

Architecture et
Urbanisme

UMONS
Université de Mons

Connaissance des Matériaux

Introduction à la mécanique des sols

Nicolas COUVREUR (nicolas.couvreur@umons.ac.be)


Faculté
d'Architecture
et d'Urbanisme



Plan de présentation

- Plan de présentation
- Généralités
 - Pourquoi des essais de sol ?
- Notions
 - Sol
 - Bulbe de contrainte
 - Tassement
- Essais « in situ »
 - Pénétromètre statique
 - Principe
 - Exécution
 - Interprétation
 - Sondage géotechnique



- I. **Plan de présentation**
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

Généralités ... terrain



Sol

- Inconnu avec lequel il faudra interagir
- « Premier matériau de construction »

- I. Plan de présentation
- II. **Généralités**
- III. Notions
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

Généralités ... enjeux

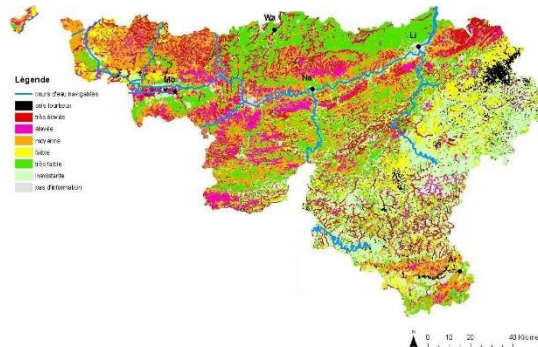
■ Pourquoi ?



- Représente un coût MAIS ...
- Evite les désordres

(conséquences graves, réparation chère, difficile et pas toujours possible)

■ Idée



Informations pauvres en **beaucoup de points**
plutôt que



Informations détaillées en **peu de points**

- I. Plan de présentation
- II. **Généralités**
- III. Notions
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

Généralités ... investigation

■ Etape 1 – Enquête

- Nom (surnom) de la région, du quartier...
(Fonds du Petit Marais, la Tourbière, la Briqueterie...)
- Type de terrain (naturel, remblais, ruines...)
- Constructions voisines : fondations et désordres
- Résultats des sondages précédents



■ Etape 2 – Essais « in situ »



Court : qq heures → qq jours (fonction de l'ampleur du projet)

- Evolution des caractéristiques mécaniques avec la profondeur (essais aux pénétromètres, scissomètre...)
- Prélèvements : observation des couches traversées et échantillonnage pour ...



■ Etape 3 – Essais en laboratoire



Long : qq jours → 1 mois (fonction du type de sol)

- Caractérisation physique, mécanique et chimique

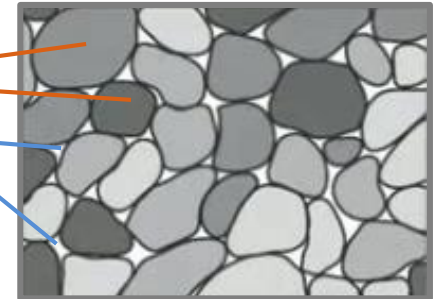


- I. Plan de présentation
- II. **Généralités**
- III. Notions
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

Notions ... le sol

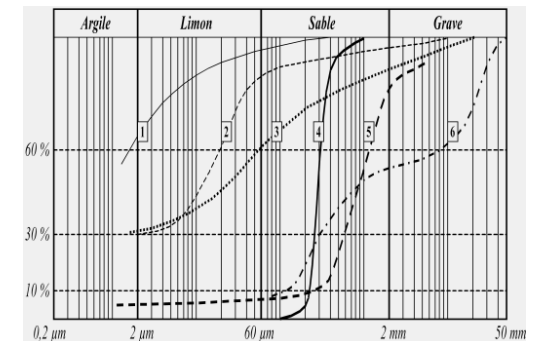
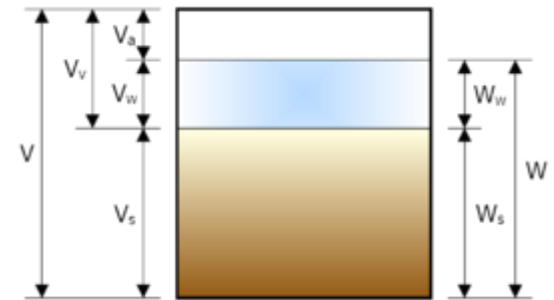
■ En quelques mots :

- Complexe formé :
 - d'un squelette (les grains)
 - de vides (porosité, contenant de l'air ou/et de l'eau)
- Sec, $1 \text{ m}^3 = 1600 \text{ kg}$ à 1800 kg



■ Trois phases

- Gaz (air)
 - négligé dans études de sol
- Liquide (eau)
 - Induit comportements mécaniques particuliers (plasticité, cohésion, gonflement...)
- Solide (grains)
 - grains de tailles et formes variées
 - détermine comportement du sol
 - classification des sols par granularité



- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. **Notions**
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

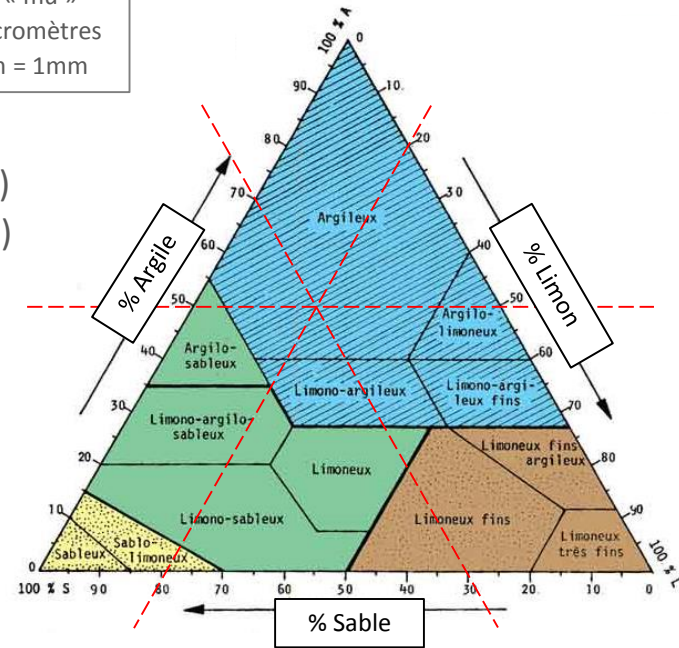
Notions ... le sol

■ Classification des sols

- Taille des grains
 - Graves (>2mm)
 - Sables (entre 60µm et 2mm)
 - Limons (entre 2µm et 60µm)
 - Argiles (<2µm)

- Matières organiques
 - Tourbes

µ se lit « mu »
 µm = micromètres
 1000µm = 1mm



Exemple de lecture

Echantillon de sol composé de 20% de limon, 30% de sable et 50% d'argile → argiles

Nom	Sol à matrice fine						Sol à matrice grossière						cailloux	blocs
	argile			limon			sable			grave				
	fin	moyen	grossier	fin	moyen	grossier	fin	moyen	grossier	fin	moyen	grossier		
Dimension des particules (mm)	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2	0,6	2	6	20	60	200			



Graves



Sables



Limons



Argiles



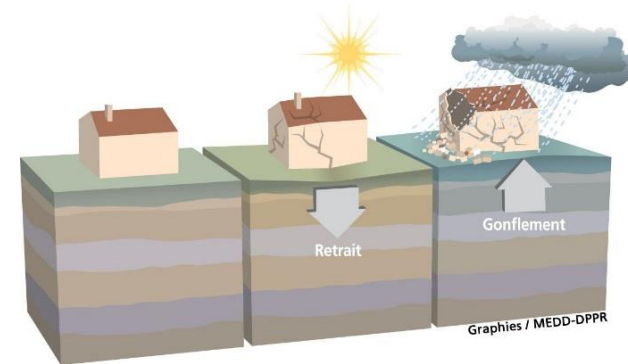
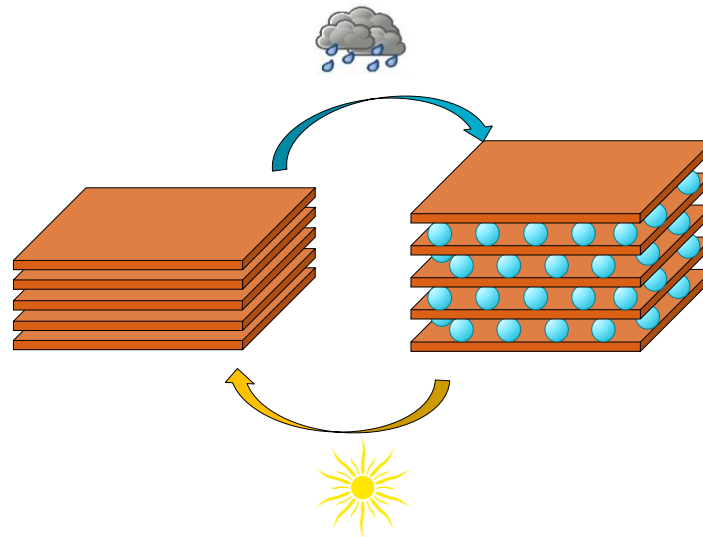
Tourbes

- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. **Notions**
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

Notions ... le sol

■ Sols particuliers

- Argiles (structure : feuillets)
 - Susceptibles de subir un **phénomène de retrait**
 - Laboratoire pour analyse sensibilité
 - **Précautions** à prendre



- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. **Notions**
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

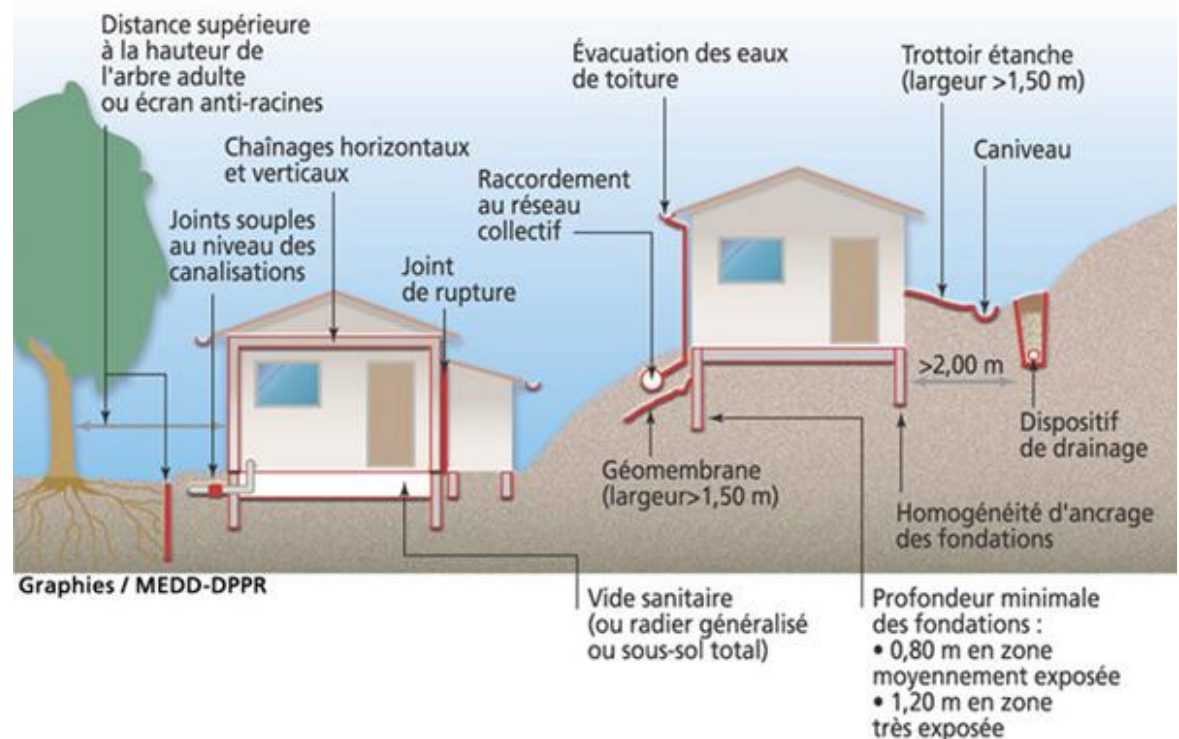
Notions ... le sol

■ Sols particuliers

- Argiles (structure : feuillets)

- Susceptibles de subir un **phénomène de retrait**
- Laboratoire pour analyse sensibilité
- **Précautions** à prendre

(rigidifier la structure, installer des joints de rupture, ancrage plus profond, éviter les variations d'humidité locales...)



- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. **Notions**
- IV. Pénétrromètre statique
- V. Sondage

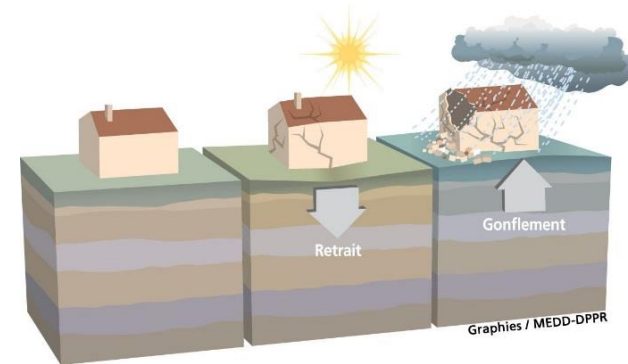
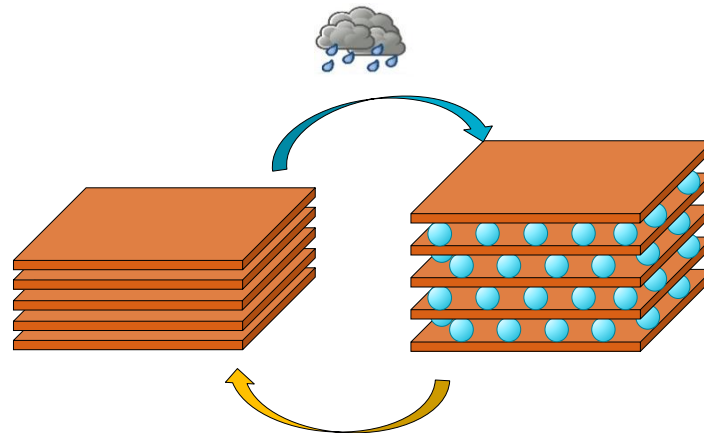
Notions ... le sol

■ Sols particuliers

- Argiles (structure : feuillets)

- Susceptibles de subir un **phénomène de retrait**
- Laboratoire pour analyse sensibilité
- **Précautions** à prendre

(rigidifier la structure, installer des joints de rupture, ancrage plus profond, éviter les variations d'humidité locales...)



- Tourbes

- Souvent **très compressibles**
- Laboratoire pour analyse teneur en eau
- **Précautions** à prendre (pieux pour reposer sur le « bon sol », surconsolidation du sol avant construction...)

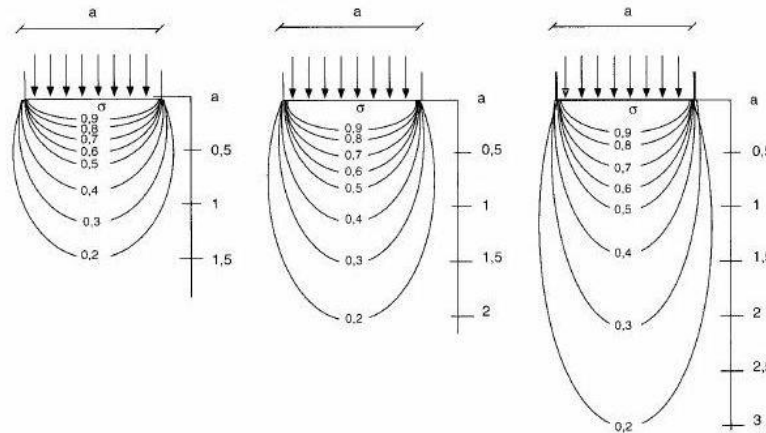
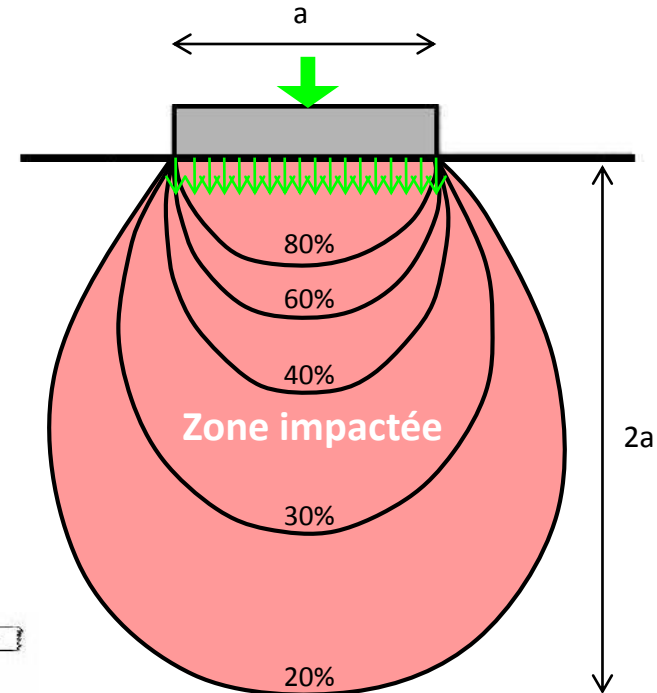
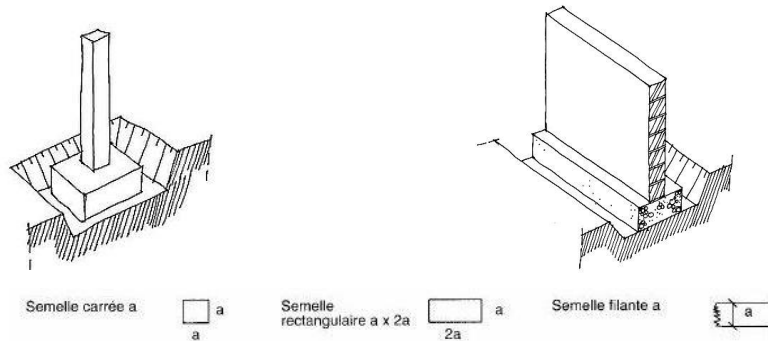
- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. **Notions**
- IV. Pénétrromètre statique
- V. Sondage

Notions ... bulbe de contrainte

■ Bulbe de contrainte

- Construire

- charges transmises au sol
- diffusion dans le massif
- bulbe des contraintes



- Plot

gène contraintes plus fortes mais sur une zone moins étendue

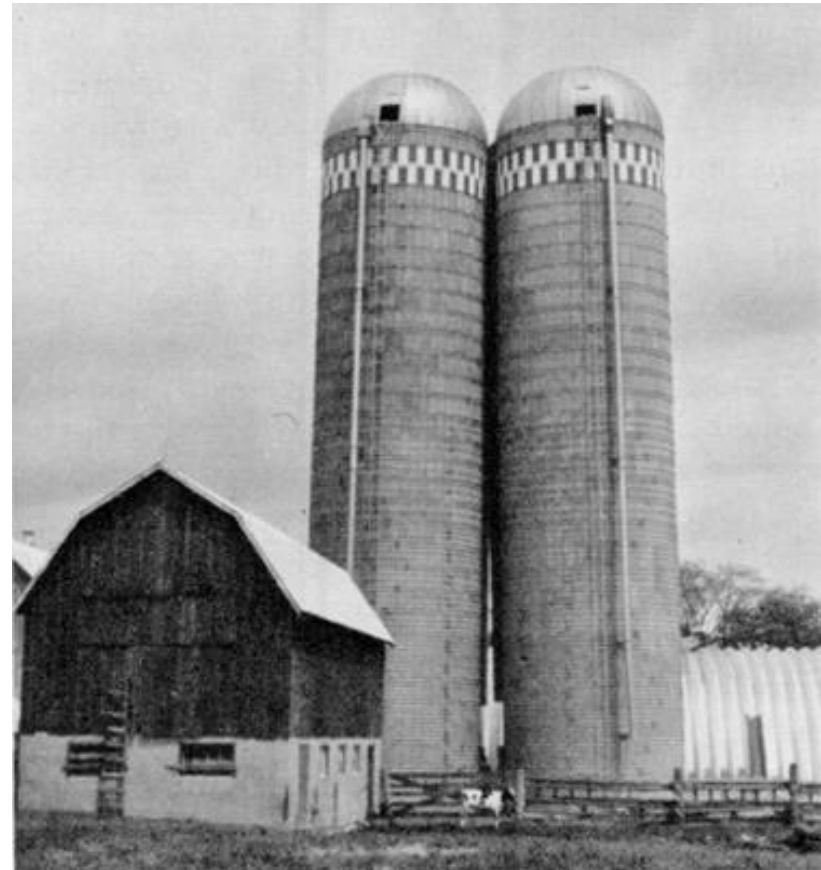
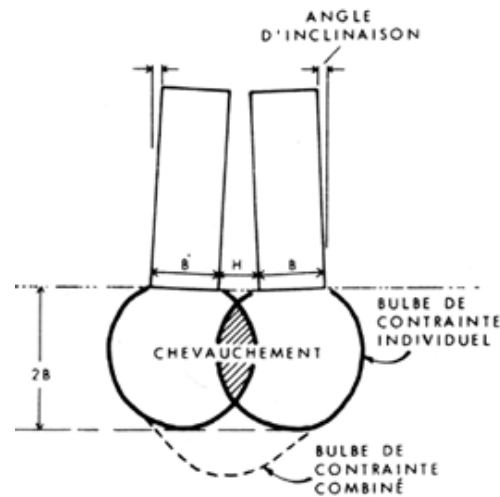
- Radier

gène contraintes plus faibles mais sur une zone plus étendue

- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. **Notions**
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

Notions ... bulbe de contrainte

- Bulbe de contrainte combiné

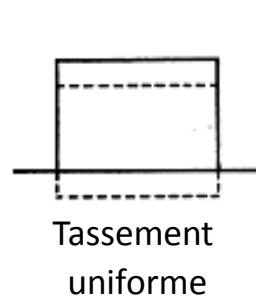
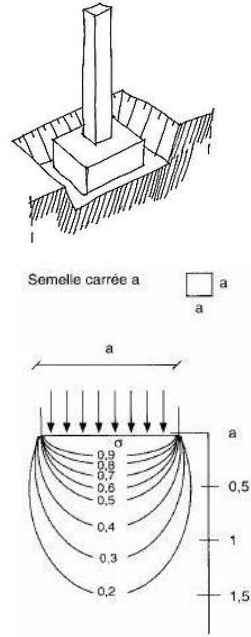


- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. **Notions**
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

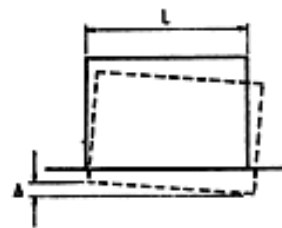
Notions ... tassement

■ Tassement

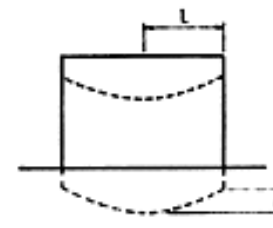
- Déformation verticale due aux contraintes
 - Contraintes → déformations
- Grandeur (liée aux propriétés mécaniques du sol)
 - Roches → tassement quasi-nul
 - Sol compact → tassement faible
 - Tourbes → tassement important
- Vitesse (liée à la perméabilité des sols)
 - Sables et graves → tassement rapide, immédiat
 - Argiles → tassement lent



Si pas trop important



Tassement différentiel

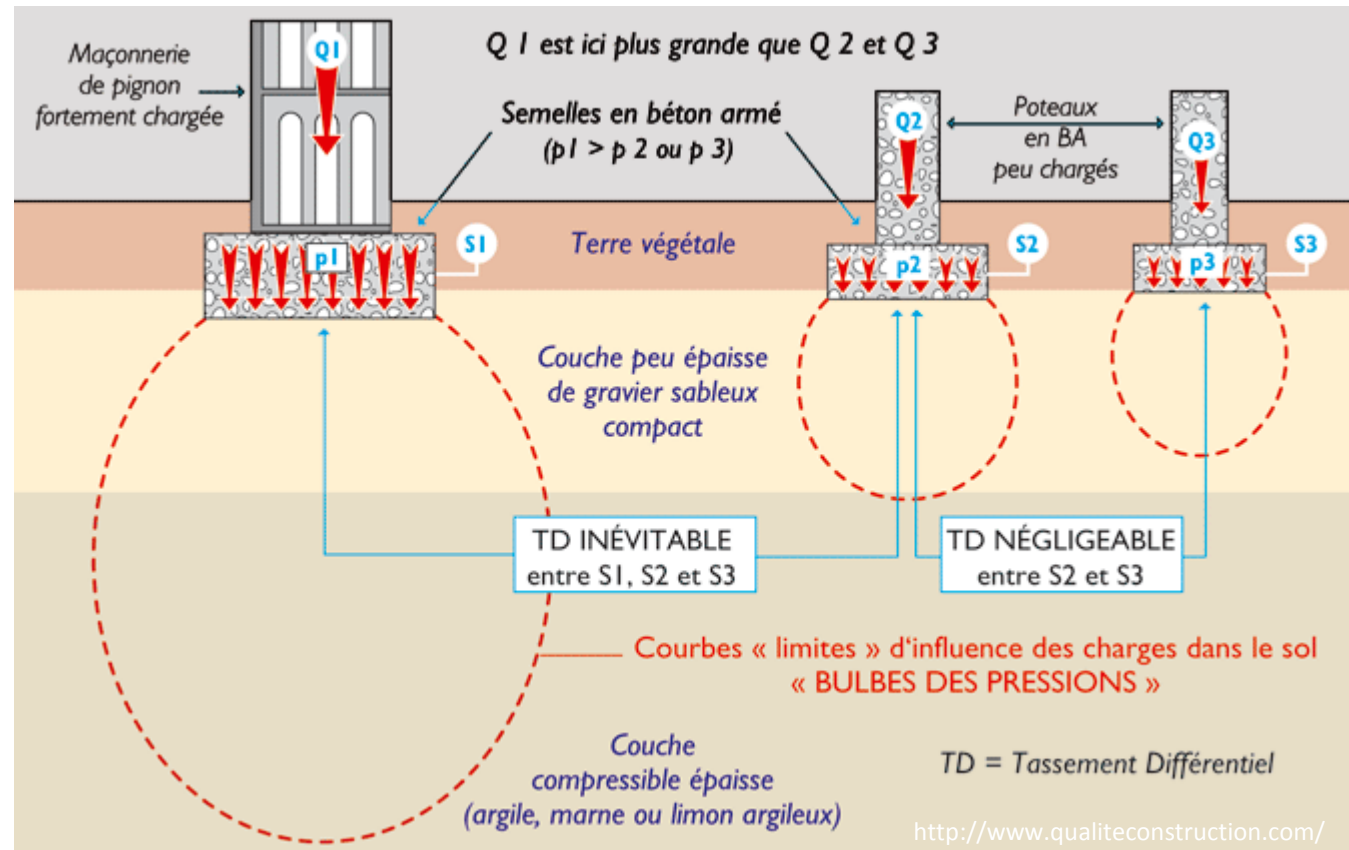


« Point dur » local

- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. **Notions**
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

Notions ... tassement

■ Tassements différentiels



- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. **Notions**
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrömètre statique (CPT)

■ Principe

- Mesurer **réaction du sol** lors d'un enfoncement continu (vitesse constante, 2 cm/s) d'un cône de section connue (10 cm²)
- 2 valeurs :
 - **Résistance à la pointe** → q_c
 - **Frottement latéral** → Q_{st}

■ Utilité

- Estimer la pertinence d'essai en laboratoire
- Estimer le niveau de la nappe phréatique
- Choisir le type de fondation (pieux, dalles...)
- Dimensionner les fondations

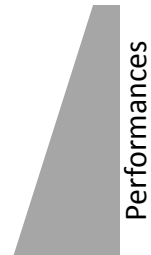


- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétrömètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrromètre statique (CPT)

■ Machines

- Caractéristiques
 - Mobilité
 - Performances (associée au poids)
- Types



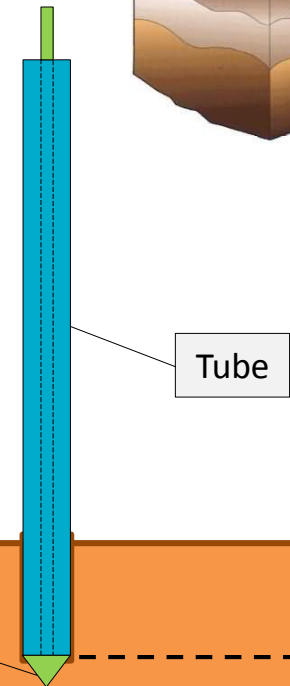
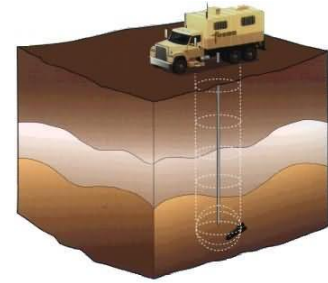
- Manuel (hommes – 150kg)
- « Chenillé » léger (bâti ancré – 2T)
- Démontable (bâti ancré – 2,5T à 5T)
- Camion (véhicule – 6T à 10T)
- « Chenillé » lourd (véhicule – 10T à 20T)



- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétrromètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrömètre statique (CPT)

- Déroulement de l'essai
 - Enfouissement du cône (section A_c)

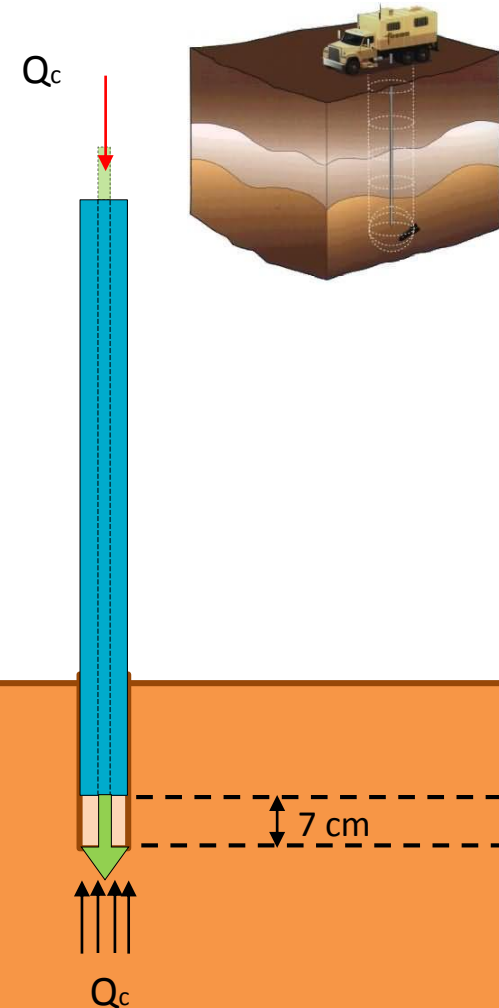


- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. Pénétrömètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrömètre statique (CPT)

■ Déroulement de l'essai

- Enfoncement du cône (section A_c)
 - Mesure de Q_c
 - Résistance à la pointe $q_c = Q_c / A_c$

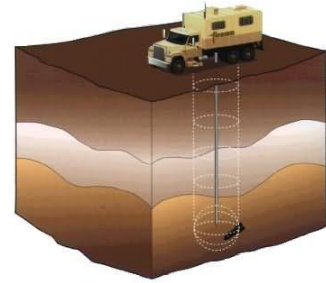


- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétrömètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrömètre statique (CPT)

■ Déroulement de l'essai

- Enfoncement du cône (section A_c)
 - Mesure de Q_c
 - Résistance à la pointe $q_c = Q_c / A_c$
- Enfoncement du tube

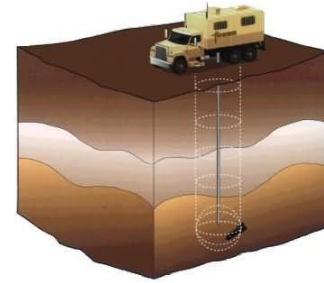


- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. Pénétrömètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrömètre statique (CPT)

■ Déroulement de l'essai

- Enfouissement du cône (section A_c)
 - Mesure de Q_c
 - Résistance à la pointe $q_c = Q_c / A_c$
- Enfouissement du tube

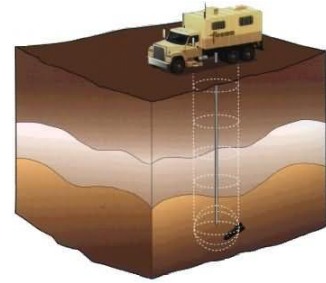


- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. Pénétrömètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrömètre statique (CPT)

■ Déroulement de l'essai

- Enfoncement du cône (section A_c)
 - Mesure de Q_c
 - Résistance à la pointe $q_c = Q_c / A_c$
- Enfoncement du tube
- Enfoncement de l'ensemble



- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. Pénétrömètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrömètre statique (CPT)

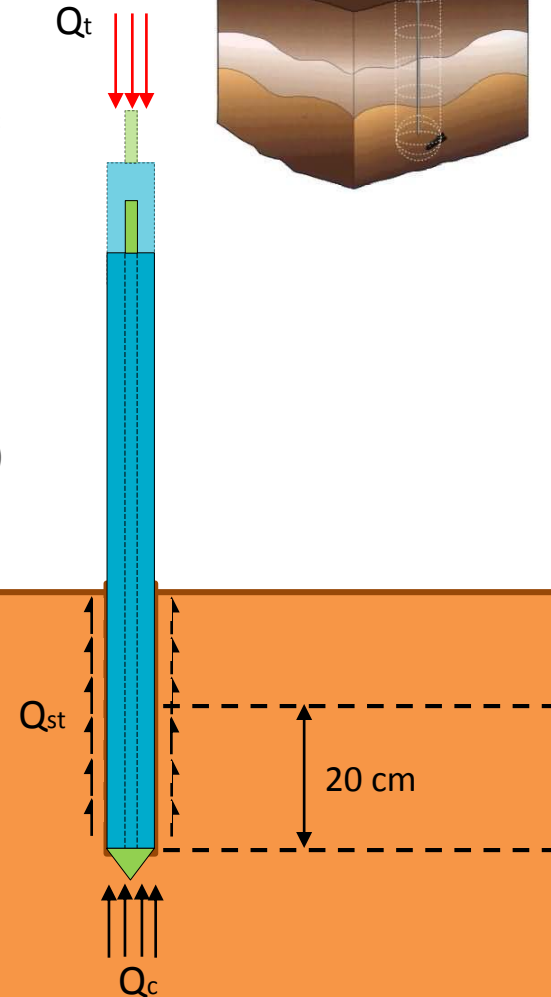
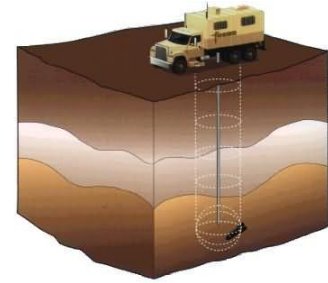
■ Déroulement de l'essai

- Enfoncement du cône (section A_c)
 - Mesure de Q_c
 - Résistance à la pointe $q_c = Q_c / A_c$
- Enfoncement du tube
- Enfoncement de l'ensemble
 - Mesure de Q_t
 - Frottement latéral $Q_{st} = Q_t - Q_c$



q_c → contraintes (MPa, daN/cm²...)

Q_c, Q_t, Q_{st} → efforts (kg, daN...)



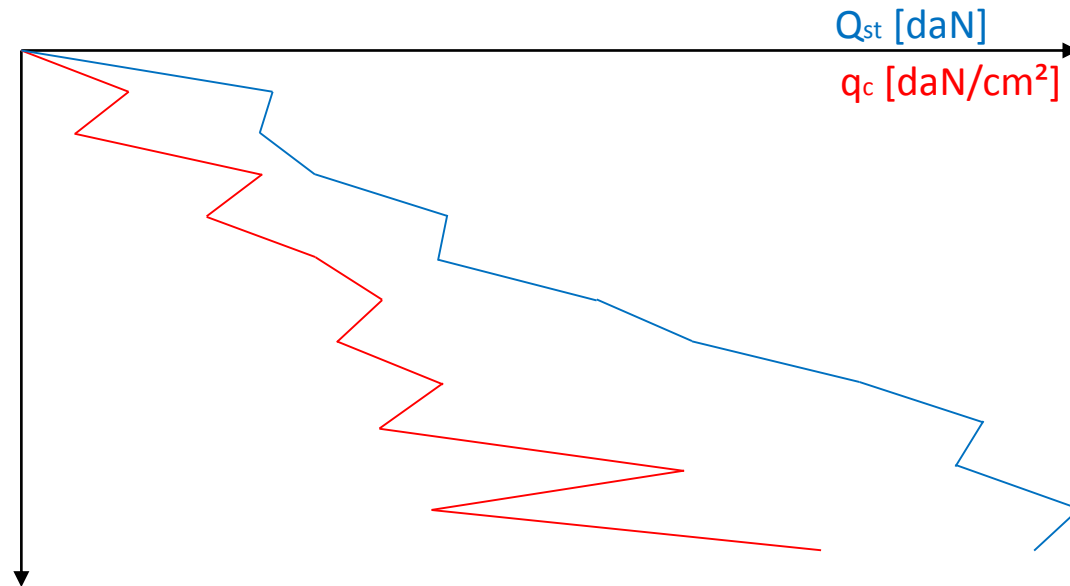
- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétrömètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétromètre statique (CPT)

■ Résultats

• Diagramme

- Axe vertical : profondeur [m]
- Axe horizontal : efforts [kg] et contraintes [daN/cm²]



- q_c grand \longrightarrow refus par sol résistant



risque d'avoir rencontré « point dur » (rochers, ruines...)



si peu profond, type de sol en dessous ?

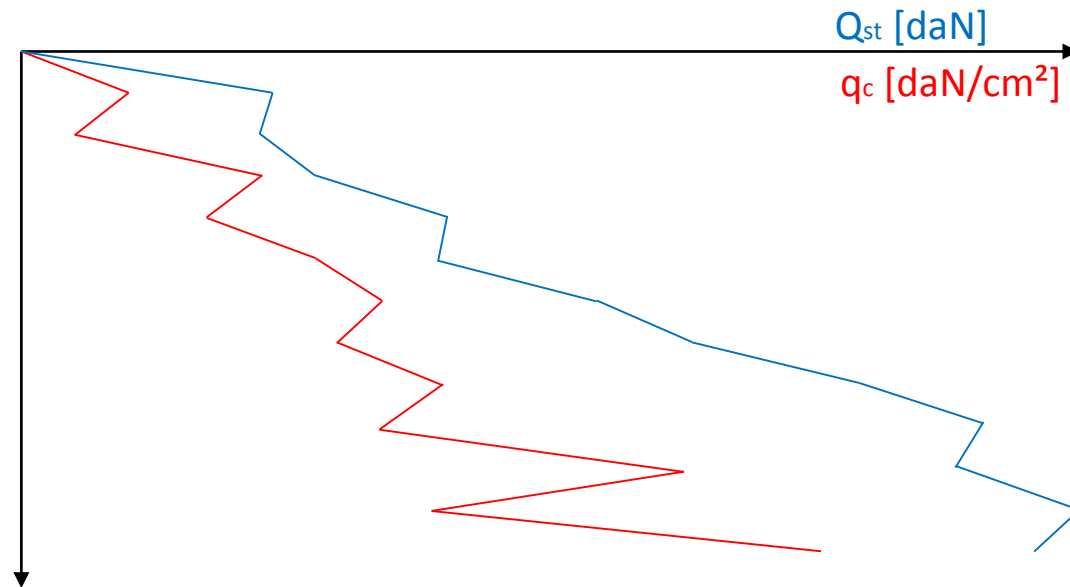
- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétromètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrömètre statique (CPT)

■ Résultats

• Diagramme

- Axe vertical : profondeur [m]
- Axe horizontal : efforts [kg] et contraintes [daN/cm²]



- Q_{st} grand → refus par sol globalement frottant

- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétrömètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétromètre statique (CPT)

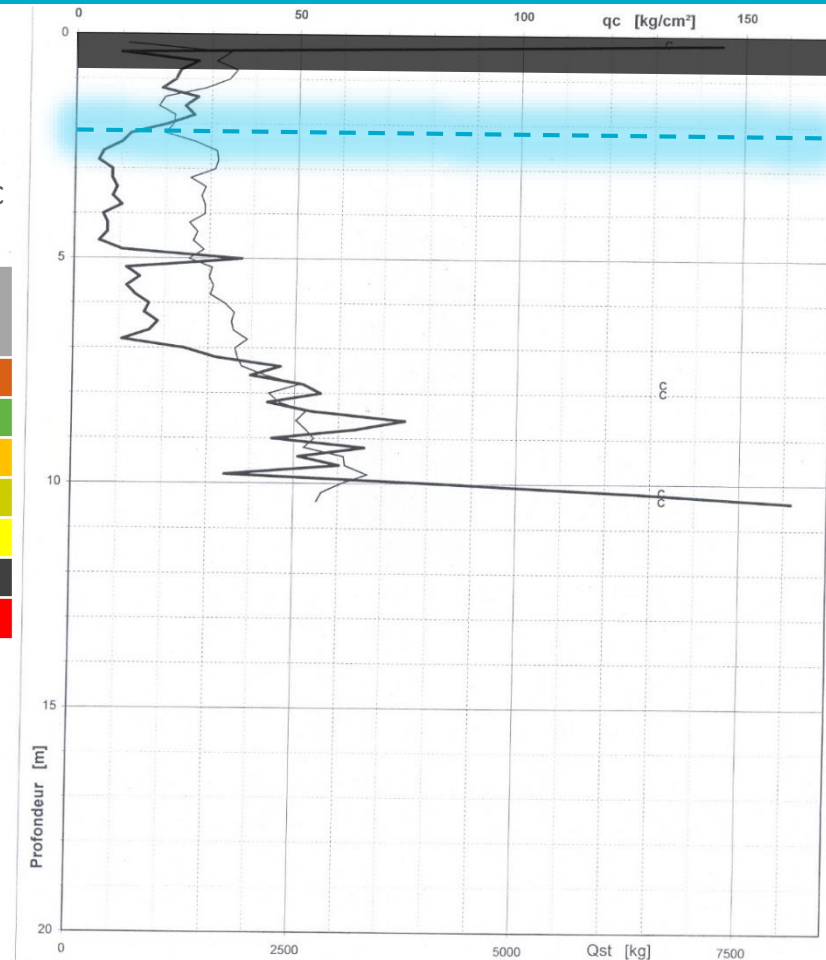
Interprétation 1

- Caractéristiques
- Déterminer les couches avec les mêmes caractéristiques

Sols	q_c [daN/cm ²]	Q_{st} [daN]
Limons argileux	< 10	Faible
Limons	[10 ; 30]	Faible
Argiles		Fort
Sol sableux	[30 ; 50]	Moyen
Sables	> 50	Moyen
Graves	> 100	Faible
Tourbes	Faible	



- 80 premiers cm
 - Imprécis
 - A négliger (mise hors gel)
- Niveau eau
 - Fil à plomb
 - Indication
 - Varie (temps, sol)



Légende:
 c Chocs pendant l'enfoncement
 E Extraction partielle des tubes de sondage
 TRF Sondage poursuivi avec Tube Réducteur de Frottement

Matériel utilisé:
 Capacité de l'appareil hydraulique [T]: 10
 Section de la pointe [cm²] et type: 10 M1
 Section des tubes allongés [cm²]: 10

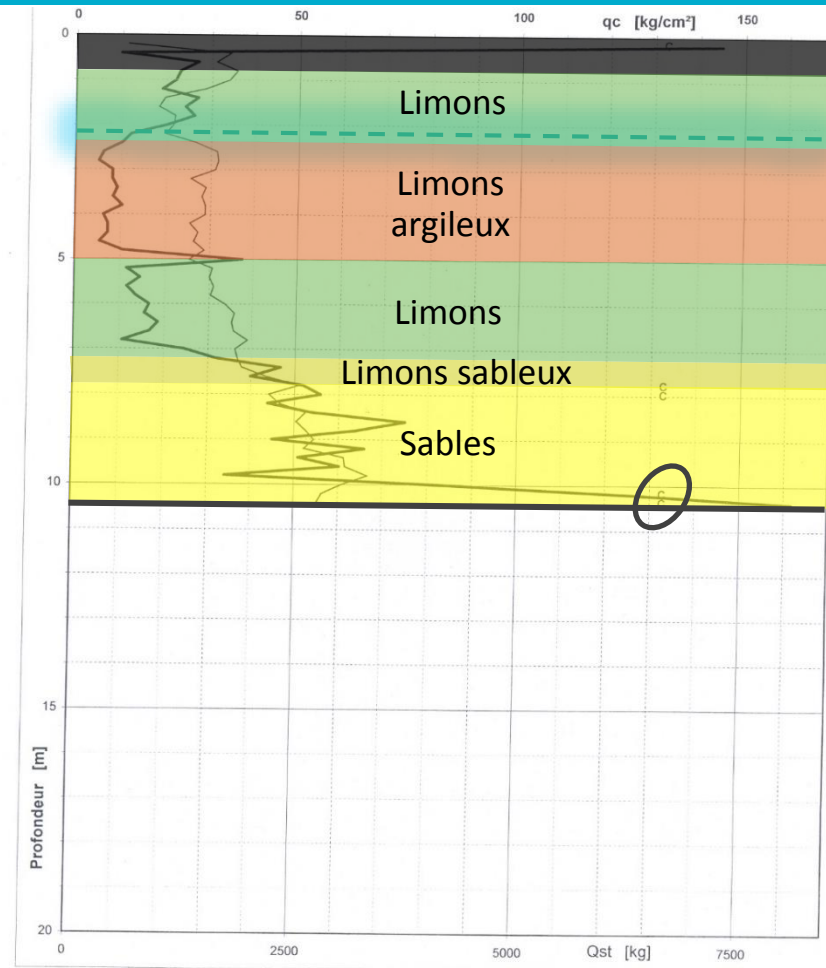
Observations dans le trou	Profondeur d'éboulement [m]	Profondeur du niveau d'eau [m]
En fin d'essai	3,50	2,20
En fin de chantier	-	-

- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. Pénétromètre stat.
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétromètre statique (CPT)

■ Interprétation 1

- **Limons**
 - $q_c < 30 \text{ daN/cm}^2$
 - Q_{st} « diminue »
- **Limons argileux**
 - $q_c < 10 \text{ daN/cm}^2$
 - Q_{st} constant
- **Limons**
 - $q_c < 30 \text{ daN/cm}^2$
 - Q_{st} faible
- **Limons sableux**
 - $q_c > 30 \text{ daN/cm}^2$
 - Q_{st} moyen
- **Sables**
 - $q_c > 50 \text{ daN/cm}^2$
 - Q_{st} moyen
 - « Dents de scie »
- « Point dur » local ?
 - q_c grand et local
 - Chocs présents



Légende:
 c Chocs pendant l'enfoncement
 E Extraction partielle des tubes de sondage
 TRF Sondage poursuivi avec Tube Réducteur de Frottement

Matériel utilisé:
 Capacité de l'appareil hydraulique [T]: 10
 Section de la pointe [cm^2] et type: 10 M1
 Section des tubes allongés [cm^2]: 10



Observations dans le trou	Profondeur d'éboulement [m]	Profondeur du niveau d'eau [m]
En fin d'essai	3,50	2,20
En fin de chantier	-	-

- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétromètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrromètre statique (CPT)

■ Interprétation 1

• Récapitulatif

- Eau proche surface 
- - de 2m, sol moyen
- 2 à 7m, sol faible 
- + de 7m, sol correct
- 10m, refus, probable « point dur » local pour

...habitation ...

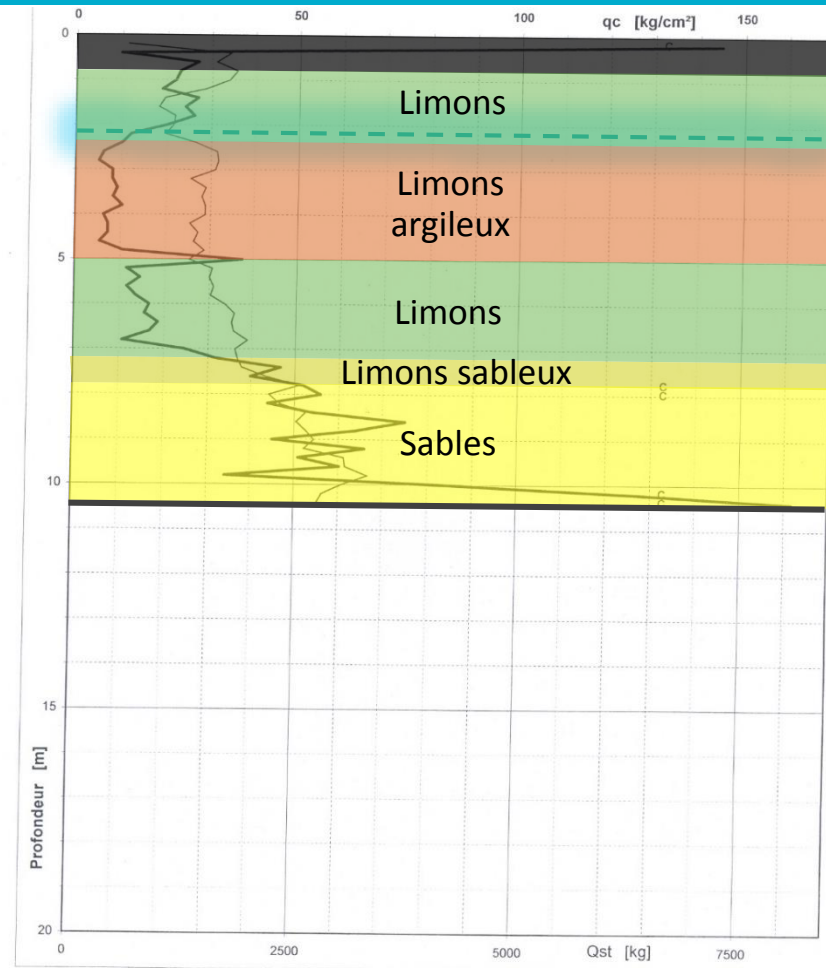


...plus lourd ...



• Conclusion

- « Mauvais » sol
- Pénétrromètre 10T et prélèvements !



Légende:
c Chocs pendant l'enfoncement
E Extraction partielle des tubes de sondage
TRF Sondage poursuivi avec Tube Réducteur de Frottement



Matériel utilisé:
Capacité de l'appareil hydraulique [T]: 10
Section de la pointe [cm²] et type: 10 M1
Section des tubes allongés [cm]: 10

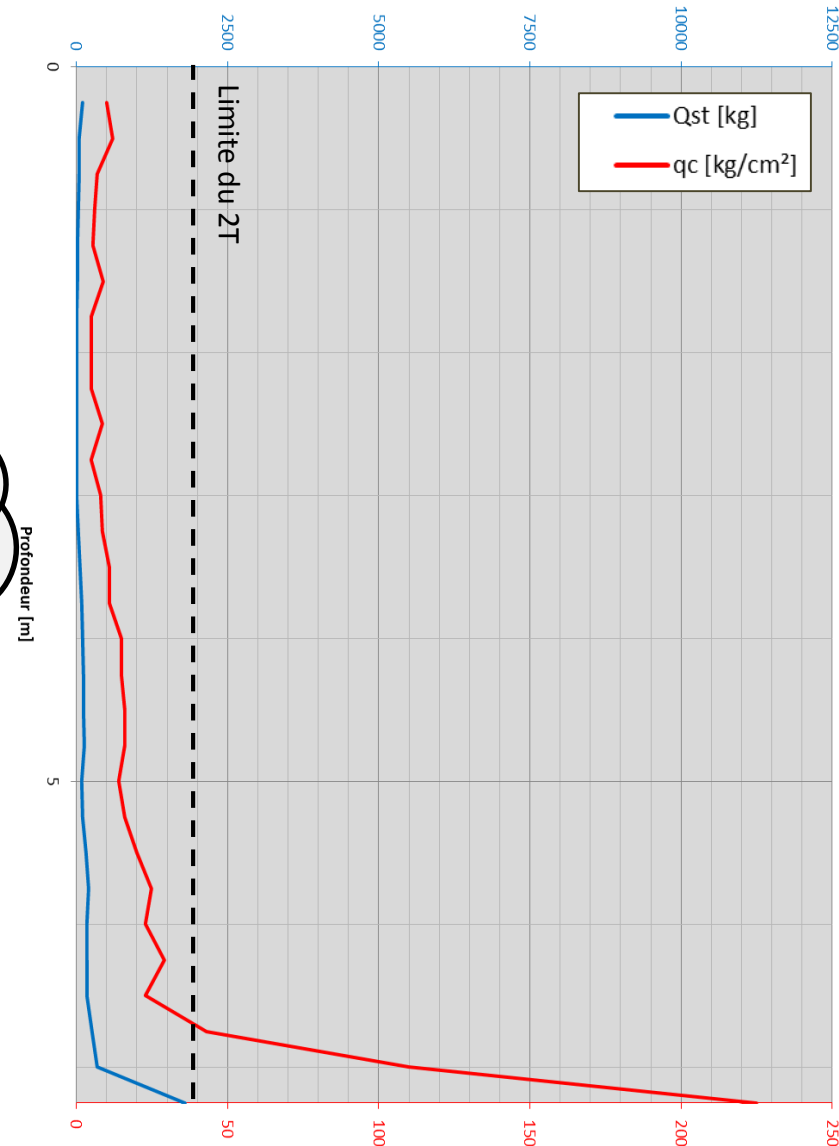
Observations dans le trou	Profondeur d'éboulement [m]	Profondeur du niveau d'eau [m]
En fin d'essai	3,50	2,20
En fin de chantier	-	-

- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétrromètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrromètre statique (CPT)

■ Interprétation 2

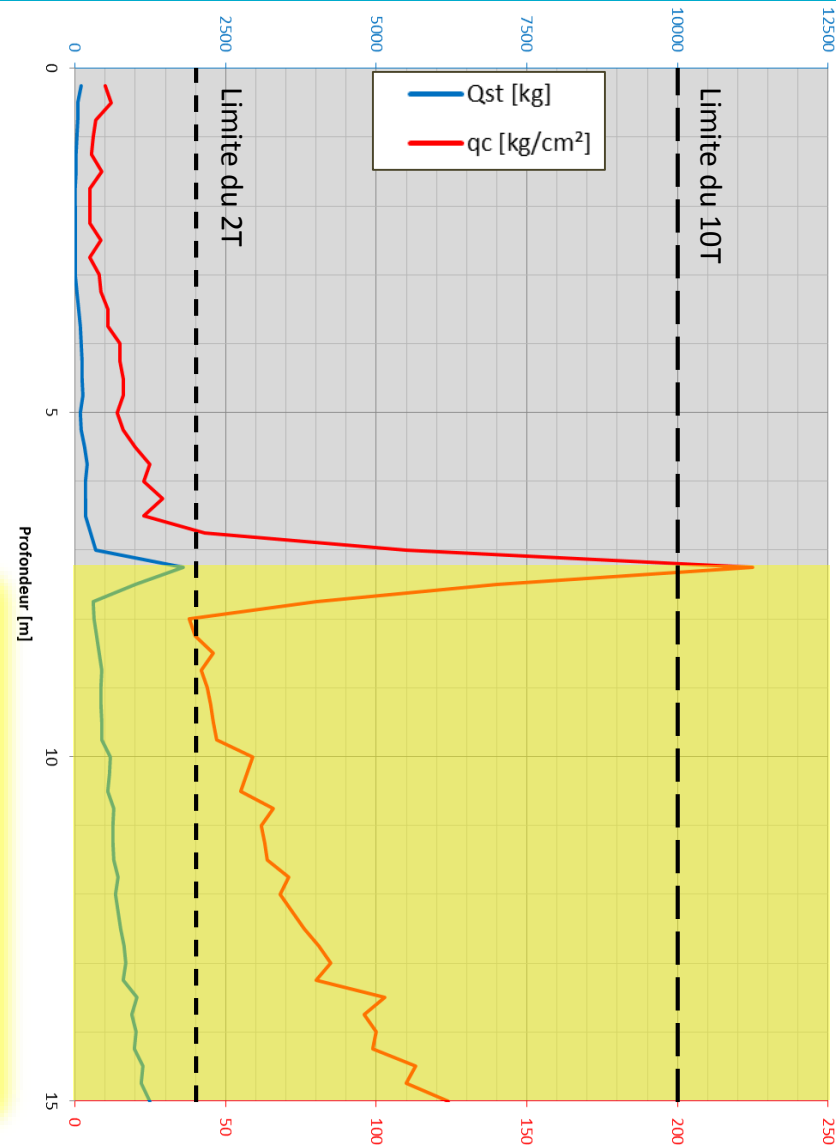
- Conclusion
 - Refus par sol résistant à 7m de profondeur
 - Refus peu profond 
 - q_c grand et local 



- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétrromètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétromètre statique (CPT)

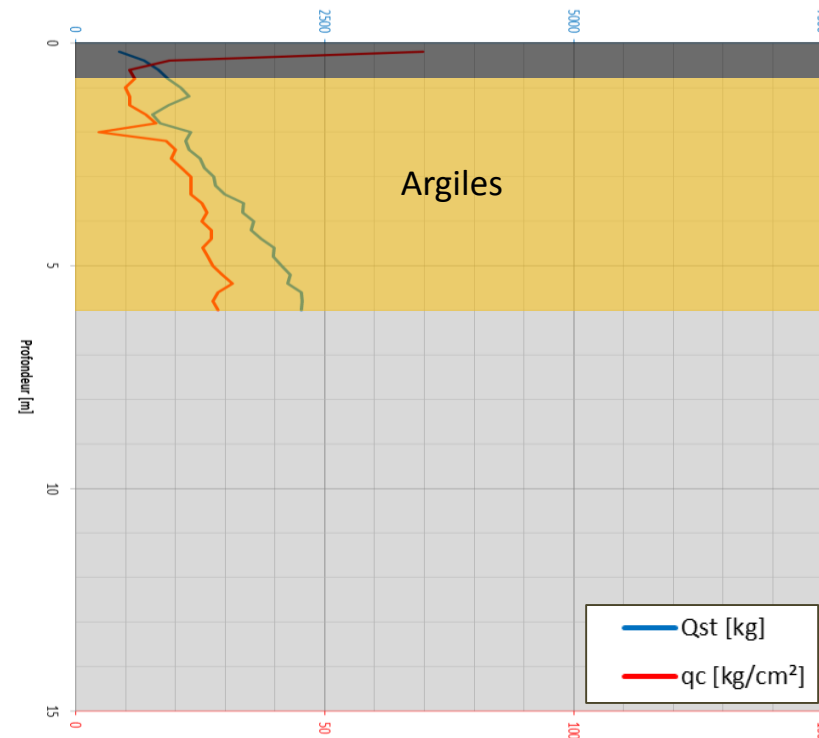
■ Interprétation 2



- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétromètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... pénétrromètre statique (CPT)

■ Interprétation 3



Sols	qc [daN/cm ²]	Qst [daN]
Limons argileux	< 10	Faible
Limons	[10 ; 30]	Faible
Argiles		Fort
Sol sableux	[30 ; 50]	Moyen
Sables	> 50	Moyen
Graves	> 100	Faible
Tourbes	Faible	

• Conclusion

- Frottement très élevé et résistance à la pointe moyenne
- Refus par sol globalement frottant → argiles
- Refus peu profond ⚠ → pénétromètre 10T !
- Argiles gonflantes ? Compressibles ? ⚠ → prélèvements !

- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. **Pénétrromètre stat.**
- V. Sondage

Essais « in situ » ... sondage

■ Principe

- Perforer un trou dans le sol avec soin
- A réaliser sur un des points d'essai au pénétromètre



Essai plus long et complexe que CPT

■ Utilité

- Permet d'extraire des échantillons pour essais en laboratoire
- Permet d'avoir un « visuel » des couches traversées



I. N. I. S. Ma.		Av. Gouverneur Cornet, 4 à 7000 MONS Tel: 06540 34 34 Fax: 06534 82 05		Dossier: 10/2001	
Chantier:			Forage: F5		Z = -1,45 m
Equip. Pkazo.	Prof. (m)	Coupe Litto.	Cote Alt.	Description lithologique (identification visuelle d'échantillons remaniés)	Profil Strati.
	1.00		-0.95	Soil limone-sabieux beige-pâle, non plastiques.	
	1.50		-1.95	Limons argileux beige-grisâtre, plastiques.	
	2.50		-3.95	Limons argileux et tourbeux gris moyen.	
	3.00		-4.95	Tourbe brun-noirâtre peu compacte.	
	6.00		-6.45	Sables gris-vert clair.	
	10.00		-11.45		

300% = 4.00m
100% = 5.00m

Remarques

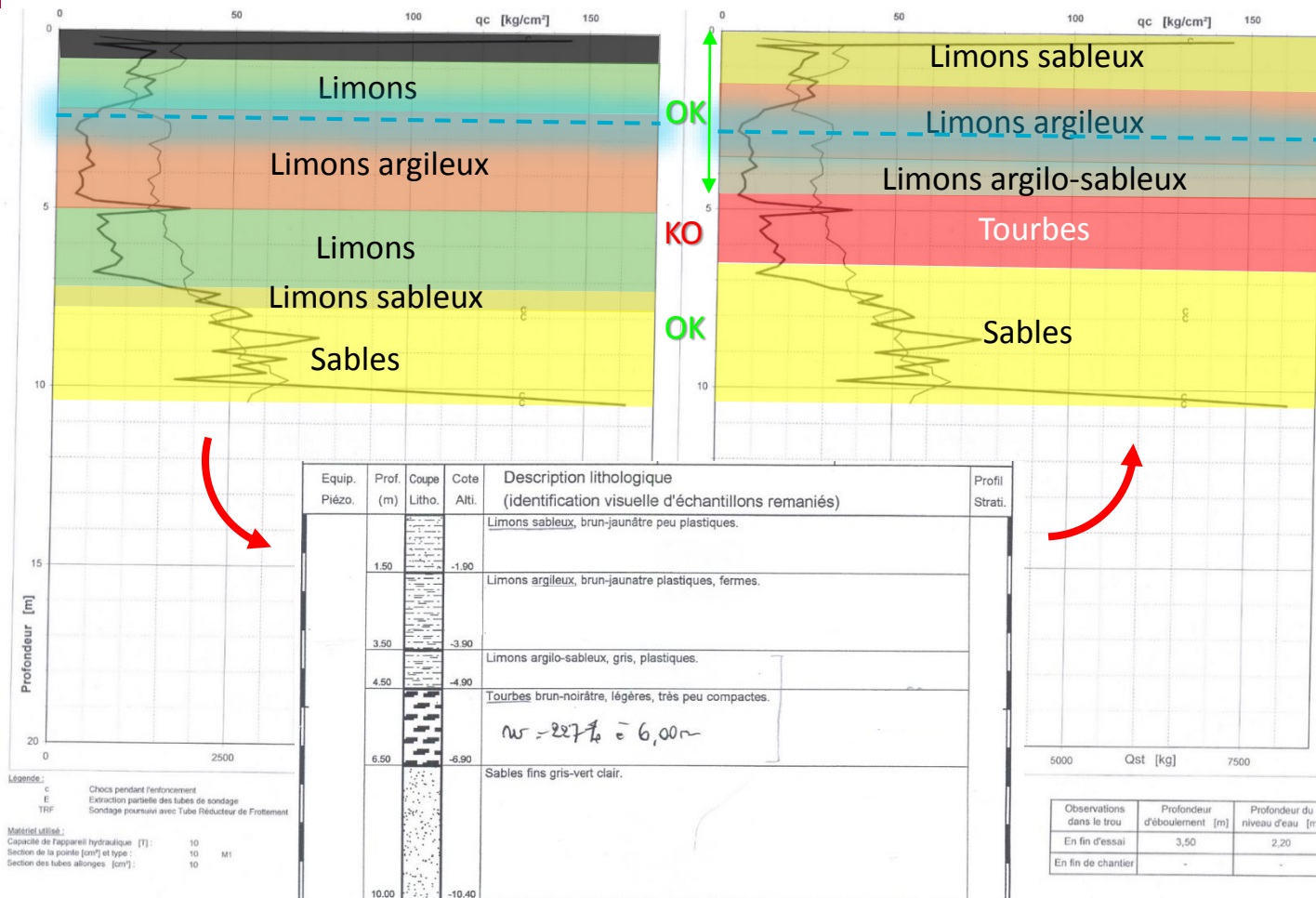
Page 1 de 1 Décrit par: L. Marchand, géologue Vérifié par: M. Liebaert, ir

- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. Pénétrromètre statique
- V. Sondage

Essais « in situ » ... sondage

■ Interprétation 1

- Correction

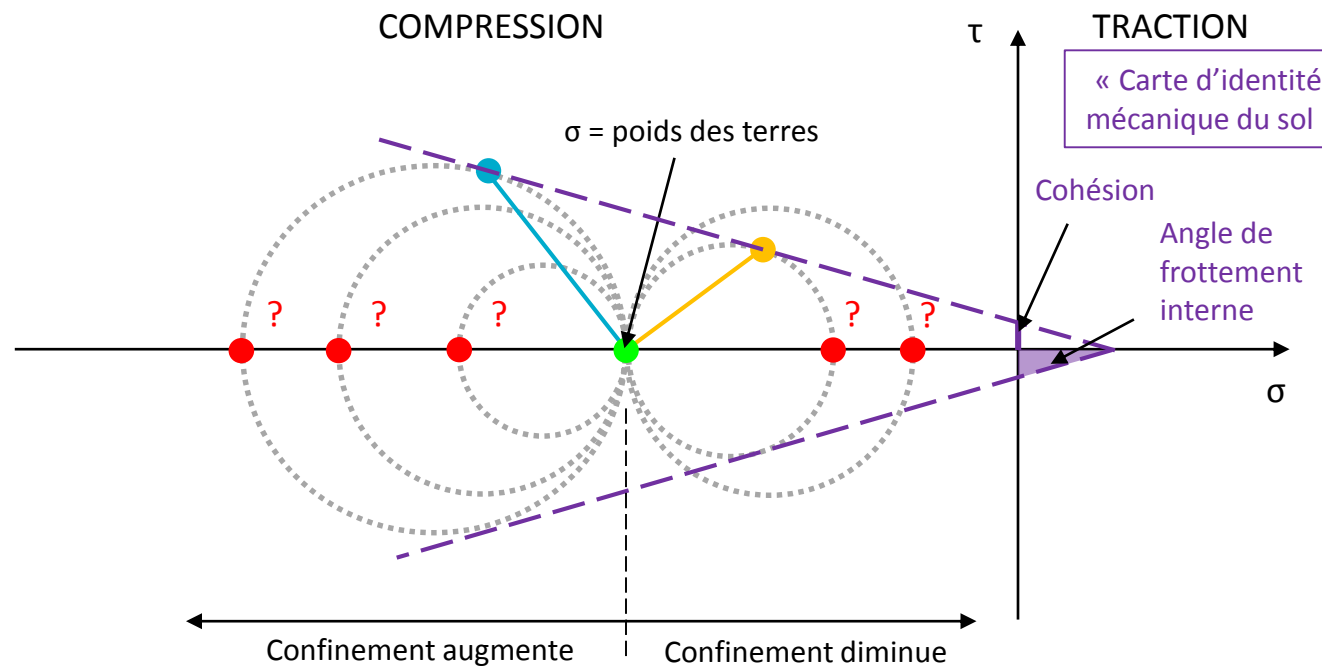
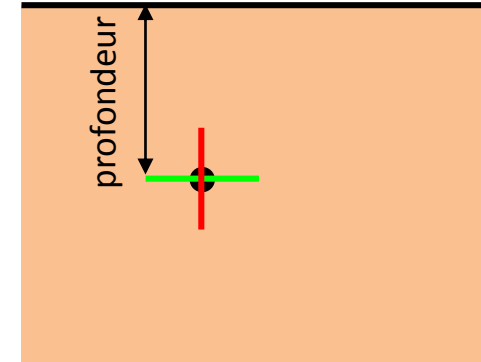


- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage

Cercle de Mohr

■ Utilité

- Permet de connaître la **facette de rupture** du sol et la **contrainte** associé
 - Si le confinement augmente (sol en butée)
 - Si le confinement diminue (sol en poussée)



- I. Plan de présentation
- II. Généralités
- III. Notions
- IV. Pénétromètre statique
- V. Sondage
- VI. Cercle de Mohr

Merci de votre attention !

