



progression en corde tendue et chutes en crevasse

Laboratoire d'essai du matériel de montagne
ENSA

AUTEURS ET INSTITUTIONS

ENSA : Valérie Aumage, Philippe Batoux, Jean Franck Charlet, Gérard Descors, Michel Fauquet, Paul Robach.

CNISAG : Frédéric Amardeil, Vincent François, Cyril Gravier, Jean Nicolas Louis, Sébastien Lucéna, Sébastien Thomas.

FFME : Nicolas Bonnet, Gaël Bouquet des Chaux.

CNEAS : Yoann Haberey, Philippe Tamburini, Nicolas Thiebault.
avec le soutien de l'INSEP





Largage simultané de deux masses de 80 kg simulant la chute de deux alpinistes dans la face nord de la pointe Lachenal

RÉSUMÉ

La pratique de l'alpinisme amène fréquemment les grimpeurs encordés à progresser simultanément, selon la technique dite de la « corde tendue » (CT), soit sur terrain glaciaire, soit en paroi (avec pose de points d'assurage). Ce mode de progression, qui permet notamment un gain de temps considérable, est perçu comme sûr par les pratiquants. Néanmoins, 1) l'approche théorique laisse supposer que les forces induites en cas de chute lors d'une progression CT sont très importantes et donc incompatibles avec la sécurité de la cordée, et 2) de nombreux accidents suite à l'utilisation de la CT ont été rapportés. Toutefois, les valeurs des forces réellement impliquées en CT ne sont pas connues. L'objectif de cette étude est d'une part de mesurer les efforts sur la corde et les éventuels points d'ancrage lors de chutes en progression CT, sur terrain glaciaire horizontal et en paroi, et d'autre part d'identifier les mécanismes cinématiques entre les diffé-

rents matériels: corde, mousquetons, ancrages. Lors d'une progression CT, nous mesurerons premièrement, sur terrain glaciaire horizontal, la force lors d'une chute en crevasse avec et sans nœuds sur la corde; et deuxièmement, en paroi, la force sur les points d'ancrage lors de 1) la chute du second de cordée entraînant la chute du leader, et 2) la chute du leader. L'utilisation d'une caméra haute vitesse permettra de comprendre les mécanismes mis en jeu au niveau des éléments de la chaîne d'assurage. Au vu de ces mesures, nous proposerons une optimisation des techniques et/ou une utilisation différente du matériel afin de réduire l'accidentologie en alpinisme.

INTRODUCTION

L'alpinisme est une activité sportive se déroulant en environnement spécifique (arrêté n° 273713 du 3 avril 2006) et comportant des risques. En alpinisme, le mode de progression dépend de la nature du terrain parcouru et du niveau des alpinistes. En terrain raide et difficile, les alpinistes progressent en faisant des longueurs : un alpiniste grimpe pendant qu'un autre l'assure. Ce dernier est solidement relié au terrain par l'intermédiaire de points d'ancrage. Cette technique est la plus sûre mais comme les alpinistes progressent tour à tour et qu'il est nécessaire d'installer des ancrages couplés, cette technique est peu rapide. En terrain facile et de moyenne difficulté, les alpinistes progressent simultanément, la corde étant tendue entre chaque membre de la cordée. Pour des raisons d'horaire, la grande majorité des ascensions ne peut se faire de relais en relais ; toute cordée doit donc faire des choix entre la progression fractionnée qui sécurise davantage les alpinistes et la progression simultanée, bien plus rapide. L'enseignement de la technique en progression simultanée par les associations officielles d'alpinisme (voir par exemple la référence au cours N° 5660 du Club alpin suisse) montre la réalité de cette pratique.

Paradoxalement, c'est dans le terrain facile à peu difficile que surviennent le plus d'accidents. Entre 1993 et 2009, 492 alpinistes sont décédés dans les Alpes suisses, 139 décès sont liés à des pratiques de corde tendue, soit 28% des cas (Mosimann U, 2009). Les pratiquants experts n'échappent pas à ce type d'accident, comme l'indiquent les statistiques de l'organisation professionnelle des guides de haute montagne français.

Suite à ces nombreux accidents survenus lors de progression en corde tendue, des études ont été menées par la commission de sécurité du Club alpin allemand (Braun-Elwert 2008; Schubert 1983, 2012). Ces études ont notamment montré que le leader était susceptible d'être entraîné par le second de cordée dès lors que la traction exercée sur la corde dépassait 40 kg (Braun-Elwert 2008). Ces études n'ont cependant considéré que la progression sans points d'ancrages intermédiaires entre les grimpeurs, ce qui ne représente en fait qu'une partie du problème.

Nous proposons d'étudier ici le cas plus général où la progression corde tendue inclut des points d'assurance intermédiaires. Les comportements dynamiques des différents éléments lors de la chute du grimpeur ont déjà été étudiés dans le cas de la progression dite «longueur par longueur» (Puyjalon Lassia et al. 1989, Zanantoni 2005, McMillan 2004, Zanantoni et Bedogni 2006, Melchiori 2006, Zanantoni et al. 2007, Bedogni 2010), mais la progression corde tendue n'a à ce jour fait l'objet d'aucune étude expérimentale. Notre étude permettra donc de préconiser certains types de progression en fonction du terrain et de mieux délimiter le cadre de la progression en corde tendue.

Plusieurs types de progression en corde tendue sont à étudier. Le premier est le cas d'une cordée de deux personnes progressant simultanément et encordées sur un glacier. Nous allons mesurer les efforts engendrés par une chute en crevasse de l'un des grimpeurs, en fonction du type de corde et de la présence ou non de nœuds sur la corde.

Le second type de progression à étudier (qui pose davantage de problèmes pour la sécurité des pratiquants) est la progression à corde tendue avec des points d'assurance intermédiaires (placées entre les grimpeurs). Si la chute du leader ne semble pas poser de problème, le cas intéressant ici est le cas de la chute du second entraînant la chute du leader. Plusieurs cas sont apparus lors d'ascensions de parois en glace ; les broches à glace posées dans la longueur ont été arrachées, entraînant le devissage de la cordée. Les broches à glace sont normées (EN568 et UIAA151) et ne devraient pas pouvoir s'arracher dans une utilisation classique. Une hypothèse est que le leader tiré par son second s'écrase sur la broche ; sans aucun amorti de la corde la force de choc engendrée sur le point est théoriquement infinie. D'autres éventualités peuvent être envisageables, le problème réside dans le fait que la force s'exerce sur la corde sous tension. Dans ce cas elle a une élasticité réduite et la force induite sur le point d'ancrage est considérablement augmentée. Toutefois, ces considérations restent purement théorique, aucune mesure expérimentale n'ayant été faite lors de ce type de chute. Des mesures expérimentales restent donc à réaliser.

Notre étude est novatrice pour deux raisons:

- 1) nous mesurerons pour la première fois sur le terrain, les forces induites par une chute simultanée de deux grimpeurs lors d'une progression à corde tendue;
- 2) l'acquisition d'images au moyen d'une caméra haute vitesse permettra de suivre les interactions entre la corde, les mousquetons et les points d'ancrage, comme la double circulation de la corde, le coup de fouet de celle-ci lors de l'arrêt de la chute, ou encore les phénomènes vibratoires sur les mousquetons. Cet aspect de l'étude cinématique des chutes simultanées des deux masses est un point essentiel qui permettra de comprendre précisément les mécanismes mis en jeu, et les causes potentielles de rupture d'un ou plusieurs éléments de la chaîne d'assurage. Seule l'utilisation d'une caméra haute vitesse permettra de réaliser les investigations nécessaires.

OBJECTIF

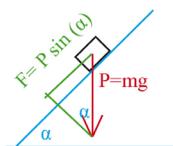
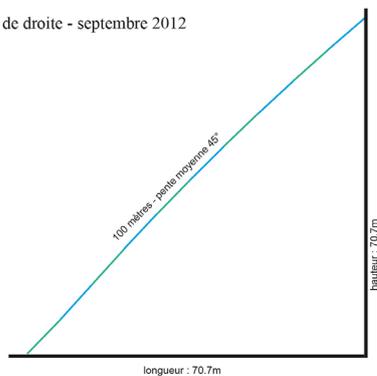
L'objectif de ce travail est double.

La première partie consiste à mesurer, sur le terrain de haute montagne, les contraintes subies par les points d'assurance lorsque deux alpinistes encordés chutent simultanément lors d'une progression dite «à corde tendue», point d'assurance entre les deux alpinistes), notamment dans une pente de neige/glace.

La seconde partie est consacrée à l'étude des contraintes subies par un alpiniste enrayant une chute en crevasse en fonction de différents paramètres.

Cette recherche permettra de formuler des recommandations pratiques aux alpinistes. L'objectif est de diminuer l'accidentologie en alpinisme. Les tests scientifiques ont été effectués en haute montagne, en terrain glaciaire, dans la face nord de la pointe Lachenal, à 3600 m d'altitude, dans le massif du Mont-Blanc, au mois de septembre 2012. Une étude de faisabilité a été réalisée sur le même site au mois de juillet 2012. Celle-ci a permis de préciser le protocole expérimental définitif.

Pente de droite - septembre 2012



$m = 80 \text{ kg}$
 $g = 9.81 \text{ ms}^{-2}$
 $\alpha = 45^\circ$
 $F = 55,4 \text{ daN}$
 $\alpha = 48,4^\circ$
 $F = 58,7 \text{ daN}$

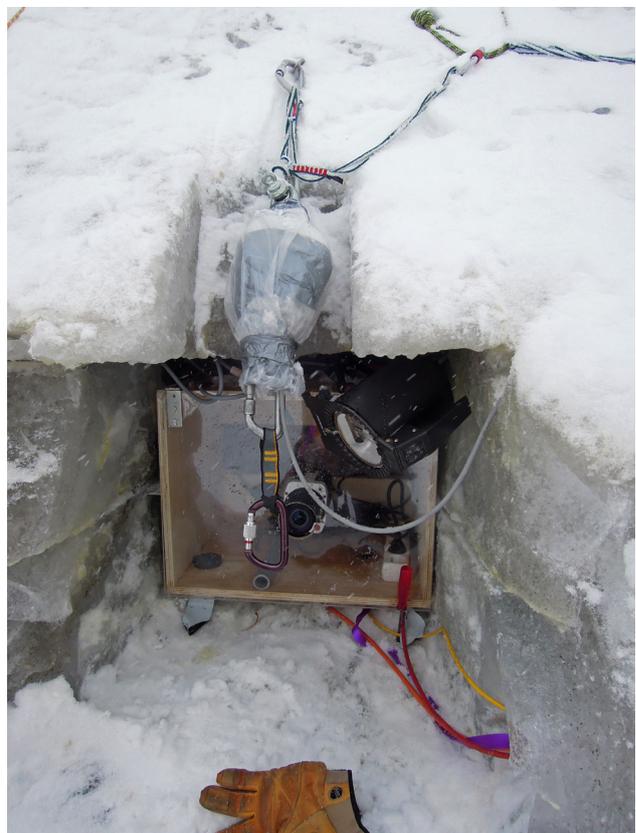
CHUTES EN CORDE TENDUE.

MESURES RÉALISÉES

Les mesures ont été réalisées dans une pente en glace inclinée à 45° de moyenne. Lors d'une chute simultanée de deux masses de 80 kg reliées entre elles par une corde de 30 m, des mesures de force de choc, ainsi que des acquisitions d'images haute vitesse au niveau du point d'assurance au cours de la chute, permettront de comprendre précisément les mécanismes mis en jeu.

Capteur et chaîne de mesure srt/ENSA :

Caméra Vision research phantom M120 :
 1920*1200 pixels ; 730 img/s.



caméra haute vitesse et dynamomètre

Objectif :

Mesurer la force sur le point d'ancrage lorsque la chute du second entraîne la chute du leader.

Protocole :

Sur une pente de glace d'une inclinaison moyenne de 45° deux masses de 80 kg sont reliées entre elles par une corde d'escalade de 30 m en configuration corde tendue. Les masses sont encordées avec un nœud en huit. Un capteur est installé sur le point d'assurage situé à 25 m en dessous de la masse supérieure.

La masse aval est libérée à distance par un opérateur grâce à un système de largage trois anneaux¹. La masse amont est maintenue en position grâce à une cordelette

¹ système d'ouverture de parachute cf page 15

fusible qui casse sous une traction de 85 kg. La chute de la masse en aval entraîne la masse en amont. Trois modèles cordes ont été utilisées : L' Ice line (diamètre 8.1mm testé en simple), la Joker (diamètre 9.1mm testé en simple), la Diablo (diamètre 9.8mm testée en simple) et l' Ice twin (diamètre 7.7mm testée en double).

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

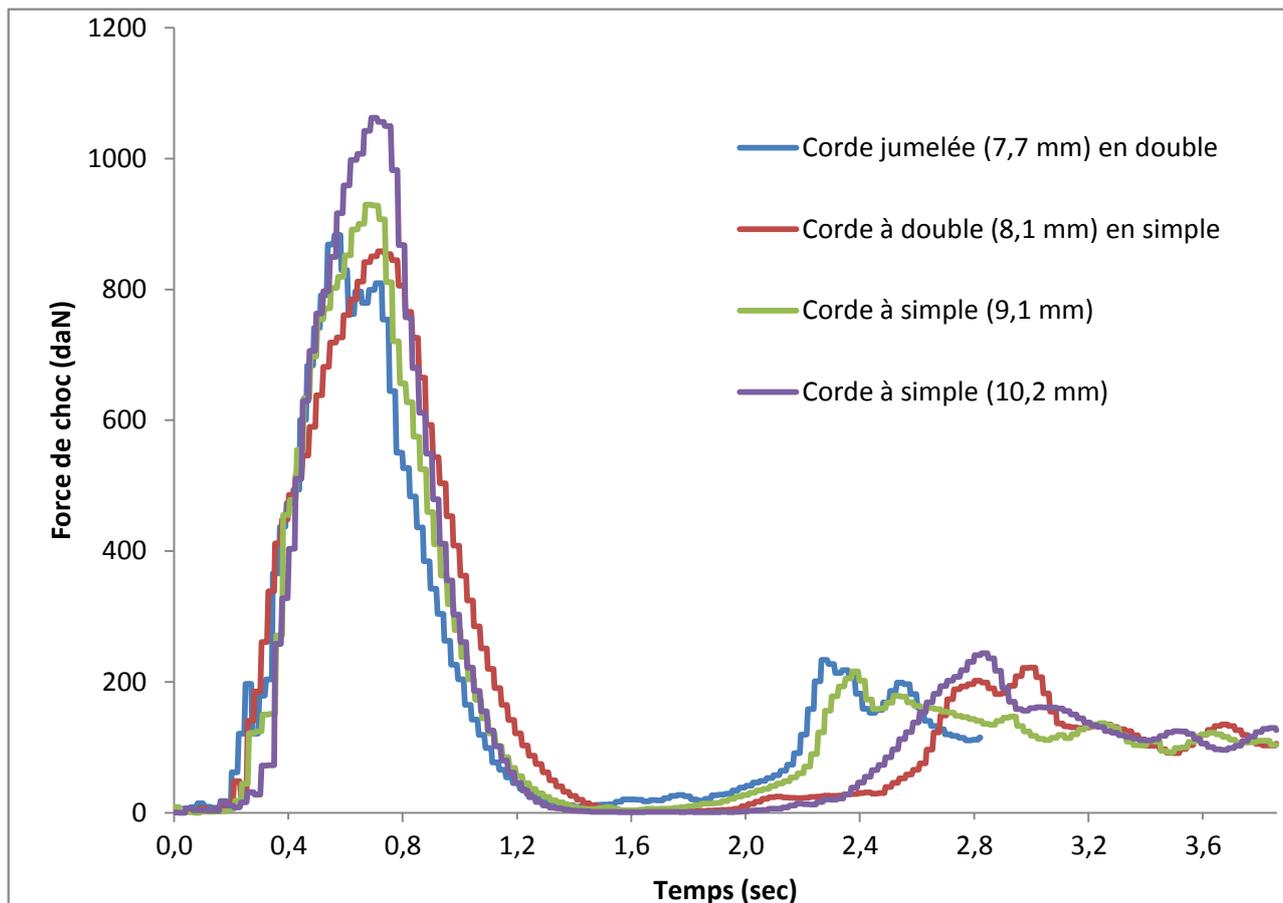
Afin d'assurer la reproductibilité de nos tests et de pouvoir comparer le plus objectivement possible les différents types de corde, nous avons utilisé une masse rigide de 80kg. Un corps humain du même poids, de part sa déformation dans la chute et la connexion via un harnais, engendre des forces environ 30% inférieures. (travaux Petzl Afnor mars 2011).



face nord de la Pointe lachenal transformée en laboratoire

OBSERVATIONS ET INTERPRÉTATION :

Le graphique suivant exprime la valeur de la force mesurée sur le point d'ancrage (en daN) en fonction du temps (en seconde). Nous avons effectué une série de deux tests. La présentation graphique présente l'essai le plus défavorable pour chaque corde.



Corde	Force max (daN)
Ice line	860
Ice twin (deux brins de corde)	972
Joker	930
Diablo	1065

Le rôle de la corde est d'absorber l'énergie cinétique par son allongement. Une partie de l'énergie de la chute est absorbée par le frottement et par la déformation de la corde sur le mousqueton.

Lors de nos tests, la corde qui transmet lors de la chute la force la plus faible sur le point d'ancrage est l' Ice line.

Le point d'assurage est une broche à glace (nous avons utilisé deux broches de 21cm et une de 17cm). Aucun arrachement ou rupture de broche n'a été observé. Trois broches ont été tordues lors des tests avec les cordes Diablo et Joker pour des valeurs de charge de plus de 900



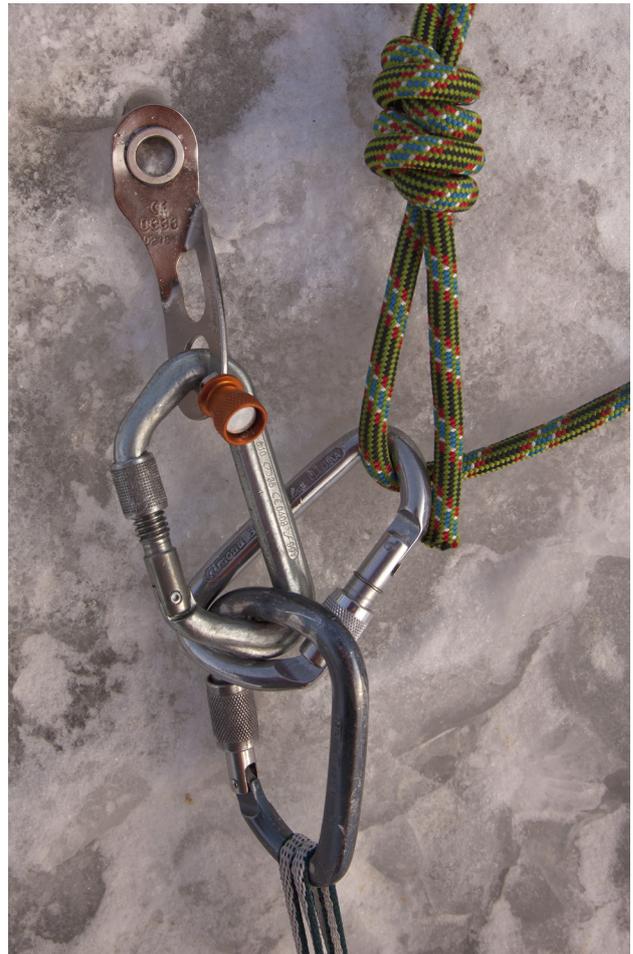
l'état des broches après les chutes montre la violence des chutes simultanées

daN. La norme (EN 568) pour une broche est de 1000 daN. Cependant les broches actuellement sur le marché ont des résistances supérieures à celle de la norme (1500 daN pour celles que nous avons utilisées).

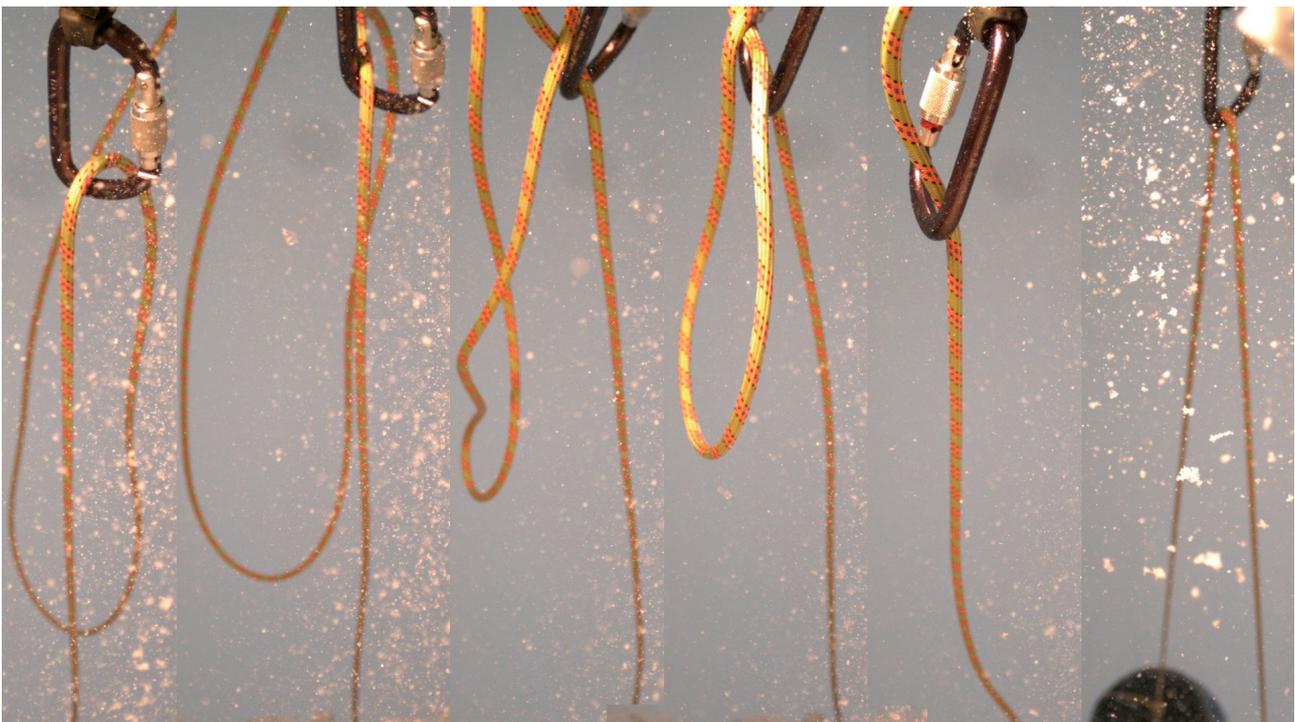
Les broches ont été installées dans une glace homogène d'excellente qualité.

Il n'est pas toujours possible de visser sa broche dans une glace d'aussi bonne qualité. Elle risque alors de s'arracher sous les contraintes de forces que nous avons mesurées.

Ces tests ont été filmés avec une caméra haute vitesse. Les images montrent que la corde est animée de mouvements complexes (boucles, vrilles, huit) à proximité du mousqueton dans lequel la corde passe. La corde est détendue pendant la durée de la chute. Lors des premiers tests nous avons choisi d'utiliser un mousqueton à vis. Lors d'un test, la corde a dévissé la bague de sécurité du mousqueton.



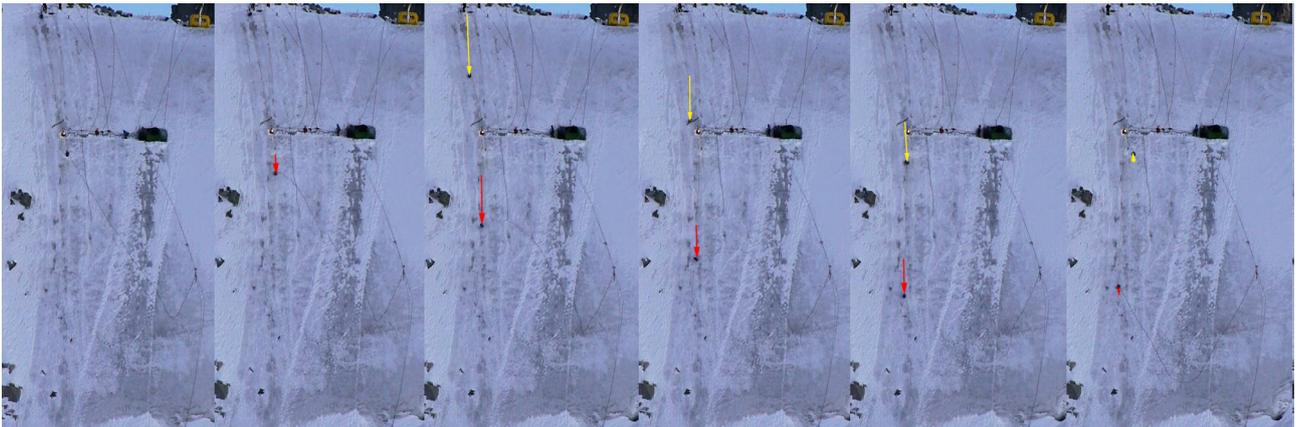
La broche a été tordue ; on voit l'agrandissement du trou par écrasement de la glace sous la pression engendrée par la chute



Lors de cet essai avec une corde à double, les boucles de mou ont ouvert la vis du mousqueton. Afin d'éviter tout risque de perdre les masses nous avons remplacé le mousqueton à vis par un mousqueton à bayonnette.



Boucles de mou de la corde jumelée et mouvements du mousquetons.



Les déplacements des masses d'une image à l'autre sont représentés par les flèches jaunes (masse du haut) et rouges (masse du bas).

Nous n'avons jamais observé un « écrasement » de la masse amont sur le point d'ancrage (par guidage de la corde). Sur les vidéos, nous observons que lorsque la masse du bas tire celle du haut, la masse du bas est ralentie et celle du haut largement accélérée, de ce fait elle descend toujours plus bas que le point d'ancrage. En effet la vitesse de la masse amont étant supérieure à celle de la masse aval et la pente ayant une inclinaison quasi constante, la masse amont va parcourir plus de distance pendant un même temps, donc s'arrêter en dessous du point d'assurage.

La chute de la masse amont est extrêmement violente. Les percussions lors des rebonds sur la pente de glace ou sur tout autre obstacle (rocher par exemple) pourraient entraîner de graves traumatismes pour le chuteur. Afin de réduire cette vitesse, la possibilité qui s'offre au grimpeur est de diminuer sa hauteur de chute en posant plus de points de protections.



Violents rebonds de la masse amont lors de la chute ; on voit clairement le « mou » sur la corde d'assurage.

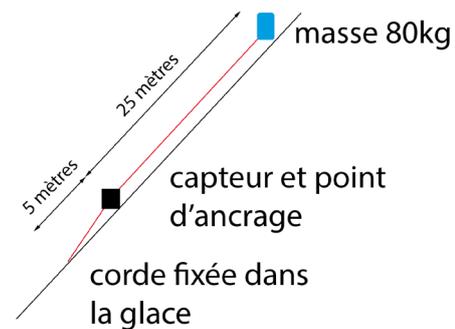
CHUTE CLASSIQUE : COMPARAISON

Objectif :

Mesurer la force sur le point d'ancrage lorsque seul le leader chute afin de comparer avec l'étude précédente où les masses chutent simultanément.

Protocole :

Sur une pente de glace présentant une inclinaison moyenne de 45° une masse de 80 kg est reliée à un relais par une corde dynamique de 30 m. Un point d'assurage sur lequel est installé le capteur est à 25m en dessous de la masse. Le relais (une grosse lunule) est 5m en dessous du point d'assurage. La masse amont est libérée par un opérateur.



protocole

OBSERVATIONS ET INTERPRÉTATION :

Dans la configuration précédente, en omettant l'allongement de la corde, l'énergie potentielle du système est : $2 * m * g * 25 * \sin(\alpha)$ (deux masses tombent de $25 * \sin(\alpha)$ mètres de hauteur). Dans la configuration de chute classique l'énergie potentielle est identique puisque qu'une seule masse tombe mais de $2 * 25 * \sin(\alpha)$ mètres. Les forces mesurées sur le point d'ancrage pourraient donc être similaires.

Or la force mesurée lors de la chute classique est inférieure de 29% à celle du test en chute simultanée. La juxtaposition des forces d'arrêt des deux masses engendre une dynamique encore non explorée.

Dans le cas où la corde est fixée au relais ; la masse du haut chute ; de part son élasticité la corde glisse dans le mousqueton et une partie de l'énergie est absorbée par le frottement corde/mousqueton. Dans le cas où les deux masses chutent l'arrêt des deux masses est simultané, sans mouvement (ou presque) de la corde dans le mousqueton.

Cette différence de frottement explique en partie l'écart de force.

CHUTE EN CORDE TENDUE AVEC BLOQUEUR MÉCANIQUE SUR LE POINT D'ASSURAGE

CHUTE DU SECOND

Objectifs :

Mesurer la force sur le point d'assurage et sur le grimpeur leader lorsque le second chute avec un système bloqueur sur le point d'ancrage. Voir si la corde est endommagée par cette chute.

Protocole :

Sur une pente d' une inclinaison moyenne de 45° deux masses de 80 kg sont reliées par une corde d'escalade de 30 m. Un point d'assurage est situé 25m en aval de la masse amont et 5m en amont de la masse aval. Un capteur est installé sur le point d'assurage, un autre sur la masse amont. La masse aval est libérée grace au système trois anneaux.

- avec un tibloc. Le tibloc est placé sur le mousqueton du bas de la dégaine. Chute avec 40cm de mou.
- avec une micro traction. La micro traction est placée sur le mousqueton du bas de la dégaine. Chute avec 40cm de mou.

La force max mesurée sur le point d'assurage est de :

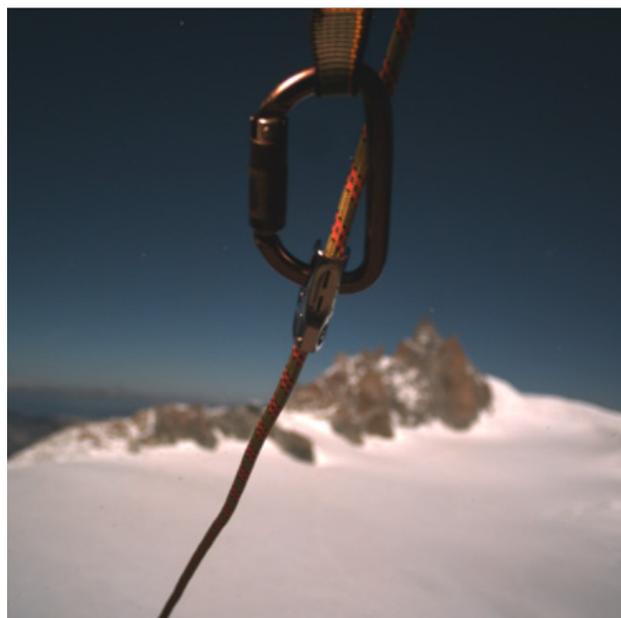
Corde et bloqueur	Force (daN)
Ice line et Tibloc	185
Ice line et micro traction	186

Grâce à la caméra haute vitesse, on observe lors de ces tests que le glissement de la corde avant son blocage est négligeable (4 cm environ). La corde n'est pas endommagée.

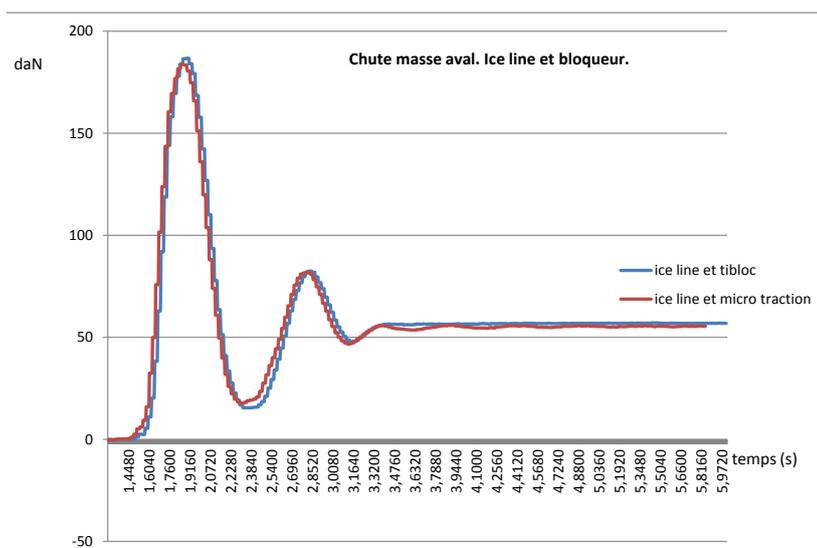
Mesure de la force sur le baudrier du grimpeur amont : Les forces mesurées sont négligeables. Le système fonctionne, la chute du second est entièrement prise en charge par le bloqueur.

Conclusion :

Lorsque le second chute il n'y a aucune tension sur le leader dès que l'on a mis en place un tibloc™ ou une microtraction™ sur le point d'ancrage.



corde à double et tibloc positionnés pour l'escalade



CHUTE DU LEADER

Objectifs

Mesurer la force sur le point d'assurage lorsque le leader chute avec un système bloqueur sur le point d'ancrage. Voir si la corde est endommagée.

Protocole

Sur une pente de glace d'une inclinaison moyenne de 45° deux masses de 80 kg sont reliées par une corde dynamique de 30 m. Un point d'assurage muni d'un bloqueur mécanique (tibloc ou micro traxion) est à 15m des deux masses. Un capteur est installé sur le point d'assurage. La masse aval est posée sur une petite terrasse, la masse amont est libérée. Les masses ne sont pas dans le même axe vertical.

Résultats

Le Tibloc et la micro-traction n'ont pas endommagé la corde.

Lors du test avec la micro traxion, la masse amont remonte plus haut et plus vite vers le relais qu'avec le Tibloc du fait de la poulie qui limite les frottements.

On remarque dans ce test la relativement faible force de choc sur le point d'assurage, cela est dû à la remontée de la masse aval lors de la fin de chute de la masse amont.

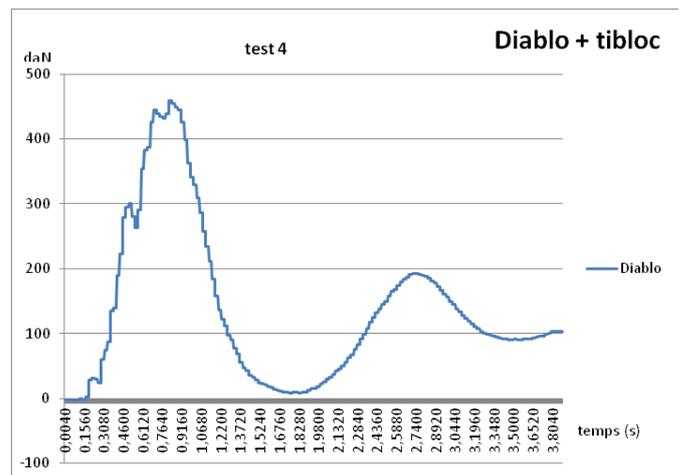
Conclusion

Le Tibloc est préférable à la micro traxion (la poulie avec cette dernière, la masse aval remonte et percute le point d'assurage). Ce système peut, compte tenu des tests 3 et 4 être utilisé pour progresser en corde tendue dans des terrains type pentes de neige/glace d'inclinaison moyenne 45/55°. Néanmoins, ce type de progression fait apparaître un risque : la collision entre masse aval et masse amont.

Remarque

Lors d'un des tests avec bloqueur, un tibloc et une ice line, la masse amont est venue percuter la masse aval, pendue sur le tibloc, la corde s'est rompue.

Ce protocole est peu probable car il signifie que le second tombe sur le bloqueur puis que le leader tombe à son tour. La corde disponible pour amortir la chute a déjà perdue une partie de son élasticité du fait de sa mise en tension préalable par la masse aval. Nous avons enregistré une force de 400 daN avant la rupture. La corde s'est rompue au niveau du tibloc, avec une force de très loin inférieure à la résistance de ce type de corde.



Force sur le point d'ancrage avec une corde à simple 10.2 mm et un tibloc lors d'une chute du leader en facteur 1



tibloc et corde intacte après la chute du leader

Le risque lorsqu'on utilise un bloqueur est la collision. Si le leader vient s'écraser sur le second, ce dernier est stoppé par le bloqueur. On se retrouve dans une configuration où le facteur de chute peut très largement dépasser 2 ! Arrêté par écrasement sur les dents du bloqueur la corde peut casser.

Conclusion

Compte tenu des forces générées sur le point d'ancrage et de la violence de la chute du leader, la méthode de progression en corde tendue ne peut pas être systématisée.

Cette méthode peut être envisagée lorsque le risque de chute du second est faible, et si le risque de collision du leader sur le second est limité.

Les forces engendrées sur le point d'ancrage sont les plus faibles si l'on utilise une corde à double en mousquetonnant alternativement les deux brins.

Si l'on redoute la chute du second, l'utilisation d'un bloqueur mécanique sur le point d'ancrage peut être envisagée, tant qu'il n'y a pas de risque de collision du leader sur le second.



CHUTE EN CREVASSE

Introduction

Lors d'une évolution sur glacier, afin de limiter les conséquences d'une chute en crevasse, les alpinistes progressent encordés, à une distance d'au moins 12 mètres, la corde tendue, sans anneaux à la main. L'observation montre qu'il est toujours difficile d'enrayer une chute en crevasse, ce qui nous a amené à poser les questions suivantes :

1) Le type de corde influence-t-il les forces engendrées sur l'assureur ?

2) Des nœuds sur la corde permettent-ils de baisser la force engendrée sur l'assureur ?

Pour répondre à ces questions, nous avons effectué 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 par une corde de 15 m à un ancrage équipé d'un capteur de force. Nous avons testé les trois types de cordes dynamiques, ainsi qu'une corde statique. Les tests ont été répétés avec des nœuds sur la corde.

Les cordes testées :

- corde jumelée : Ice twin (Béal) 7,7 mm
- corde à double : Ice line (Béal) 8,1 mm
- corde à simple : Diablo (Béal) 10,2 mm
- corde statique dyneema 5,5 mm.

Objectif :

Mesurer la force engendrée lors d'une chute en crevasse lors d'une progression sur glacier en corde tendue en fonction du type de corde et de la présence de nœuds ou non.

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.

- Mesures de la force sur le point d'ancrage avec un encordement à 15 m et les cordes ice twin (jumelée), Ice line (double), diablo 10,4mm (simple) et corde dyneema 5.5 mm (statique)
- Mesures de la force sur le point d'ancrage avec un encordement à 15 m des nœuds tous les 3 m et les cordes ice twin (jumelée), Ice line (double), diablo 10,4mm (simple).

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

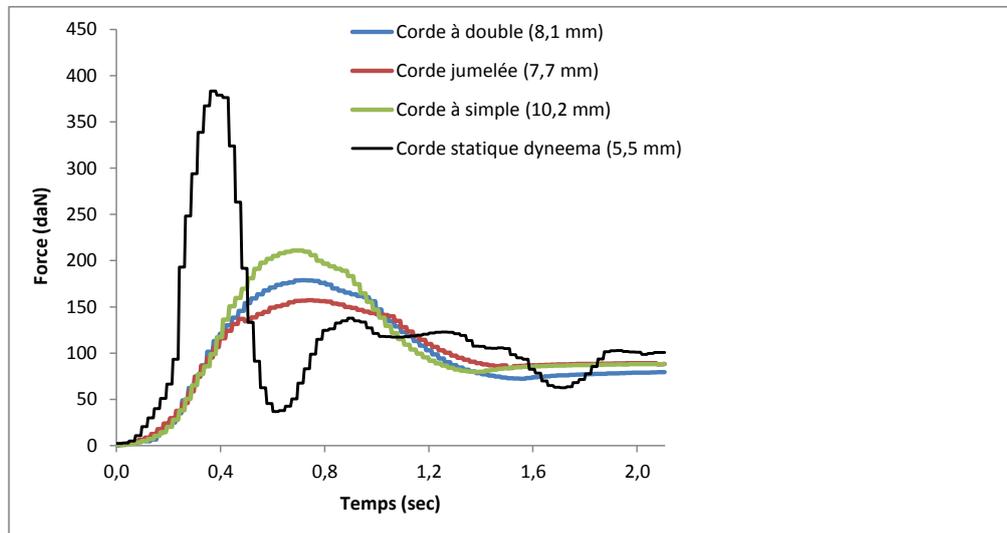
Mise en place

Les tests de chute en crevasse ont eu lieu dans une crevasse située sous la face nord de la pointe Lachenal à une altitude de 3550 mètres. La masse est amenée à 1 mètre de l'extrémité de la lèvre de la crevasse au moyen d'une tyrolienne fixée sur un trépied. Elle est fixée sur la tyrolienne par un « système trois anneaux » (système de libération d'un parachute). Ce système permet de libérer la masse à distance et toujours de la même manière.



système de déclenchement 3 anneaux





Comparatif des forces sur le point d'ancrage en surface en fonction du type de corde

Conclusions

La retenue d'une chute en crevasse est difficile. La difficulté est accentuée si les alpinistes n'ont pas de crampons, ou progressent en skis de randonnée ou raquettes.

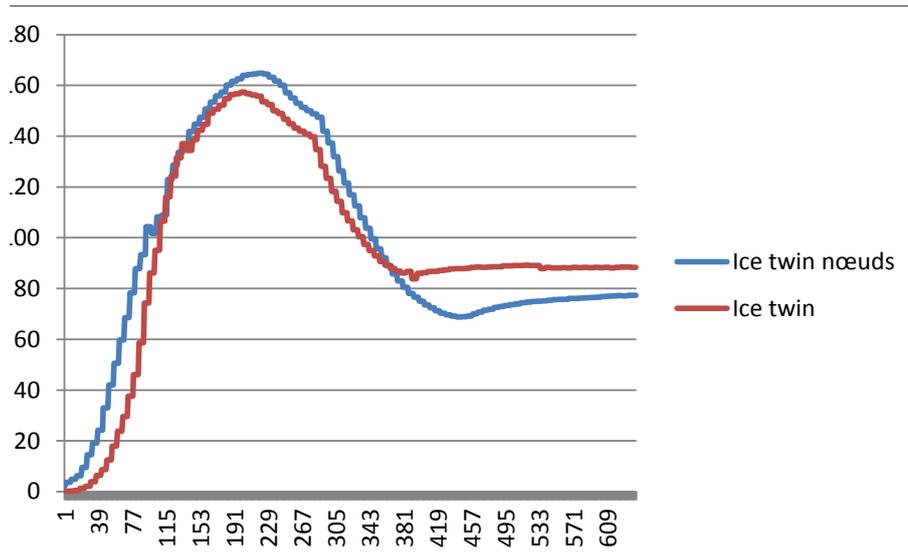
La corde jumelée utilisée en simple est la corde qui engendre la force la plus faible, donc celle qui permettra d'enrayer le plus facilement une chute en crevasse.

La corde à double utilisée en simple engendre une force de 13% supérieure à la corde jumelée.

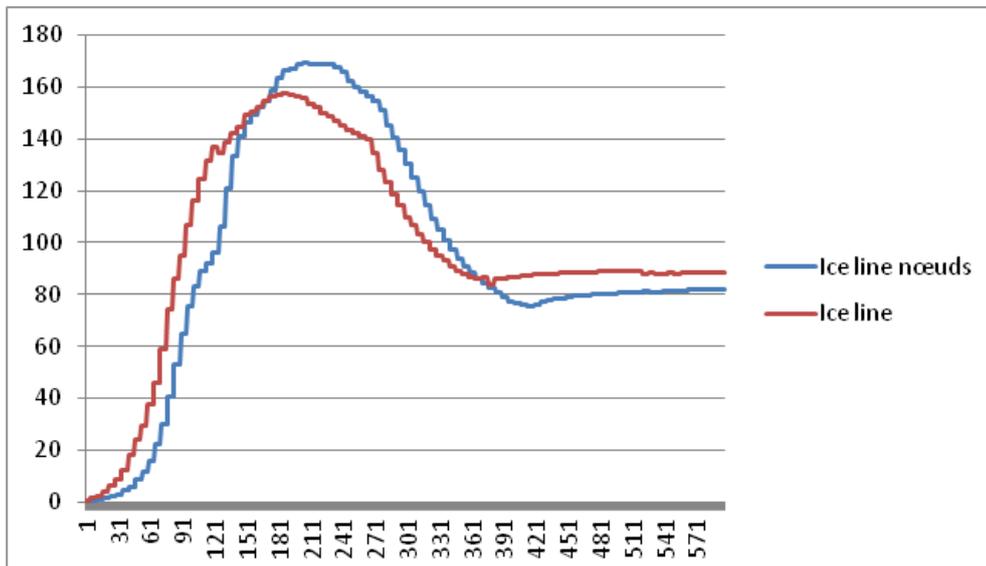
La corde à simple engendre une force 27% supérieure à la corde jumelée.

La corde dyneema engendre une force proche de 400 daN sur l'assureur. Il est clairement impossible de retenir une telle chute.

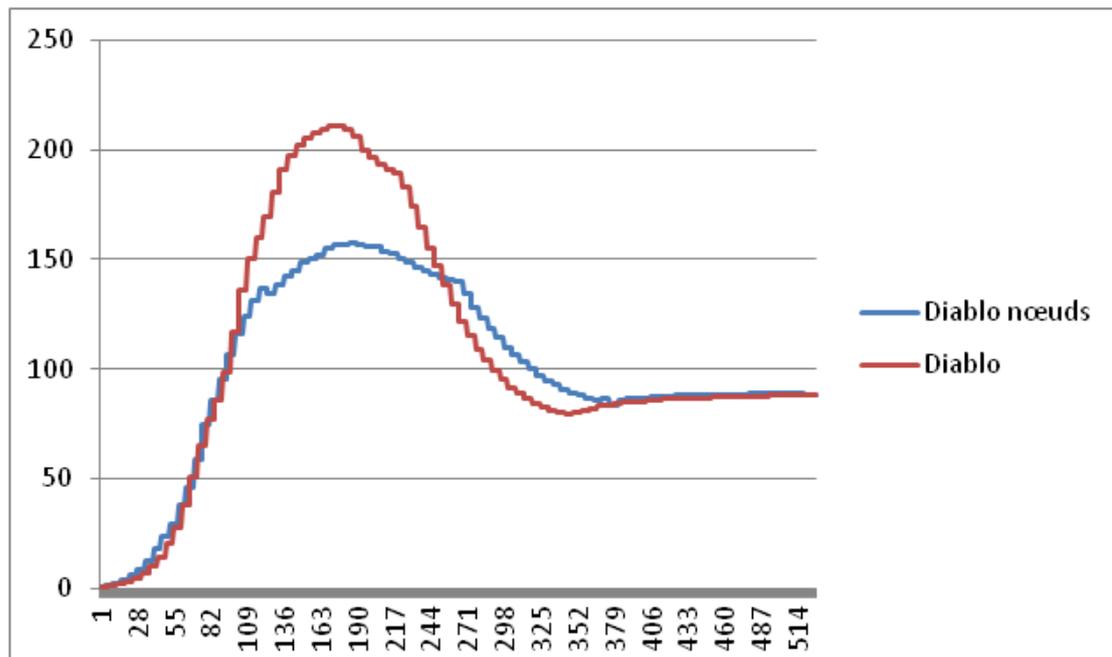
CHUTES EN CREVASSE AVEC NOEUDS SUR LA CORDE



Comparatif de la force sur le point d'ancrage avec un encordement à 15 m avec ou sans noeuds tous les 3 m et la corde ice twin (jumelée)



Comparatif de la force sur le point d'ancrage avec un encordement à 15 m avec ou sans noeuds tous les 3 m et la cordes ice line (double)



Comparatif de la force sur le point d'ancrage avec un encordement à 15 m avec ou sans nœuds tous les 3 m et la corde Diablo (corde à simple)

Conclusions

Dans cette neige mélange de grains fins peu denses et de particules reconnaissables, avec une croûte de glace située entre 30 et 40cm de profondeur, les nœuds n'apportent pas de baisse significative de la force engendrée sur le point d'ancrage sur les cordes fines ice twin et ice line.

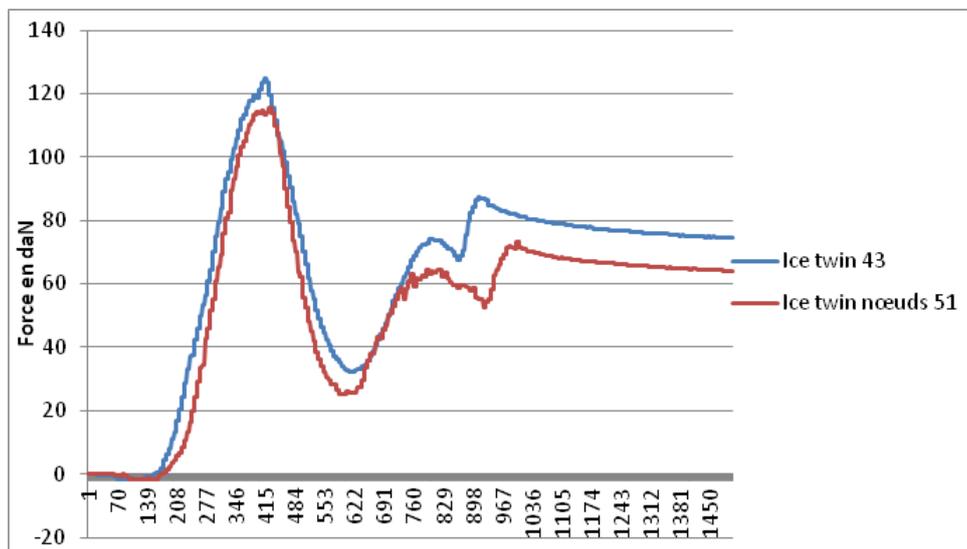
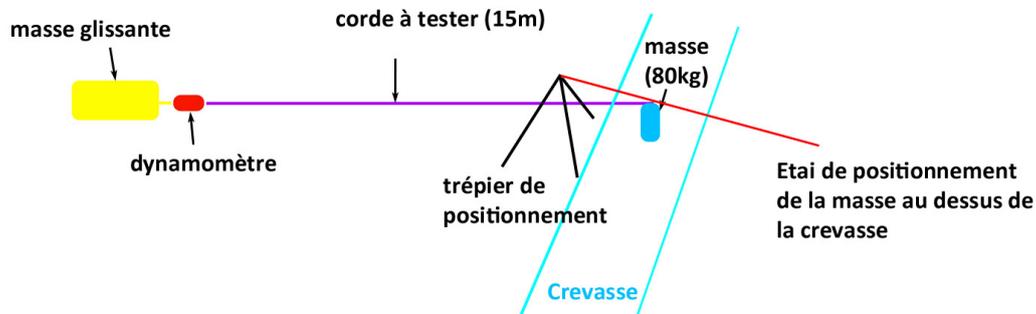
Une baisse de 40% de la force maximale a été constatée avec la Diablo avec nœuds par rapport à la même corde sans nœuds. La force maximale engendrée sur le grimpeur en surface passe de 220 daN à 155 daN.

Cependant notre protocole où la masse est arrêtée sur un corps mort ne reflète pas complètement la réalité ; il semble possible qu'avec ce système les nœuds ne puissent pas jouer leur rôle de freinage.

CHUTES EN CREVASSE AVEC SIMULATION DE GLISSEMENT DE LA PERSONNE EN SURFACE

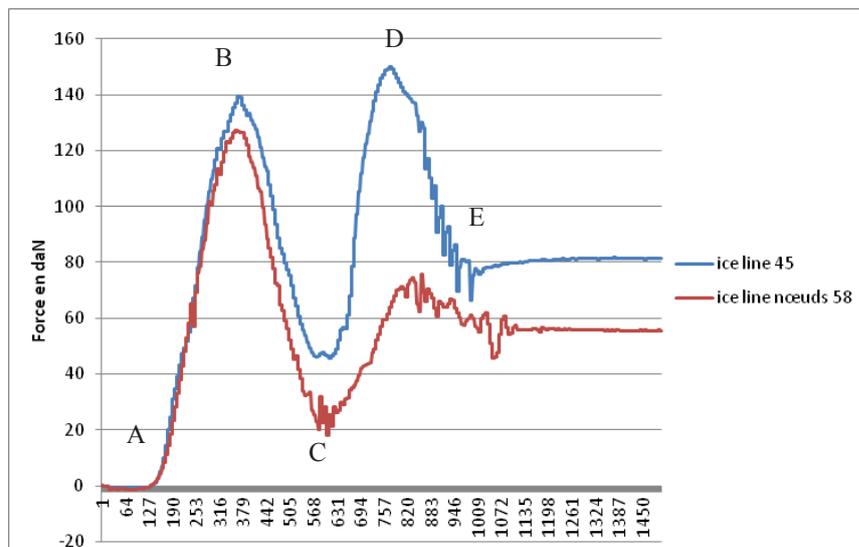
Notre protocole où la corde est fixée sur un corps mort afin d'avoir des chutes reproductibles ne reflète pas totalement la réalité puisque lors d'une chute en crevasse, l'assureur avance et résiste sur plusieurs mètres sous la contrainte liée à la chute. Avec ce déplacement, les nœuds lorsqu'ils s'enfoncent dans la neige peuvent jouer leur rôle de frein.

Nous avons donc expérimenté un nouveau protocole pour simuler le glissement de l'assureur. Le capteur est relié par une corde statique à un sac de hissage de 80kg frottant sur le sol.



Comparatif ice twin avec et sans nœuds et simulation de glissement de l'assureur

Dans ce type de neige, pour la corde jumelée utilisée en simple, les nœuds n'apportent pas de baisse significative de la force engendrée sur le grimpeur en surface



Comparatif ice line avec et sans nœuds et simulation de glissement de l'assureur

Interprétation des courbes :

A→B : la masse glissante est immobile ; les forces d'inertie créent une augmentation rapide de la force sur l'assureur. L'assureur enraye la chute jusqu'à une force de 120 ou 140 daN puis est emporté.

B→C : la masse glissante (et le capteur) se met en mouvement ; la contrainte sur l'assureur baisse.

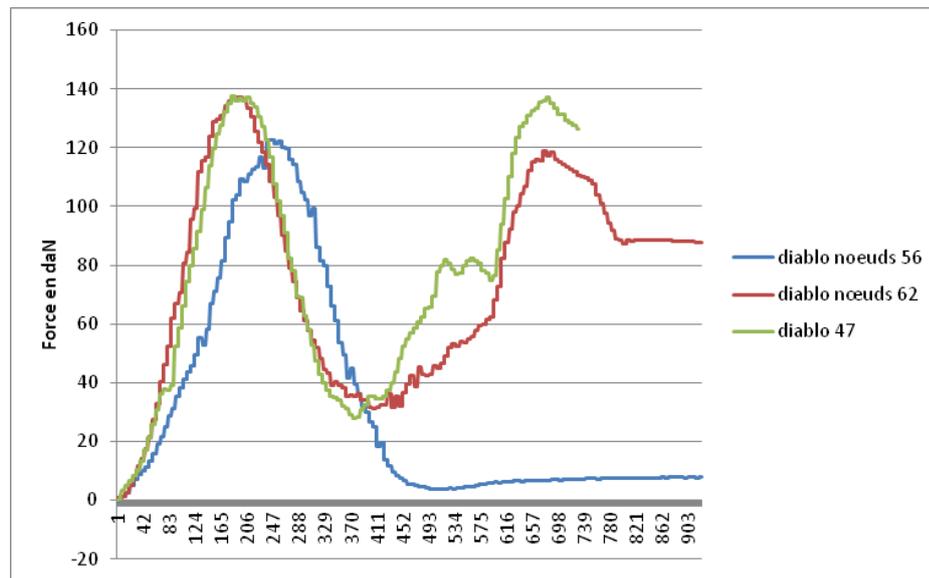
C : le nœud arrive en butée

C→D : le capteur est immobile, sur la corde avec nœuds la force croit de 20 à 70 daN (50 daN) en 1 seconde alors qu'avec la corde sans nœuds elle croit de 45 à 150 daN (105 daN).

D : la masse est à son point le plus bas. La force est maximale sur le point d'ancrage.

D→E : la masse remonte jusqu'au point d'équilibre. Le freinage des nœuds est perceptible puisque la force remonte seulement jusqu'à 75daN et la force finale sur la corde à nœuds est de 56 daN, alors qu'avec la corde sans nœud elle remonte à 150 daN.

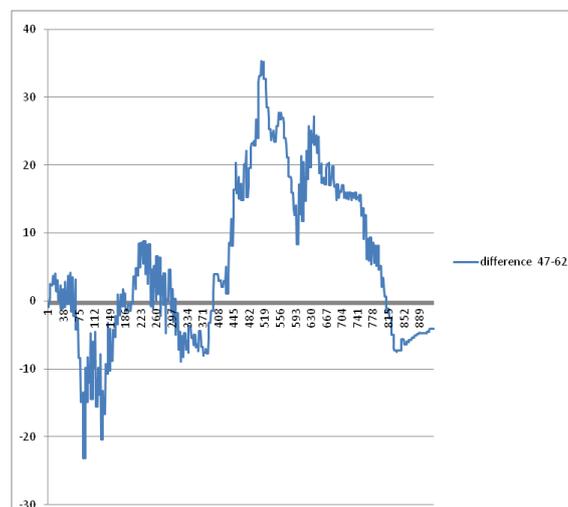
La masse glissante a bien joué son rôle et a permis aux nœuds de pénétrer dans la neige ; l'absorption d'énergie par les nœuds est considérable.



Comparatif Diablo avec et sans nœuds et simulation de glissement de l'assureur

La courbe bleu : les nœuds ont parfaitement fonctionnés : la force sur le grimpeur n'a pas dépassé 120 daN et lorsque la chute est arrêtée la masse tire de seulement 10 daN sur l'ancrage soit 12.5% de son poids.

La courbe rouge : les nœuds ont absorbé beaucoup moins d'énergie. La phase d'inertie est la même avec ou sans nœuds.



Courbe de différence entre la diablo avec nœuds et sans nœuds

Après l'arrêt de glissement de la masse en surface la différence dépasse les 30 daN sur 0,012s et reste supérieure à 10 daN sur 1,27 seconde. Sur les 1,32 dernières secondes de chute la différence moyenne de force est de 17.9 daN.

CONCLUSIONS SUR LA PERTINENCE DES NŒUDS

Le manteau neigeux de la lèvre de la crevasse se composait de neige froide (grains fins peu denses et quelques particules reconnaissables) sur vingt à 40 cm puis d'une croute de glace. Les cordes ont glissé sur cette croute la grande majorité des essais.

Dans cette neige froide, nous avons obtenu une grande disparité des mesures.

Nous avons constaté une baisse de la force engendrée sur l'assureur sur quelques essais, pour la plupart les résultats avec et sans nœuds étaient similaires.

Cette étude a été effectuée avec un type de neige particulier, plus proche d'une neige d'hiver que de la neige à grains ronds compactée que l'on rencontre en été. D'autres mesures seront nécessaires dans différentes neiges avant de conclure sur la pertinence des nœuds pour l'encordement en randonnée glaciaire.

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.

REFERENCES

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
Objectif	4
Chutes en corde tendue	4
Mesures réalisées	4
Observations et interprétation :	6
Chute classique : comparaison	10
Observations et interprétation :	10
Chute en corde tendue avec bloqueur mécanique sur le point d'assu- rage	11
Chute du second	11
Chute du leader	12
Chute en crevasse	14
Chutes en crevasse avec nœuds sur la corde	17
Chutes en crevasse avec simulation de glissement de la personne en sur- face	19
Conclusions sur la pertinence des nœuds	22
remerciements	22
REFERENCES	23