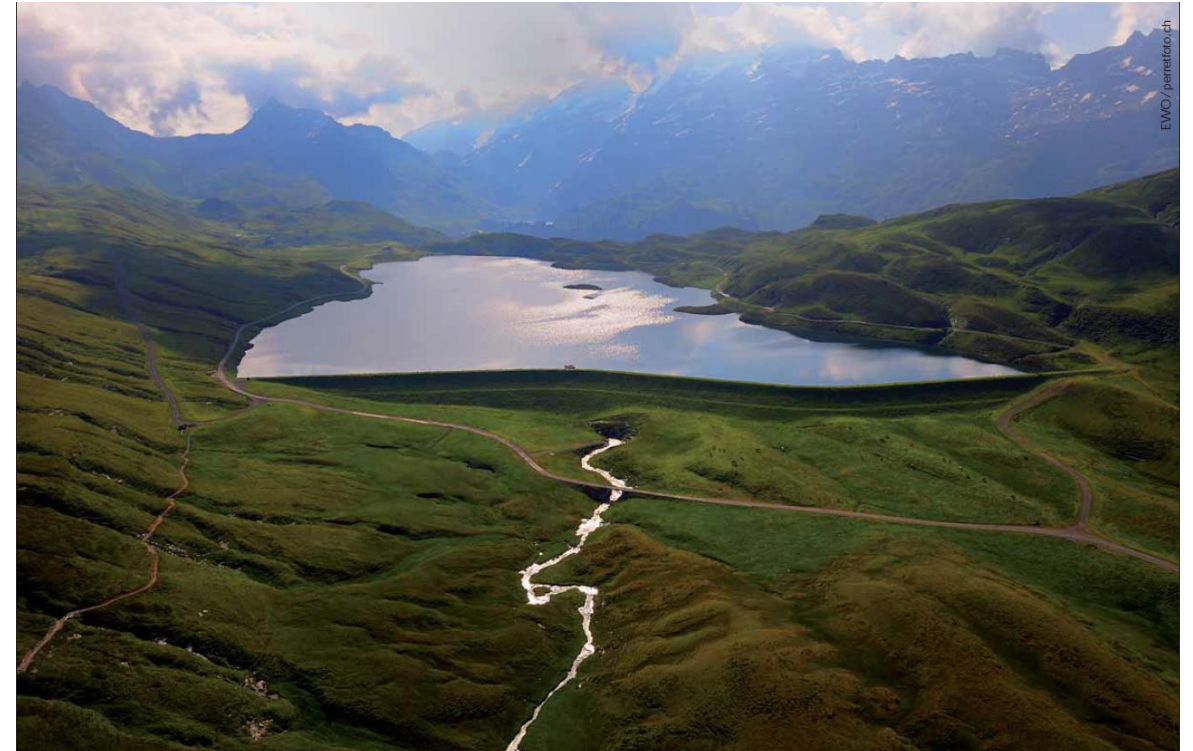




Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

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



# **DIRECTIVE C3**

# **RÉUNION D'INFORMATION**

## **DÉFINITION DE L'ACTION SISMIQUE, PARTIE C3 - 2025**

MANIFESTATION D'INFORMATION SUR LA RÉVISION TOTALE DE LA DIRECTIVE PARTIE C3 ▪ OFEN/ASI/TS ▪ 27.05.2025



# THÈMES DE DISCUSSION

---

## Détermination de l'action sismique, partie C3 - 2025

- Définition
- Concept général et différentes approches
- Aléa sismique sur le rocher de référence
- Aléa sismique sur site
- Traces temporelles de l'accélération (accélérogrammes)



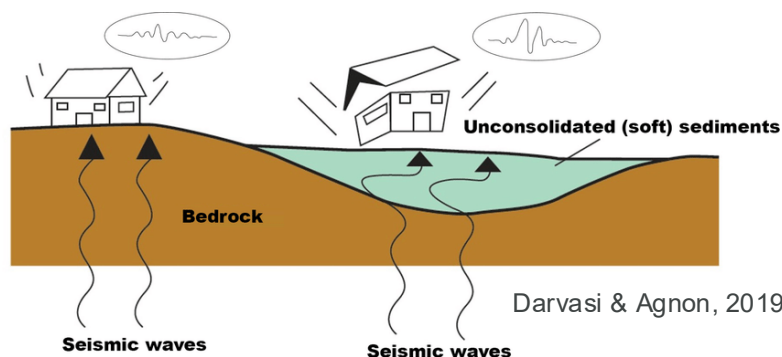
# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## DÉFINITION DANS LA DIRECTIVE PARTIE C3-2025

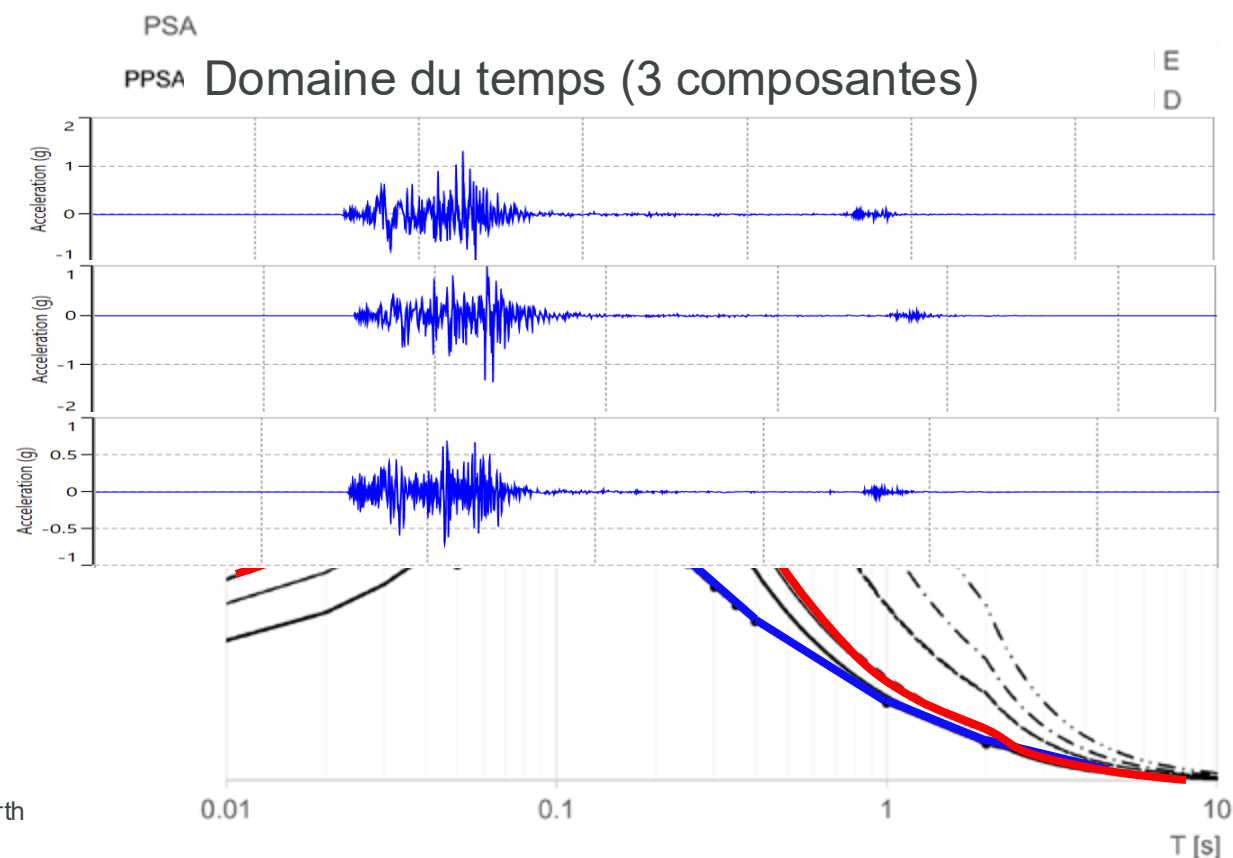
4.3.1.1. La définition de l'action sismique comprend les éléments suivants:

- Spectre de réponse élastique
- Traces temporelles de l'accélération

4.3.1.2. Les spectres de réponse élastique sont dérivés de l'**aléa sismique probabiliste** et de la **prise en compte des effets de site**.



Domaine des fréquences





# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

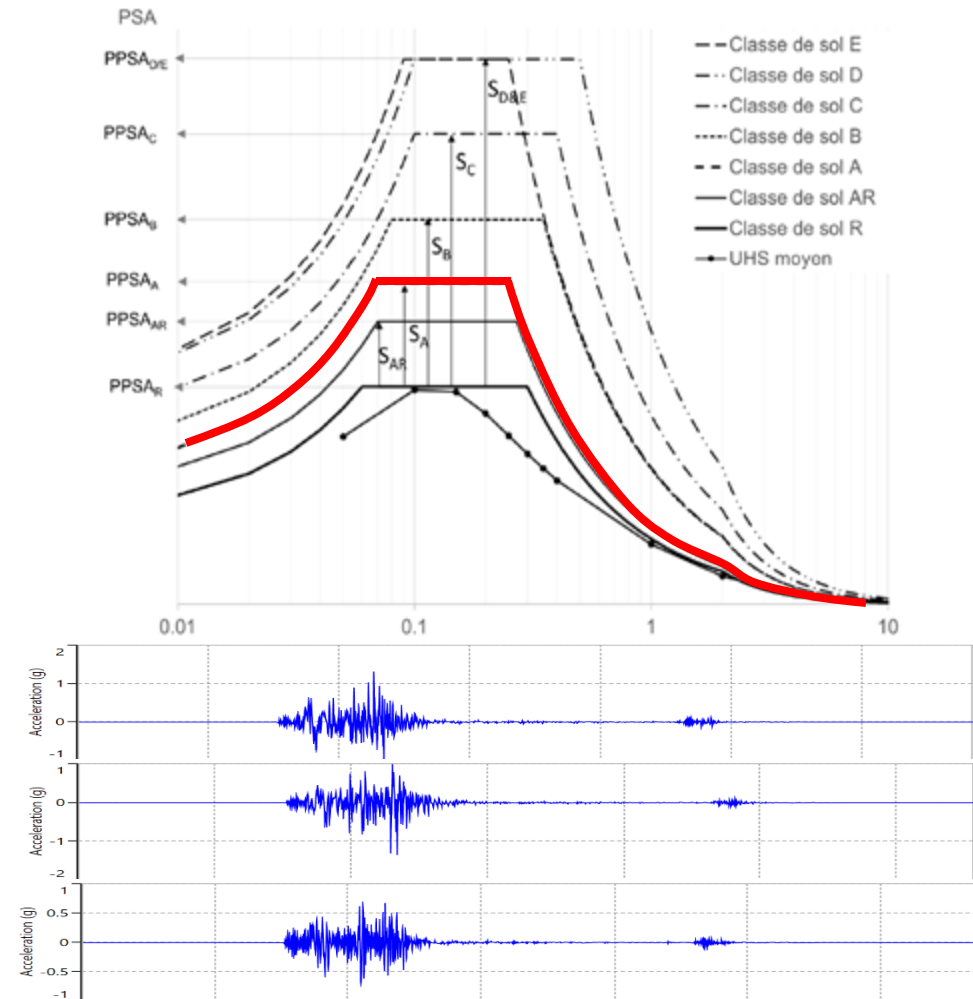
## DÉFINITION DANS LA DIRECTIVE PARTIE C3-2025

4.3.1.1. La définition de l'action sismique comprend les éléments suivants:

- Spectre de réponse élastique
- Traces temporelles de l'accélération

4.3.1.2. Les spectres de réponse élastique sont dérivés de l'aléa sismique probabiliste et de la prise en compte des effets de site.

4.3.1.4. L'action sismique est donnée comme une action en champ libre à la surface du sol.



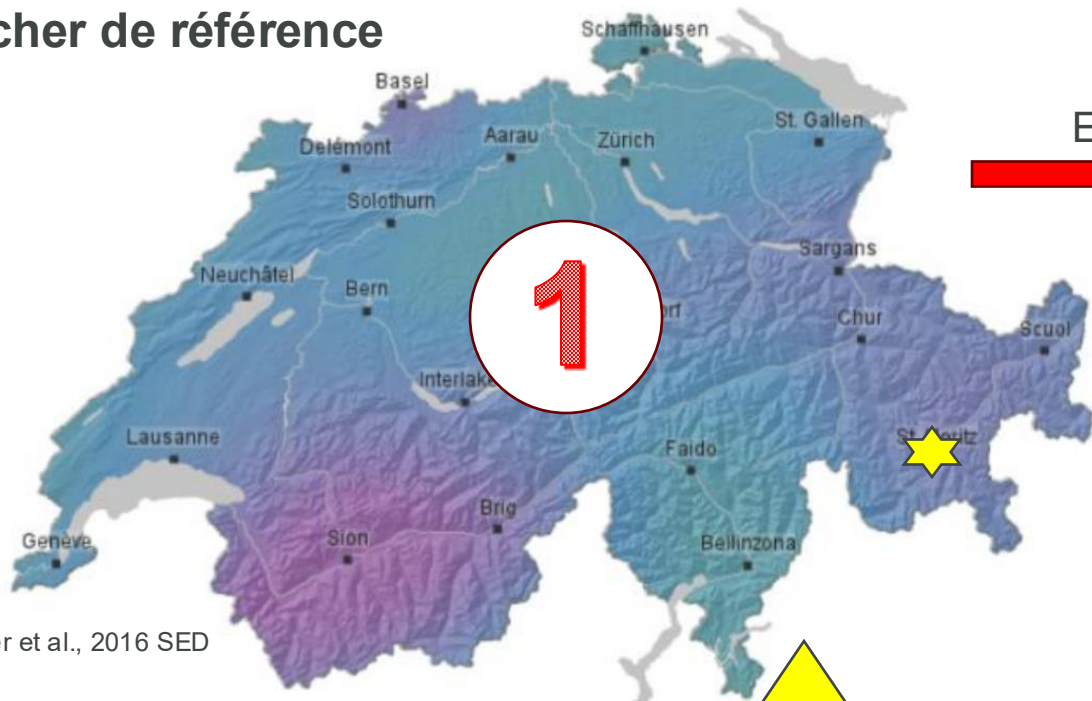




# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## CONCEPT GÉNÉRAL ET APPROCHES DANS LA C3-2025

Aléa sismique sur le  
rocher de référence



Aléa sismique  
sur site



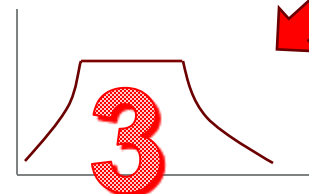
Effets de site



2

1

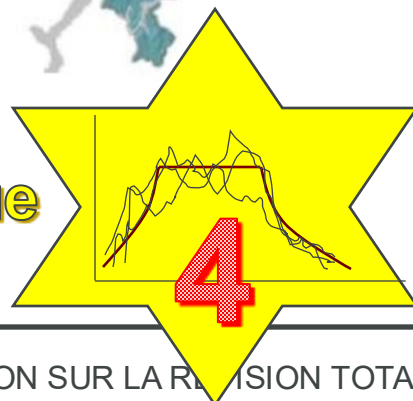
Détermination du  
spectre de réponse élastique  
ex. : Classe de sol A



Sélection des séismes  
compatibles



Action sismique





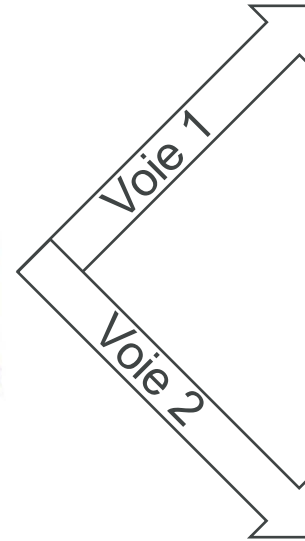
# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR LE ROCHER DE RÉFÉRENCE

Aléa sismique sur le  
rocher de référence



2 possibilités



modèle  
SUIhaz2015



Utilisation de la  
feuille [Excel C3-HDT](#)

Effectuer une  
PSHA dédiée  
(analyse probabiliste de l'aléa sismique)  
« Site-specific study »



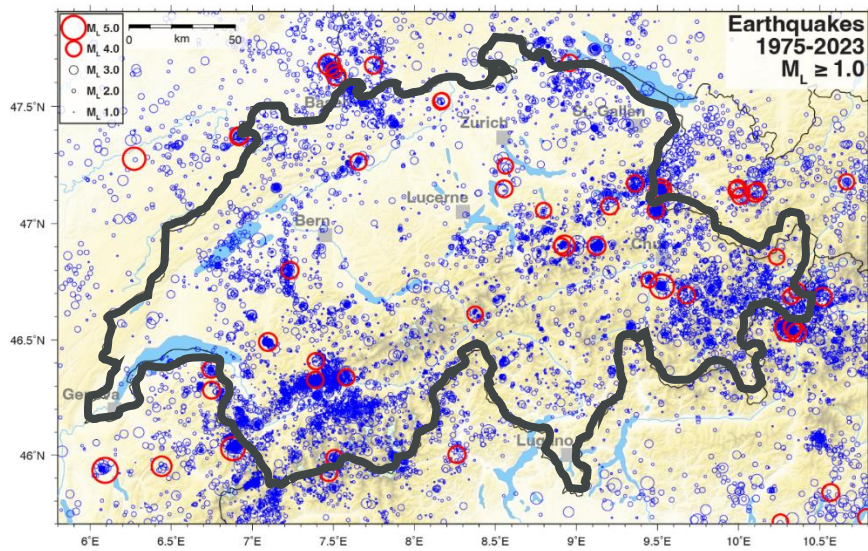
Selon, Dir. Partie C3  
2025  
Annexe C



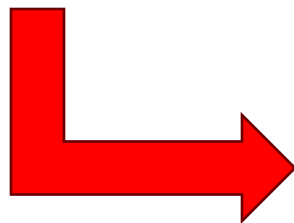
# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR LE ROCHER DE RÉFÉRENCE

### sources



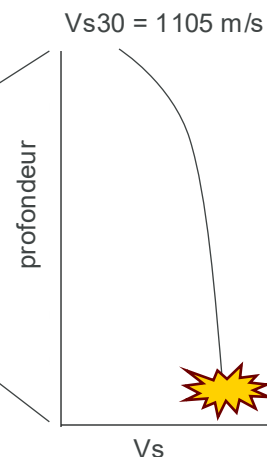
Bose et al., 2024 NHESS



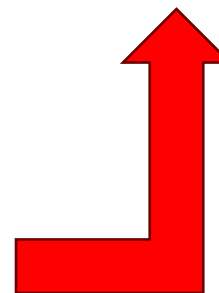
### Géologie (homogène)



Rocher de référence suisse  
selon Poggi et al. (2011)



### Aléa sismique







# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

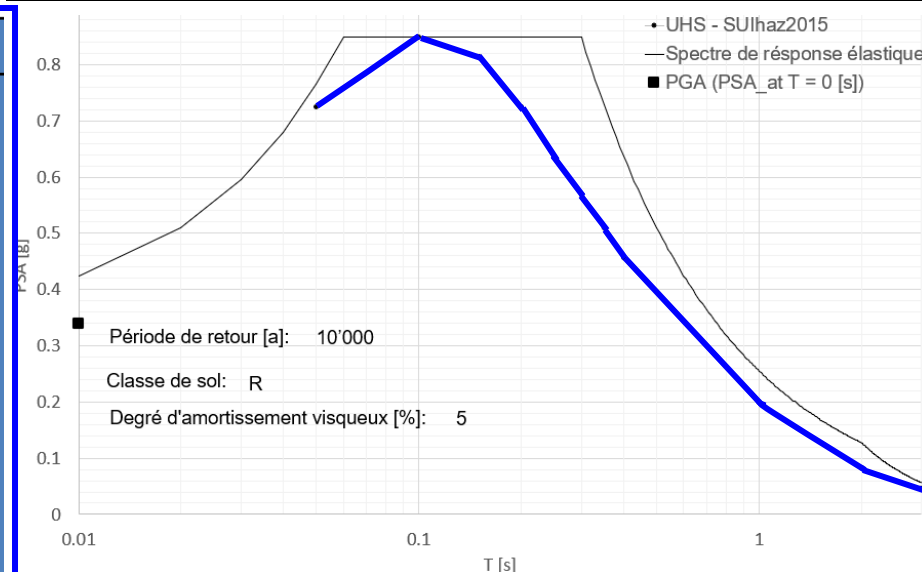
## ALÉA SISMIQUE SUR LE ROCHER DE RÉFÉRENCE

| Période de retour [année] | E CH1903+ [m] | N CH1903+ [m] |
|---------------------------|---------------|---------------|
| 10'000                    | 2'821'097.71  | 1'187'790.84  |

| Classe de sol | Longitude grid point plus proche [°] | Latitude grid point plus proche [°] | PPSA <sub>R</sub> [g] |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| R             | 10.3                                 | 46.8                                | 0.850                 |

| Degré d'amortissement visqueux $\zeta$ [%] | Facteur d'amplification S <sub>x</sub> [-] | PPSA <sub>x</sub> [g] | PGA (PSA_0 s) [g] |
|--|--|-----------------------|-------------------|
| 5  | 1.00                                       | 0.850                 | 0.340             |

| Spectre de réponse élastique |         | UHS - SUIhaz2015 |         |
|------------------------------|---------|------------------|---------|
| T [s]                        | PSA [g] | T [s]            | PSA [g] |
| 0.0001                       | 0.341   | 0                | 0.3630  |
| 0.01                         | 0.425   | 0.05             | 0.7247  |
| 0.02                         | 0.510   | 0.1              | 0.8496  |
| 0.03                         | 0.595   | 0.15             | 0.8144  |
| 0.04                         | 0.680   | 0.2              | 0.7259  |
| 0.05                         | 0.765   | 0.25             | 0.6352  |
| 0.06                         | 0.850   | 0.3              | 0.5681  |
| 0.07                         | 0.850   | 0.35             | 0.5101  |
| 0.08                         | 0.850   | 0.4              | 0.4577  |
| ...                          | ...     | ...              | ...     |



### C3-HDT

Extraction automatique de l'UHS à partir des **coordonnées** du site et de la période de retour (qui est fonction de la classe d'ouvrage)





# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR LE ROCHER DE RÉFÉRENCE

Aléa sismique sur le  
rocher de référence

2 possibilités



modèle  
SUIhaz2015

Utilisation de la  
feuille [Excel C3-HDT](#)

Voie 1

Voie 2

Effectuer une  
PSHA dédiée  
(analyse probabiliste  
de l'aléa sismique)

Selon, Dir. Partie C3  
2025  
Annexe C



# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR LE ROCHER DE RÉFÉRENCE

---

### Analyse de l'aléa sismique selon, Dir. Partie C3 – 2025, Annexe C

- Analyse probabiliste de l'aléa sismique sur rocher de référence
- Utiliser les valeurs moyennes de l'aléa
- Rocher de référence avec  $V_{s_{\min}} \geq 1000$  m/s et  $V_{s_{30}} \geq 1105$  m/s
- Les **paramètres locaux du sol directement dans les modèles** de mouvement du sol (*GMM*) **n'est pas autorisée**

#### Procédure: Non SSHAC\* et SSHAC\* N1

- Panel de *peer-review* participative (PPRP)
- Étude séparé en 4 phases distinctes
  - Plan d'étude
  - Phase de pondération
  - Phase d'intégration
  - Documentation
- Éventuellement Benchmarking post-étude (si écarts significatives du SUlhaz2015)

#### Procédure: SSHAC\* N2 ou supérieur

- Les recommandations SSHAC pour le niveau concerné fixent les exigences minimale

\*SSHAC = Senior Seismic Hazard Analysis Commission

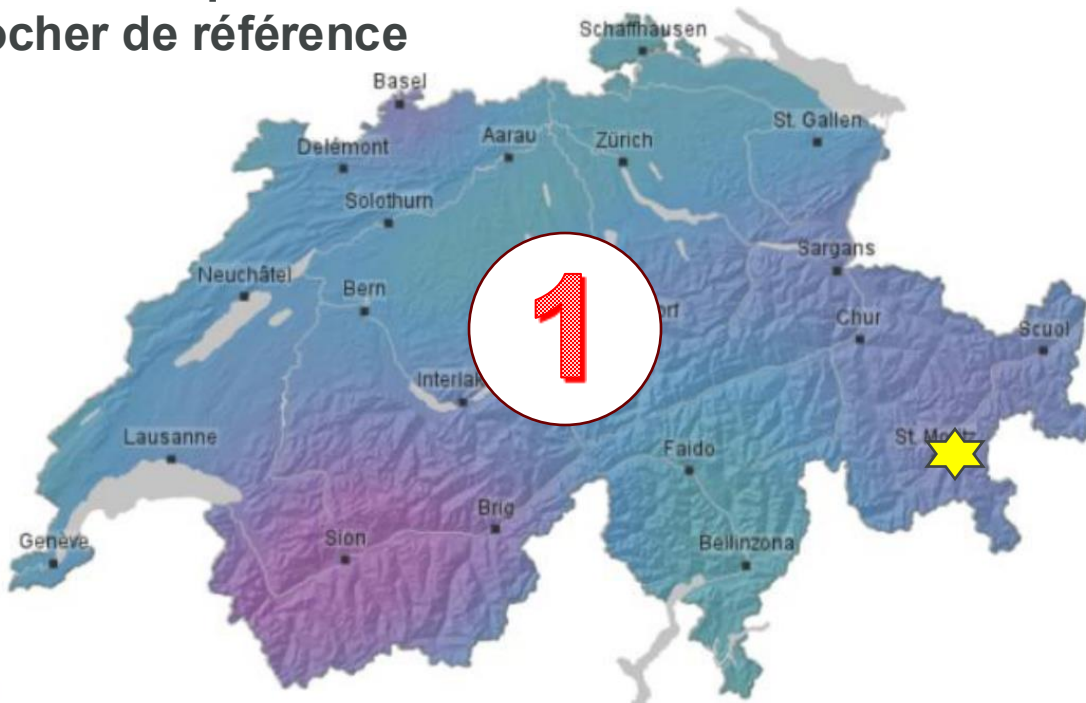


# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR LE ROCHER DE RÉFÉRENCE

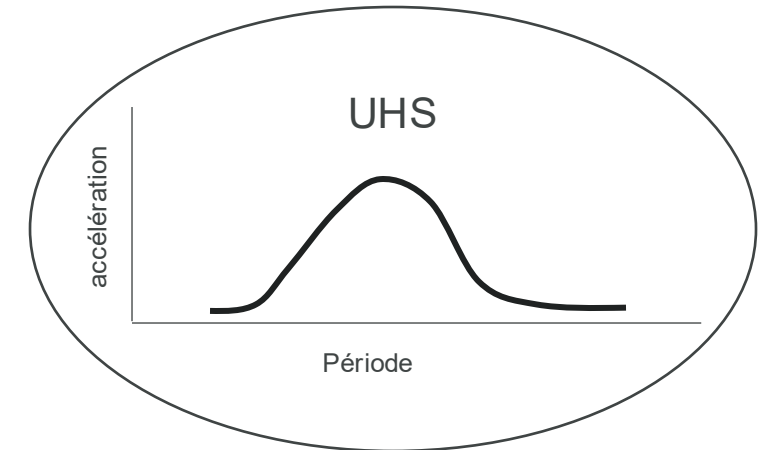
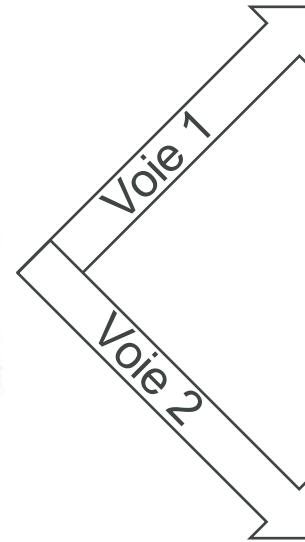
2 possibilités

Aléa sismique sur le  
rocher de référence



modèle  
SUIhaz2015

Utilisation de la  
feuille [Excel C3-HDT](#)



Effectuer une  
PSHA dédiée  
(analyse probabiliste  
de l'aléa sismique)

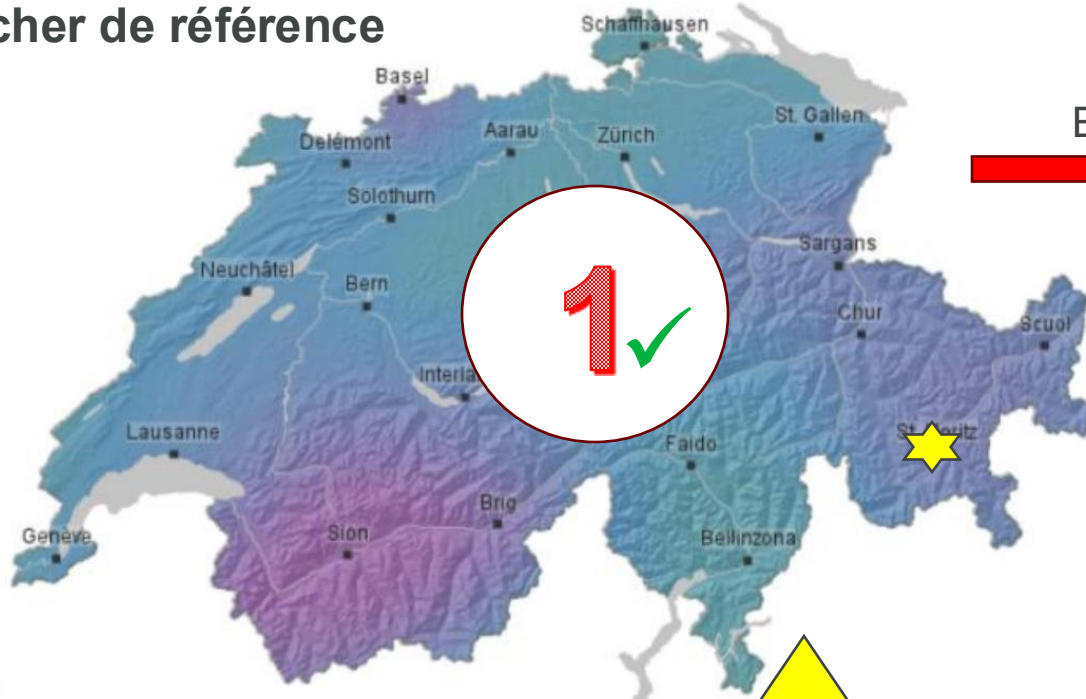
Selon, Dir. Partie C3  
2025  
Annexe C



# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE

Aléa sismique sur le  
rocher de référence



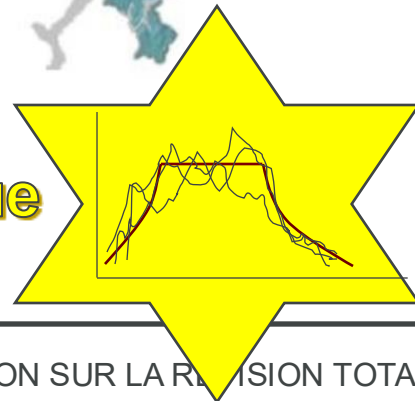
Effets de site



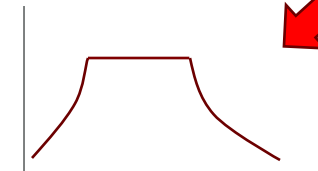
Aléa sismique  
sur site



Action sismique



Sélection des séismes  
compatibles



Détermination du  
spectre de réponse élastique  
ex. : Classe de sol A





# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

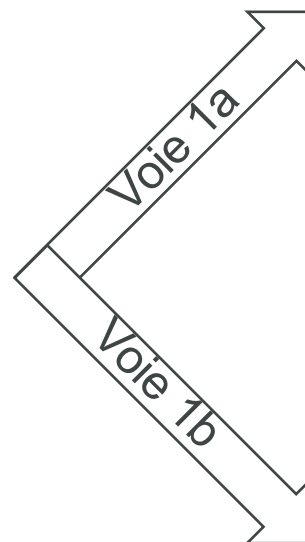
## ALÉA SISMIQUE SUR SITE

Aléa sismique  
sur site



Approche par  
classes de sol

Utilisation de la feuille  
[Excel C3-HDT](#)



Réaliser une  
analyse de la réponse du site  
(SRA, *Site Response Analysis*)

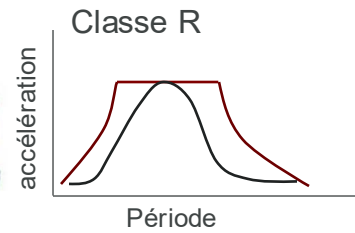
Selon, Dir. Partie C3  
2025  
Annexe C



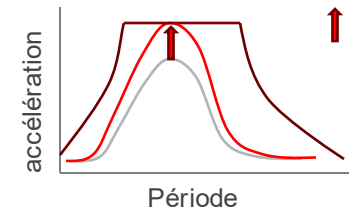
# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE, PAR CLASSES DE SOL

### Aléa sismique sur le rocher de référence



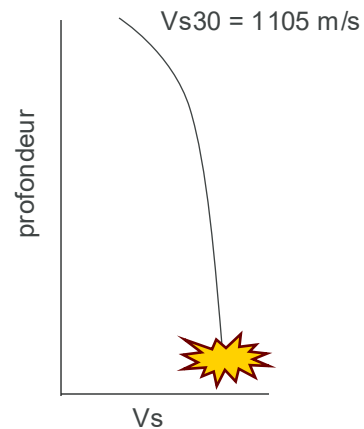
ex.: Classe A



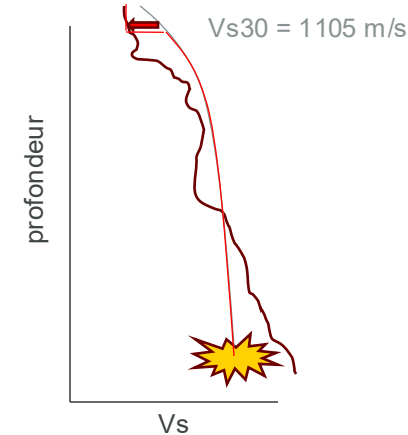
### Aléa sismique sur site



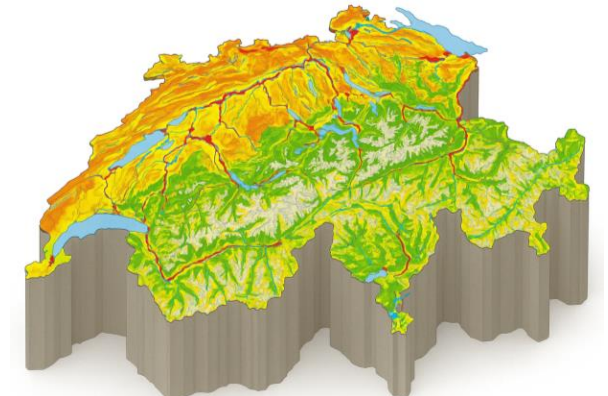
### Géologie (homogène)



Vs30 = 800 m/s



### Vs30 + géologie (homogène)





# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE, PAR CLASSES DE SOL

| Classe de sol | Description du profil stratigraphique   | $V_{s30}$<br>[m/s] | Amplification<br>par rapport à<br>la classe de<br>sol R (Sx) | TB [s] | TC [s] | TD [s] |
|---------------|---|--------------------|--|--------|--------|--------|
| R             | Roche massive sans dégradations locales significatives, ni contrastes de rigidité significatifs [...] avec une $V_s$ minimale de 1000 m/s   | $\geq 1105$        | 1.00   | 0.06   | 0.3    | 2.0    |
| AR            | Roche [...] avec $V_s > 760$ m/s  | $> 800$            | 1.30   | 0.07   | 0.27   | 2.0    |
| A             | Roche ou autre formation géologique de type rocheux avec $\leq 5$ m de roche meuble en surface  | $> 800$            | 1.4 (1.50*)  | 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         | 1.80   | 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         | 2.20   | 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    |

# **DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE** **ALÉA SISMIQUE SUR SITE, PAR CLASSES DE SOL**

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





# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE, PAR CLASSES DE SOL

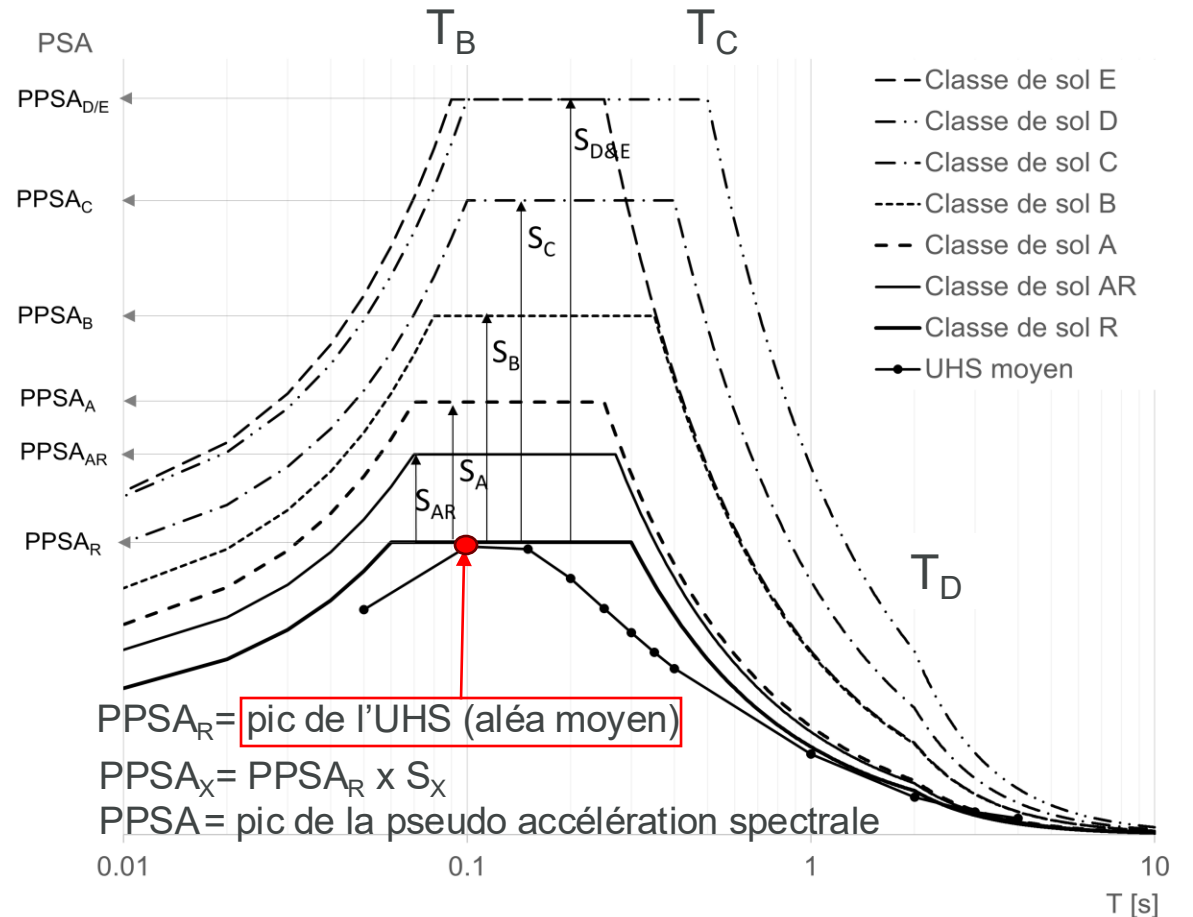
| Classe de sol | Description du profil stratigraphique   | $V_{s30}$ [m/s] | Amplification par rapport à la classe de sol R ( $S_x$ ) | $T_B$ [s] | $T_C$ [s] | $T_D$ [s] |
|---------------|---|-----------------|--|-----------|-----------|-----------|
| R             | Roche massive sans dégradations 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 | $\geq 1105$     | 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       |

$$PSA(T) = PPSA_x / 2.5 \cdot [1 + ((2.5 \cdot \eta - 1) \cdot T) / T_B] \quad (0 \leq T \leq T_B)$$

$$PSA(T) = PPSA_x \cdot \eta \quad (T_B \leq T \leq T_C)$$

$$PSA(T) = PPSA_x \cdot \eta \cdot T_C / T \quad (T_C \leq T \leq T_D)$$

$$PSA(T) = PPSA_x \cdot \eta \cdot (T_C \cdot T_D) / T^2 \quad (T_D \leq T)$$





# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE, PAR CLASSES DE SOL

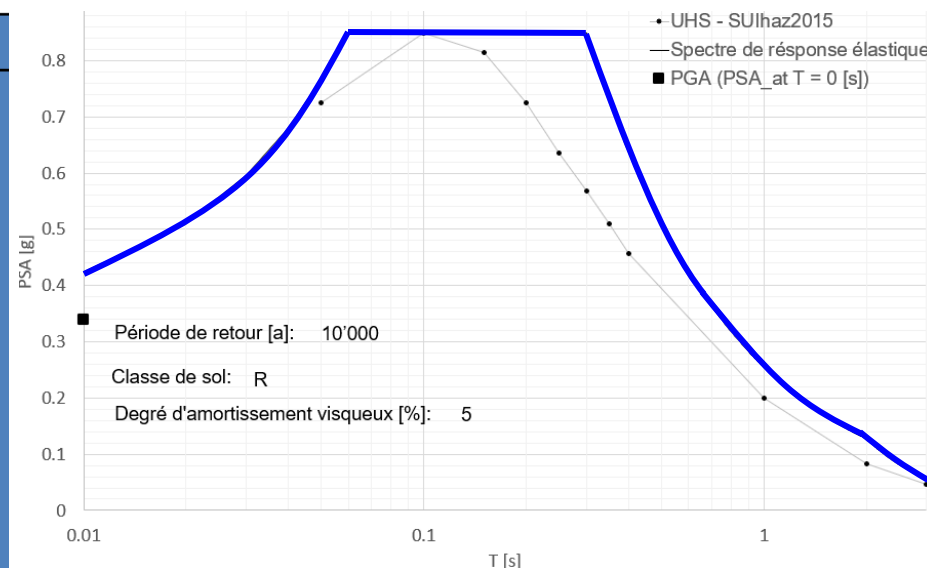
| Période de retour [année] | E CH1903+ [m] | N CH1903+ [m] |
|---------------------------|---------------|---------------|
| 10'000                    | 2'821'097.71  | 1'187'790.84  |

| Classe de sol | Longitude grid point plus proche [°] | Latitude grid point plus proche [°] | PPSA <sub>R</sub> [g] |
|---------------|--------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| R             | 10.3                                 | 46.8                                | 0.850                 |

| Degré d'amortissement visqueux $\zeta$ [%] | Facteur d'amplification S <sub>x</sub> [-] | PPSA <sub>x</sub> [g] | PGA (PSA <sub>0</sub> s) [g] |
|--|--|-----------------------|------------------------------|
| 5  | 1.00                                       | 0.850                 | 0.340                        |

| TB [s] | TC [s] | TD [s] |
|--------|--------|--------|
| 0.06   | 0.3    | 2      |

| Spectre de réponse élastique UHS - SUIhaz2015 |         |       |         |
|---|---------|-------|---------|
| T [s]   | PSA [g] | T [s] | PSA [g] |
| 0.0001  | 0.341   | 0     | 0.3630  |
| 0.01  | 0.425   | 0.05  | 0.7247  |
| 0.02  | 0.510   | 0.1   | 0.8496  |
| 0.03  | 0.595   | 0.15  | 0.8144  |
| 0.04  | 0.680   | 0.2   | 0.7259  |
| 0.05  | 0.765   | 0.25  | 0.6352  |
| 0.06  | 0.850   | 0.3   | 0.5681  |
| 0.07  | 0.850   | 0.35  | 0.5101  |
| 0.08  | 0.850   | 0.4   | 0.4577  |
| ...   | ...     | ...   | ...     |



### Partie-C3, 2025-HDT

Extraction automatique du **spectre de réponse élastique** à partir des **coordonnées du site**, de la **classe d'ouvrage**, de la **classe de sol** et du **degré d'amortissement visqueux**



# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

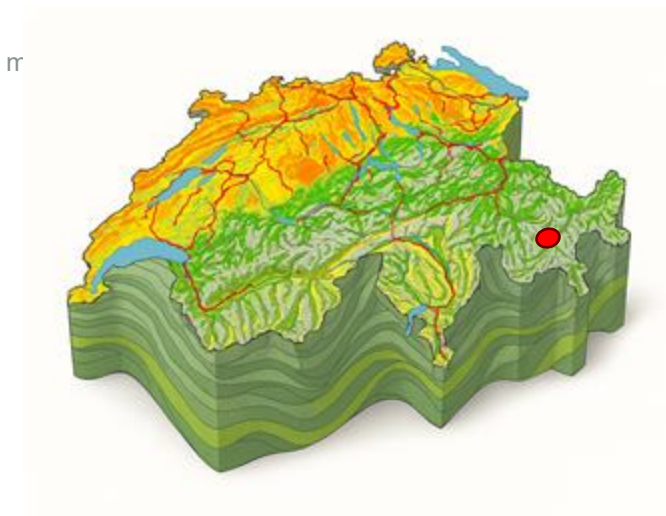
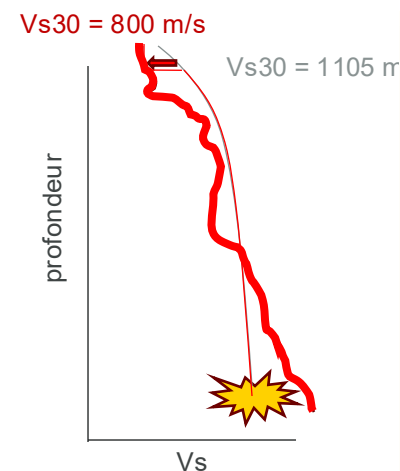
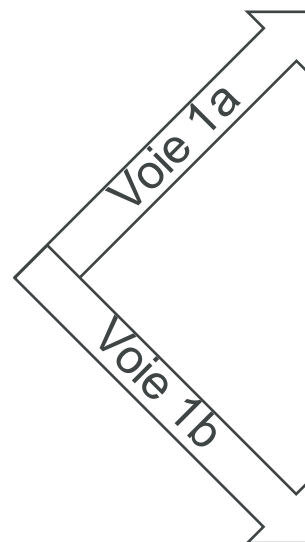
## ALÉA SISMIQUE SUR SITE

Aléa sismique  
sur site



Approche par  
classes de sol

Utilisation de la feuille  
[Excel C3-HDT](#)



Réaliser une  
analyse de la réponse du site  
(SRA, Site Response Analysis)

Selon, Dir. Partie C3  
2025  
Annexe C

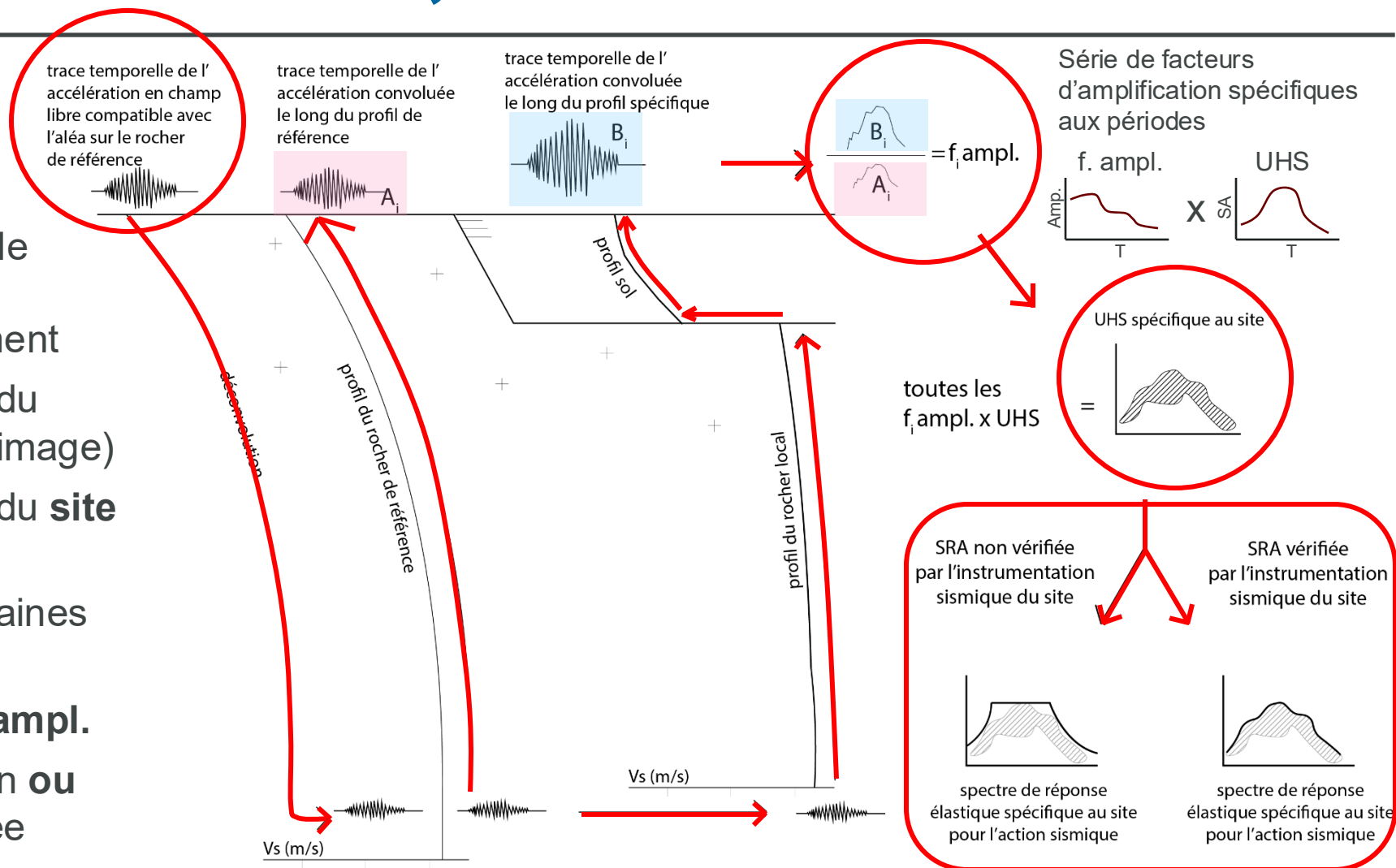


# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE, SRA

À partir de **11 traces temporelles compatibles** avec l'aléa sismique sur le rocher de référence:

1. **Déconvolution** le long du profil
  - I. du rocher de référence ou
  - II. de la station d'enregistrement
2. **Propagation** le long du profil du **rocher de référence** (A dans l'image)
3. **Propagation** le long du profil du **site** (B dans l'image)
4. **Division B sur A** (dans le domaines des fréquences)  $\rightarrow$  **f. ampl.**
5. **Multiplication** de l'**UHS** par **f. ampl.**
6. **Vérification** par instrumentation **ou** respect des **limites** en ordonnée



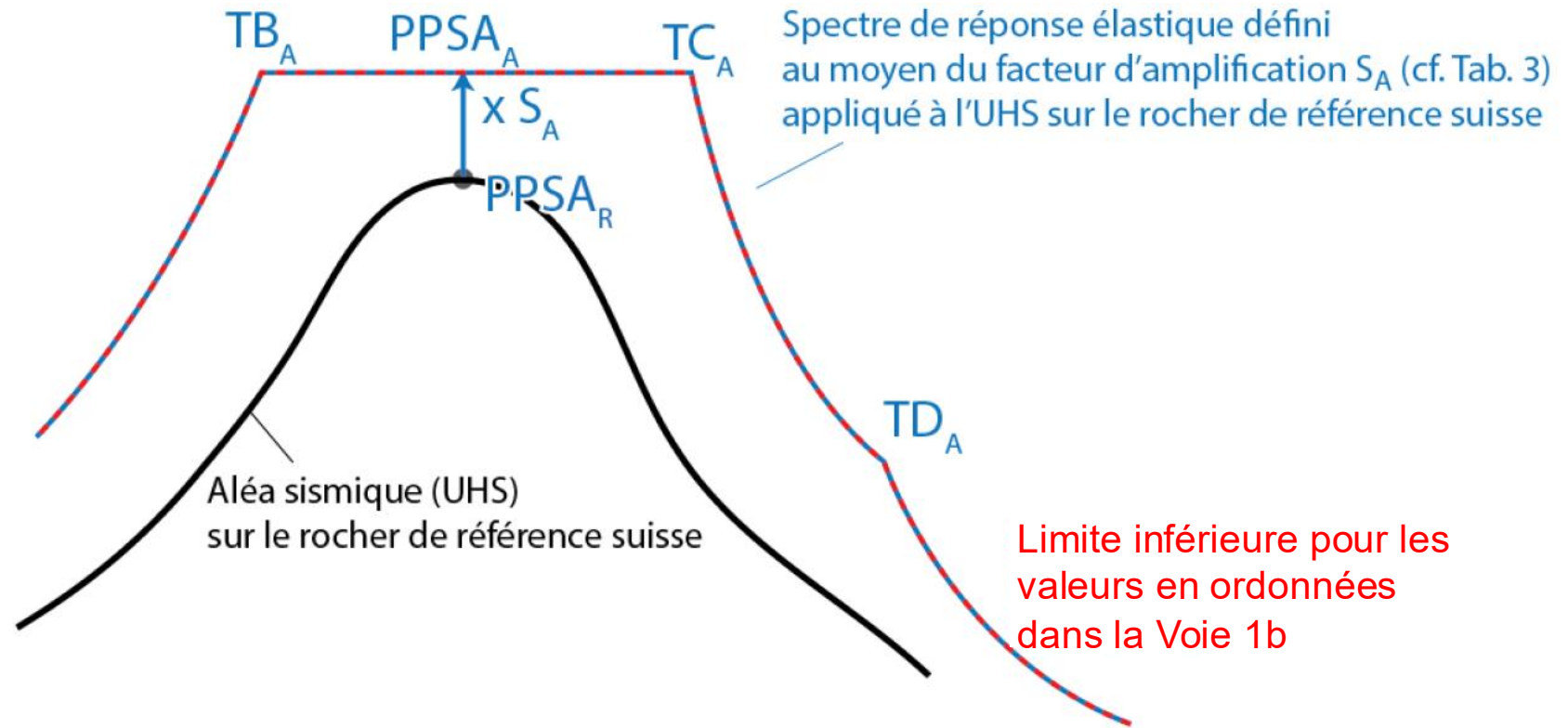




# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE, SRA

SRA: **limitations aux ordonnées** du spectre élastique de réponse si aléa sismique selon  
SUIhaz2015 et  $V_{s30}$  locale < 800 m/s

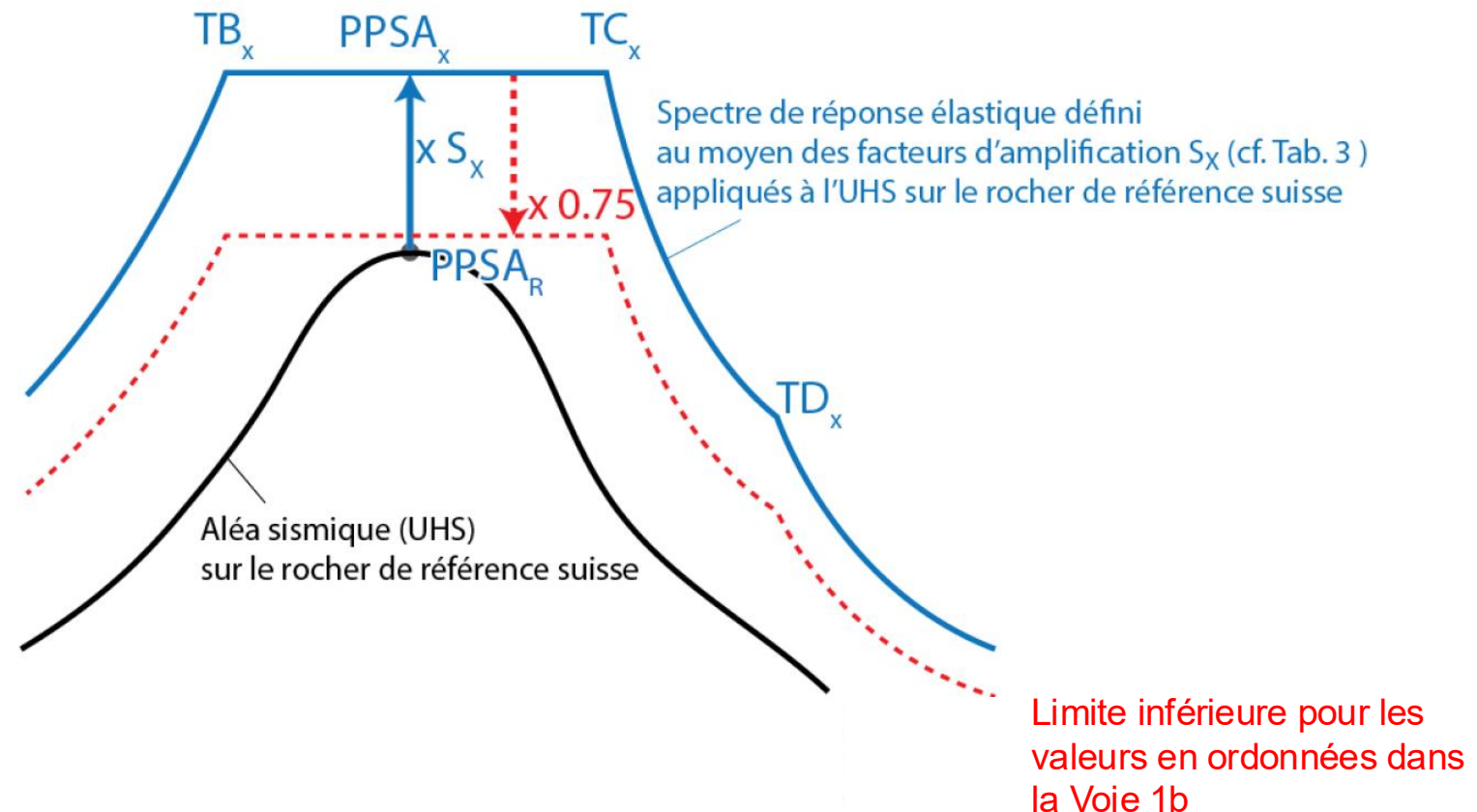




# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE, SRA

SRA: limitations aux ordonnées du spectre élastique de réponse si aléa sismique selon SUIhaz2015  
et  $V_{s30}$  locale  $800 \text{ m/s} \leq V_{s30} < 1105 \text{ m/s}$

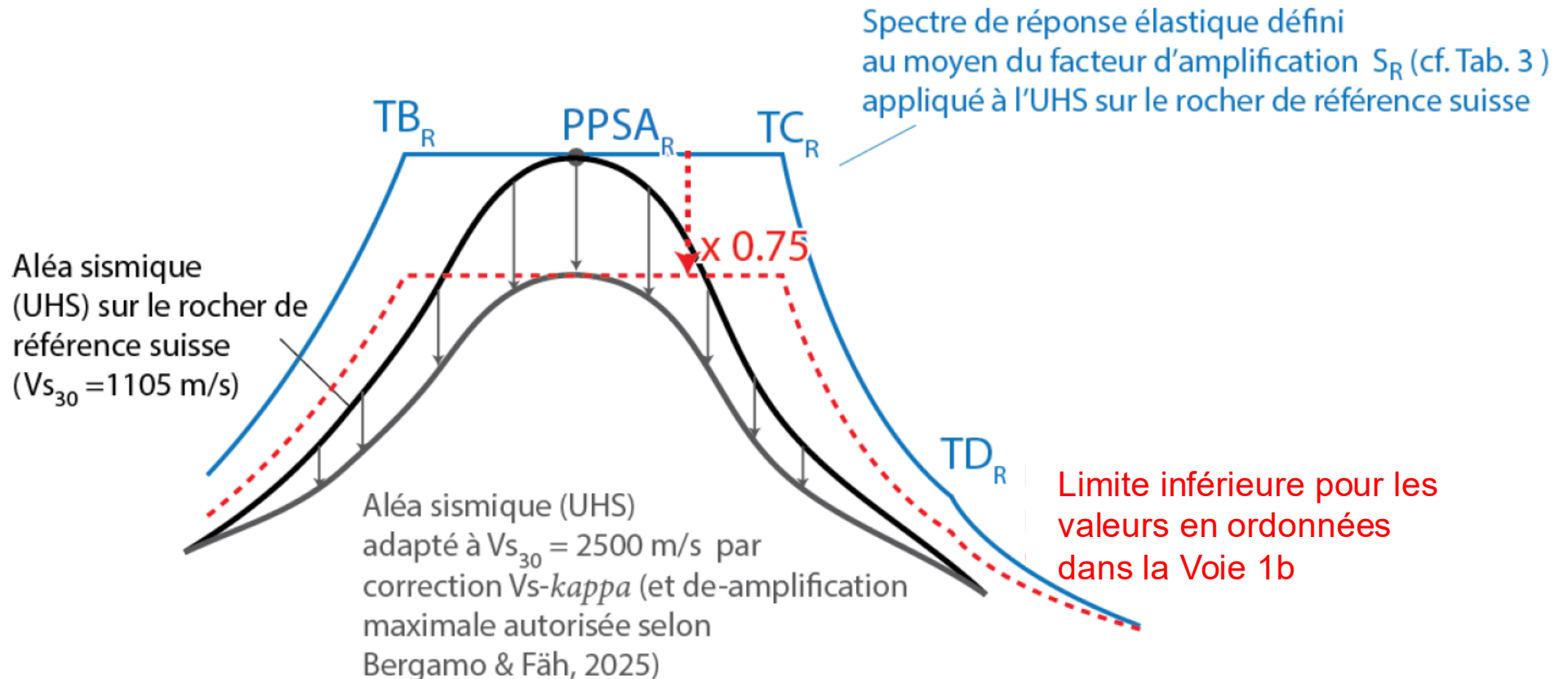




# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE, SRA

SRA: limitations aux ordonnées du spectre élastique de réponse si aléa sismique selon SUIhaz2015 et  $V_{s30}$  locale  $\geq 1105$  m/s

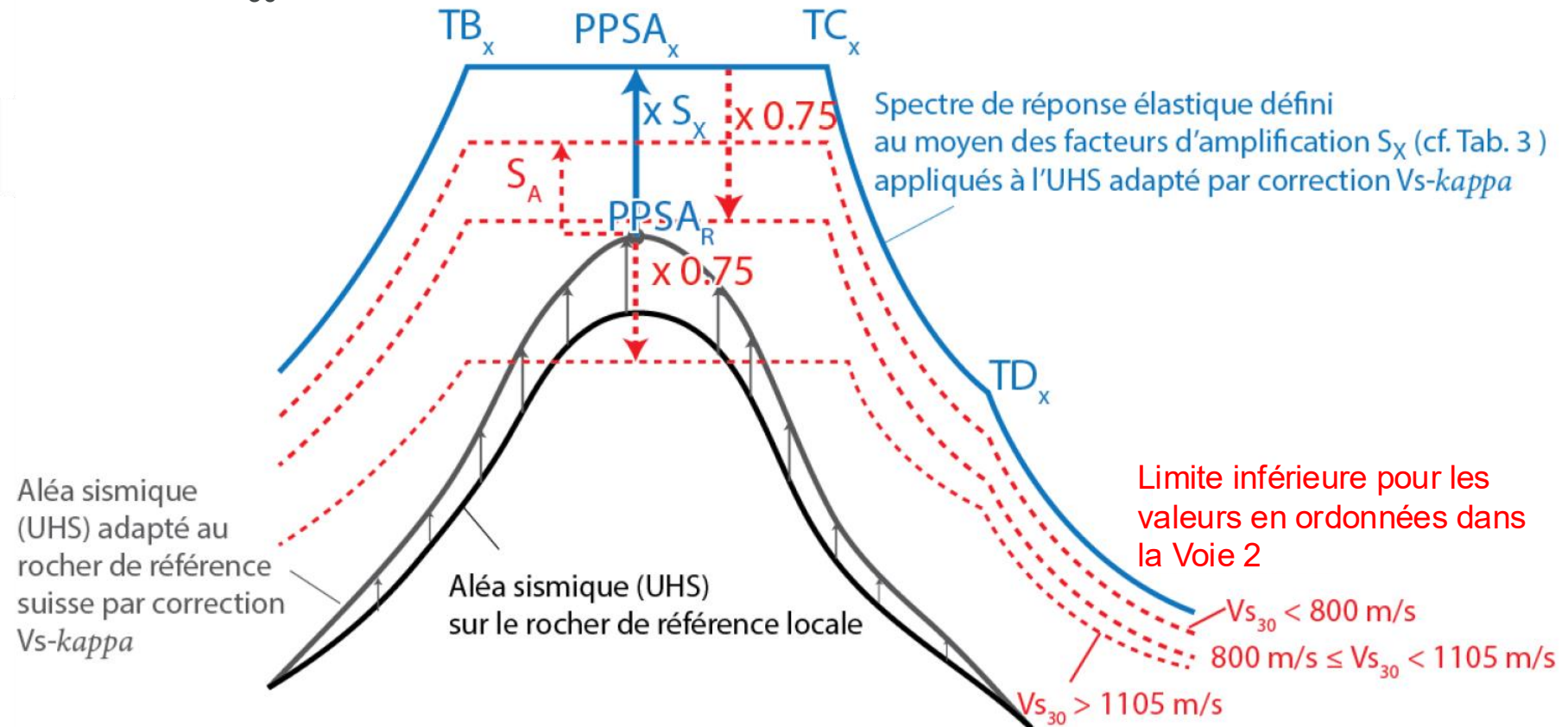




# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## ALÉA SISMIQUE SUR SITE, SRA

SRA: limitations aux ordonnées du spectre élastique de réponse si aléa sismique selon PSHA dédiée et pour toutes  $V_{s30}$  locales

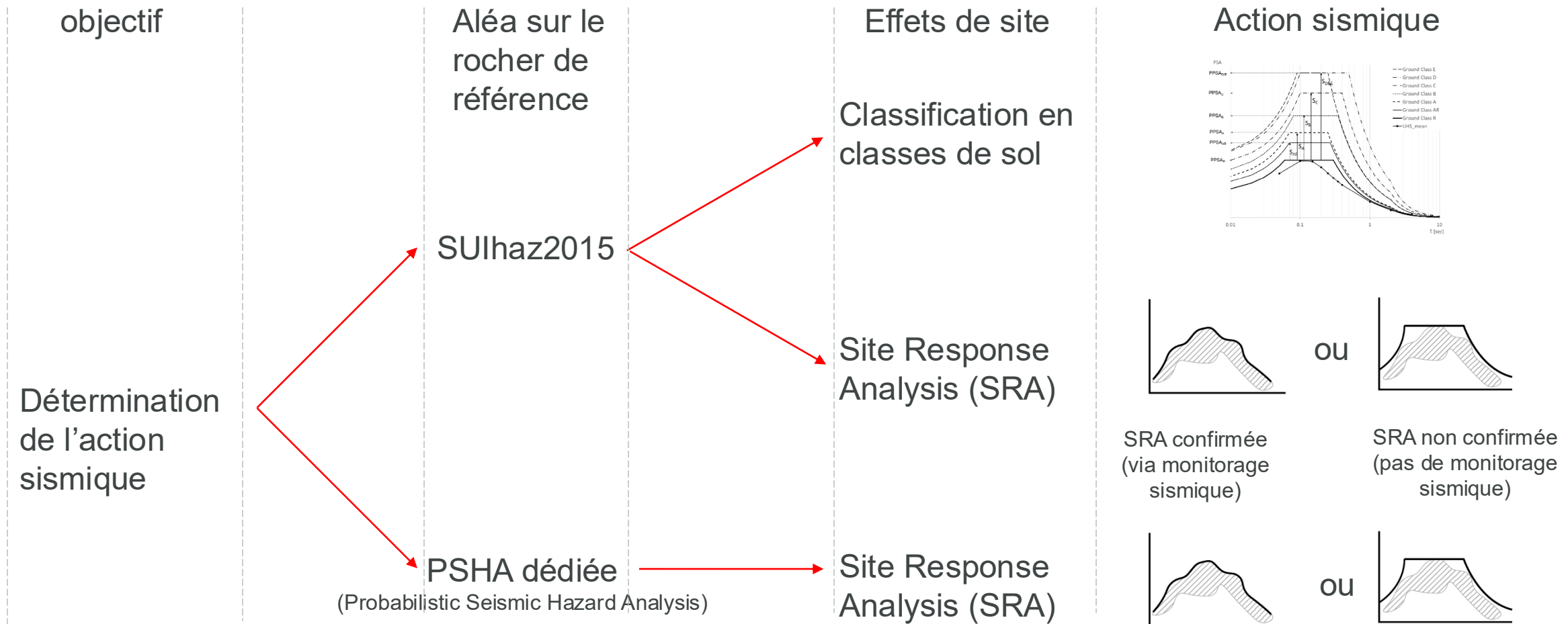






# DETERMINATION OF THE SEISMIC ACTION

## SOMMAIRES DES APPROCHES PRÉVUES PAR LA C3-2025

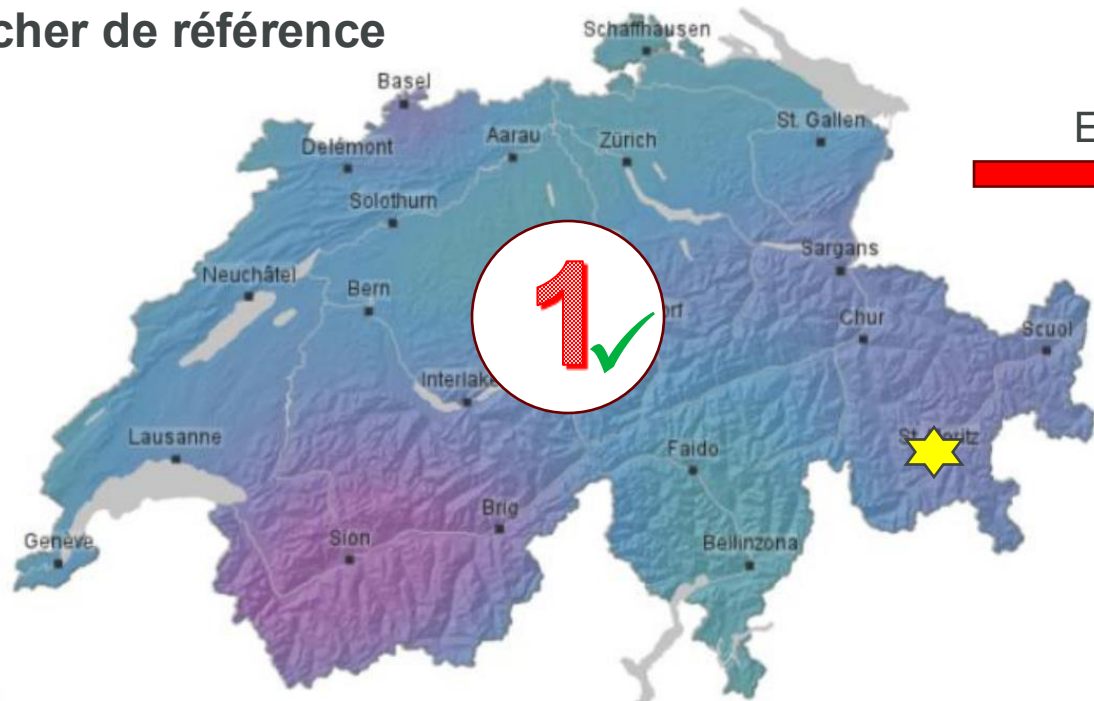




# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## CONCEPT GÉNÉRAL ET APPROCHES DANS LA C3-2025

Aléa sismique sur le  
rocher de référence



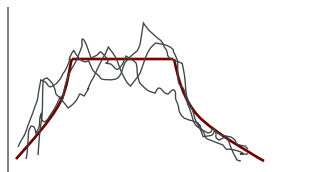
Aléa sismique  
sur site



Effets de site



4



Sélection des séismes  
compatibles



3



Détermination du  
spectre de réponse élastique  
ex. : Classe de sol A



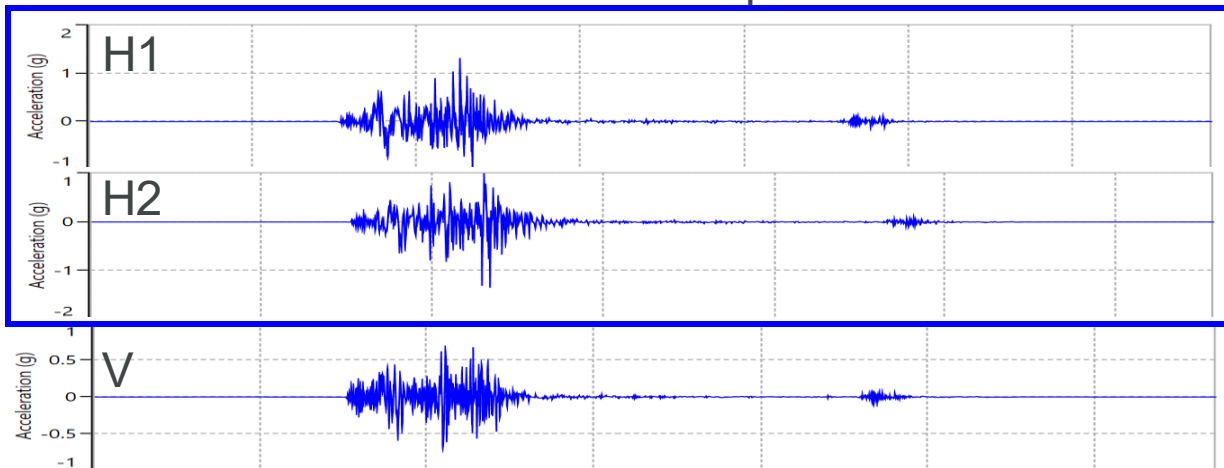
# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## TRACES TEMPORELLES DE L'ACCÉLÉRATION

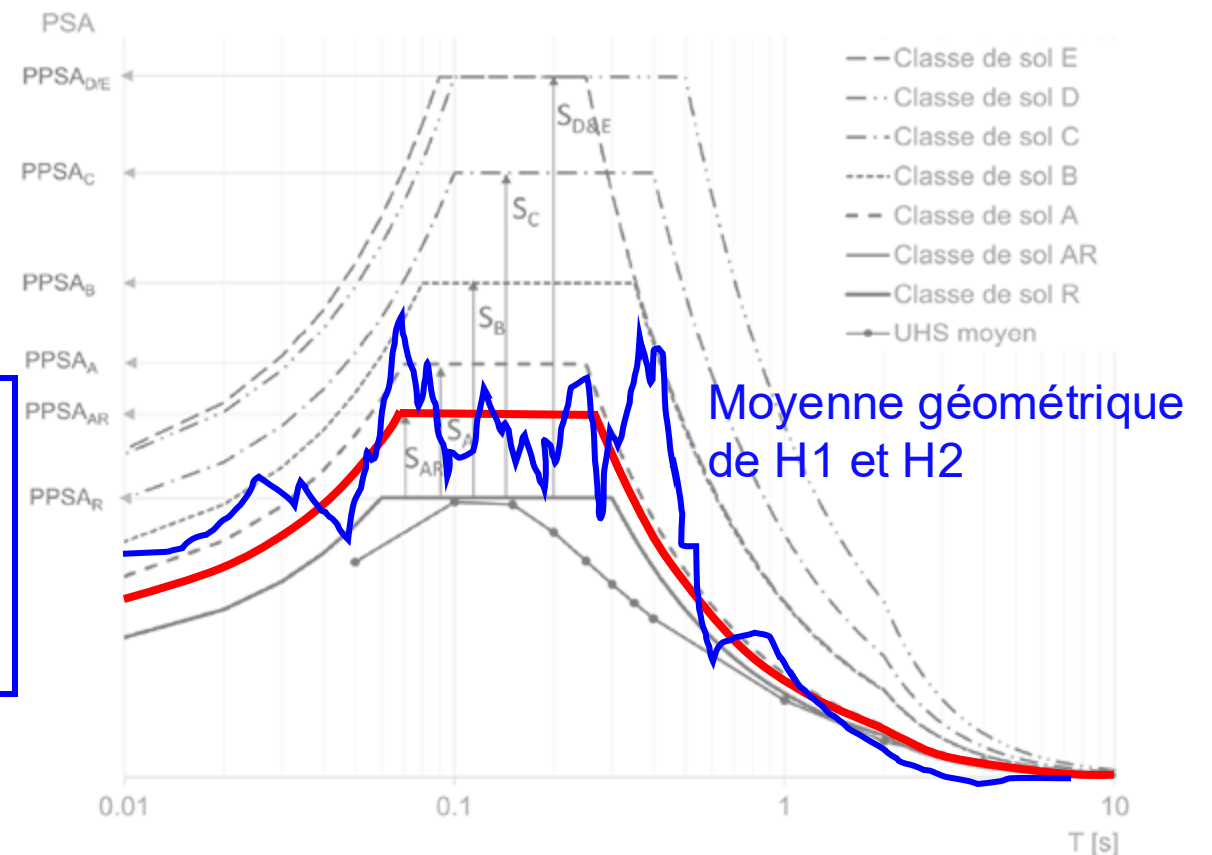
Sélection d'au moins **7 traces temporelles** de l'accélération (3 composantes chacune)

- **Compatibles** avec la  $V_{s30}$  du site
- Compatibles avec le **scénario sismique** (désagrégation de l'aléa ( $M_w$ ,  $R_{JB}$ ,  $A_i$ ,  $D_{5-95}$ ) et contexte tectonique)
- Compatibles avec le **spectre de réponse élastique Target**

Domaine du temps



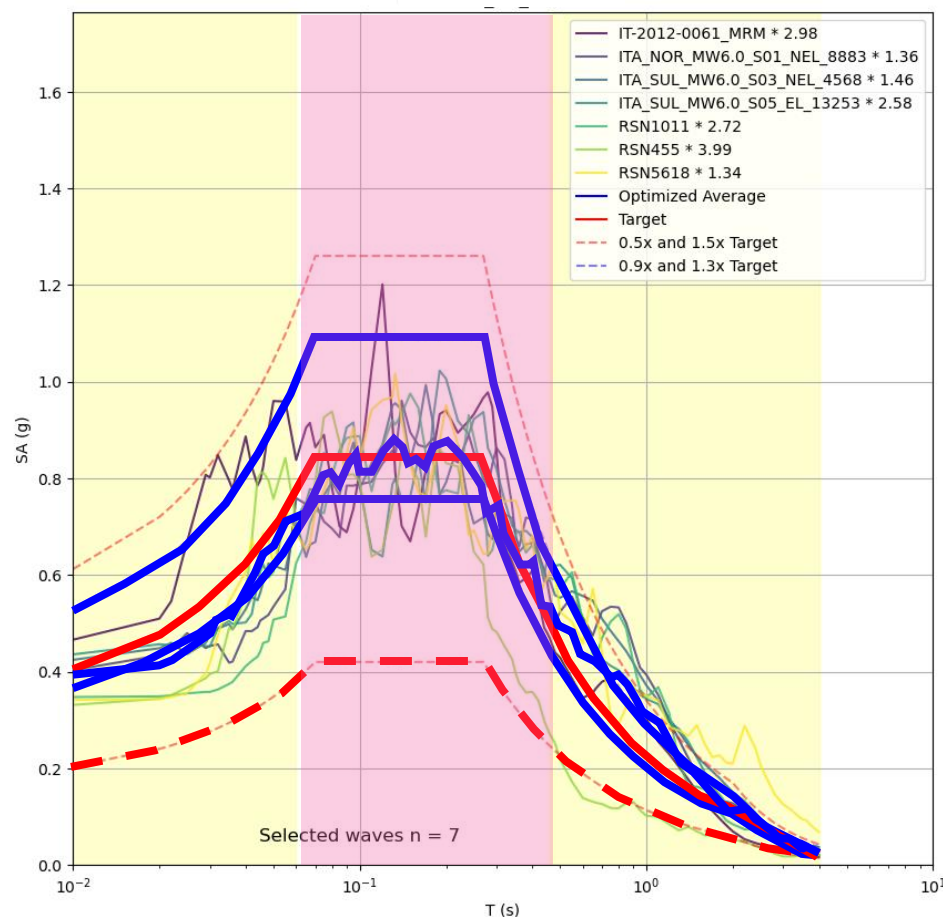
Domaine des fréquences





# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## TRACES TEMPORELLES DE L'ACCÉLÉRATION



Utiliser des enregistrements de tremblements de terre ou des séismes simulés physiquement (e.g., BB-Speed).

Possibilité de mettre à l'échelle linéairement les amplitudes d'accélération → facteurs d'échelle comprises entre 0.25 et 4.

Si la recherche est infructueuse → possibilité de faire appelle au *spectral matching*

Critères de compatibilité avec le spectre Target (dans la plage de périodes pertinentes → 0.2  $T_1$  à 1.5  $T_1$ )

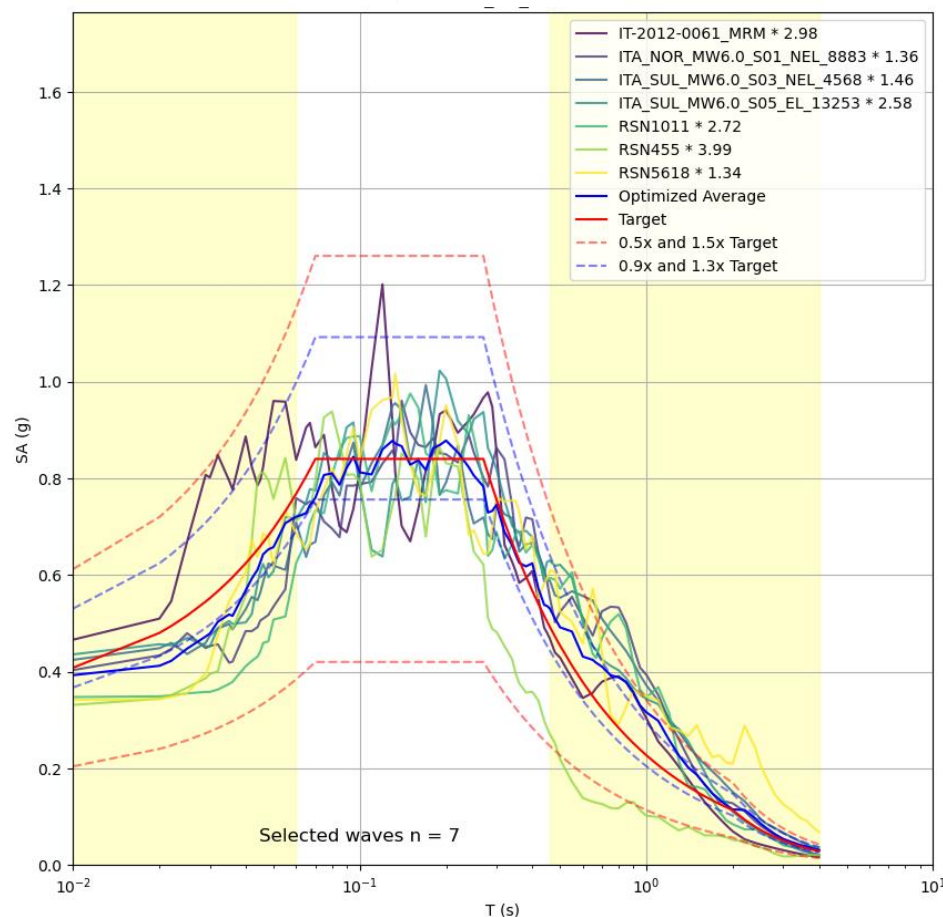
- Pour chaque trace individuelle les accélération spectrales  $\geq 50\%$  du Target
- Pour chaque période de vibration la moyenne des accélération spectrales de la sélection doit être comprise entre 90 et 130 % du Target
- La valeur moyenne, pour toutes les périodes, des rapports entre la moyenne arithmétique des spectres de réponse de toutes les séries temporelles et le spectre de réponse cible ne doit pas être inférieure à 0.95.





# DÉTERMINATION DE L'ACTION SISMIQUE

## TRACES TEMPORELLES DE L'ACCÉLÉRATION



Pour la sélection il y a 3 possibilités:

- Faire une recherche indépendant et respecter le chapitre 4.3.5 de la directive C3-2025, validation de la sélection par l'autorité de surveillance
- Utiliser les sélections zonales mises à disposition par l'OFEN et remettre à l'échelles les traces temporelles en fonction des accélération du Target (plage des périodes pertinentes: de 0.02 à 1.2 s), validation de la mise à l'échelle par l'autorité de surveillance
- Demander à l'OFEN une sélection spécifique pour l'ouvrage d'accumulation concerné (spécificité: forme du Target et plage de périodes pertinentes)

**Solution conseillée**



# MERCI POUR VOTRE ATTENTION !



Federico Galster  
Spécialiste surveillance des barrages

DETEC OFEN TS

[federico.galster@bfe.admin.ch](mailto:federico.galster@bfe.admin.ch)

energieplus.com