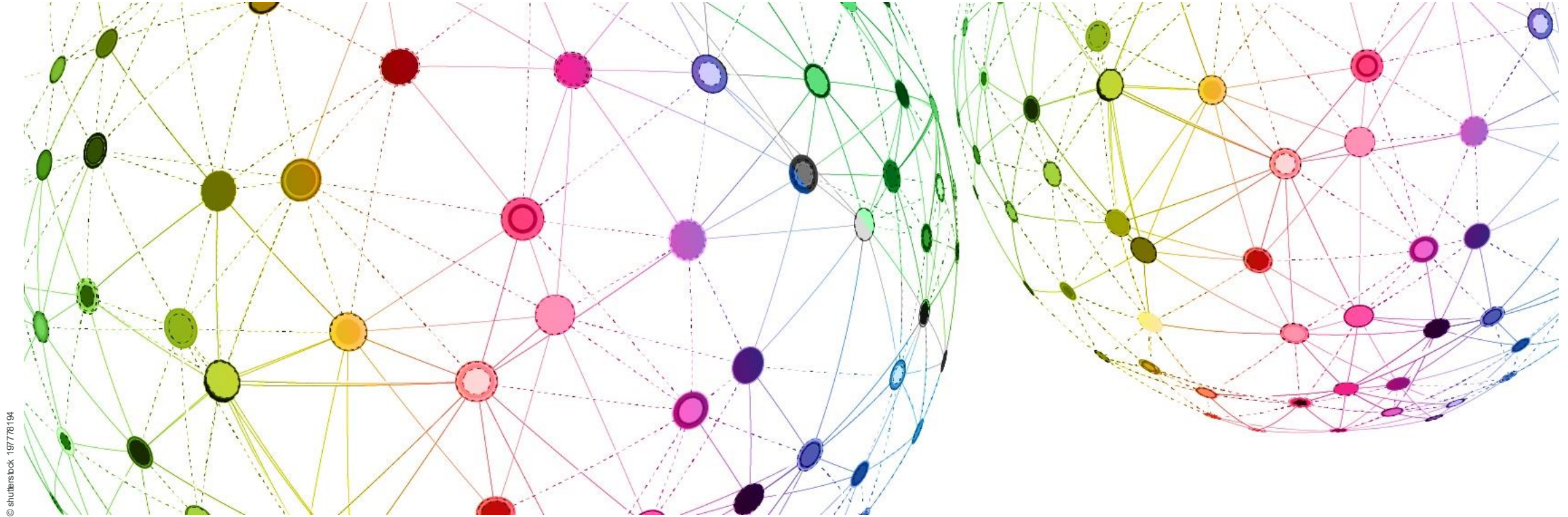




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

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



© shutterstock 19778194

RÉVISION TOTALE DE LA DIRECTIVE PARTIE C3 **RÉSULTATS DU “*EXTERNAL REVIEW*” SUR LE** **MODÈLE D’ALEA SISMIQUE**

OBJECTIVES

Objectives du “*external review*” sur le modèle d’aléa sismique:

- **Comparaison avec la Directive 2003**
- **Révision de la Directive Part C3** (version 2021)
- **Analyse et comparaison de l’approche «suisse» et «international»** utilisé pour des études sismiques des barrages.
- **Conseils des experts** pour l’actualisation de la Directive C3.

Révision **participative** (PPRP) faite en 3 phases:

- Phase 1: Réunion présentiel à Ittigen. PRP «recommande».
- Phase 2: Réunions virtuels où l’OFEN présente les actualisations de la Directive Part C3.
- Phase 3: PRP validation et «*closing letter*»



COMPARAISON AVEC LA DIRECTIVE 2003

- Carte d'aléa sismique présenté en termes d'intensité macrosismique + relation intensité-accélération (*non conservative*).
- La Directive 2003 conduit à des niveaux d'aléa faibles.
- Très faibles facteurs d'amplification (entre 0.9 et 1.0)
- Seulement 3 classes de sol

L'aléa sismique de la Directive 2003 semble être peu fiable et très ancien. Les cartes d'aléa sismique récentes doivent être privilégiées.



RÉVISION DE LA DIRECTIVE PARTIE C3 (VERSION 2021)

On a concentré les efforts de révision sur les sujets suivants:

- **Carte d'aléa sismique SuiHaz2015:** Est-elle encore valide?
- **Facteurs d'amplification:** Sont-ils cohérents et justifiés?
- **Type d'étude:** Etude type SSHAC ? Quel SSHAC ?
- **Analyse des différentes méthodologies et procédures** proposées et comparaison avec d'autres guides. La Directive Partie C3 est comparable à d'autres guides «barrages»? Peut-elle être améliorée?



RÉVISION DE LA DIRECTIVE PARTIE C3 (VERSION 2021)

Carte d'aléa sismique SuiHaz2015:

- Faite selon l'état de l'art
- Incorpore éléments typiquement utilisés dans R&D (Vs-kappa, Single-sigma station)
- Le jeu de GMPEs un peu ancien aujourd'hui (mais récent pendant la réalisation de l'étude et encore valide aujourd'hui)
- Absence de failles dans le modèle sismotectonique
- Rocher de référence «suisse»

En général, il n'y a pas d'élément pour remettre en question les résultats d'aléa sismique



RÉVISION DE LA DIRECTIVE PARTIE C3 (VERSION 2021)

Facteurs d'amplification:

- Directive C3 2021: C_A facteur = 1.6 & S_R facteur = 0.75. Pas très courant dans d'autres guides parasismiques.
- La définition de C_A ne semble pas suffisamment justifiée et de grandes incertitudes existent. Différents auteurs proposent différentes valeurs, avec des arguments différents (Felicetta et al. 2018, Poggi et al. 2013, 2017, Duverney et al. 2019)
- SUlhaz2015 propose un $C_A = 1.17$
- Finalement, des cartes avec des ratios entre les accélérations SUlhaz2015 et les accélérations obtenues avec le même modèle sismotectonique + d'autres GMPEs (NGA-2 et autres lois récentes) en considérant $V_{s30}=800$ m/s, justifient l'adoption d'un facteur 1.6



RÉVISION DE LA DIRECTIVE PARTIE C3 (VERSION 2021)

Type de révision:

- ~~SSHAC Level 3? (pour barrages, seulement BC Hydro project au Canada...)~~
- SSHAC Level 2? (pour barrages, seulement dans quelques cas, par exemple au Brésil, pour “*tailing dams*”)
- SSHAC Level 1 au équivalent? C’est la procédure le plus commun:
 - Parfois avec un PPRP associé au projet
 - Parfois avec la supervision additionnelle du régulateur.
- ~~Non SSHAC (no peer review))? Parfois c’est le cas. mais la plupart des projets récents introduisent le PPRP~~



COMPARAISON DES APPROCHES «SUISSE» ET «INTERNATIONAL»

Discussions/recommandations sur:

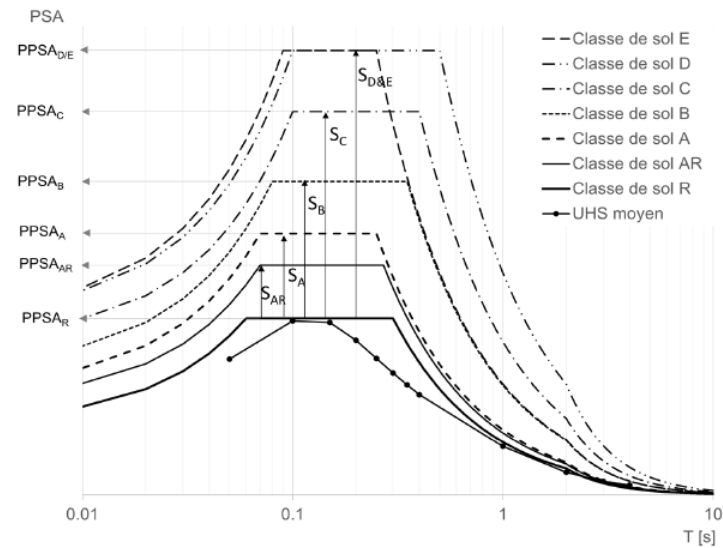
- **Autorisation des études «site-specific»** pour mieux estimer l'aléa sismique. La plupart des guides sismiques permettent et préconisent des études de site, qui permettent mieux prendre en compte les conditions locales (V_{s30} , failles).
- **Introduction d'une limite inférieure** de réduction de l'aléa sismique (comme il est défini, par exemple, dans la ASCE 7-22).



CONSEILS DES EXPERTS

Action sismique :

- Définie en termes de spectre de réponse et accélérogrammes



Classe de sol	Description du profil stratigraphique	V_{s30} [m/s]	Amplification par rapport à la classe de sol R (S_x)	T_B [s]	T_C [s]	T_D [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	Roche 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
B	Dépôts très denses de sable et/ou de gravier ou argile très consistante, d'une épaisseur de plusieurs dizaines de mètres, caractérisés par une augmentation progressive croissante des propriétés mécaniques avec la profondeur	500...800	1.8	0.08	0.35	2.0
C	Dépôts denses ou moyennement denses de sable, de gravier ou d'argile consistante, d'une épaisseur de quelques dizaines à une centaine de mètres.	300...500	2.2	0.10	0.4	2.0
D	Dépôts de sédiments meubles à moyennement denses ou argile tendre	< 300	2.55	0.10	0.5	2.0
E	Couche superficielle de dépôts type C ou D, d'une épaisseur comprise entre 5 et 20 mètres et d'une valeur moyenne de $V_s < 500$ m/s sur un matériau de sol plus ferme avec $V_s > 800$ m/s	-	2.55	0.09	0.25	2.0



CONSEILS DES EXPERTS

Action sismique :

- **Effets de sol (Classe de sol ou SRA).**

classe de sol classe d'ouvrage	R	AR	A	B	C	D	E
I	classification basée sur : investigation spatiale étendue au moyen de mesures géophysiques (profils Vs) + étude géologique détaillée la cohérence des données et la classification du terrain doivent être confirmées par des experts (4.3.2.6 et 4.3.2.7)		classification basée sur : études géophysiques spécifiques + étude géologique la cohérence des données et la classification du terrain doivent être confirmées par des experts (4.3.2.4 et 4.3.2.5)				
II							
III			classification basée sur des informations géologiques et géotechniques pertinentes et confirmée par des experts (4.3.2.5)				
	IIIa*						
	IIIb**						

*) IIIa: ouvrages d'accumulation de classe III selon le chapitre 3 et si des infrastructures critiques vulnérables sont situées dans la zone d'inondation potentielle (4.3.2.5)

**) IIIb: ouvrages d'accumulation de classe III selon le chapitre 3 et qui ne satisfont pas aux critères du sous-groupe IIIa ou tous les barrages de protection contre les danger naturels

- **La classe de sol doit être validé par les autorités** (pour barrages de Class I et II, géophysique est obligatoire pour définir la Vs30)
- **Considération de failles actives à proximité du site**



CONSEILS DES EXPERTS

Action sismique :

- **Sélection des accélérogrammes:**
 - Critères génériques (Max. 2 accélérogrammes per séisme, 3 composantes, etc.)
 - Critères de nocivité (duration, Intensité d'Arias, etc.)
 - Compatibilité avec la désagrégation ($M_w - R_{JB}$)
 - Compatibilité avec le spectre de réponse cible
 - Technique de *Spectral matching* autorisée



CONSEILS DES EXPERTS

Discussions/recommandations sur:

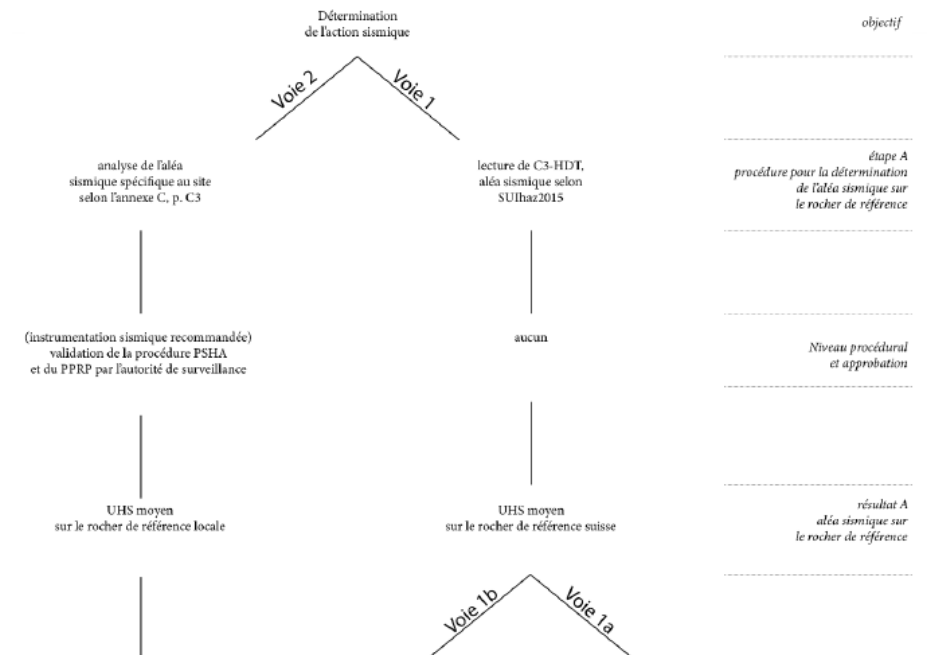
- **Autorisation des études «site-specific»** pour mieux estimer l'aléa sismique. La plupart des guides sismiques permettent et préconisent les études de site, qui permettent mieux prendre en compte les conditions locales (V_{s30} , failles).
- **Introduction d'une limite inférieure** de réduction de l'aléa sismique (comme il est défini, par exemple, dans la ASCE 7-22).



CONSEILS DES EXPERTS

Appendix C: Procédures pour déterminer l'action sismique :

- **Voie 1a: SUIhaz2015 + Amplification factor S_x**
- **Voie 1b: SUIhaz2015 + SRA**
- **Voie 2: PSHA + SRA**

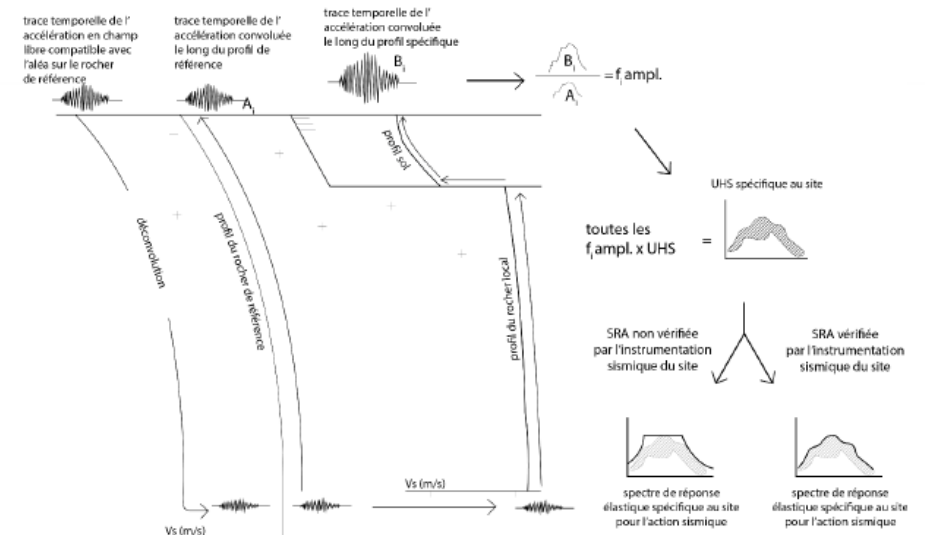




CONSEILS DES EXPERTS

Appendix C. Exigences relatives au SRA:

- Géotechniques/géophysiques pour la définition de la colonne de sol
- Sélection des accélérogrammes
- Le SRA doit être fait en accord avec:





CONSEIL D 'EXPERT

Appendix C. Exigences relatives au PSHA:

- **Recommandation sur le SSHAC**
- **Benchmarking (double révision, C3.9)**
- **Utilisation de coefficients de sol dans le PSHA n'est pas autorisée**
- **PSHA + SRA «probabiliste» autorisé sous un SSHAC 2**



CONSIDÉRATIONS FINALES

La Suisse a été un «précurseur» des études sismiques détaillées pour les installations nucléaires (PEGASUS, SSHAC Level 4)

Avec la Directive Partie C3, la Suisse devient un «précurseur» des études sismiques détaillées pour les barrages.

FÉLICITATIONS !!!