

DYNAMIQUE DES OUVRAGES GEOTECHNIQUES

Chapitre 4

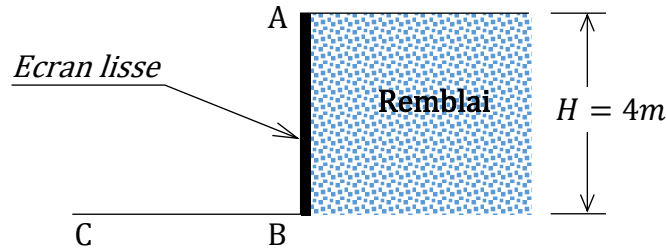
Stabilité sismique des ouvrages de soutènement

Exercices

Prof. Mohamed KHEMISSA

*Département de Génie Civil, Faculté de Technologie,
Université Mohamed Boudiaf – M'sila*

Ex. 1 Tracer le diagramme de poussée des terres générées sous séisme d'accélération horizontale $a_h = 0.3g$ derrière un écran vertical lisse de hauteur $H = 4\text{ m}$ soutenant un remblai constitué d'un tout-venant d'oued de poids volumique $\gamma = 21\text{ kN/m}^3$ et d'angle de frottement interne effectif $\varphi' = 35^\circ$ comme le montre la figure ci-après. Déterminer ensuite la résultante des poussées et son point d'application vis-à-vis du renversement par rapport aux points A et B et vis-à-vis du glissement le long de BC.



Rép. 1

A. Coefficients de poussées statique et sismique

A.1. Coefficient de poussée statique

- Angle de frottement interne du sol : $\varphi' = 35^\circ$
- Ecran vertical : $\lambda = 0$
- Ecran lisse : $\delta = 0$
- Terrain naturel plat : $\beta = 0$

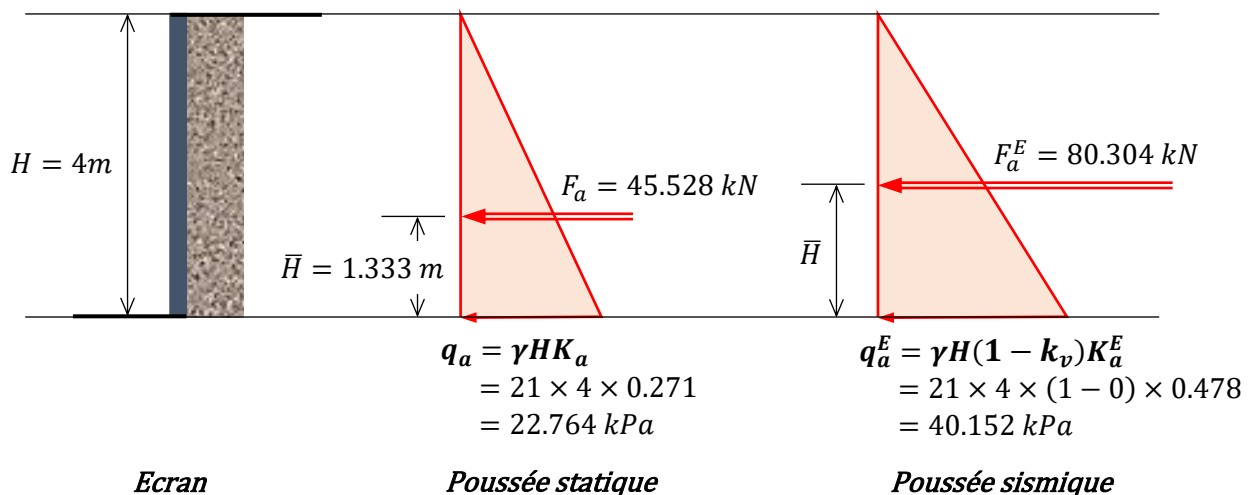
$$\Rightarrow K_a = 0.271 \quad (\text{Tables})$$

A.2. Coefficient de poussée sismique

- Angle de frottement interne du sol : $\varphi' = 35^\circ$
- Ecran vertical : $\lambda = 0$
- Ecran lisse : $\delta = 0$
- Terrain naturel plat : $\beta = 0$
- Action sismique : $\tan(\theta) = \frac{k_h}{1-k_v} = \frac{0.3}{1-0} = 0.3$ ($k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.3g}{g} = 0.3$ et $k_v = 0$)

$$\Rightarrow K_a^E = 0.478 \quad (\text{Tables})$$

B. Diagrammes de poussées statique et sismique



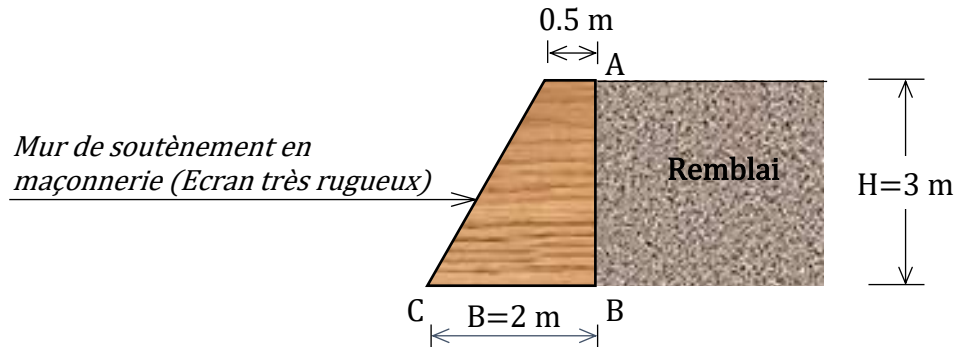
C. Résultantes de poussées statique et sismique

- Poussée statique : $F_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a = \frac{1}{2} q_a H = \frac{1}{2} \times 22.764 \times 4 = 45.528 \text{ kN}$
- Poussée sismique : $F_a^E = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_a^E = \frac{1}{2} q_a^E H = \frac{1}{2} \times 40.152 \times 4 = 80.304 \text{ kN}$

D. Point d'application des résultantes de poussées statique et sismique

- Poussée statique : $\bar{H} = \frac{1}{3} H = \frac{1}{3} \times 4 = 1.333 \text{ m} \quad \forall \text{ le mode de rupture de l'écran}$
- Poussée sismique :
 - Rotation / sommet : $\bar{H} = 0.55 H = 0.55 \times 4 = 2.200 \text{ m}$
 - Rotation / base : $\bar{H} = \frac{\left(\frac{H}{3}\right) F_a + (0.6 H) \Delta F_a^E}{F_a^E} = \frac{\frac{4}{3} \times 45.528 + 0.6 \times 4 \times (80.304 - 45.528)}{80.304} = 1.795 \text{ m}$
 - Glissement : $\bar{H} = \frac{(0.42 H) F_a + (0.48 H) \Delta F_a^E}{F_a^E} = \frac{0.42 \times 4 \times 45.528 + 0.48 \times 4 \times (80.304 - 45.528)}{80.304} = 1.784 \text{ m}$

Ex. 2 Tracer le diagramme de poussée des terres générées sous séisme d'accélération horizontale $a_h = 0.3g$ derrière un mur de soutènement en maçonnerie (écran très rugueux) de poids volumique $\gamma_{mur} = 22 \text{ kN/m}^3$ et de hauteur $H = 3 \text{ m}$ soutenant un remblai constitué d'un tout-venant d'oued de poids volumique $\gamma = 18.5 \text{ kN/m}^3$ et d'angle de frottement interne effectif $\varphi' = 35^\circ$ comme l'indique la figure ci-après. Puis, déterminer la résultante des poussées et son point d'application vis-à-vis du renversement par rapport à la base du mur. Vérifier ensuite la stabilité du mur vis-à-vis du renversement par rapport à sa base (on prendra comme coefficient de sécurité admissible au renversement $F_{adm} = 1.5$).



Rép. 2

A. Coefficients de poussées statique et sismique

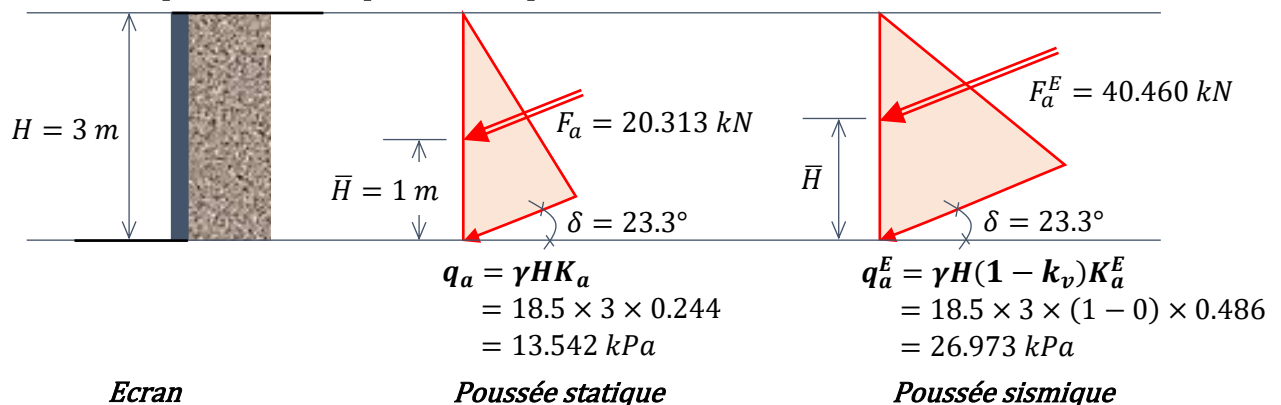
A.1. Coefficient de poussée statique

- Angle de frottement interne du sol : $\varphi' = 35^\circ$
 - Ecran vertical : $\lambda = 0$
 - Ecran très rugueux : $\delta = \frac{2}{3}\varphi'$
 - Terrain naturel plat : $\beta = 0$
- $\Rightarrow K_a = 0.244$ (Tables)

A.2. Coefficient de poussée sismique

- Angle de frottement interne du sol : $\varphi' = 35^\circ$
 - Ecran vertical : $\lambda = 0$
 - Ecran très rugueux : $\delta = \frac{2}{3}\varphi'$
 - Terrain naturel plat : $\beta = 0$
 - Action sismique : $\tan(\theta) = \frac{k_h}{1-k_v} = \frac{0.3}{1-0} = 0.3$ ($k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.3g}{g} = 0.3$ et $k_v = 0$)
- $\Rightarrow K_a^E = 0.486$ (Tables)

B. Diagrammes de poussées statique et sismique



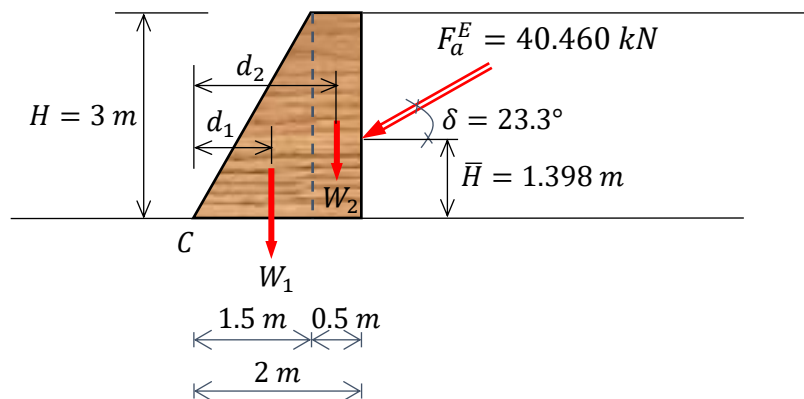
C. Résultantes de poussées statique et sismique

- Poussée statique : $F_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_a = \frac{1}{2} q_a H = \frac{1}{2} \times 13.542 \times 3 = 20.313 \text{ kN}$
- Poussée sismique : $F_a^E = \frac{1}{2} \gamma H^2 (1 - k_v) K_a^E = \frac{1}{2} q_a^E H = \frac{1}{2} \times 26.973 \times 3 = 40.460 \text{ kN}$

D. Point d'application des résultantes de poussées statique et sismique

- Poussée statique : $\bar{H} = \frac{1}{3} H = \frac{1}{3} \times 3 = 1 \text{ m} \quad \forall \text{ le mode de rupture de l'écran}$
- Poussée sismique :
 - Rotation / base : $\bar{H} = \frac{\left(\frac{H}{3}\right) F_a + (0.6H) \Delta F_a^E}{F_a^E} = \frac{\frac{3}{3} \times 20.313 + 0.6 \times 3 \times (40.460 - 20.313)}{40.460} = 1.398 \text{ m}$

E. Stabilité du mur vis-à-vis du renversement



- $W_1 = \frac{1}{2} \times 22 \times 1.5 \times 3 = 49.5 \text{ kN}$ située à $d_1 = 1 \text{ m} / C$
- $W_2 = 22 \times 0.5 \times 3 = 33 \text{ kN}$ située à $d_2 = 1.75 \text{ m} / C$

Le coefficient de sécurité au renversement est défini par :

$$F_{renv} = \frac{M_{resistant/C}}{M_{moteur/C}}$$

tels que :

$$\begin{aligned} M_{resistant/C} &= W_1 d_1 + W_2 d_2 + F_a^E \sin(\delta) d_3 \\ &= 49.5 \times 1 + 33 \times 1.75 + 40.460 \times \sin\left(\frac{2}{3} \times 35\right) \times 2 = 139.301 \text{ kNm} \end{aligned}$$

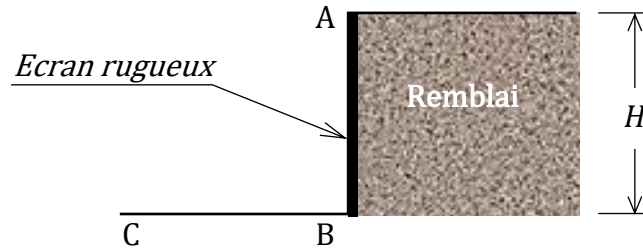
$$\begin{aligned} M_{moteur/C} &= F_a^E \cos(\delta) \bar{H} \\ &= 40.460 \times \cos\left(\frac{2}{3} \times 35\right) \times 1.398 = 51.937 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\Rightarrow F_{renv} = \frac{139.301}{51.937} = 2.68$$

Commentaire :

$$F_{renv} = 2.68 > F_{adm} = 1.5 \quad \Rightarrow \quad \text{Le mur est stable vis-à-vis du renversement.}$$

Ex. 3 (Interro. du 12/12/2022) Tracer le diagramme de poussée des terres générées sous séisme d'accélération horizontale $a_h = 0.4g$ derrière un écran vertical rugueux soutenant un remblai de hauteur $H = 4 \text{ m}$ constitué d'un tout-venant d'oued de poids volumique $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ et d'angle de frottement interne effectif $\varphi' = 40^\circ$ comme le montre la figure ci-après. Déterminer ensuite les résultantes de poussées statique et sismique et leur point d'application vis-à-vis du renversement par rapport aux points A et B et vis-à-vis du glissement le long de BC.



Rép. 3

A. Coefficients de poussées statique et sismique

A.1. Coefficient de poussée statique

- Angle de frottement interne du sol : $\varphi' = 40^\circ$
- Ecran vertical : $\lambda = 0$
- Ecran rugueux : $\delta = \frac{2}{3}\varphi'$
- Terrain naturel plat : $\beta = 0$

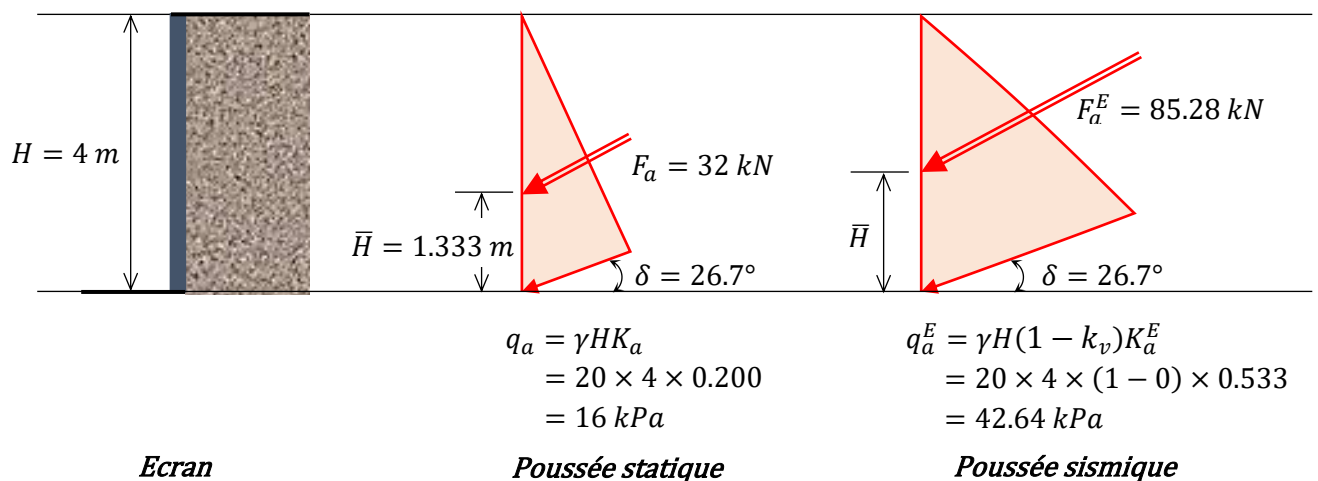
$$\Rightarrow K_a = 0.200 \quad (\text{Tables})$$

A.2. Coefficient de poussée sismique

- Angle de frottement interne du sol : $\varphi' = 40^\circ$
- Ecran vertical : $\lambda = 0$
- Ecran rugueux : $\delta = \frac{2}{3}\varphi'$
- Terrain naturel plat : $\beta = 0$
- Action sismique : $\tan(\theta) = \frac{k_h}{1-k_v} = \frac{0.4}{1-0} = 0.4 \quad (k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.4g}{g} = 0.4 \text{ et } k_v = 0)$

$$\Rightarrow K_a^E = 0.533 \quad (\text{Tables})$$

B. Diagrammes de poussées statique et sismique



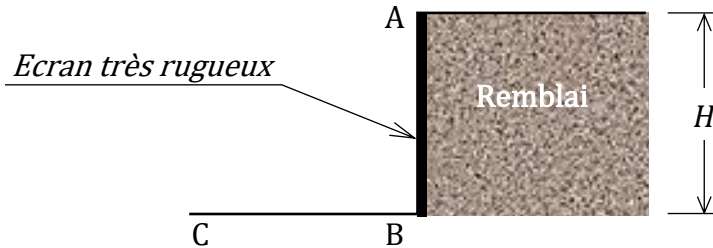
C. Résultantes de poussées statique et sismique

- Poussée statique : $F_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a = \frac{1}{2}q_a H = \frac{1}{2} \times 16 \times 4 = 32 \text{ kN}$
- Poussée sismique : $F_a^E = \frac{1}{2}\gamma H^2 (1 - k_v) K_a^E = \frac{1}{2}q_a^E H = \frac{1}{2} \times 42.64 \times 4 = 85.28 \text{ kN}$

D. Point d'application des résultantes de poussées statique et sismique

- Poussée statique : $\bar{H} = \frac{1}{3}H = \frac{1}{3} \times 4 = 1.333 \text{ m} \quad \forall \text{ le mode de rupture de l'écran}$
- Poussée sismique :
 - Rotation / sommet (A) : $\bar{H} = 0.55H = 0.55 \times 4 = 2.200 \text{ m}$
 - Rotation / base (B) : $\bar{H} = \frac{\left(\frac{H}{3}\right)F_a + (0.6H)\Delta F_a^E}{F_a^E} = \frac{\frac{4}{3} \times 32 + 0.6 \times 4 \times (85.28 - 32)}{85.28} = 2.000 \text{ m}$
 - Glissement (BC) : $\bar{H} = \frac{(0.42H)F_a + (0.48H)\Delta F_a^E}{F_a^E} = \frac{0.42 \times 4 \times 32 + 0.48 \times 4 \times (85.28 - 32)}{85.28} = 1.830 \text{ m}$

Ex. 4 (EFS du 14/01/2023) Tracer le diagramme de poussée des terres générées sous séisme d'accélération horizontale $a_h = 0.3g$ derrière un écran vertical très rugueux soutenant un remblai de hauteur $H = 3\text{ m}$ constitué d'un tout-venant d'oued de poids volumique sec $\gamma = 15\text{ kN/m}^3$ et d'angle de frottement interne effectif $\varphi' = 30^\circ$ comme le montre la figure ci-après. Déterminer ensuite les résultantes de poussées statique et sismique et leur point d'application vis-à-vis du renversement par rapport aux points A et B et vis-à-vis du glissement le long de BC.



Rép. 4

A. Coefficients de poussées statique et sismique

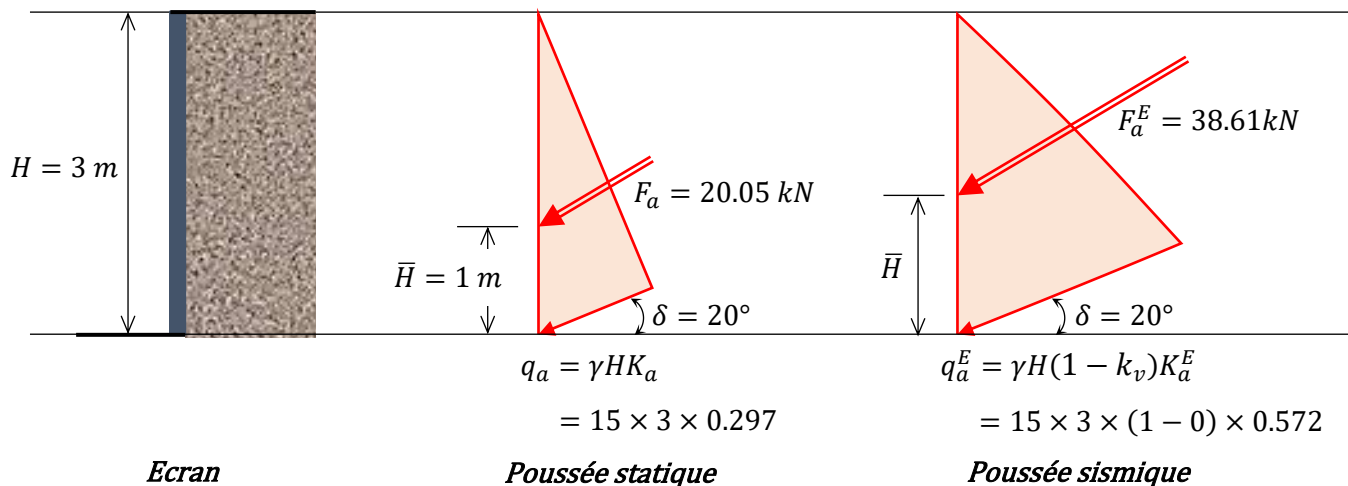
A.1. Coefficient de poussée statique

- Angle de frottement interne du sol : $\varphi' = 30^\circ$
 - Ecran vertical : $\lambda = 0$
 - Ecran très rugueux : $\delta/\varphi = 2/3$
 - Terrain naturel plat : $\beta = 0$
- $\Rightarrow K_a = 0.297$ (Tables)

A.2. Coefficient de poussée sismique

- Angle de frottement interne du sol : $\varphi' = 30^\circ$
 - Ecran vertical : $\lambda = 0$
 - Ecran très rugueux : $\delta/\varphi = 2/3$
 - Terrain naturel plat : $\beta = 0$
 - Action sismique : $\tan(\theta) = \frac{k_h}{1-k_v} = \frac{0.3}{1-0} = 0.3$ ($k_h = \frac{a_h}{g} = \frac{0.3g}{g} = 0.3$ et $k_v = 0$)
- $\Rightarrow K_a^E = 0.572$ (Tables)

B. Diagrammes de poussées statique et sismique



C. Résultantes de poussées statique et sismique

- Poussée statique : $F_a = \frac{1}{2}\gamma H^2 K_a = \frac{1}{2}q_a H = \frac{1}{2} \times 13.365 \times 3 = 20.05 \text{ kN}$
- Poussée sismique : $F_a^E = \frac{1}{2}\gamma H^2 (1 - k_v) K_a^E = \frac{1}{2}q_a^E H = \frac{1}{2} \times 25.74 \times 3 = 38.61 \text{ kN}$

D. Point d'application des résultantes de poussées statique et sismique

- Poussée statique : $\bar{H} = \frac{1}{3}H = \frac{1}{3} \times 3 = 1 \text{ m} \quad \forall \text{ le mode de rupture de l'écran}$
- Poussée sismique :
 - Rotation / sommet (A) : $\bar{H} = 0.55H = 0.55 \times 3 = 1.650 \text{ m}$
 - Rotation / base (B) : $\bar{H} = \frac{\left(\frac{H}{3}\right)F_a + (0.6H)\Delta F_a^E}{F_a^E} = \frac{\frac{3}{3} \times 20.05 + 0.6 \times 3 \times (38.61 - 20.05)}{38.61} = 1.385 \text{ m}$
 - Glissement (BC) : $\bar{H} = \frac{(0.42H)F_a + (0.48H)\Delta F_a^E}{F_a^E} = \frac{0.42 \times 3 \times 20.05 + 0.48 \times 3 \times (38.61 - 20.05)}{38.61} = 1.347$