

Chapitre I : Poussée et butée

1. Etat des sols au repos

A la profondeur z sous un remblai indéfini (figure 1):

- la contrainte effective verticale (sur une facette horizontale) est

$$\sigma'_v = \gamma' \cdot z$$

- la contrainte horizontale (sur une facette verticale), s'il n'y a pas de déplacement latéral est :

$$\sigma'_h = K_0 \cdot \sigma'_v$$

K_0 étant, par définition, le coefficient des terres au repos.

Exemples:

Pour un sable, $K_0 = 1 - \sin \varphi$.

Pour les argiles molles et les vases, $K_0 = 1$.

Pour les argiles normalement consolidées, $K_0 \approx 0,5$.

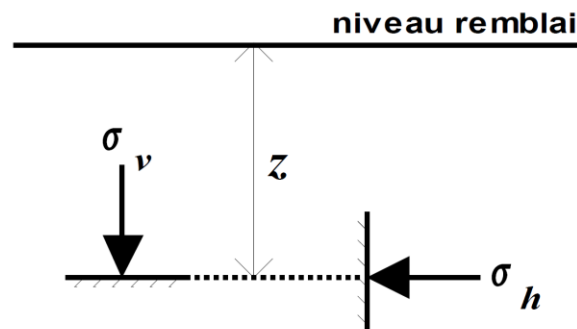


Figure 1 – contraintes au repos.

2. Notion de poussée et de butée

Imaginons un écran mince vertical lisse dans un massif de sable. Il est soumis par définition à la poussée au repos.

En supprimant le demi massif de gauche, et en déplaçant l'écran parallèlement à lui même vers la droite, il se produit un équilibre dit de **butée** (ou *passif*).

En le déplaçant vers la gauche, il se produit un équilibre de **poussée** (ou *actif*). La figure 2 représente la force horizontale F à appliquer à cet écran pour le déplacer d'une longueur ε .

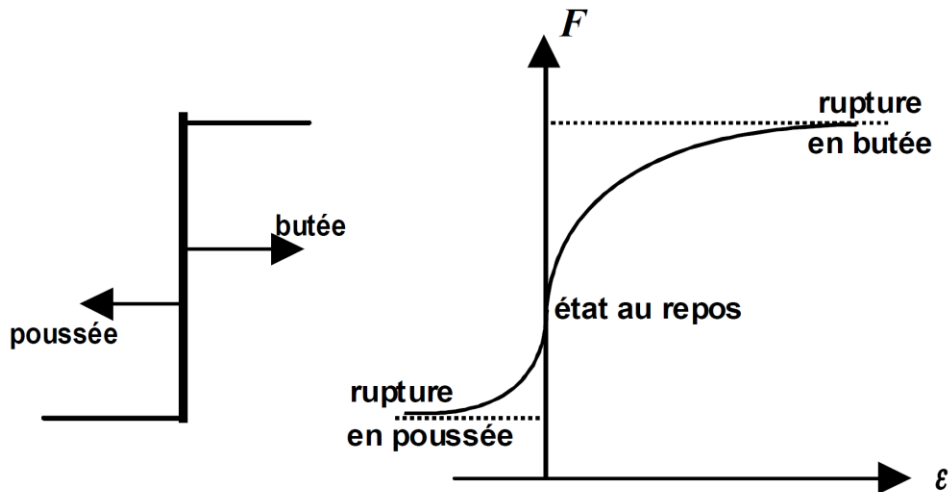


Figure 2 – Principe de la poussée et de la butée.

3. Théorie de Coulomb (1773)

Cette théorie, déjà ancienne, permet la détermination de la force de poussée s'exerçant sur un écran d'orientation verticale ou inclinée (figure 3).

Hypothèses :

- le sol est homogène et isotrope;
- le mur est rigide;
- la surface de rupture est plane;
- l'angle de frottement δ entre le mur et le sol est connu (δ est l'angle entre la résultante des forces de poussée et la perpendiculaire au mur) ;
- la cohésion n'est pas prise en compte.

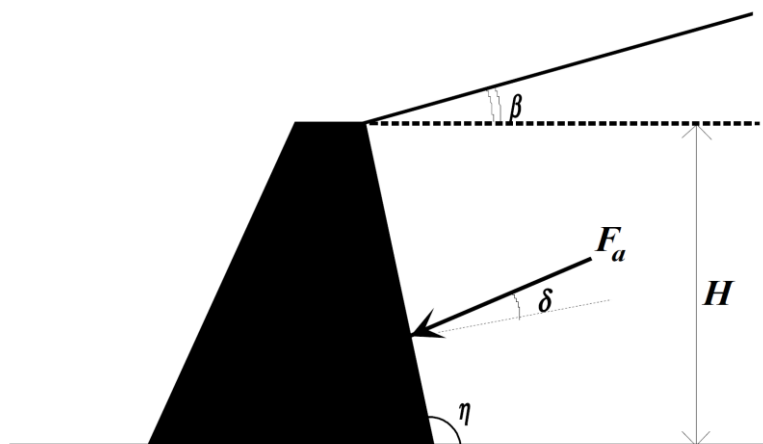


Figure 3 – Poussée sur un mur selon Coulomb.

$$F_a = \frac{1}{2} \gamma \cdot H^2 \cdot K_a$$

où K_a coefficient de poussée, est donné par la formule de Poncelet :

$$K_a = \frac{\sin^2(\eta - \varphi)}{\sin^2 \eta \cdot \sin(\eta + \delta)} \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\varphi + \delta) \cdot \sin(\varphi - \beta)}{\sin(\eta + \delta) \cdot \sin(\eta - \beta)}} \right]^{-2}$$

Pour $\beta = 0$, $\eta = \pi/2$ et $\delta = 0$ (mur lisse), on obtient:

$$K_a = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$$

4. Théorie de Rankine (1860)

Hypothèses :

- le sol est isotrope ;
 - le mur ne modifie pas la répartition des contraintes verticales :
- $\sigma_v = \gamma \cdot h$ pour un sol à surface horizontale ;
- $\sigma_v = \gamma \cdot h \cdot \cos \beta$ pour un sol à surface inclinée d'un angle β sur l'horizontale.

Nous considérerons seulement le cas d'un écran vertical.

Pour les sols pulvérulents ($c = 0$) et à surface horizontale.

La contrainte de poussée (*active*) est

$$\sigma_a = K_a \cdot \gamma \cdot h$$

avec : $K_a = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right)$

de même, La contrainte de butée (*passive*) est

$$\sigma_p = K_p \cdot \gamma \cdot h$$

avec : $K_p = \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$

où: $K_p = 1/K_a$

Remarque

Dans ce cours, on utilisera la méthode de Rankine. Les contraintes actives et passives auront alors comme formules générales (φ et $C \neq 0$):

$$\begin{cases} \sigma_a = tg^2 K_a - 2C\sqrt{K_a} \\ \sigma_p = tg^2 K_p + 2C\sqrt{K_p} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} \sigma_a = tg^2\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) - 2C.tg\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \\ \sigma_p = tg^2\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) + 2C.tg\left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2}\right) \end{cases}$$

5. Equilibre de Caquot – Kérisel

Caquot et Kérisel ont introduit un élément supplémentaire non pris en compte par Rankine : le frottement sol-écran.

En effet, le sol en particulier sous l'effet du tassement va frotter contre la paroi interne de l'écran et générer un effort vertical descendant non négligeable.

L'effort F décrit précédemment subsiste mais fait maintenant un angle δ avec la perpendiculaire à la surface de l'écran.

δ est l'angle de frottement sol-écran. Par contre, les coefficients de poussée K_a et de butée K_p fournis par Rankine sous forme d'équation ne sont plus valables et doivent être remplacés par les tables de Caquot et Kérisel.

Dans le cas général, on prend : $\delta = \frac{2}{3}\varphi$

(avec φ : angle interne de frottement).

POUSSÉE ET BUTÉE DES TERRES											
• Coefficients de poussée et de butée											
Valeurs de K_{ay} (sur la première ligne) et de K_{py} (sur la deuxième ligne) (surface libre horizontale, écran vertical) pour diverses valeurs de δ (d'après Caquot-Kérisel).											
valeurs de ϕ											
	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	
ÉQUILIBRE DE CAQUOT-KERISEL	$\frac{\delta}{\phi} = 1 \dots$	0,81 0,99	0,65 0,98	0,53 0,97	0,44 0,95	0,37 0,93	0,31 0,90	0,26 0,86	0,22 0,80	0,185 0,73	0,155 0,64
	$\frac{\delta}{\phi} = \frac{2}{3} \dots$	0,81 1,08	0,66 1,16	0,54 1,24	0,44 1,33	0,36 1,44	0,30 1,56	0,25 1,68	0,20 1,8	0,16 1,7	0,13 1,6
	$\frac{\delta}{\phi} = \frac{1}{3} \dots$	0,82 1,15	0,67 1,30	0,56 1,49	0,45 1,70	0,37 1,93	0,30 2,20	0,25 2,5	0,20 2,8	0,16 3,2	0,13 3,6
	$\frac{\delta}{\phi} = 0 \dots$	0,84 1,19	0,70 1,42	0,59 1,70	0,49 2,04	0,41 2,46	0,33 3	0,27 3,7	0,22 4,6	0,17 5,8	0,13 7,5
	$\frac{\delta}{\phi} = \frac{1}{3} \dots$	0,88 1,22	0,75 1,52	0,64 1,89	0,52 2,38	0,46 3,03	0,39 4,02	0,32 5,55	0,26 8,1	0,20 12	0,16 19
	$\frac{\delta}{\phi} = \frac{2}{3} \dots$	0,94 1,24	0,81 1,59	0,72 2,06	0,64 2,72	0,56 3,61	0,48 5,25	0,40 8,0	0,34 12,8	0,27 21	0,22 41
	$\frac{\delta}{\phi} = -1 \dots$	1,04 1,26	1,06 1,66	1,05 2,20	1,04 3,04	1,02 4,26	0,98 6,56	0,94 10,7	0,88 18,2	0,82 35	0,75 75