

Université Aboubekr Belkaid Tlemcen

Institut des Sciences et Techniques Appliquées

Département Génie Construction et Aménagement

LES OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT



MURS POIDS

Leur poids propre



Un moment résistant au moment
moteur des forces de remblai

Il existe

Murs poids en béton



Murs poids en maçonnerie

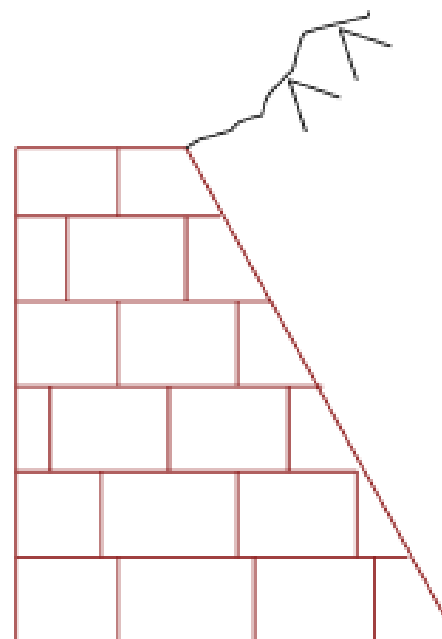


Murs poids légèrement armés

Murs poids en maçonnerie :

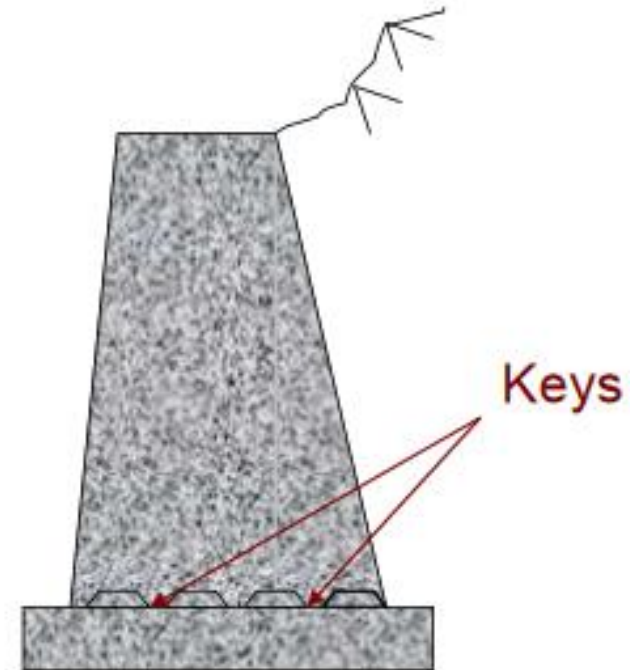


- Utilisables lorsque le sol de fondation est bon
- Économiques jusqu'à une hauteur de 4m



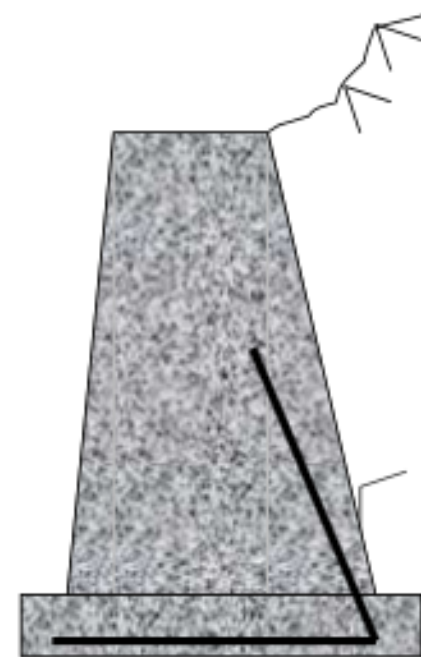
Murs poids en béton

- Utilisables lorsque le sol de fondation est bon
- Peuvent être envisagés jusqu'à des hauteurs de 7 à 8 m



Murs poids légèrement armés

- Utilisables lorsque le sol de fondation est de bonne portance et / ou le patin-semelle peut mobiliser une butée sure.
- Économiques pour les hauteurs comprises entre 4 à 7 m
- Dépense moindre de matière
- Contraintes moindres sur le sol de fondation.

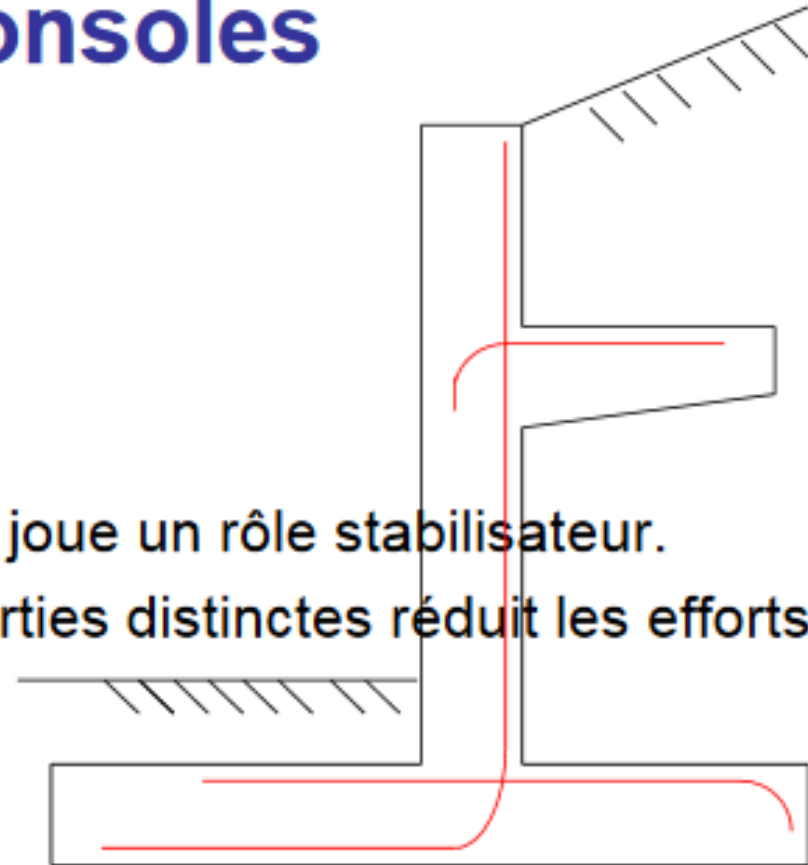


Murs à consoles

- ◆ La masse de remblai sur la console joue un rôle stabilisateur.
- ◆ La séparation du massif en deux parties distinctes réduit les efforts de poussée

Mais....

- ◆ Le remblaiement et le compactage sont difficiles
- ◆ L'encastrement de la console = Point faible de la structure

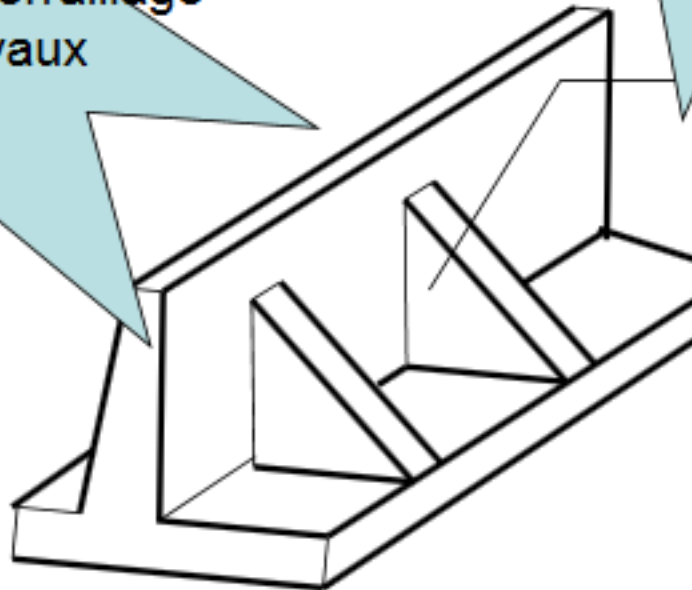


Murs à contreforts

Adopté comme solution quand la hauteur des terres à soutenir est importante, ou lorsque le coefficient de poussée est élevé.

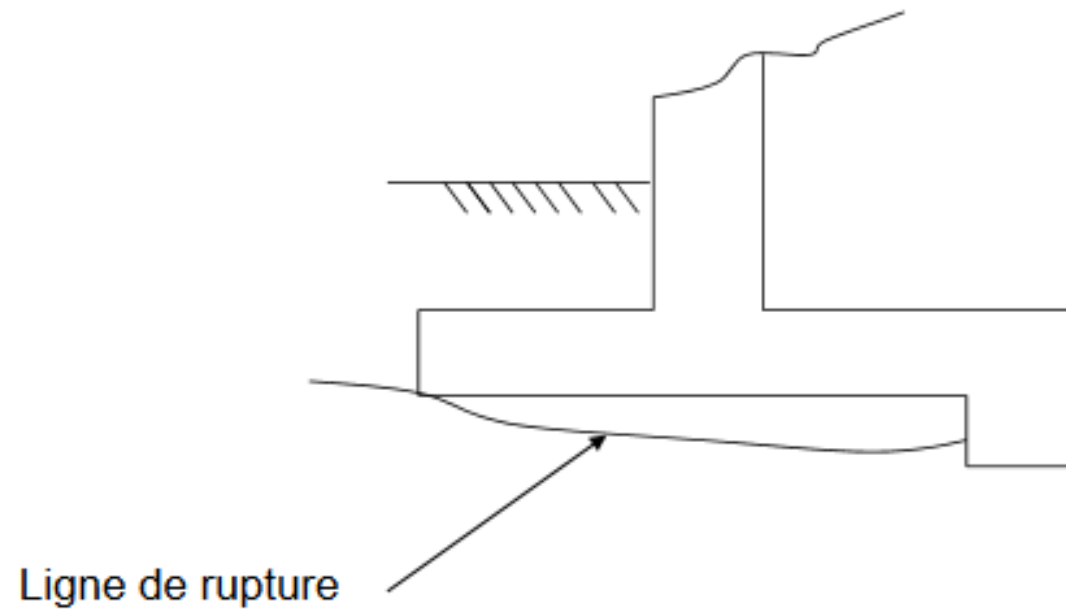
Très onéreux à cause des complications du calcul de ferrailage Et d'exécution des travaux

Les contreforts soulagent le voile en le reliant à la semelle



Murs à bêche

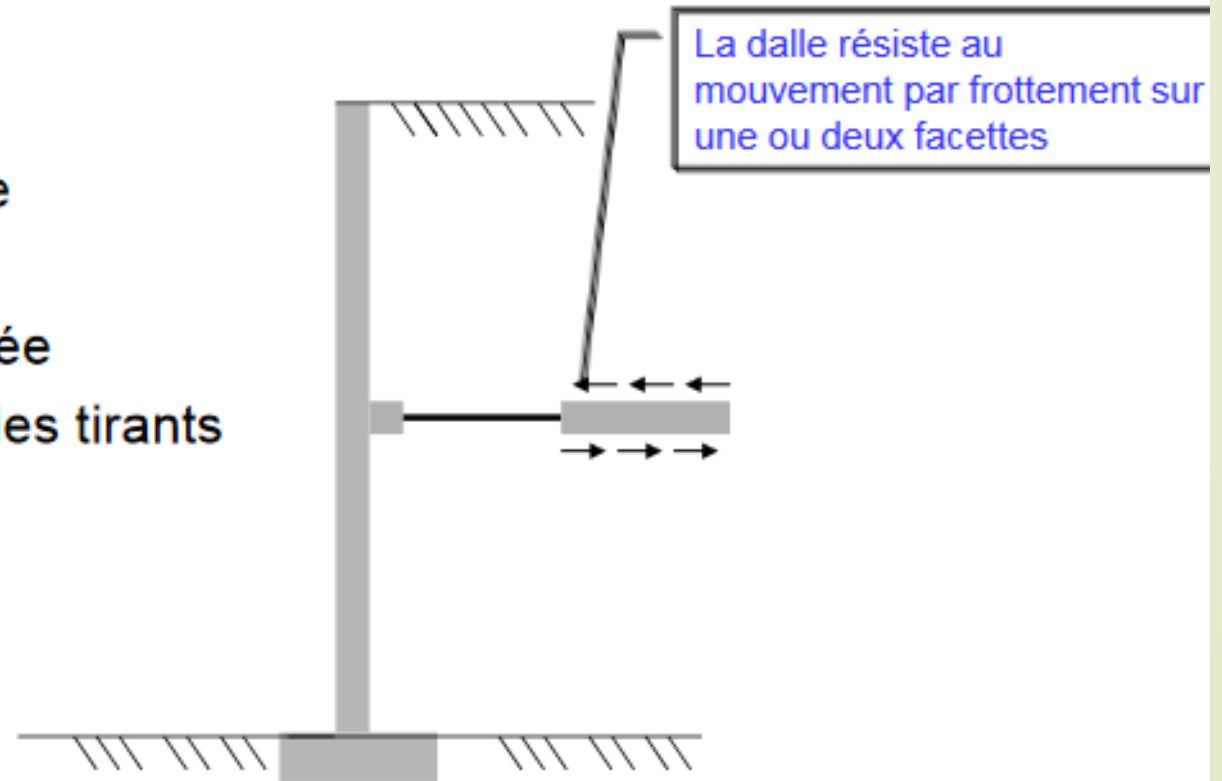
La bêche se situe à l'avant, au milieu ou à l'arrière de la semelle.



Murs à dalle de frottement

On a recours à cette solution lorsqu'on veut surelever un mur en maçonnerie, déjà existant, par un mur en béton armé sans appliquer sur le premier une charge excessive.

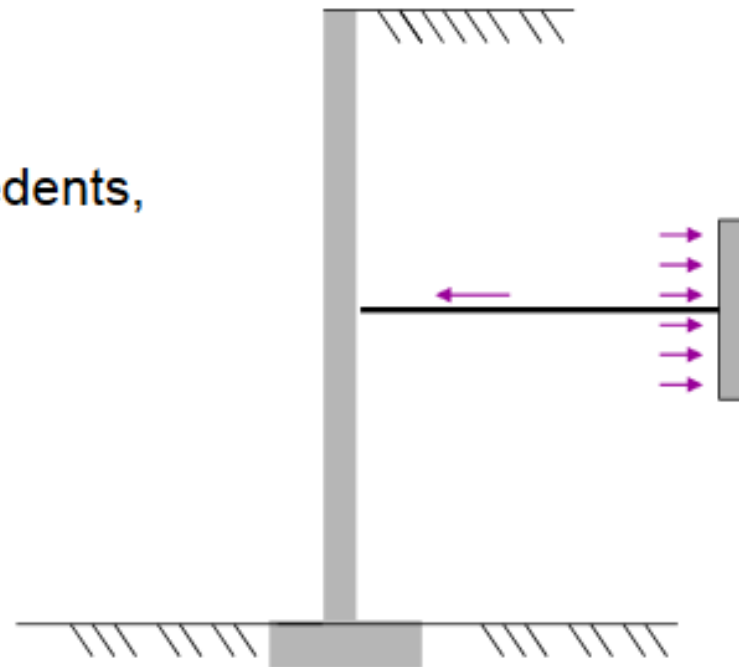
Ils sont constitués d'un voile mince en béton armé relié à une dalle horizontale noyée dans le remblai au moyen des tirants



Murs à dalle d'ancrage

ce type de mur est réaliser dans le cas des murs de quai.

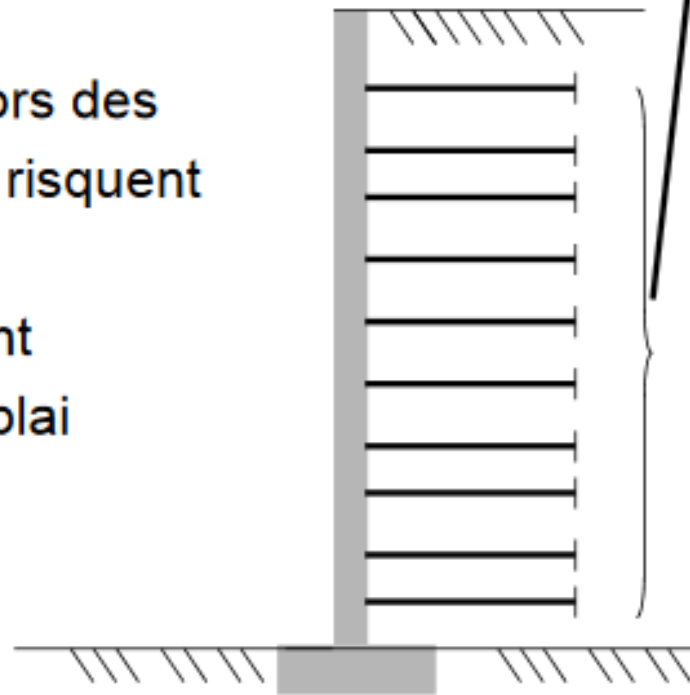
Ils sont analogues aux précédents,
sauf que la dalle est assez
Éloignée du mur et mobilise
le remblai en butée.



Murs à échelle

ce type devient de plus en plus rare
Inconvénients:

- Système fragile car, lors des terrassements les tirants risquent de fissurer Par flexion.
- La valeur du coefficient de frottement Tirant-remblai n'est pas très sure



Une suite de tirants courts qui travaillent essentiellement au frottement latéral dans le massif



CALCUL DE LA POUSSEE

I/ Introduction

II/ Différents types de poussée

III/ Étude des différentes
méthodes de calcul



I/ Introduction

1/ Différentes théories

Les théories de calcul des murs de soutènement ont été classées selon :

- Que le sol soit considéré comme un milieu élastique (Équations d'élasticité de Lamé)
- Qu'il s'agisse d'un sol plastique (On se base sur la formule de Rankine et de Caquot)
- La théorie du coin de glissement (Méthode de Coulomb/Construction graphique de Culmann)
- Des méthodes expérimentales



2/ Considérations pratiques sur la poussée

Une comparaison entre les coefficients de poussée, calculés en fonction de l'angle de frottement interne du sol, a distingué entre deux groupes :

- Le premier groupe conduit à un coefficient de poussée plus élevé que le second de 15 à 45%. Celui-ci est alors estimé comme représentant la pression des terres au repos.
- Le deuxième groupe représente la poussée active.



2/ Considérations pratiques sur la poussée

Terzaghi a signalé que le coefficient de poussée:

- Varie avec l'état de compacité du sable
- Augmente avec la densité du sable

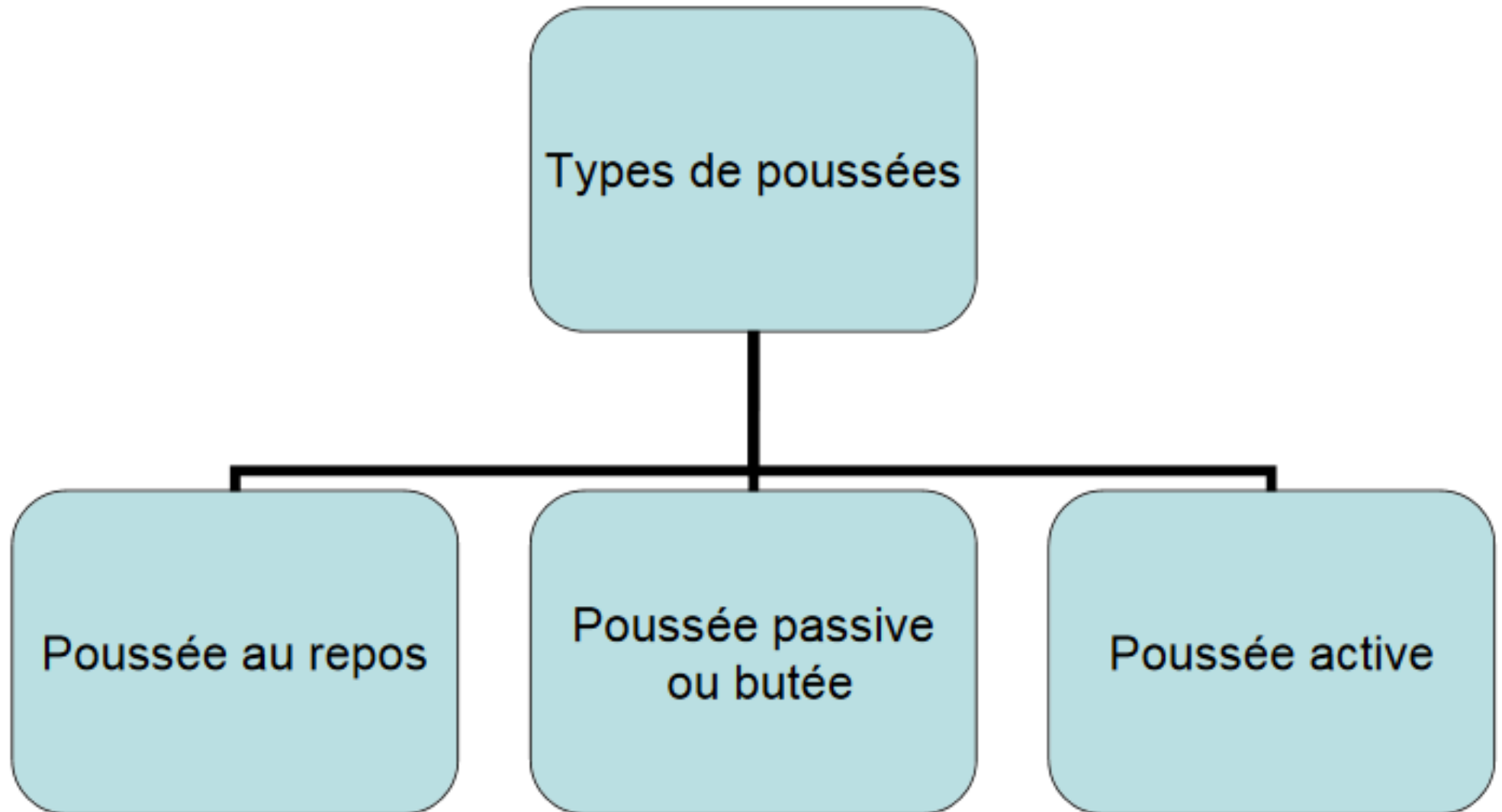


3/ Diagramme des poussées et position du centre de poussée

La majorité des théories, sauf celles de Terzaghi et de Kotter-Hansen admettent la loi linéaire de répartition des pressions qui conduit à un centre de pression sur le mur, placé sur le tiers inférieur.

- Ces derniers auteurs, bien au contraire, ont explicité des courbes donnant un centre de pression placé plus haut et pouvant atteindre la mi hauteur.

II/ Différents types de poussée



1/ Poussée au repos : L'écran est immobile

1.1/ Coefficient de poussée au repos : k_0

On définit pour un massif de sol semi indéfini (aucune force extérieure) le coefficient des terres au repos

$$\sigma_h = k_0 \cdot \sigma_v$$

Avec :

σ_h : Contraintes horizontales au point M.

σ_v : Contrainte verticale au point M.

h : Profondeur du point M.

1.2/ Cas d'un sol pulvérulent

- Pour un sol pulvérulent, k_0 est donné par la formule de Jacky :

$$k_0 = 1 - \sin \varphi$$

φ Angle de frottement interne du sol.

1.3/ Cas d'un sol cohérent

Hendron, puis Brocker et Ireland ont réalisé des mesures de k_0 dans l'oedomètre et ont tracé des courbes de k_0 en fonction de I_p (Indice de plasticité de sol) et de P_r .

Quand à Chérif et autres, ils ont utilisé le « stress-meter » à l'U.W pour déterminer k_0 :

$$k_0 = \lambda + \alpha(P_r - 1)$$

Avec :

$$\alpha : 0.00745(LL-20) + \log(0.08)$$

$$\lambda : 0.00275(LL-20) + \log(0.54)$$

P_r : Rapport de surconsolidation

LL : Limite de liquidité

II/ Différents types de poussée

2/ Butée: P_a

- Définition : La butée est la réaction opposée par le massif du sol au mouvement de l'écran vers lui, après mobilisation totale des résistances internes de cisaillement, elle correspond à une contraction latérale du massif, et une expansion verticale de sa surface libre.

On définit un coefficient de butée par :

$$k_p = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

3/ Poussée active: P_a

- Définition : La poussée active est la réaction opposée par l'écran au mouvement du sol vers lui, après mobilisation totale des résistances internes de cisaillement. Elle correspond à une expansion latérale du massif et un affaissement de sa surface libre provoqué par le mouvement de l'écran.

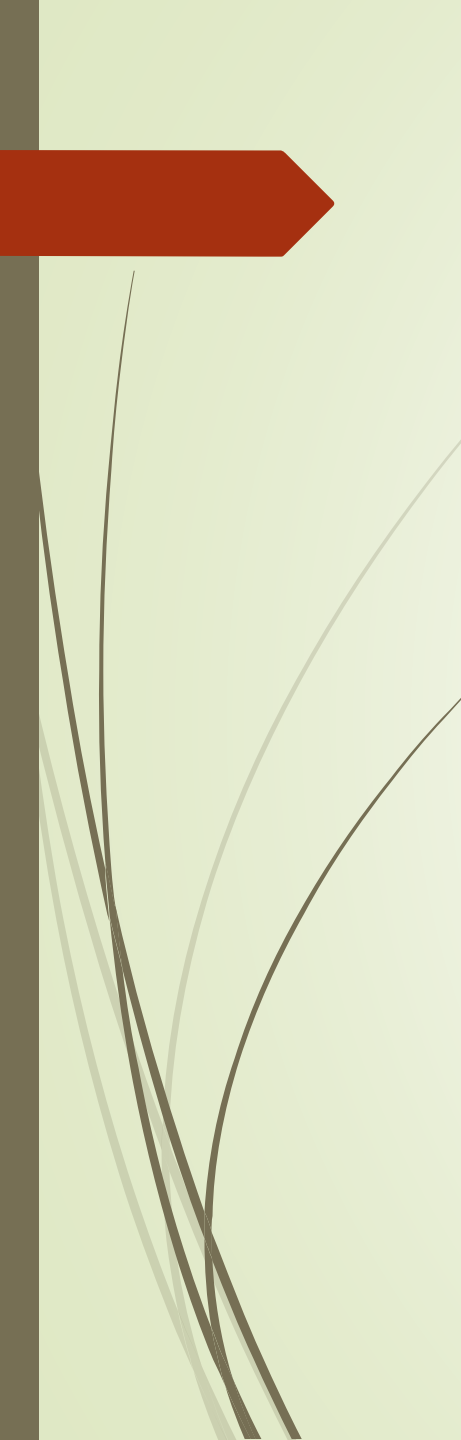
On définit un coefficient de poussée par :

$$k_a = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

4/ Remarques :

- a/ Les déplacements dans le cas des poussées passives sont plus élevées que dans le cas des poussées actives.

Type de sol	$\delta(Poussée)$	$\delta(butée)$
Sable :		
Dense $c=0$	0.0005 H	0.002H
Lâche $c=0$	0.002H	0.006H
Argile :		
Dense $c0$	0.01H	0.02H
Molle $c0$	0.01H	0.04H



ETUDE DES DIFFERENTES METHODES DE CALCUL



ETUDE DES DIFFERENTES METHODES DE CALCUL

Ancienne formule de Rankine

❖ Hypothèses de base

- Sol pulvérulent et pesant
- Surface libre horizontale
- Ecran vertical et lisse
- Absence de surcharge

❖ Coefficient de poussée et butée

- Coefficient de poussée $K_a = \operatorname{tg}^2(\pi/4 - \varphi/2)$
- Coefficient de butée $K_p = \operatorname{tg}^2(\pi/4 + \varphi/2)$

φ : angle de frottement interne du sol

❖ Formule récente de Rankine

- La force poussée: $P_a = 1/2 \cdot \gamma \cdot H^2 K_a$

avec

$$K_a = \cos \beta \frac{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$$

❖ Formule récente de Rankine

- La butée: $P_p = 1/2 \gamma H^2 K_p$

avec
$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$$

γ : poids volumique du sol

H : hauteur du mur

β : inclinaison du talus

φ : angle de frottement interne du mur

- Pour un sol cohérent:

$$P_a = 1/2 \cdot \gamma \cdot H^2 K_a - 2cH \sqrt{K_a}$$

$$P_p = 1/2 \gamma H^2 K_p + 2cH \sqrt{K_p}$$



Méthode de coulomb

❖ Hypothèses de base:

- Sol isotrope, homogène et frottant
- Surface de rupture plane
- Les forces de frottement sont uniformément réparties le long de la surface de rupture
- Le coin de rupture est un corps rigide
- Le problème est plan

❖ Formule récente de Rankine

- La butée: $P_p = 1/2 \gamma H^2 K_p$

avec
$$K_p = \cos \beta \frac{\cos \beta + \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}{\cos \beta - \sqrt{\cos^2 \beta - \cos^2 \varphi}}$$

γ : poids volumique du sol

H : hauteur du mur

β : inclinaison du talus

φ : angle de frottement interne du mur

- Pour un sol cohérent:

$$P_a = 1/2 \gamma H^2 K_a - 2cH \sqrt{K_a}$$

$$P_p = 1/2 \gamma H^2 K_p + 2cH \sqrt{K_p}$$



Analyse de stabilité des murs de soutènement

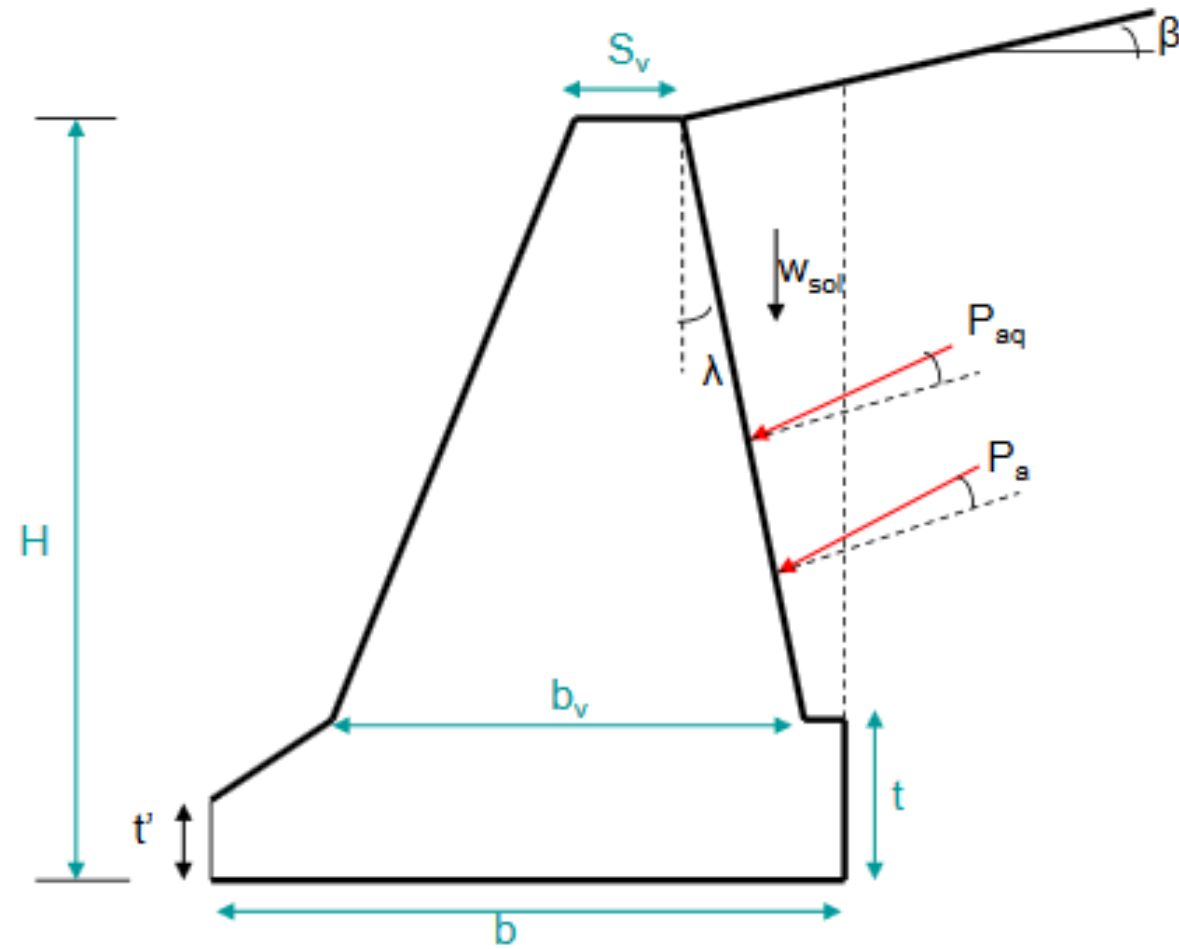
Analyse de stabilité des murs de soutènement

La stabilité d'un mur de soutènement est considérée sous les aspects suivant :

- Stabilité au renversement
- Stabilité au glissement
- Résistance au poinçonnement
- stabilité interne du mur



Analyse de stabilité de mur poids



Stabilité au renversement:

les moments fléchissant par rapport à l'axe passant par A sont:

⊕ Moment stabilisant:

$$M_s = M(W_{\text{mur}}) + M(W_{\text{sol}}) + \sum M(P_a \sin(\lambda + \delta))$$

⊖ Moment renversant:

$$M_r = \sum M(P_{ai} \cos(\lambda + \delta))$$

P_{ai} : poussée exercée sur le mur

La stabilité est vérifiée lorsque : $M_s/M_r > 1.5$

Stabilité au glissement

On compare N à la résistance que le terrain de fondation est capable d'opposer au glissement, à savoir: $C.b + N.tg\varphi'$

Avec $N = W_{\text{mur}} + W_{\text{sol}} + \sum P_{ai} \sin(\lambda + \delta)$

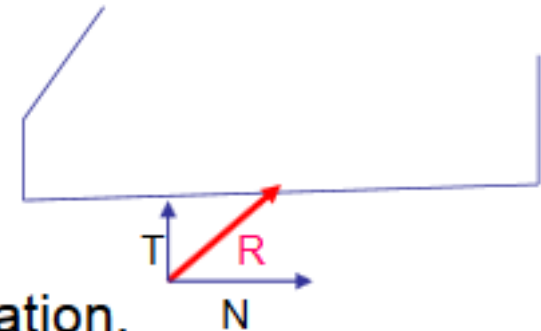
- C' : la cohésion du sol de fondation.
- b : largeur de la base du mur .
- N : résultante normale de R .
- φ' : angle de frottement interne du sol de fondation.

Le coefficient de glissement égale à:

$$F_g = \frac{C' b + N tg \varphi'}{T}$$

Il faut que:

$$F_g > 1.5$$



Résistance au poinçonnement

L'excentrement de la réaction du sol de fondation par rapport au centre de la base est :

$$e = \frac{b}{2} - \frac{M_s - M_r}{F_v}$$

On distingue deux cas :

◆ $0 < e < b/6$

$$\sigma_A = \frac{F_v}{b} \left(1 + 6 \frac{e}{b} \right)$$

on doit vérifier que:

$$(3\sigma_A + \sigma_B) / 4 < \sigma_{ad}$$

◆ $b/6 < e < b/12$

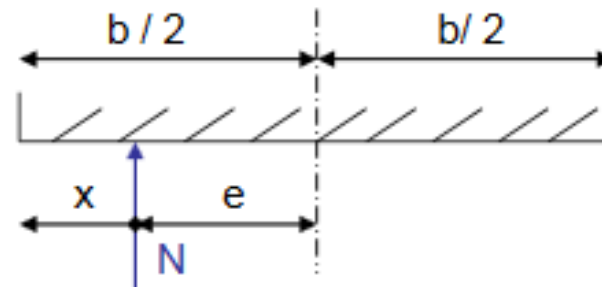
$$\sigma_A = \frac{F_v}{b} \left(1 - 6 \frac{e}{b} \right)$$

On doit vérifier que:

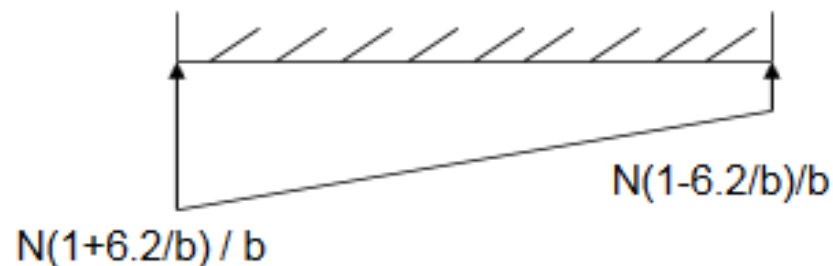
$$3/4 \sigma_{\max} < \sigma_{ad}$$

Résistance au poinçonnement

on admet que la distribution des contraintes normales sous la fondation d'un mur de soutènement est linéaire

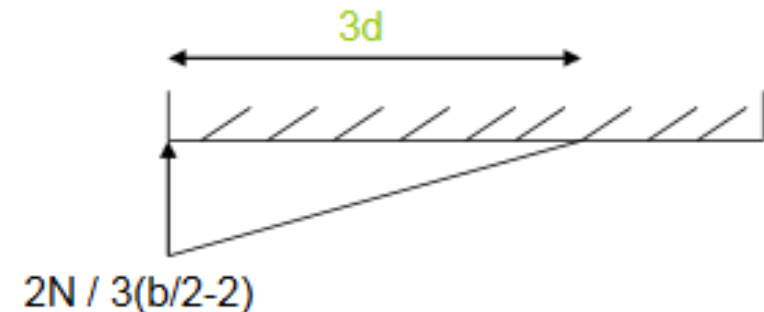


Fondation du mur de soutènement



$$0 < e < b/6$$

Diagramme de contrainte trapézoïdal



$$b/6 < e < b/2$$

Diagramme de contrainte triangulaire

Stabilité interne du mur

la traction maximale est à évaluer au niveau de la section d'encastrement du fut du mur dans la semelle. Son expression est donnée par :

$$\sigma_T = M_{\text{encast}} / (I / v)$$

ou M_{encast} le moment d'encastrement du fut qui est égale à :

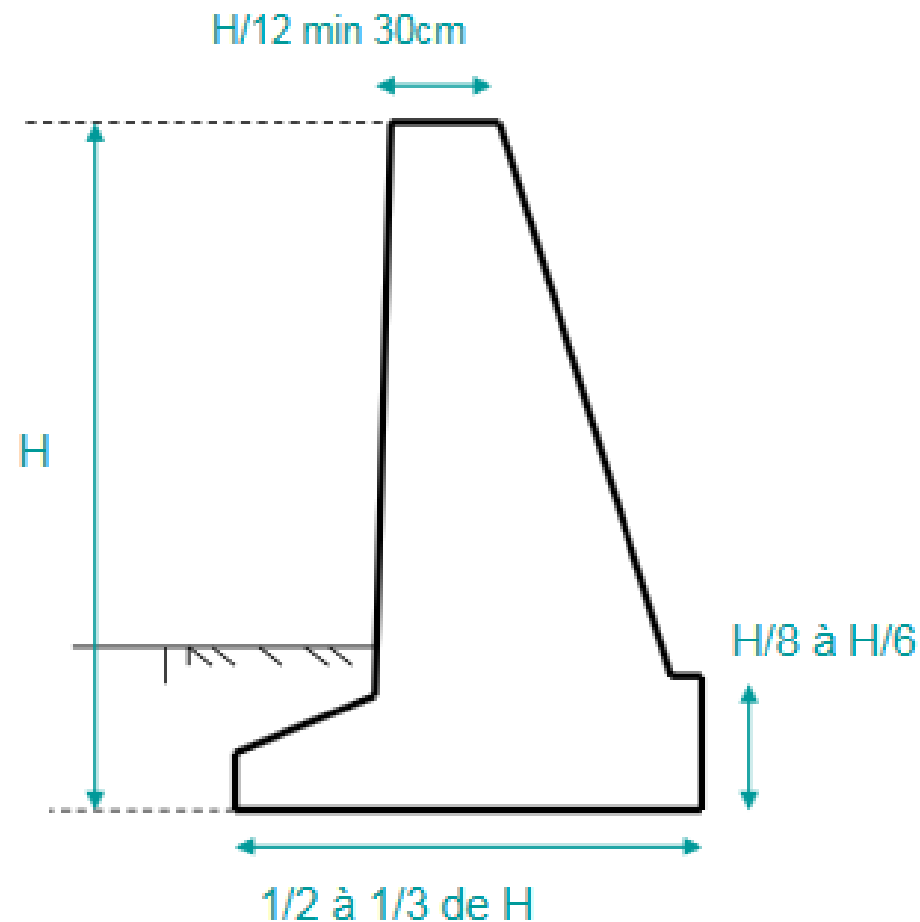
$$M_{\text{encast}} = \sum P_{ai} (Z_i - t)$$

P_{ai} : la force de poussée exercée dans la couche i (soit due au poids des terres à la cohésion ou à la surcharge.

Z_i : la hauteur de son point d'application comptée à partir de la base du mur.

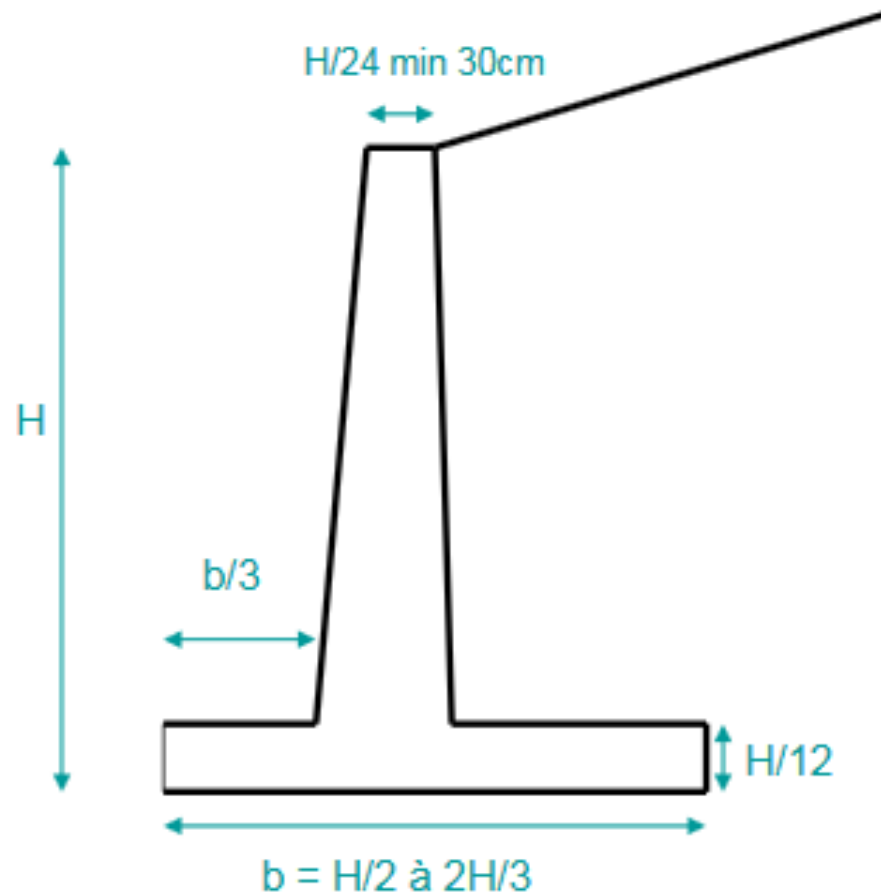
Dimensions usuelles des murs de soutènement

Dimensions usuelles d'un mur poid:



Dimensions usuelles des murs de soutènement

Dimensions usuelles d'un mur de soutènement en béton armé:



Dimensions usuelles des murs de soutènement

Dimensions usuelles d'un mur à contrefort:

