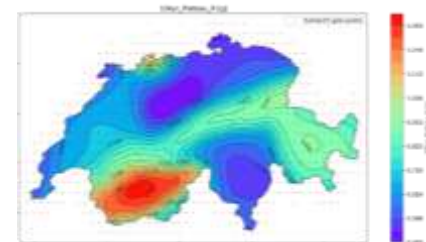




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE
Office fédéral de l'énergie OFEN
Ufficio federale dell'energia UFE
Uffizi federal d'energia UFE



RÉVISION TOTALE DE LA DIRECTIVE PARTIE C3

RÉSUMÉ DES PRINCIPALES MODIFICATIONS POUR LES PETITS BARRAGES



OBJECTIF DE LA VÉRIFICATION DE LA SÉCURITÉ SISMIQUE

GÉNÉRALITÉS

- **2.2.1** L'objectif de l'évaluation de la sécurité sismique d'un ouvrage d'accumulation est de vérifier que, pendant et après un tremblement de terre, une défaillance de l'ouvrage pouvant entraîner un **écoulement incontrôlé et potentiellement dommageable des eaux de la retenue** (ou d'autres matériaux retenus dans le cas des barrages de protection contre les dangers naturels, par exemple des débris) peut être exclu.
- Il est à noter que les dommages, y compris les déformations permanentes qui ne compromettent pas la sécurité de l'ouvrage d'accumulation, sont considérés comme acceptables.



PLAN DE MISE EN ŒUVRE

OBJECTIF GÉNÉRAL

- La sécurité sismique de tous les ouvrages d'accumulation soumis à la LOA en Suisse (quelle que soit l'autorité de surveillance) doit être vérifiée d'ici 2037.
- Une approche efficace et réaliste est souhaitable.
- L'OFEN a défini des critères pour déterminer les priorités.
 - Besoins énergétiques du pays
 - Projets prévus ou en cours (nouvelle construction, rénovation, surélévation)
 - Vulnérabilité des ouvrages d'accumulation existants en cas de séisme extrême
 - Amplitude de l'augmentation du risque sismique par rapport aux cartes de 1977 et conséquences qui en découlent
 - Capacité des bureaux d'ingénieurs



PLAN DE MISE EN OEUVRE

PLANIFICATION OFEN

- L'OFEN a envoyé la proposition de répartition de tous les barrages sous sa surveillance aux exploitants de barrages et leur a demandé de lui faire part de leurs commentaires d'ici la mi-novembre.
- Le plan pourrait encore être légèrement modifié sur la base des commentaires reçus.
- Le plan définitif sera annoncé d'ici la fin 2025.

Tranche	Période globale
1	2025-2030
2	2027-2031
3	2029-2033
4	2031-2035
5	2033-2037



PLAN DE MISE EN ŒUVRE

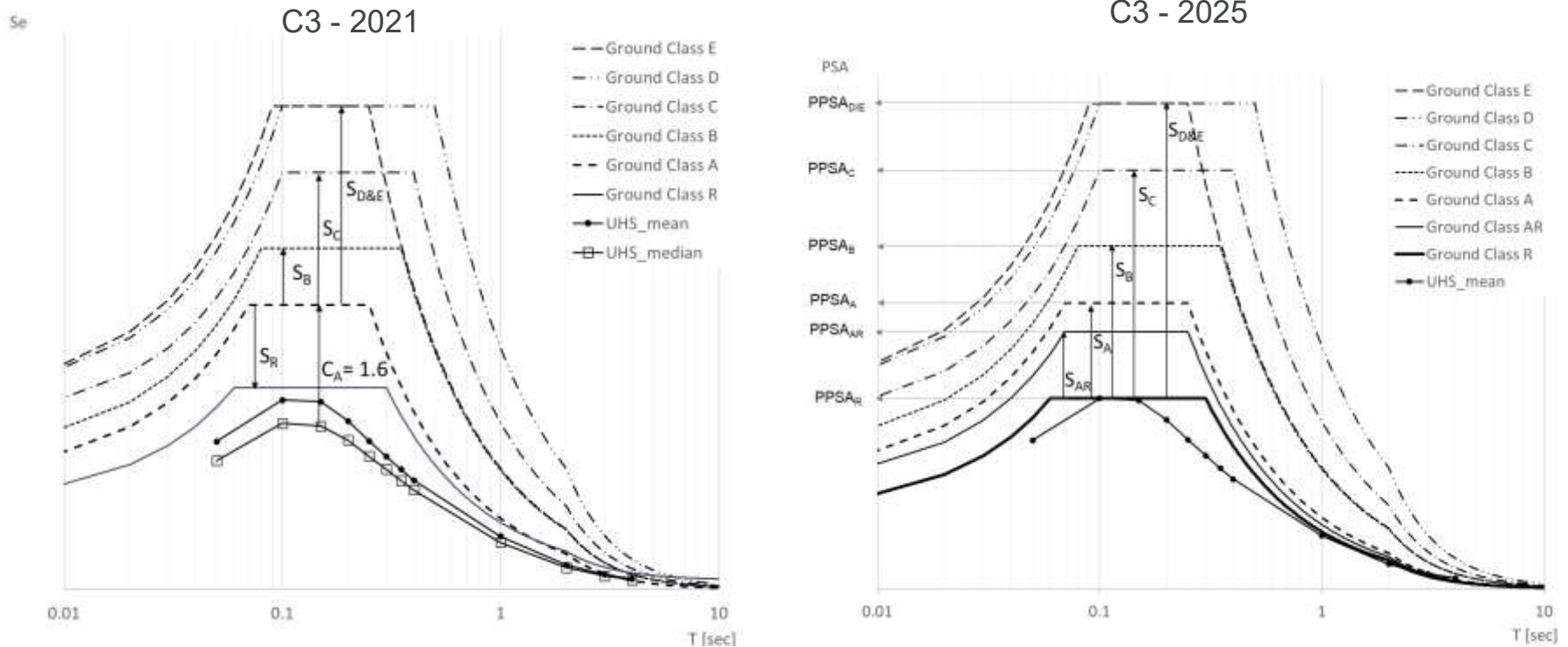
- Approche en deux étapes pour chaque installation :
 - Étape 1 : détermination de l'action sismique (CdS – Spectre – Accélérogramme)
 - Étape 2 : Analyse de la sécurité sismique

- Les tâches prévues pour l'OFEN :
 - Mise à disposition des documents techniques d'aide
 - Disponibilité pour expliquer et interpréter la directive C3

- L'OFEN demande aux autorités cantonales de surveillance de communiquer, au plus tard en juin 2026 (dans le rapport annuel), leur calendrier pour la réalisation des vérifications de sécurité sismique pour tous les ouvrages d'accumulation placés sous leur surveillance.

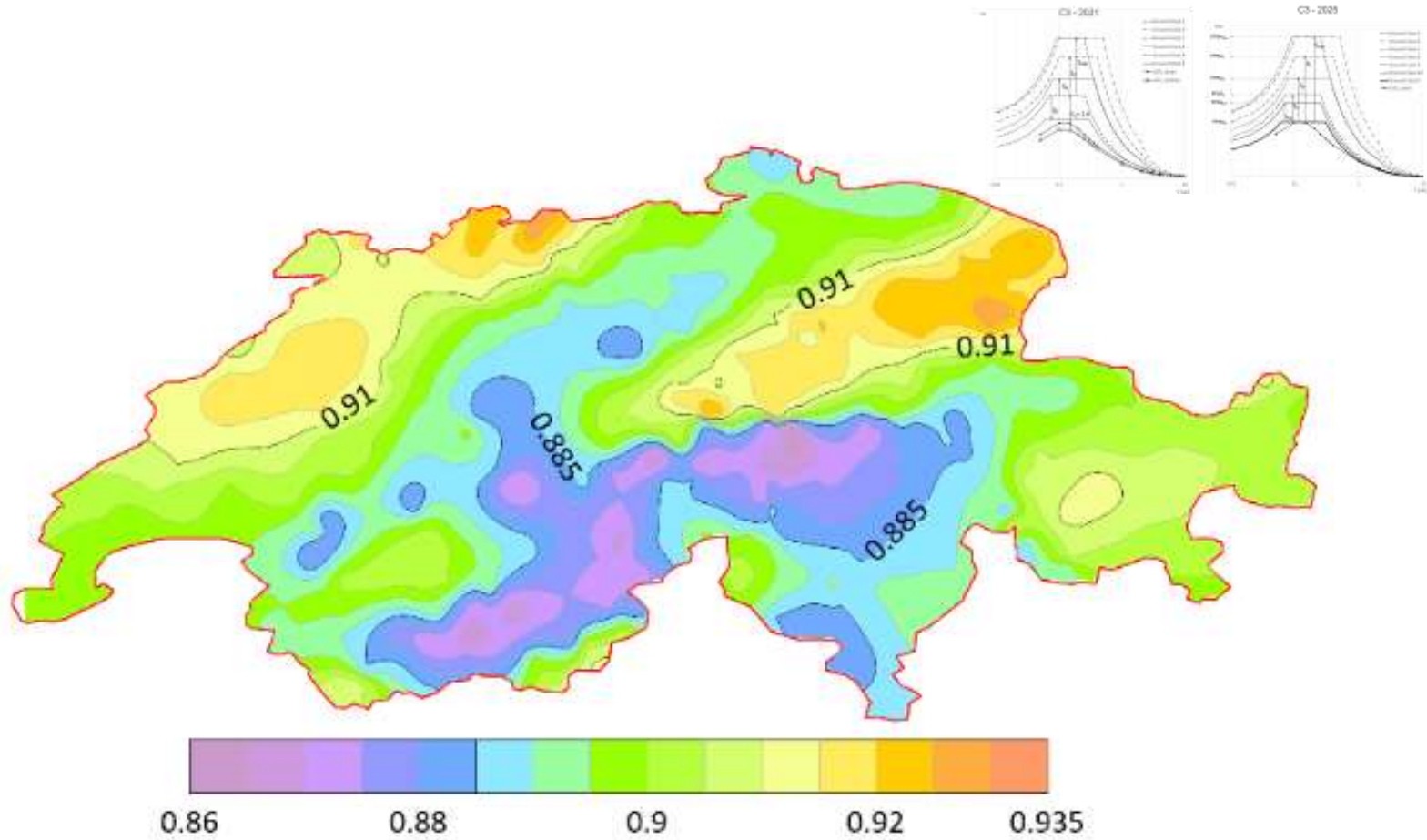


NOUVELLE DÉFINITION DE LA CLASSE DE SOL R





COMPARAISON DE LA PPSA_R 2025 AVEC LA PPSA_R 2021



1000 J.

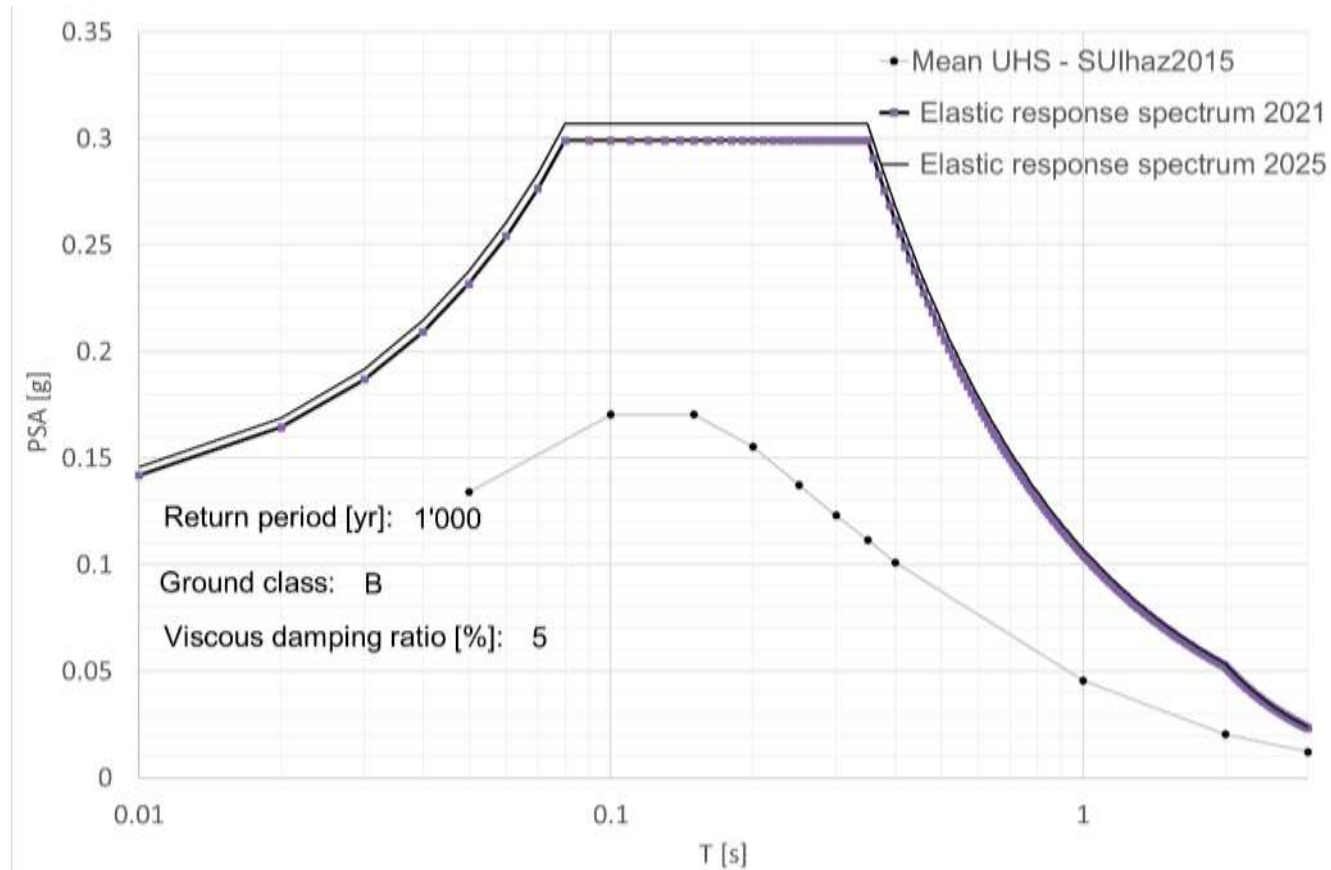


DÉFINITION DE LA NOUVELLE CLASSE DE SOL AR

classe de sol	Description du profil stratigraphique	V_{s30} [m/s]	S_x	TB [s]	TC [s]	TD [s]
R	Roche massive sans dégradations locales significatives, ni contrastes de rigidité significatifs ou inclusions de roches meubles; examinée de manière exhaustive et quantitative avec une V_s minimale de 1000 m/s	≥ 1105	1.00	0.06	0.3	2.0
AR	Roche; examinée de manière exhaustive et quantitative avec une V_s minimale de 760 m/s	>800	1.3	0.07	0.27	2.0
A	Roches ou autre formation géologique de type rocheux avec un maximum de 5 mètres de roche meuble en surface.	>800	1.4 (1.5*)	0.07	0.25	2.0



COMPARAISON DE L'ALÉA SISMIQUE ENTRE C3 (2021) ET C3 (2025)





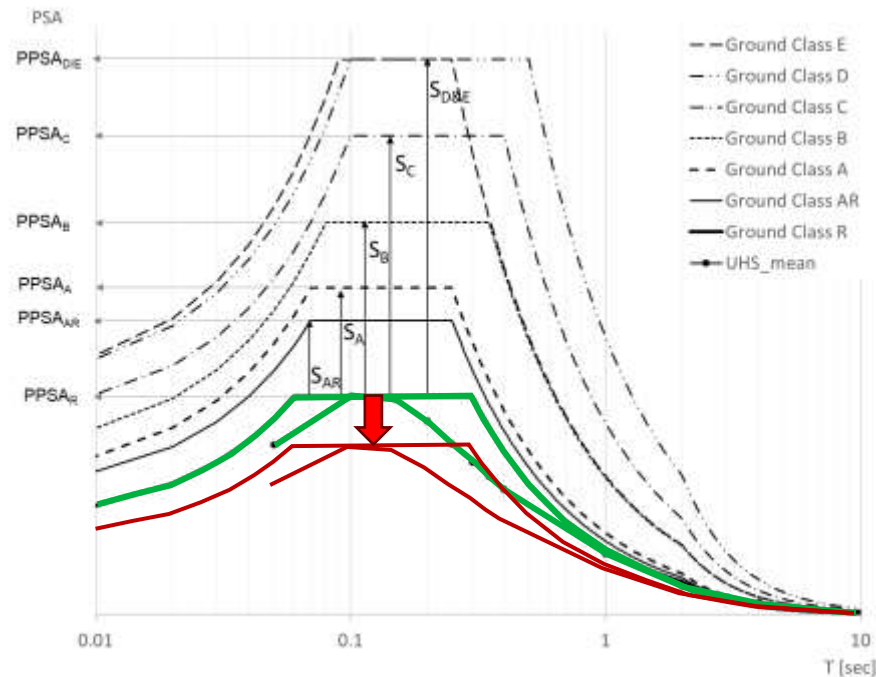
POSSIBILITÉS DE “DÉ-AMPLIFICATION”

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Federal Department of the Environment, Transport, Energy
and Communications (DETEC)
Swiss Federal Office of Energy (SFOE)
Supervision of Dams Section

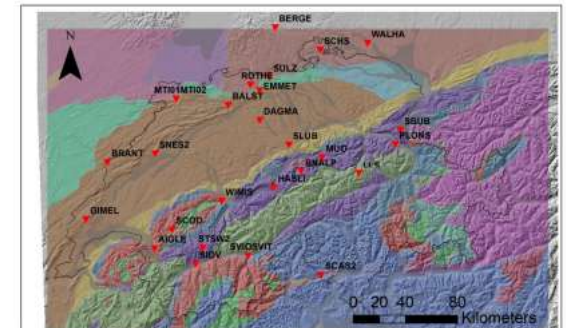


Final report dated 28 August 2025



Potential of de-amplification for dam foundations with $V_{s30} > 1105$ m/s with respect to the Uniform Hazard Spectrum (UHS) defined on Swiss Reference Rock

Deamplifikationspotenzial für Talsperrenstandorte mit $V_{s30} > 1105$ m/s in Bezug auf das am Schweizer Referenzfels definierte Uniform-Hazard-Spektrum (UHS)



<https://www.research-collection.ethz.ch/entities/publication/43490128-adfd-4f5c-8f39-32a7976e57ca>



HAZARD DEFINITION TOOL POUR LES OUVRAGES D'ACCUMULATION SUISSES (C3 - HDT)

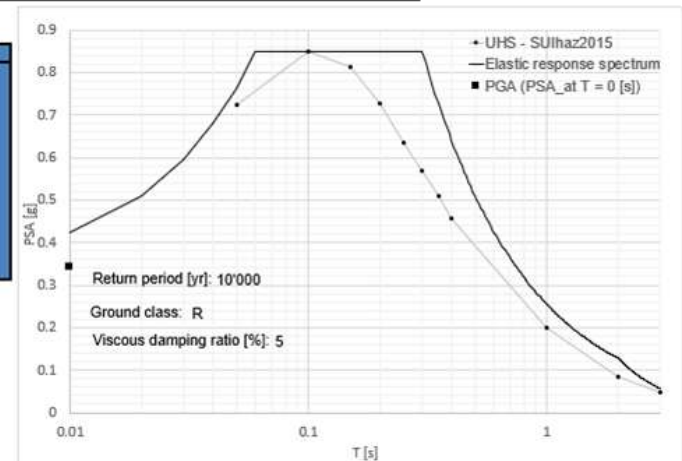


Return period [yr]	Input E CH1903+ [m]	Input N CH1903+ [m]
10'000	2'821'097.71	1'187'790.84

Ground class	Amplification factor S_x [-]	PPSA _g [g]
R	1.00	0.850

Viscous damping ratio ζ [%]	Damping correction coefficient η [-]
5	1.000

UHS - SUIhaz2015	
T [s]	PSA [g]
0	0.3630
0.05	0.7247
0.1	0.8496
0.15	0.8144
0.2	0.7259
0.25	0.6352
0.3	0.5681
0.35	0.5101
0.4	0.4577
1	0.1889
2	0.0838
3	0.0470
4	0.0320





BARRAGES DE CLASSE III

DÉTERMINATION DE LA CLASSE DE SOL

- 4.3.2.5. [...] Les études géophysiques pour tous les autres ouvrages d'accumulation de classe III et tous les ouvrages de protection contre les dangers naturels **ne sont pas obligatoires** pour la classification dans une classe de sol. Toutefois, dans ces cas, la classification du sol doit être basée sur des informations géologiques et géotechniques pertinentes et doit être confirmée par des experts dans ces domaines
- 4.3.2.5. Si des infrastructures critiques vulnérables (par exemple, des hôpitaux, des bâtiments et des installations pour la gestion des catastrophes ou des voies de circulation principales) sont situées dans la zone d'inondation potentielle d'ouvrages d'accumulation d'eau de classe III, la classification dans une classe de sol doit être établie conformément à 4.3.2.4.
- 4.3.2.4 Pour les ouvrages d'accumulation des classes I et II, la classification dans une classe de sol est basée sur des études géophysiques spécifiques menées sur le site du barrage, sur une étude géologique et, si nécessaire, sur des études géotechniques, dont la pertinence doit être confirmée par des spécialistes respectivement en géophysique, en géologie et en géotechnique....



OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES DANGERS NATURELS

CLASSE DE CES OUVRAGES

- 3.2.1 Les ouvrages d'accumulation servant à la protection contre les dangers naturels et qui sont conçus pour ne retenir de l'eau, de la boue, des sédiments, de la neige, de la glace, des débris, etc. qu'à court terme sont assignés à la **classe III** pour l'évaluation de la sécurité sismique, indépendamment de leur hauteur de retenue et de leur volume de retenue.



OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES DANGERS NATURELS NIVEAU D'EAU INITIAL DANS LE BASSIN DE RETENUE

- 4.1.1.6 Pour toutes les ouvrages d'accumulation destinés à la protection contre les dangers naturels (par exemple, les barrages de rétention des crues, les collecteurs de charriage, les ouvrages de protection contre les chutes de pierres et les ouvrages de protection contre les avalanches de neige), la sécurité sismique de l'installation de retenue doit être vérifiée **dans le cas d'une retenue vide.**
- Les forts séismes peuvent déclencher des glissements de terrain, des éboulements et des avalanches de neige.
- Il est donc possible que le matériau mobilisé atteigne l'ouvrage d'accumulation peu de temps après un tremblement de terre.



OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES DANGERS NATURELS NIVEAU D'EAU INITIAL DANS LE BASSIN DE RETENUE

- 4.1.1.6. [...] En outre, la sécurité de l'installation doit être vérifiée dans une seconde vérification de la sécurité sismique pour la condition initiale **d'une retenue pleine.**
- Bien que les bassins des collecteurs de sédiments soient généralement vidés après avoir atteint une certaine hauteur de retenue, il existe quelques exemples de ces structures qui sont (partiellement) remplies pendant de longues périodes.



OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES DANGERS NATURELS **NIVEAU D'EAU INITIAL DANS LE BASSIN DE RETENUE**

- 4.1.1.6. [...] Pour les ouvrages de protection contre les crues, la deuxième vérification de la sécurité sismique peut être effectuée pour le niveau de la retenue qui correspond au niveau d'eau annuel moyen dans la retenue.
- En règle générale, dans le cas des bassins de rétention des crues, le niveau d'eau dans le bassin ne reste pas assez longtemps pour justifier la superposition d'une crue et d'un séisme.
- Cependant, après un séisme millénaire, la rénovation de ces ouvrages ne sera très probablement pas la priorité absolue, l'objectif étant donc de garantir leur capacité opérationnelle suite à un séisme.



OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES DANGERS NATURELS **NIVEAU D'EAU INITIAL DANS LE BASSIN DE RETENUE**

- 4.1.1.6. [...] Pour les ouvrages de protection contre les avalanches de neige, la deuxième vérification de la sécurité sismique peut être effectuée pour le niveau de la retenue qui correspond à 10% du volume de la retenue.



OUVRAGES DE PROTECTION CONTRE LES DANGERS NATURELS

MÉTHODES DE VÉRIFICATION SIMPLIFIÉES

6.3.4.3. Pour les barrages en remblai:

- 6.3.4.3.1. **Pour les ouvrages d'accumulation de classe III:** les méthodes d'analyse possibles sont divisées en deux sous-classes:
- a. Analyse des blocs de glissement à l'aide de méthodes empiriques applicables ou de modèles de corrélation basés sur l'analyse. Cette approche s'applique à:
 - i. Toutes les digues de protection contre les dangers naturels;



OBJECTIF DE LA VÉRIFICATION DE LA SÉCURITÉ SISMIQUE DIGUES EN REMBLAI

- 6.8.2.1. Pour évaluer de manière fiable la performance sismique d'un barrage en remblai, une évaluation appropriée des **déformations sismiques attendues** est nécessaire. **Pour les barrages en remblais de toutes les classes**, les **déplacements calculés** doivent être évalués de manière critique, en mettant particulièrement l'accent sur la détermination de la **réduction de la revanche** à la suite du tremblement de terre.
- 6.8.2.2. Si des **déformations permanentes** sont à prévoir après l'action sismique, les points suivants doivent notamment être évalués:
 - Pour éviter un **débordement** du barrage dû à des impacts sismiques directs ou indirects (par exemple, en raison d'un glissement d'une masse de sol ou/et de roche dans les bords de la retenue), une revanche suffisamment importante doit être maintenue. Les déplacements et les tassements de la crête du barrage dus au glissement induit par les séismes doivent être pris en compte dans ce processus.
 - **L'érosion interne** doit également être exclue à l'état déformé.



OBJECTIF DE LA VÉRIFICATION DE LA SÉCURITÉ SISMIQUE PLUS D'ANALYSE PSEUDO-STATIQUE

- Pourquoi ?
 - Représentation simplifiée de l'action sismique
 - Dans l'analyse pseudo-statique, la charge sismique est traitée comme une force horizontale constante.
 - Limitation : cette approche ignore la nature dynamique et variable dans le temps des tremblements de terre - y compris la durée, le contenu fréquentiel, les impulsions d'accélération et la propagation des ondes.
 - Pas d'indication/d'estimation de la/des déformation(s) permanente(s) (les méthodes pseudostatiques évaluent uniquement la stabilité contre le glissement ou la défaillance, mais pas l'ampleur de la déformation de l'ouvrage d'accumulation).
 - Les coefficients sismiques ne sont pas étroitement liés aux enregistrements réels des mouvements du sol ou aux analyses probabilistes de l'aléa sismique (PSHA).
 - Pas de possibilité de contrôler les fonctionnalités après le séisme



DÉTERMINATION DES PROPRIÉTÉS DES MATÉRIAUX

POINTS GÉNÉRAUX POUR LES REMBLAIS

- 5.3.2. [...] Le **degré d'amortissement supposé pour les barrages en remblai** doit être vérifié avec le niveau attendu de **déformation en cisaillement** dans le barrage et la fondation.
- 5.3.3. Pour les barrages en remblai des **classes II et III**, des paramètres des matériaux statiques peuvent être utilisés.
- 5.3.5. Pour les barrages en remblai, une distinction doit être faite entre le comportement des matériaux **drainés et non drainés**. Dans le cas de l'état non drainé, il convient notamment de prendre en compte la perte potentielle de résistance au cisaillement résultant de l'excès de pression de l'eau interstitielle.



ANALYSE

BARRAGES EN REMBLAI DE CLASSE III OUVRAGES D'ACCUMULATION

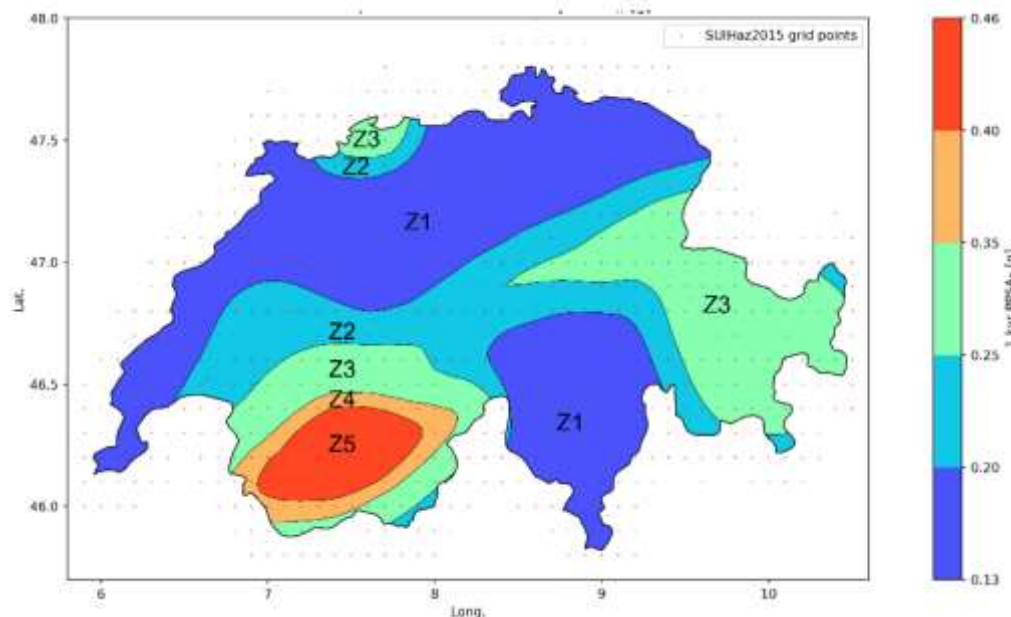
- **6.3.4.3.1.** Pour les ouvrages d'accumulation de classe III: les méthodes d'analyse possibles sont divisées en deux sous-classes:
 - a. Analyse des blocs de glissement à l'aide de méthodes empiriques applicables ou de modèles de corrélation basés sur l'analyse. Cette approche s'applique à:
 - i. Toutes les digues de protection contre les dangers naturels;
 - ii. Barrages qui remplissent toutes les conditions suivantes: 1) $PPSA_R < 0.35$ g, 2) le barrage ne présente aucun signe d'endommagement important pour la sécurité, 3) le barrage satisfait aux exigences de sécurité statique, c'est-à-dire au cas de charge normal (type 1), comme indiqué dans la partie C1 de la directive, et 4) les vérifications de sécurité en cas de crue, comme indiqué dans la partie C2 de la directive, sont remplies.
 - b. Analyse temporelle à l'aide de la méthode linéaire équivalente intégrée à l'analyse par la méthode des blocs de glissement. La génération d'une pression d'eau interstitielle excessive doit être prise en compte à l'aide de modèles simplifiés. Cette approche s'applique à tous les autres barrages en remblai de classe III qui ne satisfont pas aux conditions du paragraphe 6.3.4.3.1.a.



ANALYSE

SCHÜTTDÄMME DER STAUANLAGENKLASSE III

- **6.3.4.3.1.** Pour les ouvrages d'accumulation de classe III: les méthodes d'analyse possibles sont divisées en deux sous-classes:
 - a. Analyse des blocs de glissement à l'aide de méthodes empiriques applicables ou de modèles de corrélation basés sur l'analyse. Cette approche s'applique à:
 - i. Toutes les digues de protection contre les dangers naturels;
 - ii. Barrages qui remplissent toutes les conditions suivantes: 1) **PPSA_R < 0.35 g**,





INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

TASSEMENT PERMANENT DE LA CRÊTE

- 6.8.2.3. Les tassements permanents acceptables en crête, dus aux effets combinés de la densification, de la consolidation et de la formation de surfaces de glissement sous l'effet de l'action sismique, ne doivent pas dépasser 25% de la revanche de sécurité définie au paragraphe 2.3.2. de la partie C2 de la directive: Sécurité contre les inondations et abaissement du niveau d'eau du réservoir.



INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

POTENTIEL D'ÉROSION INTERNE

- 6.8.2.6. Pour **les barrages en remblai avec noyau**, le potentiel d'érosion interne après déformation permanente peut être exclu si les conditions suivantes sont remplies:
 - i. Entre les différentes zones du barrage, la fonctionnalité du filtre est toujours assurée.
 - ii. Le noyau est encore suffisamment recouvert et est constitué d'un matériau qui peut supporter les déformations imposées sans changement significatif de sa perméabilité.
 - iii. L'épaisseur résiduelle des couches filtrantes et drainantes à l'état déformé est au moins égale à la moitié de l'épaisseur à l'état non déformé.



DOCUMENT D'AIDE TECHNIQUE

OBJECTIFS

- Objectif 1 : Méthodes analytiques et empiriques d'évaluation de la sécurité sismique des remblais en cas de séisme
 - Objectif 2 : méthodes linéaires équivalentes combinées avec le glissement des blocs
 - Objectif 3 : méthodes de modélisation numérique dynamique non linéaire
 - Objectif 4 : lois des matériaux, détermination des paramètres et étalonnage
 - Objectif 5 : exemples progressifs selon l'état de la technique et sur la base de la directive partie C3 de l'OFEN
-
- Date de publication prévue : 31 janvier 2026



DES BARRAGES EN BÉTON

MÉTHODES DE VÉRIFICATION SIMPLIFIÉES

- Les exigences minimales requises pour les barrages-poids en béton et en maçonnerie, les barrages à contreforts et les barrages mobiles (paragraphe 6.3.4.1):
 - Pour les ouvrages d'accumulation de **classe III**: analyse modale avec spectre de réponse simplifiée utilisant uniquement le **mode naturel fondamental** de vibration;
- Les exigences minimales requises pour les barrages-voûtes
- Pour les ouvrages d'accumulation de **classe III**: **analyse du spectre de réponse**;



DES BARRAGES EN BÉTON

MÉTHODES DE VÉRIFICATION SIMPLIFIÉES

- Modèle géométrique (paragraphe 6.6.1.2, 6.6.1.3, 6.6.1.4):
 - Barrages-poids: modèle 2D (ou 3D, p.ex. en cas d'une vallée étroite, etc.)
 - Barrages à contreforts: modèle 3D
 - Barrages-mobiles: modèle 3D (au moins un pilier et la moitié des passes adj.).
- Composante de la sollicitation à prendre en compte (paragraphe 6.6.2)
 - Classe III: la composante verticale peut être négligée.



MANUELS D'INGÉNIEUR

BARRAGES-POIDS; BARRAGES-VOÛTES

- Objectifs:
 - Modèles constitutifs; détermination des valeurs des paramètres des matériaux.
 - Méthodes d'analyse élastiques-linéaires.
 - Méthodes d'analyse non-linéaires.
 - Exemples de vérification de la sécurité au séisme d'après la directive partie C3:
 - Barrages-poids
 - Barrages-voûtes
- Date de publication prévue : mars 2026 (Barrages-poids), juin 2026 (Barrages-voûtes)



MERCI DE VOTRE ATTENTION



Amin Askarinejad
Dr. sc. ETHZ, Associate Prof. TU Delft

Spécialiste de la surveillance des
barrages

DETEC OFEN TS

amin.askarinejad@bfe.admin.ch

energieplus.com