



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE  
Office fédéral de l'énergie OFEN  
Ufficio federale dell'energia UFE  
Swiss Federal Office of Energy SFOE

# DIRECTIVE RELATIVE À LA SÉCURITÉ DES OUVRAGES D'ACCUMULATION, PARTIE C3: SÉCURITÉ AUX SÉISMES

## VÉRIFICATION POUR LES PETITS OUVRAGES D'ACCUMULATION (CLASSE D'OUVRAGES D'ACCUMULATION III)



# SOMMAIRE

---

1. Nécessité de la vérification
2. Comportements recherchés / composantes de la vérification (A, B, C)
3. Sollicitation sismique
4. Ouvrage de retenue (A): vérification simplifiée
5. Ouvrage de retenue (A): vérification complète
6. Ouvrages annexes (B)
7. Réservoir (C)
8. Résumé



# 1. NÉCESSITÉ DE LA VÉRIFICATION

---

Une vérification de la sécurité aux séismes est nécessaire:

- en cas de nouvelle construction ou de transformations;
- pour les ouvrages d'accumulation existants, lorsqu'il n'y a pas encore eu de vérification de la sécurité aux séismes;
- pour tenir compte des modifications de l'état de la science et de la technique;
- pour tenir compte de modifications dans les hypothèses d'une précédente vérification de la sécurité aux séismes.



## 2. COMPORTEMENTS RECHERCHÉS / COMPOSANTES DE LA VÉRIFICATION

---

Comportement général recherché:

- toute rupture conduisant à un écoulement non contrôlé de l'eau due aux sollicitations d'un séisme peut être exclue.

Des dégâts ainsi que des déformations permanentes ne mettant pas en péril la sécurité de l'ouvrage sont tolérables.



## 2. COMPORTEMENTS RECHERCHÉS / COMPOSANTES DE LA VÉRIFICATION

---

Composantes de la vérification:

### A) Ouvrage de retenue

Aucun écoulement non contrôlé de l'eau suite à une rupture du barrage

### B) Ouvrages annexes

Aucun écoulement non contrôlé de l'eau suite à des dégâts;

Bon fonctionnement de la vidange du réservoir (ou d'une autre manière);

Bon fonctionnement de l'instrumentation principale

### C) Réservoir

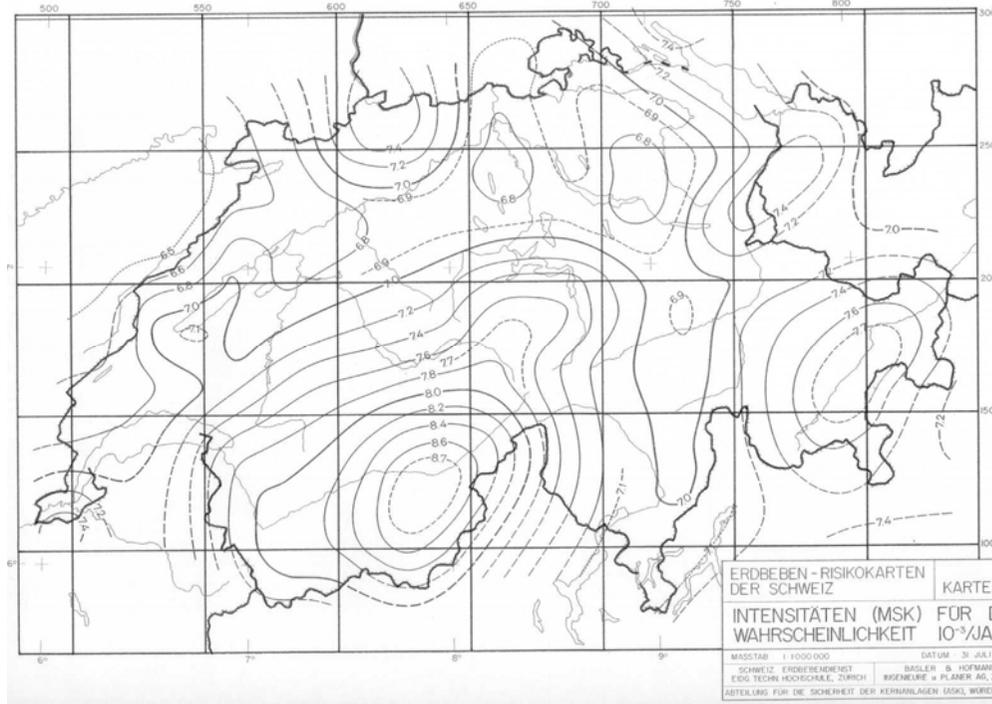
Aucun écoulement non contrôlé de l'eau suite à des mouvements de terrain



### 3. SOLLICITATION SISMIQUE

---

Pour les ouvrages d'accumulation existants (jusqu'à nouvel ordre):  
solicitation sismique conformément à la documentation de base OFEG (2003)



Intensité  $I_{MSK}$  de la carte  
pour période de retour de  
1000 ans

Accélération maximale du sol  
correspondante:

$$a_h = 10^{0.26 I_{MSK} + 0.19} \quad [\text{cm/s}^2]$$



## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---



Ouvrage d'accumulation Hintere Hütte, Arosa, GR (photo OFEN, 2011)

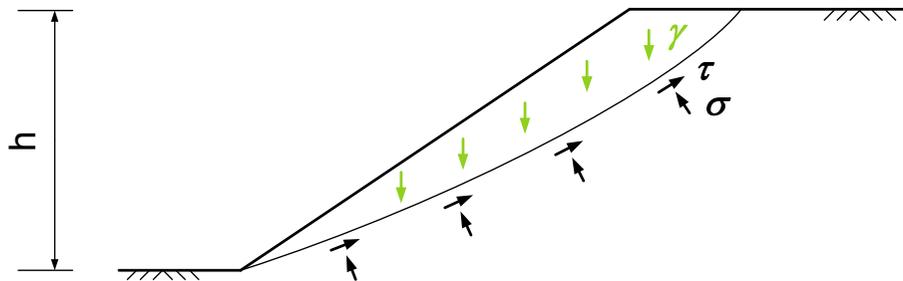


## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---

Comparaison du cas de charge statique et dynamique:

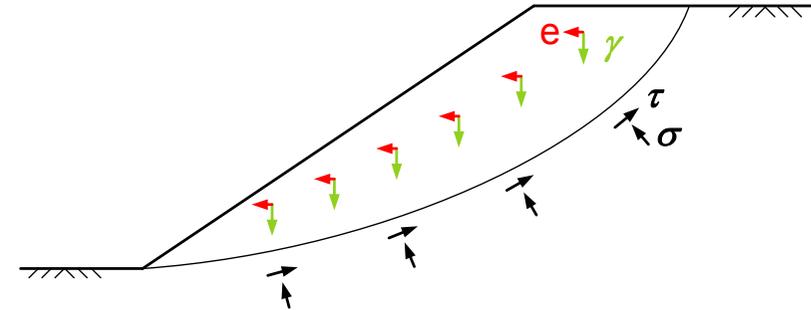
Statique:



$SF_{\text{stat}}$  est connu.

$N_s = \frac{\gamma h}{c}$  est recalculé.

Dynamique:



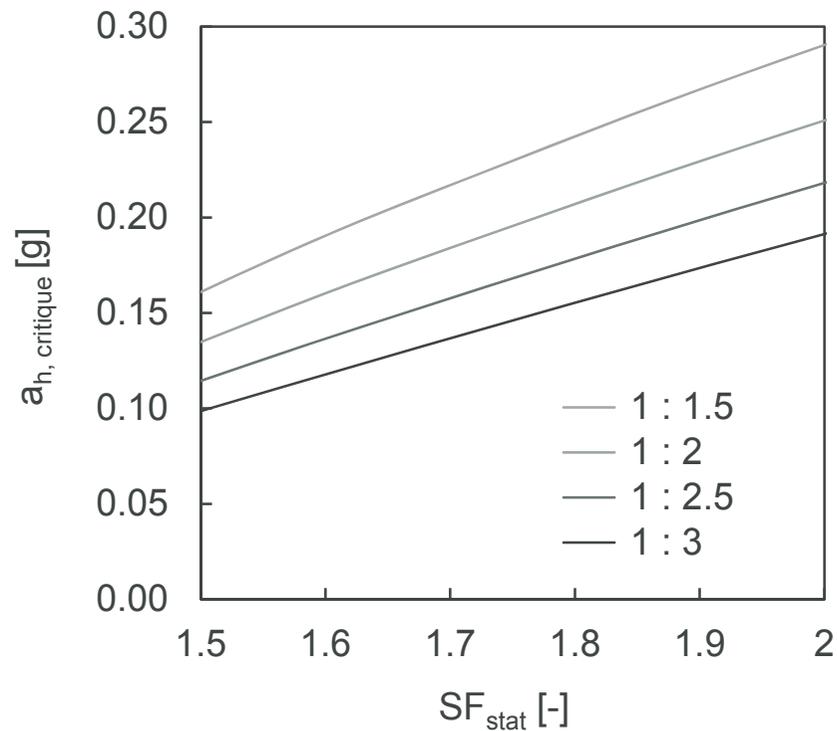
$a_{h, \text{critique}} = ?$



## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---

Vérification pour les barrages en remblai (drainé):

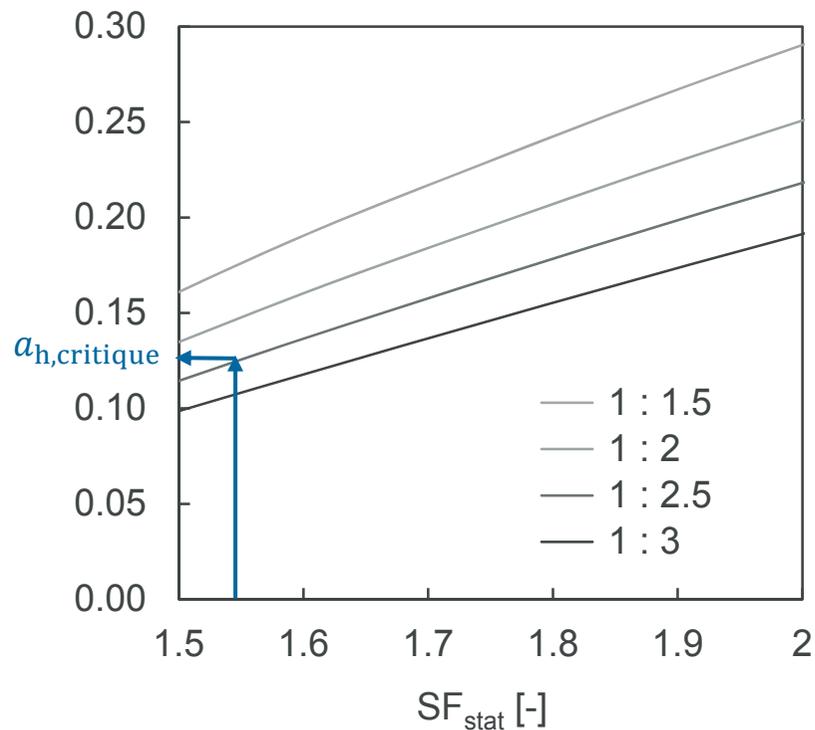




## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---

Vérification pour les barrages en remblai (drainé):



$$a_h \leq a_{h,critique}$$

Si  $SF_{stat} = 1.5$

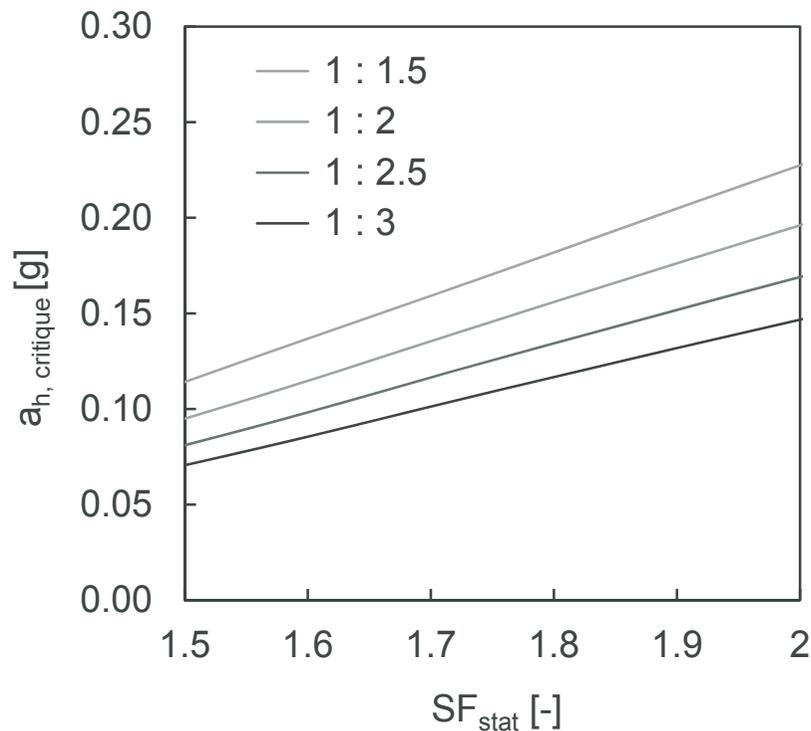
$$a_h \leq a_{h,critique} = 0.10 - 0.16 \text{ g}$$



## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---

Vérification pour les barrages en remblai (non drainé):



$$a_h \leq a_{h, critique}$$



## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---

### Conditions:

- 1) La vérification de la stabilité dans le cas statique est satisfaite.
- 2) La pente du talus à l'amont n'est pas plus raide que la pente du talus à l'aval.
- 3) Il ne faut pas s'attendre à une augmentation considérable de la pression interstitielle suite au séisme.
- 4) Les déformations de la digue ne portent pas atteintes à l'étanchéité de l'ouvrage.



## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---



Ouvrage d'accumulation de Louvie, Versegères, VS (photo OFEN, 2013)

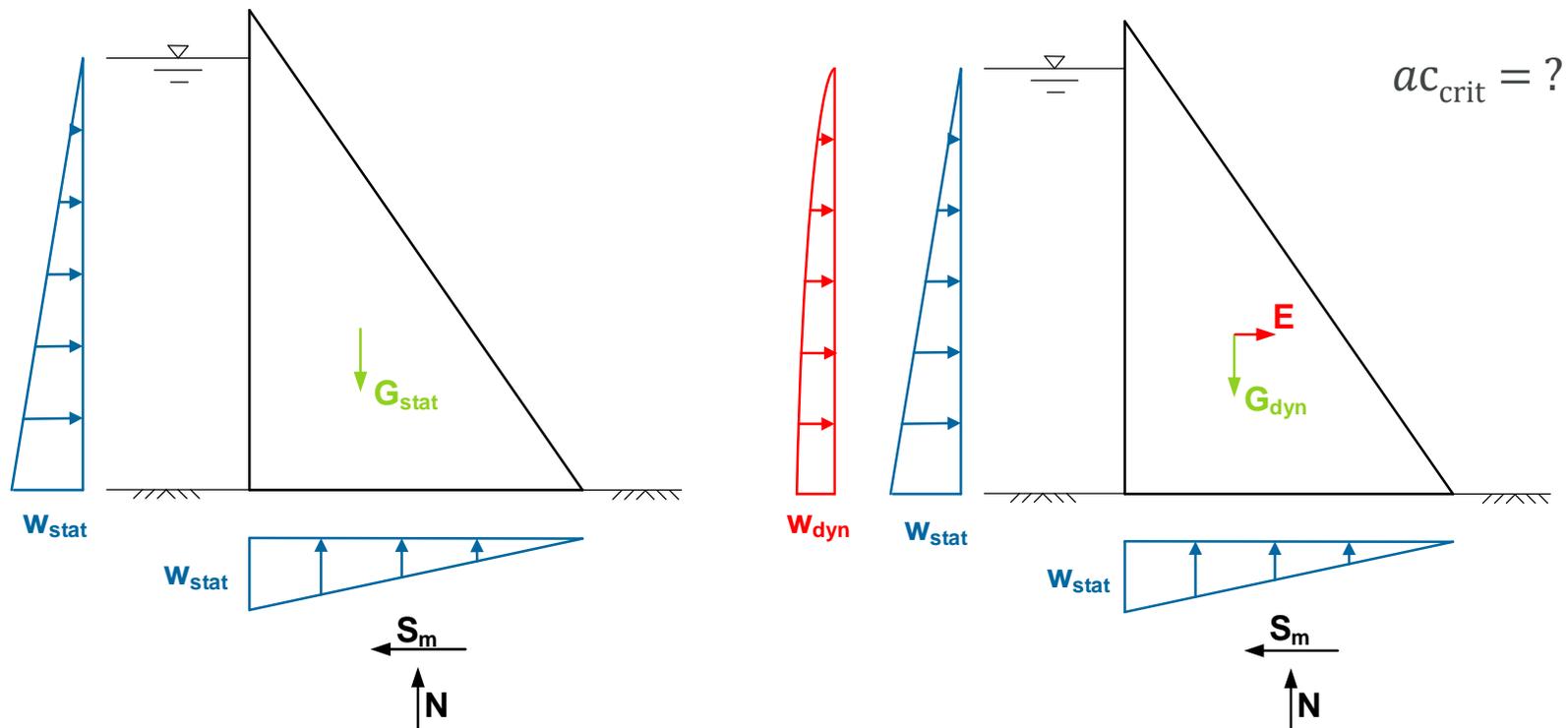


## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

Comparaison du cas de charge statique et dynamique:

Statique:

Dynamique:

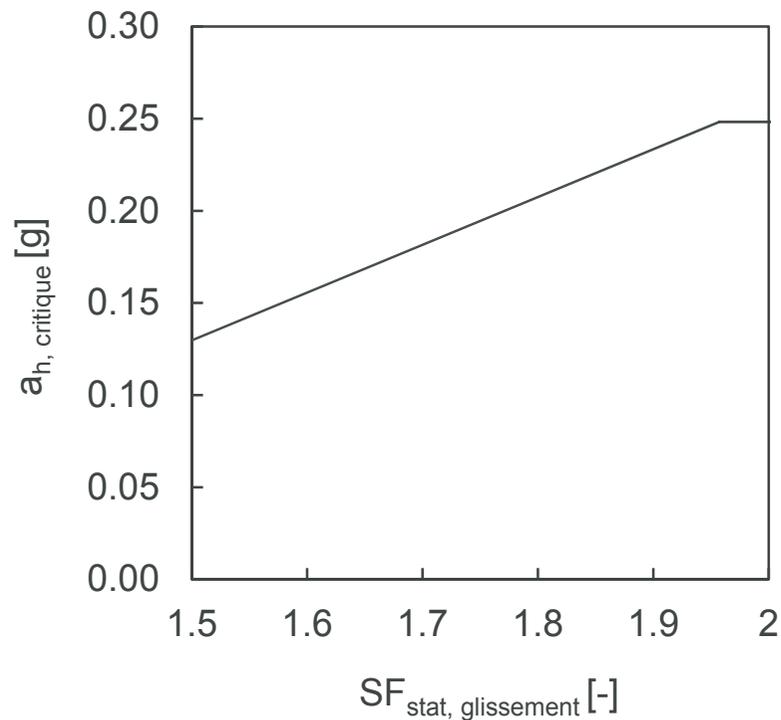




## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---

Vérification pour les barrages poids:

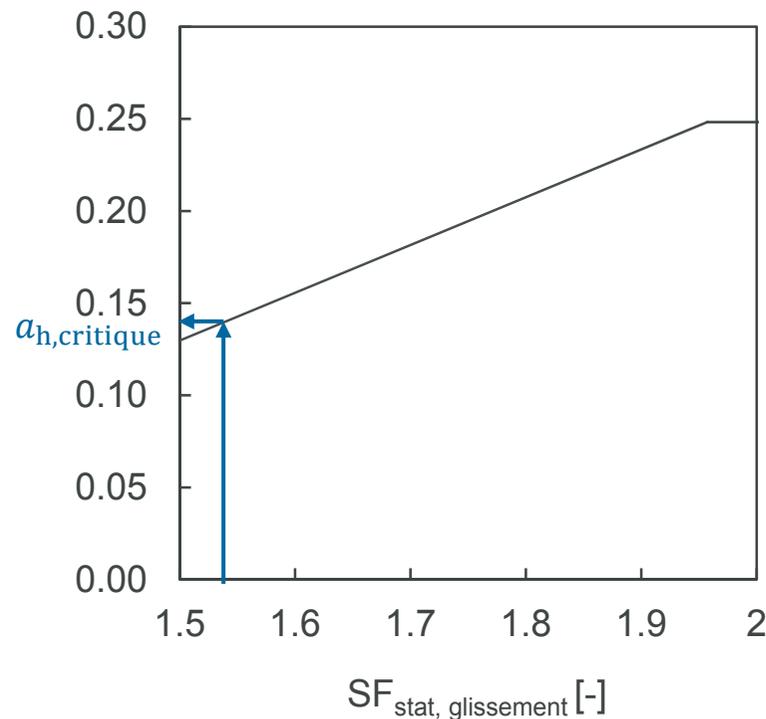




## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---

Vérification pour les barrages poids:



$$a_h \leq a_{h,critique}$$

Falls  $SF_{stat, glissement} = 1.5$   
 $a_h \leq a_{h,critique} = 0.13g$

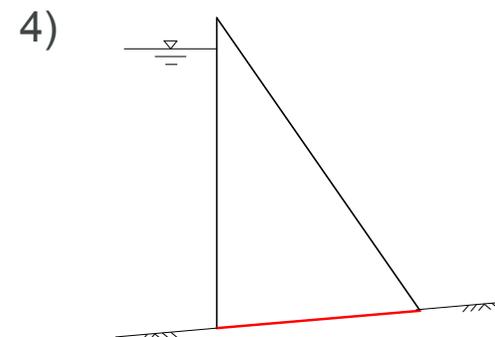
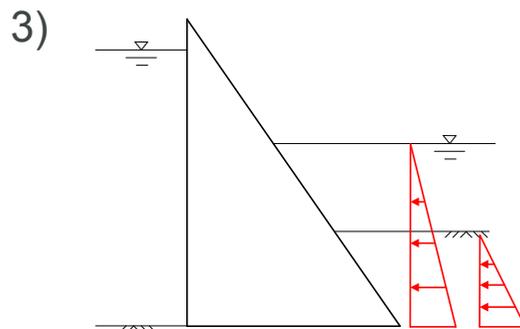


## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---

### Conditions:

- 1) La vérification statique au glissement est satisfaite.
- 2) La vérification statique au basculement est satisfaite (résultante dans le noyau).
- 3) D'éventuelles pressions du sol ou de l'eau à l'aval n'ont pas été prises en compte.
- 4) Une éventuelle remontée de la surface d'appui contre l'aval n'a pas été prise en compte.



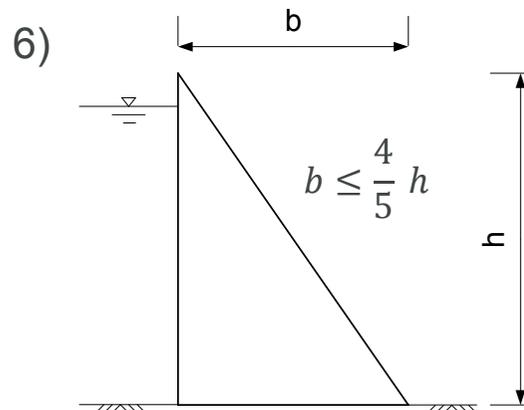


## 4. OUVRAGE DE RETENUE: VÉRIFICATION SIMPLIFIÉE

---

### Conditions:

- 5) Le barrage poids est approximativement triangulaire.
- 6) La largeur à la base  $b$  n'est pas plus grande que  $4/5$  de la hauteur du mur  $h$ .
- 7) Il peut être admis que les conditions de sous-pression ne changent pas en raison de la sollicitation sismique.





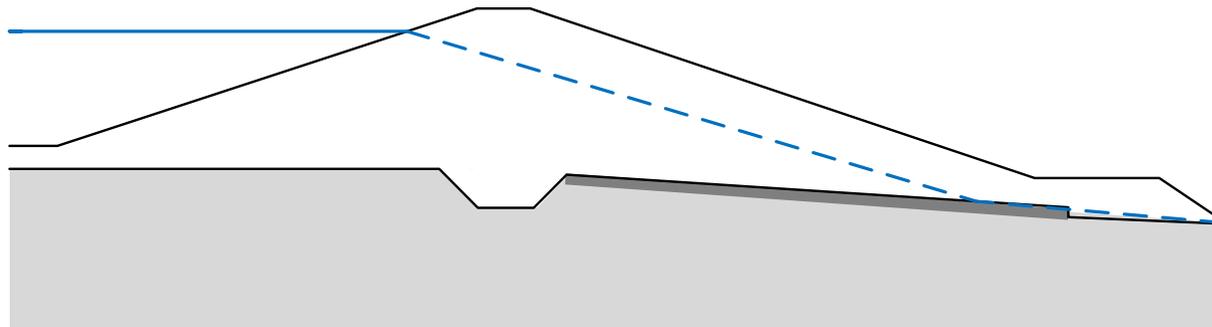
## 5. OUVRAGE DE RETENUE

### VÉRIFICATION COMPLÈTE: BARRAGES EN REMBLAI

---

#### Modélisation:

- 2D
- Valeurs caractéristiques des matériaux pour les ouvrages existants: références bibliographiques ou données d'ouvrages comparables:  
 $\tan(\varphi) = \tan(\varphi_{\text{réf. biblio.}})/1.2$
- Estimation de la résistance au cisaillement résiduelle non drainée conformément à la superposition:  $s_{u,\text{dyn}} = 0.8 s_{u,\text{stat}}$





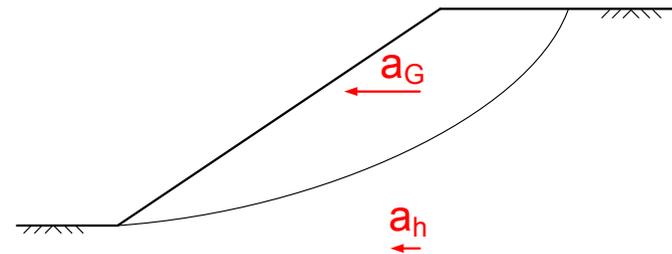
## 5. OUVRAGE DE RETENUE VÉRIFICATION COMPLÈTE: BARRAGES EN REMBLAI

---

### Analyse:

Analyse de stabilité avec la méthode des forces de remplacement:

- Évaluation simplifiée de l'amplification ( $a_G = 1.5 a_h$ )
- Sans prendre en compte la sollicitation verticale ( $a_v = 0$ )
- Sans prendre en compte la pression d'eau dynamique
- Ev. évaluation des déformations permanentes si la stabilité n'est pas acquise (p. ex. méthode de Makdisi-Seed)





## 5. OUVRAGE DE RETENUE VÉRIFICATION COMPLÈTE: BARRAGES EN REMBLAI

---

### Interprétation et évaluation:

- Appréciation si l'ouvrage d'accumulation satisfait au comportement recherché
- Appréciation des déformations permanentes s'agissant de la revanche restante, du risque d'érosion interne et de l'intégrité du masque



Ouvrage d'accumulation Hintere Hütte, Arosa, GR  
(photo OFEN, 2011)



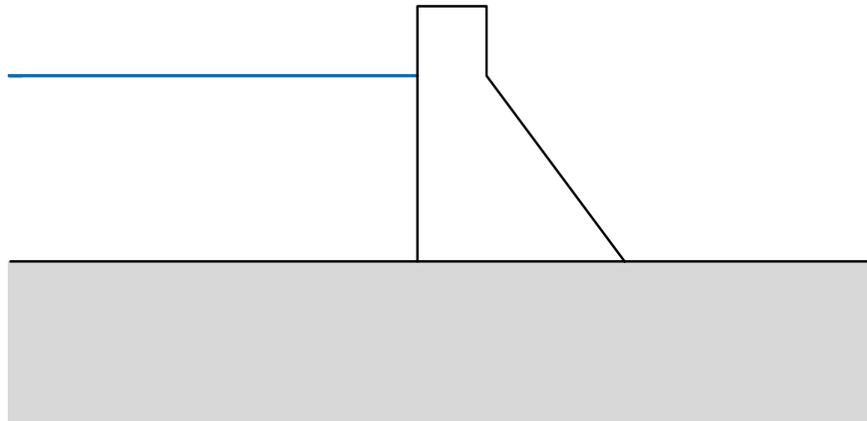
## 5. OUVRAGE DE RETENUE VÉRIFICATION COMPLÈTE: BARRAGES POIDS

---

### Modélisation:

- 2D
- Le sol de fondation peut être admis comme étant rigide
- Valeurs caractéristiques des matériaux pour les ouvrages existants:  
références bibliographiques ou données d'ouvrages comparables:

$$\tan(\varphi) = \tan(\varphi_{\text{réf. biblio.}})/1.2 \quad c = c_{\text{réf. biblio.}}/2$$





## 5. OUVRAGE DE RETENUE

### VÉRIFICATION COMPLÈTE: BARRAGES POIDS

---

#### Analyse:

Analyse de stabilité en tenant compte de la première forme propre (vérification de la sécurité au glissement et au basculement):

- Sans prendre en compte la sollicitation verticale (  $a_v = 0$  )
- En tenant compte de la pression d'eau dynamique
- Ev. évaluation des déplacements permanents (méthode Newmark)



## 5. OUVRAGE DE RETENUE VÉRIFICATION COMPLÈTE: BARRAGES POIDS

---

### Interprétation et évaluation:

- Appréciation si l'ouvrage d'accumulation satisfait au comportement recherché
- Appréciation des déplacements permanents concernant les sous-pressions, l'intégrité des éléments d'étanchéité et des dégâts



Ouvrage d'accumulation de Louvie, Versegères, VS  
(photo OFEN, 2013)



## 5. OUVRAGE DE RETENUE

### VÉRIFICATION COMPLÈTE: BARRAGES MOBILES

---

#### Modélisation:

- 3D
- Le sol de fondation peut être admis comme étant rigide
- Valeurs caractéristiques des matériaux pour les ouvrages existants: références bibliographiques ou données d'ouvrages comparables:

$$\tan(\varphi) = \tan(\varphi_{\text{réf. biblio.}})/1.2 \quad c = c_{\text{réf. biblio.}}/2$$



## 5. OUVRAGE DE RETENUE

### VÉRIFICATION COMPLÈTE: BARRAGES MOBILES

---

#### Analyse:

Analyse de stabilité en tenant compte de la première forme propre (vérification de la sécurité au glissement et au basculement):

- En tenant compte de deux sollicitations horizontales (perpendiculaire et parallèle à l'axe du barrage mobile:  $a_{h1}, a_{h2}$  )
- Sans prendre en compte la sollicitation verticale (  $a_v = 0$  )
- En tenant compte de la pression d'eau dynamique
- Ev. évaluation des déplacements permanents (méthode Newmark)



## 5. OUVRAGE DE RETENUE VÉRIFICATION COMPLÈTE: BARRAGES MOBILES

---

### Interprétation et appréciation:

- Appréciation si l'ouvrage d'accumulation satisfait au comportement recherché
- Appréciation des déplacements permanents concernant les sous-pressions, l'intégrité des éléments d'étanchéité et des dégâts



Ouvrage d'accumulation de Simmeweher, Wimmis, BE  
(photo OFEN, 2014)



## 6. OUVRAGES ANNEXES

---

Un spécialiste doit apprécier si le **bon fonctionnement des organes de décharge et d'évacuation** peut être compromis par la sollicitation sismique (p. ex. coincement des obturateurs mécaniques).

L'appréciation doit être justifiée dans la vérification et documentée par des plans et des photos.

Il faut également apporter la preuve par calcul que les obturateurs mécaniques peuvent résister à la pression hydrodynamique de l'eau.



## 7. RÉSERVOIR

---

Le **risque représenté par des mouvements de terrain** doit être apprécié par un spécialiste. L'appréciation doit être justifiée dans la vérification et documentée par des plans et des photos.

On recourra à des calculs de stabilité s'ils sont nécessaires à l'appréciation.



## 8. RÉSUMÉ

---

1. La vérification de la sécurité aux séismes comprend la vérification pour l'ouvrage de retenue (A), les ouvrages annexes (B) et le réservoir (C).
2. (A): en cas de vérification statique et si les conditions correspondantes sont remplies, il est possible de réaliser une vérification simplifiée pour l'ouvrage de retenue.
3. (B)+(C): la vérification pour les ouvrages annexes et le réservoir se base sur l'appréciation (év. qualitative, mais néanmoins reproductible) d'un spécialiste.



---

Merci de votre attention!!

[markus.schwager@bfe.admin.ch](mailto:markus.schwager@bfe.admin.ch)

058 462 79 75