

# *Dynamique des structures*

**Abdellatif MEGNOUNIF**

e-mail: [abdellatif\\_megnounif@yahoo.fr](mailto:abdellatif_megnounif@yahoo.fr)

**Chap. 18F**

**RPA 2024**

**Prescriptions de dimensionnement  
et dispositions constructives des  
sols et fondations**

# 1. Fondations

## i. Solidarisation des points d'appui

2003, 2024

Idem

- ✓ Longrines formant un réseau sur 02 directions.
- ✓ Dimensions minimales:
  - 25 cm x 30 cm sites de catégorie S2 et S3
  - 30 cm x 30 cm sites de catégorie S4
- ✓ Calculées pour résister à la traction :  $F = \frac{N}{\alpha} \geq 20 \text{ KN}$   $F = \pm \alpha (A.I.S).N \geq 20 \text{ KN}$  (N: valeur ~~max~~ **moyenne** des charges verticales et « $\alpha$ » coefficient fonction de la ~~zone sismique~~ et du site.)
- ✓ Fer Min = 0,6 % de la section avec des esp des cadres < min(20cm; 15 $\Phi_l$ )

2003

Site	Zone I	Zone IIa	Zones IIb et III
S1		-	-
S2	-	15	12
S3	15	12	10
S4	12	10	8

$\alpha$  ?

2024

Site	Toutes zones
S1	-
S2	0,3
S3	0,4
S4	0,6

$\alpha$  ?

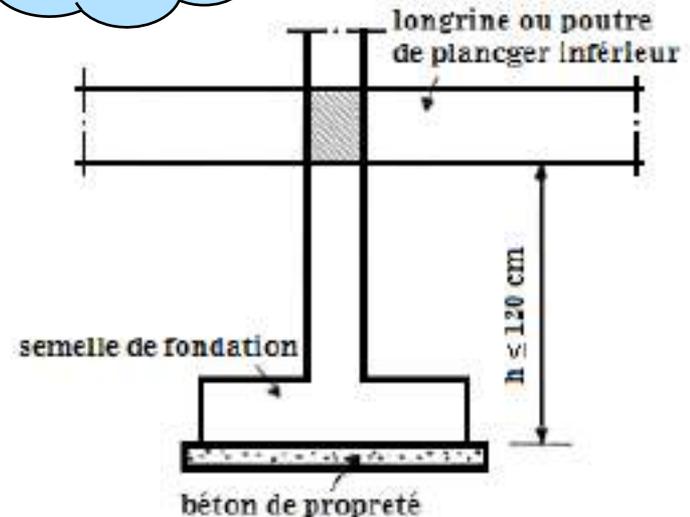
Idem

## i. Solidarisation des points d'appui

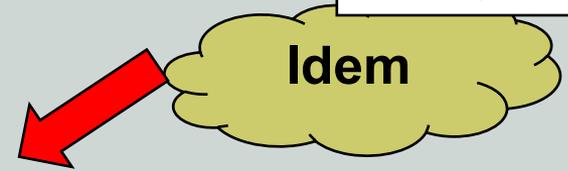
- ✓ Solidarisation des longrines est **obligatoire** sauf dans le cas de sol rocheux sain, non fracturé (S1) et aussi site S2 en zone I.
- ✓ Pour les structures légères (type hangar), les longrines peuvent être remplacées par un **dallage**
- ✓ Pour les structures lourdes (bâtiments élevés) avec plusieurs blocs, séparés par des joints, il est recommandé de **supprimer les joints de fondations** si le système de fondation et la qualité du sol sont les mêmes partout.
- ✓ A moins de 1,20 m, les poutres du plancher inférieure peuvent être considérées comme des longrines.

**Longrine**

?



l: Position des longrines par rapport aux semelles de fondations



- ✓ Ossatures à poteaux courts (**vides sanitaires**) doivent comporter un **voile périphérique** continu entre le niveau des fondations et le niveau de base.
- ✓ Facultatif en zones I, **II et III** pour les constructions individuelles ou hauteur  $\leq 10$  m.
- ✓ En cas de joint de rupture, le voile doit ceinturer chaque bloc.
- ✓ Voile périphérique:
  - Epaisseur  $\geq 15$  cm
  - 02 nappes d'armature: % min 0,10 % dans les 02 sens (hor et vert).
- ✓ Ouvertures d'effet négligeable sur la rigidité du voile
- ✗ ~~Voile pas nécessaire en cas de dallages sur terre pleine.~~

# 1. Fondations

## iii. Vérification de la capacité portante

Idem

Vérification des fondations

Combinaisons d'action

Fondations d'éléments verticaux (voiles/poteaux)

$$G + \psi Q \pm \frac{R}{Q_F} E_x$$

$$G + \psi Q \pm \frac{R}{Q_F} E_y$$

Fondations communes (Longrines/semelles filantes, radiers...)

$$G + \psi Q \pm 1,4 E_x$$

$$G + \psi Q \pm 1,4 E_y$$

G : Charges permanentes

Q : Charges d'exploitation non pondérées

$\psi$  : Coefficient d'accompagnement fonction de la nature et de la durée de la charge d'exploitation (Voir poids total MSE).

$$Q_l = Q_{pl} + Q'_{sl}$$

$Q_{pl}$  : Résistance limite en pointe

$Q'_{sl}$  : Résistance limite en frottement latéral

Capacité portante

✓ **Fondations superficielles:**

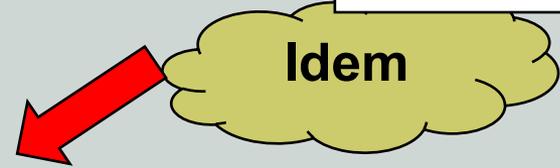
Tenir Compte de l'application à la résistance ultime limite du sol  $q_u$  «  $Q_l$  » d'un coefficient de sécurité de 2,0

✓ **Fondations profondes:**

Compte tenu de l'application des coefficients de sécurité **partiel globaux** «  $\gamma$  » «  $\gamma_R$  » sur la charge limite  $Q_l$  dépendant du mode de fonctionnement du pieu et de la méthode de détermination de  $Q_l$ .

Type pieu	Essai de chargement statique	Essai en place	Essai de laboratoire
Compression	1,10	1,25	2,50
Traction	1,50	1,50	2,0

Valeurs des coefficients de sécurité globaux «  $\gamma_R$  »



**Stabilité au renversement (Chap 5)**

**Stabilité au Glissement (Chap 10)**

Se réfère à la stabilité d'ensemble du bâtiment ou de l'ouvrage, soumis à des effets de renversement et/ou de glissement dus aux sollicitations résultant des combinaisons d'actions.

**Moment de renversement** (fondations) est la somme des forces latérales (niveau) multipliées par la hauteur de chacune d'entre elles, depuis le niveau de fondation.

**Moment stabilisant** à partir des charges verticales considérées dans le calcul de la force sismique latérale + poids des fondations et du sol au dessus.

**Stabilité au renversement :**  
Coef Sécurité au min. **1.3**  
**Stabilité au glissement :** Coef Sécurité au min. **1.25**

# 2. Liquéfaction des sols

Idem

Si possibilité de liquéfaction

- Faire des investigations complémentaires pour évaluer la résistance à la liquéfaction:
- ✓ Essais SPT
  - ✓ Essais au pénétromètre statique
  - ✓ Essais pour déterminer les vitesses des ondes de cisaillement
  - ✓ Détermination des courbes granulométriques

FS ?

$$FS = \frac{CRR_{7.5}}{CSR} \cdot MSF < 1.25$$

**FS** : Facteur de sécurité  
**CRR** : Taux de la résistance à la liquéfaction  
**CSR** : Taux de contrainte de cisaillement du au séisme  
**MSF** : Facteur de correction de magnitude

Pour éliminer ou réduire risque de liquéfaction

- ✓ Rabattement permanent de la nappe
- ✓ Densification des couches liquéfiables (pré-chargement, compactage dynamique...)
- ✓ Réalisation de drains pour améliorer la perméabilité.
- ✓ Changer les couches liquéfiables par des matériaux appropriés



# 3. Stabilité des pentes

Idem

- ✓ Sous l'action sismique, talus et versants naturels doivent rester stables.
- ✓ Calcul de ces pentes au séisme par analyse dynamique ou statique équivalent sous certaines conditions.
- ✓ Utiliser 02 coefficients sismiques pour le calcul des forces horizontales pour vérifier la stabilité par statique équivalente (absence de liquéfaction)

$k_h, k_v$   
?

$$k_h = \frac{1}{3} \cdot A \cdot I \cdot S$$
$$k_v = \begin{cases} \pm \frac{1}{2} k_h & \text{Séisme type 1} \\ \pm \frac{1}{3} k_h & \text{Séisme type 2} \end{cases}$$

$k_h, k_v$  : coefficients utilisés pour le calcul des forces horizontales, contenues dans les plans verticaux de plus grande pente et dirigées vers l'aval, et les forces verticales descendantes ou ascendantes ( $k_h, k_v$ ) et ( $k_h, -k_v$ )

Sinon,

- ✓ En cas d'amplification topographique par le type de pente, applique le coefficient d'amplification topographique «  $S_T$  » à «  $k_h$  ».
- ✓ Vérification de l'équilibre du massif en prenant un coefficient de sécurité = 1.15 sur les résistances des sols concernés



# 4. Ouvrages de soutènement

2003, 2024

Idem

Ouvrages de soutènement ?

✓ ~~En BA~~ Tous les ouvrages de soutènement (BA, Remblais, gabions...) de hauteur  $\leq 6$  ~~m~~ 10 m peuvent être justifiés sous sollicitations sismiques obtenues par MSE (sinon utiliser les méthodes dynamiques)

MSE

02 coefficients pour la vérification de la stabilité :  $k_h$  et  $k_v$  à appliquer au mur et au remblai retenu ainsi qu'aux charges d'exploitation supportées par le remblai.

$$k_h = \begin{cases} \frac{1}{2} \cdot A.I.S & \text{Ouvrages flexibles} \\ \frac{2}{3} \cdot A.I.S & \text{semi flexibles} \\ A.I.S. & \text{Rigides} \end{cases}$$

$$k_v = \begin{cases} \pm \frac{1}{2} k_h & \text{Séisme type 1} \\ \pm \frac{1}{3} k_h & \text{Séisme type 2} \end{cases}$$

Sinon,

✓ En cas d'amplification topographique par le type de pente, applique le coefficient d'amplification topographique «  $S_T$  » à «  $k_h$  ».



## 4. Ouvrages de soutènement

### i. Poussée active dynamique globale

2024

New

La **poussée active dynamique globale** qui s'exerce à l'arrière du soutènement :

$$\vec{P}_{ad} = \vec{P}_{ae} + \vec{P}_{ws} + \vec{P}_{wd}$$

✓ «  $P_{ae} \cos \delta$  » normale au mur et agit à une hauteur «  $h_{ae}$  » à partir de la base

$$h_{ae} = \frac{1}{2} - \frac{1}{6} \frac{\bar{P}_a}{P_{ae}} \text{ avec } \bar{P}_a = \frac{1}{2} \gamma^* \cdot H^2 \cdot K_a$$

$\vec{P}_{ae}$ : Poussée dynamique active.

$\vec{P}_{ws}$ : Poussée statique de l'eau (tableau).

$\vec{P}_{wd}$ : Poussée hydrodynamique de l'eau (tableau).

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma^* \left( 1 + \frac{2 \cdot q \cdot \cos(\beta)}{\gamma^* H \cdot \cos(\beta - i)} \right) \cdot H^2 \cdot (1 \pm k_v) \cdot K_{ae}$$

$K_{ae}$  coefficient de poussée dynamique

✓ Prendre le max. des 02 valeurs de «  $P_{ae}$  » (suivant  $k_v$ )

✓ Cas statique ( $k_h = k_v = 0$ ), poser  $\theta = 0$  dans  $K_{ae}$ .

$$\theta \leq (\phi' - i)$$

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(\phi' - \theta - \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \theta)} \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \sin(\phi' - \theta - i)}{\cos(\delta + \beta + \theta) \cos(\beta - i)}} \right]^{-2}$$

$$\theta > (\phi' - i)$$

$$K_{ae} = \frac{\cos^2(i - \beta)}{\cos(\phi' - i) \cos^2 \beta \cos(\delta + \beta + \phi' - i)}$$

$\gamma^*$ : Poids volumique du sol de remblai

$q$ : surcharge verticale

$H$ : hauteur de la paroi verticale à l'arrière du mur

$\phi'$ : Angle de frottement interne du remblai sans cohésion

$\beta$ : Inclinaison du soutènement par rapport à la verticale

$\theta$ : Angle (voir tableau)

$\delta$ : Angle de frottement remblai/soutènement ( $\delta < 2/3 \phi'$ ) (butée  $\delta = 0$ )

$i$ : Angle surface du remblai sur horizontal)

## 4. Ouvrages de soutènement

### i. Poussée active dynamique globale

2024

New

La **poussée active dynamique globale** qui s'exerce à l'arrière du soutènement :

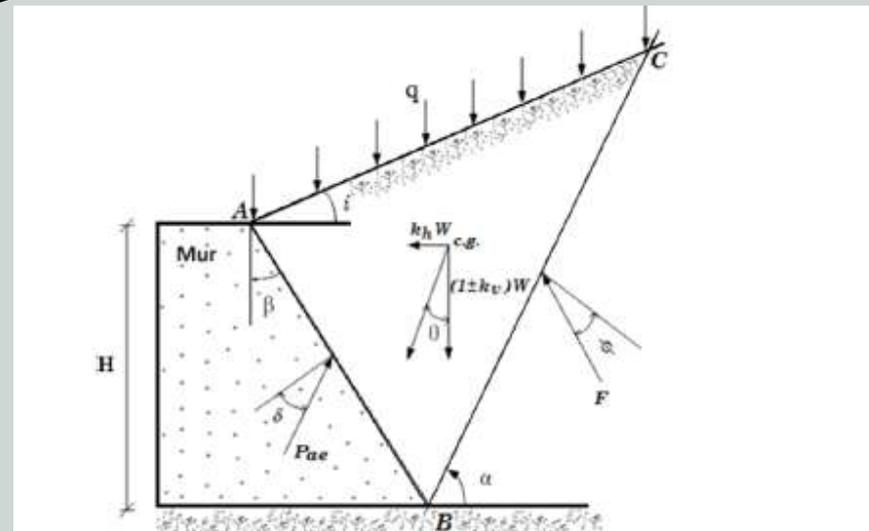
$$\vec{P}_{ad} = \vec{P}_{ae} + \vec{P}_{ws} + \vec{P}_{wd}$$

$\vec{P}_{ws}$ : Poussée statique de l'eau (tableau).

$\vec{P}_{wd}$ : Poussée hydrodynamique de l'eau (tableau).

Paramètre	Nappe en-dessous du mur	Sous nappe dans les conditions dynamiques	
		Sol très perméable: $k > 0.1m/s$	Sol imperméable: $k < 10^{-4}m/s$
$\gamma^*$ : poids volumique du sol	$\gamma$	$\gamma'$ égal aussi à $(\gamma_{sat} - \gamma_w)$	
$P_{wd}$ : poussée hydrodynamique de l'eau	0	$\frac{7}{12} \cdot k_h \cdot \gamma_w \cdot H_w^2$	0
$P_{ws}$ : poussée statique de l'eau	0	$\frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H_w^2$	$\frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot H_w^2$
angle $\theta$	$\tan^{-1}\left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)$	$\tan^{-1}\left(\left(\frac{\gamma_d}{\gamma^*}\right) \cdot \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)\right)$	$\tan^{-1}\left(\left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma^*}\right) \cdot \left(\frac{k_h}{1 \pm k_v}\right)\right)$

Table 10.3: Expression des composantes de la poussée active dynamique globale



2: Schématisation des angles considérés dans les expressions du coefficient de poussée

$\gamma$ : Poids volumique totale (ou humide) du sol de remblai  
 $\gamma_{sat}$ : Poids volumique du sol saturé  
 $\gamma_w$ : Poids volumique de l'eau  
 $\gamma_d$ : Poids volumique du sol sec  
 $\gamma^*$ : Poids volumique effectif du sol (déjaugée)  
 $H_w$ : Niveau de la nappe par rapport au sol  
 $\alpha$ : Inclinaison du plan de rupture

- ✓ «  $P_{ws}$  » normale au mur et agit à « H/3 » à partir de la base
- ✓ «  $P_{wd}$  » normale au mur et agit à « 2/5 H » à partir de la base

## 4. Ouvrages de soutènement

### ii. Poussée passive dynamique globale

2024

New

La **poussée passive dynamique globale** qui s'exerce à l'aval du soutènement sur une hauteur « D » profondeur d'ancrage de la semelle :

$$\vec{P}_{pd} = \vec{P}_{pe} - \vec{P}_{ws} - \vec{P}_{wd}$$

✓ «  $P_{pe} \cos \delta$  » normale au mur et agit à une hauteur «  $h_{pe}$  » à partir de la base

$$h_{pe} = \frac{1}{2} - \frac{1}{6} \frac{\bar{P}_p}{P_{pe}} \text{ avec } \bar{P}_p = \frac{1}{2} \gamma^* \cdot D^2 \cdot K_p$$

$\vec{P}_{ae}$ : Poussée statique active.

$\vec{P}_{ws}$ : Poussée statique de l'eau (tableau).

$\vec{P}_{wd}$ : Poussée hydrodynamique de l'eau (tableau).

$$P_{pe} = \frac{1}{2} \gamma^* \left( 1 + \frac{2 \cdot q \cdot \cos(\beta)}{\gamma^* D \cdot \cos(\beta - i)} \right) \cdot D^2 \cdot (1 \pm k_v) \cdot K_{pe}$$

$K_{pe}$  coefficient de butée dynamique

$$\theta \leq (\phi' + i)$$

✓ Prendre le min. des 02 valeurs de «  $P_{ae}$  » (suivant  $k_v$ )

✓ Cas statique ( $k_h = k_v = 0$ ), poser  $\theta = 0$  dans  $K_{pe}$ .

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(\phi' - \theta + \beta)}{\cos \theta \cos^2 \beta \cos(\delta - \beta + \theta)} \left[ 1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi' + \delta) \sin(\phi' - \theta + i)}{\cos(\delta - \beta + \theta) \cos(\beta - i)}} \right]^{-2}$$

$$\theta > (\phi' + i)$$

$$K_{pe} = \frac{\cos^2(i - \beta)}{\cos(\phi' + i) \cos^2 \beta \cos(\delta - \beta + \phi' + i)}$$

$\gamma^*$ : Poids volumique du sol de remblai

$q$ : surcharge verticale

$D$ : Profondeur d'ancrage de la semelle du soutènement.

$\phi'$ : Angle de frottement interne du remblai sans cohésion

$\beta$ : Inclinaison du soutènement par rapport à la verticale

$\theta$ : Angle (voir tableau)

$\delta$ : Angle de frottement remblai/soutènement ( $\delta < 2/3 \phi'$ ) (butée  $\delta = 0$ )

$i$ : Angle surface du remblai sur horizontal)

## 4. Ouvrages de soutènement

### iii. Infrastructures rigides

2024

New

Rigide : Aucun mouvement par rapport au sol

Mur vertical  
et remblai  
horizontal

Poussée dynamique totale due à la poussée  
des terres

$$P_{ae} = P_0 + \Delta P_{ae}$$

Avec :

$$P_0 = \frac{1}{2} \gamma^* \cdot H^2 \cdot K_0$$
$$\Delta P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma^* \cdot k_h \cdot H^2$$
$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$
$$k_h = A.I.S$$

- ✓ «  $\Delta P_{ae} \cos \delta$  » normale au mur et agit à « H/2 » à partir de la base
- ✓ «  $P_0 \cos \delta$  » normale au mur et agit à « H/3 » à partir de la base

$P_0$  : Poussée des terres au repos  
 $\Delta P_{ae}$  : Incrément de poussée  
 $K_0$  : Coefficient de poussée au repos pour un sol sableux.

## 4. Ouvrages de soutènement

2003, 2024

Idem

### iv. Vérification de la stabilité

Vérification  
stabilité

**Stabilité globale** (ouvrage-terrain) = stabilité des pentes

**Capacité ultime** de la (fondation) = capacité portante

- ✓ **Stabilité au glissement** : Prendre un coefficient de sécurité de ~~1,2~~ **1,25** pour la résistance ultime au glissement. On admet que la rupture se produit dans le sol et non pas à l'interface semelle/sol.
- ✓ **Stabilité au renversement** : Prendre un coefficient de sécurité de 1,3. La résistance au renversement résulte du poids du mur, de sa fondation et du remblai sus-jacent.
- ✗ ~~Stabilité au poinçonnement : de la semelle du mur est la même qu'une semelle de fondation (Voir ci dessus)~~

### v. Vérification des résistances

Vérification  
résistances

Des divers parties du soutènement (ancrage, éléments structuraux...) en tenant compte des coefficients de sécurité pour les matériaux utilisés

**Merci. Fin du chapitre 18F**

# *Dynamique des structures*

2024

Abdellatif MEGNOUNIF

**NEW !!!**

Prochain Cours

Chap. **18G**

**RPA 2024**

Isolation sismique à la base