

**Journées techniques**  
organisées avec l'appui du Sétra  
et sous l'égide de la CoTITA

---

# **PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE**

**Mardi 27 mars 2012**  
**Lundi 2 et mardi 3 avril 2012**

CETE Méditerranée, Aix-en-Provence



Ressources, territoires, habitats et logement  
Énergies et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

**Présent  
pour  
l'avenir**

**Journées techniques**  
organisées avec l'appui du Sétra  
et sous l'égide de la CoTITA

## **PRISE EN COMPTE DU RISQUE SISMIQUE**

# **La prise en compte du risque sismique sur les ouvrages géotechniques**

**(1/2)**

Dominique BATISTA,  
CETE Méditerranée



Ressources, territoires, habitats et logement  
Energies et climat Développement durable  
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

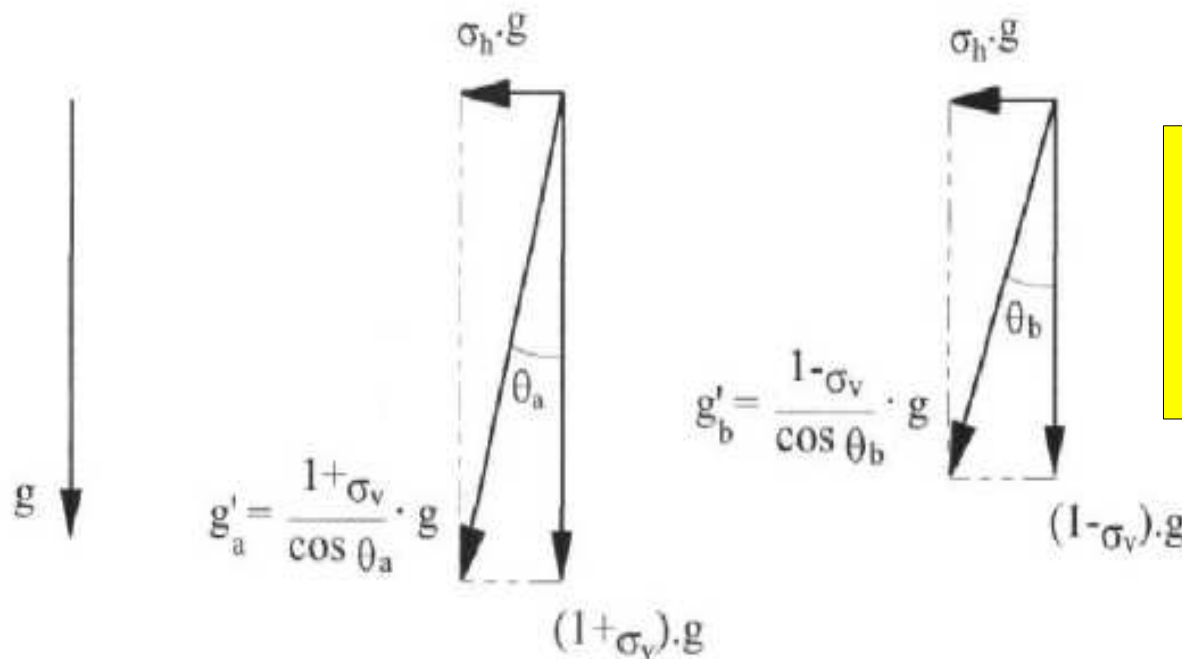
**Présent  
pour  
l'avenir**



# 1. Les soutènements

## Comportement et sources de vulnérabilité :

- Un ouvrage de soutènement est soumis en cas de séisme à des accélérations :
  - de composante horizontale  $k_h \cdot g$
  - et de composante verticale  $k_v \cdot g$



Accélération résultante  $g'$  est inclinée d'un angle  $\theta$  en cas de séisme

# 1. Les soutènements

---

## Comportement et sources de vulnérabilité :

Les coefficients sismiques horizontaux et verticaux précédents sont donnés par les relations suivantes :

$$k_h = \alpha \frac{S}{r}$$

$$k_v = \pm 0,5 k_h \text{ si } a_{vg}/a_g \text{ est supérieur à } 0,6$$

$$k_v = \pm 0,33 k_h \text{ dans les autres cas}$$



# 1. Les soutènements

Où

$$\alpha = \gamma_I a_{gr} S_T / g$$

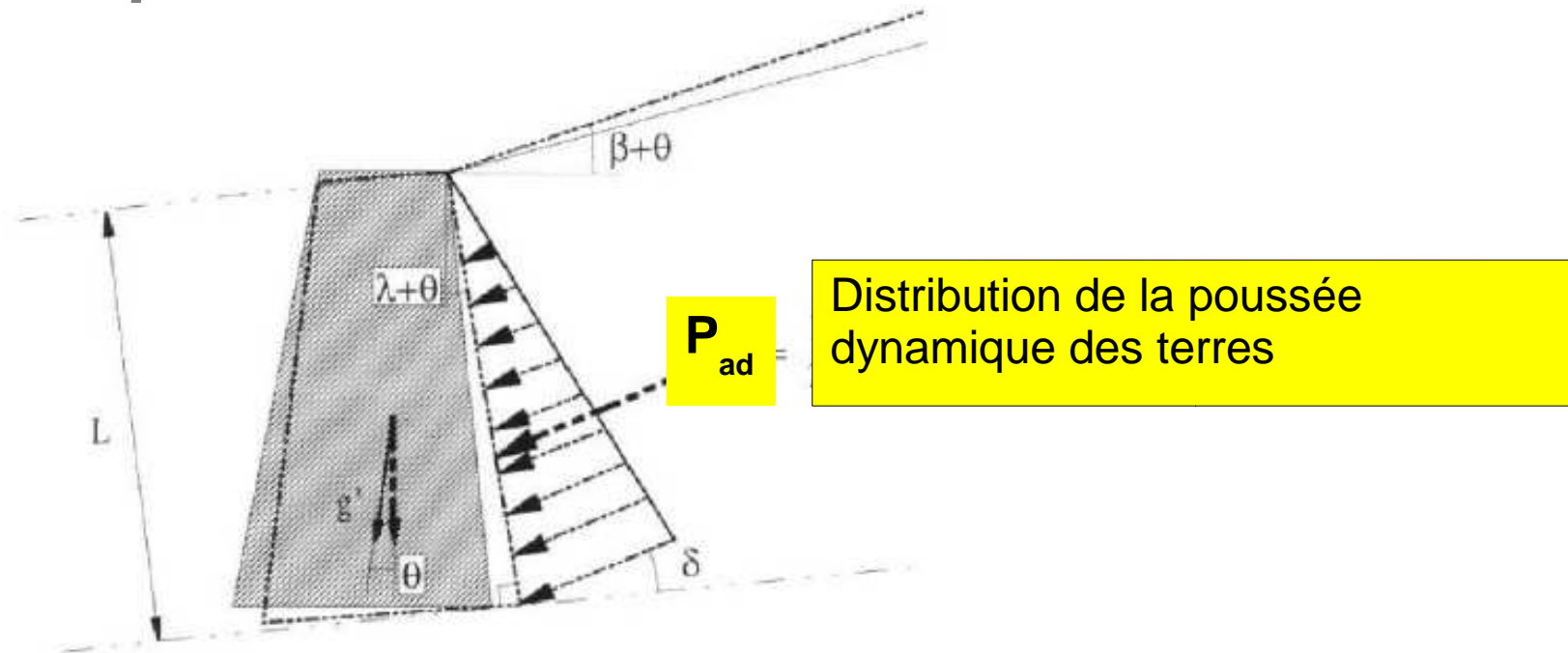
- $\gamma_I$  : le coefficient d'importance de l'ouvrage
- $a_{gr}$  : accélération maximale de référence au rocher
- $S$  : paramètre caractéristique de la classe de sol
- $S_T$  : coefficient d'amplification topographique (modélisant l'effet de site)
- «  $r$  » est fonction de la mobilité du soutènement



Type d'ouvrage de soutènement	$r$
Murs-poids libres pouvant accepter un déplacement jusqu'à $d_r = 300 \alpha \cdot S$ (mm)	2
Murs-poids libres pouvant accepter un déplacement jusqu'à $d_r = 200 \alpha \cdot S$ (mm)	1,5
Murs fléchis en béton armé, murs ancrés ou contreventés, murs en béton renforcé fondés sur pieux verticaux, murs d'infrastructure encastrés et culées de ponts	1

# 1. Les soutènements

## Comportement et sources de vulnérabilité :



Le concepteur peut utiliser une méthode simplifiée pseudo-statique pour le calcul de la poussée dynamique des terres

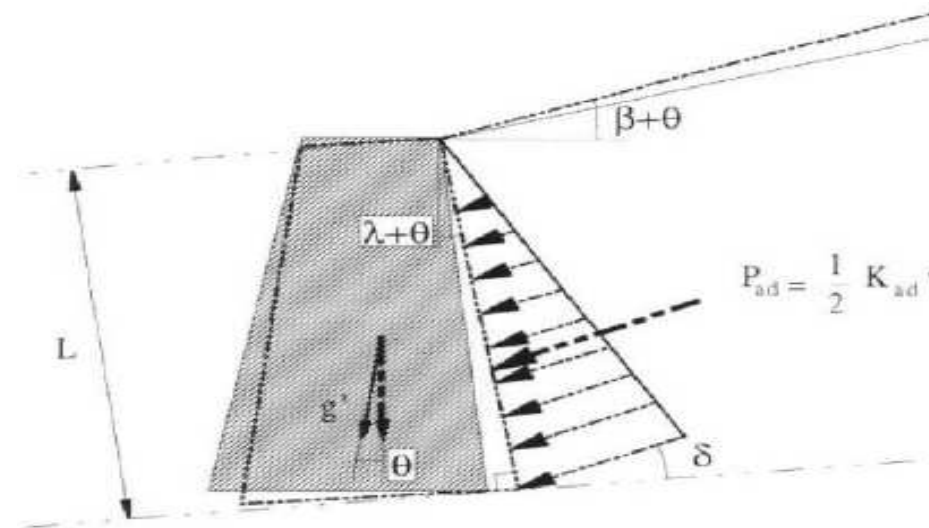


# 1. Les soutènements

## Comportement et sources de vulnérabilité :

- La poussée dynamique des terres est évaluée à partir de la relation :

$$P_{ad} = 0,5 \gamma^* (1 \pm k_v) K \cdot H^2$$



où :

$H$  est la hauteur du mur ;

$E_{ws}$  est la poussée statique de l'eau ;

$E_{wd}$  est la pression hydrodynamique (définie ci-dessous) ;

$\gamma^*$  est le poids volumique du sol (défini ci-dessous de E.5 à E.7) ;

$K$  est le coefficient de poussée des terres (statique + dynamique) ;

$k_v$  est le coefficient sismique vertical (voir expressions (7.2) et (7.3)).

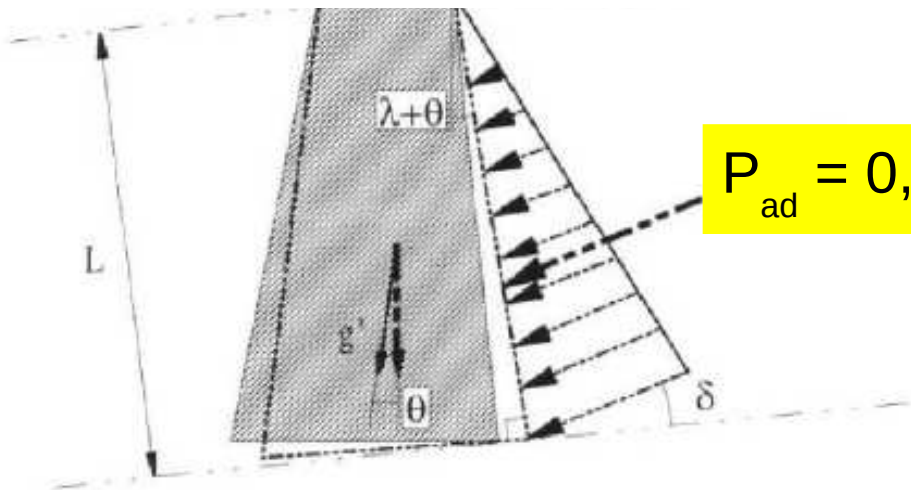


# 1. Les soutènements

## Comportement et sources de vulnérabilité :

- Le coefficient de poussée des terres dynamique est évalué par la formule de Mononobe- Okabe :

$$K = \frac{\sin^2(\psi + \phi'_d - \theta)}{\cos\theta \sin^2\psi \sin(\psi - \theta - \delta_d) \left[ 1 + \frac{\sin(\phi'_d + \delta_d) \sin(\phi'_d - \beta - \theta)}{\sin(\psi - \theta - \delta_d) \sin(\psi + \beta)} \right]^2}$$



$$P_{ad} = 0,5 \gamma^* (1 \pm kv) K \cdot H^2$$

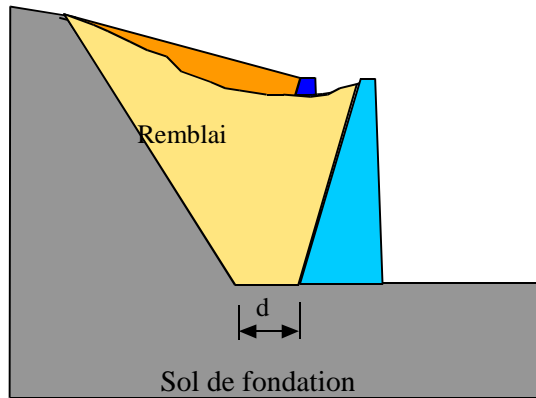




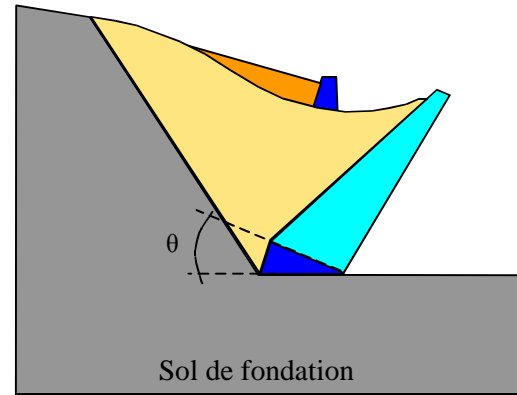
# 1. Les soutènements

## 4 mécanismes de rupture :

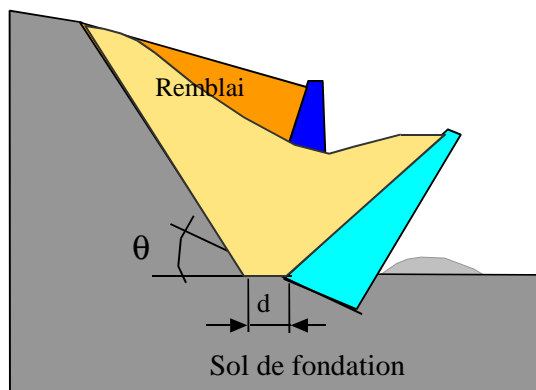
•



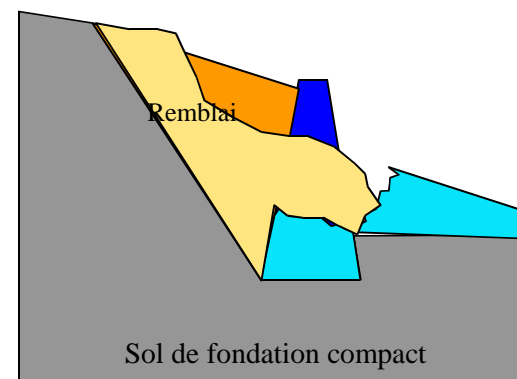
1 - Glissement



2 - Renversement



3 - Poinçonnement



4 - Rupture interne



# REX mission post-sismique de l'Aquila

## Le comportement des ouvrages de soutènement:

Les murs se sont dans l'ensemble bien comportés étant donné le niveau d'accélération subi :

- Effondrement de quelques ouvrages en pierres sèches
- Rupture partielle de murs en maçonnerie



SS17



# REX mission post-sismique de l'Aquila

## Le comportement des ouvrages de soutènement :

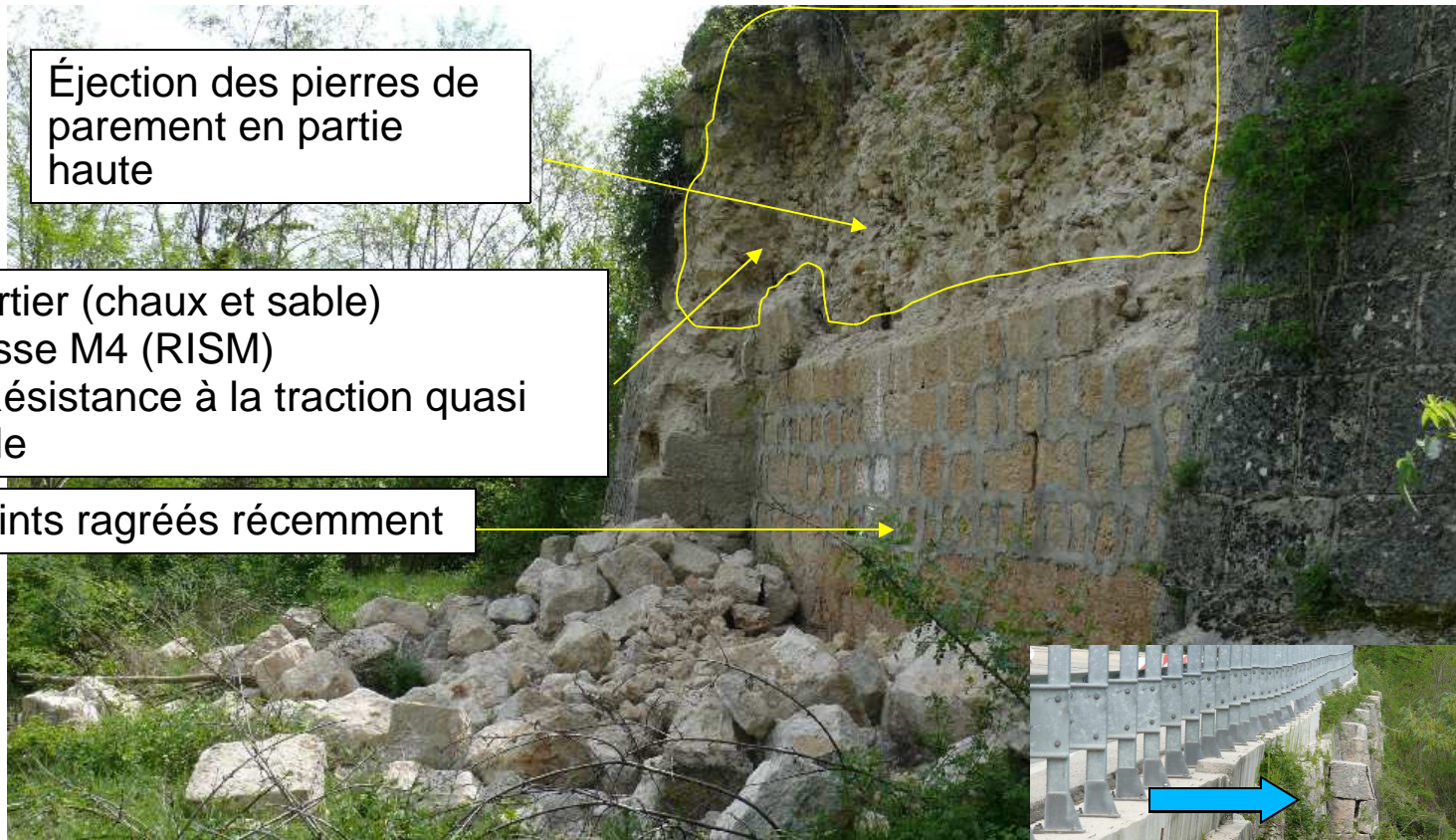
- Route SS17 Aquila : Déplacement du mur sous la poussée dynamique des remblais : déversement de la paroi, rupture et affaissement des remblais





# REX mission post-sismique de l'Aquila

## Le comportement des ouvrages de soutènement:



SS80, PR15

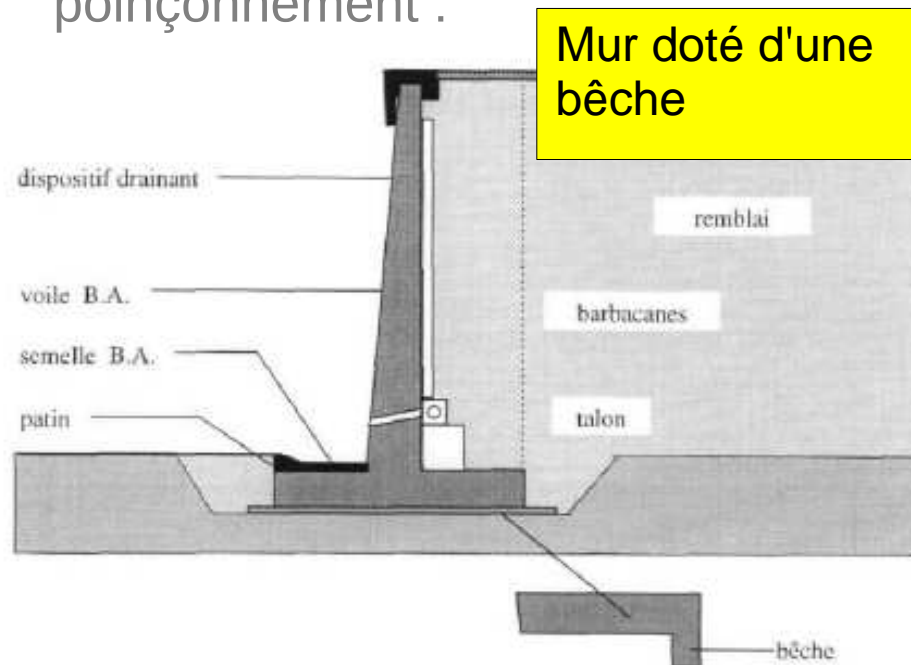
**rupture interne** par « éjection » de maçonnerie



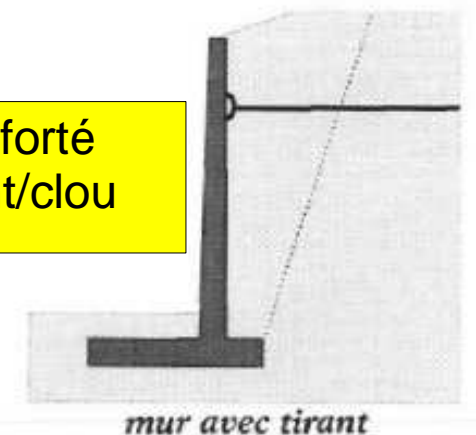
# 1. Les soutènements

## Principes de conception des soutènements :

- Le remblai situé derrière la structure doit être compacté in situ
- Les systèmes de drainage doivent être capables d'absorber des mouvements sans perte de fonctionnalité
- Des dispositions techniques permettent d'accroître la résistance des soutènements aux phénomènes de glissement, déversement et poinçonnement :



Mur conforté par tirant/clou



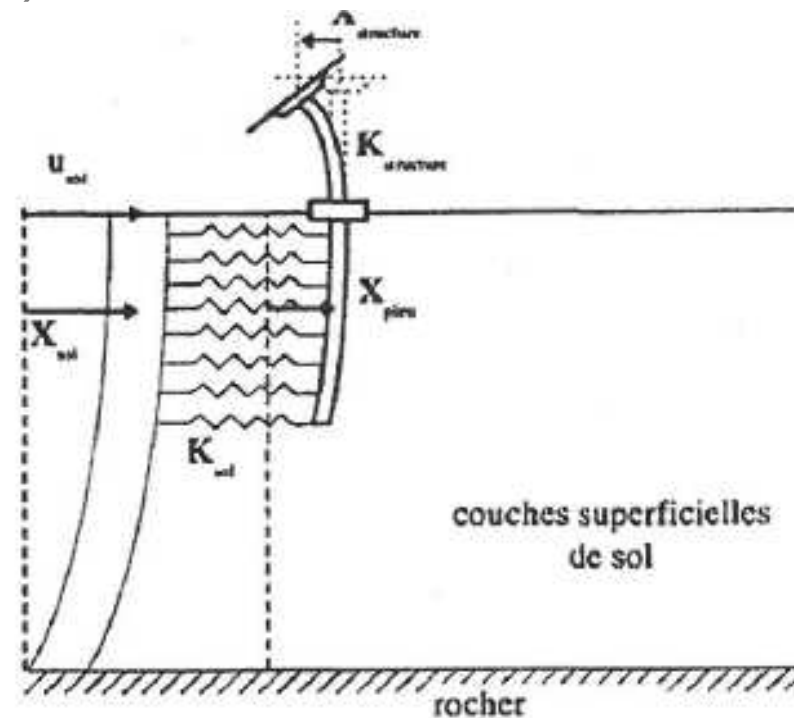


## 2. Les fondations

### Les sollicitations sismiques :

L'action sismique requiert un dimensionnement spécifique pour les fondations. Les fondations doivent être dimensionnées de façon à :

- Résister aux forces d'inertie provenant de la superstructure
- Subir les déplacements imposés par le sol environnant (tassements différentiels, mouvement de sol)

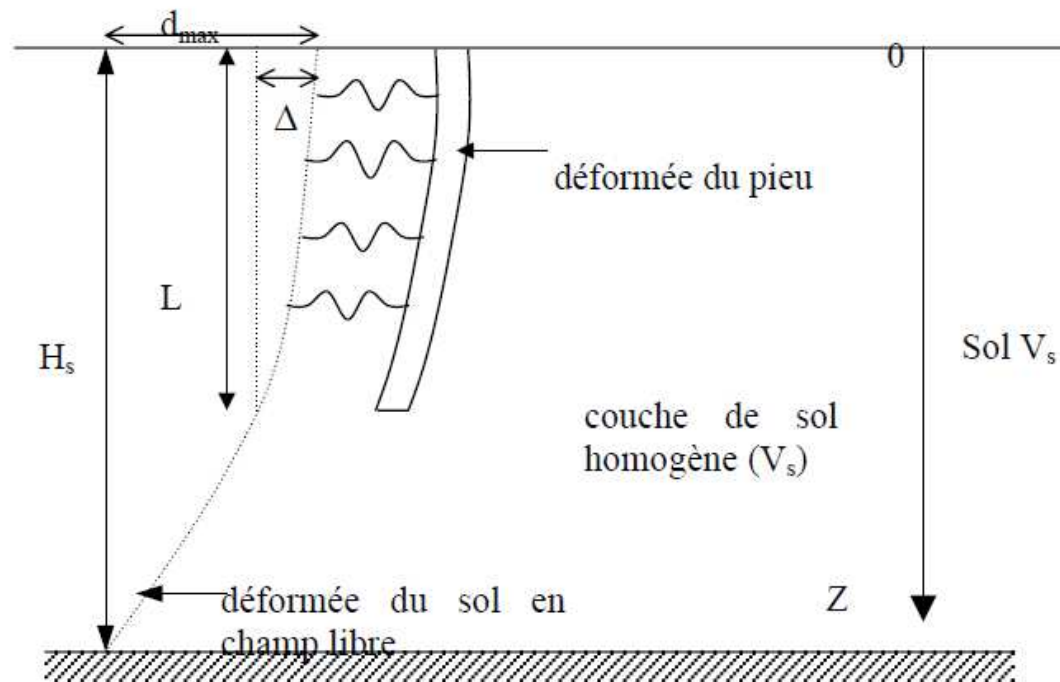


## 2. Les fondations profondes

### Efforts dans les pieux provenant d'un déplacement imposé par le sol

Le déplacement maximal imposé entre la tête et la base de la fondation profonde s'écrit :

$$\Delta = d_{\max} \left( 1 - \cos \left( \frac{\pi L}{2H_s} \right) \right)$$



$$d_{\max} = a_g S \left( \frac{2H_s}{\pi V_s} \right)^2$$

## 2. Les fondations profondes

---

### *Efforts parasites liés à la liquéfaction des sols:*

- perte de frottement latéral
- frottement négatif des sols sus-jacents



## 2. Les fondations profondes

### Principes de conception des fondations :

- L'action du séisme pouvant être aggravée par un comportement hétérogène des fondations, il est recommandé d'opter pour un système de fondation homogène
- Il est recommandé d'intégrer des liaisons horizontales entre fondations

Séisme de Kobé, 1995  
(Document EERI)

Illustrant la vulnérabilité des pieux  
aux sollicitations horizontales en  
absence de liaison adaptée entre les  
têtes de pieux.

