

TESTS DE MERLONS AMORTISSEURS SUR UNE STATION D'ESSAIS D'IMPACTS PENDULAIRES

TESTS ON SHOCK-ABSORBER STRUCTURES ON A SWINGING IMPACT SITE

Elisabeth HAZA-ROZIER¹, Philippe REIFFSTECK², Gratien VINCESLAS¹, Stéphane LAMBERT³, Adeline HEYMANN^{3,4,5}, Philippe GOTTELAND⁴, Maurice DOUAILLAT⁵

1 CETE Normandie-centre/DERDI/CER, Rouen, France

2 Université Paris Est / LCPC, Paris, France

3 Cemagref, Grenoble, France

4 UJF / L3SR, Grenoble, France

5 Razel, Christ de Saclay, France

RÉSUMÉ – Dans le cadre du projet ANR REMPARE, quatre « structures sandwich » pare-blocs, amortisseurs ont été testées à l'aide de la station d'impact pendulaire du CER. Il a été observé que suivant la nature de leur noyau, leurs déformations et la diffusion de l'énergie d'impact sont différentes. Cet article décrit la station, les expérimentations menées et une comparaison comportementale des structures.

ABSTRACT – In the framework of ANR project Rempare, four rockfall shock-absorber sandwich structures have been tested on the swinging impact site of CER. It has been observed that according to their core nature, deformation and energy diffusion that take place are different. This paper describes the impact site, experimentations and a behavioural comparison of tested structures.

1. Introduction

Le dimensionnement de structures de protection pare-blocs se base actuellement exclusivement sur une approche empirique. Leur réponse mécanique, à une sollicitation dynamique, est mal appréhendée, bien que incontestablement plus sévère qu'à une sollicitation statique (Lambert, 2007).

Un nouveau type de structures pare-blocs, dit « sandwich » (Yoshida, 1999), est constitué de la juxtaposition d'un parement en gabions, remplis de blocs rocheux (qui recevra l'impact) et d'un noyau d'une autre nature. Cette association, appelé dans cet article « merlon », a pour objectif de diffuser l'énergie d'impact et de l'amortir de manière optimisée.

Dans le cadre du projet ANR REMPARE (RE-ingénierie des Merlons de Protection par composants Anthropiques Recyclés), quatre merlons ont été testés, avec les objectifs suivants : comparer le comportement d'une même structure de merlon, dont seulement la composition du noyau diffère ; analyser les réponses de différentes technologies d'accéléromètres pour orienter le choix de ceux mis en place lors d'expérimentations d'impact ultérieures sur des merlons de très grande taille. Ces dernières expérimentations sont menées sur une station d'impact de grande ampleur, spécifiquement construite dans le cadre du projet de recherche (Heymann et al., 2010).

Cet article présente la station d'essai d'impact pendulaire construite au CER, les modalités d'impact menées et plusieurs résultats représentatifs, en terme de

déplacement des merlons, d'efforts transmis en aval et d'accéléérations constatées dans leur structure.

2. Expérimentation sur la station d'impact pendulaire du CER

2.1. Description de la station d'impact

Le principe de la station d'essai du CER est décrit sur la Figure 1 : deux élingues, fixées sur des poteaux métalliques, maintiennent l'impactant (boule en acier, de diamètre 254 mm, de 260 kg). Un treuil manuel, fixé sur un mât de largage, permet de choisir une hauteur de chute, allant jusqu'à 4 m. Ainsi, l'énergie d'impact est variable, jusqu'à 10 kJ (notée E_{max} ultérieurement). Le premier impact se produit à vitesse horizontale sur la face amont du parement. Le merlon est adossé à un mur en L en béton armé, soutenu à l'aval par un remblai compacté.

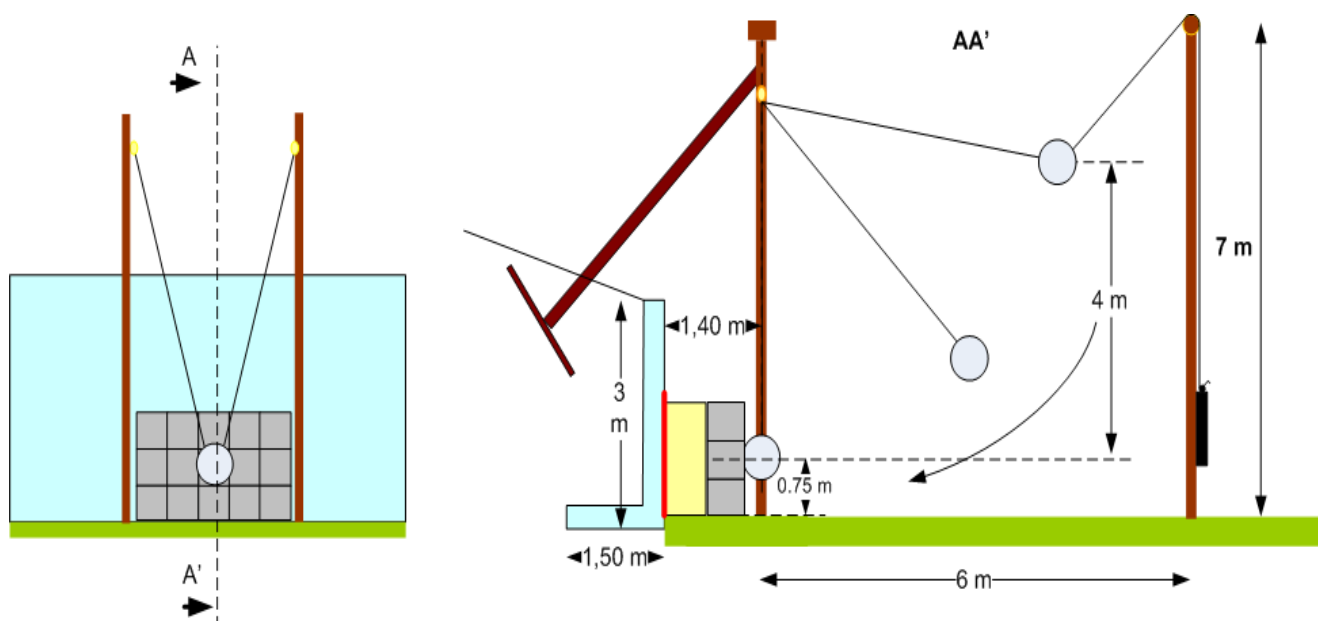


Figure 1. Schéma de principe de la station d'impact pendulaire du CER.

2.2. Merlons testés

Les merlons testés sont composés d'un parement et d'un noyau juxtaposés. C'est un parement de gabions (de dimensions 0,50x0,50x0,50 m) en fil galfan, maille 80x100 mm, liés le long de leurs arêtes par des agrafes (et non liés dans la modalité test). Il est constitué de 9 gabions, encadrés latéralement par 2 colonnes de 3 gabions superposés, afin de confiner l'ensemble (Figure 2). Ils sont remplis de blocs calcaires (de la carrière du site expérimental de grande ampleur construite à proximité de Nice).

3 noyaux différents ont été testés :

- sable de Seine D1, humide : $w = 7,9 \%$, $\gamma_h = 18,0 \text{ kN/m}^3$ (merlon nommé ultérieurement [sable]);

- mélange sable / déchetés de pneu (30% en masse) : $\gamma_h = 12,66 \text{ kN/m}^3$ (merlon nommé ultérieurement [sable+pneu]);
- ballast usagé : $\gamma_h = 15,1 \text{ kN/m}^3$ densité en place 1,5 (merlon nommé ultérieurement [ballast]).

2.3. Instrumentation

Les merlons testés sont fortement instrumentés (Figure 3, Haza-Rozier 2010).



Figure 2. Merlon testé type.

Une plaque instrumentée est positionnée à l'aval du merlon. Elle représente l'ouvrage à protéger et est dite « plaque aval ». Suivant les modalités, jusqu'à 12 accéléromètres sont installés (sur l'impactant, dans le parement, dans le noyau, et sur la plaque aval). 4 capteurs de contrainte sont disposés dans la plaque aval et 1 capteur de déplacement potentiométrique est fixé entre elle et l'arrière du gabion de parement impacté. Des mesures manuelles du déplacement des faces amont et aval du parement sont effectuées en cours de modalité et lors des démontages.

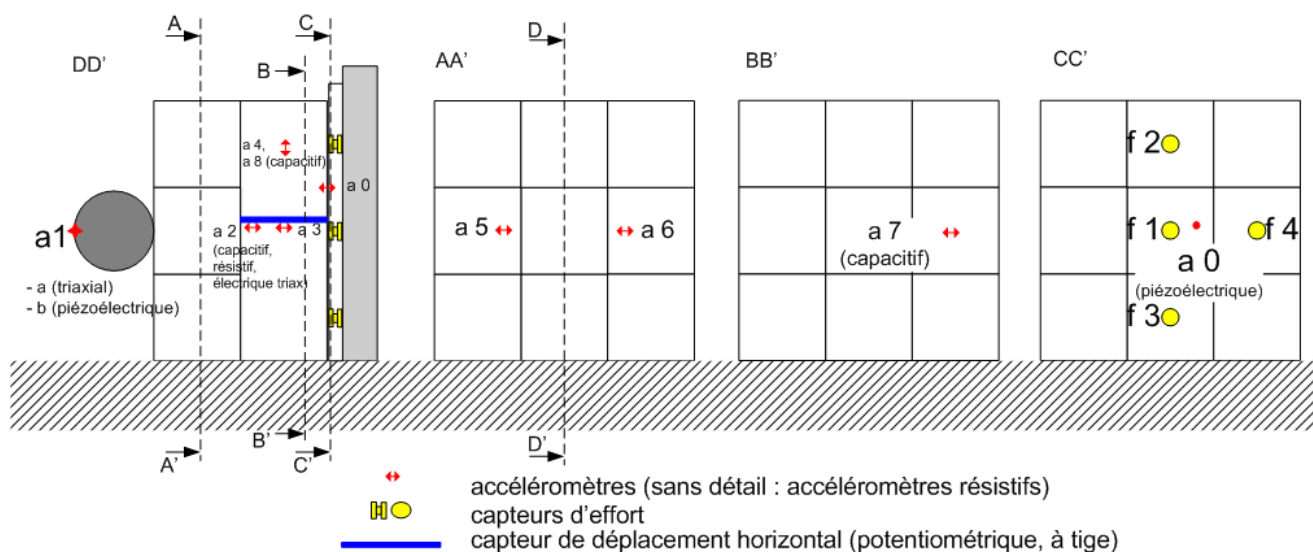


Figure 3. Plan d'instrumentation type – [sable].

2.4. Modalités d'essai d'impact

Les 4 merlons sont testés suivant des modalités comprenant des impacts successifs à niveau d'énergie croissante (Tableau I). La modalité 0 diffère des autres par l'absence de liaison des gabions entre eux. Un merlon [sable+pneu] a été impacté directement deux fois à 100% E_{max} .

Tableau I. Modalités d'essais menés sur les merlons de différents noyaux.

Modalité	Liaison des gabions	Noyau	Niveaux d'énergie (%)
0	Non	Sable	10-30-70-100
1	Oui	Sable	20-40-80-100-100
2	Oui	Sable –déchetés de pneu (30% masse)	20-40-80-100-100
3	Oui	Ballast	20-40-80-100-100
4	Oui	Sable –déchetés de pneu (30% masse)	2 x 100

3. Résultats

L'acquisition des données de tous les capteurs est simultanée. Elles sont traitées par un filtre de type Butterworth, passe-bas d'ordre 2, avec une fréquence de coupure de 600Hz. Ce traitement des données nous permet les analyses suivantes, associées à l'observation visuelle des merlons lors des impacts.

3.1. Endommagement visuel

Au cours des chocs successifs, les parements sont détériorés (blocs cassés, tombés au sol, fils sectionnés, quelques agrafes des gabions ouvertes). Ces constatations sont plus fortes sur le merlon [ballast], mais très localement, au niveau du point d'impact. Au cours du démontage, il est observé que le ballast s'est fracturé, ses éléments se sont très imbriqués dans cette direction. De plus, le merlon [ballast] s'est plus « soulevé » lors des impacts que les autres merlons.

3.2. Déplacement du parement gabion au cours des modalités d'impact

Le capteur de déplacement (Figure 3) est fixé à l'arrière du gabion impacté ; ses mesures sont à mettre en rapport avec une double intégration de l'accélération a_2 , mesurée au même endroit. De plus, la mesure des déplacements de toute la face arrière du parement (en contact avec le noyau) est effectuée lors du démontage des structures. Enfin, un gabarit est positionné devant le merlon après chaque impact, pour estimer le déplacement de la face avant des 9 gabions.

3.2.1. Face avant du parement

Suivant le type de noyau, l'apparence du parement diffère après impacts : le parement [ballast] est déformé très localement au niveau du point d'impact, alors que celui [sable+pneu] apparaît « froissé ». Il est observé que le merlon [sable] s'enfonce plus que le [sable+pneu], qui s'enfonce également plus que le [ballast]. En fin de modalité, les enfoncements respectifs sont 341 mm, 299 mm (dont retour élastique de 40 mm) et 262 mm.

Enfin, l'enfoncement observé après des chocs successifs (modalité 2), sur le merlon [sable+pneu], est plus important qu'après seulement 2 chocs à E_{max} (modalité 4) (299 mm / 198mm).

L'évolution de l'enfoncement au cours des modalités d'essai est légèrement croissante, non linéaire pour tous les merlons sauf le [sable, gabions liés] (modalité 1) où elle est linéaire. Les plages des enfoncements sont les suivantes :

- [sable, gabions non liés] : 40 mm à 190 mm
- [sable, gabions liés] : 98 mm à 341 mm
- [sable+pneu] : 102 mm à 299 mm
- [ballast] : 78 mm à 262 mm

3.2.2. Face arrière du parement (en fin de modalité)

La face arrière du parement du merlon [sable+pneu], comme la face avant, s'est plus déplacée lors des impacts successifs que lors du double impact à E_{max} (130 mm / 90 mm). Il y a un « retour élastique » après chaque impact dans ce merlon, mis en évidence sur la Figure 4, par la différence entre le déplacement maximum mesuré et celui atteint de façon stabilisé après impact. Ce comportement est peu visible dans le merlon [sable], dont le noyau va se compacter au cours des impacts successifs.

Dans ce merlon, comme dans le merlon [sable] (Figure 4), le déplacement maximal déduit de l'accéléromètre a2 est supérieur à celui mesuré par le capteur de déplacement. Cela peut provenir de la plus grande sensibilité de l'accéléromètre qui permet de situer plus exactement le pic de déplacement. Du reste, l'écart entre les deux mesures, qui s'accroît lorsque l'énergie de l'impact augmente, peut confirmer ce commentaire.

La différence de l'enfoncement arrière des merlons [sable+pneu] et [ballast] est flagrante (130 mm / 40 mm, Figure 5). La forte raideur du ballast empêche toute déformation du parement. De ce fait, le merlon [ballast] semble très peu déformé, contrairement au [sable+pneu] où de grands déplacements se sont produits. Des déformations se sont propagées dans tout le noyau, ainsi toute la surface arrière du parement est entièrement déformée, largement et profondément. A contrario, le parement [ballast] s'est enfoncé très localement et même déplacé vers l'amont en périphérie de la zone impactée.

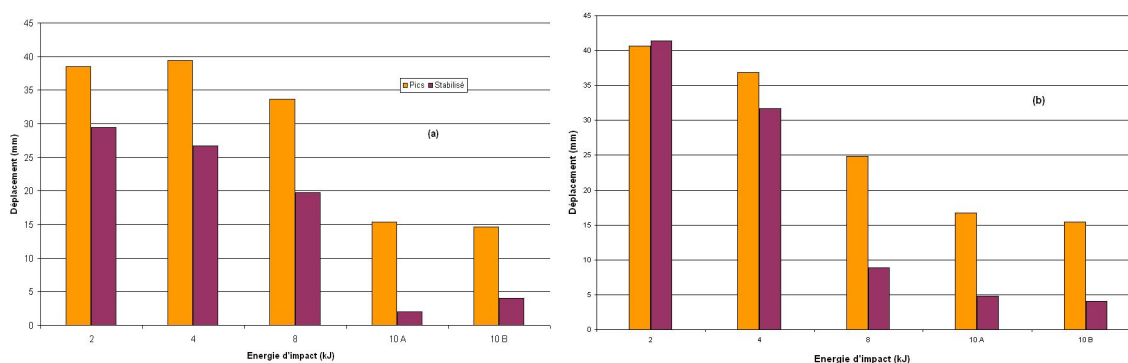


Figure 4. enfoncements maximum et stabilisé de la face arrière du gabion impacté (capteur de déplacement) : (a) [sable+pneu], (b) [sable].

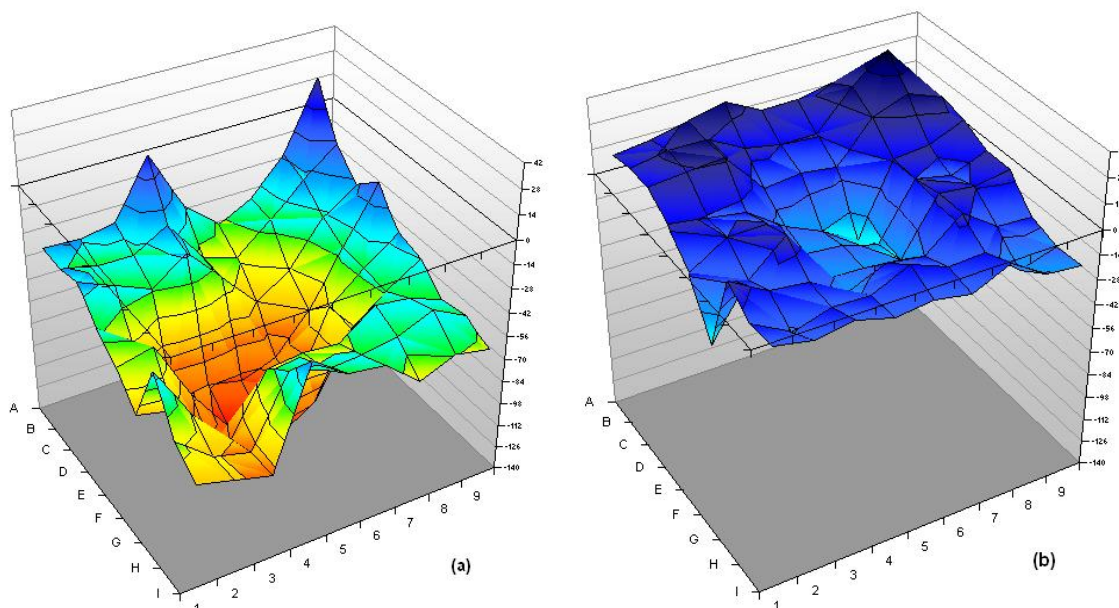


Figure 5. Vue en 3D de l'enfoncement de la face arrière du parement gabion : (a) [sable+pneu], (b) [ballast].

3.3. Effort transmis à l'arrière des merlons de protection

Nous décrivons ici (Figure 6) la distribution de l'effort transmis sur la surface de la plaque aval (Figure 3). Le merlon [ballast] concentre l'effort transmis sur l'axe de l'impact, contrairement aux autres merlons qui diffusent plus largement l'effort. Cet effort est plus faible à l'aval du merlon [sable], qui absorbe beaucoup d'énergie, et est à peine plus élevé à l'aval du merlon [sable+pneu] (1,7 kN). A l'aval du noyau [ballast], il est très important, dès 80% de E_{max} , dépassant 2 kN lors des impacts suivants.

Notons que, dans le merlon [sable], le pic d'effort qui atteint la plaque aval, dans l'axe de l'impact, arrive d'autant plus vite que l'énergie d'impact est grande et que le sable s'est compacté, au cours des impacts antérieurs. De plus, la liaison des gabions du parement induit un effort moindre transmis à l'aval (1,6 kN contre 2,1 kN). Une analyse des efforts directement transmis dans l'axe de l'impact est décrite dans l'article de Lambert et al. (2010).

3.4. Accélération mesurée à l'intérieur des merlons

D'après les mesures des accéléromètres a3 et a4 (Figure 3, Figure 7 et Figure 8) la progression des accélérations dans les noyaux [sable] et [sable+pneu] est similaire (d'allure hyperbolique), mais plus importante dans ce dernier (max : 515 m/s^2 - 210 m/s^2).

Dans le noyau [ballast], les accélérations sont très bruitées, comme dans le parement constitué de blocs rocheux. Il est cependant observé que, lors des essais à E_{max} sur le merlon [sable], l'amplitude des accélérations diminue car la fracturation et le réarrangement des blocs amortissent le transfert d'énergie.

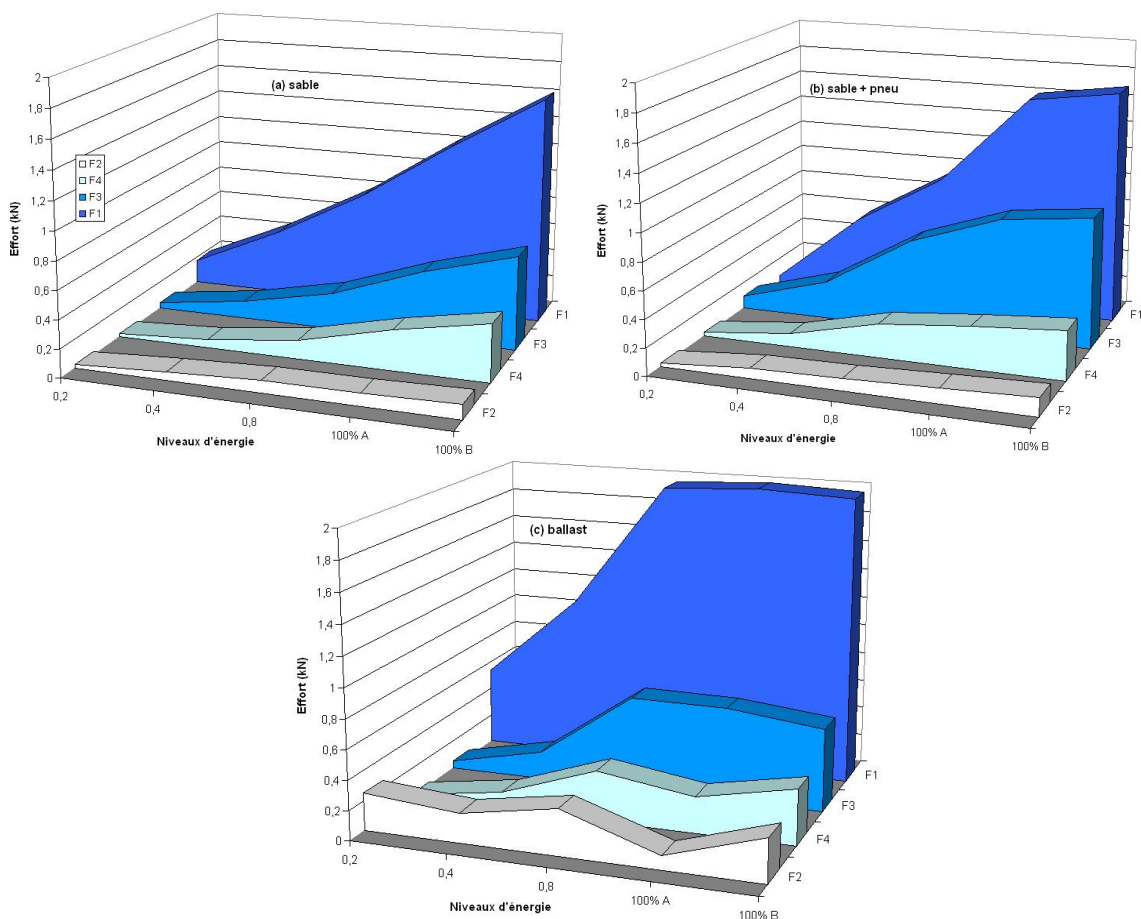


Figure 6. Répartition des efforts à l'arrière du merlon (sur plaque aval).

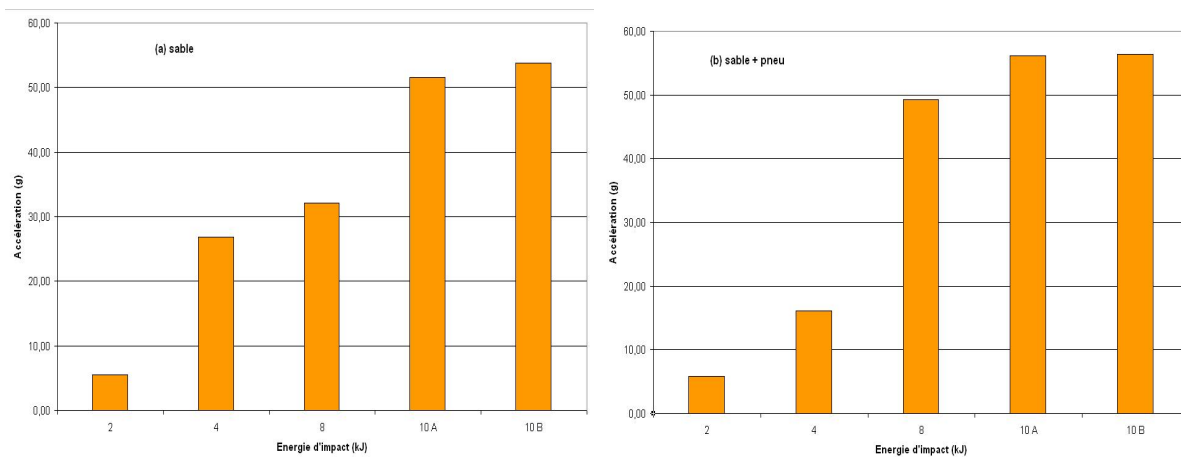


Figure 7. Accélération maximale au centre du noyau, dans l'axe d'impact (acc. a3) : (a) [sable], (b) [sable+pneu].

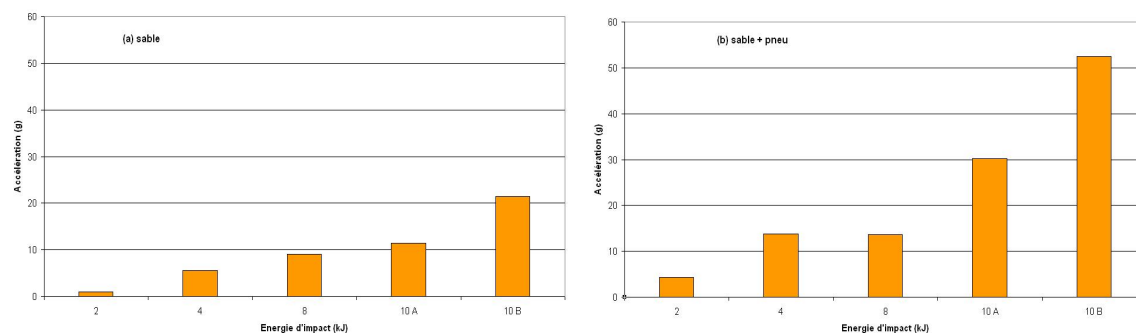


Figure 8. Accélération maximale au centre du noyau, au-dessus de l'axe d'impact (acc. a4) : (a) [sable], (b) [sable+pneu].

4. Conclusions et perspectives

Dans la station d'impact pendulaire décrite dans cet article, des structures pare-blocs de type « sandwich » ont pu être testées. Les noyaux de nature différente qui les constituent ont montré des comportements spécifiques. Des noyaux [sable] ou [sable+pneu] permettent au parement de se déformer largement, a contrario du noyau [ballast], beaucoup plus raide.

La structure [sable] permet le transfert d'un effort moindre sur l'ouvrage aval, alors que le merlon [sable+pneu] diffuse plus largement cet effort. Le ballast transfère très localement et fortement, dans la direction de l'impact, l'effort transmis par le parement.

Globalement, les accélérations mesurées augmentent avec le niveau d'énergie d'impact, mais restent bruitées dans les matériaux hétérogènes.

5. Remerciements

Nous remercions l'ADEME pour son soutien dans le cadre du projet ANR Rempare, ainsi que le partenariat développé entre les acteurs.

6. Références bibliographiques

- Haza-Rozier E. (2010) Projet ANR Rempare - Station d'impact pendulaire du CER – Merlons pare-blocs – Rapport.
- Heymann A., Lambert S., Gotteland P., Collombet M., Douaillat M. (2010) Expérimentations grandeur réelle sur merlons de protection contre les chutes de blocs rocheux. JNGG, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie, Grenoble, Juillet 2010.
- Lambert S. (2007) Comportement mécanique de géocellules – application aux constituants de merlons pare-blocs cellulaires. Thèse de doctorat, Université Joseph Fourier, Grenoble, 237 pages.
- Lambert S., Heymann A., Gotteland P., Douaillat M., Haza-Rozier E., Vincelas G. (2010) Comparaison expérimentale semi-vraie grandeur du comportement de trois structures pare-blocs. JNGG, Journées Nationales de Géotechnique et de Géologie, Grenoble, Juillet 2010.
- Yoshida H. (1999) Recent experimental studies on rockfall control in Japan. Proc. Joint Japan-Swiss scientific seminar on impact by rock falls and design of protection structures, Kanazawa, Japan, pp. 69-78.