



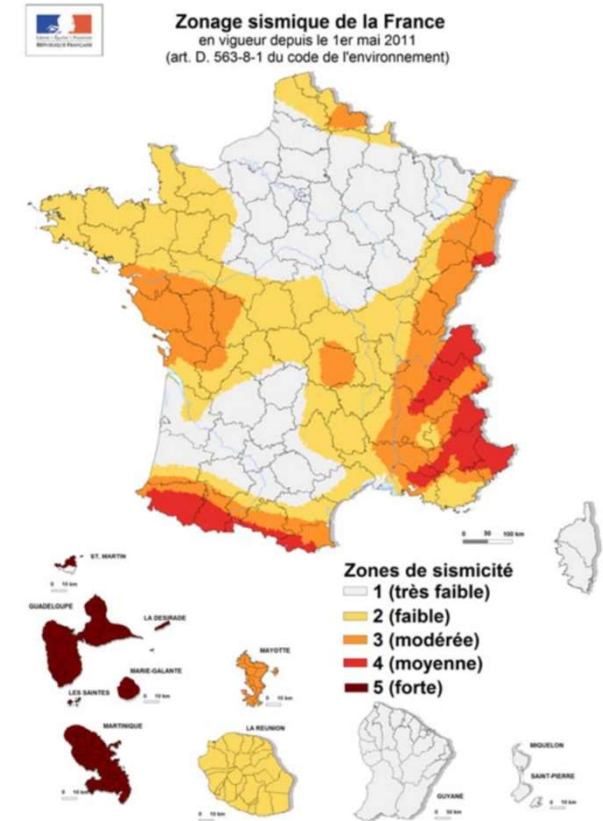
Webinaire du 10 Mai 2022 de 10h30 à 12h30

## Exemple d'un mur gravitaire

Gaël GOURRIN - SOCOTEC

# Soutènement gravitaire

- Contexte sismique



# Soutènement gravitaire

- Contexte sismique

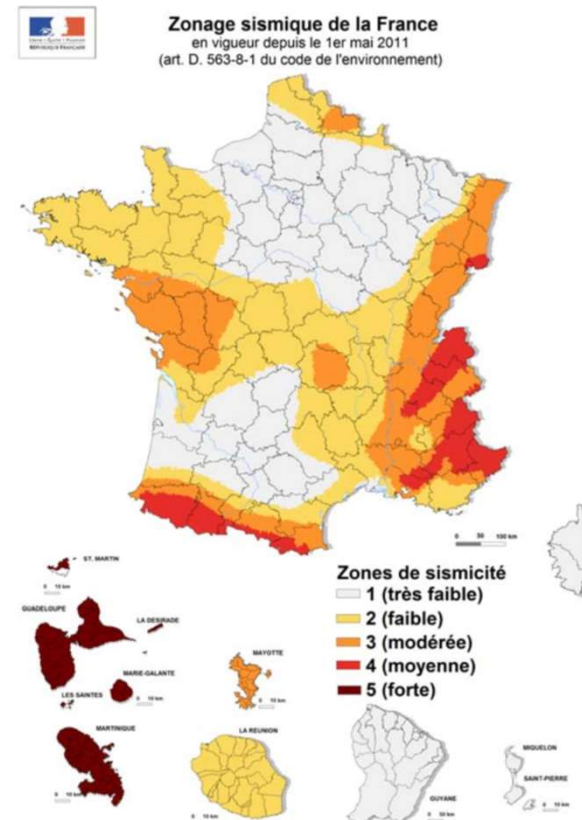
⇒ Zone de sismicité 5 :

$$a_{gr} = 3 \text{ m/s}^2$$

⇒ Catégorie d'importance IV :

$$\gamma_I = 1,4$$

⇒  $a_g = \gamma_I a_{gr} = 4,2 \text{ m/s}^2$



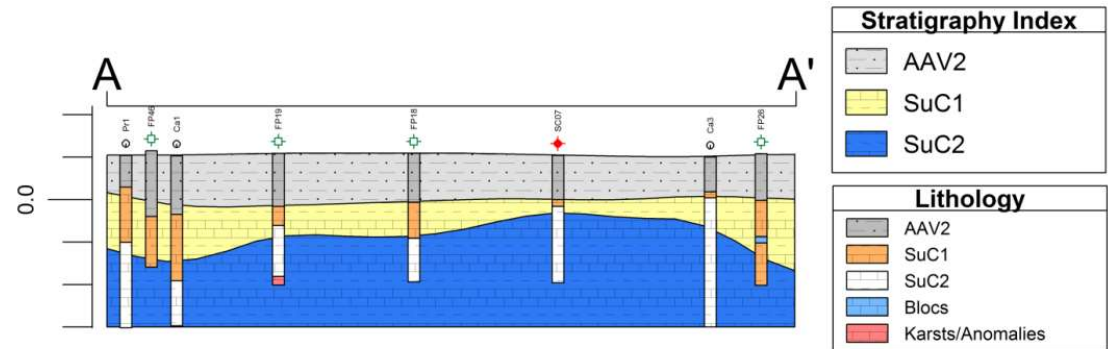
# Soutènement gravitaire

- Contexte géotechnique

⇒ Essai cross-hole :  
Classement de sol en catégorie B

$$S = 1,2$$

$$S_T = 1 \quad (\text{Pas d'effet topographique})$$



Ensemble géomécanique	Cote de Base (NGG)	$\gamma_h$ (en kN/m <sup>3</sup> )	$E_M$ (en MPa)	$p_L^*$ (en MPa)	$\alpha$ (-)	$c'$ (en kPa)	$\varphi'$ (en °)	$C_u$ (en kPa)
Tufs calcaires (Plateforme)	7.20	20	7	0.7	0.50	5	35	-
Complexe volcano-sédimentaire AAV2	-0.80	15.7	8.0	0.90	0.50	5	27	35
Calcaire corallien altéré SuC1	-9.30	19	7.3*	0.91	0.67	5	30	90
Calcaire corallien sain SuC2	< -20.0	21.5	73	3.7	0.50	30	40	260

# Soutènement gravitaire

- Action sismique

$$\Rightarrow a_N = S \times a_g = 5 \text{ m/s}^2$$

$$k_H = \frac{1}{r} \frac{a_N}{g} = \frac{0,5}{r}$$

$$k_V = 0,5 k_H = \frac{0,25}{r}$$

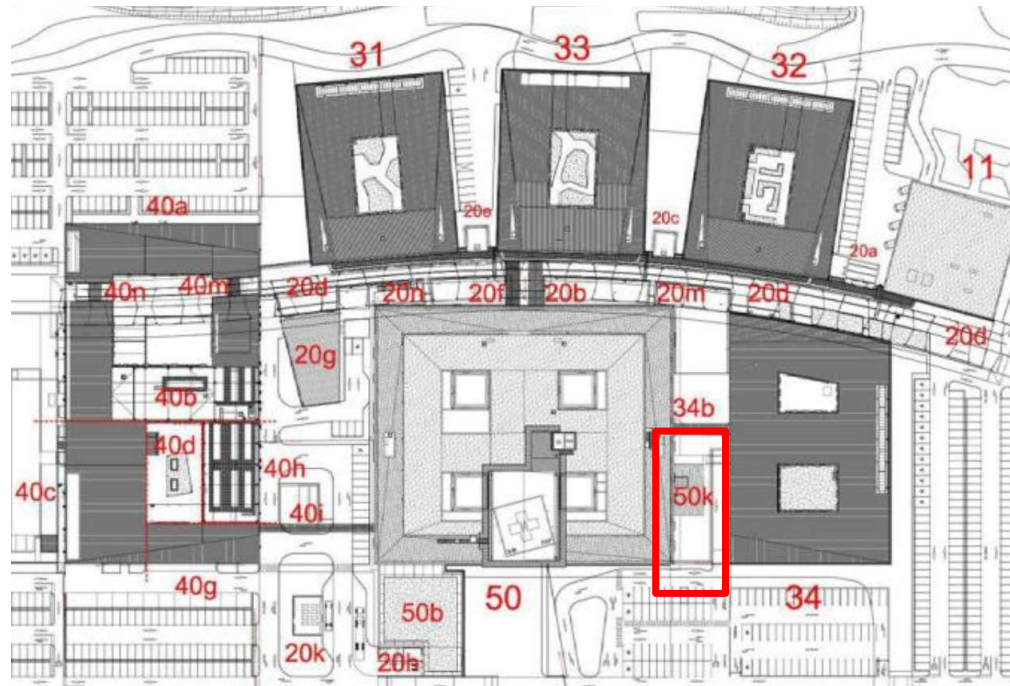
Il convient de mener les justifications en considérant +/-  $k_v$

r	$d_r$ [cm]	$\theta_1 (+k_v)$ [°]	$\theta_2 (-k_v)$ [°]
2	15	13	16
1,5	10	16	22
1	0	22	35

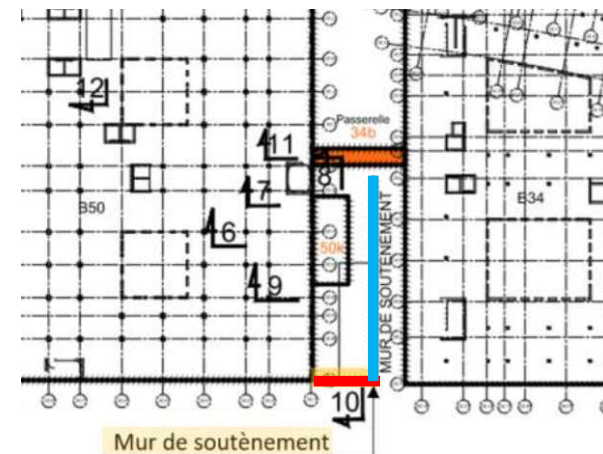
Type d'ouvrage de soutènement	r
Murs-poids libres pouvant accepter un déplacement jusqu'à $d_r = 300 \alpha \cdot S$ (mm)	2
Murs-poids libres pouvant accepter un déplacement jusqu'à $d_r = 200 \alpha \cdot S$ (mm)	1,5
Murs fléchis en béton armé, murs ancrés ou contreventés, murs en béton renforcé fondés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

# CHU de Pointe-à-Pitre

- Ouvrages de soutènement soumis à action sismique

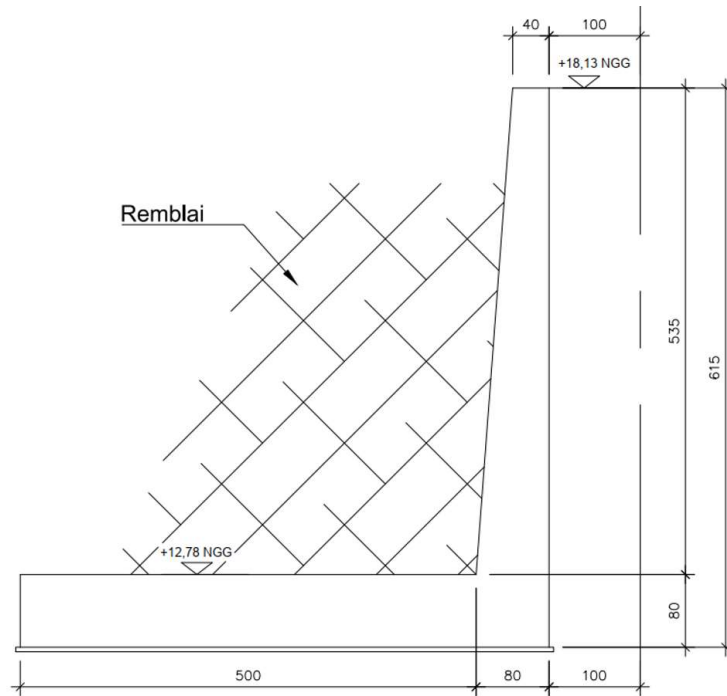


Soutènement avec mur en retour



# Soutènement gravitaire

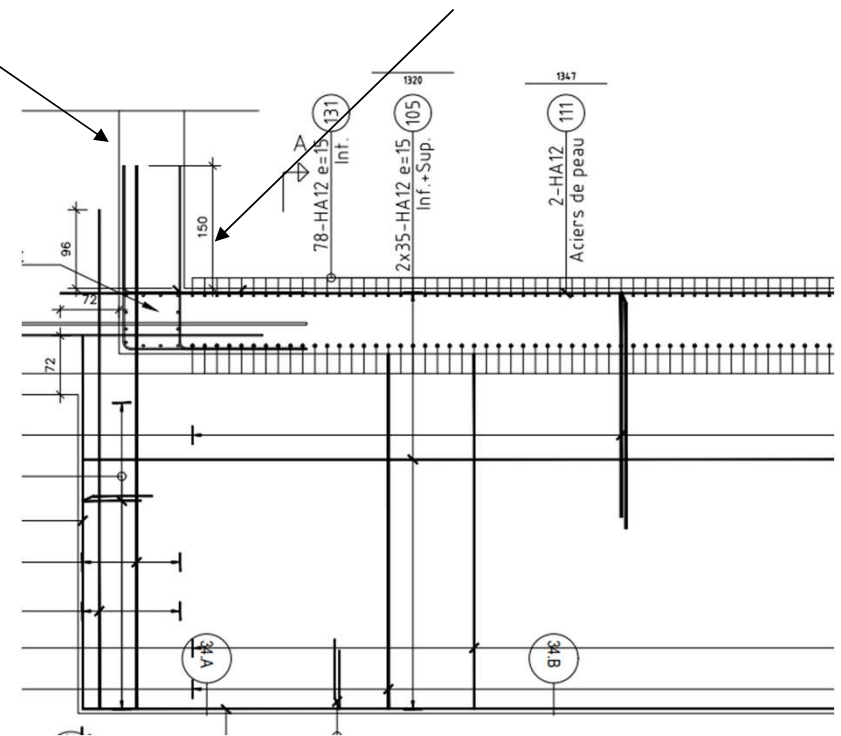
- Possibilité de mouvement du soutènement



Coupe du soutènement

Mur étudié

Blocage du mouvement par le mur en retour



Liaison avec le mur en retour

## Soutènement gravitaire

- Réflexion sur les mouvements « élastique »

⇒ Est-ce que M.O. est applicable ?

### EC8-5 §7.3.2.1

(2) Pour produire un état de poussée active du sol, un mouvement suffisant du mur est nécessaire durant le séisme de calcul ; ce mouvement est rendu possible, pour une structure flexible, par la flexion et, pour des structures gravitaires, par glissement ou rotation. Pour évaluer le mouvement du mur nécessaire à l'établissement d'un état limite actif, voir l'EN 1997-1:2004, **9.5.3**.

(3) Pour les structures rigides, telles que les murs d'infrastructure ou les murs-poids fondés sur rocher ou sur pieux, des pressions plus grandes que les pressions actives se développent et il est plus approprié de prendre l'hypothèse d'un état au repos du sol, comme montré en **E.9**. Il convient d'appliquer les mêmes remarques aux murs de soutènement ancrés si aucun mouvement n'est permis.

$$\Delta P_d = \alpha \cdot S \cdot \gamma \cdot H^2$$

A cumuler avec la poussée statique



## Soutènement gravitaire

- Poussé sans déplacement élastique

⇒  $H=6\text{ m}$  ;  $\gamma=20\text{ kN/m}^3$  ;  $a_N=5\text{ m/s}^2$

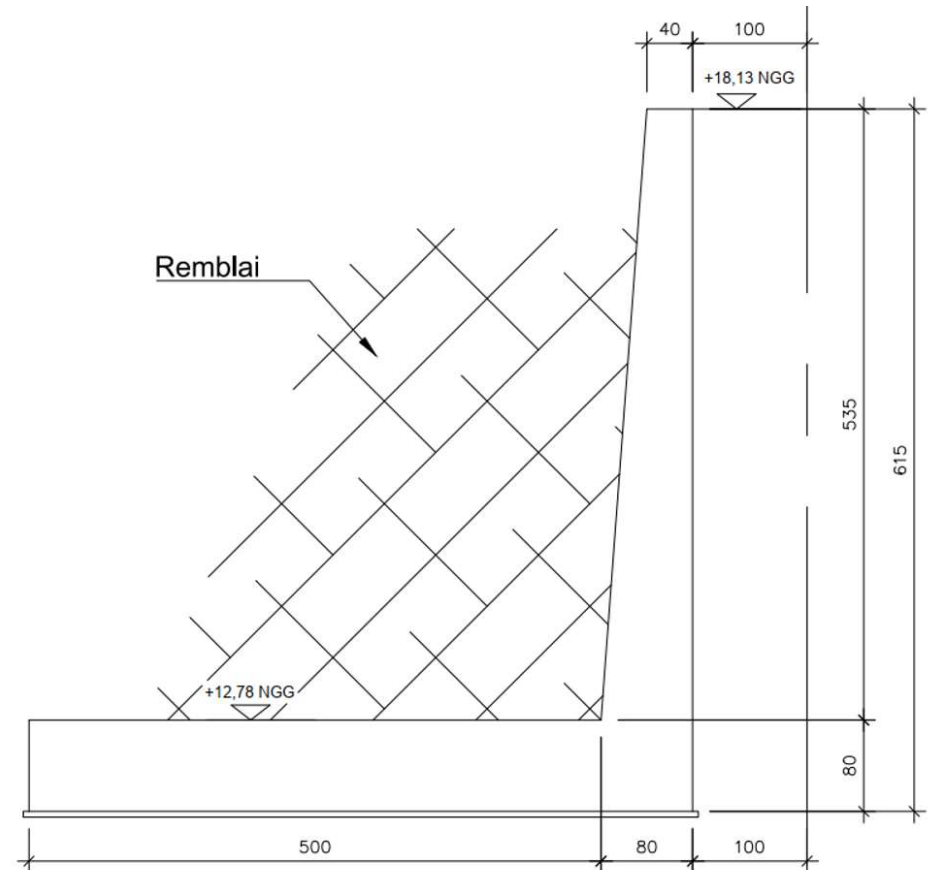
⇒ Poussée à l'arrière du voile :

⇒  $\Delta P_{ad} = 370\text{ kN}$

⇒  $P_{as} = 110\text{ à }185\text{ kN}$

⇒  $P_{ad} = 480\text{ à }550\text{ kN}$

⇒ A retenir pour le calcul du mur



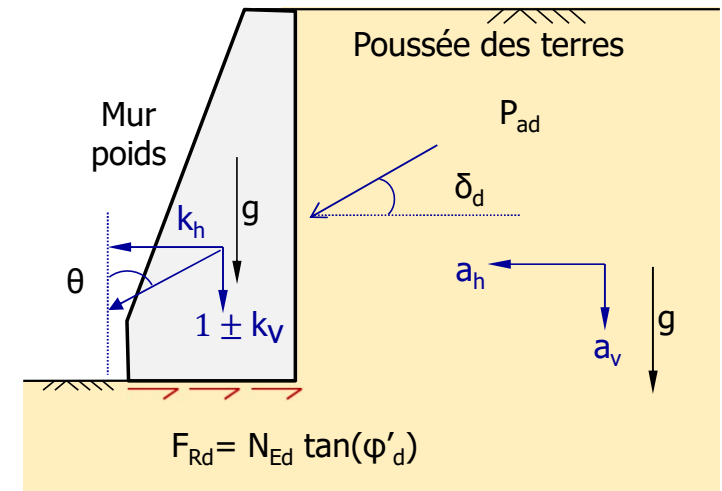
# Soutènement gravitaire

- Déplacement élastique possible – Impact du facteur r

⇒ Impact sur la stabilité au glissement

$$\Rightarrow F_{s;g} = \frac{F_{Rd}}{V_{Ed}} = \frac{\tan(\varphi'_d) ((P_{ad} \sin(\delta_{ad}) + (1 \pm k_v) W))}{P_{ad} \cos(\delta_{ad}) \pm k_h W}$$

Partie poussée du sol
Partie inertielle du mur



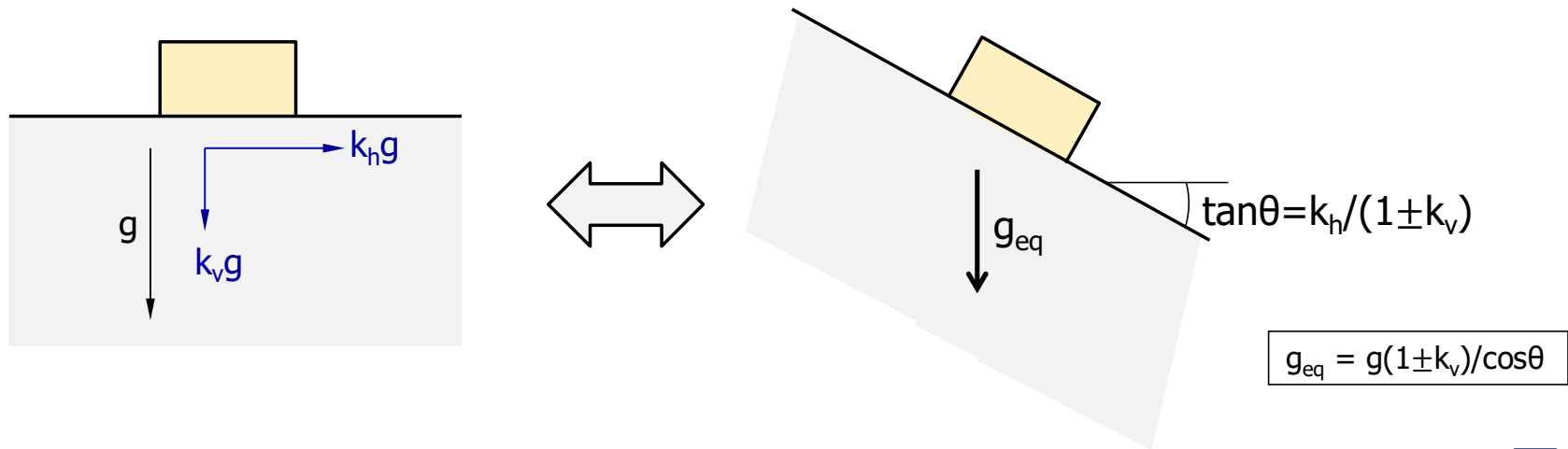
Selon EC 8-5

r	$\theta_1 (+k_v)$	$F_{s;g1}$	$\theta_2 (-k_v)$	$F_{s;g2}$
2	13	1,4	16	1,3
1,5	16	1,1	22	0,8
1	22	0,9	35	0,5

Avec M.O. :  $\beta + \theta = 35^\circ > \varphi'_d = 29^\circ$   
 pas de solution, la poussée n'est pas définie  
 → problème de stabilité initiale du site

## Comportement des terrains sous séisme

- Vérification de la stabilité sismique du site (en l'absence de l'ouvrage)
  - ⇒ Toujours commencer par examiner les conditions de stabilité « initiale » du site sous séisme (même quand celui-ci est initialement horizontal) : cela permet de juger de la pertinence des hypothèses du projet (action sismique vs résistance mécanique)
  - ⇒ Un sol homogène est stable lorsque :  $\beta + \theta < \varphi'_d$



## Soutènement gravitaire

- Stabilité initiale

⇒ Si défaut de stabilité :

soit préciser les paramètres de cisaillement  
soit redéfinir l'action sismique

⇒ Redéfinir l'action sismique en prenant en compte la filtration de l'action :

Sol homogène : on retient  $\theta = \varphi'_d - \beta$

Multicouche : on peut rechercher l'accélération déstabilisatrice par un calcul à la rupture (avec un coefficient de sécurité = 1)

Les justifications sont ensuite faites avec l'accélération déstabilisatrice

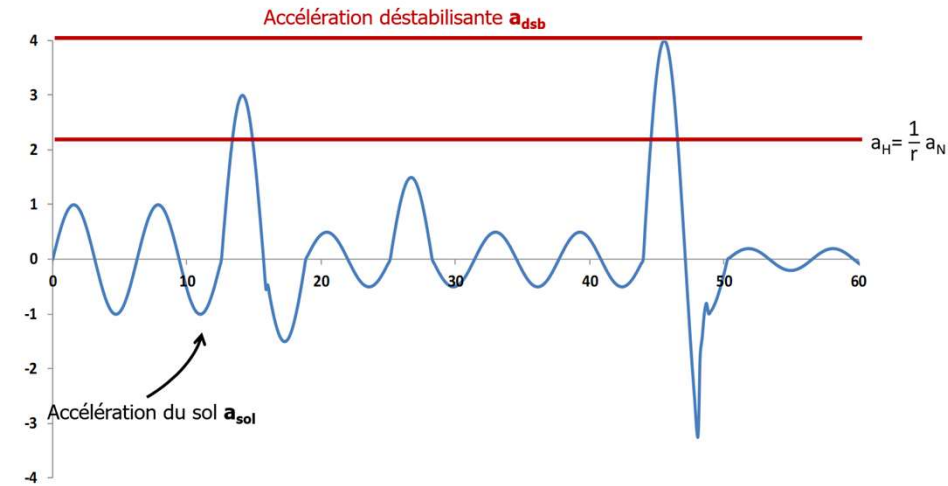
## Soutènement gravitaire

- Déplacement élastique possible - Réflexion sur la détermination du facteur  $r$
- ⇒ Si le facteur de sécurité, sur les vérifications géotechniques, est relativement grand, est-ce qu'un facteur  $r > 1$  est acceptable même lorsque l'on autorise des déplacements résiduels élevés ?
- Risque de reporter la ruine sur la partie structure ?

## Choix de l'action sismique

- Principe de l'approche pseudo-statique – cas de  $F_s$  géotechnique élevé

- ⇒ Valeur du coefficient «  $r$  » fonction de la capacité de l'ouvrage à accepter des déplacements irréversibles post-séisme
- ⇒ Si  $r > 1$  alors que les facteurs de sécurité sur les justifications géotechniques sont relativement grand, cela signifie que l'accélération déstabilisante permettant de consommer les déplacements et diminuer les poussées n'est pas forcément atteinte.
- ⇒ Il y a un sujet sur le choix de l'accélération de calcul retenu pour les justifications de structure
- ⇒ Il convient de vérifier dans un premier temps que  $a_{dsb} < a_N$  pour retenir un facteur  $r > 1$
- ⇒ Dans tous les cas, les justifications peuvent se faire avec  $\min(a_{dsb}; a_N)$



# Soutènement gravitaire

- Action sismique

## §7.3.2.2 de l'EC 8-5

(2)P L'action sismique verticale doit être considérée comme agissant vers le haut ou vers le bas, de manière à produire l'effet le plus défavorable.

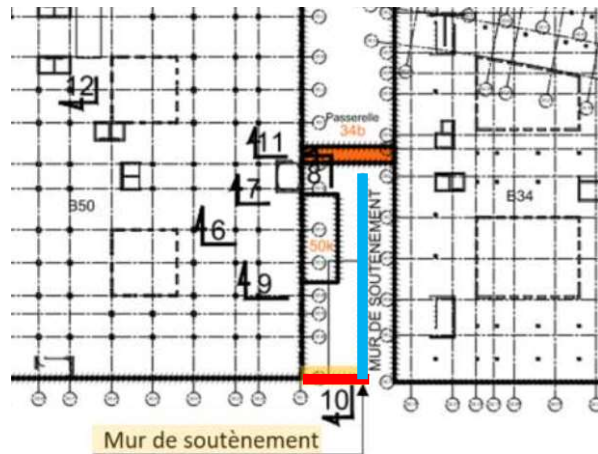
(7) Pour les murs autres que les murs-poids, les effets de l'accélération verticale peuvent être négligés pour l'ouvrage de soutènement.

r	d <sub>r</sub> (cm)	$\theta_2 (-k_v)$	$F_{s;g2}$	$\theta_2 (k_v=0)$	$F_{s;g3}$	$\Delta$
1	0	35	0,5	27	0,6	+20%

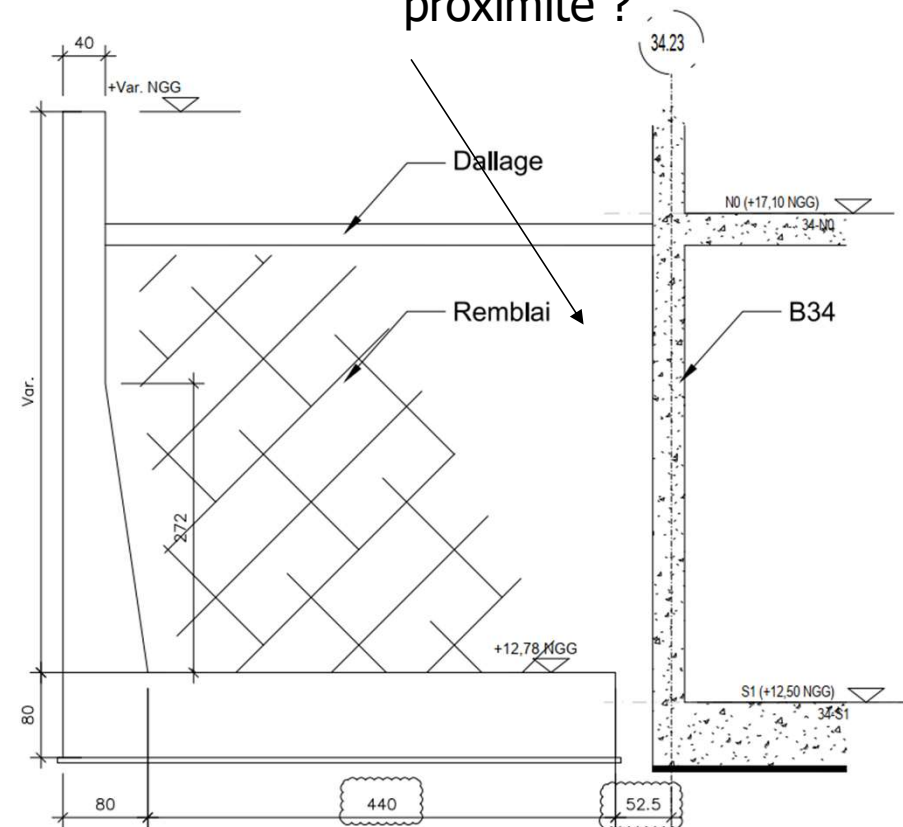
L'approximation sur la justification du glissement n'est pas négligeable si l'on retient  $k_v=0$

# Soutènement gravitaire

- Proximité d'un ouvrage



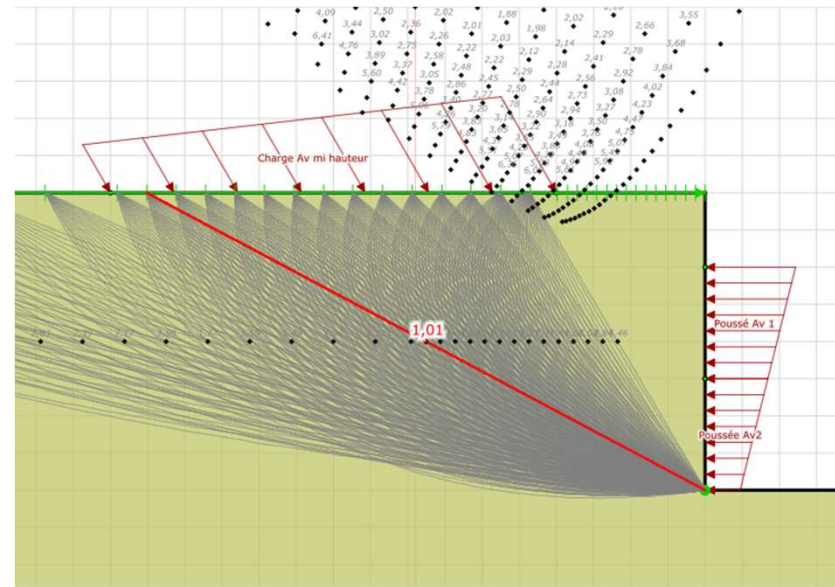
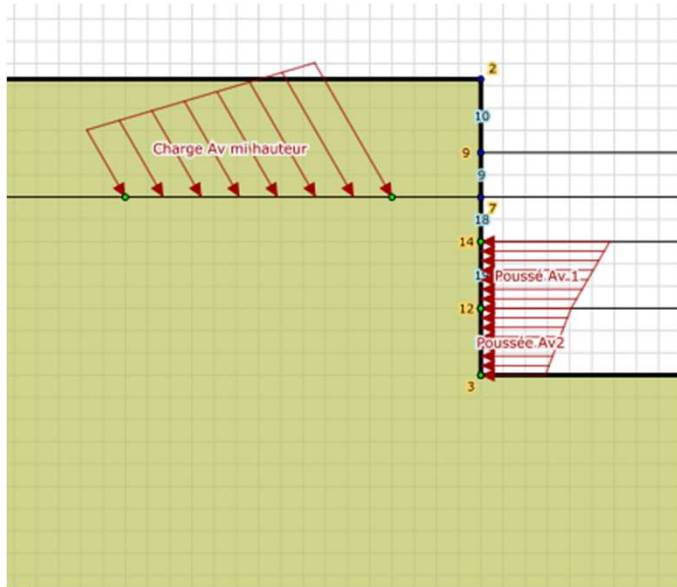
Poussée apportée par l'ouvrage à proximité ?



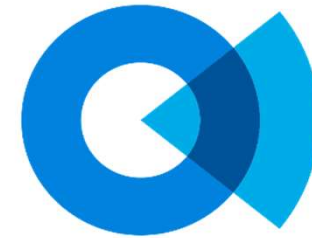


## Soutènement gravitaire

- Réflexions sur la prise en compte d'un ouvrage à proximité
- ⇒ Comment déterminer la poussée sismique due à la charge verticale et horizontale apportée par l'avoisinant ?
- ⇒ A partir de la DDC sismique de l'ouvrage avoisinant, on recherche la poussée appliquée sur le mur : calcul à la rupture avec un milieu non pesant par exemple, on recherche de la charge aval d'équilibre pour  $XF=1$



Merci pour votre attention



**SOCOTEC**

Gaël Gourrin  
Spécialiste Sols et Fondations  
Tél: +33 (0)6 28 11 37 26  
[gael.gourrin@socotec.com](mailto:gael.gourrin@socotec.com)