

L'exploitation
et la maintenance
des infrastructures



Chutes de Blocs
Risques **R**ocheux
Ouvrages de **P**rotection



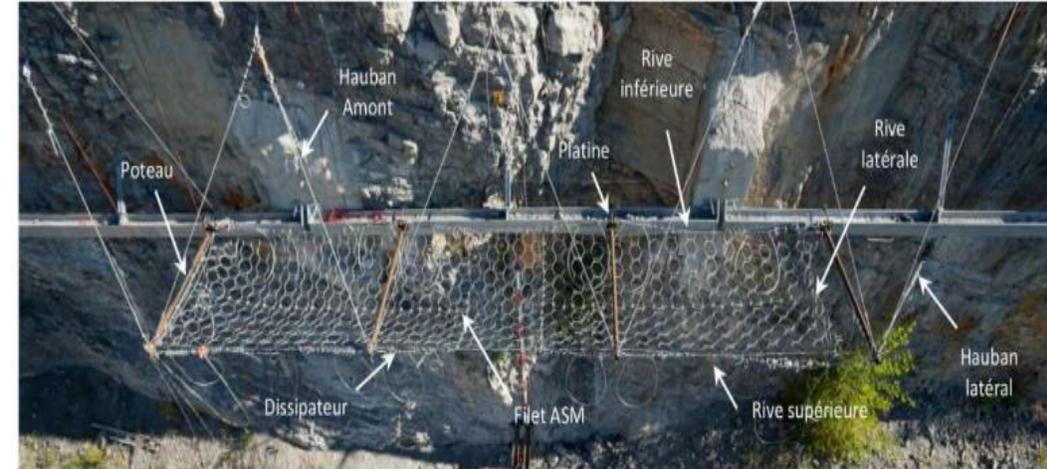
AXE Ouvrages de Protection

WP Ecrans souples

Comportement et performances des écrans pare-blocs : présentation de la campagne d'essais dynamiques sur dissipateurs

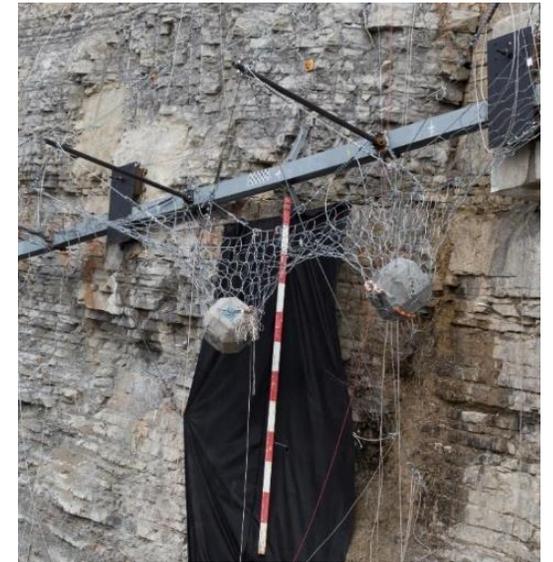
► Campagnes expérimentales – PN C2ROP

- Sur composants : essais sous sollicitations quasi-statiques et dynamiques
- Sur ouvrage complet : test en quasi-statique et dynamique
- Campagne 1 : MEL1, MEL2, SEL1, SEL2, SEL3
- Campagne 2 : 1 module seul, ouvrage pré chargé, 2 impacts consécutifs, impact excentré, impact module latéral



Vue de face – écran C2ROP

- Objectifs : endommagement des ouvrages sous différents cas de chargements – comparaison avec les essais de certifications
- Sont-ils suffisants pour dimensionner de façon fiable les ouvrages ?
Besoin de coefficients de sécurité ?
- Développer et fiabiliser les modèles numériques



Essai 2 impacts consécutifs

- ▶ Définition de 2 indicateurs pour quantifier l'endommagement par rapport à un impact au centre :
 - $Ce1 = \text{NRJ dissipée au niveau des freins (ref)} / \text{NRJ dissipée au niveau des freins (test)}$
 - $Ce2 = \text{effort haubans (test)} / \text{effort haubans (moyenne des deux MEL - ref)}$

- ▶ Comparaison entre sollicitations de référence et sollicitations in-situ
 - Essai sur module isolé :
 - Rupture d'un câble de rive sup et des deux câbles de rive latérales
 - Haubans plus sollicités mais sans rupture
 - Cumul du défilement des freins plus faible
 - Structure plus endommagée

- ▶ Modélisation numérique (essais de certification)
 - 3 modélisations réalisées (Generock – Cerema, Yade – Inrae-NGE, Homogénéisation – DEM – IFSTTAR)
 - Comportement global : estimation à 10 % près de l'allongement et de la hauteur résiduelle
 - Comportement local : temps de mise en tension, temps de déchargement, pics d'effort coïncident avec les valeurs expérimentales. Les niveaux d'efforts dépendent des seuils d'activation qui peuvent varier expérimentalement.
 - Ecart observés entre numérique et expérimental : essai dans module latéral, le numérique rend compte de la baisse de dissipation au niveau des freins mais pas de la non-sollicitation des freins en rive inférieure

- ▶ Analyse approfondie de la campagne expérimentale C2ROP (stage 2023) :
 - l'ouvrage C2ROP présente une bonne capacité de distribution des efforts en cas d'impact non centré sur l'écran
 - Dissipateurs :
 - La force d'activation des dissipateurs est variable
 - Un plateau sur la courbe de force ne traduit pas nécessairement l'activation d'un dissipateur
 - Les dissipateurs sur un même câble peuvent montrer des allongements différents
 - Allongement plus élevé sur les câbles de rive supérieure
 - Les dissipateurs en extrémité d'écran sont généralement peu sollicités
 - Sous certaines conditions (essai excentré), les haubans subissent des efforts élevés

- ▶ Niveau d'endommagement de l'ouvrage vis-à-vis des sollicitations hors EAD ?
- ▶ Difficultés de comparer les forces d'impact car mesure incomplète de la décélération lors des essais MEL de la première campagne



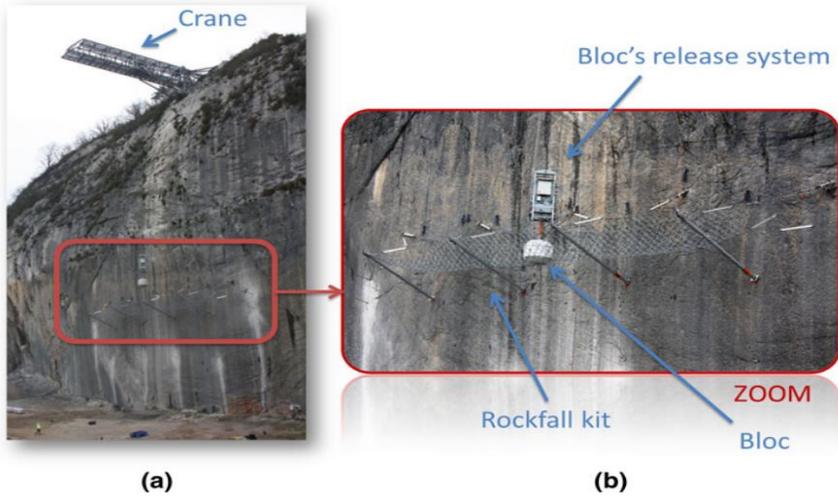
Source Office National de Forêts



source CD 38

Les modèles numériques actuels ne peuvent pas reproduire les dommages observés sur des écrans après impact (perforation des nappes de filets, freins non déclenchés, rupture de câbles, poteaux endommagés, rupture d'ancrages) :

- Analyse incomplète du comportement de la structure
- Fiabilité des modèles pour la conception et le dimensionnement des écrans de filet



Montagnole Testing station, Univ. Eiffel

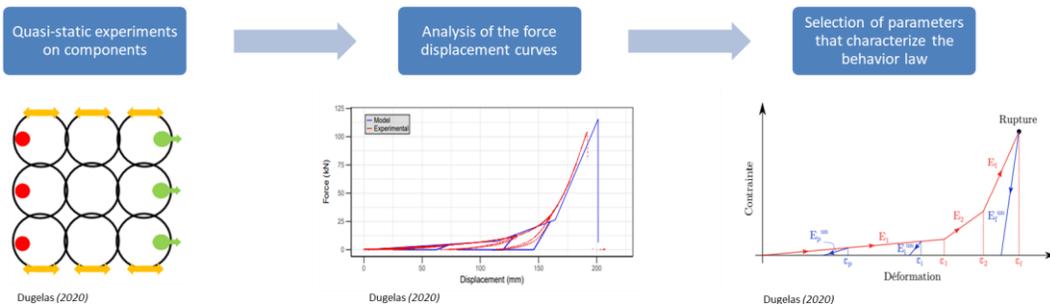
Coût élevé des tests en grandeur réelle

- Montage de l'ouvrage
- Utilisation d'un dispositif de test
- Une seule configuration de test

Modélisation numérique

- Amélioration du dimensionnement
- Test de différentes configurations
- Contribution pour les tests de certification

- Approche actuelle des modélisations numériques (Thèses de Jibril Coulibaly, Loïc Dugelas ...) :

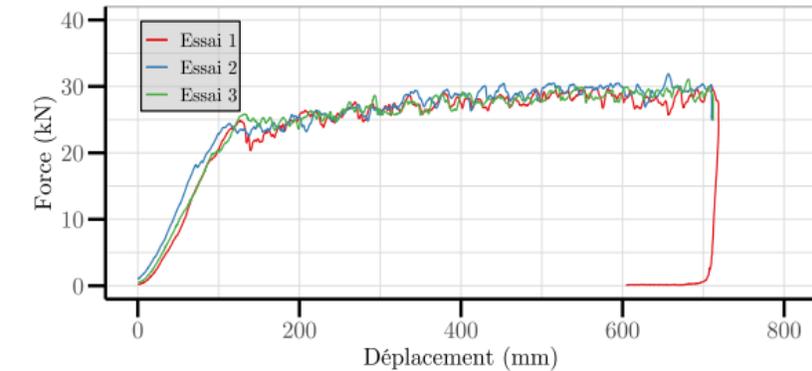


Calibration des lois de comportement des différents composants de l'ouvrage à partir de tests quasi-statiques
 ≠?
 comportement dynamique durant un impact dans l'ouvrage

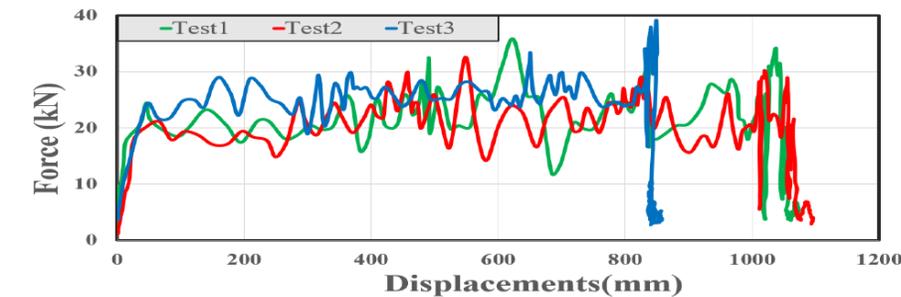
- Revue bibliographique (Thèse d'Ali Osairan) sur les composants les plus sensibles aux effets dynamiques

Dissipateurs type serpent

Quasistatic test (C2ROP)



Dynamic test on dissipating device (C2ROP)



Parameter	Quasi-static	Average dynamic	% increase/decrease
FA (kN)	25	20 ±3	-20%
Fmin (kN)	23	15±3	-35%
Fmax (kN)	30	35±3	+17%
δA (mm)	110	30 ±14.5	-72%
K1 (kN/m)	227	735 ±297	+223%
K2 (kN)	7.45	8.82 ±3	+18%

- Variabilité du comportement des dissipateurs dans des conditions de charge dynamique.
- Rigidité des dissipateurs au moins trois fois plus importante dans le cas dynamique que dans le cas quasi-statique.
- Fluctuations des forces minimales et maximales dans la phase plastique dans une gamme plus large dans le cas dynamique que dans le cas quasi-statique.

- ▶ Analyse approfondie des campagnes expérimentales du PN C2ROP, étude bibliographique sur le comportement dynamique des composants des écrans , REX terrain
- ▶ -> nécessité de réaliser une nouvelle campagne expérimentale pour mieux comprendre le comportement dynamique de ces écrans souples + amélioration des modèles numériques :

Composants	Développements	Objectif
Ecran complet	Essai MEL – essai EAD	Disposer de la force d’impact car mesure incomplète lors de la première campagne
	Essai avec variation du positionnement des dissipateurs d’énergie aux extrémités de l’ouvrage	Enjeu technologique sur la stratégie de dissipation de l’énergie
	Essai pour perforation de l’écran	Lien avec les REX terrain
	Essai sur un ouvrage avec une nappe plus rigide	Test des conditions réelles
	Essai avec prise en compte de la rotation du bloc	
	Essai avec impact sur un hauban	
Dissipateurs, filets	Essai dynamique sur dissipateurs d’énergie, maille de filets	Définir la loi de comportement dynamique du composant -> modélisation numérique
Poteaux	Méthode numérique pour l’analyse dynamique du flambage d’un poteau	Vérifier la stabilité des poteaux en dynamique

► Contenu de la campagne expérimentale PN C2ROP2 :

1 – Essais dynamiques sur composants (01/01/2024 – 31/12/2024)

2- Essais d'impact sur écrans complets (01/01/2024 – 31/12/2025)

Financement PN C2ROP (59 k€) + Institut Carnot Clim'Adapt Cerema (46 k€)

► Essais dynamiques sur dissipateurs :

- Test de 3/4 technos de dissipation différentes
 - Technologie à friction (freins serpents de C2ROP), flambement de tube, déformations plastiques – FTA ou U-Break



Freins serpent NGE – source rapport C2ROP

Dissipateur par flambement NGE – source thèse L. Dugelas

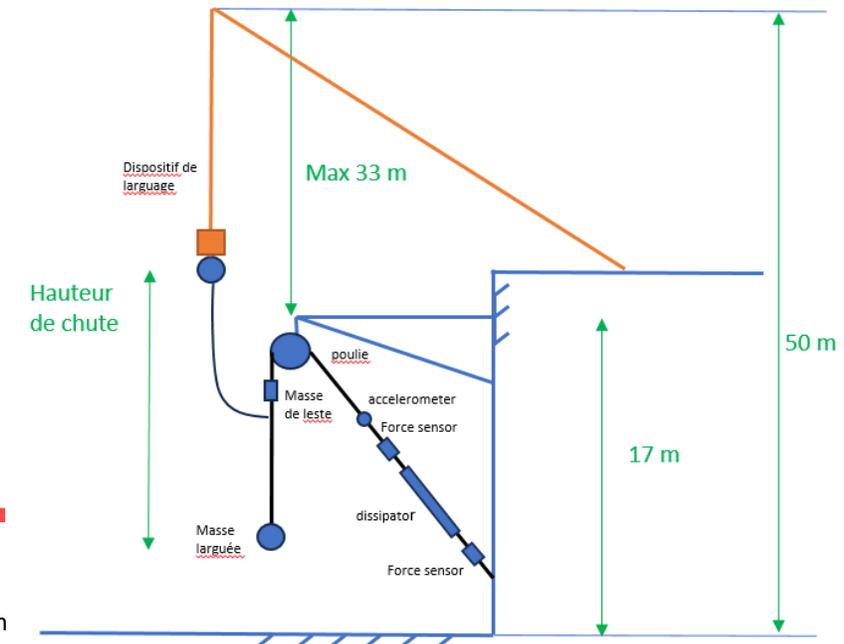


Dissipateur FTA source CAN

U-Break source GeoBrugg



- Intercomparaison possible, pas de référentiel actuellement (tests sur les composants dans les mêmes conditions)
- Enjeux : effet dynamique ? effets différents suivant les technos ?
- Dispositif d'essais CAN
- Instrumentation :
 - 2 capteurs de forces (10t ou 30 t),
 - accéléromètre,
 - caméras rapides
- Analyse des données : Ali Osairan dans le cadre de sa thèse



▶ Essais dynamiques sur dissipateurs :

- Vitesses testées : 5, 15 et 25 m/s à adapter selon le type de freins et les capacités de la station de test (hauteur de largage et masses soulevables)
- Ajustement de la masse et de la hauteur de largage pour une dissipation d'énergie similaire pour un même frein pour les différentes vitesses de sollicitation

▶ Démarrage des essais le 1^{er} février

▶ Résultats et analyses à suivre

- ▶ Merci pour votre attention !
- ▶ Marion Bost, Marie-Aurélie Chanut, Lois Dugelas, Clément Galandrin, Stéphane Lambert, Nicolas Magne, Ali Osairan, Philippe Robit, Mathieu Verdet

