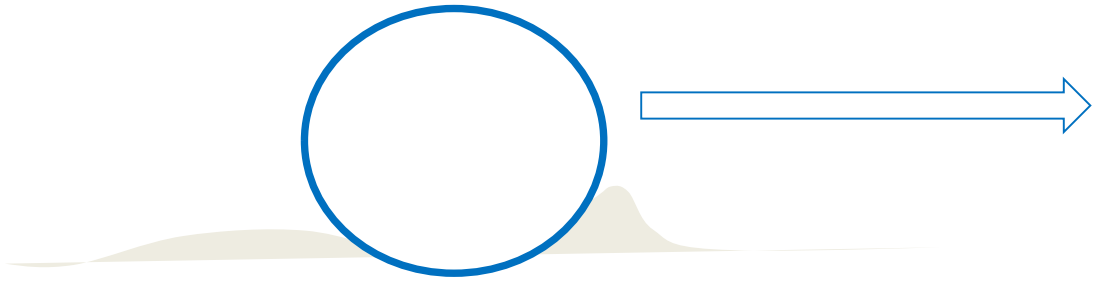
q_4 correspond à $\gamma_{dmoy} \geq 95\ \% \gamma_{dOPN}$ et $\gamma_{dfc} \geq 92\% \gamma_{dOPN}$

Le phénomène de matelassage

Sol limoneux ou sable argileux à wn élevée + compactage

Nombre de passes assez élevée → **Phénomène de matelassage**

= sol s'affaisse sous l'engin, reflue en créant une sorte de vague, qui avance devant lui. Aussitôt après son passage, le sol qui vient de s'affaisser se regonfle



Solution:

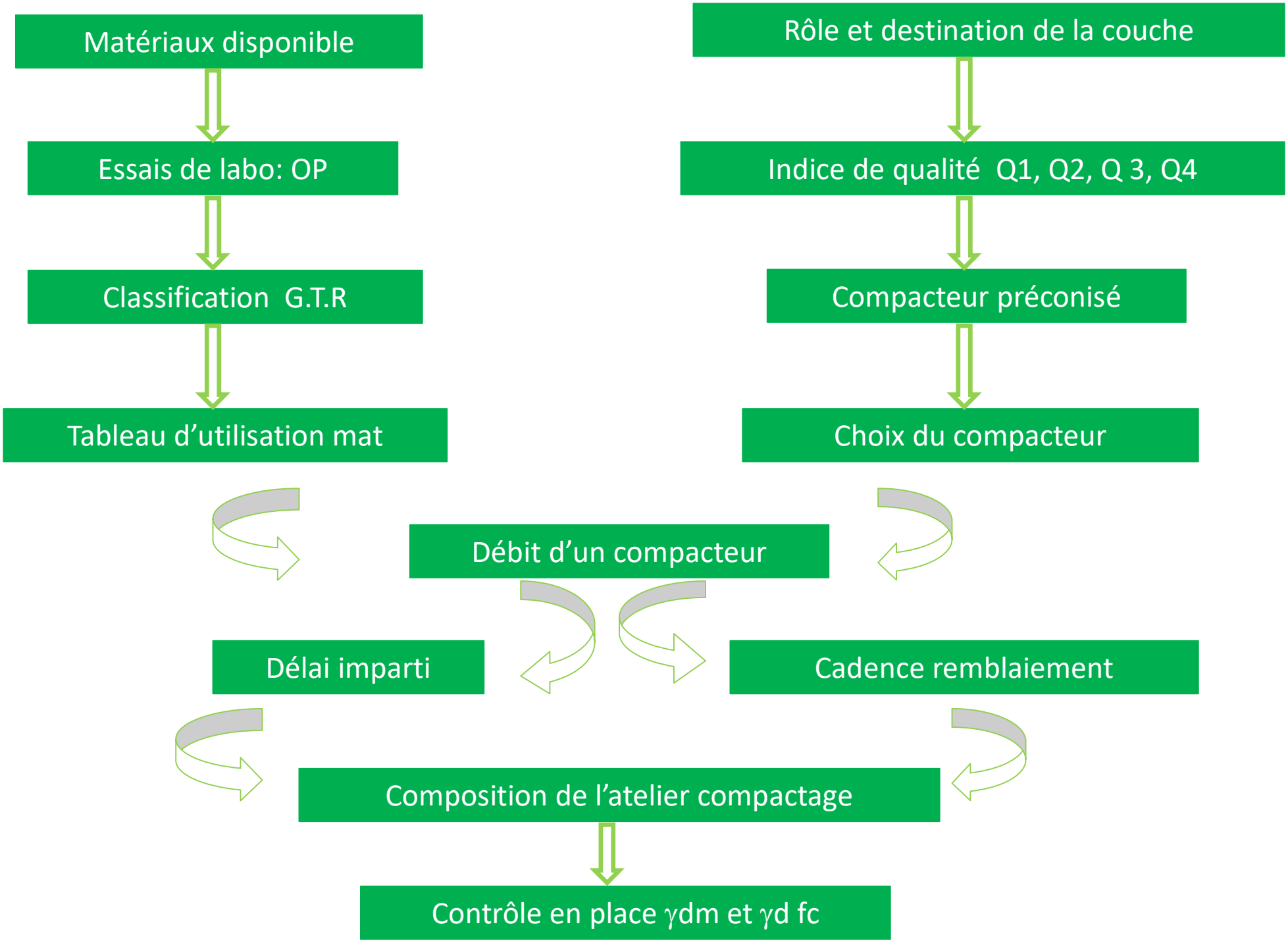
Cesser le compactage car le phénomène continue indéfiniment (s'amplifiant):

- S'il s'agit d'un sol remblai: le mieux est d'arrêter l'opération car le γ_d atteint est suffisant pour le corps du remblai

- S'il s'agit de PST (remblai) ou si une portance minimale est recherchée:

Il faut diminuer w par aération ou effectuer une purge (remplacement du matériaux de la zone contaminée)

CONCLUSION


Matériaux disponible
Essais de labo: OP
Classification G.T.R
Tableau d'utilisation mat
Rôle et destination de la couche
Indice de qualité Q1, Q2, Q 3, Q4
Compacteur préconisé
Choix du compacteur
Débit d'un compacteur
Délai imparti
Cadence remblaiement
Composition de l'atelier compactage
Contrôle en place γdm et γd fc

Contrôle sur Chantier (contrôle continu)

- **La teneur en eau du matériaux**
- **L'épaisseur de la couche compactée ou à compacter**
- **(la régularité de e est conditionnée par la qualité de surfaçage de la couche support**
- **L'atelier de compactage et son fonctionnement:**
- **Vérification de la présence des engins**
- **Vérification des caractéristiques des engins: charge par roue, pression de gonflage,**
- **fréquence de vibration, lest**
- **Vérification du nombre de passes, de la vitesse, de la distance parcourue,**
- **du plan de balayage**

- **Le matériaux après compactage**
  réalisation de prélèvement pour, contrôler la teneur en eau
  contrôle de γ en place: gamma-densimètre, compactomètre





Gamma densimètre



Compactomètre

