

**« construction en terre »**  
**focus sur la fabrication et la construction**  
**en blocs de terre compressée**

**5 – essais d'identification des sols**

# Construire en Terre ... est POSSIBLE

- Les conditions du succès :
  - Comprendre la raison de la grande diversité des constructions en terre
    - Variété des matériaux et des techniques
  - Impliquer toute la filière
    - Travailler sur l'intelligence collective
    - Mettre en place un contrôle qualité à toutes les échelles (bâtiment, paroi, matériau)

# Les différents essais

- Essais courants
  - Analyse granulométrique par tamisage
  - Sédimentométrie
  - Limites d'Atterberg
  - Essai au bleu de méthylène

# Les différents essais

- Essais non courants
  - Analyse granulométrique par laser (fines)
  - Equivalent de sable
  - Teneur en matière organique
  
  - Diffraction aux rayons X
  - Analyse thermique différentielle (ATD)
  - Microscopie électronique
  - ...

# Échantillonnage

- échantillon représentatif, mais le plus petit possible
  - Faire plusieurs prélèvements dans plusieurs zones d'un même gisement
  - Eviter le pied de tas de stockage où s'accumulent les gros éléments
  - Pour les sols secs très fins, humidifier légèrement pour conserver les fines

# Échantillonnage

- Quantité à prélever (règle simplifiée)
  - $200xD < M^* < 600xD$ 
    - $M^*$  en g = masse minimale à utiliser
    - D en mm = diamètre maxi des grains
- Méthode du quartage
  - À voir en TP

# Les différents essais

- Essais courants
  - Analyse granulométrique par tamisage
  - Sédimentométrie
  - Limites d'Atterberg
  - Essai au bleu de méthylène

# Essai granulométrique (tamisage)

- Objectif : Déterminer la quantité (masse) de grains
  - Par diamètre
  - jusqu'à 80 $\mu$ m
- Deux méthodes
  - Tamisage par voie humide (NFP P 94-041)
  - Tamisage à sec après lavage (NFNP P 94-056)
- Au préalable
  - Obligatoire : à déterminer avant le tamisage  
→ masse sèche (Ms) de l'échantillon

# Essai granulométrique (tamisage)

- **Matériel**
  - En général, grilles à maille carrée
  - Dimensions courantes :
    - 80 mm - 50 mm - 32 mm - 20 mm - 10 mm - 5 mm  
2mm - 1 mm - 0.4 mm - 0.2 mm - 0.08 mm (=80 $\mu$ m)
- **Tamisat :**
  - sol passant à travers le tamis
- **Refus :**
  - sol restant dans le tamis



# Essai granulométrique (tamisage)

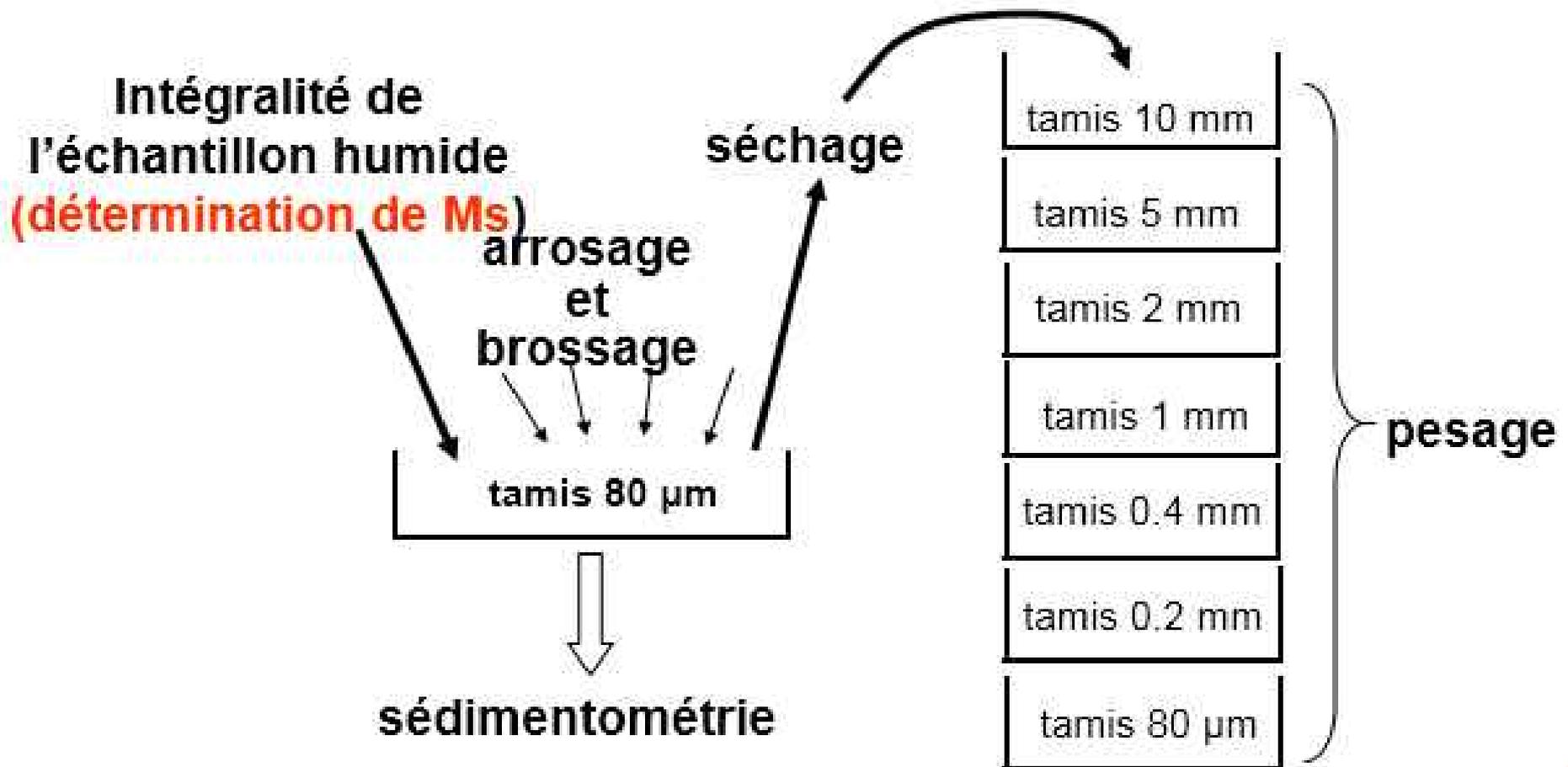
- Mode opératoire (1)
  - Calcul de la masse sèche :  $M_s$ 
    - Faire une teneur en eau :  $w$
    - Peser l'échantillon humide :  $M$
    - $M_s = M / (1+w)$
  - Tamisage par voie humide (OBLIGATOIRE)
    - Tamis de  $80\mu\text{m}$
  - Séchage des refus à  $80\mu\text{m}$  (sables et graviers)
  - Tamisage à sec des refus à  $80\mu\text{m}$
  - Pesage des refus secs

# Essai granulométrique (tamisage)



# Essai granulométrique (tamisage)

- Mode opératoire (1)



# Essai granulométrique (tamisage)

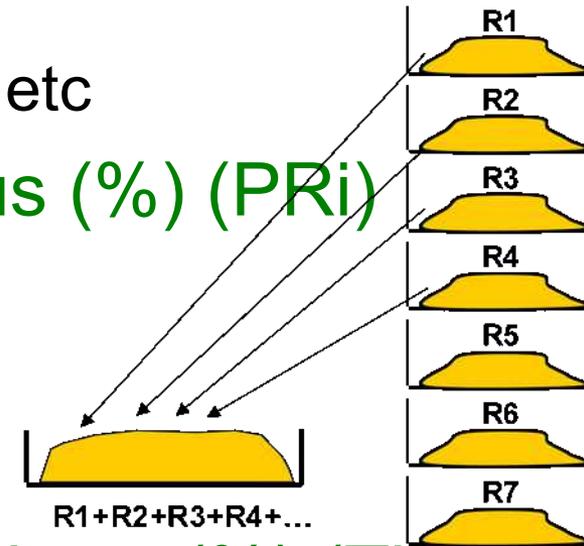
- Mode opératoire (2)

- 1- Pesage des refus cumulés ( $R_i$ )

- $R_1$ ,  $(R_1 + R_2)$ ,  $R_1 + R_2 + R_3$ , ... etc

- 2- Calcul du pourcentage des refus (%) ( $PR_i$ )

- $R_1 / M_s = PR_1$
- $(R_1 + R_2) / M_s = PR_2$
- $(R_1 + R_2 + R_3) / M_s = PR_3$  ... etc



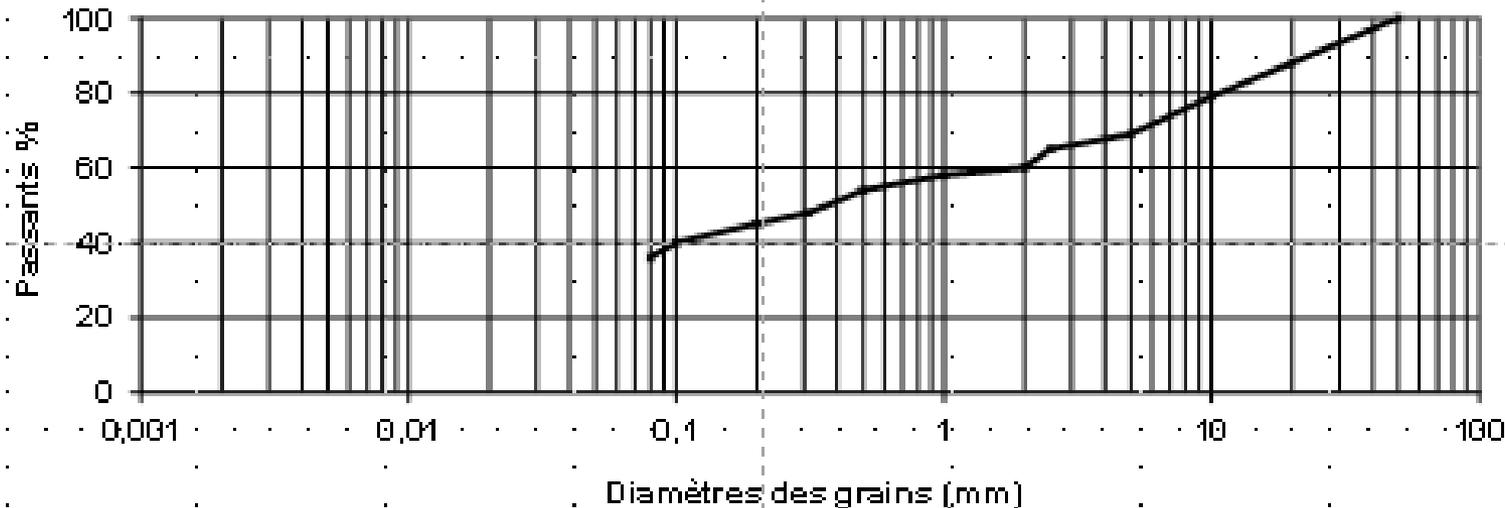
- 3- Calcul du pourcentage des tamisats (%) ( $T_i$ )

- $T_1 = 1 - PR_1$
- $T_2 = 1 - PR_2$
- $T_3 = 1 - PR_3$

# Essai granulométrique (tamisage)

- Mode opératoire (3) : courbe granulométrique ( $>80\mu\text{m}$ )

Diamètres Tamis(mm)	Refus de chaque tamis(g)	Rrefus Cumulés(g)	% des Refus cumulés	% des Passants
50	0	0	0	100
20	600	600	12	88
10	450	1050	21	79
5	500	1550	31	69
2,5	200	1750	35	65
2	250	2000	40	60
1	100	2100	42	58
0,5	200	2300	46	54
0,313	300	2600	52	48
0,2	150	2750	55	45
0,1	250	3000	60	40
0,08	200	3200	64	36



# Les différents essais

- Essais courants
  - Analyse granulométrique par tamisage
  - **Sédimentométrie**
  - Limites d'Atterberg
  - Essai au bleu de méthylène

# Sédimentométrie

- Objectif : quantifier les  $\phi$  des grains  $< 80\mu\text{m}$
- Principe
  - basé sur la loi de Stokes qui mesure la vitesse ( $v$ ) de décantation des particules **sphériques**
  - Fonction de la viscosité du milieu
  - Défloculant pour décoller les feuillets d'argile
    - solution d'hexamétaphosphate de sodium à 5%
  - Mesure de la masse volumique du liquide
    - avec un Densimètre
    - À 0.5, 2, 5, 10, 20, 40, 80 minutes, 4 et 23 heures

# Sédimentométrie

- Mode opératoire (1)
  - Essai sur échantillon de 80g, passant à  $100\mu\text{m}$



# Sédimentométrie

- Mode opératoire (1)
  - 2 éprouvettes de 2l
    - 1 avec eau + défloculant (témoin)
    - 1 avec le matériau et le défloculant (trempage 15h)
  - Agitation du matériau
  - Lecture du densimètre
    - à 0.5, 2, 5, 10, 20, 40, 80 minutes, 4 et 23 heures

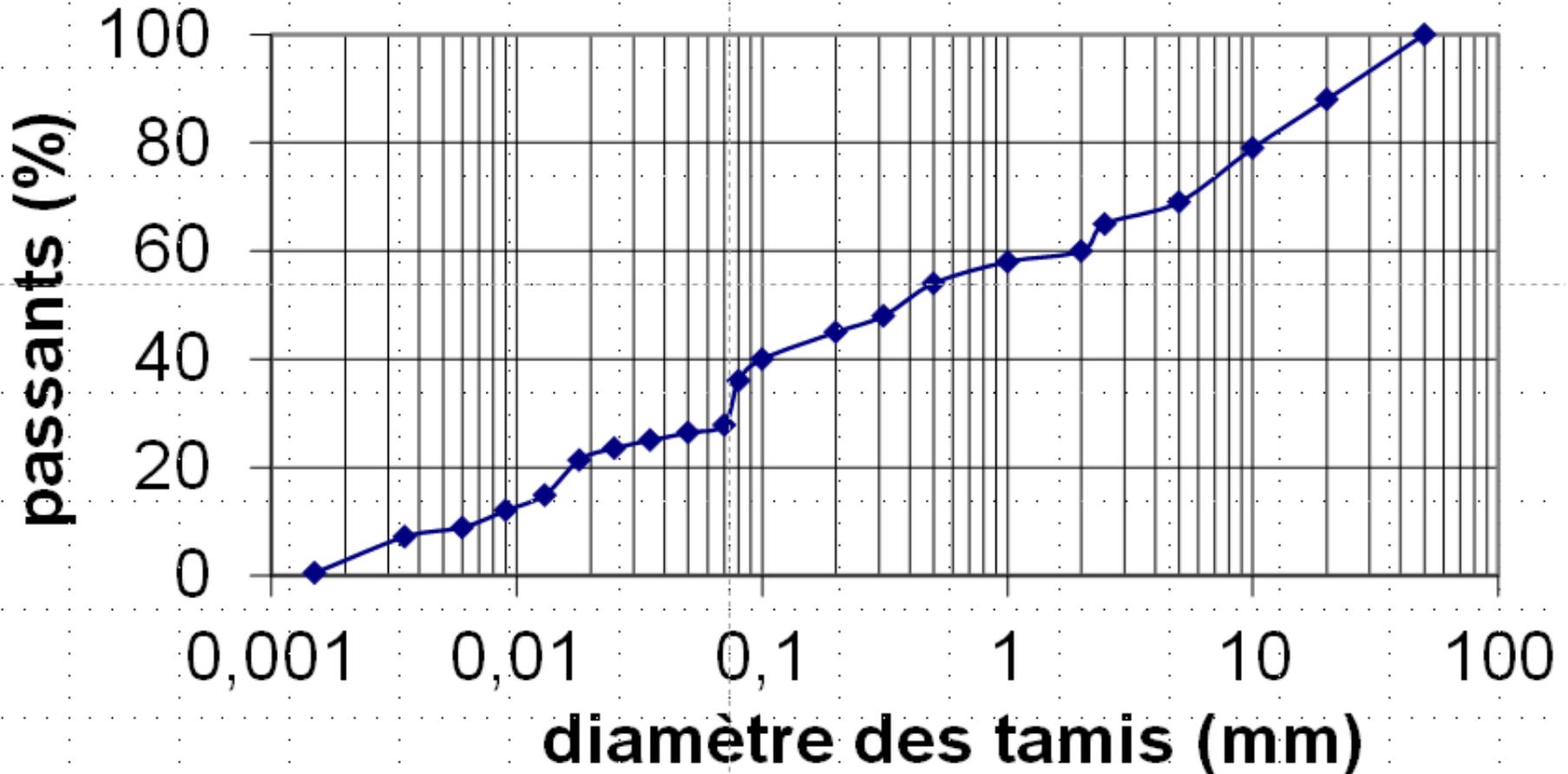
# Sédimentométrie

- Mode opératoire (2)
  - Ramener la lecture au % de passant à 80  $\mu\text{m}$

essai sédimentométrique							taille
Temperature		lecture	lecture	lecture	% des éléments	% des éléments	équivalents
C°	durée	témoin		corrigée	ds l'éprouvette	ds l'échantillon	( $\mu$ )
21,00	30"	0,36	19,7	19,4	77,4	27,9	70
21,00	1'	0,36	18,7	18,4	73,4	26,4	50
21,00	2'	0,36	17,7	17,4	69,4	25,0	35
21,00	5'	0,36	16,7	16,4	65,4	23,6	25
21,00	10'	0,36	15,2	14,9	59,4	21,4	18
21,00	20'	0,36	10,7	10,4	41,4	14,9	13
21,00	40'	0,36	8,7	8,4	33,4	12,0	9
23,00	80'	0,28	6,5	6,2	24,7	8,9	6
25,00	4h	0,22	5,2	5,0	20,0	7,2	3,5
21,00	23h	0,36	0,7	0,4	1,4	0,5	1,5
				x4-->	x36-->		

# Courbe granulométrique + sédimentométrique

- Raccord entre les 2 essais autour de 80 $\mu$ m

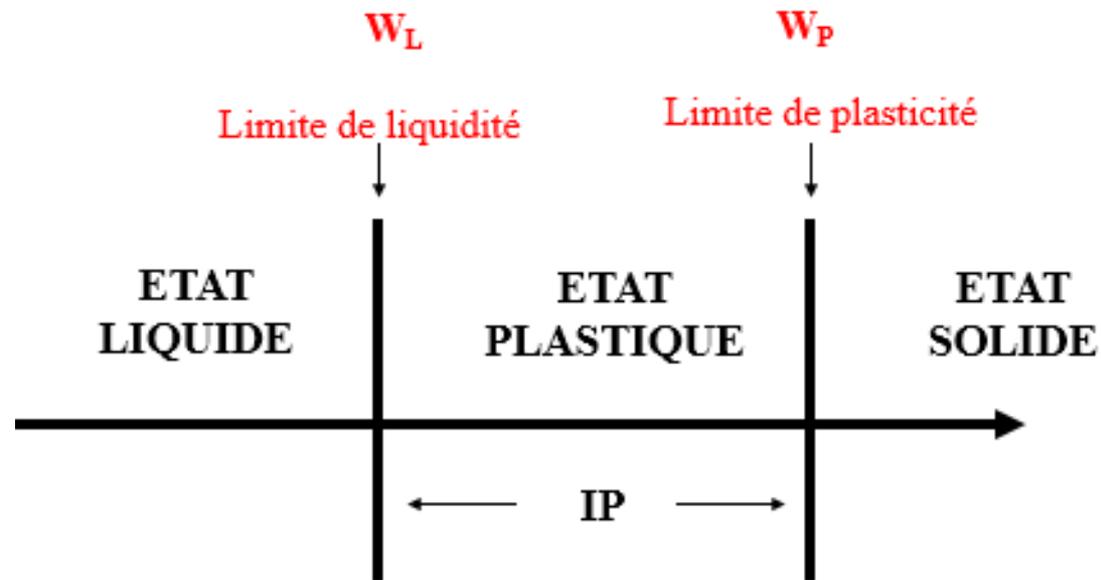


# Les différents essais

- Essais courants
  - Analyse granulométrique par tamisage
  - Sédimentométrie
  - Limites d'Atterberg
  - Essai au bleu de méthylène

# Limites d'Atterberg

- Objectif : déterminer les teneurs en eau qui caractérisent le changement d'état :
  - Solide  $\rightarrow$  Plastique :  $w_P$
  - Plastique  $\rightarrow$  Liquide :  $w_L$
  - $IP = w_L - w_P$
  - Passant à  $400\mu\text{m}$



# Limites d'Atterberg

- Mode opératoire : limite de plasticité
  - Boudin  $\phi$  3mm, qui ne casse pas
  - Mesure de sa teneur en eau (micro-ondes)



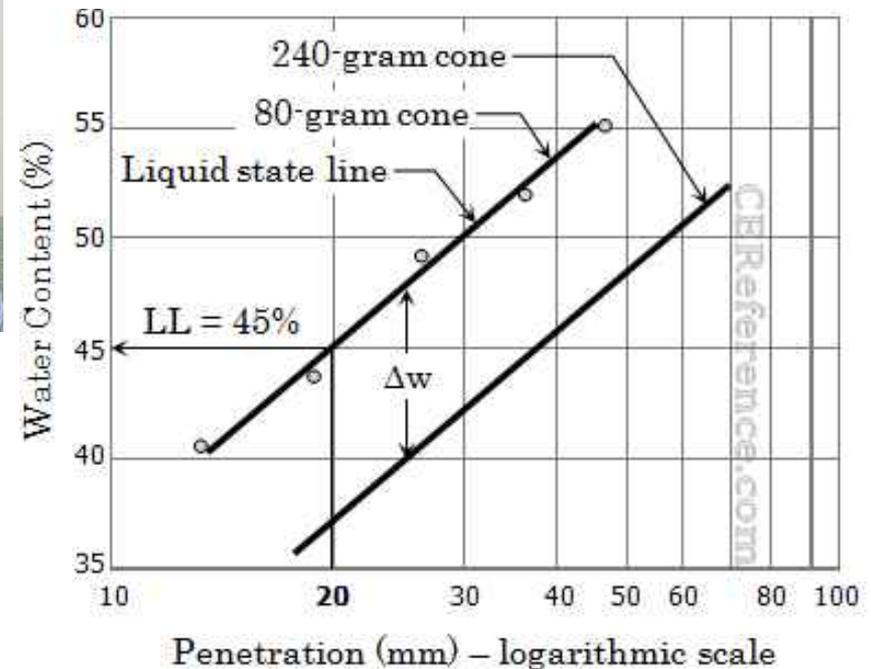
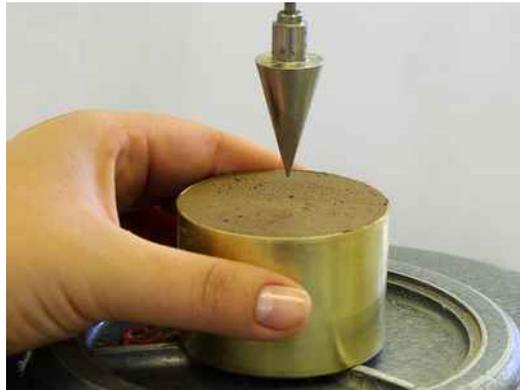
# Limites d'Atterberg

- Mode opératoire : limite de liquidité
  - Coupelle de Casagrande



# Limites d'Atterberg

- Mode opératoire : limite de liquidité
  - Pénétromètre à cone



# Limites d'Atterberg

- Exploitation de l'essai
  - IP faible : besoin de peu d'eau pour changer d'état
    - Argile qui adsorbe peu d'eau → kaolin
    - Idem pour  $w_p$  faible
  - Essai sur matériau  $< 400\mu\text{m}$ 
    - Quelle part du matériau total ?
  - $w_L$  &  $w_p$  élevés :  $> 20$ 
    - Beaucoup d'argile ou argile très active

# Les différents essais

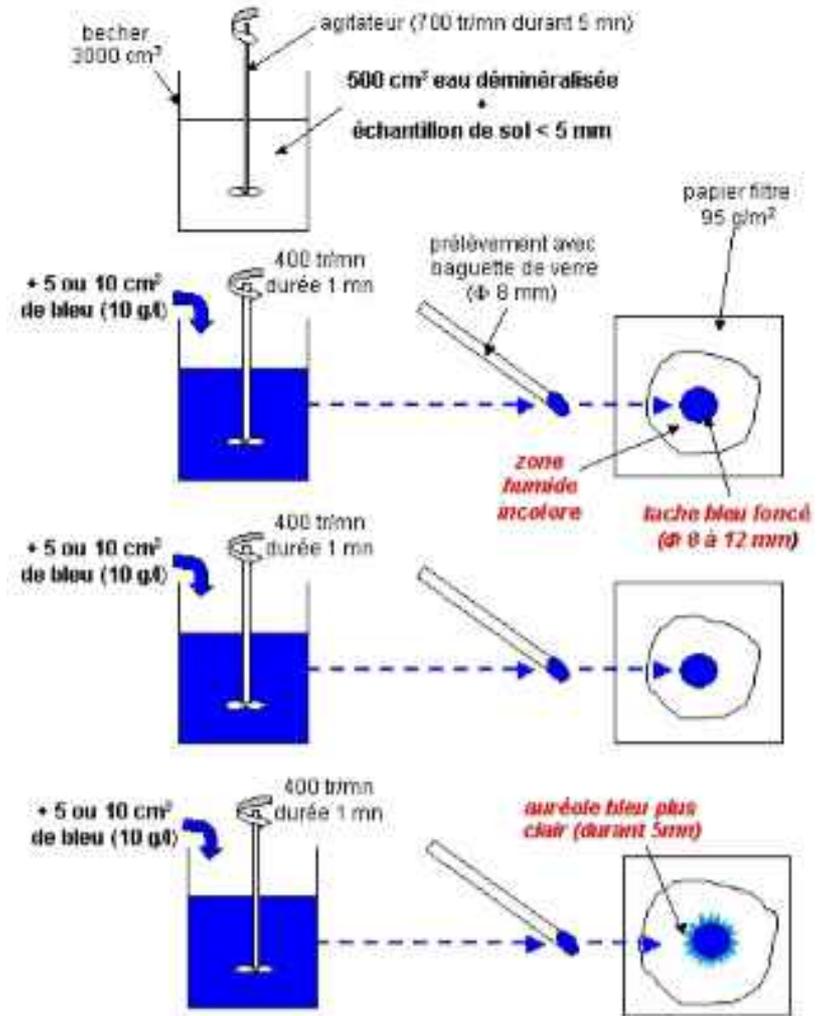
- Essais courants
  - Analyse granulométrique par tamisage
  - Sédimentométrie
  - Limites d'Atterberg
  - Essai au bleu de méthylène

# Essai au bleu de méthylène

- Objectif : évaluer la quantité et qualité de la fraction argileuse, à partir de la surface spécifique
- Principe :
  - Fraction 0/5mm du sol
  - Dosage du bleu de méthylène
    - Se fixe sur les particules d'argile
    - jusqu'à saturation
  - Valeur en g de bleu pour 100g de sol 0/50mm

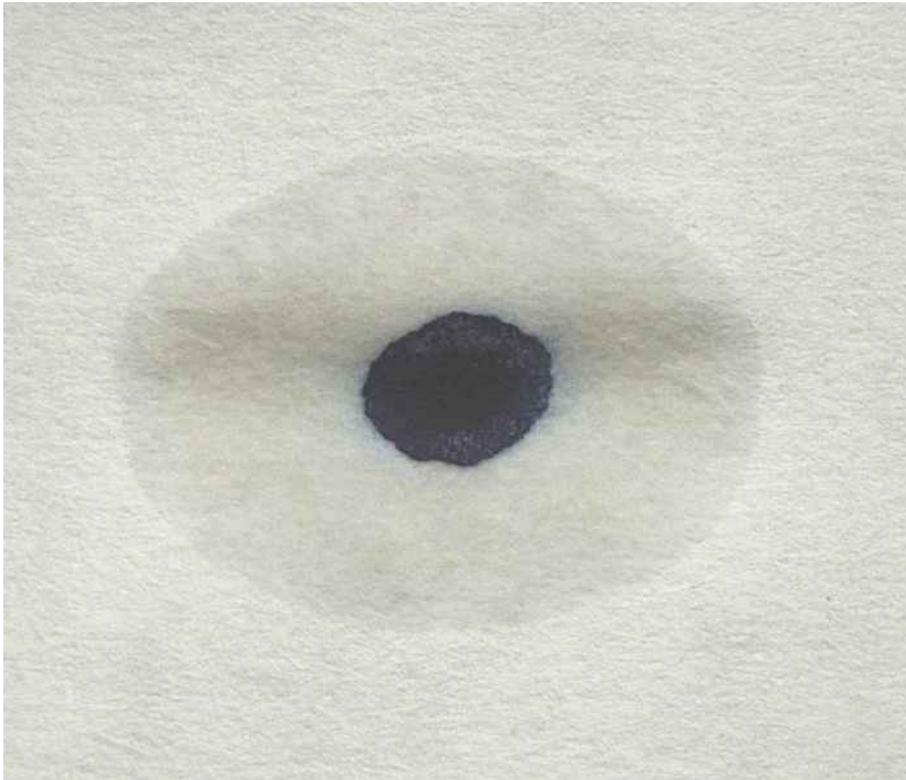
# Essai au bleu de méthylène

- Mode opératoire (1)
  - Ajouter successivement des doses de 5 cm<sup>3</sup> de solution de bleu
  - Tâche nette
    - Pas de saturation
  - Le bleu diffuse sur le papier filtre (auréole bleu)
    - saturation

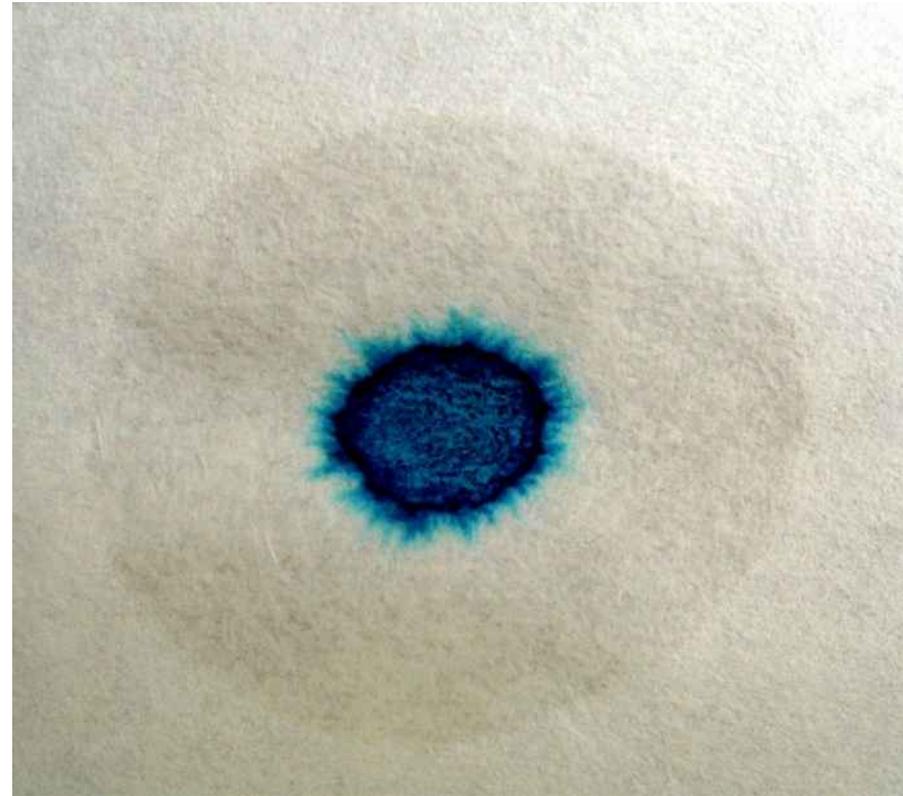


# Essai au bleu de méthylène

- Mode opératoire (1)
  - Test négatif



- Test positif



# Essai au bleu de méthylène

- Mode opératoire (2) : calcul de VBS
  - Réaliser l'essai sur 30g de la fraction 0/0,5mm du matériau
  - VB 0/0,5
    - = volume de solution de bleu utilisé/poids de l'échantillon
  - VBs = valeur de bleu sol total
    - = VB 0/0,5 x % 0/0,5mm
  - VBs = VB 0/D = valeur de bleu sol total
    - = VB 0/d x % 0/d
    - d : en général 0/ 0,5mm

# Essai au bleu de méthylène

- Mode opératoire (2) : calcul de la surface spécifique

- Surface Spécifique Totale

$$= (VB_{(0/d)} / 100 ) \times (N / 373) \times 130. 10^{-20}$$

$$= 21.VB(0/d) .$$

- Avec N : nombre d'Avogadro =  $6,023 \cdot 10^{23}$
- Et  $VB_{(0/d)}$  = Poids de bleu dans le liquide x 100g  
(ramener à 100g de matériau) x 0,010(dilution de bleu) /  
poids de l'échantillon sec

# Essai au bleu de méthylène

- Mode opératoire (2) : exemple

	Kaolin	Montmorillonite
Quantité de bleu injecté	60 cm <sup>3</sup>	600 cm <sup>3</sup>
Poids de l'échantillon	30g	30g
VBS	60/30 = 2	600/30 = 20
Surface spécifique	21*2 = 42 m <sup>2</sup> /g	420 m <sup>2</sup> /g

# Essai granulométrique simplifié

- Objectif : réaliser la courbe granulométrique sans balance
- Principe :
  - utiliser la Poussée d'Archimède pour peser les matériaux
  - Immerger successivement les refus de chaque tamis dans une éprouvette flottant dans une éprouvette plus grosse
  - Mesurer le volume d'eau déplacé à chaque ajout

# Essai granulométrique simplifié

- Objectif : réaliser la courbe granulométrique sans balance



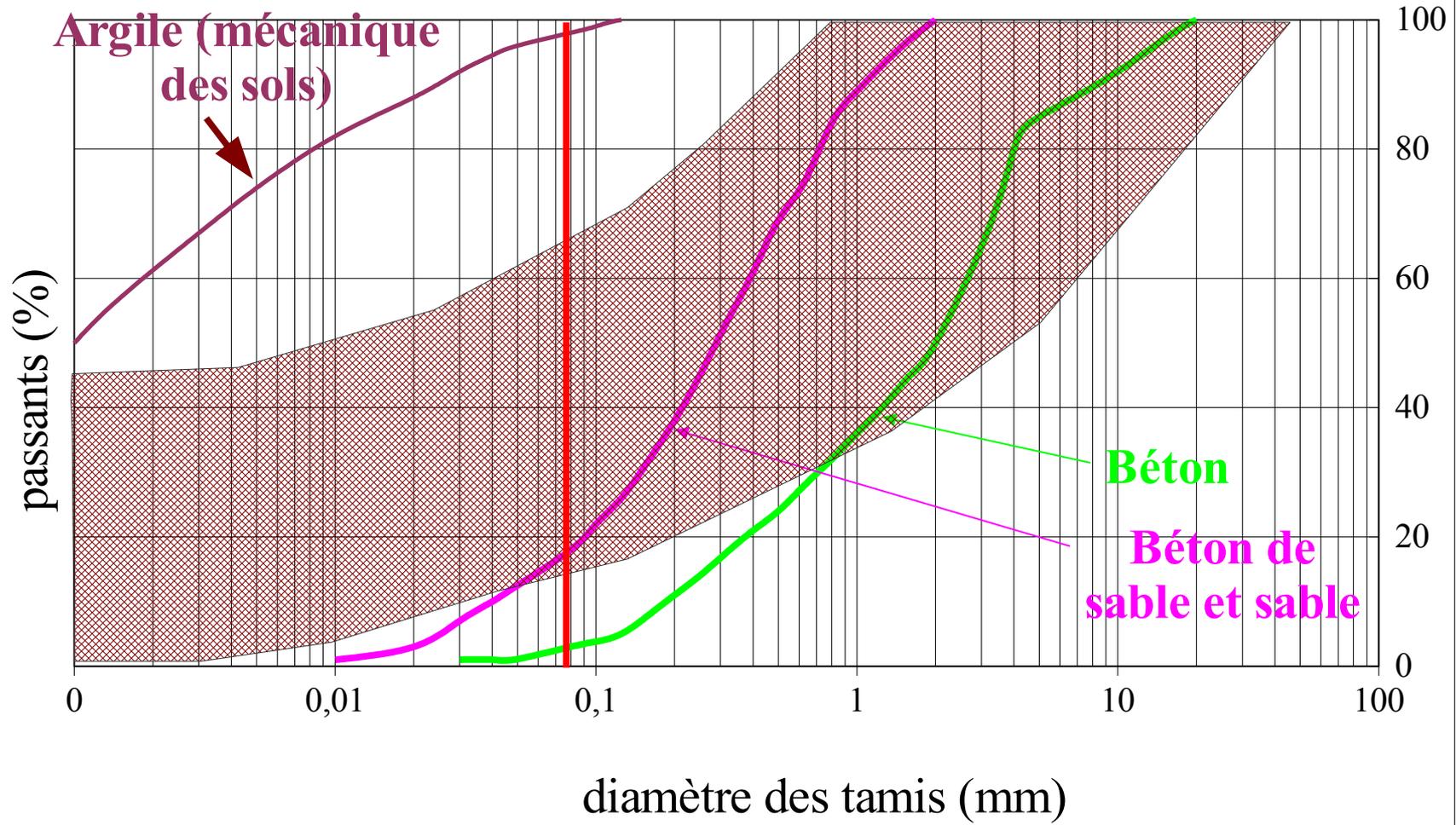
# Exploitation des essais d'identification

# Exploitation des essais d'identification

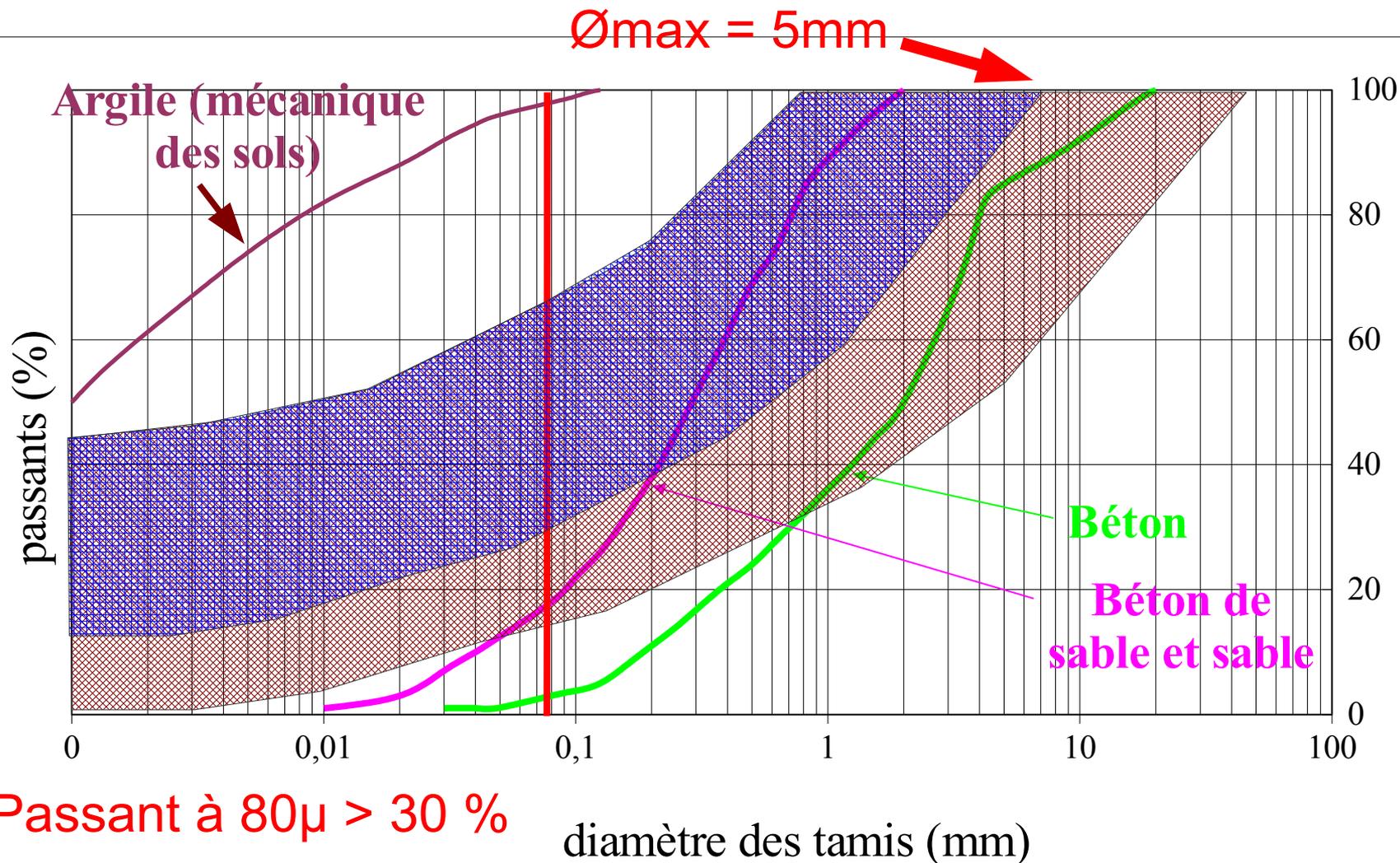
## Squelette du matériau

- Granulométrie
  - Minimum de présence de grains  
→ passant à 5mm, et à 80 $\mu$ m
- Sédimentométrie
  - Passant à 1,5  $\mu$ m

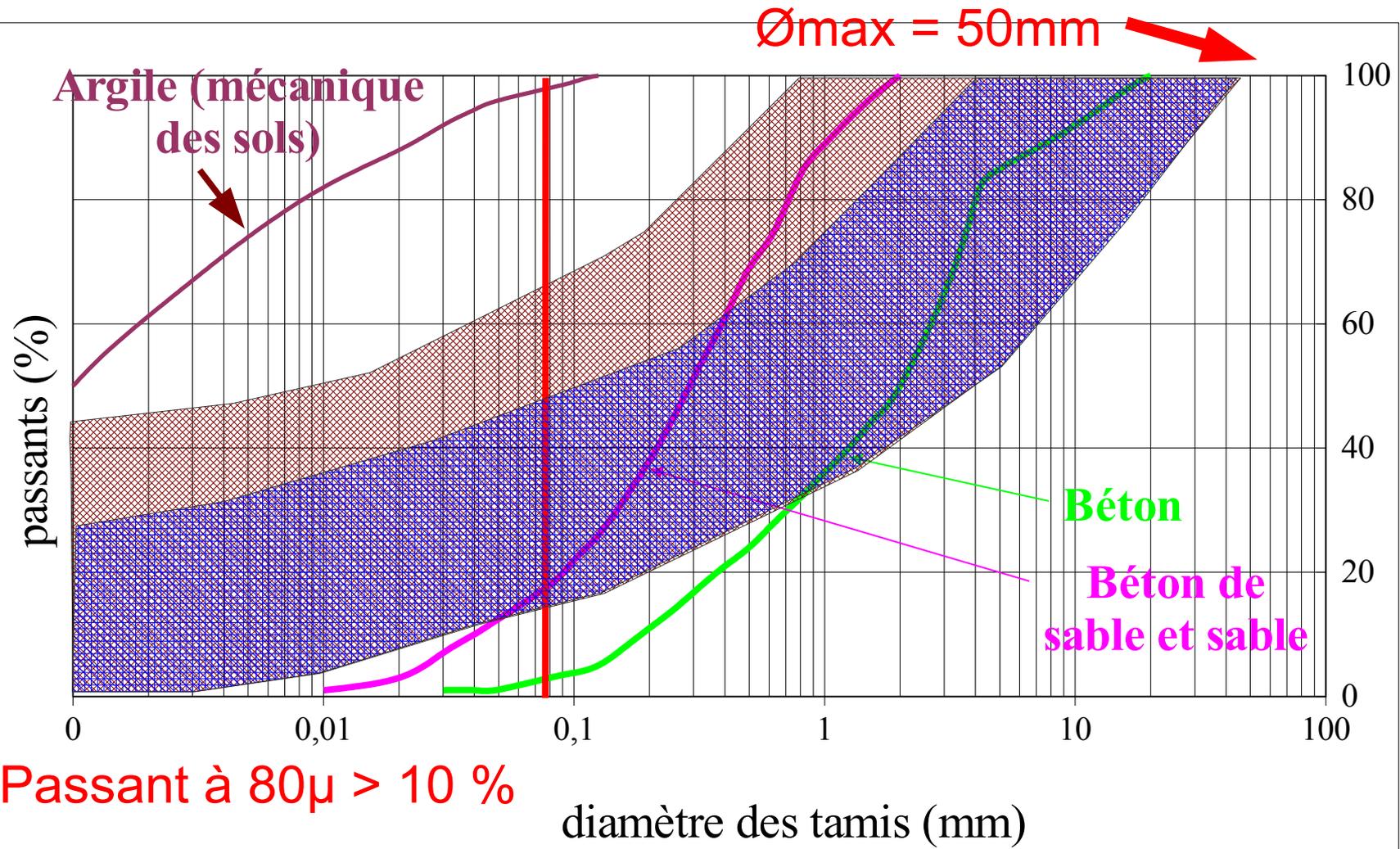
# Terres utilisables



# Matériaux modelés ou extrudés



# Matériaux «compactés /compressés»



# Exploitation des essais

## Composition des fines

- Sédimentométrie
  - Passant à 1,5  $\mu\text{m}$ , 80 $\mu\text{m}$
- Limites d'atterberg
  - $w_l$ ,  $w_p$ , IP
  - $w_p$  élevé : besoin de bcp d'eau pour le mouiller
  - IP faible ( $< 12$ ) : changement rapide de comportement avec peu d'eau
  - IP élevé ( $>25$  à 40) : argile active

# Exploitation des essais

## Composition des fines

- Essai au Bleu de Méthylène
  - Calcul VBS sur
    - % matériau tamisé pour l'essai / ensemble du matériau
  - $VBS < 2,5$  ou  $IP < 12$
  - $VBS > 8$  ou  $IP > 40$
  - Calcul de la surface spécifique

# Classement GTR des sols

CLASSE A : SOLS FINS			
Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature
$D_{\max} \leq 50\text{mm}$  et  tamisat à $80\mu\text{m} > 35\%$	<b>A</b>  <b>Sols fins</b>	$VBS \leq 2,5$ ou $I_p \leq 12$	A <sub>1</sub> Limens peu plastiques, lœss, silts alluvionnaires, sables fins peu pollués, arènes peu plastiques...
		$12 \leq I_p \leq 25$ ou $2,5 < VBS \leq 6$	A <sub>2</sub> Sables fins argileux, limons, argiles et marnes peu plastiques, arènes...
		$25 \leq I_p \leq 40$ ou $6 < VBS \leq 8$	A <sub>3</sub> Argiles et argiles marneuses, limons très plastiques...
		$I_p > 40$ ou $VBS > 8$	A <sub>4</sub> Argiles et argiles marneuses, très plastiques

# Classement GTR des sols

Paramètres de nature Premier niveau de classification	Classe	Paramètres de nature Deuxième niveau de classification	Sous classe fonction de la nature
$D_{\max} \leq 50\text{mm}$  et  tamisat à $80\mu\text{m} \leq 35\%$	<b>B</b>  <b>Sols sableux et graveleux avec fines</b>	tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ tamisat à $2\text{mm} > 70\%$ $0,1 \leq \text{VBS} \leq 0,2$ ou $\text{ES} > 35$	B <sub>1</sub> Sables silteux...
		tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ tamisat à $2\text{mm} > 70\%$ $\text{VBS} > 0,2$ ou $\text{ES} \leq 35$	B <sub>2</sub> Sables argileux (peu argileux)
		tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ tamisat à $2\text{mm} > 70\%$ $0,1 \leq \text{VBS} \leq 0,2$ ou $\text{ES} > 25$	B <sub>3</sub> Graves silteuses...
		tamisat à $80\mu\text{m} \leq 12\%$ tamisat à $2\text{mm} > 70\%$ $\text{VBS} > 0,2$ ou $\text{ES} > 25$	B <sub>4</sub> Graves argileuses (peu argileuses)...
		$12\% < \text{tamisat à } 80\mu\text{m} \leq 35\%$ $\text{VBS} \leq 1,5$ ou $I_p \leq 12$	B <sub>5</sub> Sables et graves très silteux...
		$12\% < \text{tamisat à } 80\mu\text{m} \leq 35\%$ $\text{VBS} > 1,5$ ou $I_p > 12$	B <sub>6</sub> Sables et graves argileux à très argileux

# Classement GTR des sols

- Classe C
  - $D_{max} > 50\text{mm}$
  - Avec tamisage → classe A, B ou D
- Classe D
  - Graves « nobles », très peu de sols fins
  - $VBS < 0,1$
- Classe F
  - $> 3 \%$  de matières organiques