



Université Mohamed Boudiaf - M'sila
Faculté de Technologie
Département de Génie Civil

Module : **TP MDS II**

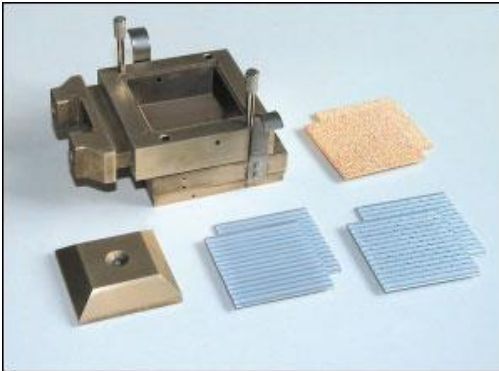
Niveau : 3^{ème} année licence

Année Universitaire : **2020/2021**

Dr. Lakhdar MEKKI

ESSAI DE CISAILLEMENT RECTILIGNE A LA BOITE

Norme NF P 94 - 071-1 & Méthode d'essai LPC N° 21



1. BUT DE L'ESSAI

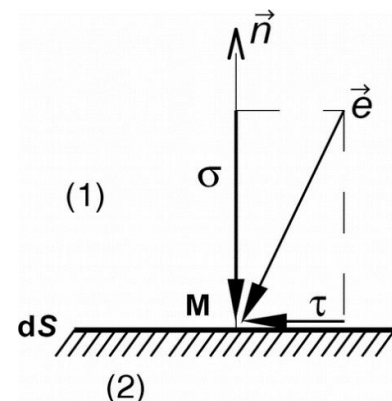
La conception des différents ouvrages (talus, soutènement, fondations) est influencée par la résistance au cisaillement des terrains. Cette conception doit conduire à éviter les ruptures ou les déformations trop importantes lorsque les ouvrages sont soumis à des charges maximales. Il est donc important de connaître la résistance ultime ou limite des terrains.

L'essai de cisaillement permet de tracer la courbe intrinsèque du sol étudié, et de déterminer ces paramètres de résistance au cisaillement, l'angle de frottement interne φ et la cohésion C .

2. CONTRAINTE NORMALE ET CONTRAINTE DE CISAILLEMENT

En un point M d'un milieu continu (soit ici notre échantillon de sol) on considère une facette d'aire dS infiniment petite et de normale $\vec{n}$ qui sépare le milieu en deux parties notées (1) et (2).

On admet que l'action de la partie (1) sur (2) se traduit au point M , sur la facette dS , par une contrainte notée $\vec{e}$. Le vecteur contrainte $\vec{e}$ se décompose, par rapport au repère lié à la facette dS , en une **composante normale** σ (suivant $\vec{n}$) et une **composante tangentielle** τ (comprise dans le plan de la facette) aussi appelée **contrainte de cisaillement**.



3. DEFINITION DE LA RUPTURE DU SOL

Il y a **rupture d'un sol par cisaillement** lorsque la contrainte de cisaillement t devient « trop importante ». La contrainte de cisaillement maximum que peut supporter un sol (correspondant donc à la rupture) n'est pas unique mais dépend de l'intensité de la contrainte normale.

En pratique, la rupture d'une éprouvette de sol s'apprécie d'après les déformations du sol : on trace en cours d'essai la courbe représentant la variation de la déformation du sol en fonction de la sollicitation qui l'a produite. Ces courbes ont, suivant la nature et l'état du sol, l'une des deux allures représentées sur la figure 1 :

- La courbe I présente un maximum. On admet que ce maximum $\tau_{\max}$ correspond à l'état de rupture, la déformation continuant de croître au-delà de ε_1 alors que la sollicitation appliquée diminue ou, au mieux, reste constante. (Cas des sables denses et les argiles à structure intacte lorsqu'elles sont surconsolidées)

- La courbe II a une allure asymptotique : on définit arbitrairement la rupture à une valeur maximale de la déformation (τ_{lim} correspondant à ε_{II}), au-delà de laquelle le comportement de l'ouvrage est incompatible avec sa destination. (cas des sables lâches et les argiles remaniées)

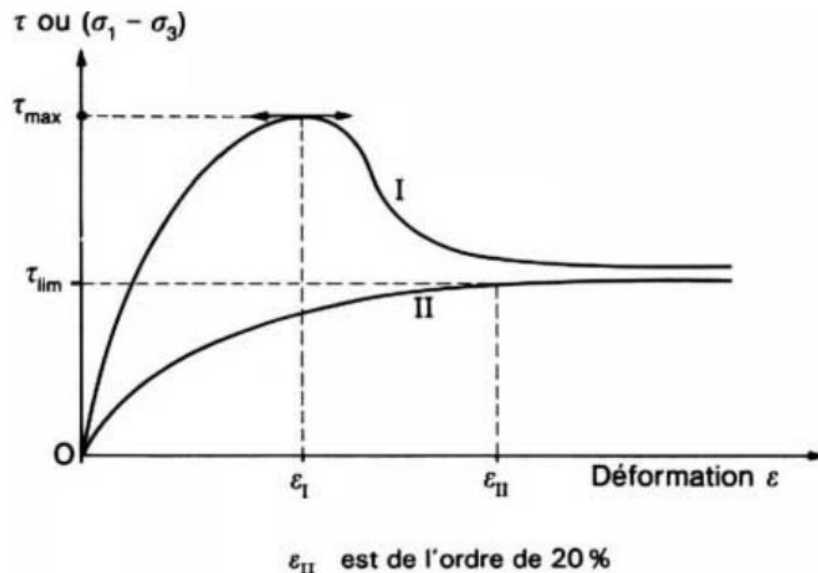


Figure 1. Courbe effort-déformation dans un essai de cisaillement

4. COURBE INTRINSÈQUE, CRITÈRE DE MOHR-COULOMB

Le plan de Mohr est une **représentation plane de l'état de contrainte** dans des axes liés à la facette. L'axe des abscisses ($O\sigma$) est confondu avec la normale à la facette, l'axe des ordonnées est ($O\tau$). Chacun des **états de rupture** dans un sol peut être caractérisé par un couple (τ_r, σ_r) **représenté par un point** sur le plan de Mohr.

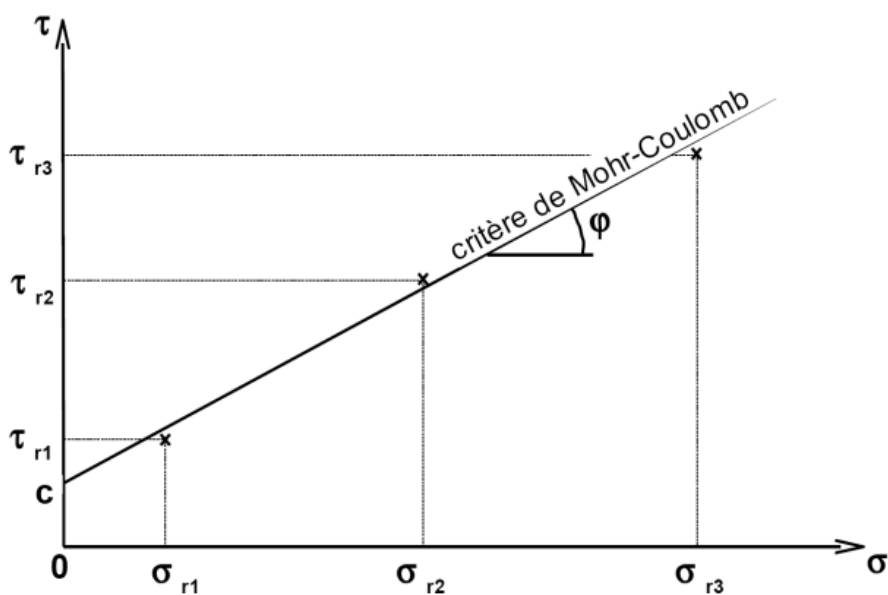


Figure 2. Droite de Coulomb - critère de Mohr-Coulomb-

L'ensemble des points représentant différents états de rupture forme une courbe à peu près rectiligne qui sépare le plan de Mohr en deux domaines :

- le domaine sous cette courbe représente l'ensemble des états de contrainte que peut supporter le sol (domaine stable),
- le domaine au-dessus de la courbe représente l'ensemble des états de contrainte non accessibles par le sol (domaine interdit, le sol entre en rupture avant)

Cette courbe est correctement approximée par une droite appelée **critère de rupture de Mohr-Coulomb** et définie par l'équation :

$$\tau = \sigma \cdot \tan \varphi + c$$

- φ est appelé **l'angle de frottement**, il représente la pente de la droite et s'exprime en degré.
- c est appelée la **cohésion**. Elle traduit l'« effet de colle » que l'on observe dans des argiles ou des sables partiellement saturés, elle est nulle pour un sable sec.

5. PRINCIPE DE L'ESSAI

L'échantillon de sol à étudier est placé entre deux demi-boîtes qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport à l'autre.

L'essai consiste à appliquer une charge verticale constante N par l'intermédiaire d'un piston. Puis on tire horizontalement la demi-boîte inférieure par une vitesse constante jusqu'à la rupture complète de l'échantillon. La force totale de cisaillement T est mesurée à l'aide d'un anneau dynamométrique fixé à la demi-boîte supérieure. On mesure les déplacements horizontaux Δl et verticaux Δh .

L'échantillon subit donc un cisaillement direct et rectiligne suivant un plan imposé sur lequel on exerce une contrainte normale déterminée.

La détermination de τ et σ lors de la rupture permet de préciser un point de la courbe intrinsèque du sol étudié. En réalisant plusieurs essais avec différentes valeurs de contraintes verticales, on peut déterminer le critère de rupture de Mohr-Coulomb et définir ses valeurs de cohésion c et d'angle de frottement φ .

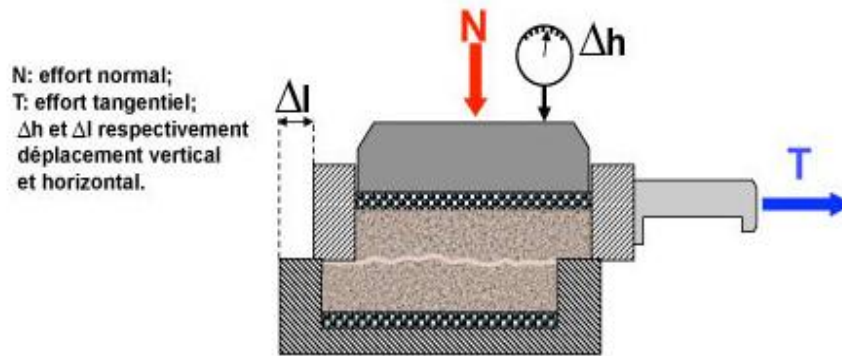
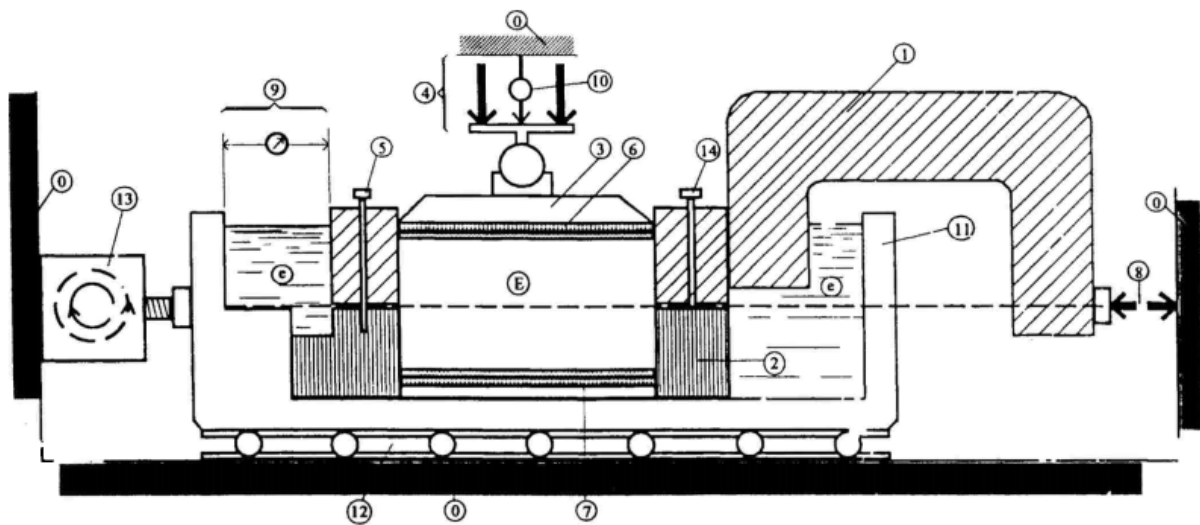


Figure 3. Principe de l'essai de cisaillement direct.

6. APPAREILLAGE DE L'AISSAI

L'appareillage spécifique à l'essai comprend (voir figure 4) :

- le bâti,
- la boîte de cisaillement,
- le dispositif d'application de l'effort normal sur l'éprouvette,
- le dispositif produisant le déplacement relatif horizontal entre les deux demi-boîtes,
- le système de mesurage des efforts, des déplacements et du temps,
- série de poids,
- balance précise au 1/100 g.



- | | |
|--|---|
| 0 Bâti | 9 Dispositif de mesure du déplacement relatif horizontal δl |
| 1 Demi-boîte supérieure | 10 Dispositif de mesure du déplacement vertical δh |
| 2 Demi-boîte inférieure | 11 Châssis étanche |
| 3 Piston rigide | 12 Glissière sans frottement |
| 4 Dispositif d'application de l'effort vertical N centré sur le piston | 13 Système de déplacement à vitesse constante |
| 5 Solidarisation des demi-boîtes | 14 Vis de soulèvement de la demi-boîte |
| 6 Plaque drainante supérieure | e Eau déminéralisée |
| 7 Plaque drainante inférieure amovible | E Éprouvette de sol |
| 8 Dispositif de mesure de l'effort horizontal T | |

Figure 4. Schéma de la boîte de cisaillement –Exemple avec la demi-boîte inférieure mobile.

7. MODE OPERATOIRE :

7.1. Préparation des échantillons

- Préparer environ 1 kg de sable sec tamisé à 0,4 mm,
- Les deux demi-boîtes étant verrouillées (solidarisés à l'aide des goupilles), on place successivement :
 - Le fond de boîte,
 - Une plaque striée, les stries étant perpendiculaires au sens de cisaillement. (les plaques perforées permettent les essais drainés, les plaques pleines sont utilisées pour les essais non drainés),
 - Remplir la boîte avec du sable sec en appliquant une pression modérée à la main sur le piston positionné sur l'échantillon pour le compacter. ***Le plan de cisaillement doit se trouver sensiblement à mi-hauteur de l'éprouvette (Après mise en place le piston doit dépasser de 1cm).***
 - Déterminer la hauteur et la masse initiale de l'échantillon. En déduire son poids volumique.
Nota : la hauteur de l'échantillon sera déterminée en mesurant la différence de cotes entre les niveaux de la boîte et du piston (faire les mesures au réglet dans chaque coin de la boîte)
 - Une plaque striée identique à la première,
 - Le piston.

7.2. Mise en place de la boîte sur la machine

- Placer l'étrier de charge sur le piston de la boîte,
- Placer le comparateur vertical et le mettre à zéro,
- Monter l'anneau dynamométrique sur la machine, le relier à la boîte et compenser les jeux en mettant l'anneau légèrement en traction (dès que l'aiguille de l'anneau accuse un léger déplacement) et en ramenant lentement le comparateur de l'anneau au zéro,
- Appliquer sur l'éprouvette la charge désirée, en générale : **100 - 200 - 400 kPa.**
- Désolidariser les deux demi-boîtes en enlevant les goupilles (les 2 vis de solidarisation),
- Mettre en route à la vitesse désirée.

7.3. Vitesse d'essai

La vitesse de cisaillement est conditionnée par le type d'essai que l'on veut réaliser. Pour un essai non drainé, ou sur sol sec, nous pouvons travailler avec une vitesse relativement élevée de 1 mm/min.

7.4. Mise en route de l'essai

- **ATTENTION** : Retirer maintenant les deux goupilles
- Vous pouvez alors procéder au démarrage de l'essai en appuyant sur le bouton « marche ».
- Lire, à intervalles réguliers (toutes les 15 secondes) les indications du comparateur de l'anneau, éventuellement du comparateur de déplacement horizontal et du comparateur vertical.
- Arrêter l'essai lorsque la contrainte de cisaillement est devenue constante ou lorsqu'on a une déformation horizontale de 10 % environ (au moins 5 mm).

7.5. Démontage de l'essai

- Enlever les poids du plateau de charge,
- Débloquer l'anneau dynamométrique,
- Enlever la boîte du chariot et sortir l'éprouvette de la boîte,
- Ramener la partie mobile du bâti à sa position initiale.
- Nettoyer soigneusement la boîte.

8. CALCULS ET RESULTATS

8.1. Calcul de la force de cisaillement

Convertir, si nécessaire, les lectures de l'anneau en kN

$$T = k \cdot |\Delta d|$$

Avec :

T : force de cisaillement,

k : Constante de l'anneau dynamométrique

Δd : Déplacement correspondant à l'allongement de l'anneau.

Nota : vous pouvez utiliser le tableau fourni avec la machine pour convertir les lecteurs de l'anneau.

8.2. Détermination de la surface cisailée

Pendant l'essai, la surface cisailée diminue proportionnellement au déplacement des demi-boîtes. La **surface corrigée** A_c de l'éprouvette à l'instant t est :

$$A_c = l (1 - \Delta l)$$

avec :

l : longueur initiale de l'échantillon $l = 6 \text{ cm}$.

Δl : variation de la longueur de l'échantillon à un instant t donné :

$$\Delta l = v \cdot t$$

v : la vitesse de déplacement de la demi-boîte inférieure, t le temps.

8.3. Calcul des contraintes de cisaillement et contraintes verticales

A partir de la surface corrigée A_c on peut calculer à tout instant les valeurs des contraintes normale et tangentielle :

- $\sigma = \frac{N}{A_c}$ la contrainte normale appliquée à l'échantillon,
- $\tau = \frac{T}{A_c}$ la résistance au cisaillement mesurée à la rupture.

8.4. Détermination des paramètres de résistance au cisaillement (Courbes intrinsèques)

On répète l'essai sur plusieurs éprouvettes avec des contraintes normales différentes $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ (trois au minimum). On trace les courbes de variation des contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales ($\tau, \varepsilon_l = \Delta l / l$). Sur ce graphe, les trois séries de courbe (1, 2 et 3) sont fonction de la contrainte normale imposée ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$). Ensuite, on détermine sur la courbe ($\tau, \varepsilon_l = \Delta l / l$) la valeur de la contrainte de cisaillement maximale, (voir paragraphe 3).

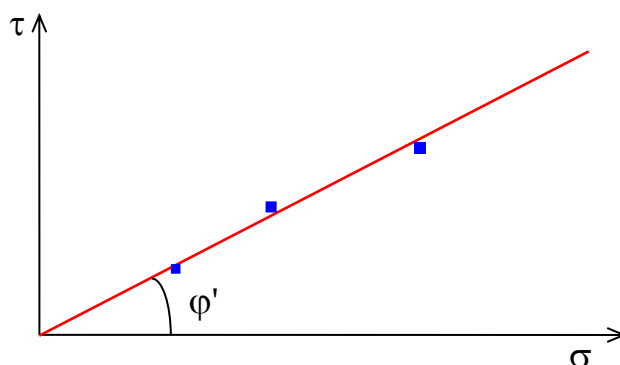
La courbe intrinsèque du sol peut être déterminée en portant sur le plan de Mohr (τ, σ) les points correspondant à la rupture (τ_i, σ_i).

Les paramètres de résistance au cisaillement rectiligne sont obtenus :

- l'angle d frottement φ' : la pente de la droite intrinsèque,
- la cohésion c' : l'ordonnée à l'origine de la droite intrinsèque.

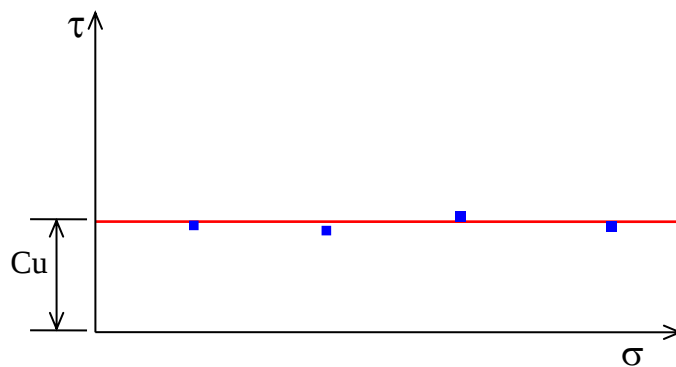
Note : Lorsque l'ordonnée à l'origine des droites est négative, reprendre le calcul en faisant un ajustement linéaire sur les couples de points et leurs symétriques par rapport à l'origine des axes de coordonnées.

8.4.1. Cas d'un sol pulvérulent

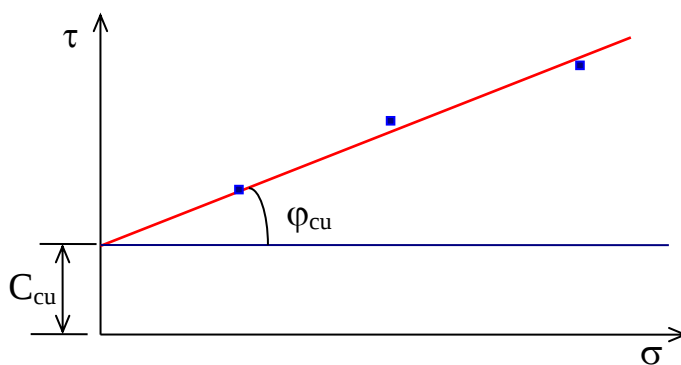


Les points relatifs à chaque pression normale sont presque alignés et la droite qui les joint passe par l'origine. 3 points suffisent en principe avec une approximation convenable.

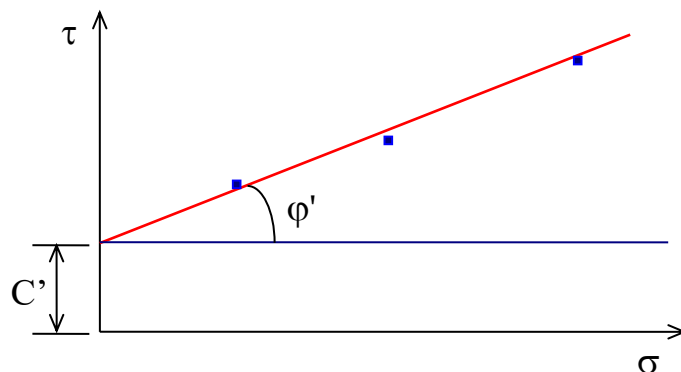
8.4.2. Cas des sols cohérents

Essai non consolidé - non drainé

Dans le cas d'une argile saturée, la courbe intrinsèque obtenue est une droite parallèle à l'axe des contraintes normales. Elle est caractérisée par son ordonnée à l'origine c_u .

Essai consolidé non drainé

La courbe intrinsèque est approximativement une droite inclinée sur l'axe des contraintes normales. On la caractérise par son ordonnée à l'origine c_{cu} et par son angle avec l'axe des abscisses φ_{cu} .

Essai consolidé drainé

On obtient également approximativement une droite inclinée sur l'axe des contraintes normales. Elle fournit la cohésion effective c' et l'angle de frottement effectif φ' .

9. RAPPORT A RENDRE

Le rapport comportera :

- Détails de calculs, tableaux de résultats...
- Les courbes de variation des contraintes tangentielles en fonction des déformations horizontales (τ , $\epsilon_l = \Delta l / l$) et la détermination de τ_r
- La courbe intrinsèque (τ , σ)
- Le calcul de c et φ

t min	$\sigma_1 =$					$\sigma_2 =$					$\sigma_3 =$				
	Δl mm	Δh mm	T kN	Ac mm ²	τ kN/m ²	Δl mm	Δh mm	T kN	Ac mm ²	τ kN/m ²	Δl mm	Δh mm	T kN	Ac mm ²	τ kN/m ²
0 :00															
0 :15															
0 :30															
0 :45															
1 :00															
1 :15															
1 :30															
1 :45															
2 :00															
2 :15															
2 :30															
2 :45															
3 :00															
3 :15															
3 :30															
3 :45															
4 :00															
4 :15															
4 :30															
4 :45															
5 :00															
5 :15															
5 :30															
5 :45															
6 :00															