

Symposium 26 janvier 2023 - Chambéry

➤ 10 ans de collaboration franco-italienne transfrontalière
2013-2023 sur la sécurité des barrages à travers
les projets européens Interreg RISBA, RESBA et RITA

Laurent PEYRAS, INRAE - France

Paolo ROPELE, Regione Autonoma Valle d'Aosta - Italia

Roberto DEL VESCO, Regione Piemonte - Italia

➤ Programme européen de coopération Interreg ALCOTRA France-Italie

- ❑ L'Europe s'est doté depuis plus de 15 ans d'un programme de coopération entre les régions frontalières italiennes et françaises dans l'objectif de renforcer la cohésion entre les pays :

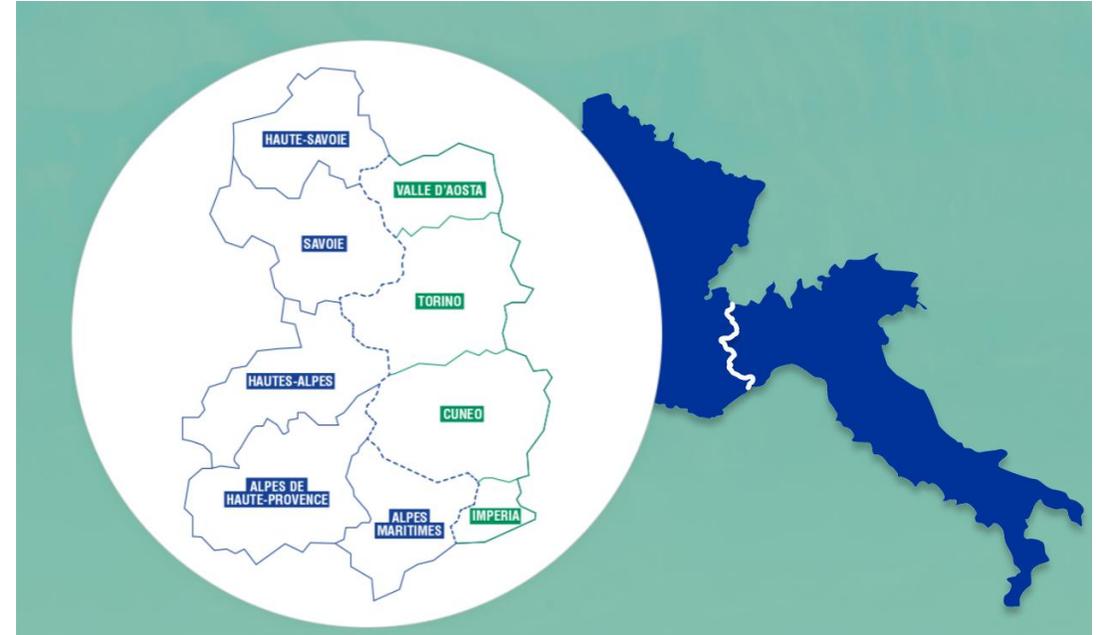


➔ le programme Interreg ALCOTRA

- ❑ Programmes 2007-2013, puis programme 2014-2020 : l'ambition d'ALCOTRA est de stimuler la complémentarité et le dynamisme des territoires en vue d'un développement durable et solidaire
- ❑ INRAE, la Région du Piémont, la Région du Val d'Aoste ont collaboré ensemble sur 3 projets successifs retenus au financement du programme Interreg ALCOTRA
 - RISBA Risques des Barrages (2012 – 2015)
 - RESBA REsilience des Barrages (2017 – 2020)
 - RITA Réponse aux Impacts de la Tempête Alex (2022 – 2023)

➤ La zone transfrontalière France-Italie et les barrages

❑ Régions couvertes par la zone ALCOTRA :



- ❑ De grands barrages hydroélectriques en France et en Italie
- ❑ Un parc important de retenues d'altitude pour la production de neige de culture : ~ 200 en France et Italie
- ❑ De très nombreux petits et moyens barrages pour l'agriculture : plusieurs milliers en France et en Italie

➤ **Projet RISBA Risques des BArrages (2012 – 2015)**



❑ **Le projet RISBA centré sur les retenues d'altitude**

❑ **Partenaires : Piémont, Val d'Aoste, INRAE**

❑ **Budget : 950 k€**

❑ **WP Sécurité des barrages**

Enquête de retour d'expérience sur les barrages de la zone transfrontalière

Surveillance des risques géologiques gravitaires par interférométrie satellitaire

Evaluation de la vulnérabilité des barrages vis-à-vis de l'aléa sismique

Durabilité des matériaux géosynthétiques

Evaluation de la vulnérabilité des barrages soumis à la présence d'une végétation arborescente

❑ **WP Définition du risque en aval des barrages**

Onde de rupture d'un barrage incluant des eaux chargées et des laves torrentielles

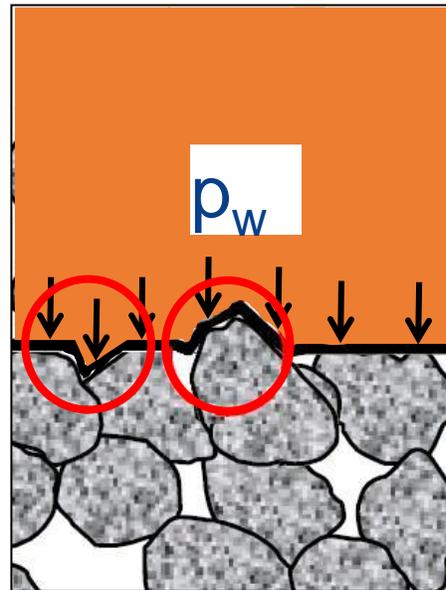
Méthodologies visant à évaluer la vulnérabilité des enjeux en aval des barrages



➤ Performance des dispositifs d'étanchéité par géomembrane (DEG) vis-à-vis de sollicitations de poinçonnement (INRAE)



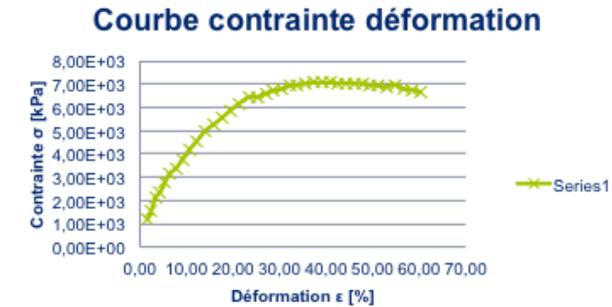
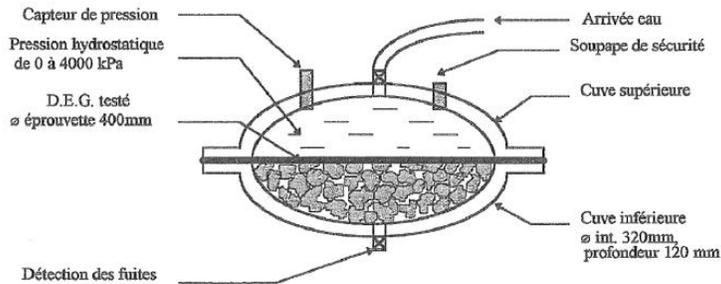
- ❑ Description : le **poinçonnement** est le phénomène qui peut, à court ou long terme, conduire à des déformations/endommagements de la géomembrane pouvant aller jusqu'à la **rupture de l'étanchéité**
- ❑ Dans le cas des retenues d'altitude, l'origine du poinçonnement vient principalement d'une **couche support trop agressive** et d'un **géotextile de protection insuffisant**



➤ Performance des dispositifs d'étanchéité par géomembrane (DEG) vis-à-vis de sollicitations de poinçonnement (INRAE)



- ❑ Développement d'un **protocole expérimental de qualification de la performance au poinçonnement d'un DEG** : *essai d'endommagement par poinçonnement hydrostatique + essai d'éclatement par presse de traction multiaxiale*



- ❑ Campagne d'essais sur géomembrane en PVC avec plusieurs géotextile 500 à 1000 g/m², plusieurs types de couches supports (0-20 ; 0-31⁵)

- ❑ Livrable : des **recommandations techniques**



PH8 - aucun GTX
Visuel : fortes déformations et indentations
 $\epsilon_{max} = 57\%$
 → Protection insuffisante



PH1, GTX : 800 g/m², fibres recyclés
Visuel : Fortes déformations
 $\epsilon_{max} = 55\%$
 → Protection insuffisante



PH3, GTX : 800 g/m²
 Fibres vierges
Visuel : fortes déformations
 $\epsilon_{max} = 63\%$
 → Protection insuffisante



PH4, GTX : 800 g/m²
 Fibres vierges
Visuel : déformations
 $\epsilon_{max} = 71\%$
 → Protection acceptable



PH5, GTX : 1000 g/m²
 Fibres vierges
Déformations
 $\epsilon_{max} = 71\%$
 → Protection acceptable



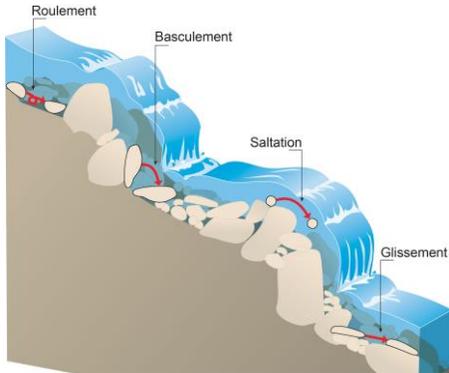
PH6, GTX : 1000 g/m²
 Fibres vierges
Déformations
 $\epsilon_{max} = 72\%$
 → Protection acceptable

➤ Onde de rupture d'un barrage avec transport solide et sensibilité à la formation de laves torrentielles (INRAE, Val d'Aoste)

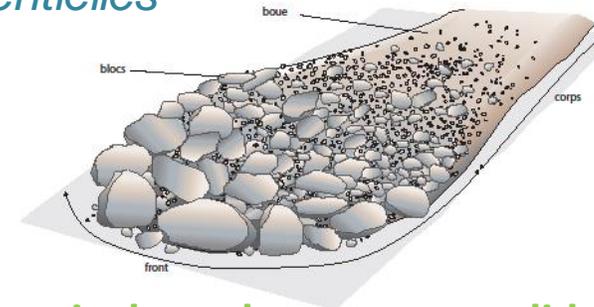


- ❑ La rupture d'une retenue d'altitude est susceptible de déclencher des phénomènes torrentiels en plus d'une onde d'eau claire, du fait des fortes pentes et des matériaux mobilisables dans le remblai et le talweg récepteur

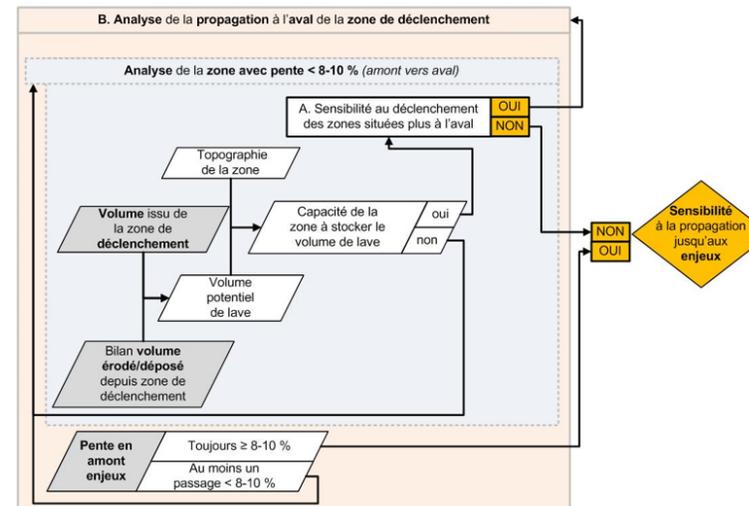
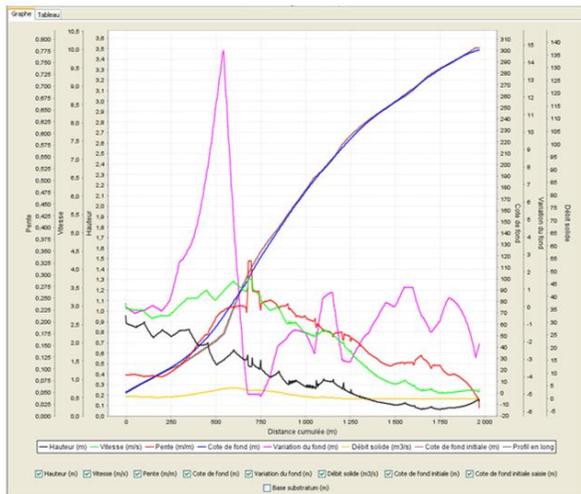
Le charriage torrentiel



Les laves torrentielles



- ❑ Livrables : - un code de calcul pour calculer l'onde de rupture incluant le transport solide
- des logigrammes pour l'évaluation d'un site au déclanchement de laves torrentielles



➤ **Projet RESBA REsilience des BArrages (2017 – 2020)**

- ❑ RESBA concernait tous les barrages de la zone transfrontalières de toute taille
- ❑ Partenaires : Val d'Aoste, Piémont, Ecole Polytechnique de Turin, Métropole de Turin, INRAE, USMB, DREAL ARA, Préfecture de Savoie / protection civile
- ❑ Budget : 1'973 k€
- ❑ WP Planification des actions d'urgence et de la protection civile

Vulnérabilité des barrages vis-à-vis de l'aléa hydrologique dans la zone transfrontalière Italie France

Méthode pour la modélisation des sédiments déclenchés par la rupture d'un barrage en terre

Préparation d'un plan d'urgence et mise en œuvre d'un exercice de protection civile en Italie pour un barrage en territoire transfrontalier (barrage du Mont-Cenis)



➤ **Projet RESBA REsilience des BArrages (2017 – 2020)**



☐ **WP Performance et vulnérabilité des barrages**

Enquête et base de données des accidents et presque accidents

Vulnérabilité des barrages vis-à-vis de l'aléa sismique dans l'arc Alpin France Italie

Vulnérabilité des barrages vis-à-vis des chutes de blocs des versants

Méthodes rapides à base d'indicateurs pour l'évaluation de la performance des barrages

Développement d'un outil de gestion des presque accidents de barrages

Etude de la stabilité sur pente d'un dispositif d'étanchéité par géomembrane (DEG)

Développement d'une technologie de détection localisée des fuites par fibre optique (avec GéophyConsult)



Développement de méthodes géophysiques pour la détection localisée et la quantification des fuites

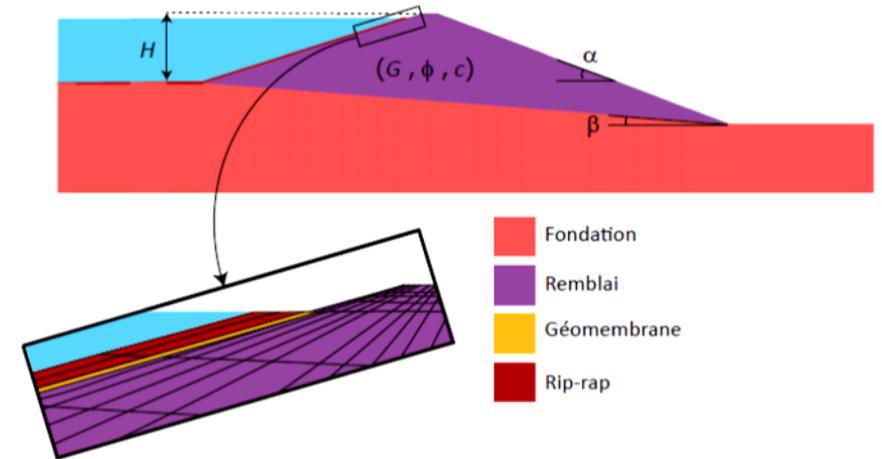
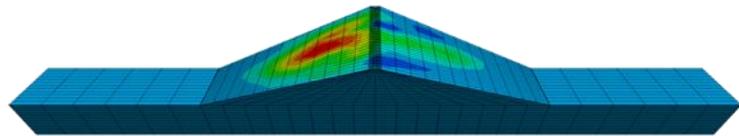
Technologie et utilisation de l'interférométrie pour la surveillance des barrages

➤ Vulnérabilité des barrages vis-à-vis de l'aléa sismique dans l'arc Alpin France Italie (INRAE, Ecole Polytechnique Turin)

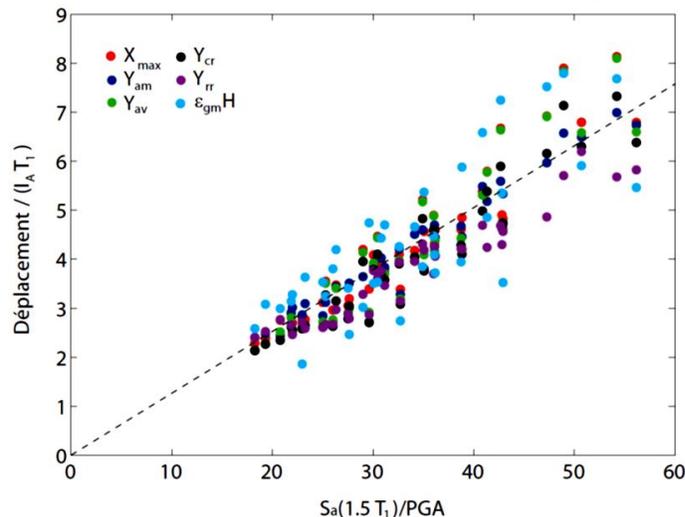
☐ Performance sismique d'un barrage par analyse dynamique non-linéaire

Etude paramétrique (géométrie, propriétés mécaniques) de retenues étanché par DEG, avec le tirage aléatoire des paramètres géomécaniques

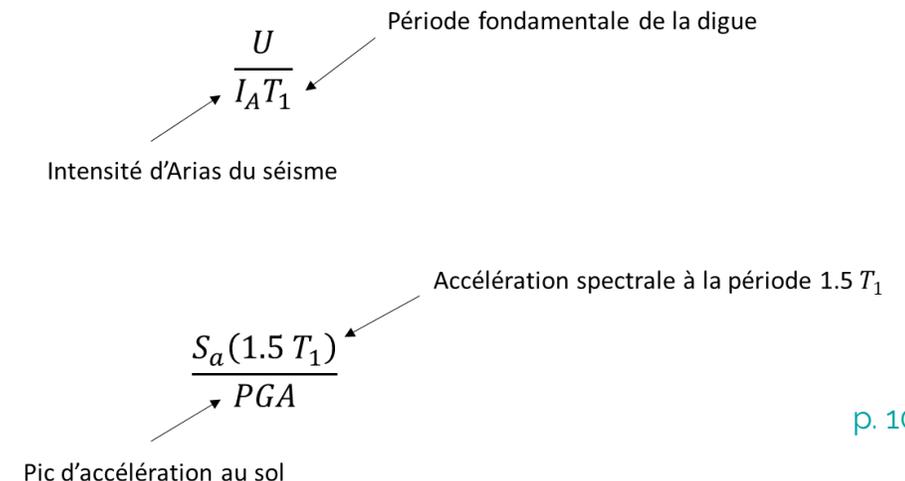
Simulations 3D par modélisation dynamique non-linéaire et génération d'une grande série de données pour analyse statistique



Etablissement d'une relation empirique pour évaluer l'amplitude de l'endommagement en fonction d'un nombre sans dimension intégrant les caractéristiques géotechniques de l'ouvrage et sur l'aléa sismique du site



$$\frac{U}{I_A T_1} = 0.1 \frac{S_a(1.5 T_1)}{PGA}$$

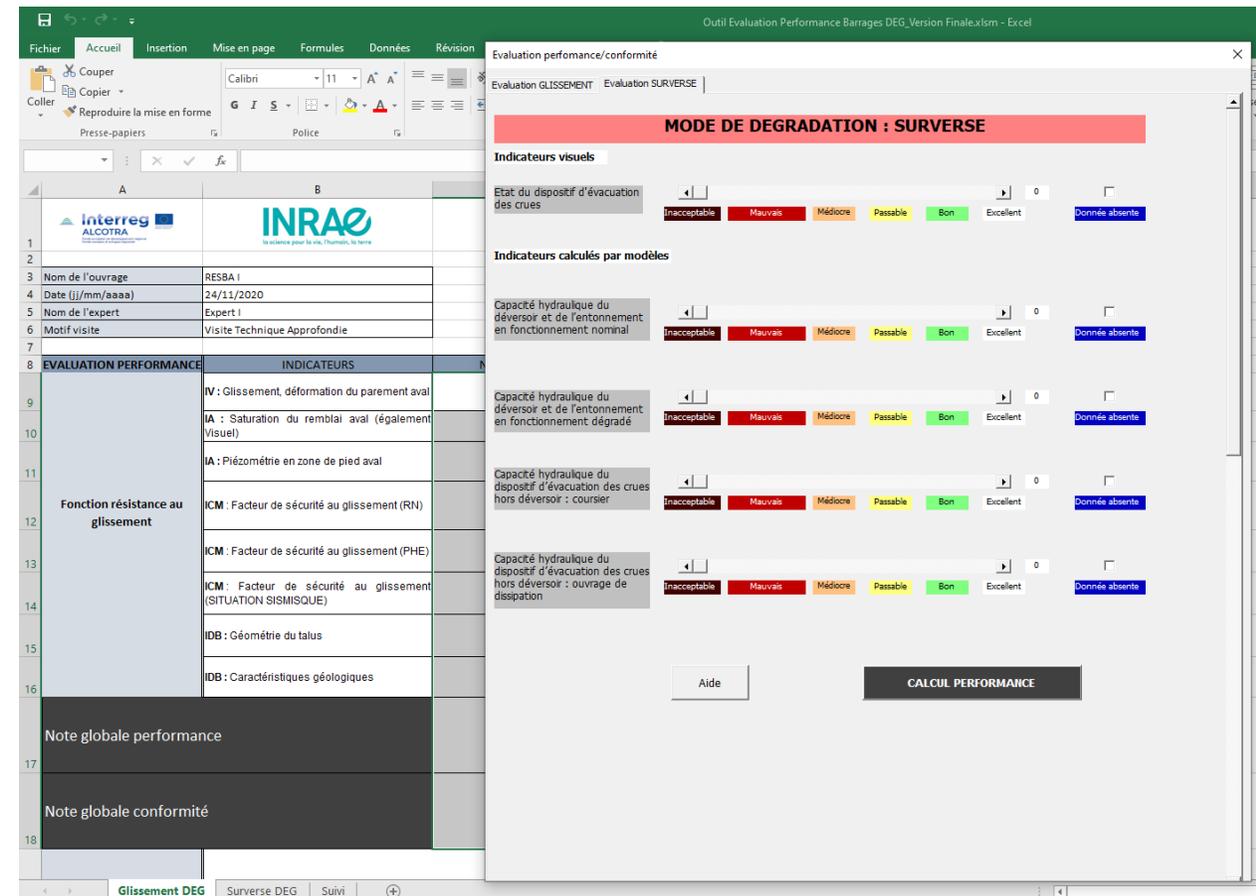


➤ Méthodes rapides à base d'indicateurs pour l'évaluation de la performance et conformité des barrages (INRAE, Piémont, Aoste)

- ❑ Modèles et outils pour une évaluation rapide de petits barrages à partir d'indicateurs visuels, géométriques et géotechniques (essentiels), sur les 3 principaux mécanismes de rupture (surverse, glissement, érosion interne)

Développement :

- modèles fonctionnels à base d'indicateurs
- de règles d'évaluation des indicateurs
- de règles d'agrégation d'indicateurs
- Utilitaire d'évaluation rapide (2 heures) d'un petit barrage

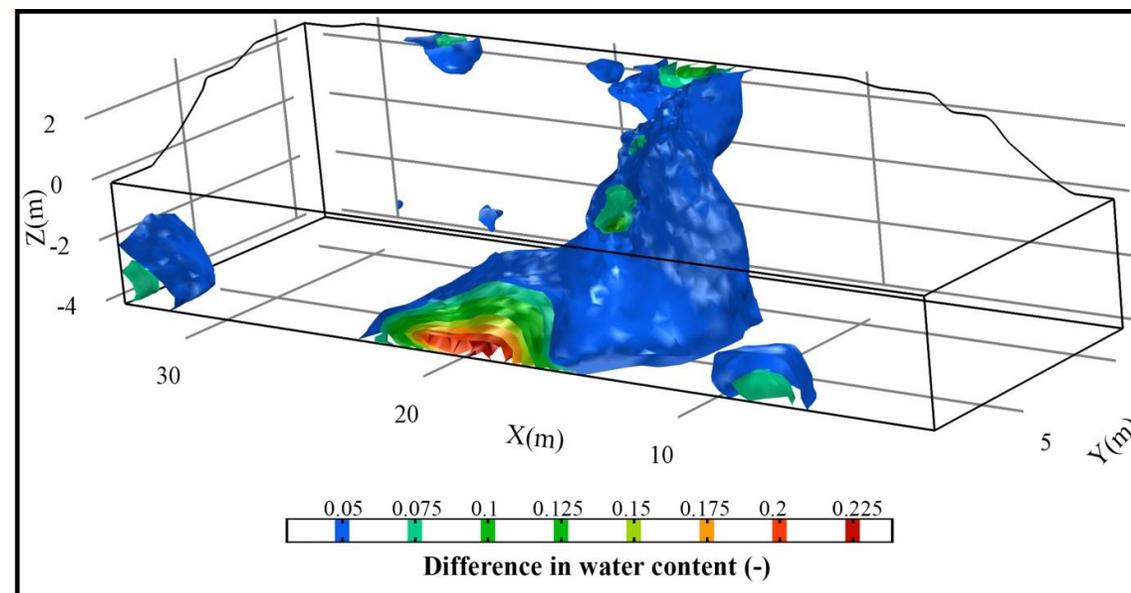
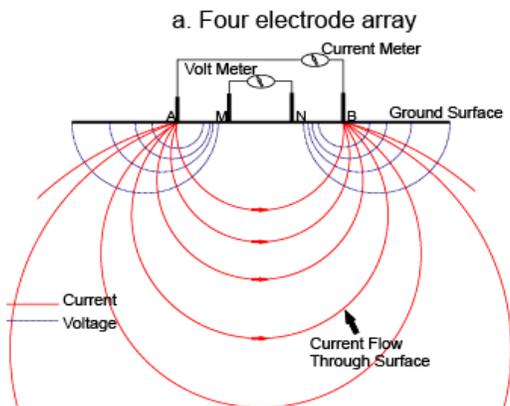
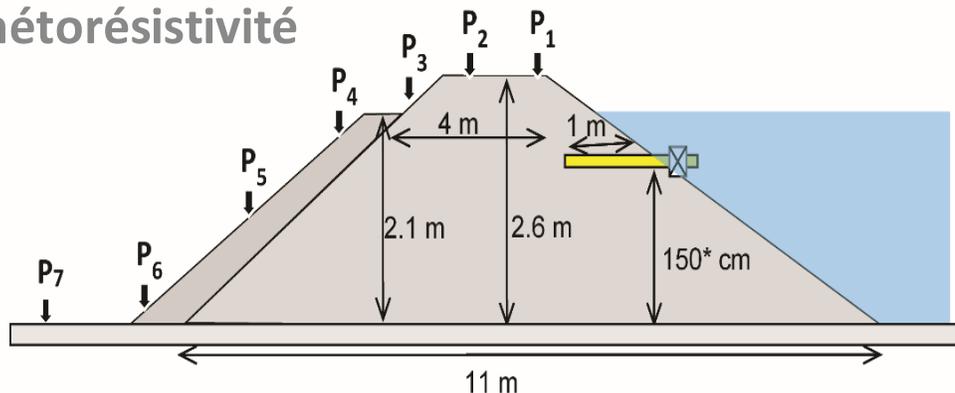


| INDICATEURS | INDICATEURS |
|--|-------------|
| IV : Glissement, déformation du parement aval | |
| IA : Saturation du remblai aval (également Visuel) | |
| IA : Piézométrie en zone de pied aval | |
| ICM : Facteur de sécurité au glissement (RN) | |
| ICM : Facteur de sécurité au glissement (PHE) | |
| ICM : Facteur de sécurité au glissement (SITUATION SISMIQUE) | |
| IDB : Géométrie du talus | |
| IDB : Caractéristiques géologiques | |

➤ Développement de méthodes d'imagerie géophysique pour la détection localisée et la quantification des fuites (USMB, INRAE)

☐ 3 approches géophysiques évaluées

- Tomographie de polarisation provoquée
- Imagerie de magnétorésistivité
- Mise à la masse



➤ **Projet RITA Réponse aux Impacts de la Tempête Alex (2022 – 2023)**

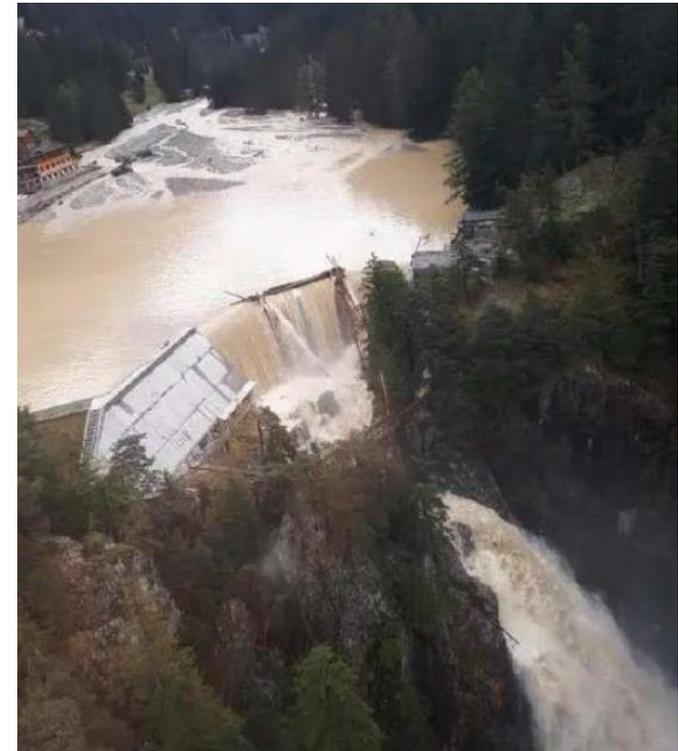


- ❑ **Le projet RITA centré sur les retenues d'altitude**
- ❑ **Partenaires : Val d'Aoste, Ecole Polytechnique de Turin, CNR-IRPI, INRAE, USMB**
- ❑ **Budget : 987 k€**
- ❑ **WP Réponse structurelle pour les infrastructures hydrauliques soumises aux impacts de risques naturels et hydroclimatiques telle que la tempête Alex**

Développement d'outils d'évaluation de la performance et de la conformité aux règles de l'art des infrastructures hydrauliques soumis à des événements climatiques

Amélioration de la résistance des infrastructures hydrauliques face aux impacts des événements climatiques

Développement de méthodes d'auscultation des infrastructures hydrauliques pour la prévention et le diagnostic face aux risques liés aux événements climatiques



➤ **Projet RITA Réponse aux Impacts de la Tempête Alex (2022 – 2023)**



❑ **WP Retour d'expérience de la tempête Alex et réponse en terme de gestion**

Amélioration de la capacité de réponse en terme de gestion d'un territoire face aux événements climatiques

Analyse du bilan sédimentaire et de la métamorphose fluviale de l'ensemble du bassin versant de la Vésubie en lien avec la tempête ALEX

Modélisation 1D hydro-sédimentaire en aval d'un barrage : analyse comparative de scénarios issus de la tempête ALEX ou de ruptures de barrages d'altitude



Vésubie à Roquebillière – Avant ALEX



Vésubie à Roquebillière – Après ALEX

> Synthèse



- ❑ **3 projets européens conduisant à 10 ans de coopération transfrontalière entre l'Italie et la France dans le domaine des retenues d'altitude, des retenues étanchées par DEG et des barrages de petite à moyenne hauteur**
- ❑ **De nombreux livrables utiles pour la profession (gestionnaires, BE, autorité de contrôle)**
 - Performance et durabilité des DEG
 - Auscultation : détection des fuites (géophysique, FO), déplacements versant et ouvrages (interférométrie satellitaire)
 - Evaluation de la vulnérabilité des barrages vis-à-vis de l'aléa sismique
 - Evaluation des ondes de rupture chargées dans un contexte de forte pente en montagne
 - Evaluation rapide à base d'indicateurs des petits et moyens barrages
- ❑ **De nombreuses publications techniques (livres, guides, communications) et scientifiques (revues de rang A)**
- ❑ **Et surtout une grande proximité des équipes INRAE, Régions Piémont et d'Aoste, USMB, Ecole Polytechnique de Turin et connaissance mutuelle des contextes nationaux et régionaux de la gestion des barrages**