

CHAPITRE I
RAPPEL
DE
CHAPITRE I
RAPPEL
DE
PLASTICITE ET CISAILLEMENT DES SOLS

CHAPITRE 1 – RAPPEL DE PLASTICITE ET RESISTANCE AU CISAILLEMENT DES SOLS.

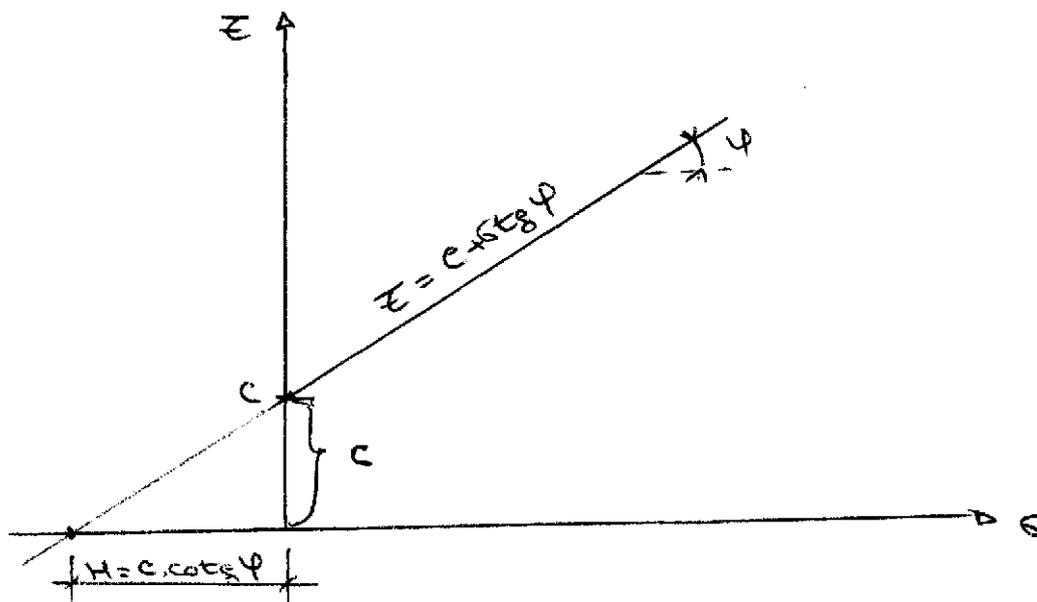
INTRODUCTION :

La rupture dans les sols se produit par glissement ou par déformation plastique d'une zone. Dans les deux cas, cette rupture se manifeste par un dépassement des contraintes tangentielles admissibles, c'est ce qu'on appelle généralement *cisaillement*.

Si on considère un élément unitaire de surface de glissement sur lequel agit une contrainte normale σ , il faut pour provoquer un glissement qu'il existe une contrainte tangentielle τ :

$$\tau = c + \sigma \cdot \text{tg}(\varphi)$$

Cette expression représente l'équation d'une droite appelée *courbe intrinsèque* ou *droite de Coulomb*.

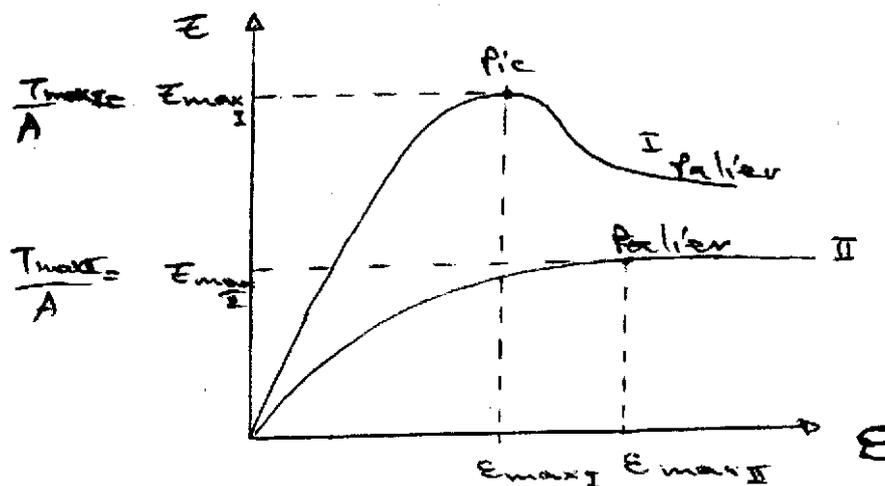


Si les contraintes dépassent cette droite, il y a rupture. Le problème est donc de déterminer pour chaque sol les valeurs de c et φ , qu'on peut déterminer par l'essai de cisaillement.

ESSAI DE CISAILLEMENT A LA BOITE DE CASAGRANDE :

1. Définition :

Dans l'essai dit à la boîte de cisaillement, la courbe intrinsèque est déterminée point par point. En effet, on prend sur un plan donné, une valeur de la contrainte normale σ , et on recherche la contrainte τ de cisaillement à la rupture.



- dans le cas (I), on définit la rupture comme intervenant au moment où la contrainte de cisaillement est maximale (Pic)($\tau_{max(I)}$),
- dans le cas (II), la contrainte de cisaillement tend vers une valeur asymptotique, on définit alors la rupture comme intervenant pour une valeur maximale de la déformation ($\epsilon_{max(II)}$).

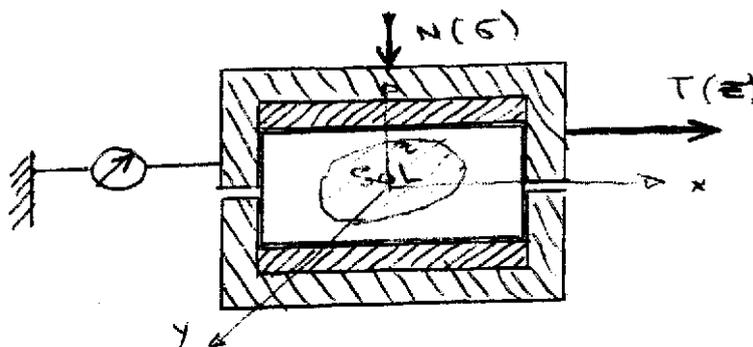
Remarque : Dans le cas d'un sol pulvérulent, la courbe intrinsèque est une droite passant par l'origine (car la cohésion est nulle) et donc l'équation sera :

$$\tau = \sigma \cdot \text{tg}(\varphi)$$

Avec :

- φ angle de frottement interne du sol,
- c cohésion du sol pratiquement nulle.

2. Description de l'essai :



La boîte de cisaillement ou boîte de Casagrande est destinée aux essais de cisaillement rectiligne dans laquelle on cherche à obtenir la rupture de l'échantillon de sol suivant un plan imposé.

L'échantillon est soit un cylindre de 6 cm de diamètre et de 3 cm de hauteur, ou un carré de 10 cm de côté et de 3 cm de hauteur. Il est placé entre deux pierres poreuses et deux demi-boîtes mobiles l'une par rapport à l'autre et sans contact.

On applique par l'intermédiaire de la demi-boîte supérieure un effort de compression N et un effort horizontal de traction T , le matériau se rompt alors pour une certaine valeur de T suivant le plan de séparation des deux demi-boîtes qui coïncide sensiblement avec le plan horizontal de symétrie de l'échantillon.

La connaissance de N et T permet la détermination d'un point de la courbe intrinsèque. En effet si A est la section de la boîte, les composantes de la contrainte critique (ou intrinsèque)

$$\text{sont : } \sigma = \frac{N}{A} \quad \text{et} \quad \tau = \frac{T}{A}$$

En répétant plusieurs fois l'expérience, on peut ainsi tracer la droite de Coulomb.

La force T est mesurée par un anneau dynamométrique et la déformation horizontale est mesurée par deux comparateurs qui sont tous les deux placés au contact de la demi-boîte supérieure.

On réalise selon le cas des essais à long terme et à court terme.

Ainsi pour les sols pulvérulents, on ne peut réaliser que des essais drainés à long terme.

Pour les sols cohérents, on réalise soit des essais à long terme ou à court terme.

Les essais à long terme sont obtenus en laissant l'échantillon se consolider sous la charge N puis, en réalisant le cisaillement à vitesse très lente.

En pratique, il existe trois types de cisaillement :

- l'essai UU : c'est l'essai non consolidé, non drainé (c'est à dire non consolidé, rapide),
- l'essai CD : c'est l'essai consolidé, drainé (c'est un consolidé, long),
- l'essai CU : c'est l'essai consolidé, non drainé (c'est un consolidé, rapide).

3. Cas d'utilisation des trois types d'essais :

1. **l'essai UU :** c'est l'essai exécuté lorsqu'on désire déterminer la stabilité d'un massif de terre soumis à des sollicitations dont l'application est rapide,
2. **l'essai CU :** il est exécuté lorsqu'on désire déterminer la stabilité d'un massif de terre préalablement consolidé puis soumis à des sollicitations rapides,
3. **l'essai CD :** cette essai est généralement appliqué pour les sables, car ceux-ci drainent et consolident rapidement. Il n'est utilisé sur les argiles que si l'on connaît la résistance ultime d'un massif argileux auquel ces charges de service sont appliquées progressivement.

L'ESSAI TRIAXIAL :

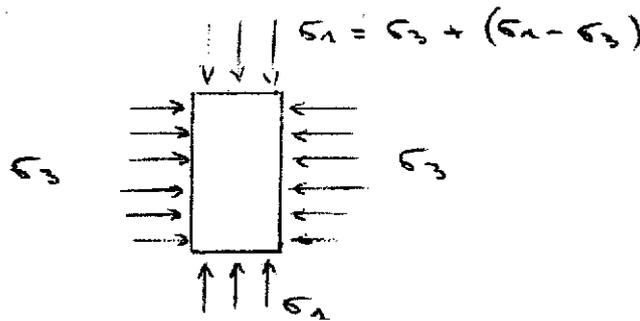
1. Définition :

La résistance au cisaillement d'un sol est définie comme la contrainte de cisaillement τ s'exerçant le long de la surface de rupture au moment de cette dernière. Elle s'exprime en fonction de deux paramètres c et φ et de la contrainte normale σ à la surface de rupture.

$$\tau = c + \sigma.tg(\varphi) \quad (\text{Droite de Coulomb})$$

A l'instar de l'essai de cisaillement direct à la boîte de Casagrande, l'essai triaxial a aussi pour but de déterminer les paramètres c et φ appelés respectivement cohésion et angle de frottement.

2. Principe de l'essai : (pour barrages et digues)



L'essai est réalisé sur des éprouvettes d'élanement voisin de 2. L'éprouvette est placée dans une cellule où elle est soumise à un champ uniforme de contrainte :

- une pression hydrostatique σ_3 appliquée par l'intermédiaire de l'eau qui remplit la cellule,
- une contrainte axiale, ou déviateur ($\sigma_1 - \sigma_3$), appliquée par l'intermédiaire d'un piston, la contrainte axiale totale appliquée à l'éprouvette est dans ces conditions :

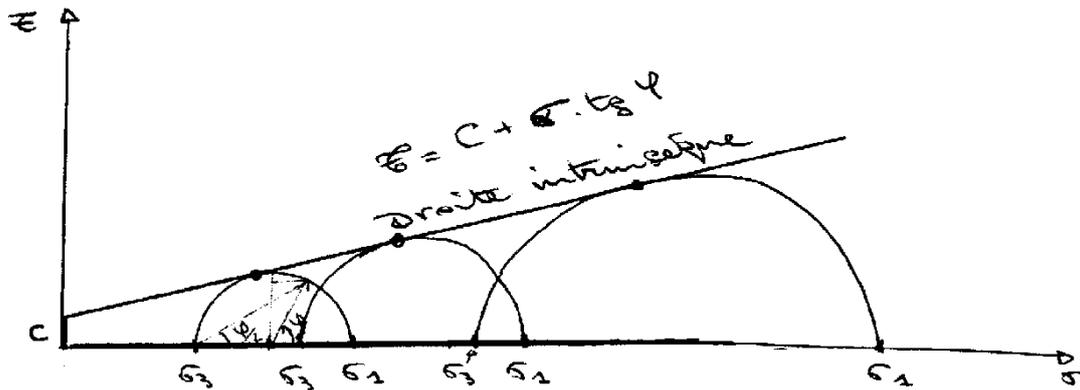
$$\sigma_1 = \sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3)$$

L'essai consiste à faire croître le déviateur (croître σ_1) jusqu'à la rupture de l'éprouvette tout en maintenant la pression hydrostatique constante.

On établit au cours de l'essai, la courbe effort-déformation, et on en déduit la contrainte principale σ_1 s'exerçant sur l'éprouvette au moment de la rupture.

On détermine par des essais sur trois ou quatre éprouvettes identiques les contraintes principales à la rupture pour différentes valeurs de σ_3 .

On trace ensuite les cercles de Mohr à la rupture en portant en abscisses les contraintes normales σ et en ordonnées les contraintes tangentielles τ . On trace ensuite la courbe enveloppe des cercles de Mohr appelé droite intrinsèque caractérisé par c et φ .



Différents types d'essais :

Comme l'essai de cisaillement direct, l'essai triaxial est exécuté en trois types d'essais qui diffèrent selon les conditions de consolidation et de drainage de l'éprouvette. Ainsi, on distingue :

1. **L'essai CD :** l'éprouvette est considérée sous la pression hydrostatique σ_3 et cisailée à drainage ouvert sous cette même pression. La vitesse de cisaillement est suffisamment faible pour éviter toute création de pression interstitielle. La résistance au cisaillement est exprimée en contrainte effective :

$$\tau' = c' + \sigma'.tg(\varphi')$$

Dans le cas d'un sol pulvérulent ($c'=0$), la droite intrinsèque passe par l'origine et :

$$\tau' = \sigma'.tg(\varphi')$$

2. **L'essai CU :** l'éprouvette est consolidée sous la pression hydrostatique σ_3 et cisailée à drainage fermé sous cette même pression. L'essai CU revêt deux aspects :
 - a. Il permet d'étudier la variation de la résistance au cisaillement non drainé du sol en fonction de la pression de consolidation,
 - b. Il permet de déterminer les caractéristiques c' et φ' d'un sol saturé sans avoir recours à l'essai CD et à mesurer la pression interstitielle au cours du cisaillement. On calcule les contraintes effectives à la rupture au moyen des relations :

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u$$

On trace ensuite les cercles de Mohr des contraintes correspondantes.

3. **L'essai UU :** l'application de la pression hydrostatique σ_3 et le cisaillement sont effectués à drainage fermé. La résistance au cisaillement est :

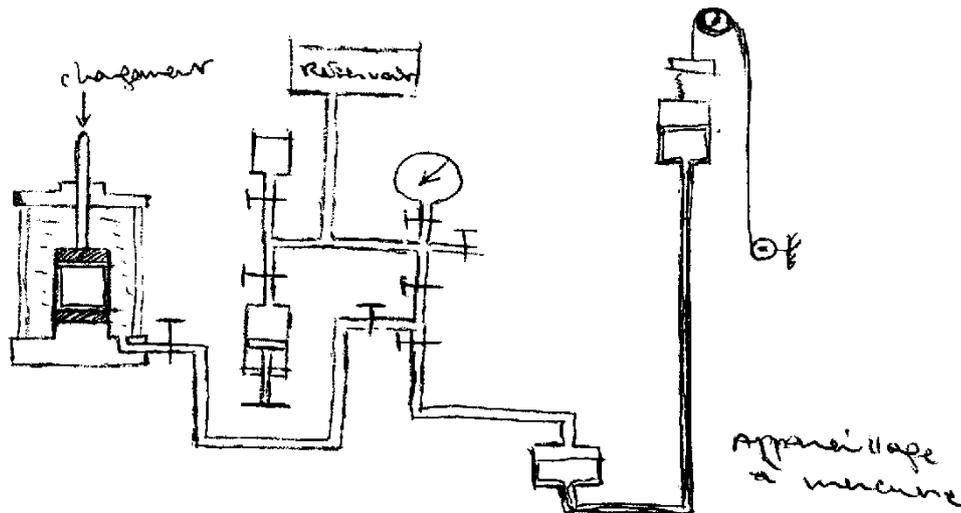
$$\tau = c_u + \sigma.tg(\varphi_u)$$

Remarque : Dans le cas très fréquent des sols saturés, on a :

$$\varphi_u = 0 \text{ d'où : } \tau = c_u$$

c_u étant la cohésion non drainée du sol.

Appareillage :



L'appareillage comprend trois parties :

1. la cellule triaxiale,
2. l'appareil à Mercure de mise en pression,
3. l'appareil de mesure de pression interstitielle.

1. la cellule triaxiale :

C'est une enceinte en Plexiglas transparente fermée aux deux extrémités. La base de la cellule permet le drainage, permet la mesure de la pression interstitielle, permet l'application de la contrainte hydrostatique σ_3 .

2. l'appareil à Mercure de mise en pression :

C'est l'appareillage auto compensateur se déplaçant sur rail vertical qui communique avec le réservoir d'eau de la mise en pression de la cellule.

3. l'appareil de mesure de pression interstitielle :

Il permet la détermination de u pendant l'essai avec un système hydrostatique.

Remarque :

L'essai triaxial théorique présente l'inconvénient que pour chaque cercle de Mohr, on emploie une nouvelle éprouvette.

Pour que les cercles soient liés à une même tangente, il faut que les éprouvettes soient identiques.

Solution : Dans le laboratoire, on effectue un essai triaxial dit à étape. L'essai s'effectue sur la même éprouvette pour trois valeurs de σ_3 . Le principe est de mener l'éprouvette jusqu'à la limite de rupture sans pour autant que cet état de rupture soit franchi. Ensuite, on passe à une autre valeur de σ_3 , donc une autre combinaison de contrainte qui provoque le même phénomène d'amorce de rupture.