

Calcul des poussées
Elément de soutènement

Eléments de soutènement

Calcul des poussées



Software pour
l'Architecture et
l'Ingénierie de
la **Construction**

CYPE Ingenieros, S.A.
Avda. Eusebio Sempere, 5
03003 Alicante
Tel. (+34) 965 92 25 50
Fax (+34) 965 12 49 50
cype@cype.com

www.cype.fr

1. Introduction

Les poussées qui agissent sur un mur peuvent être des types suivants:

- **Poussée active.** Le terrain pousse le mur en se permettant les déformations suffisantes dans la direction de la poussée pour amener le sol à un état de rupture. C'est le cas habituel lorsqu'une 'action' du terrain se développe.
- **Poussée au repos.** Le terrain pousse mais le mur ne souffre que peu de déformations, c'est-à-dire nulles ou négligeables. La valeur de la poussée est supérieure à celle de la poussée active.
- **Poussée passive.** Lorsque le mur se déplace contre le terrain et le comprime, celui-ci réagit. Il s'agit toujours d'une 'réaction'. Sa valeur est largement supérieure à celle de la poussée active.

Les paramètres qui caractérisent un remblai sont les suivantes :

- **Angle du talus (β).** Exprimé en degré par rapport à l'horizontale. Son maximum est l'angle de frottement interne.
- **Poids volumique (γ).** Aussi appelé densité sèche.
- **Poids volumique déjaugé (γ').** Densité du terrain immergée en-dessous du niveau phréatique (saturée).
- **Angle de frottement interne (ϕ).** Caractéristique intrinsèque du terrain, qui représente l'angle maximum du talus naturel sans éboulement.
- **Evacuation par drainage (uniquement pour les murs en console et de sous-sols).** Exprimé en %, permet de considérer la présence d'eaux infiltrées dans le remblai qui augmentent les poussées d'une fraction additionnelle de la poussée hydrostatique et avec une

densité du terrain partiellement saturée. La valeur X% produira une poussée hydrostatique de (100 - X) % et une poussée du terrain en prenant en compte le poids spécifique suivant:

$$\gamma'_{\text{partiel}} = \gamma' + (\gamma - \gamma') \cdot \left[1 - \frac{100 - X}{100} \right]$$

Cette eau infiltrée est considérée sur toute la hauteur du mur.

- **Pourcentage de poussée passive (uniquement pour les murs en console et de sous-sols).** Exprimé en % de la valeur de la poussée passive.
- **Cote de poussée passive (uniquement pour les murs en console et de sous-sols).** Cote en dessous de laquelle la poussée passive est considérée (ou par défaut, ensuite seule la semelle agira, si la poussée passive est considérée).
- **Roche.** En activant cette option, vous pourrez définir une couche rocheuse, dans quel cas il faudra entrer la cote de l'affleurement, qui doit être inférieure à celle du remblai. De la cote rocheuse vers le bas les poussées dues au remblai sont annulées, mais pas la poussée hydrostatique si celle-ci existe.
- **Niveau phréatique.** Au-dessus de ce niveau, le remblai est considéré avec son poids volumique apparent γ ou avec le poids volumique du terrain partiellement saturé si le pourcentage d'évacuation est inférieur à 100%, et en-dessous avec le poids volumique déjaugé γ' , en ajoutant la poussée hydrostatique pour obtenir le diagramme des poussées.

2. Poussée statique

2.1. Calcul de la poussée active

La poussée active est résolue en appliquant la méthode de Coulomb.

Les valeurs de la pression horizontale et verticale en un point de l'extrados situé à une profondeur z sont calculées ainsi :

$$p_h = \gamma \cdot z \cdot \lambda_h ; \quad p_v = \gamma \cdot z \cdot \lambda_v$$

où:

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

$$\lambda_v = \lambda_h \cdot \cot g(\alpha - \delta)$$

z : profondeur

α : angle du parement du mur par rapport à l'horizontale

γ : densité du terrain

δ : angle de frottement mur-terrain

φ : angle de frottement interne du terrain

β : angle du talus du terrain

Dans le cas où la cohésion serait considérée :

$$p_h = \gamma \cdot z \cdot \lambda_h - 2 \cdot c \cdot \sqrt{\lambda_h} \cdot \cos \delta$$

où:

c = cohésion du terrain

2.2. Calcul de la poussée passive

Le calcul de la poussée passive est similaire au calcul de la poussée active. Il suffit de changer dans les formules antérieures le signe de l'angle de frottement interne du terrain.

De plus, dans le cas où la cohésion du terrain serait considéré:

$$p_h = \gamma \cdot z \cdot \lambda_h + 2 \cdot c \cdot \sqrt{\lambda_h} \cdot \cos \delta$$

où:

c = cohésion du terrain

2.3. Calcul de la poussée au repos

La poussée au repos est résolue en appliquant la théorie de Jaky.

Elle se calcule ainsi:

$$p_{rep} = \gamma \cdot z \cdot K_{rep}$$

où:

$$K_{rep} = 1 - \tan^2 \varphi$$

z : profondeur

α : angle du parement du mur par rapport à l'horizontale

γ : densité du terrain

Si le terrain présente un talus, on appliquera la formule complémentaire du Corps of Engineers, 1961.

2.4. Poussée due aux charges appliquées au terrain

2.4.1. Poussées produites par une surcharge uniformément répartie

La méthode de Coulomb est appliquée, où la pression horizontale et verticale produite par une surcharge uniformément répartie vaut:

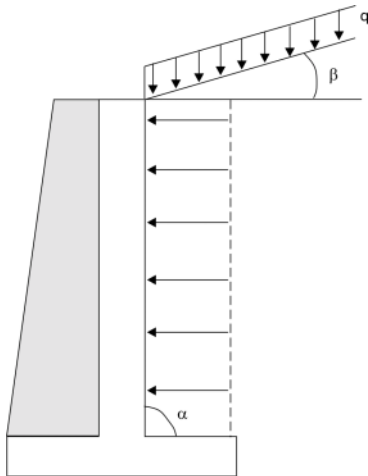


Fig. 2.1

$$p_h = \lambda_h \cdot q \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)} ; \quad p_v = \lambda_v \cdot q \cdot \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha + \beta)}$$

où:

λ_h : coefficient de poussée horizontale

λ_v : coefficient de poussée verticale

q: charge surfacique

α : angle du parement du mur par rapport à l'horizontale

β : angle d'inclinaison du remblais

2.4.2. Poussées produites par une charge en bande parallèle au tracé du mur

La pression horizontale que produit une surcharge en bande q dans le cas d'un extrados vertical et d'un terrain horizontal vaut, suivant la Théorie de l'Elasticité:

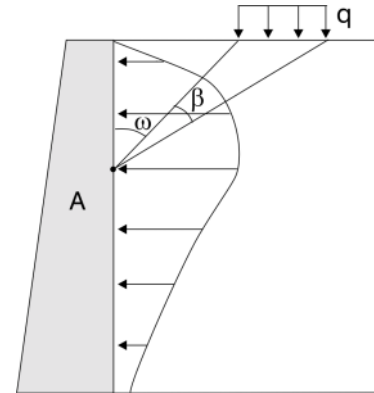


Fig. 2.2

$$p_q = \frac{2 \cdot q}{\pi} \cdot (\beta - \sin \beta \cdot \cos 2\omega)$$

q: charge en bande

β et ω : angles indiqués sur la figure. Le premier de la formule est exprimé en radians.

2.4.3. Poussées produites par une charge en ligne parallèle au tracé du mur

La pression horizontale que produit une surcharge en ligne q dans le cas d'un extrados vertical et d'un terrain horizontal vaut, suivant la Théorie de l'Elasticité:

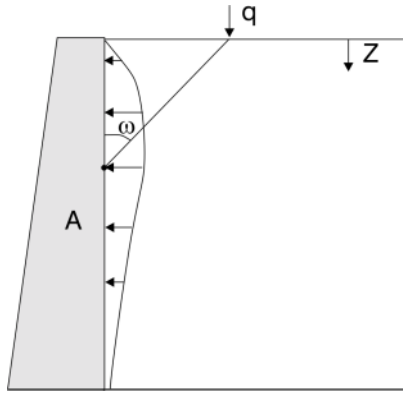


Fig. 2.3

$$p_q = \frac{q}{\pi \cdot z} \sin^2 2\omega$$

Fig. 2.3

2.4.4. Poussées produites par une charge ponctuelle ou concentrée sur des surfaces réduites (semelles)

La pression horizontale que produit une surcharge ponctuelle dans le cas d'un extrados vertical et d'un terrain horizontal vaut, suivant la Théorie de l'Elasticité :

Si ($m < 0.4$),

$$p_q = 0.28 \cdot \frac{q}{H^2} \cdot \frac{n^2}{[0.16 + n^2]^3}$$

Si ($m \geq 0.4$),

$$p_q = 1.77 \cdot \frac{q}{H^2} \cdot \frac{m^2 n^2}{[m^2 + n^2]^3}$$

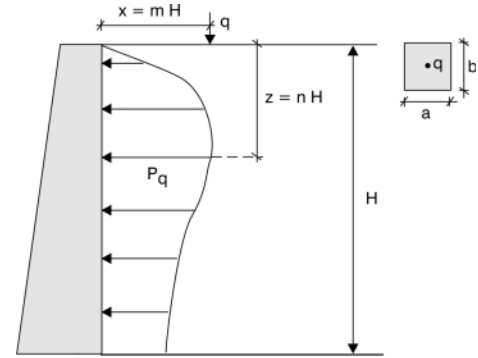


Fig. 2.4

2.4.5. Poussées de la charge en tête de mur

Il est possible d'introduire des charges ponctuelles et un moment en tête.

Ces charges génèrent des efforts directement, mais aussi peuvent obtenir une réponse passive du terrain si c'est le cas.

L'action sismique est modélisée par une augmentation transitoire des poussées sur le mur. La poussée active en condition sismiques est supérieure à celle correspondant à une situation statique.

De la même manière, la poussée passive que peut transmettre le mur contre le terrain peut être réduite notablement durant les séismes. La poussée passive dans des conditions sismiques est inférieure à celle correspondante en situation statique.

La méthode pseudo-statique a été employée pour l'évaluation des poussées, avec les coefficients de poussée dynamique basée sur les équations de Mononobe-Okabe.

3. Poussée dynamique

3.1. Calcul de la poussée active

3.1.1. Coefficient de poussée active en conditions dynamiques

Le coefficient de poussée active en conditions dynamiques est le suivant :

$$K_{ad} = \frac{\cos(\alpha + \theta)}{\cos \theta \cdot \cos \alpha} \cdot K_a^*$$

où:

α : angle du parement du mur par rapport à la verticale

θ : angle défini par les expressions suivantes:

$$\text{Cas 1 } \theta = \text{arctg} \left(\frac{a_h}{g - a_v} \right)$$

$$\text{Cas 2 } \theta = \text{arctg} \left(\frac{a_h}{g - a_v} \right) \cdot \frac{\gamma_d}{\gamma'}$$

où:

γ : accélération de la gravité

γ_d : poids spécifique sec

γ_{sat} : poids spécifique saturé

γ' : poids spécifique immergé

a_h : accélération de calcul horizontale

a_v : accélération de calcul verticale, que le programme prend égal à la moitié de l'horizontale

K_a^* le coefficient de poussée active en situation statique, mais dans son calcul, au lieu de a on introduira $(\alpha + \theta)$, et au lieu de β on introduira $(\beta + \theta)$.

Le Cas 1 correspond aux remblais sur l'extrados secs ou

partiellement saturés, toujours situés au-dessus du niveau phréatique.

Le Cas 2 correspond au remblais en-dessous du niveau phréatique.

3.1.2. Angle de frottement interne terres-mur

Cet angle peut diminuer notablement durant le séisme. Cela induit une augmentation additionnelle de la poussée active. En prenant une valeur 0 pour cet angle on reste du côté de la sécurité.

3.1.3. Poids spécifique

La poussée due au poids des terres est supérieure du fait de l'augmentation du poids spécifique du terrain, que ce soit au-dessus ou en-dessous du niveau phréatique. Le coefficient à appliquer sur le poids spécifique et que le programme considère automatiquement est le suivant :

$$f = 1 + \frac{a_v}{g}$$

où:

a_v : accélération de calcul verticale = $1/2 \cdot a_h$

g : accélération de la gravité

3.1.4. Poussée due aux eaux interstitielles

En-dessous du niveau phréatique l'augmentation de la poussée en chaque point se calcule ainsi :

$$\Delta E_w = \frac{7}{8} \cdot \frac{a_h}{g} \cdot \gamma_w \cdot h_z$$

où:

a_h : accélération de calcul horizontale

g : accélération de la gravité

h_z : profondeur

γ_w : poids spécifique de l'eau

3.1.5. Effet des charges et surcharges sur l'extrados

L'intensité des charges sur le remblai devra être multiplié par :

$$f = 1 + \frac{a_v}{g}$$

où:

a_v : accélération de calcul verticale = $1/2 \cdot a_h$

g : accélération de la gravité

3.2. Calcul de la poussée passive

La poussée passive peut diminuer durant le séisme.

Le coefficient de poussée passive en conditions dynamiques est le suivant :

$$K_{pd} = \frac{\cos(\alpha - \theta)}{\cos \theta \cdot \cos \alpha} \cdot K_p^*$$

où:

α : angle du parement du mur par rapport à la verticale

θ : le même angle défini pour le cas de la poussée active

K_p^* : le coefficient de poussée passive en conditions statiques, mais dans son calcul, au lieu de a on introduira $(\alpha - \theta)$, et au lieu de b on introduira $(\beta - \theta)$.

3.3. Poids spécifique

La poussée due au poids des terres est inférieure. Le coefficient à appliquer sur le poids spécifique, et que le programme considère automatiquement est :

$$f = 1 - \frac{a_v}{g}$$

où:

a_v : accélération de calcul verticale = $1/2 \cdot a_h$

g : accélération de la gravité.