



AXE Ouvrages de Protection

WP Ecrans souples

*Comportement et performances des écrans pare-blocs :
exploitation des données de la deuxième campagne
expérimentale du PN C2ROP et préparation de la
nouvelle campagne du PN C2ROP2*

- Partenaires :
 - Entreprises : Brugg France, CAN, NGE,
 - Instituts publics : Cerema, INRAE, Univ. Eiffel.

- Thèse d'Ali Osairan (depuis 01/10/2022) :
 - « Prise en compte des effets dynamiques dans la modélisation des écrans de filets sous impact », bourse Cerema,
 - directrice de thèse : Marion Bost, co-encadrante : Marie-Aurélie Chanut

- Stage master 2 d'Ali Ajami (depuis le 15/02/2023):
 - « Analyse et compréhension d'après les données issues d'expérimentations en grandeur réelle (C2ROP) »,
 - encadrant : Stéphane Lambert

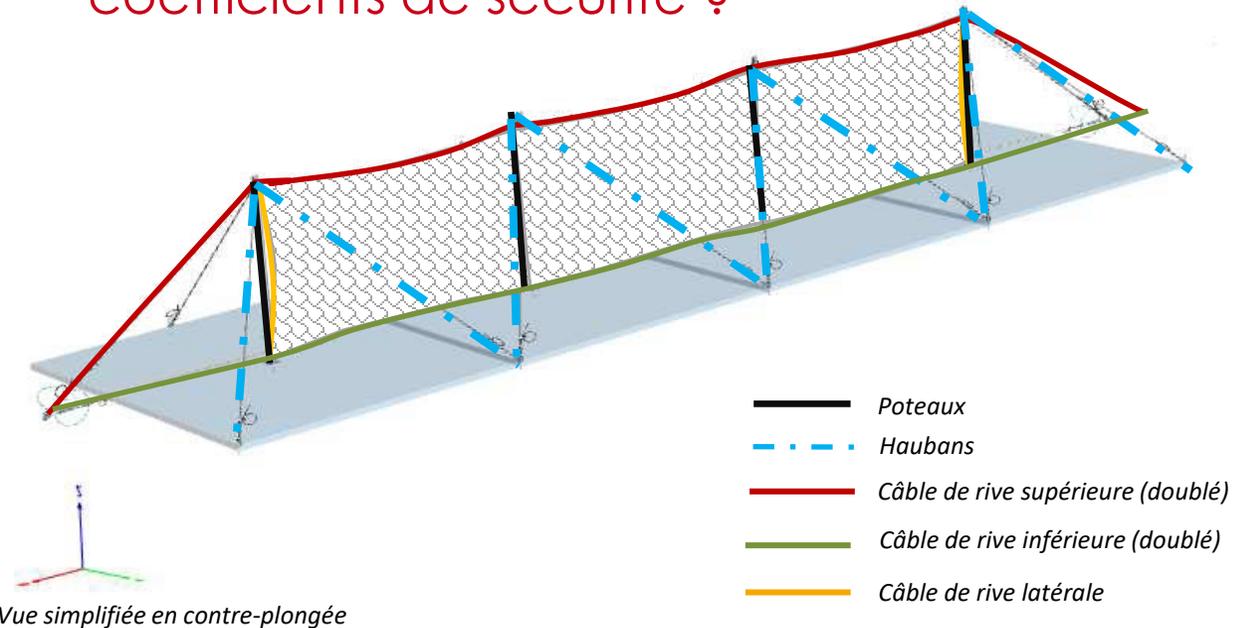


Vue de face



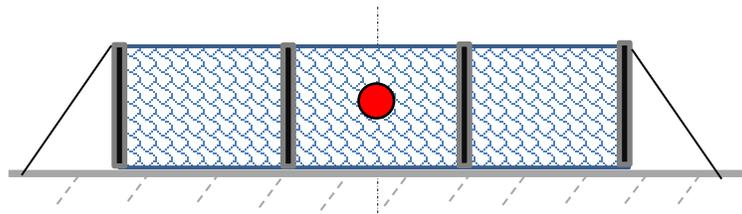
Dissipateur par frottement, type serpent

- ▶ 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 ?



Vue simplifiée en contre-plongée

► Conditions d'impact EAD



Vue de dessus

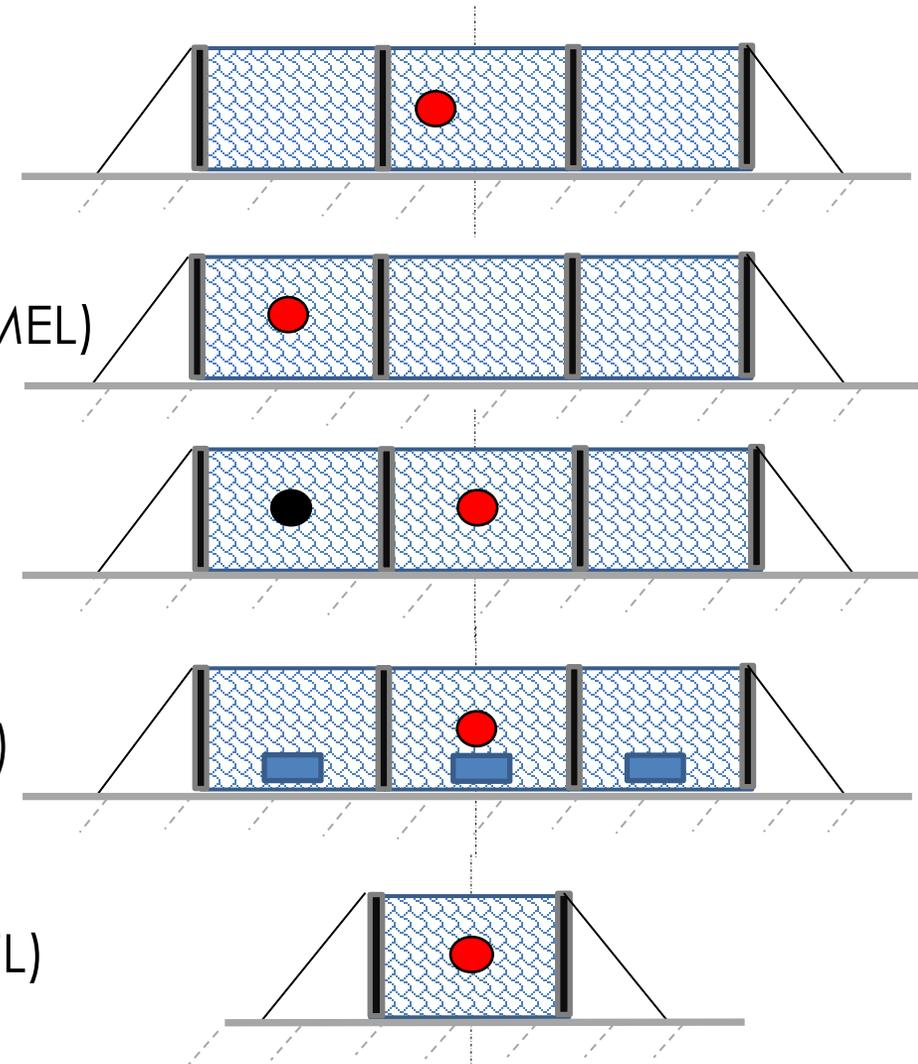
- 90 ou 270 kJ (SEL ou MEL)
- Impact au centre du module central

► Mesures

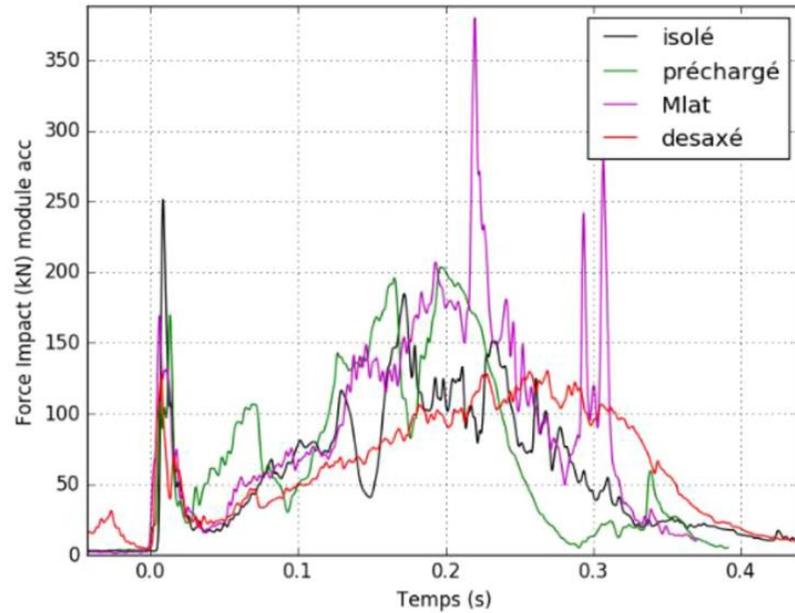
- Accélération et déplacement du bloc
- Force sur câbles de rives et sur haubans
- Allongement des freins

► Conditions hors EAD

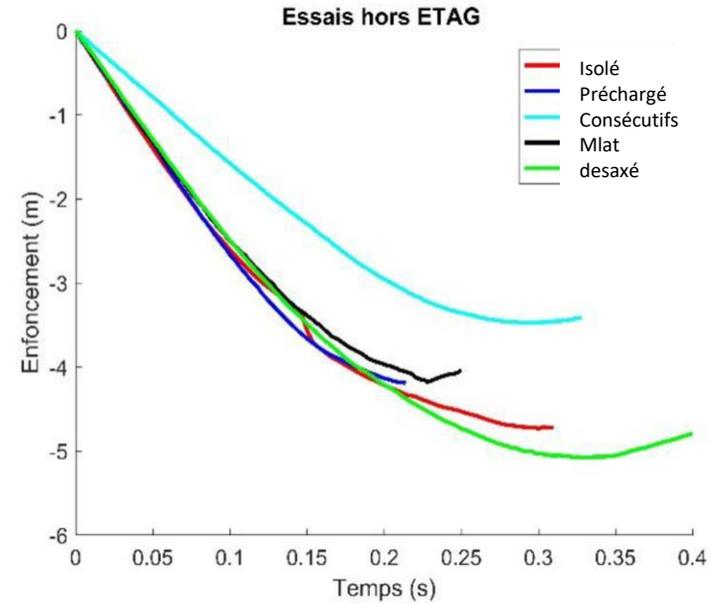
- Excentré (MEL)
- Module latéral (MEL)
- Consécutifs (SEL)
- Pré-chargé (MEL)
- Module isolé (MEL)



- ▶ Force d'impact et déformation de l'écran
 - Sensible différence de réponse

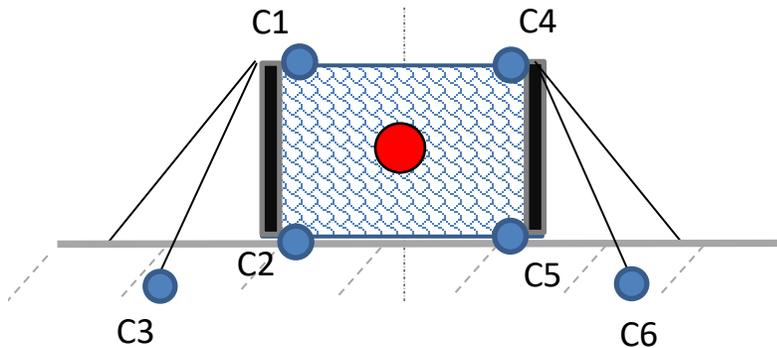
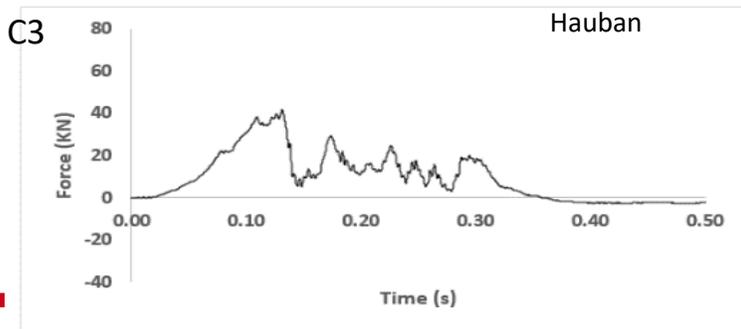
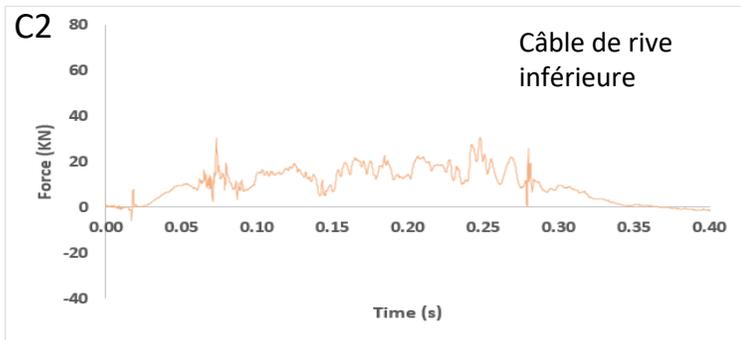


Olmédo et al, 2020

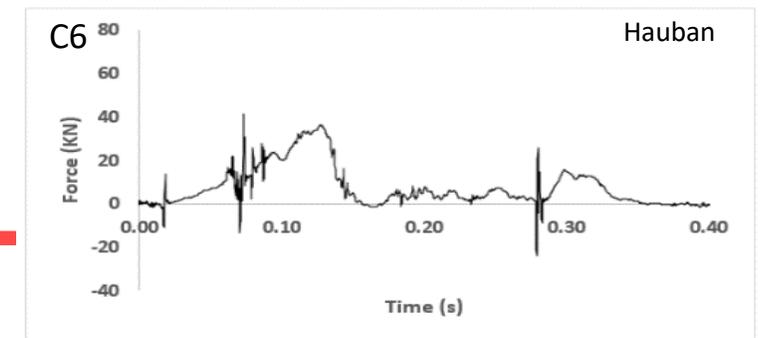
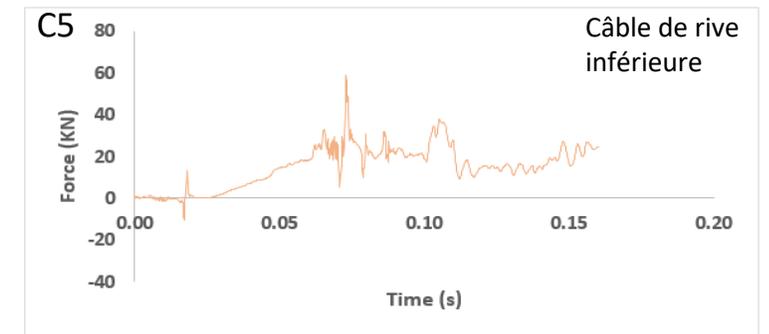
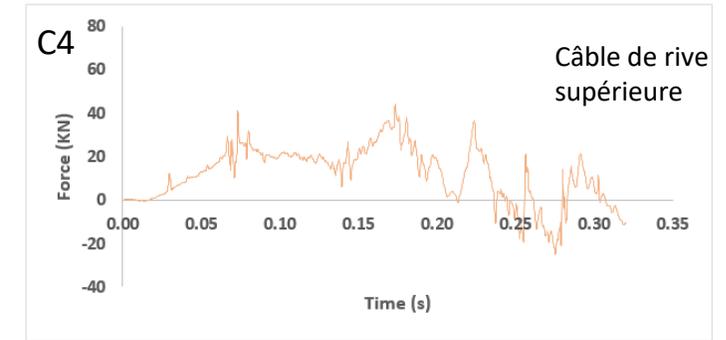


Olmédo et al, 2020

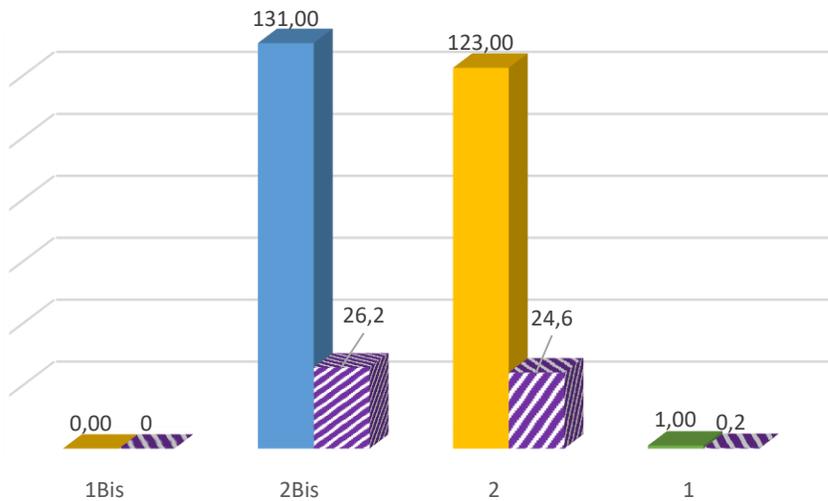
► Force mesurée dans les différents éléments



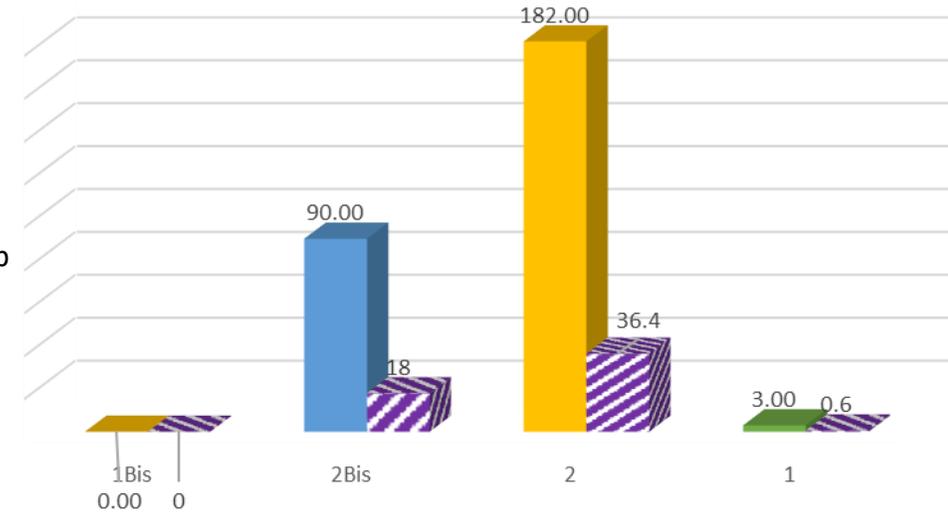
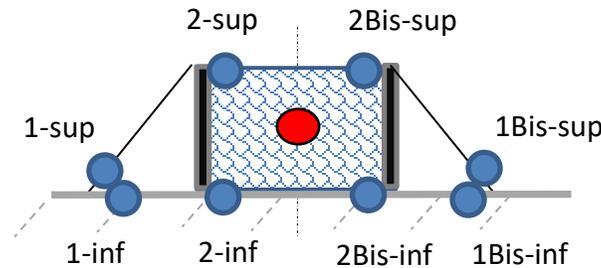
- Ecran sévèrement endommagé (rupture des câbles de rive latérale + 1 câble de rive supérieure)
- Distribution homogène des efforts



► Allongement des dissipateurs et énergie dissipée



Rive inférieure

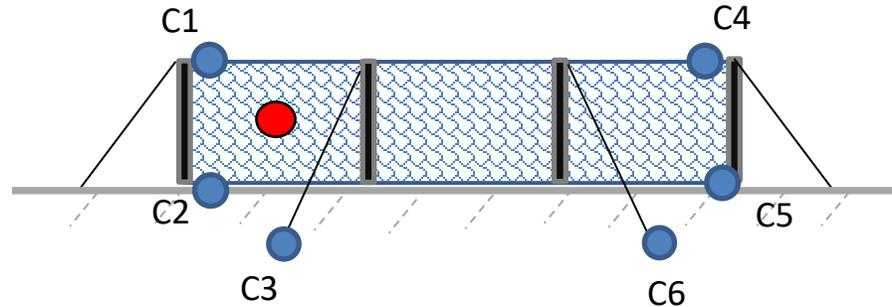
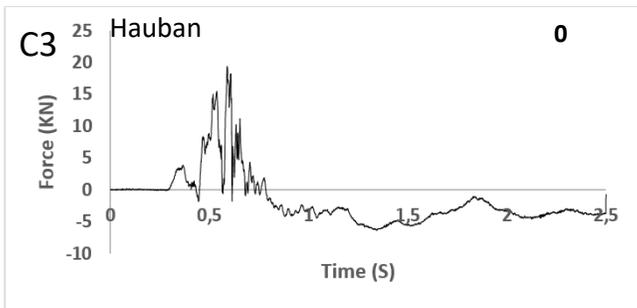
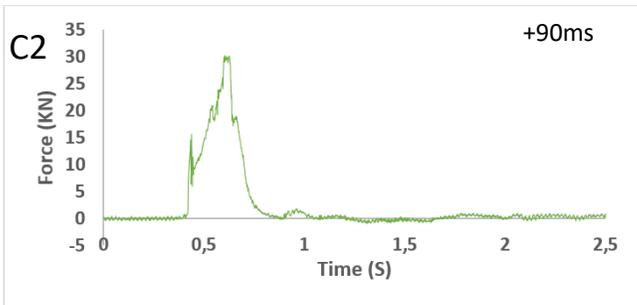
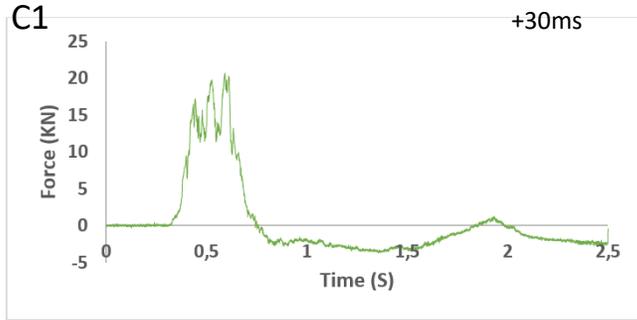


Rive supérieure

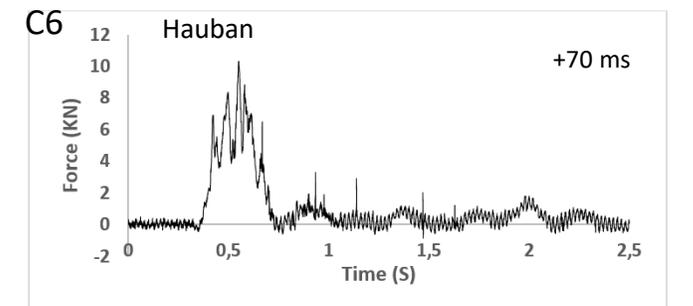
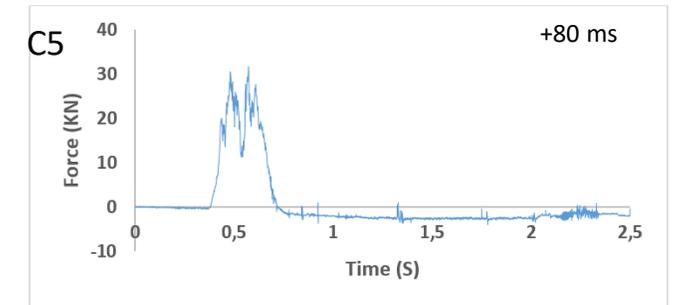
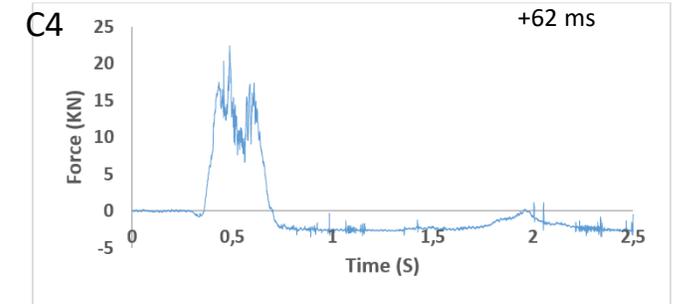
 Energie dissipée (kJ)
 Allongement (cm)

- Forte sollicitation des dissipateurs en rive supérieure et en rive inférieure
- Pas de dissipation d'énergie en extrémité des câbles de rive
- Allongement total des dissipateurs < essais MEL

► Force mesurée dans les différents éléments

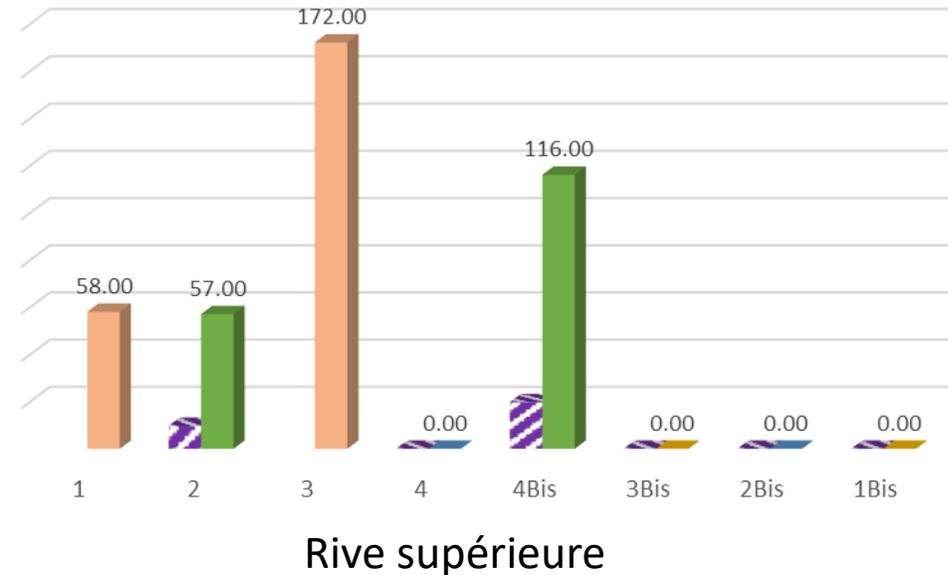
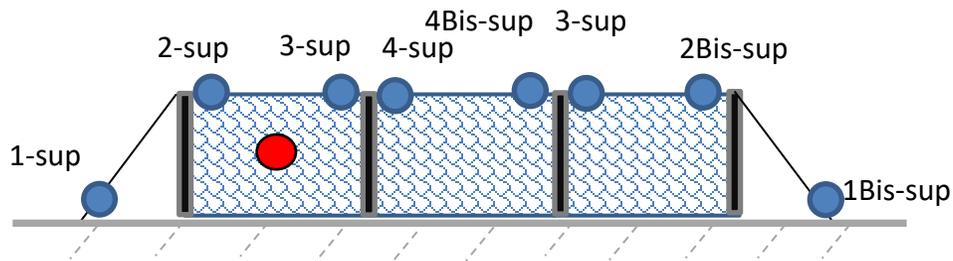


- Distribution homogène des efforts
- Plateau en force (15 à 20 kN)
- Retard de sollicitation



► Allongement des dissipateurs et énergie dissipée

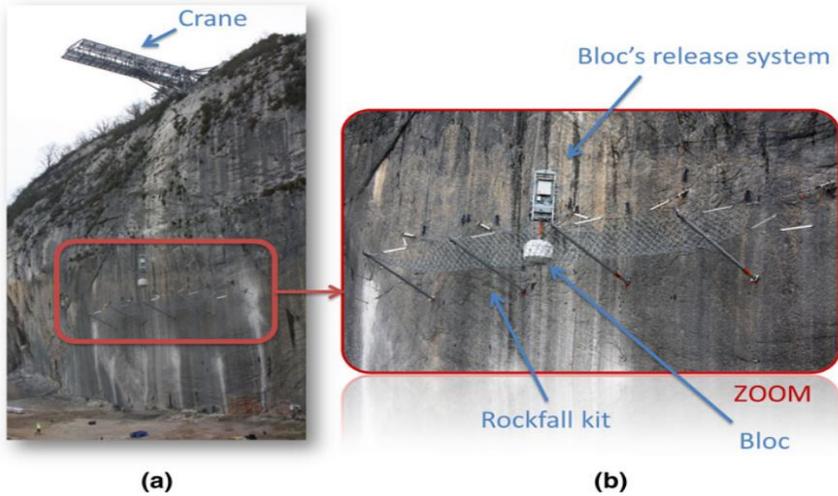
NRJ (kJ) / Elongation (cm)



- Pas d'activation sur les câbles de rive inférieure, alors que forces élevées et plateau
- Allongement/dissipation sur câbles de rive supérieurs côté impact
- Les dissipateurs sur un même câble montrent différents allongements (ex. 1 vs 3 ou 4bis vs 2)
- Allongement total des dissipateurs < essais MEL

- ▶ 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



Montagnole Testing station, Univ. Eiffel

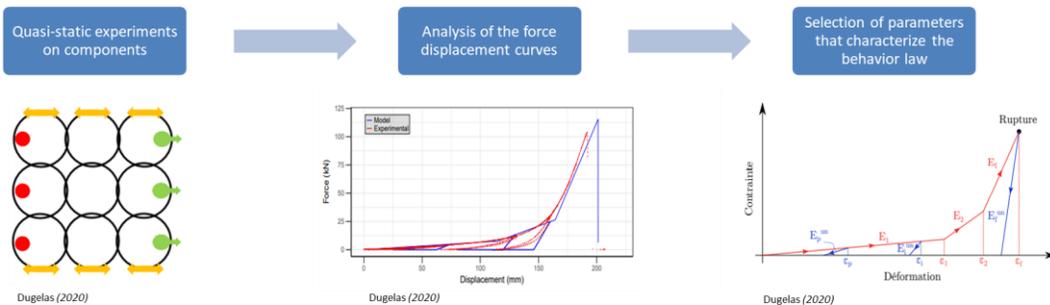
Coût élevé des tests en grandeur réelle

- 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, Loic 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

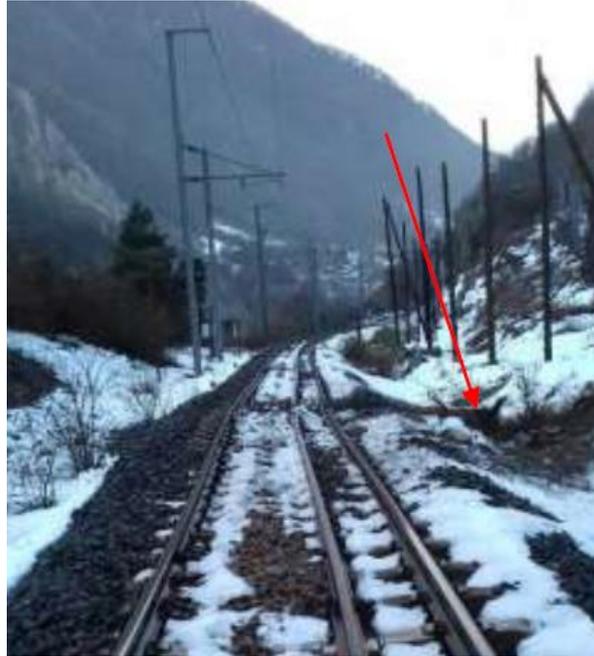
Perforation in net



Office National de Forêts

Site la Saulcette (73)

Railway damaged

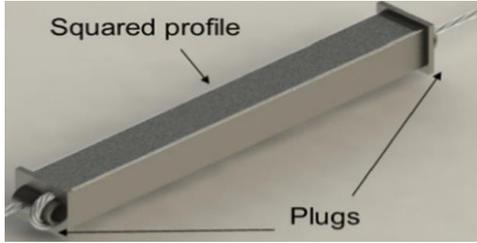


Office National de Forêts

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 cables, 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

1- Identifier les composants les plus sensibles aux effets dynamiques

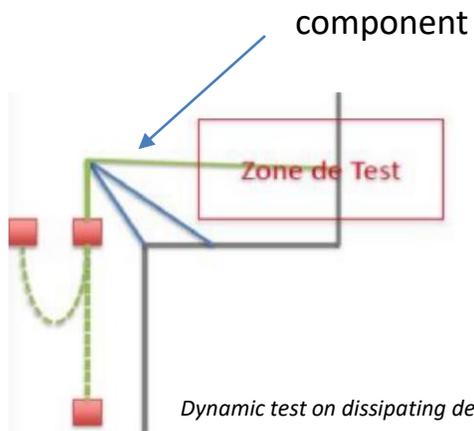


Dissipating device (Castanon et al. 2017)



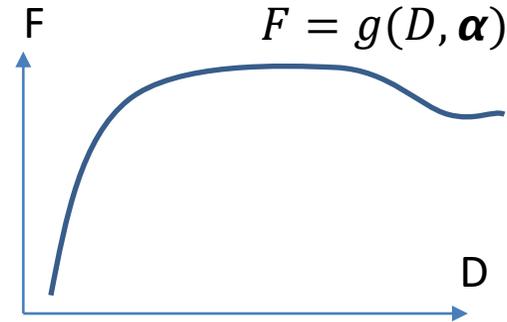
Net (Dugelas 2020)

2- Réaliser des essais en dynamique sur les composants identifiés



Dynamic test on dissipating device (C2ROP)

3- Etablir des lois de comportement de ces composants

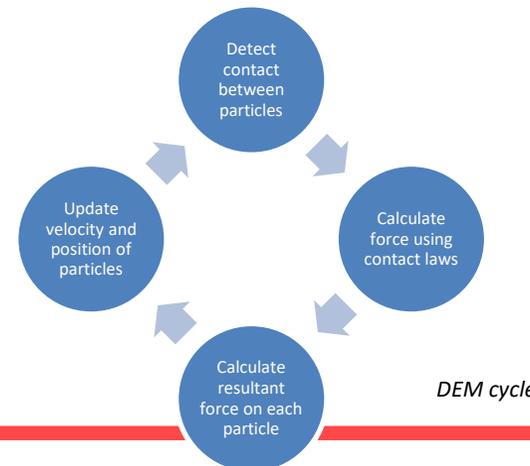


F : Force

D : Displacement

α : Parameter related to dynamic effect

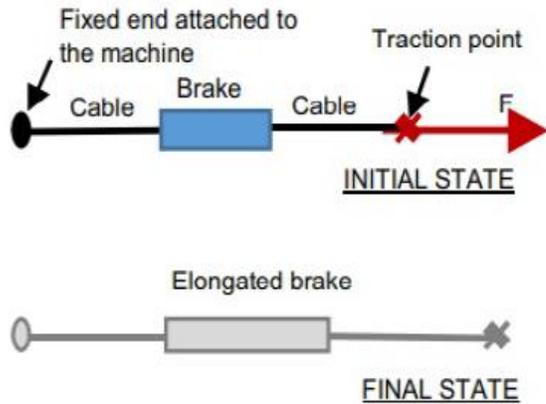
4- Enrichir les modèles numériques complets d'ouvrage *GENEROCK (Jibril 2019)*



DEM cycle

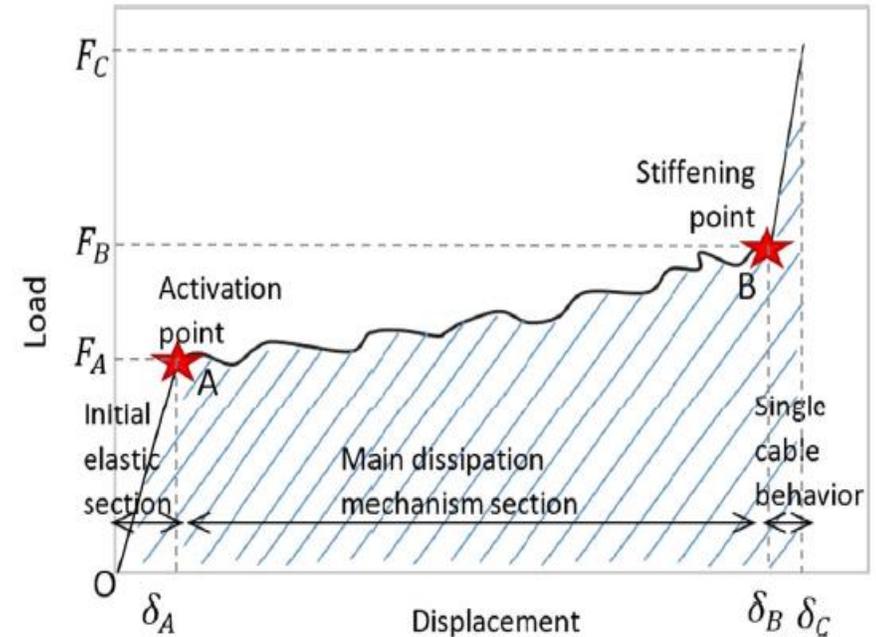
Calibration of contact laws based on dynamic testing of components

Dissipateurs d'énergie - essais quasi-statiques



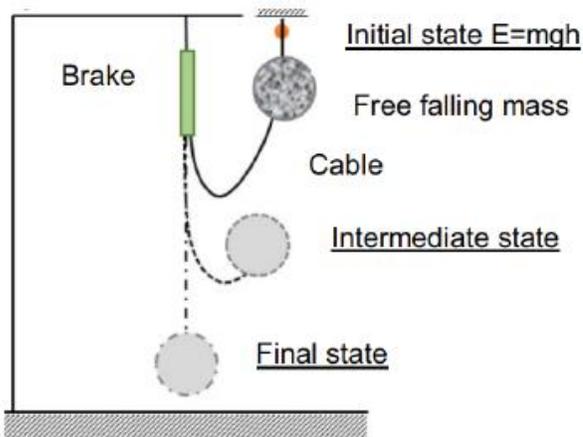
Quasi-static test (Castanon 2017)

- Traction horizontale à la vitesse de **2 mm/s** (ETAG 027 recommandation)
- Vitesse faible comparée aux vitesses d'impact du bloc de l'ordre de **10 – 35 m/s**

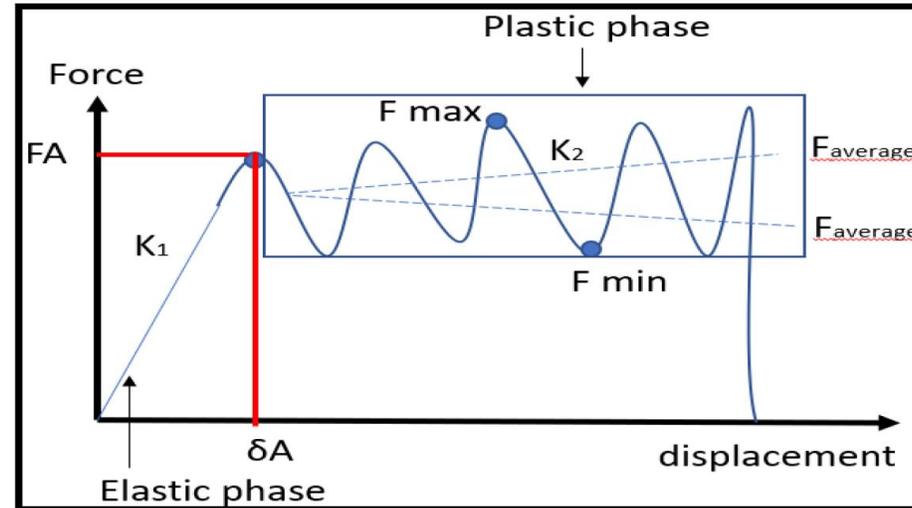


Castanon 2017

Dissipateurs d'énergie - essais dynamiques



Local tests, Castanon 2017

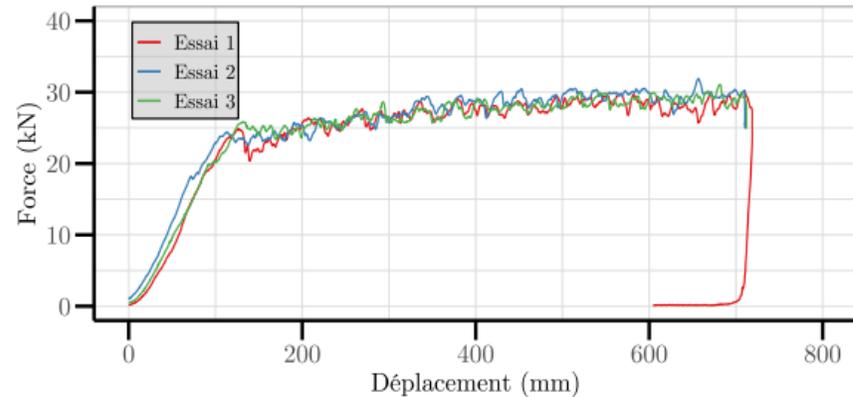


Full scale tests, Fulde 2013

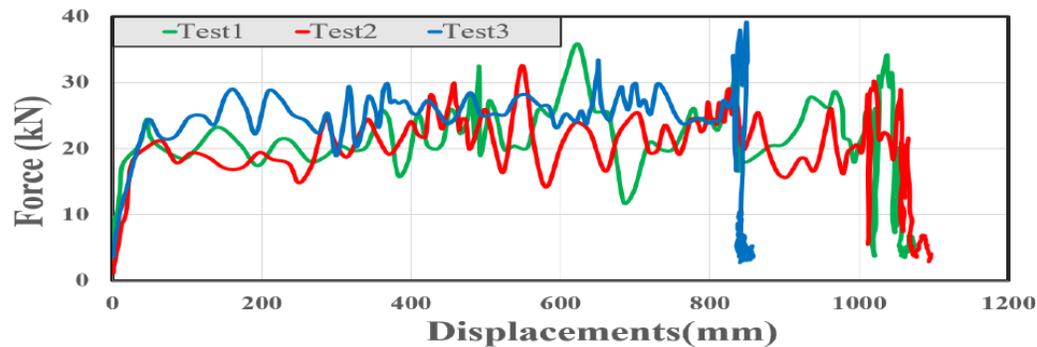
- ❑ Phase élastique du frein courte, avec un faible allongement et une grande rigidité K_1 .
- ❑ Phase plastique avec des fluctuations entre F_{min} , F_{max} , and une tendance d'écroissage positif ou négatif ($F_{average}$) dépendant de chaque technologie.
- ❑ Les paramètres de la loi de comportement dépendent de la vitesse d'impact, de la variabilité de la réponse et aussi du taux de déformation

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 :

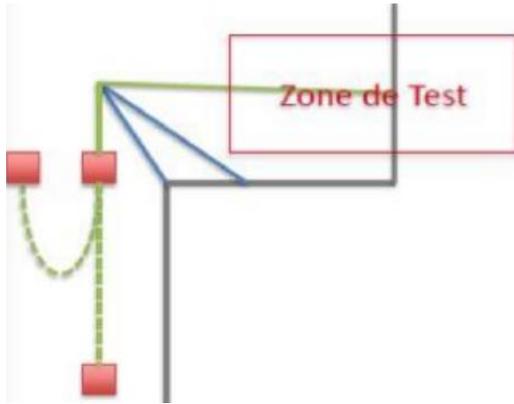
	Priorité	Type d'essai	Objectif
Essai sur écran complet	1	MEL – essai EAD	Disposer de la force d'impact car mesure incomplète lors de la première campagne
	2	Positionnement des dissipateurs d'énergie aux extrémités de l'ouvrage	Enjeu technologique sur la stratégie de dissipation de l'énergie
	3	Perforation de l'écran	Lien avec les REX terrain
	4	Essai sur un ouvrage avec une nappe plus rigide	Test des conditions réelles
	4	Prise en compte de la rotation du bloc	
4	Impact sur un hauban		
Essais sur composants	1	Essai dynamique sur dissipateurs d'énergie, maille de filets	Définir la loi de comportement dynamique du composant -> modélisation numérique

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



Test to perform:

Falling weight connected to selected component by pulley



C2ROP 2019

Data needed:

- Initial dimension of component
- Pretension in components
- Strain in the component
- Force in the component
- Acceleration in the block

Conditions:

Perform tests with impact velocities in the range

5 – 30 m/s.

At least 3 tests for each velocity to take into account the variability of the response of the component

Advantages:

- Facility in repeatability
- Low cost and less time consuming compared to full scale test
- Characterize the behavior of the component without interaction with other components