



Webinaires des 12 Avril et 10 Mai 2022

## Soutènements en zone sismique – Partie II

Séance du 10 Mai 2022 animée par :

- Fahd CUIRA
  - Delphine BOUTHEON
  - Gaël GOURRIN
  - Gustavo PEREIRA
  - Florent BOUDET
  - Dominique BATISTA
- TERRASOL – CFMS
  - ERG – CFMS
  - SOCOTEC
  - SOLETANCHE BACHY
  - CEREMA
  - CEREMA

# Projet de guide Cerema

- 1) Objectifs du guide

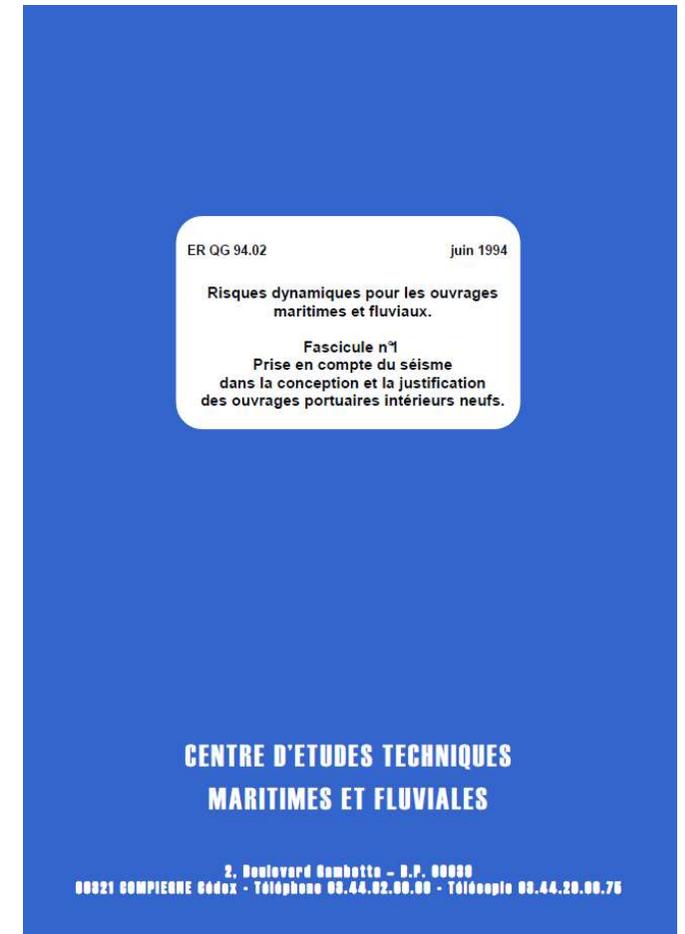
« Prise en compte du séisme dans la conception et la justification des ouvrages portuaires intérieurs neufs »

- 2) Présentation sommaire du guide

- 3) Illustrations et retours d'expériences sur les parois minces

# 1) Objectifs du guide

- « **Prise en compte du séisme dans la conception et la justification des ouvrages portuaires intérieurs neufs** »
- Refonte / mise à jour du fascicule du CETMEF, datant de 1994
- Synthèse des approches appliquées pour l'étude des ouvrages portuaires soumis aux sollicitations sismiques
- A destination des Maîtres d'Ouvrages, concepteurs et gestionnaires d'ouvrages

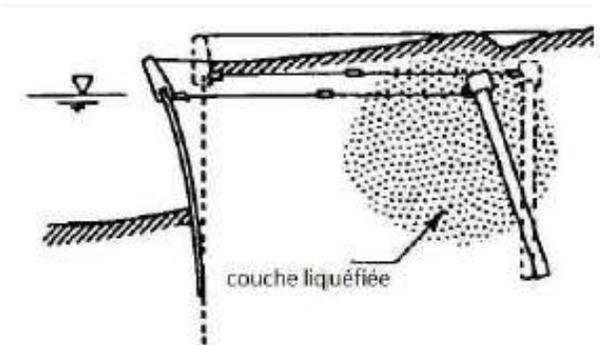
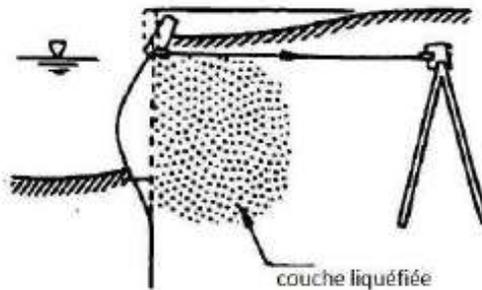
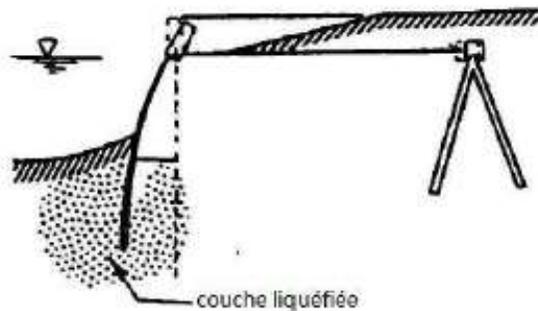


## 2) Présentation sommaire du guide

- I – Réglementations et recommandations parasismiques
- II – Démarches générales de prise en compte du séisme dans la conception des ouvrages portuaires
- III – Actions sismiques et combinaisons de calcul
- IV – Qualification des sols et techniques possibles d'amélioration
- V – Méthodes de calcul et règles de dimensionnement applicables aux ouvrages portuaires

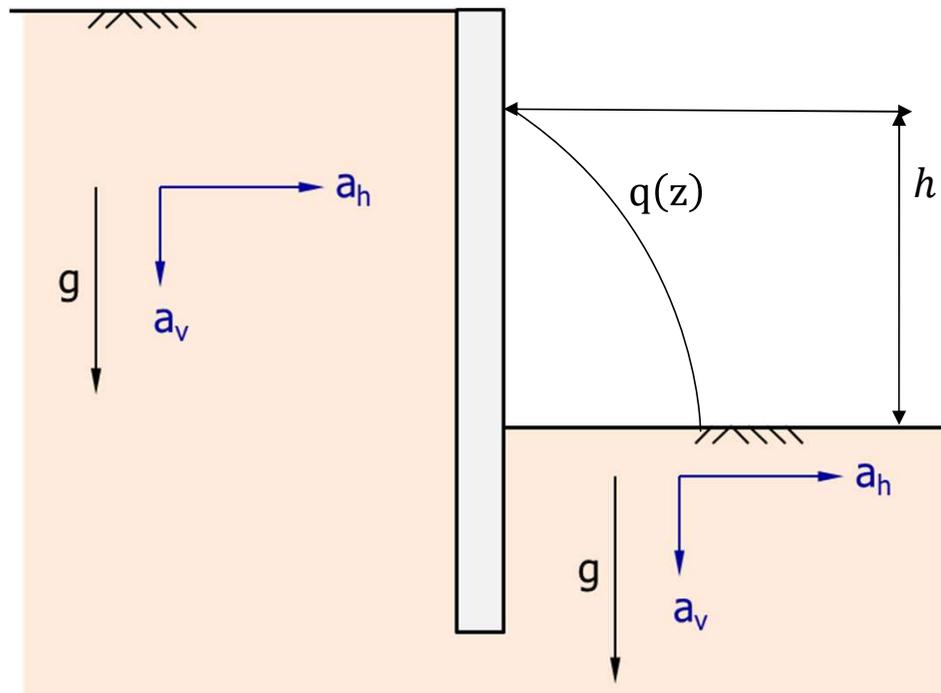
## 2) Présentation sommaire du guide

- Particularités pour les ouvrages portuaires
  - Sols sans cohésion, lâches et situés sous nappe (sédiments et remblais hydrauliques)
    - => Risque important de liquéfaction dans certaines zones
    - => s'affranchir des phénomènes de liquéfaction avant d'entreprendre les justifications mécaniques usuelles



## 2) Présentation sommaire du guide

- Particularités pour les ouvrages portuaires
  - Pression hydrodynamique côté mer



$$q(z) = \pm \frac{7}{8} k_h \cdot \gamma_w \cdot \sqrt{h \cdot z}$$

# Présentation sommaire du guide : Méthodes de calcul

## Chapitre V – « Méthodes de calcul et règles de dimensionnement applicables aux ouvrages portuaires »

- Méthodes d'analyses applicables : principes, limite et domaines d'emploi
- Cas des ouvrages poids
- Cas des parois minces et des écrans de soutènement
- Cas des ouvrages sur pieux
- Cas des talus et pentes naturelles

### 3) Projet de guide : quelques aspects de calcul

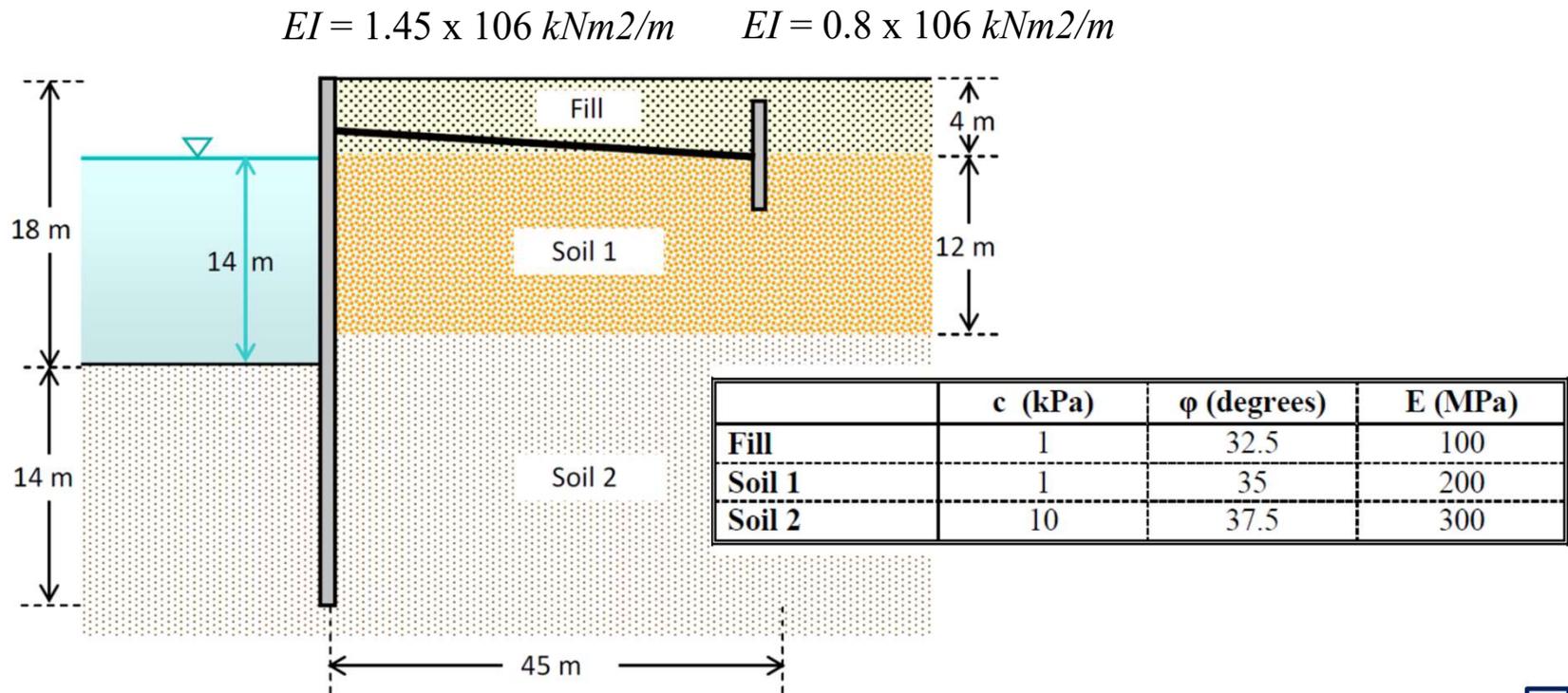
Gradation des approches de calcul :

Type de méthode \ Type d'ouvrage	Méthodes simplifiées	Méthodes dynamiques simplifiées	Méthodes dynamiques
- Ouvrages poids	- Méthodes pseudo-statiques en force	Méthodes de type « Newmark »	
- Rideaux et parois moulées	- Méthodes pseudo-statiques en force  - Méthodes pseudo statiques en déplacements (module de réaction)		FEM ou différences finies

### 3) Projet de guide : quelques aspects de calcul

Gradation des approches de calcul : petit REX sur le calcul des parois minces

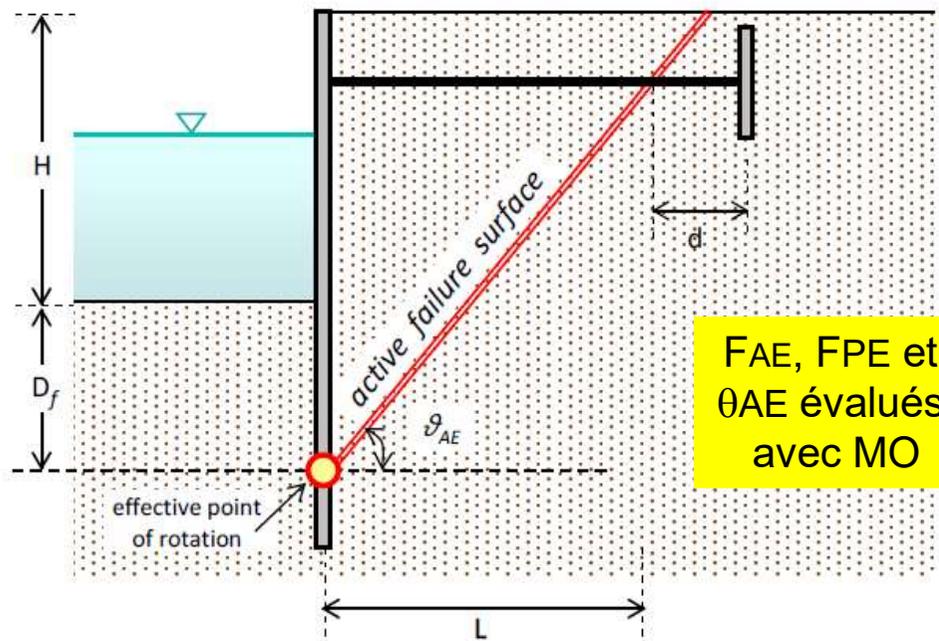
- REX sur le calcul d'un rideau de palplanche de 32m de hauteur (Gazetas et al, 2015)



### 3) Projet de guide : quelques aspects de calcul

Gradation des approches de calcul : petit REX sur le calcul des parois minces

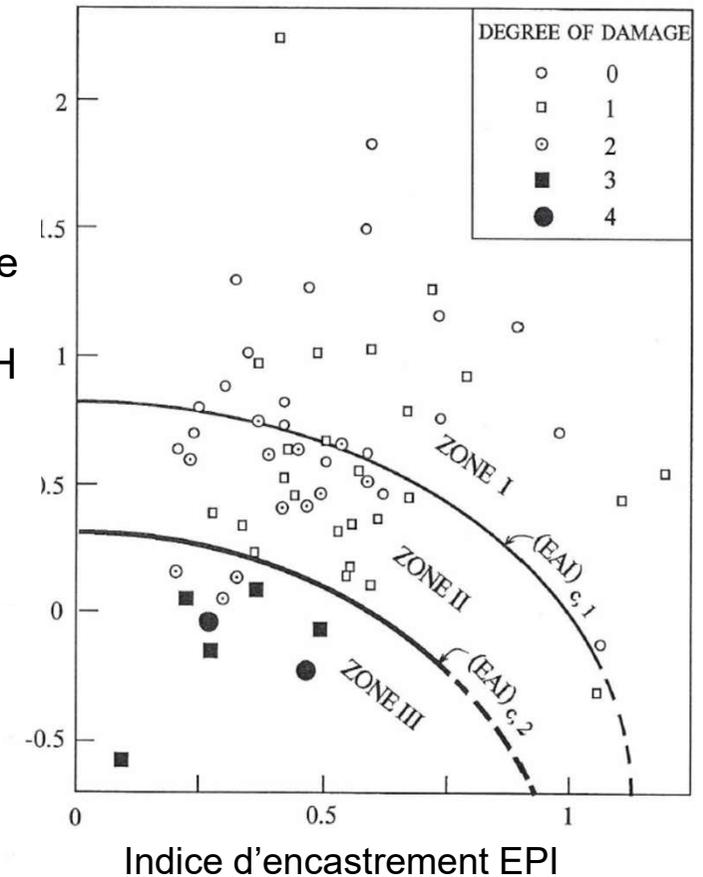
- ébauche de dimensionnement - abaques de Gazetas (Gazetas et al, 2015) :



FAE, FPE et  $\theta_{AE}$  évalués avec MO

$$\left( \frac{F_{PE}}{F_{AE}} \right) \left\{ 1 + \frac{D_f}{D_f + H} \right\}$$

Indice d'ancrage effectif  
EAI = d/H



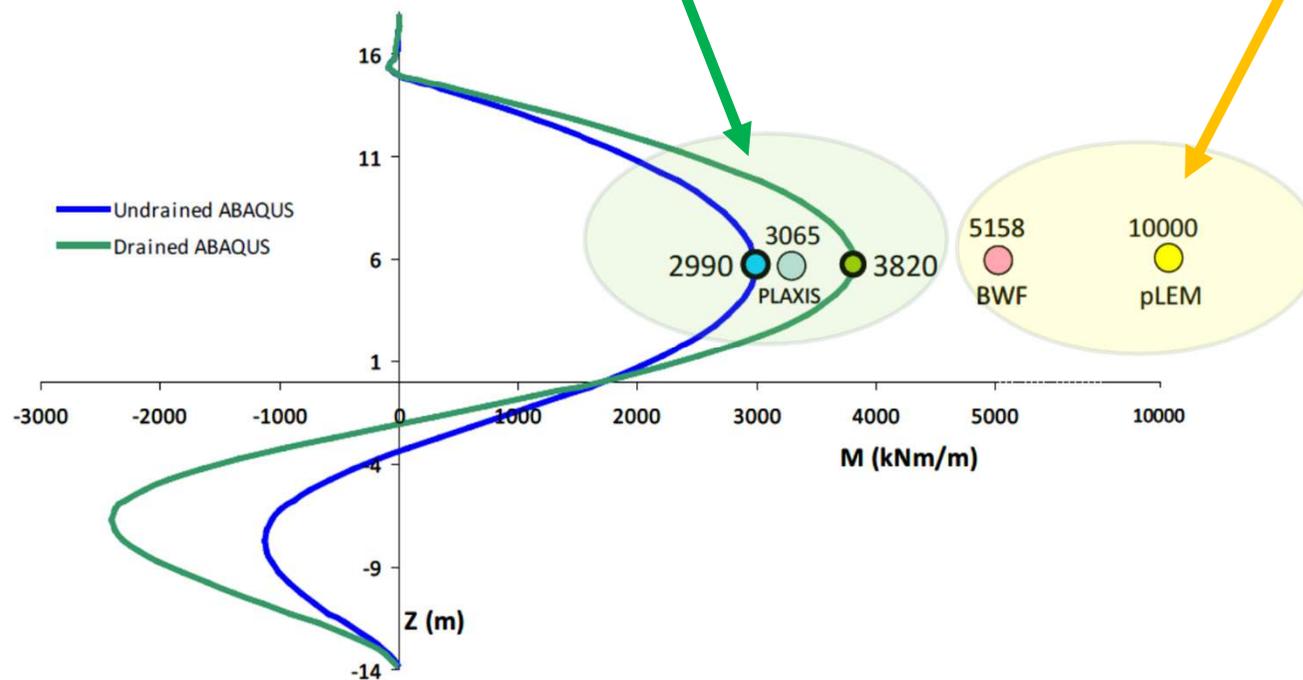
### 3) Projet de guide : quelques aspects de calcul

Gradation des approches de calcul : petit REX sur le calcul des parois minces

- Comparaisons des moments obtenus pour différentes méthodes (Gazetas et al, 2015) :

Approches dynamiques :  
avec rugosité de  $\delta = 26^\circ$  à l'interface

Approches pseudo-statiques :  
-pLEM : approche pseudostatique (Mononobe Okabe)  
-BWF : calcul élastoplastique type modules de réaction



$\delta = 26^\circ$  à l'interface

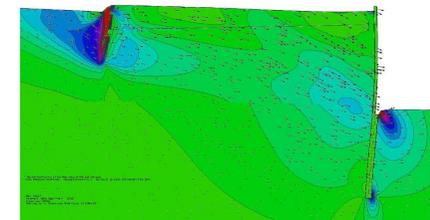
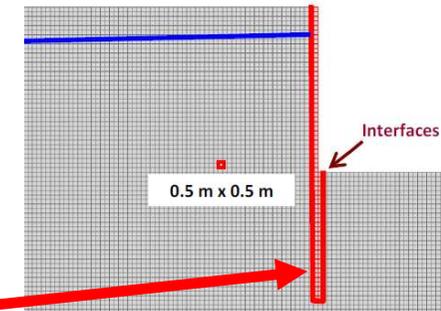


Figure 8. Displacement field at the end of Chalfand Valley record for interface friction coefficient  $\mu = 0.50$ .

### 3) Projet de guide : quelques raffinements de calcul

#### Prise en compte d'une rugosité en butée :

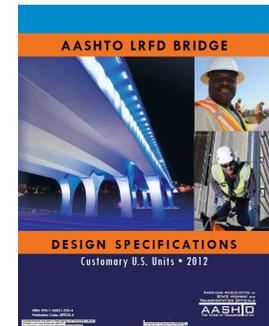
- Annexe E de l'EC8-5 : coefficients de butée proposés n'intègrent pas la rugosité à l'interface de la paroi, compte tenu des mécanismes plans considérés par Mononobe O

Pour les états passifs (pas de force de frottement entre le sol et le mur) :

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

- On peut bien sûr intégrer une obliquité en butée moyennant la prise en compte de surfaces de ruptures plus complexes :
  - AASHTO LRFD, Design specifications, 2012 :

This Section provides charts for determination of seismic passive earth pressures coefficients for a soil with both cohesion and friction based on the **log spiral method**. These charts were developed using a **pseudostatic equilibrium method** reported in Anderson et al. (2008)."



### 3) Projet de guide : quelques raffinements de calcul

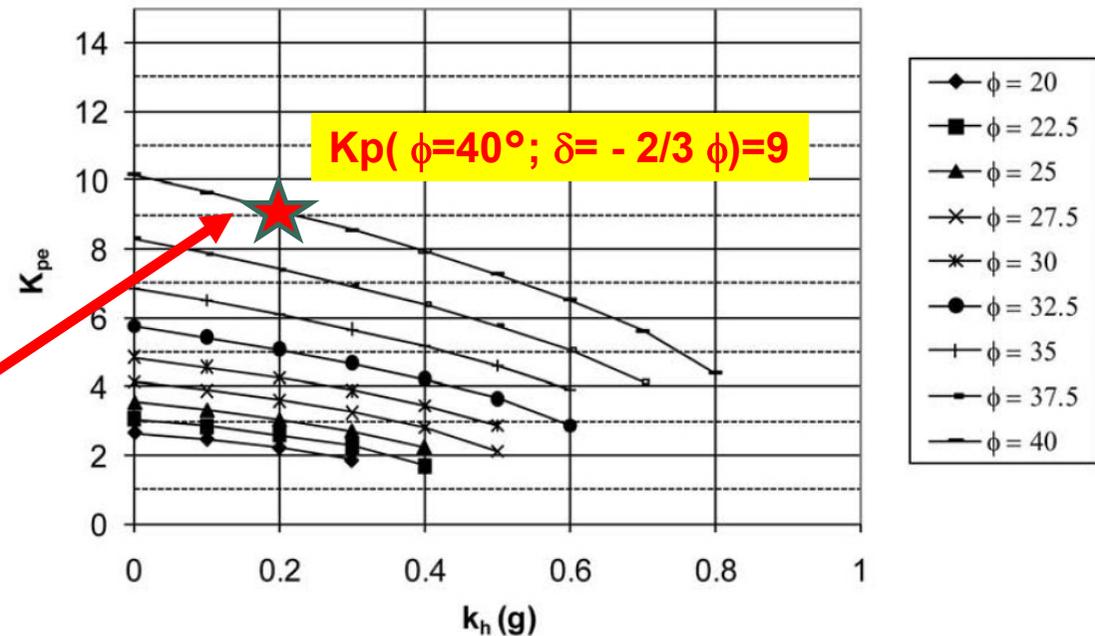
Prise en compte d'une rugosité en butée :

- AASHTO LRFD:



à comparer avec  
 $K_p(\phi=40^\circ; \delta=0) = 4,15$   
donné par Mononobe Okabe

$c/\gamma H = 0$



- Autres méthodes :
  - Calcul à la rupture avec forces volumiques pseudostatiques
  - Méthode en éléments finis

### 3) Projet de guide : quelques raffinements de calcul

- Estimation affinée de l'accélération de calcul à prendre en compte :
  - Annexe E de l'EC8-5 :

Si  $H > 10\text{m}$  : valeur moyenne du pic d'accélération horizontale du sol sur la hauteur du mur

**E.2** Pour des ouvrages de soutènement de hauteur supérieure à 10 m, on peut effectuer une analyse mono-dimensionnelle de propagation verticale des ondes en champ libre, pour obtenir une estimation plus affinée de  $\alpha$  dans l'expression (7.1), en prenant la valeur moyenne du pic d'accélération horizontale du sol, le long de la hauteur de la structure.

### 3) Projet de guide : quelques raffinements de calcul

- Estimation affinée de l'accélération de calcul à prendre en compte :
  - NCHRP report 611 « Seismic Analysis and Design of retaining walls... » :
    - $a_g$  est moyennée sur le bloc en rupture

- mur de 12m (40'),
- signaux du spectre Lower Band

