

Ouvrages de protection instrumentés pour caractériser les aléas

S. LAMBERT, INRAE-IGE

stephane.lambert@inrae.fr

Objet et contenu de la présentation

Ouvrages de protection contre les aléas gravitaires de montagne, instrumentés, sur site et exposés à évènements réels

Instrumentation caractérisant l'aléa de façon plus ou moins directe

- Dispositif d'alerte: occurrence de l'aléa
- Mesures caractérisant l'aléa
- Chargement sur l'ouvrage
- Réponse de l'ouvrage

Contexte opérationnel

- Solutions récentes

Contexte recherche

- Pratique courante depuis des décennies

Contexte opérationnel

Dispositifs installés sur filets (pare-blocs, pare-lave, paravalanche)

Information 'événementielle':

Activation d'alarmes

Gestion du patrimoine (inspections déclenchées ou évitées)

Indication du niveau de sollicitation par l'aléa

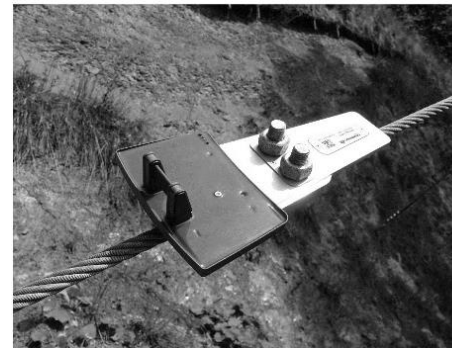
HelloMac (Maccafferi)

- Détection de déformation/déplacements



Guard (Geobrugg)

- Sollicitation de l'ouvrage: accéléromètre, tension dans les câbles



Contexte recherche

Vendredi 29 septembre - 9h-17h – MACI
Université Grenoble Alpes

Illustration d'applications, de possibilités et du potentiel à travers l'expérience d'IGE-INRAE

- Ouvrage paravalanche: Claie + Tas freineur
- Barrage souple et lave torrentielle
- Mur pare-blocs

Tas freineur d'avalanche

Taconnaz : Un site et un dispositif paravalanche exceptionnels

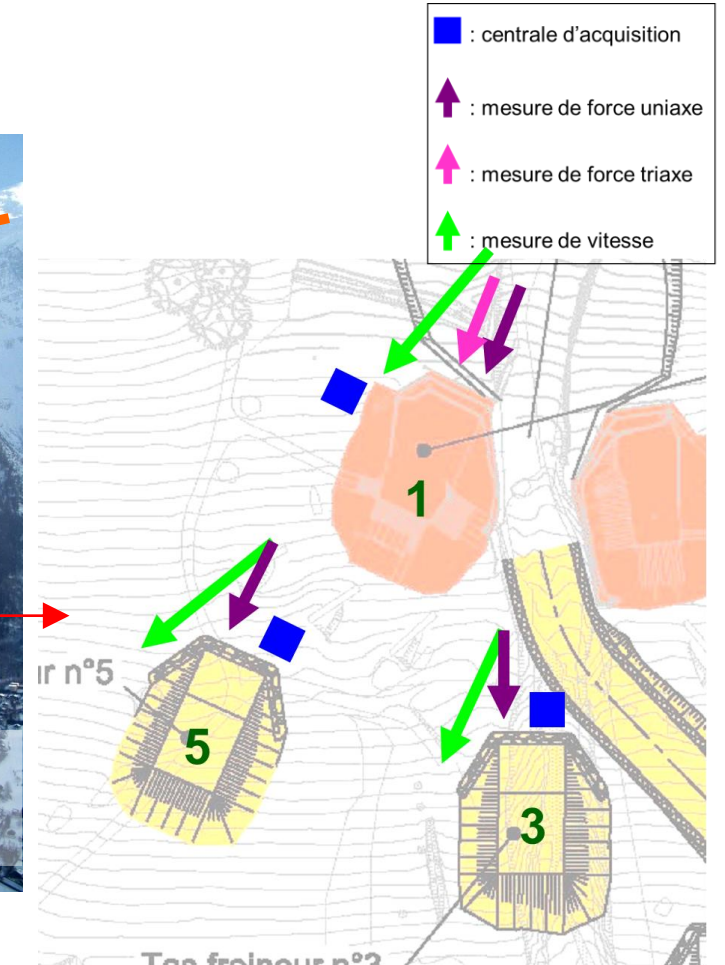
- Contenance: de l'ordre du million de m³
- Avalanche freinée et étalée par des tas freineurs (7, m de haut) puis contenue par digues latérale et frontale (25 m de haut)

Motivations pour l'instrumentation

- Mesure de la vitesse de l'avalanche
- Mesure de la pression engendrée sur les tas, à l'entrée du dispositif
- Les modèles et le dimensionnement sont-ils bons ?



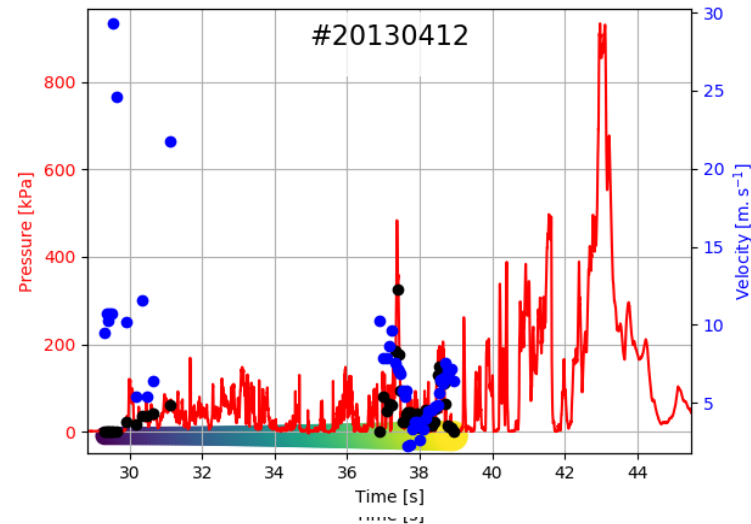
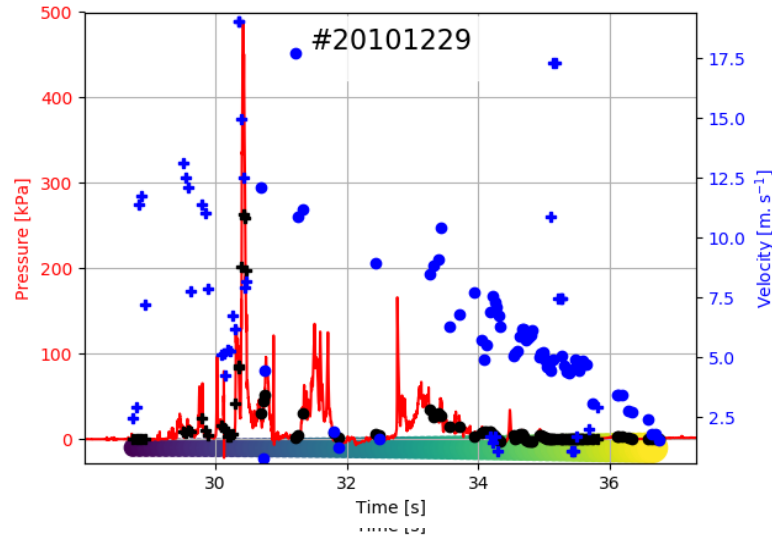
75 avalanches en 100 ans



Dispositifs originaux 'exploratoires'

Tas freineur d'avalanche

3 avalanches (2010-2017)



(Quelques) Conclusions

- Mesure automatique sur site avalanche hors norme, avec fortes contraintes, possible
- Valeurs maximales de pression de l'ordre de 1000 kPa (100 T/m²)
 - cohérent avec les valeurs considérées pour le dimensionnement de ces ouvrages
- Même à vitesse faible, l'avalanche peut exercer des pressions significatives sur l'ouvrage

Claie paravalanche

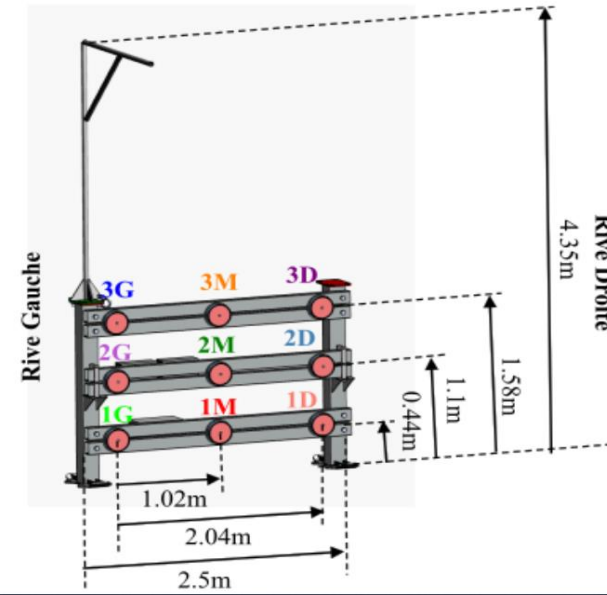
Trois sites (09, 38 et 73)

Mesures:

- distribution spatiale de la pression sur les éléments de structure
- hauteur de neige + température

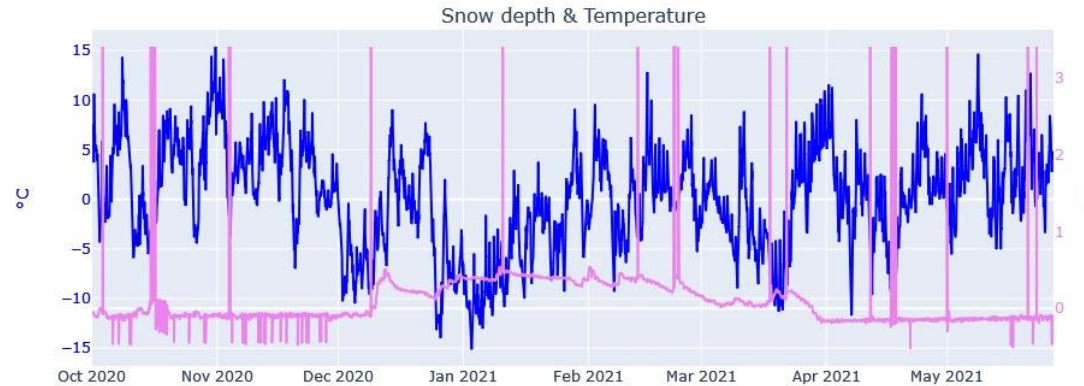
Avec pour objectifs de

- Caractériser l'évolution temporelle du manteau neigeux
- Mesurer dans le temps et l'espace le chargement par le manteau neigeux en reptation



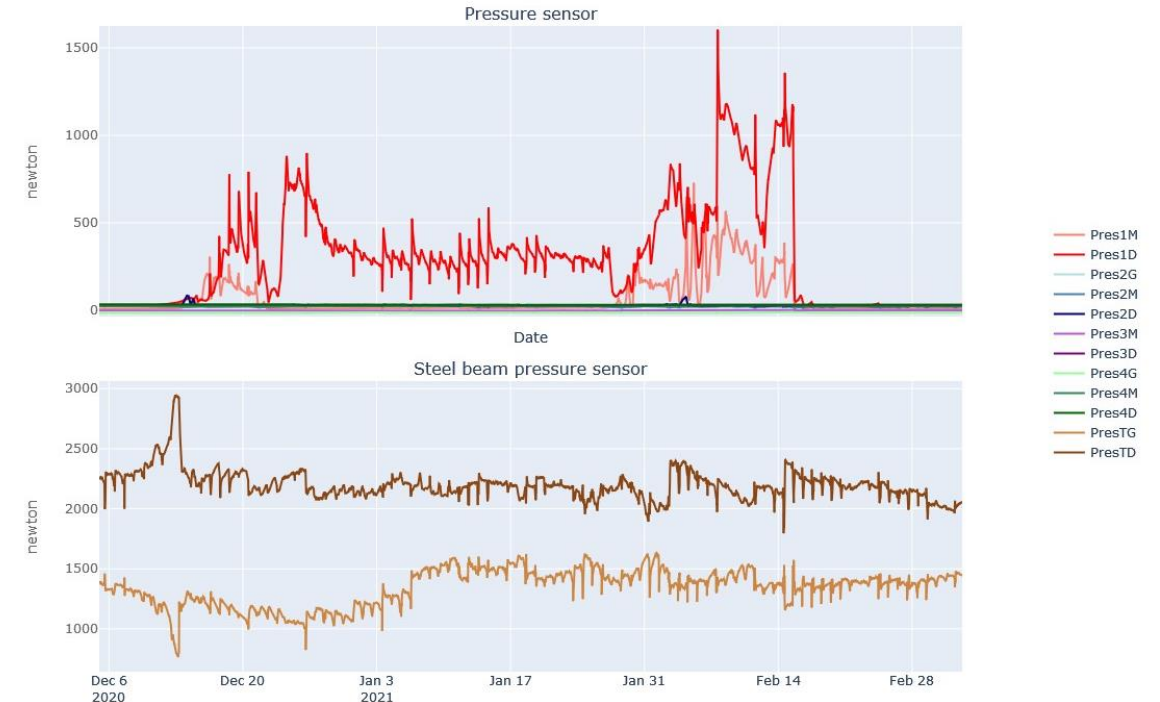
Claie paravalanche

Premières mesures



Perspectives

- Confronter ces mesures aux modèles analytiques utilisés en ingénierie (« pré-réchauffement climatique »)
- Développer un modèle numérique



Barrage souple et lave torrentielle

Barrage souple de 6 m de haut

Instrumentation :

- Pluviomètre
- Géophones
- Force dans les câbles
- Caméras et appareil photo

Avec pour objectif de caractériser

- l'écoulement (vitesse, épaisseur, taille des blocs), en fonction des précipitations et caractéristiques du BV
- le chargement sur l'ouvrage

Barrage souple instrumenté

Torrent du Tuébi

Péone (06)
Altitude: 1680 m

Crue du 11 juin 2023
de 14h10 à 14h30 UTC

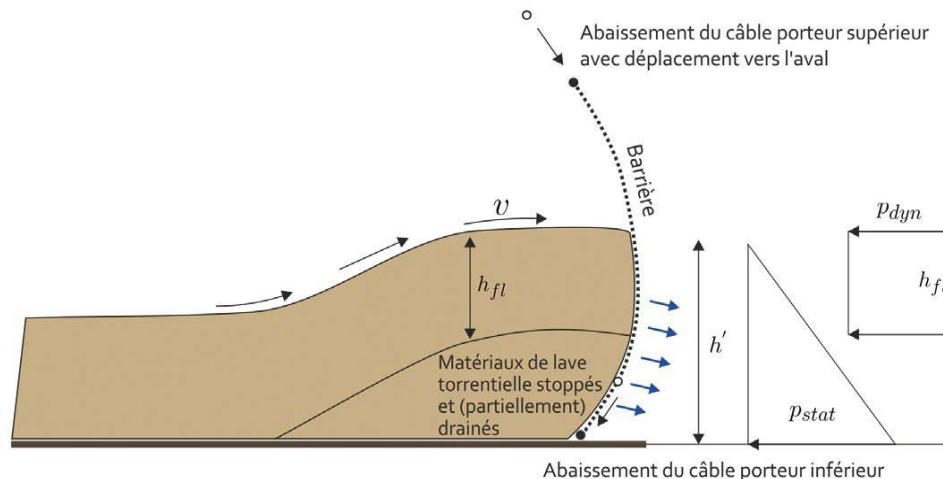
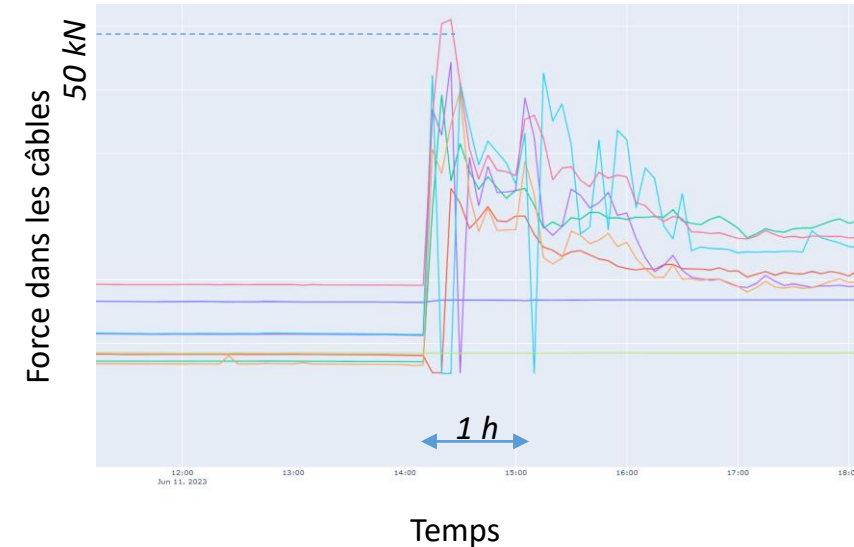
Cumul de pluie: 29 mm
Intensité max à 5 min: 35 mm/h



Barrage souple et lave torrentielle

Quelques résultats

- Intensité max. à 5 min: 35 mm/h
- Hauteur d'écoulement maximale: 1,5 m
- Vitesse d'écoulement: 8 m/s
- Force maximale dans les câbles: 50 kN



Perspectives à moyen terme

- Analyse des données décrivant l'écoulement, et mise en relation avec le bassin versant et la pluviométrie
- Confrontation avec les modèles de chargement de l'ouvrage pour ce type d'aléa

Mur pare-blocs

Technologie considérée

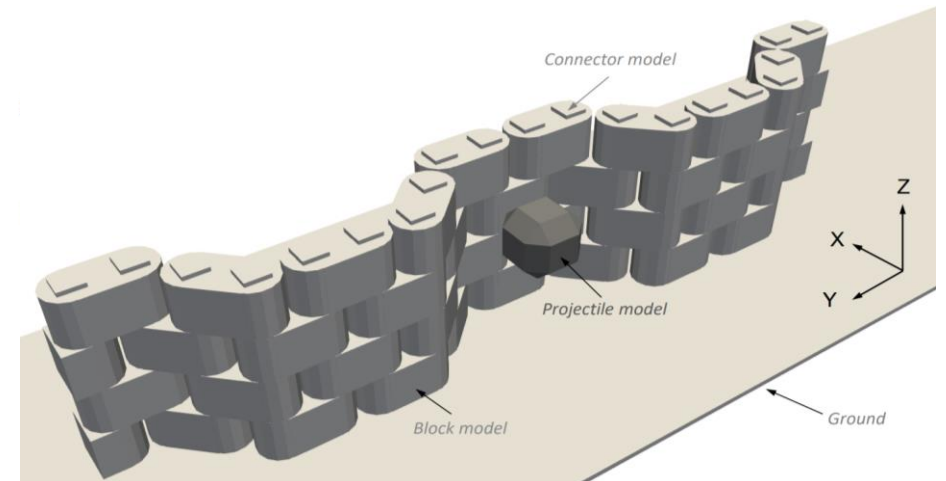
- Mur constitué d'un empilement de blocs reliés entre eux par des éléments métalliques (Bloc Armé©, Géolithe)
- Développement en cours d'une instrumentation dédiée, pour utilisation en contexte opérationnel

Impacts sur ouvrage grandeur réelle => Modèle numérique

Utilisations possibles des mesures faites durant ou après un impact ?

Par analyse inverse :

- retrouver des grandeurs caractérisant l'aléa
- estimer à distance l'état post-impact de l'ouvrage

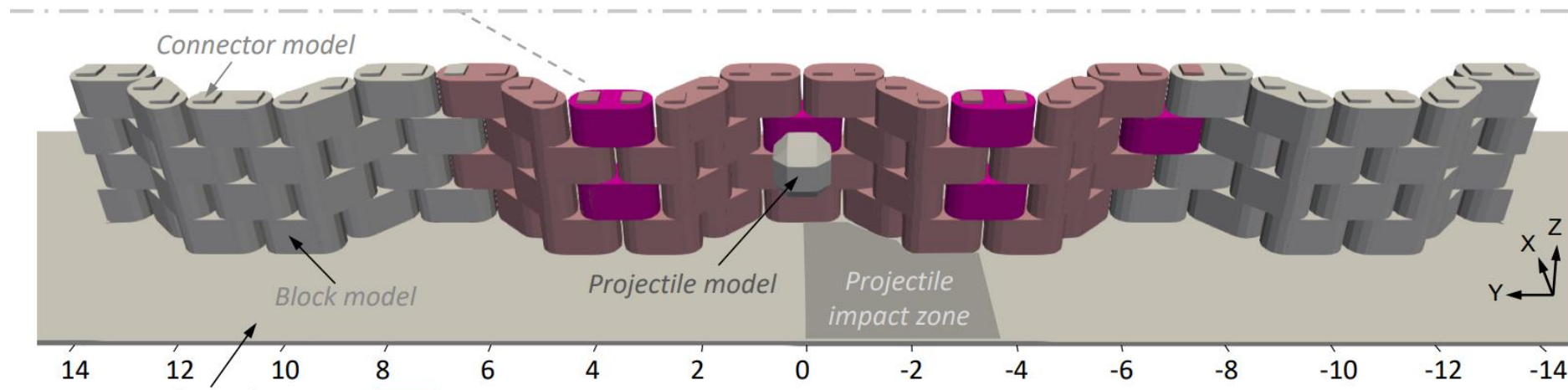


Mur pare-blocs

Principe de cette analyse inverse: les mesures faites sur site sont 'comparées' à un ensemble de réponses prédites par la simulation numérique pour déterminer les conditions d'impact conduisant au meilleur accord entre les deux

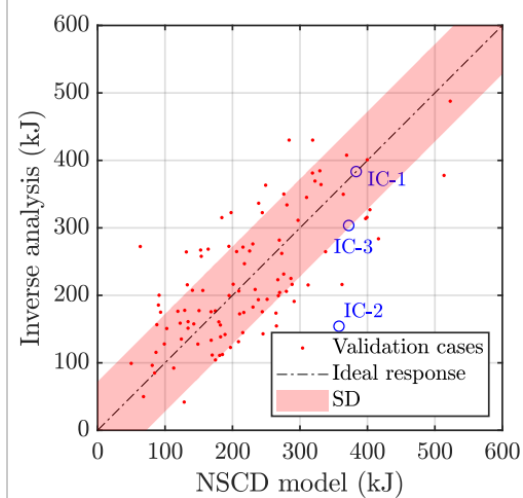
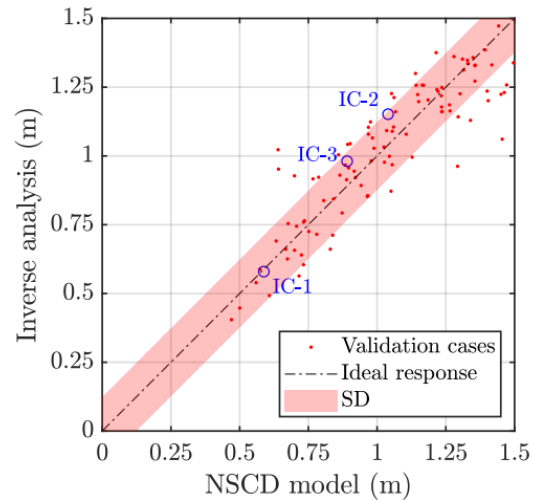
Principales étapes:

- Simulation de la réponse de l'ouvrage sous un grand nombre de conditions d'impact réalistes
- Recours à des méthodes statistiques complexes et à la méta-modélisation pour comparer mesures sur site et prédictions par le modèle numérique



Mur pare-blocs

Exemples: Estimation à distance et en urgence du déplacement maximal et de l'endommagement de l'ouvrage (gauche et droite resp.) à partir de mesures lors de l'impact de l'ouvrage sur site réel



⇒ Analyse inverse relativement fiable pour obtenir très rapidement des informations d'intérêt opérationnel à partir de mesures faites lors d'un impact.

L'énergie d'impact peut être évaluée de la même manière.

L'analyse inverse peut également s'appuyer sur des mesures faites après impact.

Conclusions

L'instrumentation d'ouvrages de protection peut apporter des réponses à différentes questions opérationnelles et scientifiques relatives à l'aléa et à son interaction avec les ouvrages

Finalités possibles:

- Occurrence de l'évènement
- Mesures relatives à l'aléa (vitesse...)
- Sollicitation de l'aléa sur l'obstacle
- Caractéristiques de l'aléa, par analyse inverse

Avec toutefois certaines contraintes:

- Autonomie énergétique
- Difficulté d'accès (voire impossibilité)
- Environnement fortement sollicitant
- Coût significatif si nombreux points de mesure

Journée partenaires

Anticiper les risques : Technologies et nouveaux outils

Vendredi 29 septembre - 9h-17h – MACI
Université Grenoble Alpes

Merci pour votre attention