

Chapitre II

Résistance au cisaillement des sols

2.0 Notions élémentaires sur l'RDM et les Contraintes

2.1 Notions sur la Résistance Des Matériaux (مقاومة المواد)

Connaitre des notions sur La Résistance Des Matériaux (RDM) permet de bien comprendre la résistance des sols. Les contraintes présentent des caractéristiques mécaniques assez connues en (Mécanique, en Génie Civil et en Mécanique des sols).

L'RDM : est une des branches de la mécanique qui permet l'étude des contraintes et des déformations. Les contraintes mécaniques peuvent être vues comme des « efforts de cohésion » de la matière et sont homogènes à une pression (généralement exprimée en méga-Pascal MPa ou en kn/m^2). Les déformations d'un objet physique s'observent par un changement de forme de celui-ci et/ou de variation dans ses dimensions.

Les sollicitations sont quantifiées par la notion de contrainte σ , qui est l'effort surfacique exercé sur une partie de la pièce en un point (voir Fig1) ou sur toute la pièce. Cette contrainte, si on la suppose uniforme dans la section, peut s'assimiler à la contrainte moyenne :

$$\sigma = \frac{F}{S} \text{ ou } F \text{ est la force}$$

et S est la surface

Remarque : Une contrainte s'exerce toujours sur une surface

a- Elle peut être perpendiculaire à cette surface :

La contrainte est alors dite normale et notée σ_n

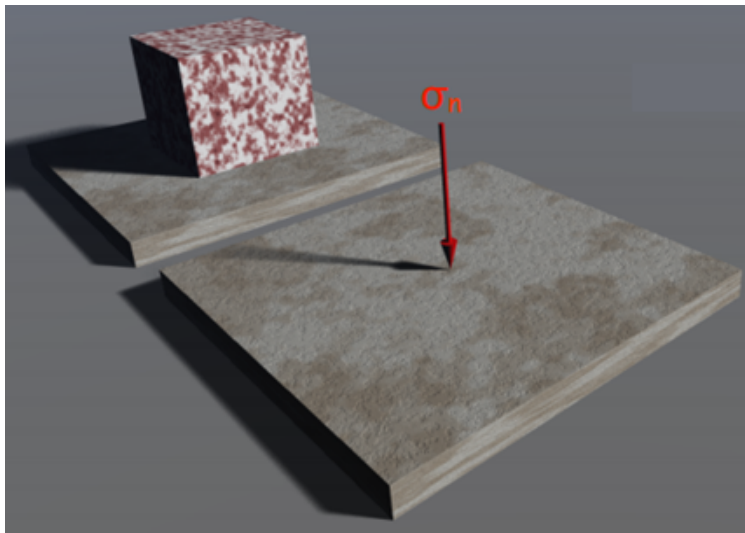


Fig1

L'objet de la résistance des matériaux est l'étude de la stabilité interne c'est à dire la détermination des contraintes et déformations à l'intérieur de la matière et les déplacements.

Dans la réalité, la contrainte s'exerce sur toute la surface de contact.

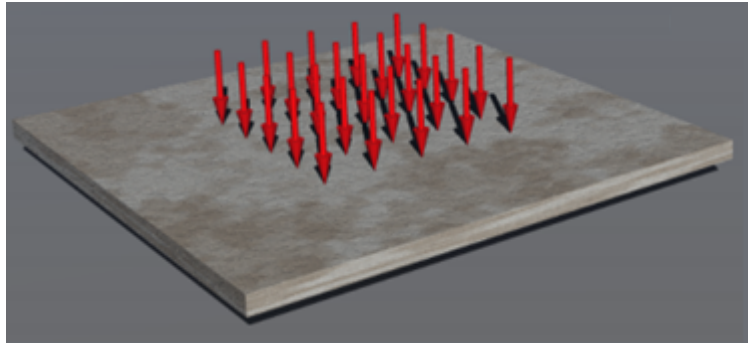


Fig. 2

Quand il y a :

- | | | |
|-----------|---|-----------------|
| Forces | ⇒ | Contraintes |
| Mouvement | ⇒ | Déformations |
| Masse | ⇒ | Masse volumique |

σ est homogène à une pression exprimé en mégapascals MPa ou par kilonewton par mètre carré kn/m^2 .

b- Elle peut être oblique par rapport à la surface sur laquelle elle s'exerce

La contrainte se décompose alors en une contrainte, notée σ_n , et une contrainte tangentielle dite contrainte de cisaillement, notée τ .

C'est le cas le plus général.

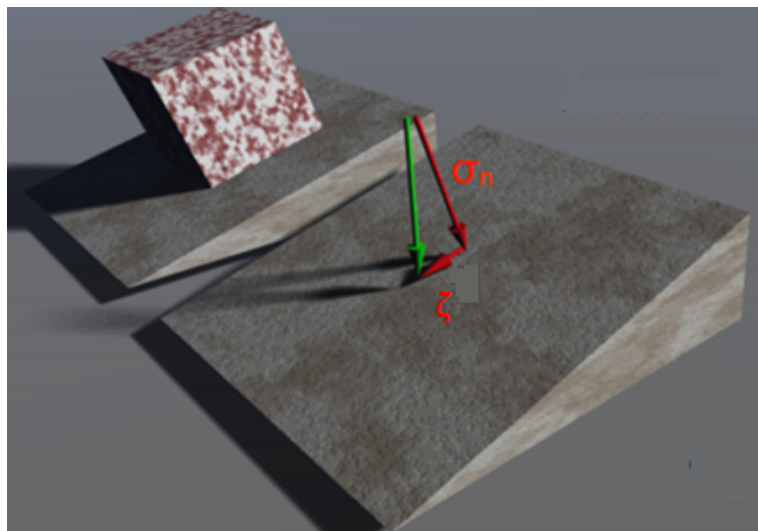


Fig.3

Dans la nature ces caractéristiques physiques on peut les voir dans les séismes (tremblements de terre) et dans les glissements de terrains.

Séisme

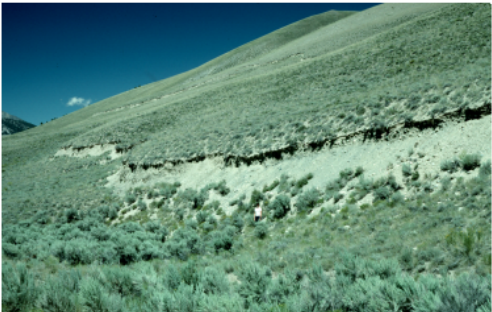
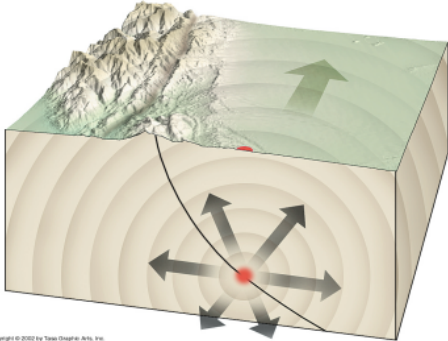


Fig. 4

Glissement de terrain

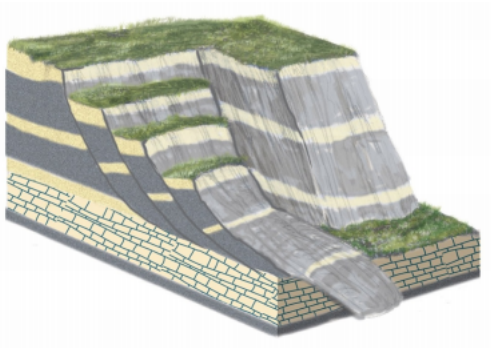


Fig5

Fig 6

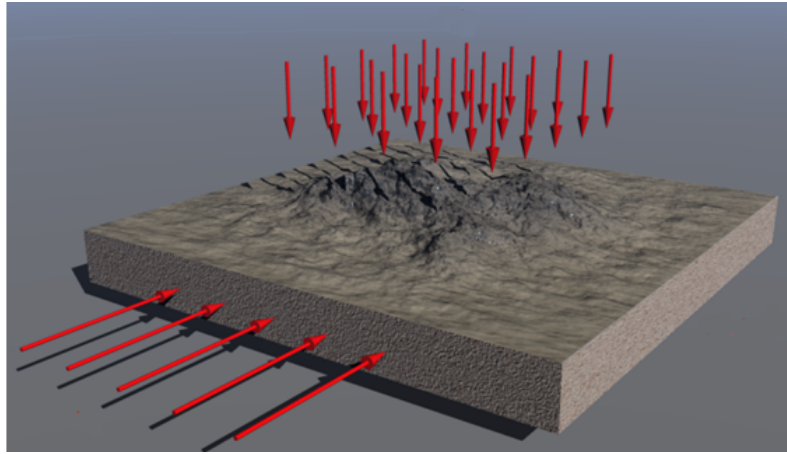
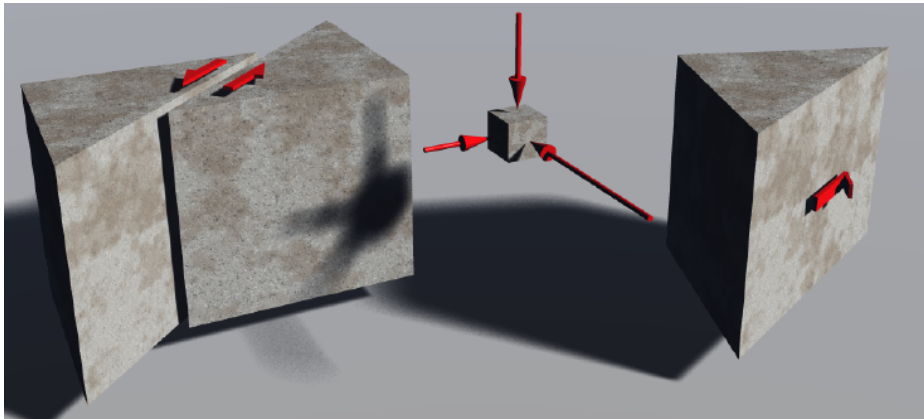


Fig 7



Remarque : Dès qu'un milieu continu est soumis à des forces **extérieures** :

- forces de **surface**
- forces de **volume**

il est soumis à des contraintes.

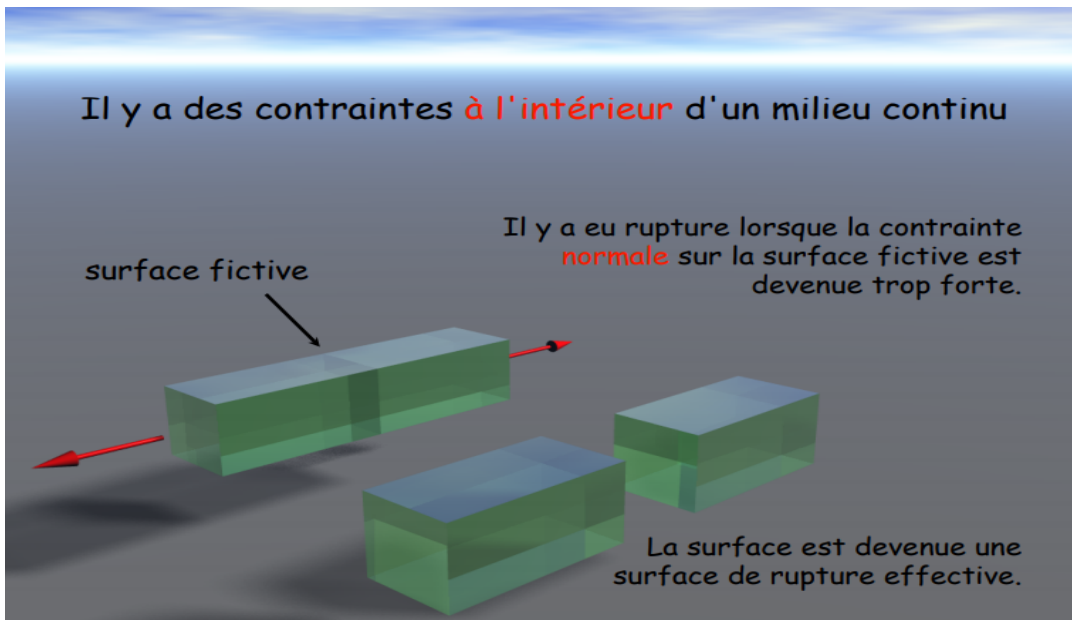


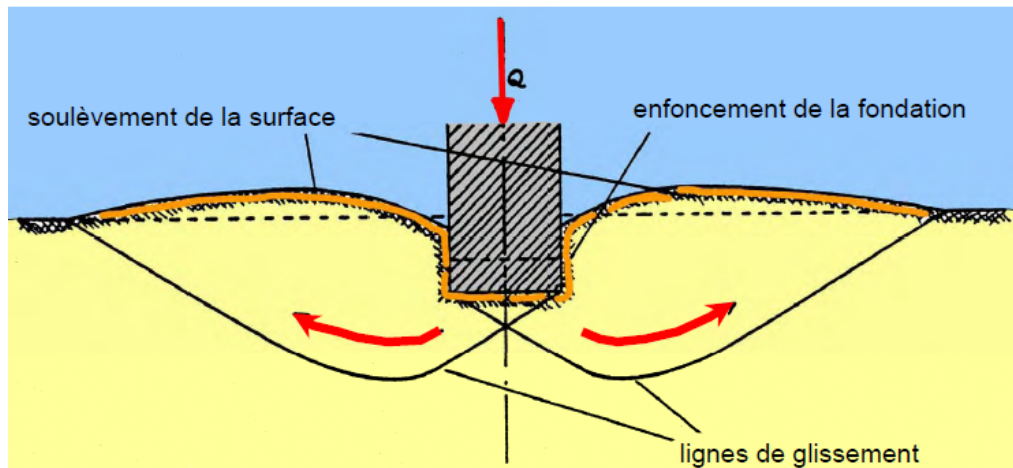
Fig 8

2.2 Résistance au cisaillement

Généralité :

La mécanique des sols a pour objectif d'étudier de manière physique le comportement des sols. Dans une masse de sol, les déformations résultent principalement d'un glissement entre particules, le terme résistance au cisaillement est synonyme de résistance des déformations dues au cisaillement qui sont localisée le long d'une surface appelée surface de glissement.

Fig 9



Augmentation des contraintes jusqu'à la rupture :



- Glissement des particules de sol les unes par rapport aux autres,
- Mouvement relatif des grains sur des surfaces de glissement.

2.3 Mesure au Laboratoire des caractéristiques de rupture par l'essai de cisaillement

L'essai consiste à soumettre un sol à un cisaillement direct, rectiligne, suivant un plan imposé.

L'éprouvette (l'échantillon) de sol est placée à l'intérieur des deux demi boîtes qui peuvent se déplacer horizontalement l'une par rapport à l'autre. Un piston permet d'exercer sur le sol un effort normal N constant pendant toute la durée de l'essai et une Force T (force de cisaillement) est exercée sur les deux demi-boîtes avec une

vitesse constante. On a $\sigma = \frac{N}{S}$ et $\tau = \frac{T}{S}$

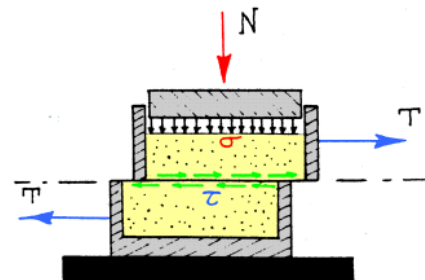


Fig 10 Boîte de cisaillement (CASAGRANDE)

σ : Contrainte normale

τ : Contrainte tangentielle (de cisaillement).

La Force de cisaillement mesurée par un anneau dynamométrique

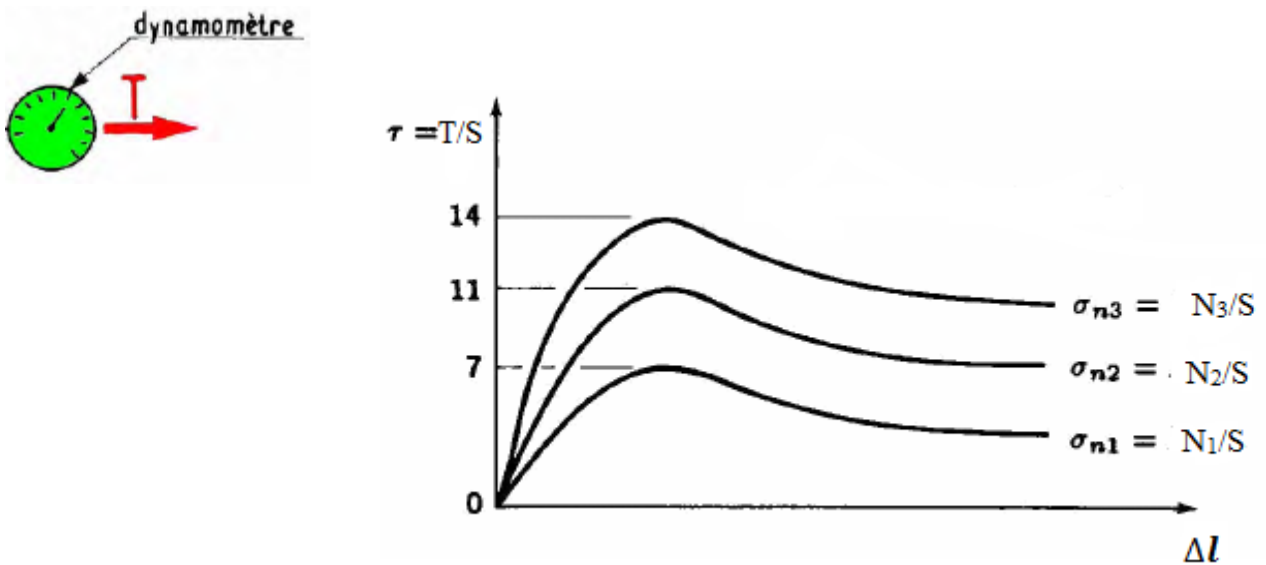


Fig 11 Contrainte déformation

Δl : Déplacement

2.3 Critère de rupture de Mohr-Coulomb

Mohr a émis l'hypothèse que la contrainte de cisaillement à la rupture est fonction uniquement de la contrainte normale sur ce plan Fig 12 c'est-à-dire : $\tau_r = f(\sigma_r)$

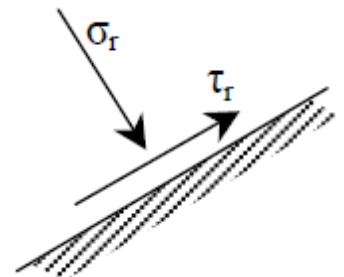


Fig 12 Plan de rupture

2.4 Résonnement par élément

Lorsque l'orientation de la facette sur laquelle s'exerce la contrainte considérée Fig 13 : Il existe trois directions orthogonales appelées plan principaux sur lequel les contraintes que nous designions par $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ sont normales au plan principal considéré.

On considère toujours que : $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$

La contrainte sur une section non sollicitée par un effort de cisaillement est dite contrainte principale et la direction elle-même est dite principale.

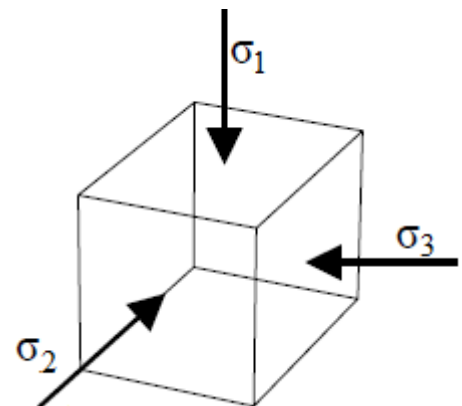


Fig 13

On prend un prisme cubique est on fait une coupe a-a

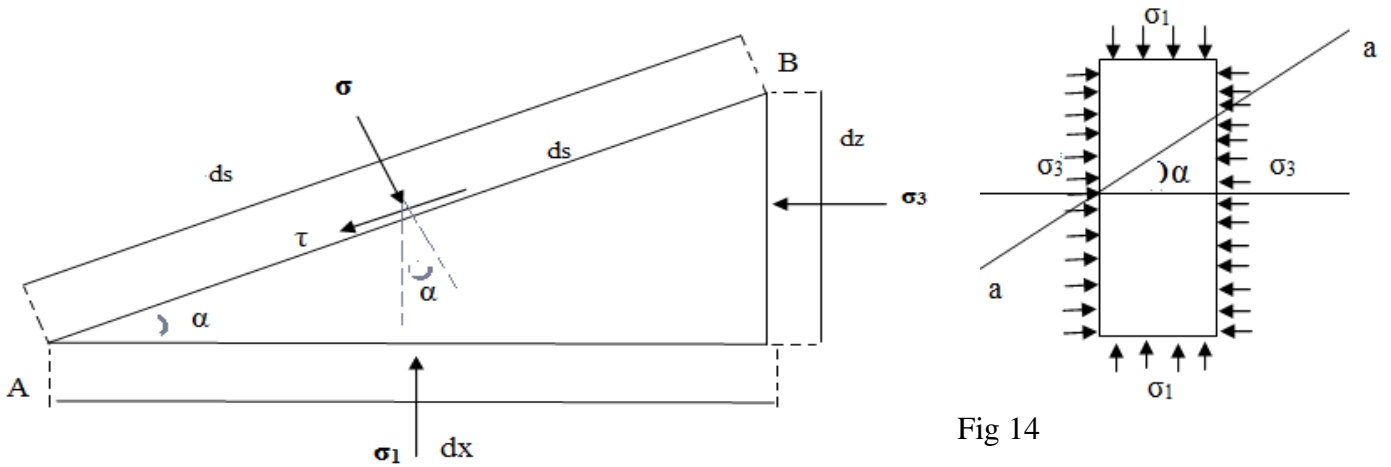


Fig 14

Dans le but de calculer les contraintes agissant sur une section arbitraire inclinée (a-a), Nous cherchons les conditions d'équilibre d'un prisme élémentaire. L'angle α est mesuré dans le sens des aiguilles d'une montre

On prend $\alpha = 45 + \frac{\varphi}{2}$

On a : $\sin \alpha = \frac{dz}{ds}$ et $\cos \alpha = \frac{dx}{ds}$ alors : $dz = ds \cdot \sin \alpha$ et $dx = ds \cdot \cos \alpha$

A l'équilibre, la somme des forces dans n'importe quelle direction égal à zéro, donc si l'on fait la somme des forces qui s'exercent dans les directions horizontales et verticales on obtient :

$$\sum \text{des forces horizontales} = 0$$

$$\sigma_3 \sin \alpha \cdot ds - \sigma \sin \alpha \cdot ds + \tau \cos \alpha ds = 0$$

$$\sum \text{des forces verticales} = 0$$

$$\sigma_1 \cos \alpha ds - \sigma \cos \alpha \cdot ds - \tau \sin \alpha ds = 0$$

Si l'on résout ces deux équations simultanément pour σ et τ on obtient :

$$\sigma = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2} + \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \cos(2\alpha)$$

$$\tau = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \sin(2\alpha)$$

Par ailleurs, si l'on élève ses deux équations au carré et on les additionnant, on obtient l'équation d'un cercle de rayon R.

$$R = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \text{ dont le centre est situé en } C = \frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$$

Lorsque le cercle est placé sur un graphique (σ, τ) qui représente l'élément de la figure ci-dessous :

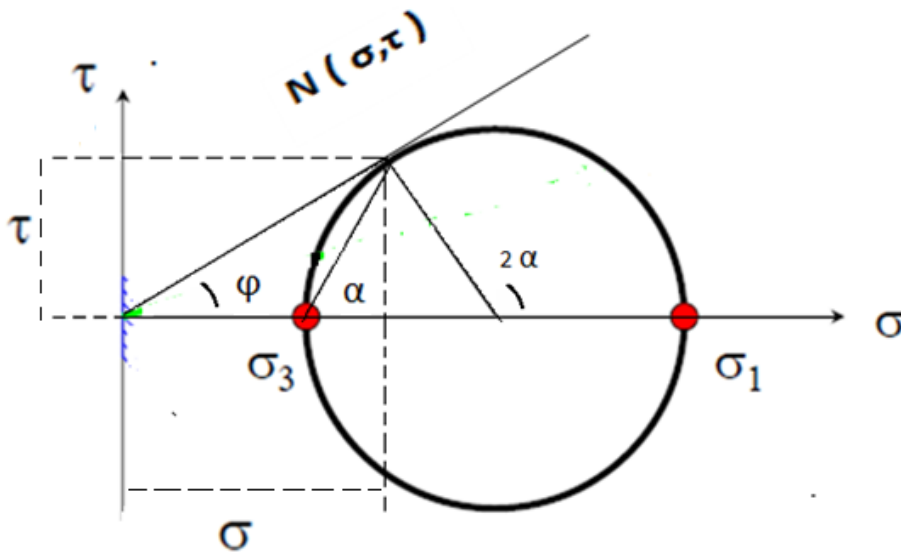


Fig 15

On l'appelle le cercle des contraintes de MOHR. Il représente l'état des contraintes en un point à l'équilibre.

2.5 Critère de MOHR-COULOUMB

La valeur de $(\sigma_1 - \sigma_3)$ est le diamètre du cercle de MOHR (Déviateur de contrainte).

Pour toutes les valeurs si on fait croître le déviateur des contraintes et que l'on porte sur un diagramme (σ, τ) les cercles correspondant au déviateur maximum juste avant la rupture, on constate que tous les cercles admettent une même enveloppe appelée **Courbe Intrinsèque**.

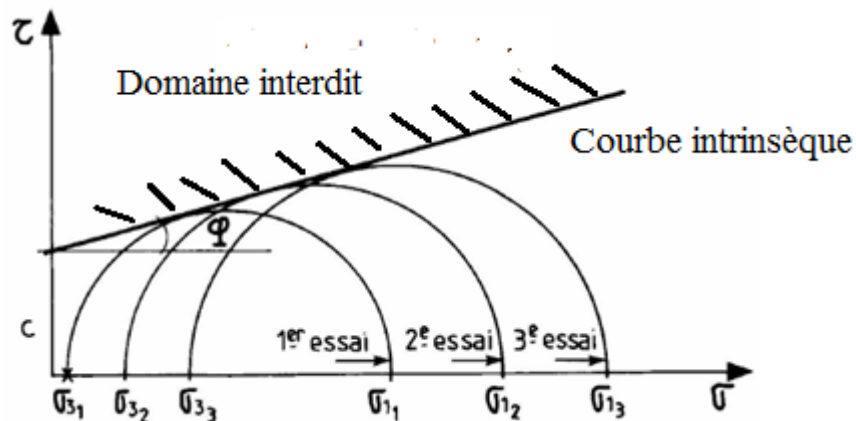


Fig 16

La courbe intrinsèque délimite donc la zone dont laquelle la stabilité du milieu est assurée.

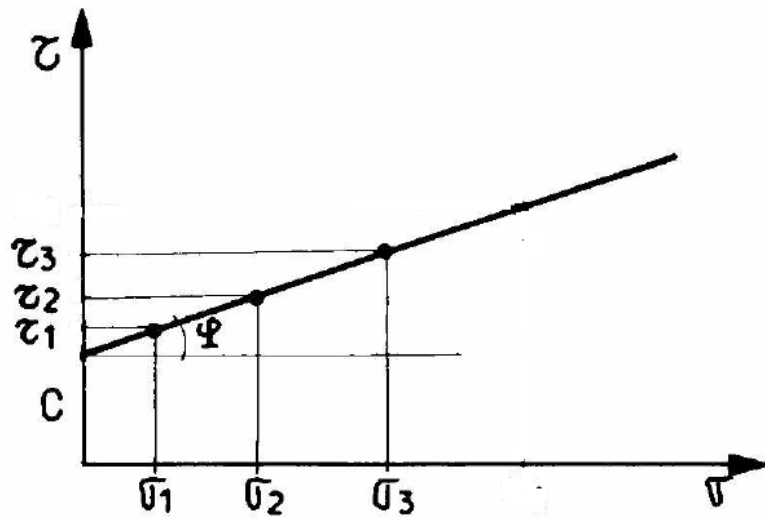
La courbe intrinsèque est assimilée à une droite, cette droite est appelée droite de COULOMB : Elle est caractérisée par deux paramètres : C et φ .

C : La cohésion

φ : L'angle de frottement

Donc la relation entre σ et τ s'écrit : $\tau = C + \sigma \operatorname{tg} \varphi$ (Equation d'une droite)

Fig 17



Remarque Si les axes du diagramme de MOHR représentent les contraintes effectives

Alors la contrainte tangentielle devient : $\tau' = c' + \sigma' \tan \varphi'$

$$\left[\begin{array}{l} \tau' = \tau \\ \sigma' = \sigma - \mu \\ \tau' = c' + \sigma' \tan \varphi' \end{array} \right.$$