



Chutes en crevasses cordes hyperstatiques

Laboratoire d'essai des matériels de montagne ENSA

AUTEUR : Philippe Batoux

INSTITUTIONS

ENSA : Valérie Aumage, Philippe Batoux, Jean-Franck Charlet, Michel Fauquet, Bruno Sourzac.

CNISAG : Blaise Agresti, Jean Nicolas Louis.

Sécurité civile : Florent Dubar, Patrice Fauvel, Michel Pierre.

Petzl : Mathieu Perrussel.

Cette étude a reçu le soutien financier du Ministère des Sports, de la Jeunesse, de l'Éducation populaire et de la Vie associative (MSJEPVA) et de l'Institut National du Sport, de l'Expertise et de la Performance (INSEP)





Système de largage «reproductible» : un alpiniste est suspendu sur un étai et largué toujours dans la même position

RÉSUMÉ

Cette étude porte sur les chutes en crevasses. Nous nous intéressons à l'incidence de la distance d'encordement sur la force générée sur le grimpeur restant en surface lors d'une chute en crevasse. Nous montrons que cette force décroît avec la distance d'encordement comme le prévoit la théorie des facteurs de chute.

Dans une seconde partie, nous avons étudié la différence de force générée sur l'assureur entre des cordes dynamiques et des cordelettes dyneema. Nous avons développé un système simulant de façon reproductible le glissement d'un alpiniste sur la neige. Les forces maximales sont 20% supérieures avec la dyneema mais engendrées sur des temps très brefs. Les valeurs moyennes des forces pendant la chute sont de 20% supérieures avec la dyneema qu'avec la corde dynamique.

Nous avons comparé les efforts sur l'assureur et le

Mots clefs : alpinisme, amarrages en neige, cordes hyperstatiques, cordes dynamiques, crevasse, encordement, progression en corde tendue, randonnée glaciaire.

chuteur dans le cas réel d'un alpiniste retenant la chute en crevasse d'un autre alpiniste. Nous avons filmé ces chutes avec une caméra haute vitesse. Contrairement à ce que nous imaginions il est possible d'enrayer des chutes en crevasses avec des cordelettes dyneema. Cependant la méthode d'arrêt diffère de celle que l'on utilise avec des cordes dynamiques : l'assureur doit se laisser emporter et bloquer progressivement, ce qui est peu intuitif.

Afin de comparer le plus objectivement possible différentes cordes nous faisons chuter des masses rigides de 80 kg. Nous avons comparé la chute d'un alpiniste avec celle d'une masse rigide. Nous avons mesuré des forces supérieures de 9% avec la masse rigide. Les courbes sont de forme similaire.

INTRODUCTION

L'objectif de cette étude est de mesurer l'incidence de la distance d'encordement entre deux alpinistes lors d'une chute en crevasse. La théorie des facteurs de chute annonce que cette force doit décroître avec la distance d'encordement. Qu'en est-il ?

Le second objectif de cette étude est d'étudier la possibilité de s'encorder sur des cordes hyperstatiques ? (de type dyneema 5.5mm)

Nous avons remarqué lors de précédentes études que l'amortissement d'une chute suivait une loi du type oscillateur harmonique amorti du type $\sin(\omega t) e^{-\gamma t}$, où ω est la période de la corde, γ caractérise l'amortissement. Lorsque l'assureur ne parvient pas à enrayer la chute, la plupart du temps, c'est le deuxième rebond qui l'entraîne. Une hypothèse est qu'avec des cordes hyperstatiques il n'y a pas d'amortissement sinusoidal, la tension est plus régulière et donc la chute plus facile à retenir. Les cordes n'ont aucun allongement alors que la norme sur les cordes dynamique impose un allongement maximal de 10% sous 80 daN, cet allongement ajouté de la hauteur de chute aux cordes dynamiques, est-ce que cet allongement peut dans certains cas rendre la chute plus difficile à retenir avec une corde dynamique ?

Dans une troisième partie nous nous sommes intéressés à l'incidence du «mou» sur la corde lors d'une chute en crevasse. Jusqu'à quelle distance de mou, une chute sera-t-elle possible à retenir ? Existe-t-il une longueur optimale d'encordement ? une longueur critique ?

Afin d'avoir des tests reproductibles nous faisons chuter des masses rigides de 80 kg. En effet un corps humain de part sa déformation dans la chute ne tombe jamais de façon identique, ces disparités perturbent la comparaison des mesures.

Nous avons donc comparé les forces obtenues lors de la chute d'un corps humain et d'une masse rigide de même poids.

COMPARAISON MASSE RIGIDE CORPS HUMAIN

Introduction

Objectif :

Comparer les forces engendrée lors d'une chute en crevasse en fonction du type de corde, sur le point d'ancrage et sur la victime avec les cordes dynamique et hyperstatique.

Protocole :

Sur terrain glaciaire enneigé de faible déclivité une masse est suspendue par un déclencheur sur une corde accrochée à un trépieds. Un capteur est installé sur un corps mort et un sur la victime et sur la masse rigide.

Tous les nœuds ont été serrés à 80 daN au laboratoire de l'ENSA.

Analyse :

Les forces maximales sont supérieures de 9% maximum lors des chutes avec la masse rigide.

La différence est sensiblement plus marquée avec la cordelette dyneema qu'avec la corde dynamique (8% contre 9%)

Lorsque l'on calcule la moyenne de la force sur l'ensemble de la chute jusqu'à l'arrêt des oscillations les valeurs sont supérieures de 23% sur la masse rigide.

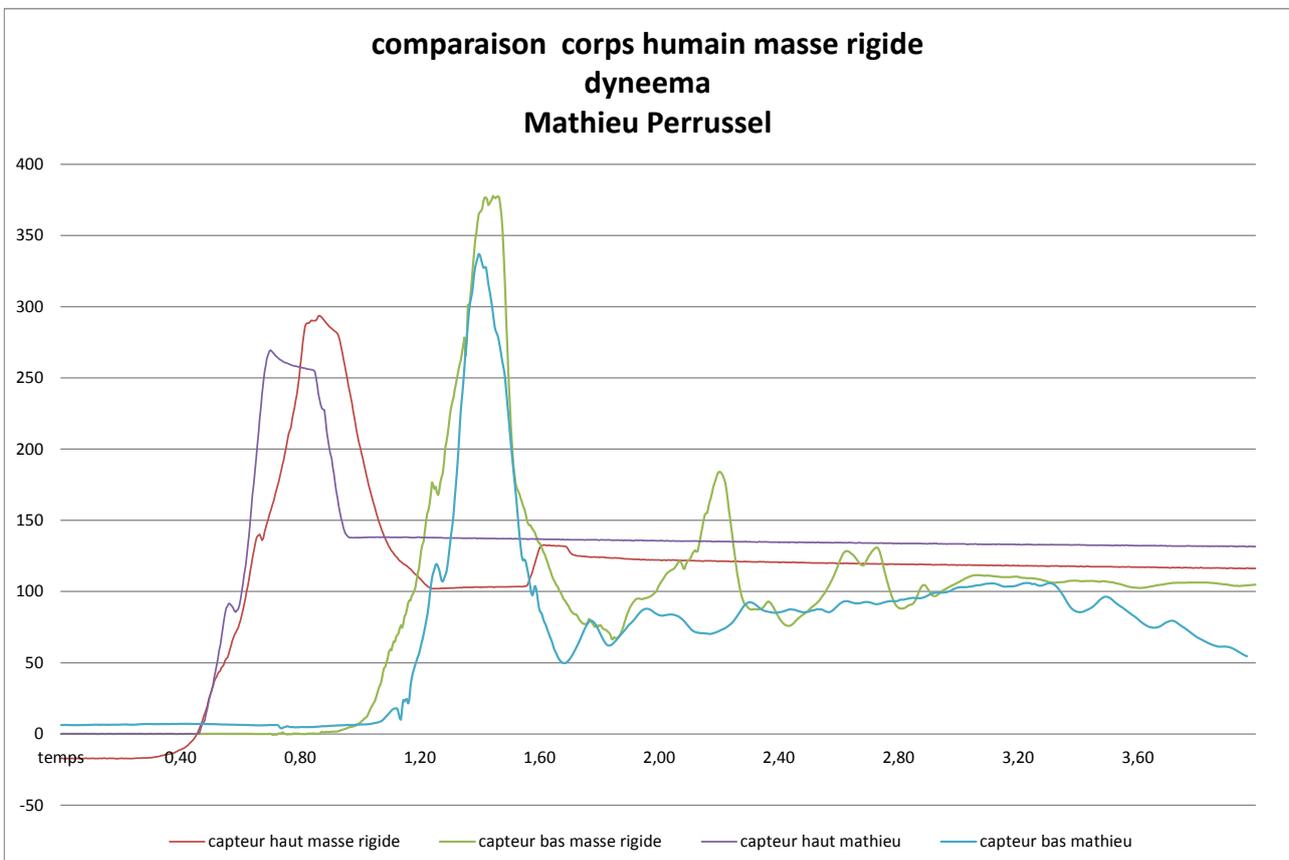
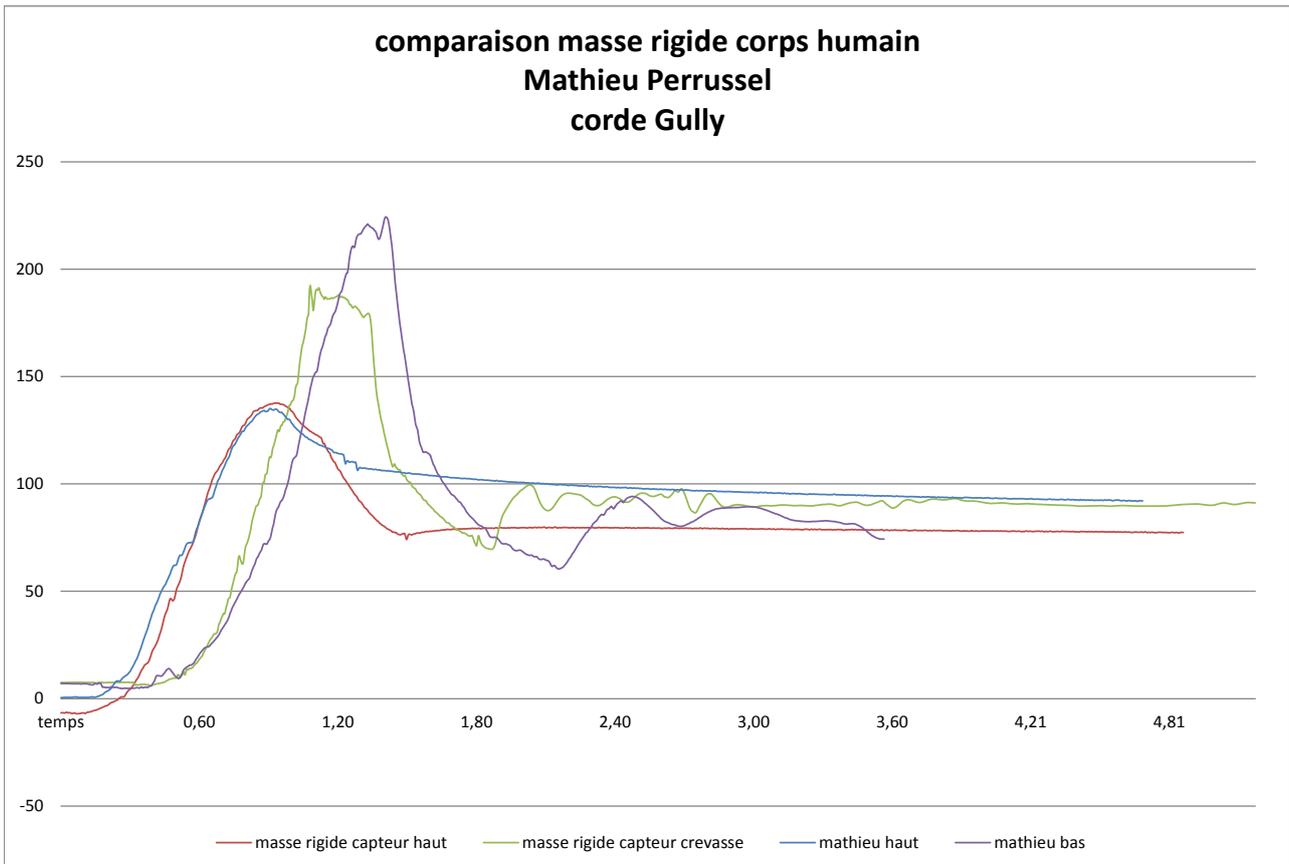
Les oscillations sont amorties par le corps humain

Lors de certaines chutes la force sur l'assureur après la chute varie de 40 à 130 daN soit jusqu'à 50 daN de différence avec le poids de la masse tombante.

Lorsque la masse tombe, la corde s'allonge ; dès que l'énergie cinétique de la chute est consommée par l'élasticité de la corde (et les frottements dans la neige), celle ci se rétracte en oscillant jusqu'à sa position d'équilibre. Nous supposons que les forces de frottements dans le manteau neigeux empêchent la corde de reprendre sa position d'équilibre, la bloquant sous tension et générant cette force inférieure ou supérieure au poids de la masse.

Conclusions :

Les profils des courbes sont assez similaires et supérieurs de 9% sur la masse rigide.
Les oscillations sont amorties par le corps humain.



CHUTES EN CREVASSE ENCORDEMENT SUR CORDE DYNEEMA VS DYNAMIQUE

Introduction

Afin de gagner du poids, les alpinistes et tout particulièrement les skieurs de randonnée, utilisent des cordelettes dyneema pour s'encorder sur glacier.

Ces cordelettes d'un diamètre de 5 à 5.5 mm sont hyperstatiques. Elles ne résistent pas à des chutes de facteur élevées et ne passent bien entendu aucune corde des cordes dynamiques ou semi-statique. La question qui se pose est: sommes nous capables d'enrayer une chute en crevasse avec de telles cordes ?

Pour répondre à ces questions, nous avons effectués des tests dans une crevasse à proximité de la pointe Lachenal. Nous avons fait chuter dans une crevasse, de façon reproductible, une masse rigide de 80 kg, reliée alternativement par une corde dynamique puis une corde hyperstatique de 15 m, à un ancrage équipé d'un capteur de force.

Les cordes testées :

- corde à simple : Diablo (Béal) 10,2 mm
- corde statique dyneema 5,5 mm Petzl.

Objectif :

Comparer les forces engendrée lors d'une chute en crevasse en fonction du type de corde : dynamique ou hyperstatique.

Protocole :

Sur terrain glaciaire enneigé de faible déclivité une masse rigide est suspendue par un déclencheur sur une corde accrochée à un trépieds. Un capteur est installé sur un corps mort.

Nous avons comparé lors de l'étude de 2012 les forces générées lors de chutes en crevasse en fonction du type de corde. Nous faisons chuter les masses sur un point fixe. Avec ce protocole les forces générés par les cordes hyperstatiques étaient proches du double des cordes dynamiques. Ce procédé, bien reproductible, ne prenait pas en compte le déplacement de l'assureur : la mise en mouvement, le freinage sur la neige.

Nous avons donc développé un système pour simuler de façon reproductible le mouvement de l'assureur lors d'une chute en crevasse. Ce système glisse lorsque l'on tire avec une force de 80 daN.



système de glissement à résistance constante permettant de simuler l'entraînement de la personne en surface lors d'une chute en crevasse.

- Mesures de la force sur le point d'ancrage avec un encordement à 15 m et les cordes Diablo 10,4 mm (simple) et corde dyneema 5.5 mm (statique)

Tous les nœuds ont été serrés à 80 daN au laboratoire de l'ENSA.

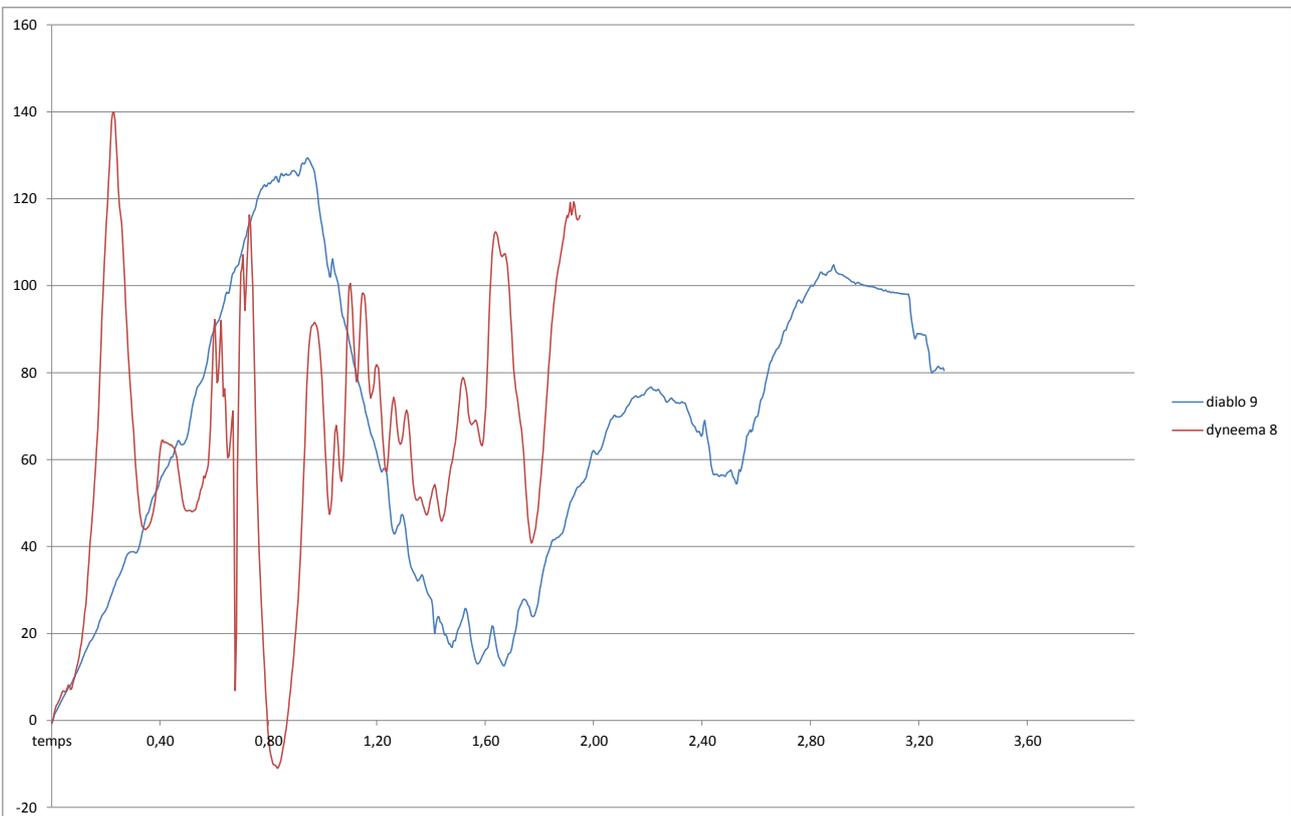
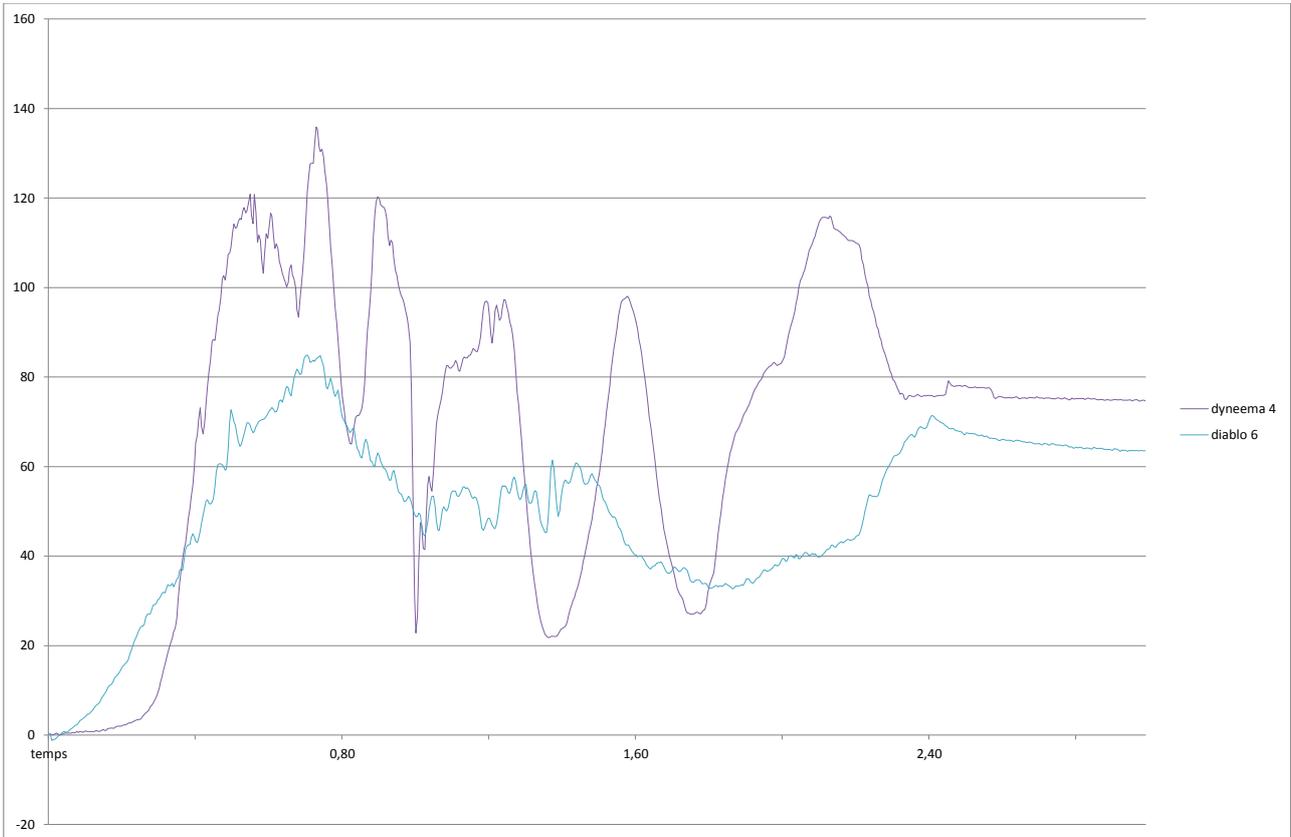
Analyse :

Les forces maximales générées sont très proches. La force croit bien plus rapidement sur la dyneema qu'avec la diablo : le max est atteint en 0.26 seconde avec la dyneema contre 0.95 seconde avec la diablo.

Les valeurs moyennes pendant la chute sont d'environ 50 daN pour la corde diablo et 60 daN pour la dyneema, soit 20% de plus.

Malgré le système de freinage la croissance de l'accélération (jerk) est bien plus rapide sur la dyneema que sur la diablo : 138 Ns^{-1} pour la diablo en moyenne contre 944 Ns^{-1} pour la cordelette dyneema en moyenne sur le premier pic.

La corde dynamique présente donc l'avantage de laisser du temps pour apporter une réponse musculaire à la chute.



CHUTES EN CREVASSE COMPARAISON CORDE HYPERSTATIQUE VS DYNAMIQUE CAS RÉEL

Introduction

Nous nous intéressons dans ce paragraphe au cas réel d'un alpiniste retenant la chute en crevasse d'un autre alpiniste. Ces chutes sont les plus proches de la réalité. Pour des raisons de sécurité, l'alpiniste qui retenait la chute n'avait pas de crampons.

Nous avons fait chuter différentes personnes assurées par différents alpinistes avec des méthodes de retenue de chute en crevasses variées.

Jean-Franck Charlet, en chaussures de skis, parvenait à ancrer ses chaussures facilement dans la neige alors que cela n'était pas possible pour les alpinistes en chaussures de montagne.

Objectif :

Comparer les forces engendrée lors d'une chute en crevasse d'un humain (Jean-Sébastien Knoertzer) retenue par un humain (Jean-Franck Charlet) en fonction du type de

corde : dynamique ou hyperstatique.

Protocole :

Sur terrain glaciaire enneigé de faible déclivité Jean-Sébastien Knoertzer est suspendue par un déclencheur sur une corde accrochée à un trépieds. Un capteur est installé sur le harnais de Jean Franck Charlet encordé soit avec une gully soit avec une cordelette dyneema de 15 mètres.

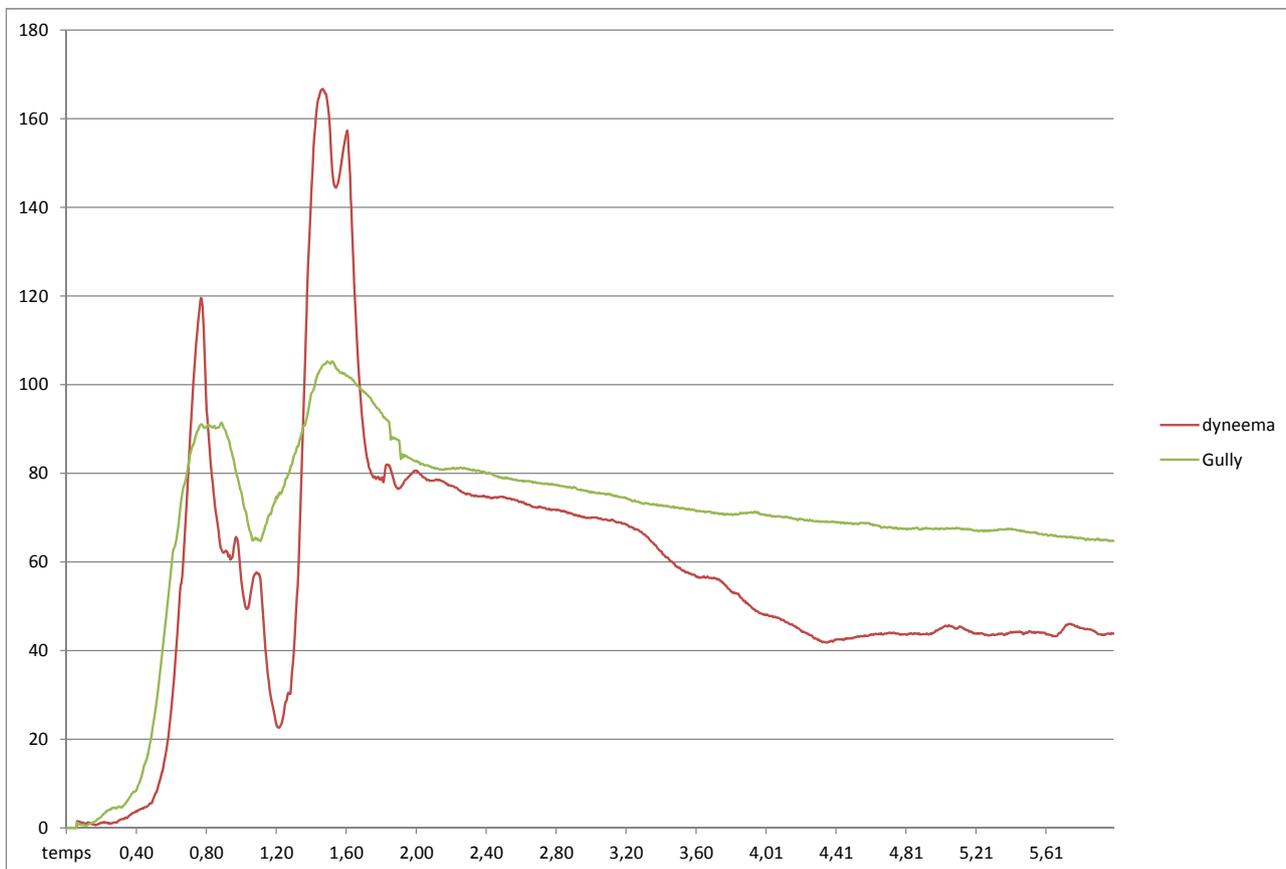
Analyse :

Les forces maximales générées sont plus élevées de 33% lors du premier pic qui correspond à la mise en mouvement (90 daN gully contre 120 daN dyneema) et de 57% plus élevée sur la dyneema que sur la gully lors du second pic qui correspond à l'arrêt de la chute. (105 daN gully contre 165 daN dyneema).

La force croit bien plus rapidement sur la dyneema qu'avec la gully, mais décroît aussi bien plus rapidement sur la dyneema.

La croissance de l'accélération (jerk) est bien plus rapide sur la dyneema que sur la diablo.

En fin de chute la force sur la dyneema n'est plus que de 44 daN. Il est probable qu'elle soit coincée dans la lèvre de la crevasse.



Objectif :

Comparer les forces engendrées lors d'une chute en crevasse d'un humain (Bruno Sourzac) retenue par un humain (Jean-Sébastien Knoertzer) en fonction du type de corde : dynamique ou hyperstatique avec et sans piolet

Protocole :

Sur terrain glaciaire enneigé de faible déclivité Bruno Sourzac est suspendu par un déclencheur sur une corde accrochée à un trépied. Un capteur est installé sur le harnais de Jean-Sébastien Knoertzer encordé soit avec une gully soit avec une cordelette dyneema de 15 mètres.

Analyse :

La chute «gully» n'a pas été retenue.

Sans piolet les forces maximales générées sont plus élevées de 5 daN sur la gully que sur la dyneema lors du premier pic qui correspond à la mise en mouvement

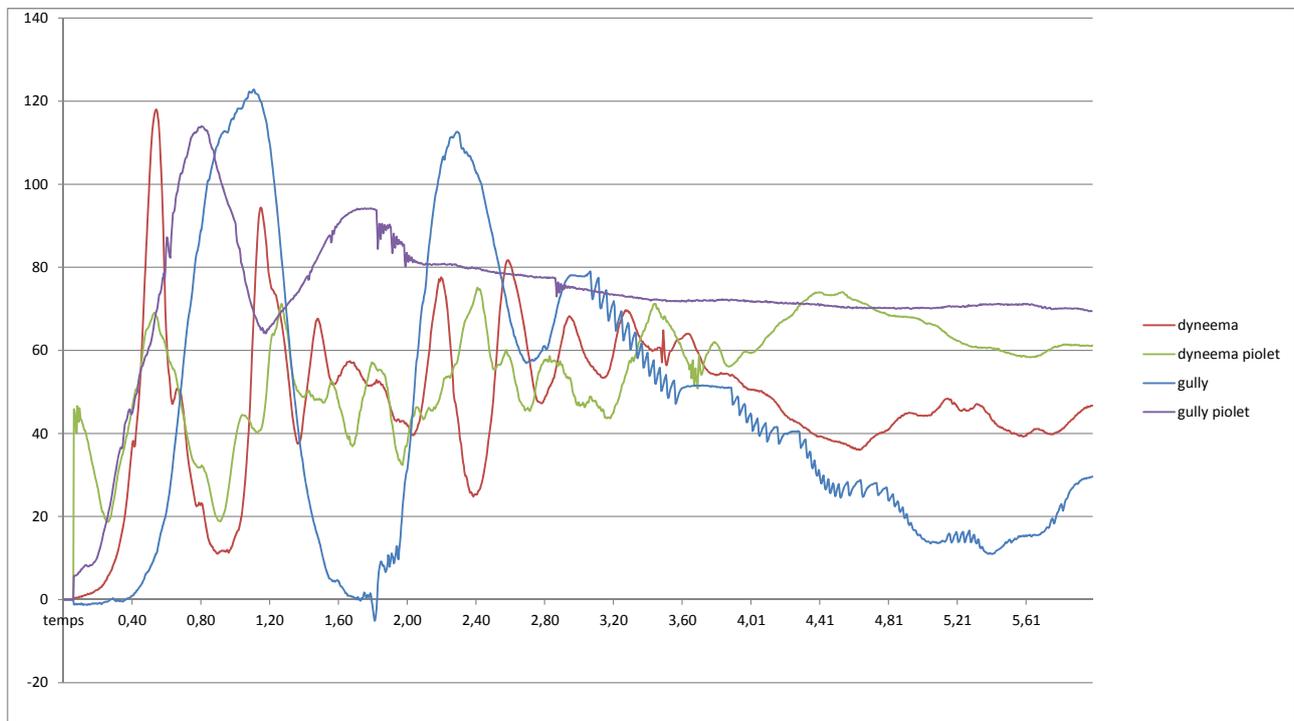
Avec le piolet les forces maximales générées sont plus élevée de 62% sur la gully que sur la dyneema lors du premier pic (114 daN gully contre 70 daN dyneema).

la chute dyneema avec piolet

CONCLUSIONS

En remplaçant les masses rigides par des alpinistes les disparités entre les essais sont bien plus fortes et dépendant de la qualité d'arrêt de la chute.

Globalement avec les essais «humain» la différence entre les cordes dynamiques et hyperstatique est moins marquée.



VARIATION DU MOU ENTRE LES MEMBRES DE LA CORDÉE

Introduction:

Objectif :

Mesurer la force engendrée lors d'une chute en crevasse en fonction de la distance de mou sur la corde entre les membres de la cordée

Protocole :

Nous avons testé 2 types de corde : la Joker et la cordelette dyneema Petzl.

Analyse :

Les chutes génèrent des forces sinusoïdales amorties du type $\sin(\omega t) e^{-\gamma t}$.

ω est la période la corde, γ caractérise l'amortissement.

La difficulté d'arrêt de la chute dépend de la force maximale et du temps pendant laquelle les forces sont appliquées.

La figure 6 montre qu'entre 1 s et 1,6 s la force lors de la chute avec un mètre de mou est supérieure de 40 daN soit 47% de plus, alors qu'entre 0.7s et 1s elle n'est supérieure que de 20 daN soit 20%.

Il est clair que l'arrêt de la chute est bien plus difficile avec un mètre de mou.

Avec 2m5 de mou la force maximale initiale est supérieure de 100 daN, 125 à 225 daN soit 80% supérieure pendant 0.4s.

Cette force supérieure à 150 daN sera très difficile à supporter pour l'assureur.

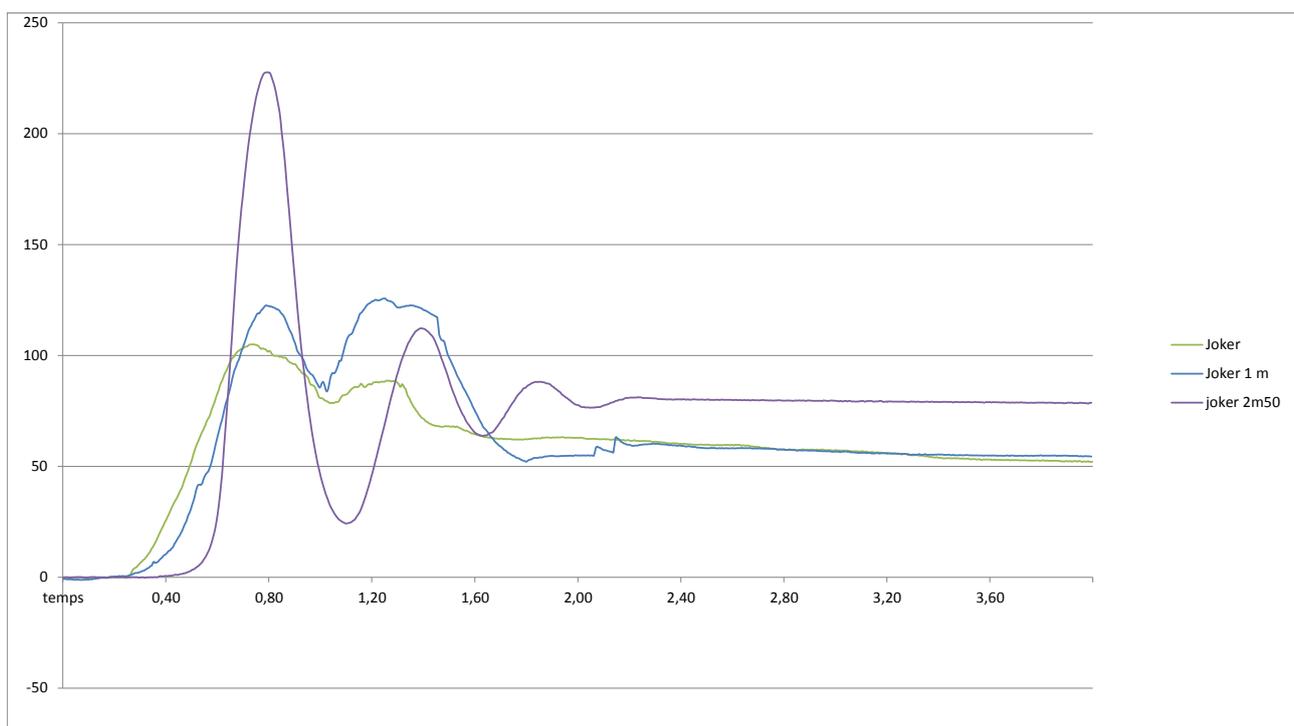


Figure 6 : Force générée sur l'assureur en fonction du mou sur la corde «joker»

LES RÉSULTATS

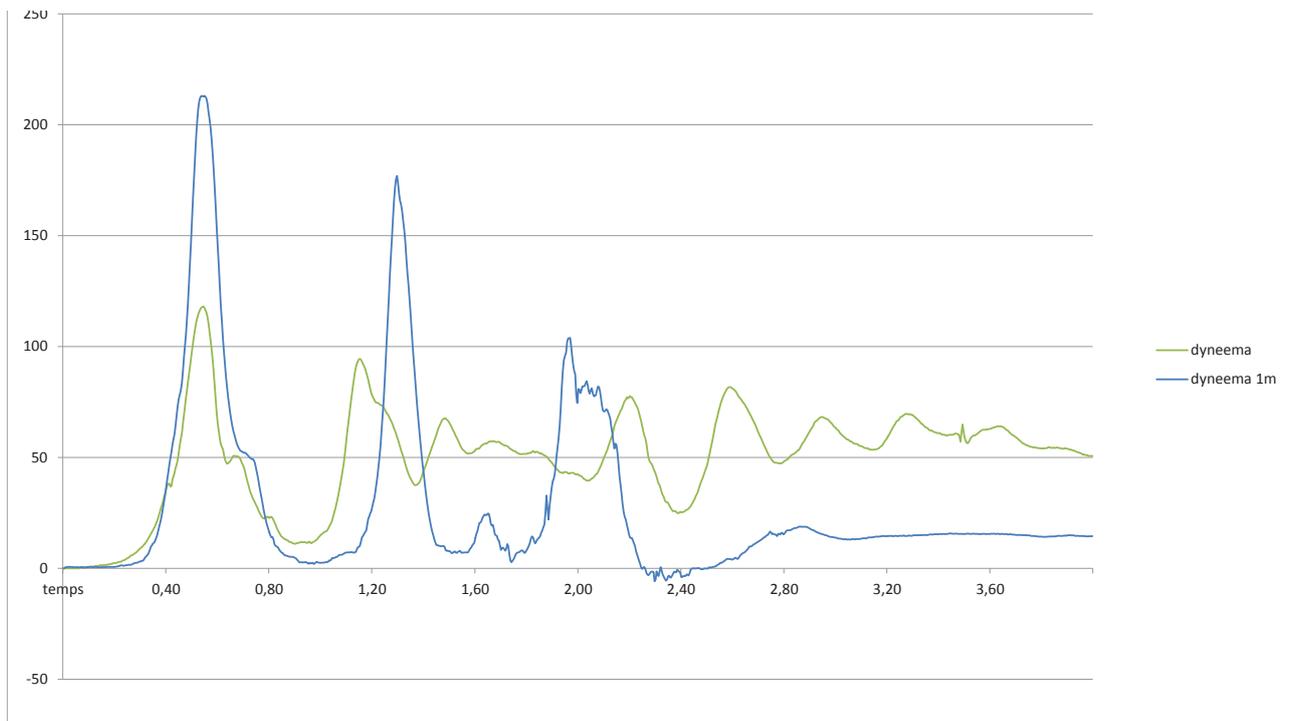


Figure 7 : Force générée sur l'assureur avec la corde tendue et avec un mètre de mou sur la cordelette dyneema

Conclusions :

Il est primordial de tendre la corde entre les membres de la cordée afin de maximiser les chances d'enrayer une chute en crevasse.

INCIDENCE DE LA LONGUEUR D'ENCORDEMENT

OBJECTIF :

Mesurer la force sur engendrée lors d'une chute en crevasse en fonction de la distance entre les deux membres de la cordée.

PROTOCOLE :

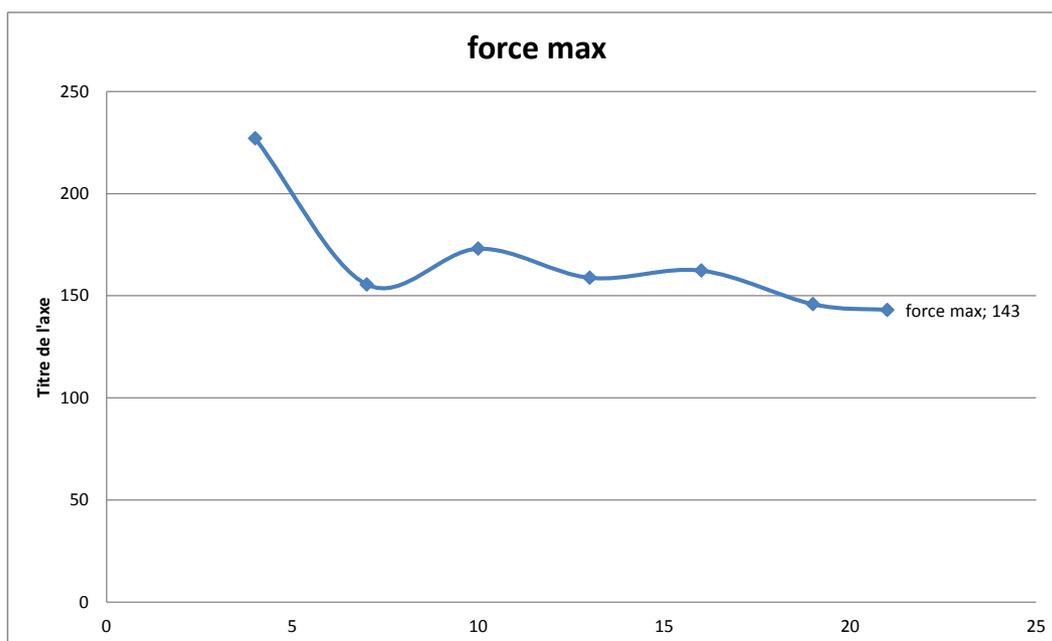
Sur terrain glaciaire enneigé légèrement descendant une masse est suspendue au dessus d'une crevasse par un déclencheur sur une corde accrochée à un trépieds. Un capteur est installé sur des corps morts.

Les nœuds d'encordement sont des nœuds en 8 pré-serrés au laboratoire à 80 daN.

Les tests :

- 3 chutes avec un encordement à 4 m, corde Gully
- 3 chutes avec un encordement à 7 m, corde Gully
- 3 chutes avec un encordement à 10 m, corde Gully
- 3 chutes avec un encordement à 13 m, corde Gully
- 3 chutes avec un encordement à 16 m, corde Gully
- 3 chutes avec un encordement à 19 m, corde Gully
- 3 chutes avec un encordement à 21 m, corde Gully

Nous avons procédé à trois essais par longueurs de corde avec des cordes neuves pour chaque essai.



force engendrée sur l'assureur en fonction de la distance d'encordement, la valeur est la moyenne des forces maximales pour chaque distance mesurée

ANALYSE DES RÉSULTATS

La hauteur de chute étant constante nous avons imaginé qu'en augmentant la longueur de corde, et donc en diminuant le facteur de chute, puisque la hauteur de chute reste constante la force sur l'assureur devrait baisser en augmentant la distance d'encordement.

Or la courbe décroît entre 4 et 7 mètres puis croît jusqu'à 10 mètres, décroît jusqu'à 13 mètres et croît à nouveau jusqu'à 16 mètres pour finalement décroître

La norme sur les cordes dynamiques à simple impose un allongement sous 80 daN inférieur à 10%. Afin d'obtenir la force de choc la plus basse possible les cordes sont proches de cette limite.

Avec un encordement à 15 mètres, la chute est allongée de plus de 90 cm par rapport à un encordement à 6 mètres.

La théorie indique que la force sur l'assureur devrait décroître strictement avec la diminution du facteur de chute. Or nous constatons que si la force décroît entre 4 et 21 mètres, cette force croît entre 6 et 10 mètres. Cette anomalie est difficile à comprendre.

La chute est donc plus facile à enrayer avec un encordement à 7 mètres qu'avec un encordement à 10 m ou 16 mètres. Elle redevient plus facile à enrayer avec un encordement à 19 ou 21 mètres.

Est-ce une erreur expérimentale ou une sorte de résonance

du système corde/neige/victime ? Ces caractéristiques sont elles propres à la corde gully. Une étude avec d'autres types de cordes serait nécessaire pour mieux comprendre ces phénomènes.

Ne connaissant les caractéristiques propres de chaque corde l'encordement le plus long est le plus recommandé.

Conclusions :

L'encordement très court (5 mètres et moins) sur glacier est à proscrire les forces générées rendent impossible l'arrêt d'une chute en crevasse.

Avec la corde gully l'encordement à 21 mètres est celui qui procurera la chute la plus facile à enrayer.

PERSPECTIVES

Les essais nous ont fait remarquer que la nature de la gaine avait une importance non négligeable dans la mécanique de la chute.

Les frottements corde/neige varient considérablement en fonction du type de gaine et l'arrêt de la chute peut être facilité par tel type de gaine.

Une étude sur l'incidence du type de gaine pourra être envisagée.

Remerciements :

Cette étude, pilotée par l'ENSA, est soutenue financièrement par le ministère des sports et l'institut national du sport, de l'expertise et la performance (INSEP). Elle a été réalisée en partenariat avec le centre national d'instruction de ski et d'alpinisme de la gendarmerie (CNISAG), la fédération française de la montagne et de l'escalade (FFME), la sécurité civile, la section aérienne de la gendarmerie, ainsi que les fabricants de matériel de montagne : Béal, Petzl, Simond.

RÉFÉRENCES

- Bedogni V. Load repartition on a stance. CAI-CMT-UIAA, 2010.
- Bellin B, Robert T, Lassia R, Charlet JF. Assurance Dynamique: Modelisation. Rapport INSA-ENSA-UIAA, Meiringen, 2001.
- Braun-Elwert G. Verbunden bis in der tod. Bergundsteigen. N°2, 2008.
- Cours N°5660. Formation été. Formation du Club alpin suisse. Accessible sur www.sac-cas.ch
- Puyjalon E, Lassia R, Charlet JF. Etude dynamique des Mousquetons. Rapport INSA-ENSA-UIAA, 1989.
- Lassia R, Charlet JF. Etude Comparative des Harnais. Rapport INSA-ENSA-UIAA, Prague, 1993.
- Mc Millan N. How strong does climbing gear have to be. BMC-UIAA report, Abisko, Sweden, 2004.
- Melchiori C. Climbing activities Stances. CAI-CMT-UIAA, 2006.
- Meyer F, Charlet JF. Etude des absorbeurs d'énergie. Rapport ENSA-UIAA, Padou, 2002.
- Mosimann U. Les excursions de haute montagne sont elles dangereuses? La problématique des accidents par entraînement. Les Alpes 7: 16-19, 2009.
- Schubert P. Ausrüstung Sicherung - Sicherheit DAV Alpin Lehrplan 6, 1986.
- Schubert P. Sichert und Risiko in Feld und Eis (Alpine Lehrschrift). Band 3. Ed. DAV, 224 pp., 2012.
- Zanantoni C. Analysis of the belaying methods. UIAA 3:7-11, 2005.
- Zanantoni C, Bedogni V. Stance organisation. CAI-CMT-UIAA, 2006
- Zanantoni C, Besson G. Materiali et techniques. Manuali del CAI, 2007.

TABLE DES MATIÈRES

Résumé	2
Introduction	3
Comparaison masse rigide corps humain	4
Chutes en crevasse encordement sur corde dyneema	6
Chutes en crevasse comparaison corde dyneema vs Gully	8
variation du mou entre les membres de la cordée	10
Les résultats	11
Incidence de la longueur d'encordement	12
Objectif :	12
Protocole :	12
Analyse des résultats	13
Perspectives	14
Références	15