



Les relais

Laboratoire d'essai des matériels de montagne ENSA

AUTEUR : Philippe Batoux

ENSA : Philippe Batoux, Jean-Franck Charlet.

ENSPG : Thibalt Baron.

Petzl : Olivier Galai.

révisé 16 juin 2017





Figure 1: relais sur 5 points couplés et/ou reliés (Grundtvirkirken, Renland)

RÉSUMÉ

Le relais est un élément essentiel de la sécurité en alpinisme. Dans les Alpes occidentales, les alpinistes utilisent systématiquement 2 points d’ancrages (au moins) pour fabriquer les relais. Si les points d’ancrages ne sont pas «solides¹», ils essayent de trianguler les points afin de diminuer l’effort sur chaque point.

Certains alpinistes assurent en positionnant le frein directement sur le relais pendant que d’autres le positionnent sur le pontet de l’assureur.

Nous nous intéressons dans cet article à deux problèmes :

- 1. comment relier au mieux les points d’un relais ?
- 2. doit-on assurer sur le relais ou sur le pontet de l’assureur ?

Le relais avec une sangle twistée¹ permet la meilleure répartition de la charge sur les points d’ancrage. Cependant, lorsqu’un point d’ancrage vient à s’arracher, une force très élevée sur le point restant est générée, risquant d’arracher le point restant.

Contrairement aux observations effectuées en statique, la matière (dyneema, nylon) n’a que peu d’incidence sur la

répartition des forces dans les triangulations. Contrairement à ce que nous imaginions, les forces générées sur le relais lors d’une chute sont plus faibles lorsque le système d’assurage est placé sur le relais que lorsqu’il est placé directement sur l’assureur. En revanche, les forces générées sur le point de renvoi sont légèrement plus élevées (inférieures à 15%).

Lorsque la corde entre le relais et le point de renvoi ne subit aucun frottement, si le premier point est désaxé ou lors d’une chute de grande hauteur, l’assureur est violemment projeté contre la paroi par un mouvement de rotation autour du point d’attache de sa longe. Il vient heurter le mur, ce qui peut provoquer des blessures aux genoux ou aux poignets.

Par rapport à un assurage au tube, l’assurage au grigri® génère des forces largement supérieures sur le relais. Sur le point de renvoi, la différence est moins marquée mais non négligeable.

Dans le cas des chutes en facteur 2, les mesures réalisées prouvent que l’assurage sur le relais est la méthode la plus efficace. Pour les chutes classiques, l’assurage au relais génère des forces sur le point de renvoi légèrement plus élevées mais privilégie le confort de l’assureur.

Mots clefs : alpinisme, escalade, triangulations, relais, cordes dynamiques, chute, force de choc.

1 cf définitions page 4/5

INTRODUCTION

NOS INTERROGATIONS :

Les alpinistes ont l’habitude de constituer des relais en couplant deux points d’ancrages avec une corde ou une sangle de manière à répartir la charge de façon équivalente sur chacun des points du relais. Cependant il semble que les méthodes de couplage utilisées ne remplissent pas complètement leurs objectifs.

Quel type de relais doit-on mettre en place ? mobile fixe ? Quelle est l’incidence de la matière utilisée pour coupler les points, sangle nylon, dyneema, corde dynamique ? quel système utiliser lorsqu’il y a risque d’arrachement d’un point du relais ?

Quand doit-on s’assurer directement sur le relais ? Quels type d’assurage doit-on mettre en place demi cabestan, tube ou grigri ? Quels sont les avantages et les inconvénients ?

Plusieurs études ont été réalisées sur ce sujet. C. Semmel présente les avantages et les inconvénients de l’assurage au relais (Übersicht Standplatzbau 2010). V. Bedogni s’est intéressé à la répartition des forces sur chaque point en fonction du type de relais (Load repartition on a stance, 2010). Bedogni et al (Stance load equalization) ont réalisé un modèle numérique simulant la répartition des forces sur chaque point avec différents couplages. Ils concluent que les relais mobiles repartissent mieux les forces sur chaque ancrage mais génèrent des forces plus élevées sur le point restant lors de la rupture d’un ancrage. Ils préconisent un relais dissociant l’assurage du leader de celle du second avec positionnement du système de freinage sur le relais.

L’ÉTUDE

Nous avons mené deux campagnes de tests pour réaliser cette étude. Une première série de mesures a été effectuée au laboratoire de l’ENSA pour comparer l’assurage au relais et directement sur l’assureur sur des chutes en facteur 0.3 et 0.5. Nous avons également comparé différents systèmes d’assurage : grigri reverso et demi cabestan.

Une seconde série de tests a été effectuée au laboratoire V access (Crolles Petzl) pour les chutes en facteur 2. Nous avons comparé différents types de couplage du relais avec différentes matières : sangle dyneema ou corde dynamique, relais avec nœud ou sangle twistée.



Figure 2: le laboratoire de la société Petzl : V-access.

DÉFINITIONS

force de choc :

la force de choc est la force exercée sur le grimpeur lorsqu'il chute.

point solide :

on considère qu'un point fixe est solide s'il peut retenir une chute en facteur 2. Sachant que la plupart des cordes ont une force de choc maximale de 800 daN, pour être solide un point doit avoir une résistance supérieure à 14 kN. (goujon de 10 mm ou plus, scellement, camalot™ de 0.75 à 4, arbre, béquet, broches à glace).

point douteux :

on considère qu'un point fixe est douteux si on suppose qu'il ne peut pas retenir une chute en facteur deux. C'est à dire une résistance inférieure à 14kN. (goujons de 8mm, spit de 8mm, pitons, broches à glace, camalots™ en dessous de 0.5, câblés, arbustes...)

offset (déport) :

l'offset est la distance horizontale entre le chuteur et le système d'assurance. Dans la réalité le grimpeur évite de monter directement au dessus du relais car une chute dans ce cas le ferait percuter son assureur. Nous nous intéressons au cas concret d'un facteur proche de 2 ou le grimpeur est décalé horizontalement du relais d'une distance que l'on appelle offset. L'offset crée un mouvement de chute pendulaire qui va solliciter les points du relais l'un après l'autre.

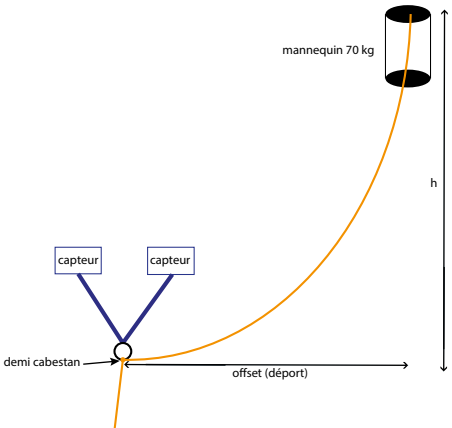


Figure 4: offset = distance horizontale de la masse par rapport au relais

effet poulie :

lorsqu'un grimpeur se fait prendre sur un point par l'assureur la force sur le point est égale au poids du grimpeur plus la force de retenue par l'assureur soit deux fois le poids du grimpeur. En réalité, en tenant compte des forces de frottement de la corde dans la mousqueton (environ 30%) la force sur le point d'ancrage est de l'ordre de 1,7 fois le poids du grimpeur.

facteur multiplicateur de force :

les systèmes d'assurance sont caractérisés par leur facteur multiplicateur de force (FMF) :

$$FMF = \frac{\text{force à l'entrée du frein}}{\text{force à la sortie du frein}}$$

En moyenne une main peut retenir 25 daN. Cette valeur croît avec le diamètre et l'âge de la corde. Cette valeur baisse lorsque l'assureur a des gants.

moyen d'assurage	demi cabestan	tube	grigri
FMF	9 à 14	6 à 12	24 à 40
valeur de glissement	2.2 à 3.5 kN	1.5 à 3 kN	6 à 10 kN

Figure 3: facteurs multiplicateurs de force de différents systèmes de freinage

facteur de chute :

le facteur de chute est le rapport entre la hauteur de chute et la longueur de corde disponible. «

$$F_c = \frac{\text{hauteur de chute}}{\text{longueur de corde disponible}}$$

jerk (à-coup) :

le jerk ($m.s^{-3}$) est la variation de l'accélération. Plus encore que l'accélération elle-même, c'est le jerk qui génère les traumatismes.

$$Jerk = \frac{da}{dt} = \frac{d^2v}{dt^2} = \frac{d^3x}{dt^3}$$

a : accélération ($m.s^{-2}$)

v : vitesse ($m.s^{-1}$)

x : position (m)

t : temps (s)

Comme pour les traumatismes, le jerk a probablement une influence dans la tenue des points d'ancrages. Un sangle en dyneema a une résistance statique (jerk nul) de 22kN alors qu'elle casse à 15kN lors d'un facteur 2 (jerk élevé).

triangulations:



Figure 5: relais avec sangle twistée



Figure 6: triangulation classique avec sangle nouée

relais mobiles

les relais ci-dessus (figure 5 et 6) sont dits mobiles, par opposition aux relais où le point central est sur un point fixe. Ces relais sont peu adaptés au positionnement du frein sur le point central pour enrayer une chute sur un point de renvoi.

Lors d'une chute sur un point de renvoi, le relais va basculer vers le haut. Durant tout le temps de bascule le frein ne fonctionne pas, par réflexe l'assureur va chercher à bloquer la corde, sans l'assistance du frein cette dernière va glisser. Cela augmente la hauteur de chute et crée un risque de ne pas arriver à stopper le glissement particulièrement si l'assureur n'a pas de gants.

relais avec le point central fixe

Les figures 7 et 8 montrent des constructions avec point central fixe. Ces relais, en positionnant au mieux les cabestans permettent de répartir approximativement les forces. Le point central est construit dans l'anneau formé par le nœud de bouline. L'avantage principal est que le point central a une mobilité très réduite. Le nœud de bouline est décrit en annexe 1.



Figure 7: relais deux points avec point central fixe



Figure 8: relais 3 points avec point central fixe

PERTINENCE DE L'ASSURAGE SUR LE RELAIS

Introduction

En France ainsi que dans de nombreux autres pays les grimpeurs ont l'habitude de s'assurer en positionnant le système de freinage sur le pontet du harnais de l'assureur, ce dernier étant longé au relais. Dans d'autres pays, Allemagne, Autriche, Italie du Nord, etc. le système d'assurage est positionné sur le relais sur un des points d'ancrages.

Chaque méthode présente des avantages et inconvénients.

Objectif :

Comparer les forces générées par une chute en facteur 0.3 et 0.5 sur le relais et le point de renvoi en fonction du type d'assurage : grigri®, reverso®, demi cabestan et de son positionnement : sur le relais ou sur le pontet de l'assureur. Nous filmons en haute vitesse les mouvements de l'assureur.

Protocole :

Nous faisons chuter une masse rigide guidée de 80 kg en facteur 0.3 et 0.5 retenue par un assureur (70 kg) longé sur le relais par un capteur dynamométrique. Nous comparons l'assurage directement sur le relais avec un reverso®, un demi cabestan et un grigri avec l'assurage sur le pontet de l'assureur.

Les chutes ont été réalisées avec différentes cordes :

- corde à simple : Diablo 10.2 mm Béal
- corde à double : Gully 7.3mm Béal utilisée en simple et en double

L'assureur n'est pas suspendu sur le relais. (figure 3). Il n'y a aucun frottement entre l'assureur et le point de renvoi désaxé.

Analyse :

Lorsque le système d'assurage est positionné directement sur l'assureur, ce dernier est projeté violemment vers le mur avec un risque de se blesser en particulier aux genoux.. Avec un choc de ce type, il est également possible que l'assureur, par réflexe, lâche le système de freinage pour amortir la percussion contre le mur.

Paradoxalement les forces générées sur le relais sont plus importantes lorsque le système d'assurage est positionné sur l'assureur (figure 3). L'assureur, entraîné par le chuteur prend de la vitesse, donc de l'énergie cinétique. Dès que l'assureur ne peut plus bouger le relais est soumis aux deux forces d'arrêt cumulées du chuteur et de l'assureur.

L'assureur est stoppé par son système d'autoassurage qui correspond à une chute sur une longe, sans assurage dynamique. Se longer sur une sangle dyneema® au relais est donc fortement déconseillé, il est préférable de se longer avec sa corde.

L'assureur n'a pas réussi à stopper la chute en facteur 0.3 avec un reverso® et une corde à double en simple (Gully 7.3mm). La corde a glissé dans le reverso® sur 6 mètres et la masse a été arrêtée partiellement par les pneus.

Lors des chutes en facteur 0.5 le jerk moyen sur le relais est de 10 ms^{-3} pendant 0.21 s lorsque le reverso® est placé sur le relais contre 21 ms^{-3} pendant 0.04 s et 11 ms^{-3} pendant 0.12 s lorsqu'il est placé sur l'assureur.

Sur le point de renvoi le jerk est de 17 ms^{-3} pendant 0.34 s lorsque le reverso® est sur le relais et de 34 ms^{-3} pendant 0.11 s lorsque le reverso® est sur l'assureur.

Lorsque le reverso® est sur l'assureur, ces valeurs maximales sont atteintes alors que l'assureur n'a pas encore sollicité le relais.

La force moyenne sur le point de renvoi au dessus de 150 daN est de 330 daN pendant 0.7 s lorsque le reverso® est placé sur le relais contre 216 daN pendant 1.85 s lorsque le reverso® est sur l'assureur alors que pendant les 0.7 premières secondes au dessus de 150 daN la force moyenne est de 291 daN.

Ces valeurs de jerk donnent l'avantage à l'assurage sur le relais autant pour les contraintes sur le point de renvoi que sur le relais.

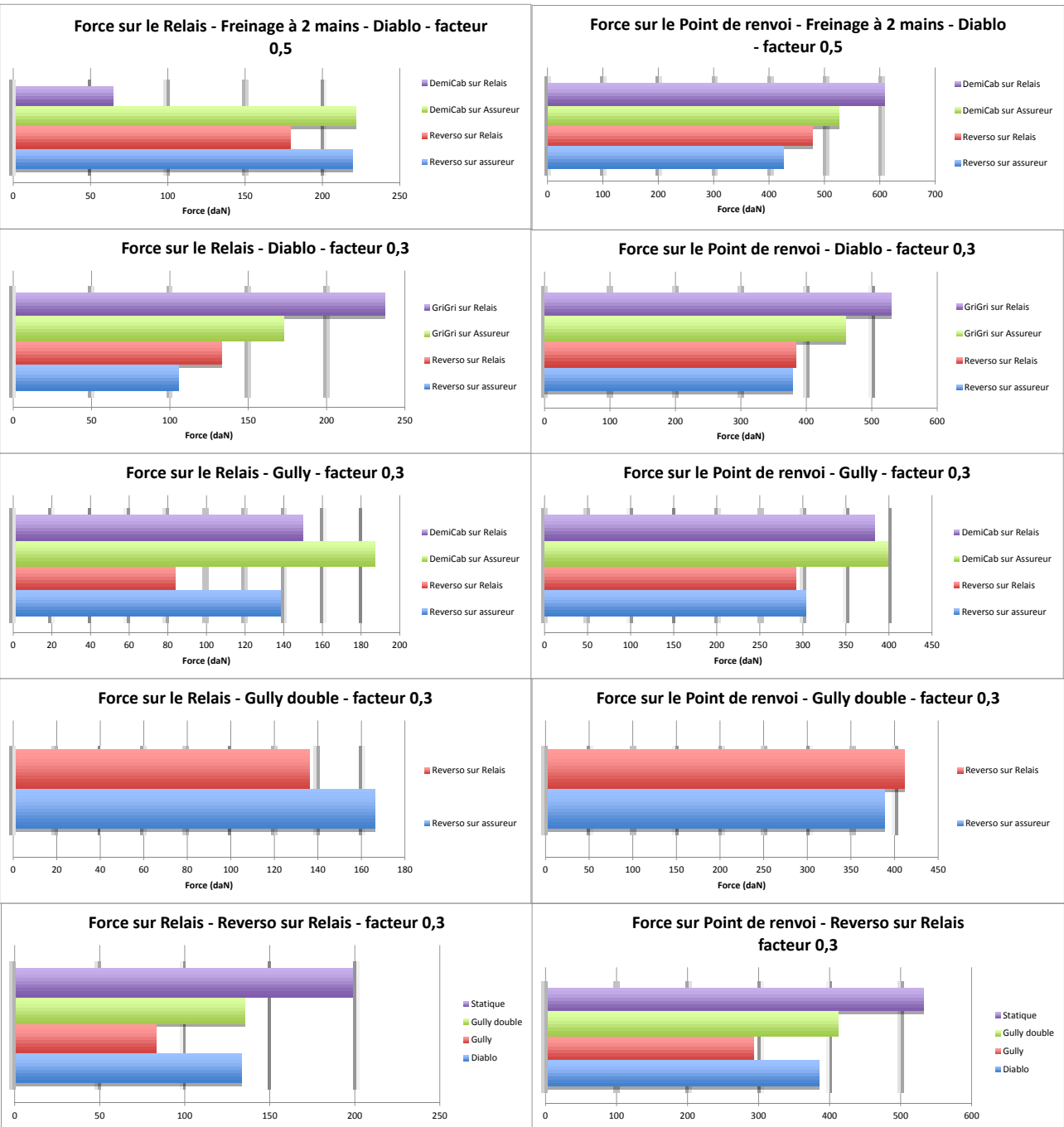


Figure 10: forces générées sur le relais et sur le point de renvoi en fonction du type d'assurage



Figure 9: chute en facteur 0.5, demi cabestan sur le pontet : l'assureur est violemment projeté vers le mur

COMPARAISON GRIGRI REVERSO

Introduction

Le grigri est un système de freinage assisté. Dans de bonnes conditions il bloque la corde, permettant un assu-
rage plus facile. Cependant, comme il ne glisse que très
peu nous nous demandons quelle est la différence avec
un assurage classique sur les forces générées sur le point
de renvoi ? Nous nous interrogeons aussi sur le choc gé-
nééré sur l'assureur lors de l'arrêt de la chute.

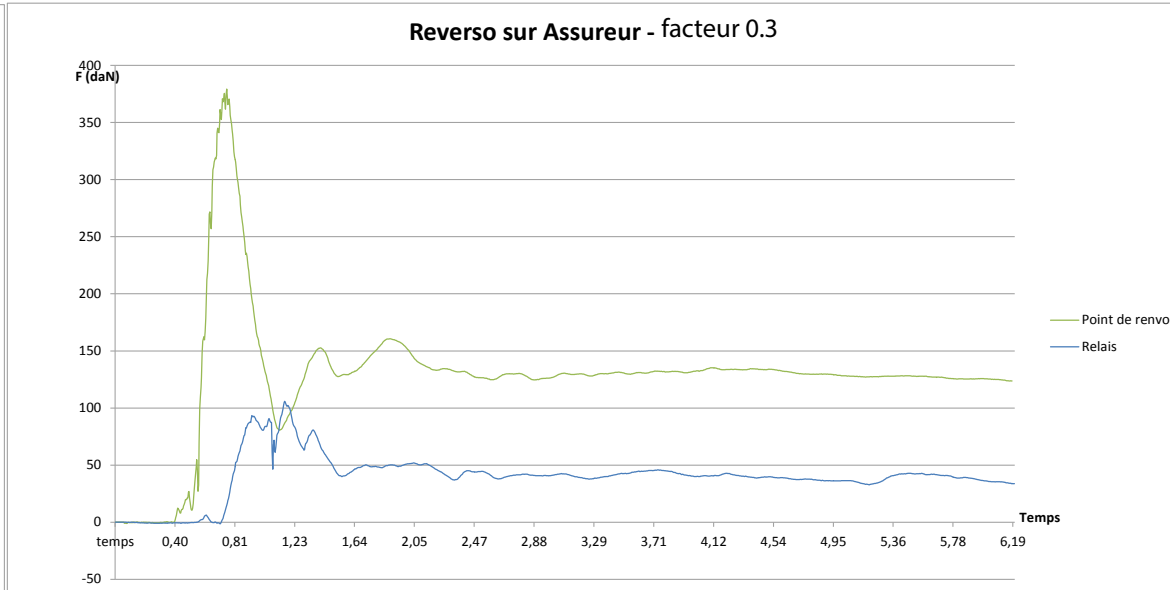
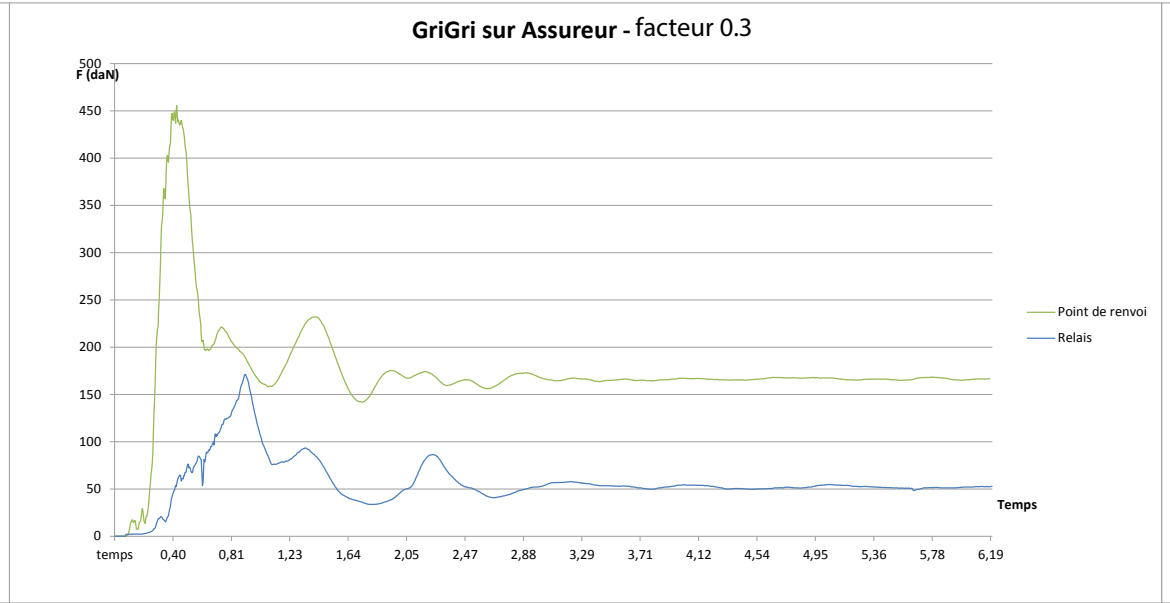
Objectif :

Comparer les forces générées par une chute en facteur

0.3 sur le point de renvoi en fonction du type d'assurage
: grigri® et reverso®. Les deux freins son positionnés sur
le pontet de l'assureur. Nous filmons en haute vitesse les
mouvements de l'assureur.

Protocole :

Nous faisons chuter une masse rigide guidée de 80 kg en
facteur 0.3 retenue par un assureur (70 kg) longé sur le
relais par un capteur dynamométrique. Nous comparons
l'assurage avec un reverso® et un grigri . L'assureur n'est
pas suspendu sur le relais. (figure 4). Il n'y a aucun frotte-
ment entre l'assureur et le point de renvoi. La corde utili-
sée est une diablo 9.8mm Beal Fc 8.2kN.



Analyse :

La force maximale générée sur le point de renvoi est de
450 daN avec le grigri et de 375 daN avec le reverso, soit
20 % de plus.

La force maximale générée sur le relais est de 170 daN avec
le grigri et de 105 daN avec le reverso., soit 60 % de plus.

Les courbes sont similaires avec pour les 2 un décalage
temporel des pics de force entre le point de renvoi et le
relais de 0.5 s.

L'analyse des images haute vitesse montre que dans les
deux cas l'assureur est violemment projeté sur le mur.
L'assureur n'a pas ressenti de différence flagrante entre les
deux systèmes. Le mur était protégé par un crash-pad, en
falaise il est possible que la violence du choc sur le mur

fasse lâcher le système de freinage. Ce qui donne un avan-
tage au grigri.



Figure 13:reverso sur le pontet



Figure 14:grigri sur le pontet

ASSURAGE SUR LE RELAIS VS PONTET

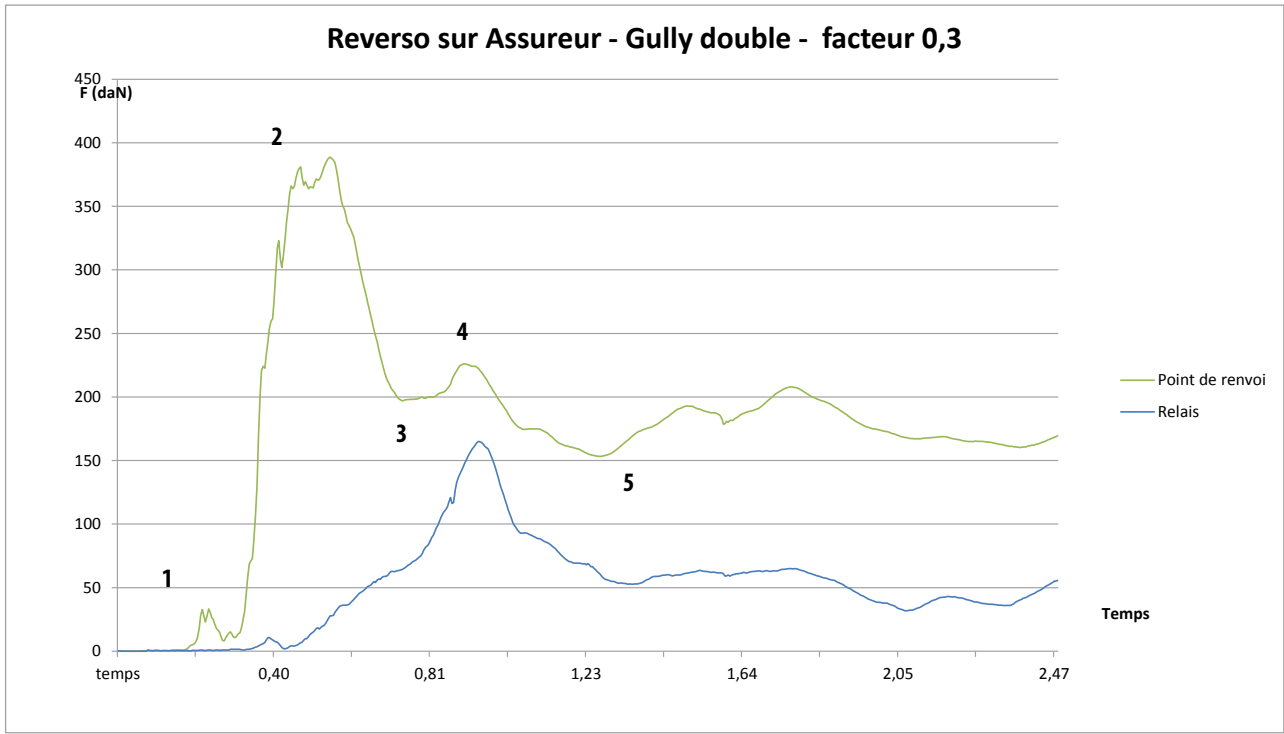


Figure 15: reverso® sur le pontet avec la corde gully en double en facteur 0.3, glissement 90 cm.

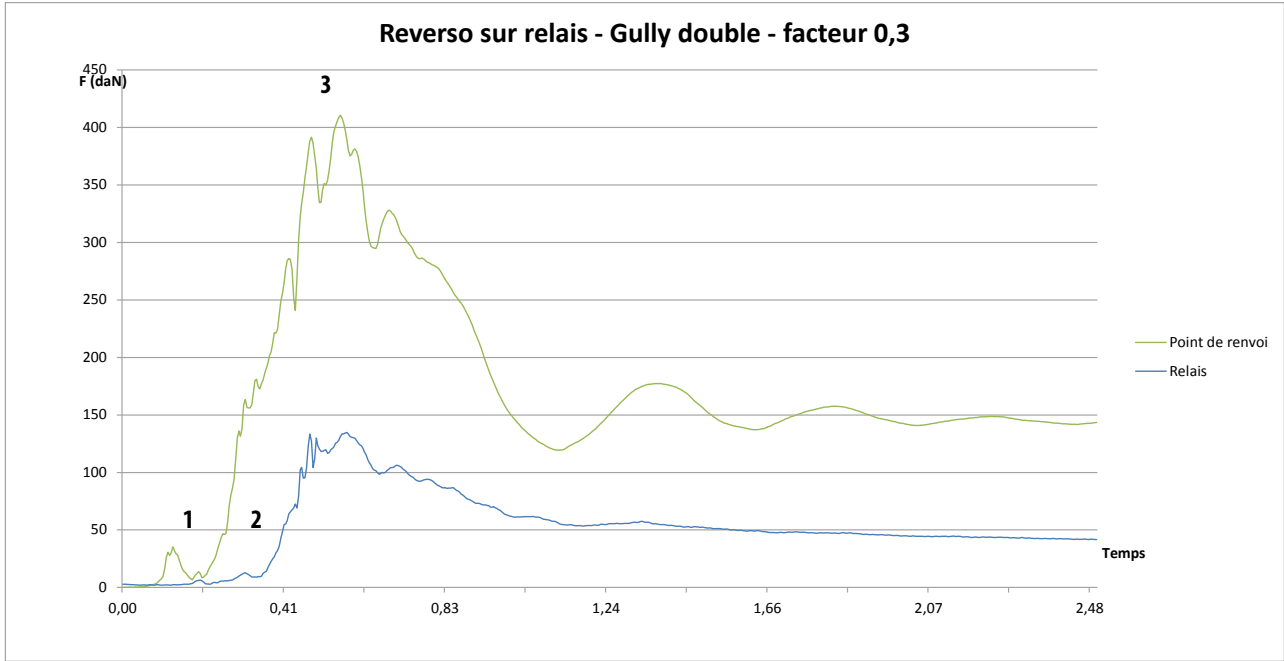


Figure 16: reverso® sur le relais avec la corde gully en double en facteur 0.3, glissement 90 cm.

Analyse de l'assurage au Reverso® avec Gully à double

Les figures 13 et 14 comparent l'assurage sur le relais et sur le grimpeur lors d'une chute en facteur 0.3 avec une corde gully (Béal 7.3 mm) en double et un Reverso®.

Les courbes des figures 13 et 14 sont comparables puisque le glissement a été de 90 cm dans les deux cas.

Reverso® sur l'assureur

1 : mise en tension du point de renvoi ; entre 1 et 2 phase inertielle : mise en mouvement de l'assureur, la longe n'est pas tendue. Glissement de la corde dans le descendeur

2 : tension maximale du point de renvoi. Entre 2 et 3 l'assureur est en mouvement de rotation autour du point d'attache de la longe. Ce qui fait baisser la force sur le point de renvoi.

3 : fin du mouvement de rotation de l'assureur contre le mur arrivée, la mise en tension du relais s'accélère.

4 : pic de force sur le relais lorsque l'assureur arrive en bout de longe qui génère un second pic sur le point de renvoi coïncidant au pic de force sur le relais.

5 : la longe de l'assureur est tendue à hauteur du relais

Reverso® sur le relais

1 : mise en tension du point de renvoi ; mouvement de rotation du capteur autour du point d'ancrage freiné par le bras de l'assureur

2 : mise en tension du relais et début de glissement de la corde dans le Reverso®

3 : tension maximale synchrone du point de renvoi et du relais.

La force générée sur le relais avec une gully en double et un Reverso® est de 135 daN lorsque le Reverso® est placé sur le relais et de 165 daN lorsque le Reverso® est placé sur l'assureur ; soit +22% , sur le point de renvoi la force est de 410 daN pour l'assurage au relais contre 388 pour l'assurage au pontet, soit -5%.

L'assurage sur le grimpeur permet de diminuer la force sur le point de renvoi de 5% mais augmente la force sur le relais de 22%.

Dans cette configuration de facteur 0.3 sans frottement, lorsque le système d'assurage est sur le grimpeur le choc de l'assureur est violent. L'assureur a un mouvement de rotation autour de sa longe qui le fait percuter le mur violemment. Il est possible que l'assureur lâche la corde pour se protéger du choc contre le mur.

Conclusion : lorsqu'il n'y a pas possibilité de placer un point de renvoi rapidement, dans l'axe du relais et que le risque de chute est important préférez l'assurage sur le relais.

COMPARAISON ASSURAGE SUR LE
RELAIS VS PONTET

INTRODUCTION

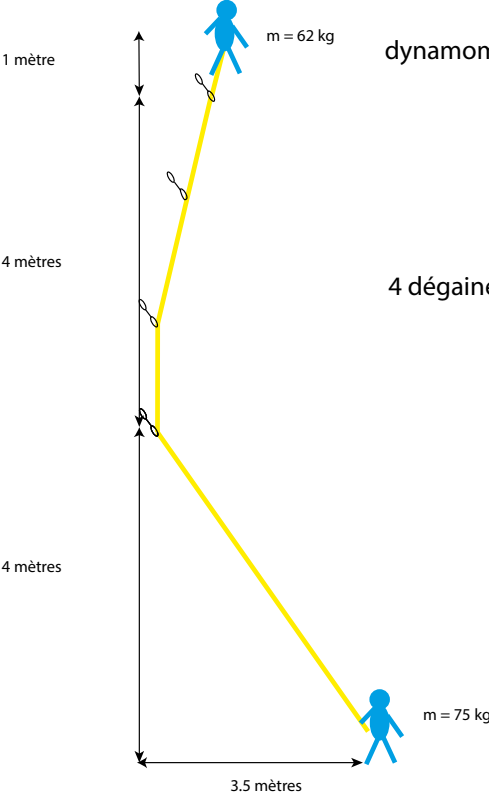
Après avoir expérimenté les chutes de façon très reproductibles à la tour de chute, nous réalisons ici des chutes en cas réel avec un grimpeur et un assureur. A l'instar d'une masse rigide, la chute d'un corps humain génère de la variabilité. Nous allons comparer différentes méthodes d'assurage.

- 1. le système de freinage est placé sur le pontet de l'assureur et ce dernier est libre de tout mouvement
- 2. le système de freinage est placé sur le pontet de l'assureur et ce dernier est attaché au relais
- 3. le système de freinage est positionné sur le relais

Nous utiliserons trois systèmes de freinage : REVERSO®4 avec mousqueton Petzl attache 3D , GRIGRI®2 et demi cabestan avec le même mousqueton.

Objectif :

Comparer les forces générées par une chute sur le point de renvoi en fonction du positionnement du système d'assurage (relais ou pontet) et analyser les contraintes subies par l'assureur.



Protocole :

Nous faisons chuter un grimpeur de 62 kg en facteur de chute théorique de 0.2 retenu par un assureur de 75 kg. C'est une situation de chute classique avec des frottements sur les dégaines qui atténuent les efforts sur l'assureur. La différence de poids de 13 kg entre l'assureur et le chuteur rend l'assurage plus facile. Le grimpeur positionne son pontet 1 mètre au dessus du dernier point. 4 dégaines alignées sont clippées. Il y a un offset de 3.5 mètres entre l'assureur et l'alignement des dégaines. Nous avons positionné un dynamomètre sur le point de renvoi. Nous filmons les mouvements de l'assureur avec une caméra haute vitesse.

L'assureur est guide de haute montagne. Il porte des gants en cuir. Il a pour consigne de dynamiser la chute au maximum. Il se vache sur le relais avec un cabestan et sa corde d'encordement.

La corde utilisée est une Joker Béal 9.1 mm.

Les essais ont été effectués au gymnase de l'ENSA le 14 juin 2016 avec Christophe Jaquemoud : assureur et Philippe Magnin : grimpeur/chuteur.



Figure 17:protocole de mesure .

Reverso®4 vs Grigri®2 sur l'assureur

La méthode qui consiste à dynamiser en déplaçant l'assureur génère des forces faibles sur le point de renvoi.

Avec cette méthode il n'y a que très peu de différence entre l'assurage au grigri et au tube.

Il n'a pas semblé possible à l'assureur de freiner progressivement en se déplaçant, ni même de freiner progressivement en essayant de rester immobile. Dès que l'on positionne le système d'assurage sur l'assureur, l'assurage dynamique se fait par déplacement de ce dernier.

Lorsque l'assureur est vaché au relais, celui ci est entraîné violemment jusqu'au bout de sa longe. Il est très important positionner sa longe de manière à ne pas entraîner de rotation de l'assureur lors de la mise en tension de la longe.

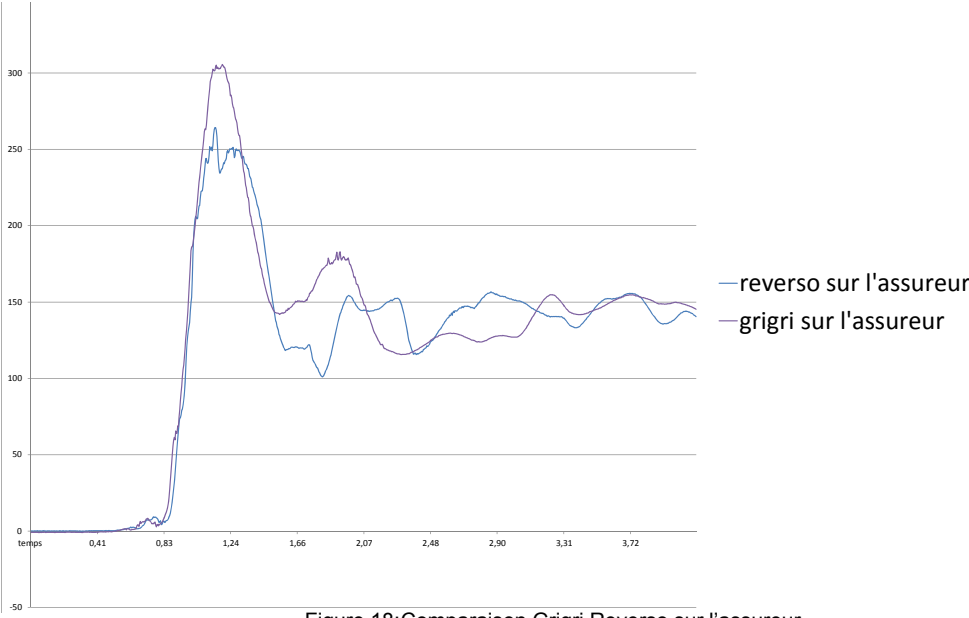


Figure 18:Comparaison Grigri Reverso sur l'assureur

Comparaison Reverso®4 sur l'assureur/assureur
vaché / Reverso®4 sur le relais

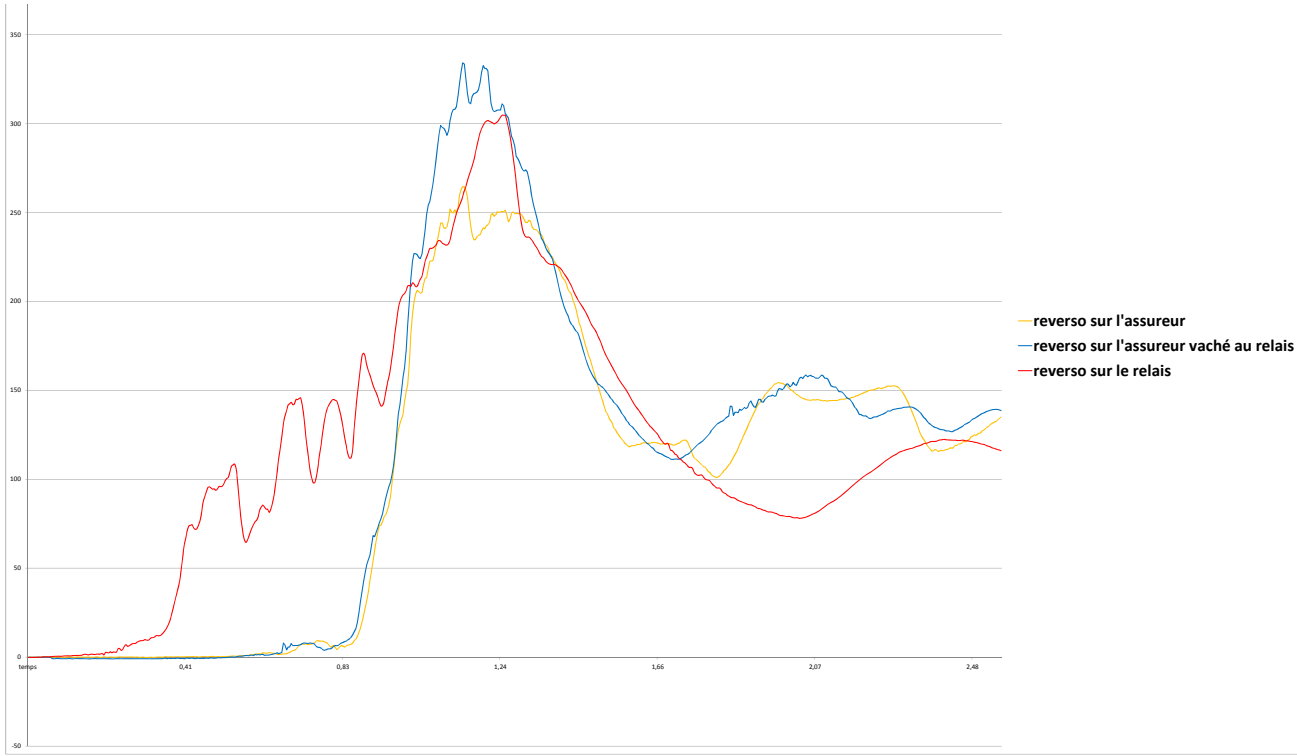


Figure 19:Comparaison Reverso relais vs Reverso sur l'assureur non vaché vs assureur vaché au relais

La force générée sur le point d'ancrage est maximale lorsque le système de freinage est positionné sur l'assureur et ce dernier est vaché au relais. On note une grande variabilité des valeurs lorsque l'assureur assure de façon dynamique avec le Réverso sur le relais. C'est de cette manière que

nous avons obtenu la force la plus faible sur le point d'ancrage. Dynamiser de cette manière reste délicat car il faut freiner suffisamment tôt pour ne pas impacter le chuteur sur le sol.

ASSURAGE SUR LE RELAIS

La figure 20 montre que la manière d'assurer est prépondérante. Lors de l'essai 1 l'assureur a réussi à laisser glisser le grimpeur et la force sur le point de renvoi n'a pas dépassé 192 daN. Lors de l'essai 2 l'assureur n'a pas réussi à laisser glisser la corde et la force atteint 302 daN.

Avec un demi cabestan les courbes sont similaires, les forces sont légèrement supérieures (220 daN). Cela vient

du facteur multiplicateur de force supérieur du demi cabestan.

La force générée sur le point d'ancrage dépend de la qualité de l'assurage. Lorsque l'assureur cherche à dynamiser au maximum il augmente la hauteur de chute.

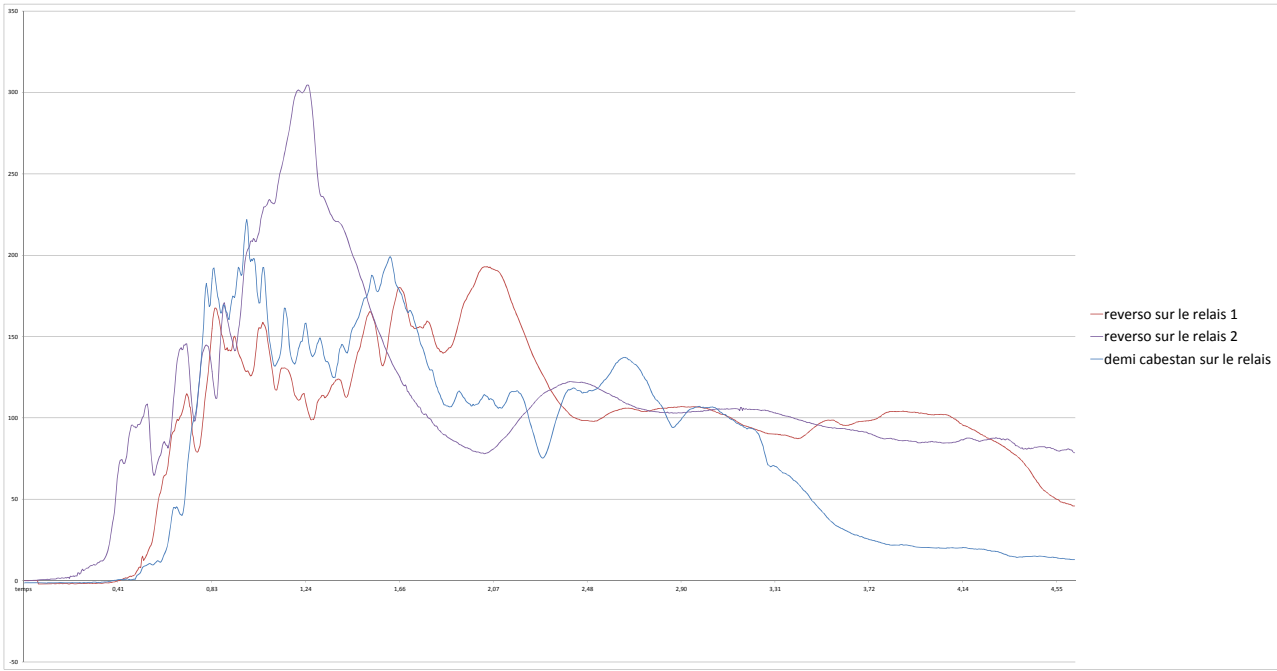


Figure 20: comparaison des forces sur le point de renvoi avec un assurage sur le relais avec un Reverso et un demi cabestan .

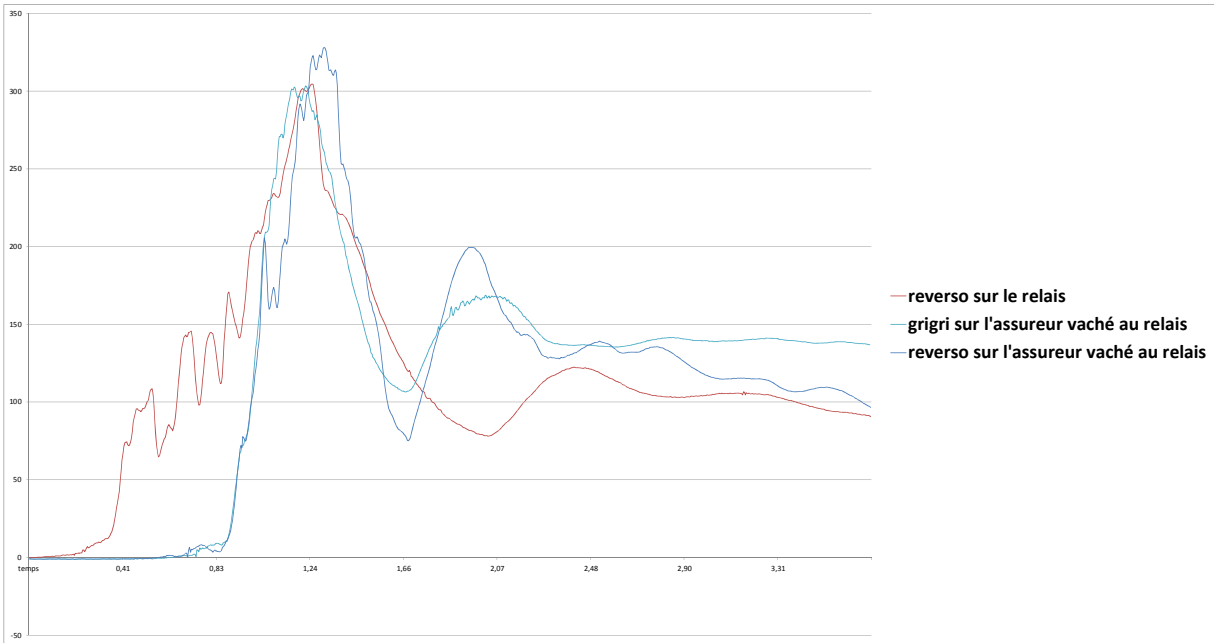


Figure 21: comparaison des forces sur le point de renvoi : assurage sur le relais / assurage sur le pontet avec un reverso et un grigri et l'assureur longé.

ASSURAGE DYNAMIQUE

L'assureur accompagne la chute en se déplaçant volontairement. Cette méthode simple à exécuter permet d'avoir une force de choc faible sur le point de renvoi.



Figure 22: assurage dynamique, l'assureur se déplace pour essayer de dynamiser au maximum.



Figure 23: assurage au Reverso sur le pontet avec l'assureur vaché au relais

Reverso®4, Grigri®2 sur l'assureur vaché au relais

Lorsque l'assureur est longé sur le relais la méthode qui génère les forces les plus faibles sur le point de renvoi est de positionner le Reverso sur le relais.

Même pour des chutes de faible hauteur avec un facteur de chute faible et des frottements dans les dégaines l'assureur est projeté et arrêté brutalement par sa longe. Les hauteurs de chutes avec l'assureur vaché au relais ou non sont similaires.

Conclusions

Dès que l'assureur est attaché au relais et ne peut plus se déplacer, ce dernier est emporté par le chuteur. Il est ensuite brutalement arrêté lorsqu'il arrive en butée de sa longe. Dans notre configuration l'assureur était emporté à l'opposé du mur, ce qui est une configuration favorable. Dans d'autres configurations, il est possible que l'assureur

soit projeté directement sur le mur et lâche la corde par réflexe de protection.

Remarque

Lorsque l'assureur est projeté par la chute du leader, plus sa longe sera longue plus le choc contre la paroi sera violent. Les relais mobiles, type figures 5 et 6, en se retournant vers le haut, augmentent la mobilité de l'assureur et engendrent un choc plus violent contre la paroi.

Dans l'urgence de la chute l'assureur n'arrive à gérer qu'une seule action. Si il est bousculé, soit en se déplaçant volontairement (fig. 22), soit en étant bloqué par sa longe (fig. 23), il semble qu'il se concentre sur la gestion de son déplacement, n'arrive pas à se concentrer sur l'assurage dynamique et bloque la corde. Lorsqu'il n'est pas mobilisé par la chute quand le système de freinage est sur le relais l'assureur peut se concentrer uniquement sur l'action de dynamiser.

Nous avons obtenu la force de choc la plus faible en positionnant le système de freinage sur le relais et en laissant glisser la corde en augmentant le freinage progressivement. Cette méthode est difficile à exécuter et à réserver à des grimpeurs experts. Lorsque cela est possible (large vire) la méthode la plus simple est de dynamiser en déplaçant l'assureur. (figure 22). Si l'assureur est vaché au relais, la méthode qui génère les forces les plus faibles sur le point de renvoi est de positionner le système de freinage directement sur le relais. C'est aussi la méthode la plus confortable pour l'assureur.

COMPARAISON ENTRE DIFFÉRENTES CONSTRUCTIONS DU RELAIS

Introduction :
Quelle est la meilleure façon de relier deux points pour répartir au mieux la charge sur chaque point ? Un relais en corde dynamique repartit il mieux la charge sur chaque ancrage qu'avec une sangle dyneema ?

Objectif :
Mesurer la force générée par une chute en facteur 2 sur chaque point du relais en fonction du type de triangulation et de la matière utilisée pour la triangulation ?

Protocole :
Un mannequin anthropomorphe (en sable) est suspendu à 2 mètres au dessus du relais avec un offset de 1m20 (décalage horizontal entre le chuteur et le relais) . Le mannequin est largué par un déclencheur. Il est stoppé par un demi cabestan installé sur le point central du relais.

Nous testons 3 types de triangulations : un brin de corde dynamique (Petzl Volta 9.2mm Fc 8,6kN) avec 2 nœuds en 8 et un nœud de cabestan pour le point central, un anneau en sangle dyneema de 120 cm avec un nœud en 8 pour le point central et un anneau en sangle dyneema de 120 cm twisté au niveau du point central.

Des capteurs sont disposés sur chaque point du relais, sur le mannequin et sur le point de renvoi.

Analyse :
La force générée sur le relais est extrêmement dépen-

dante de la façon dont l'assureur a réussi à enrayer la chute. Le glissement de la corde dans la main est inversement proportionnel à la force générée sur le relais. La façon dont la chute a été stoppée à plus d'incidence que le type de conception du relais.

Nous notons que les forces les plus élevées que nous ayons obtenues sont celles avec le plus petit glissement dans le frein : 8 cm. Ce faible glissement a pu être obtenu avec une corde à double qui permet un freinage bien plus important.

Lorsque l'on fait la moyenne des rapports des forces point droit / point gauche, nous obtenons 1.88 pour les relais en corde, 1.71 pour le relais en sangle avec cabestan central et 0.99 pour le relais en sangle twistée.

Les relais en sangle et corde avec nœud sont sensiblement équivalents mais le relais en sangle twistée réparti clairement mieux les forces.

Avec un offset à droite il est intéressant de noter que la force générée sur le point gauche est 50% supérieure à celle générée sur le point droit.

Conclusion :
Le relais avec sangle twistée est celui qui répartit le mieux les forces sur chaque point du relais.

Mais que se passe t il si un des points s'arrache ? Ce sera l'objet du prochain paragraphe.

Contrairement à nos attentes et aux résultats en statique, les relais avec nœuds répartissent la charge sensiblement de la même façon quelle que soit la matière : corde dynamique ou dyneema®.

facteur	corde	type de relais	Moyenne	offset	glissement (m)	Force mannequin (kN)	Force sur le relais (kN)	Fmax point droit	Fmax point gauche	Rapport gauche sur droit
essai 9	2	volta 9,2mm	corde volta (120cm), nœuds en 8 + cab	relais	1,883243586	1,3	2,9	1,85	2,05	1,20
essai 10	2	volta 9,2mm	corde volta (120cm), nœuds en 8 + cab	relais	1,3	0,35 (deux mains)	2,7	2,7	3	1,23
essai 11	2	volta 9,2mm	corde volta (120cm), nœuds en 8 + cab	relais	1,3	0,75 (deux mains)	2,7	2,7	3	1,23
essai 12	2	Salsa 8,2mm double	corde volta (120cm), nœuds en 8 + cab	relais	1,3	0,56	2,5	2,6	2,6	1,10
essai 13	2	Salsa 8,2mm double	corde volta (120cm), nœuds en 8 + cab	relais	1,3	0,08 (deux mains)	3,5	3,9	3,9	1,56
essai 14	2	Salsa 8,2mm double	corde volta (120cm), nœuds en 8 + cab	relais	1,3	0,08 (deux mains)	3,4	3,7	3,7	1,56
essai 15	2	Salsa 8,2mm double	corde volta (120cm), nœuds en 8 + cab	relais	1,3	0,45	2,7	2,9	2,9	1,04
essai 16	2	volta 9,2mm	anneau de sangle (120cm) + cab	relais	1,717128675	1,3	0,45 (deux mains)	2,5	2,8	1,33
essai 17	2	volta 9,2mm	anneau de sangle (120cm) + cab	relais	1,3	0,90 (deux mains)	2,2	2,2	2,6	1,28
essai 18	2	volta 9,2mm	anneau de sangle (120cm) + cab sur attache 3D	relais	1,3	1,1 (deux mains)	2,1	2,1	2,2	98
essai 19	2	volta 9,2mm	anneau de sangle (120cm) + cab sur attache 3D	relais	1,3	1,6 (deux mains)	1,8	2	2	100
essai 20	2	volta 9,2mm	anneau de sangle (120cm) twisté	relais	0,992057388	1,3	2,0 chute au sol	2,2	2,1	144
essai 21	2	volta 9,2mm	anneau de sangle (120cm) twisté	relais	1,3	0,7 (deux mains)	2,5	2,9	2,9	201
essai 22	2	semi-stat	anneau de sangle (120cm) twisté	relais	1,3	0,23 (deux mains)	2,9	3,1	3,1	224
essai 23	2	volta 9,2mm	anneau de sangle (120cm) twisté + fusible	relais	1,3	0,40 (deux mains)	2,6	2,6	2,6	24
essai 24	2	volta 9,2mm	anneau de sangle (120cm) twisté + fusible	relais	1,3	0,35 (deux mains)	2,6	2,6	2,6	96
essai 25	2	volta 9,2mm	anneau de sangle (120cm) twisté + fusible doublé	relais	sac 50 kg vaché	1,3	0,05 (deux mains)	2,8	2,8	135
essai 26	2	volta 9,2mm			1,3	0,05 (deux mains)	2,8	2,8	2,8	204

Figure 24:Figure 15 : tableau récapitulatif des forces générées sur les points du relais en facteur 2.

Lors d'une chute sur un relais ou toute triangulation avec nœud sur le point central, si le grimpeur chute à droite du relais c'est le point opposé au coté où chute le grimpeur (point gauche dans notre exemple) qui subit la plus forte contrainte (+55% à 100%).

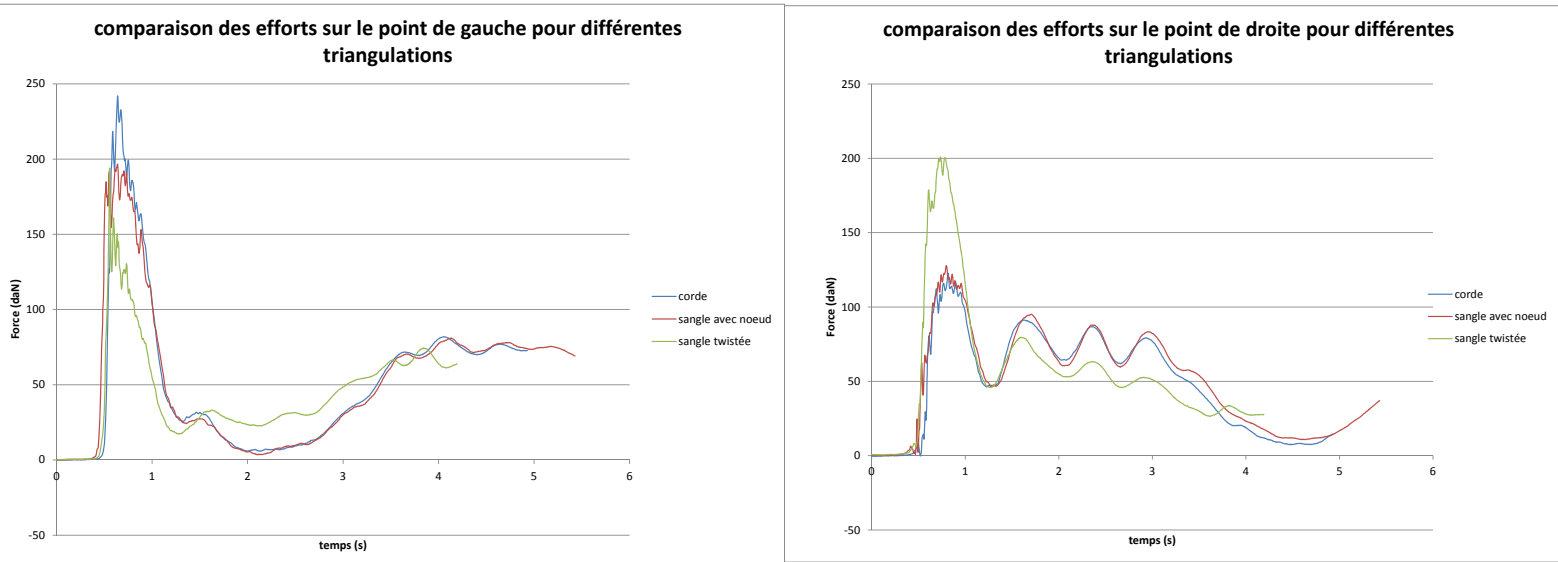


Figure 25:comparatif des efforts sur le point gauche pour différentes triangulations . Figure 26:comparatif des efforts sur le point gauche pour différentes triangulations .

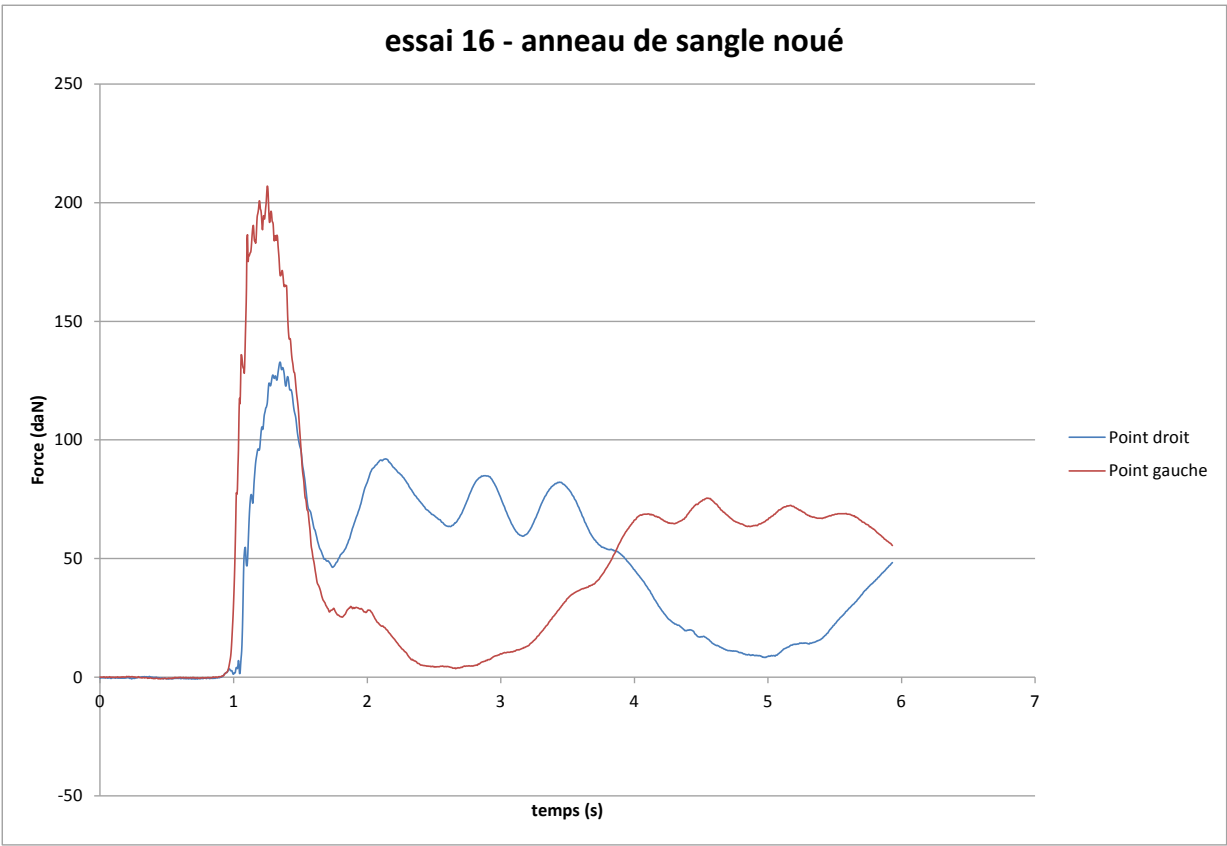


Figure 27:efforts sur chaque point du relais couplé avec une sangle dyneema® de 120cm et un cabestan pour le point central.

**RUPTURE D'UN POINT DU RELAIS
AVEC SANGLE TWISTÉE ET
L'ASSUREUR SUSPENDU**

Introduction :

La meilleure façon de relier deux points pour répartir la charge sur chaque point est de les relier par une sangle twistée. Cependant, si un des points du relais vient à rompre, alors que l'assureur est en tension sur le relais, ce dernier va aussi chuter jusqu'à ce que la sangle se mette en tension. Le point restant devra donc encaisser simultanément la chute du leader et celle de l'assureur.

Objectif :

Mesurer la force générée par une chute en facteur 2 sur un point du relais triangulé avec une sangle twistée lorsqu'un des points s'arrache, avec un grimpeur de 50 kg suspendu au relais.

Protocole :

Un mannequin anthropomorphe (en sable) est suspendu à 2 mètres au dessus du relais avec un offset de 1m20. Le

mannequin est largué par un déclencheur. Il est stoppé par un demi cabestan installé sur le point central du relais. Un fusible cassant à 150 daN est installé sur le point droit du relais.

Analyse :

Avec ce système de couplage les deux points prennent la charge simultanément dès le départ. A 1.4 seconde le fusible saute, de 1.4 à 1.47 il n'y a plus de tension sur le relais le temps que les mousquetons et le sac glissent jusqu'au bout de la sangle.

A partir de 1.6 seconde, la force croît uniformément jusqu'à 620 daN. Nous avons deux effets qui se cumulent et génèrent cette force de choc élevée :

- le sac chute sur une sangle dyneema
- l'arrêt de chute du mannequin.

Conclusion :

Triangler un relais avec une sangle dyneema twistée et se suspendre sur le point central est très fortement déconseillé. L'arrachement d'un point entraîne la chute de l'assureur, ce dernier est assuré de manière statique par son auto-assurance. Le cumul des deux chutes simultanées (l'assureur et le grimpeur) lors de l'arrachement d'un des points génère une force très élevée (supérieure à 6

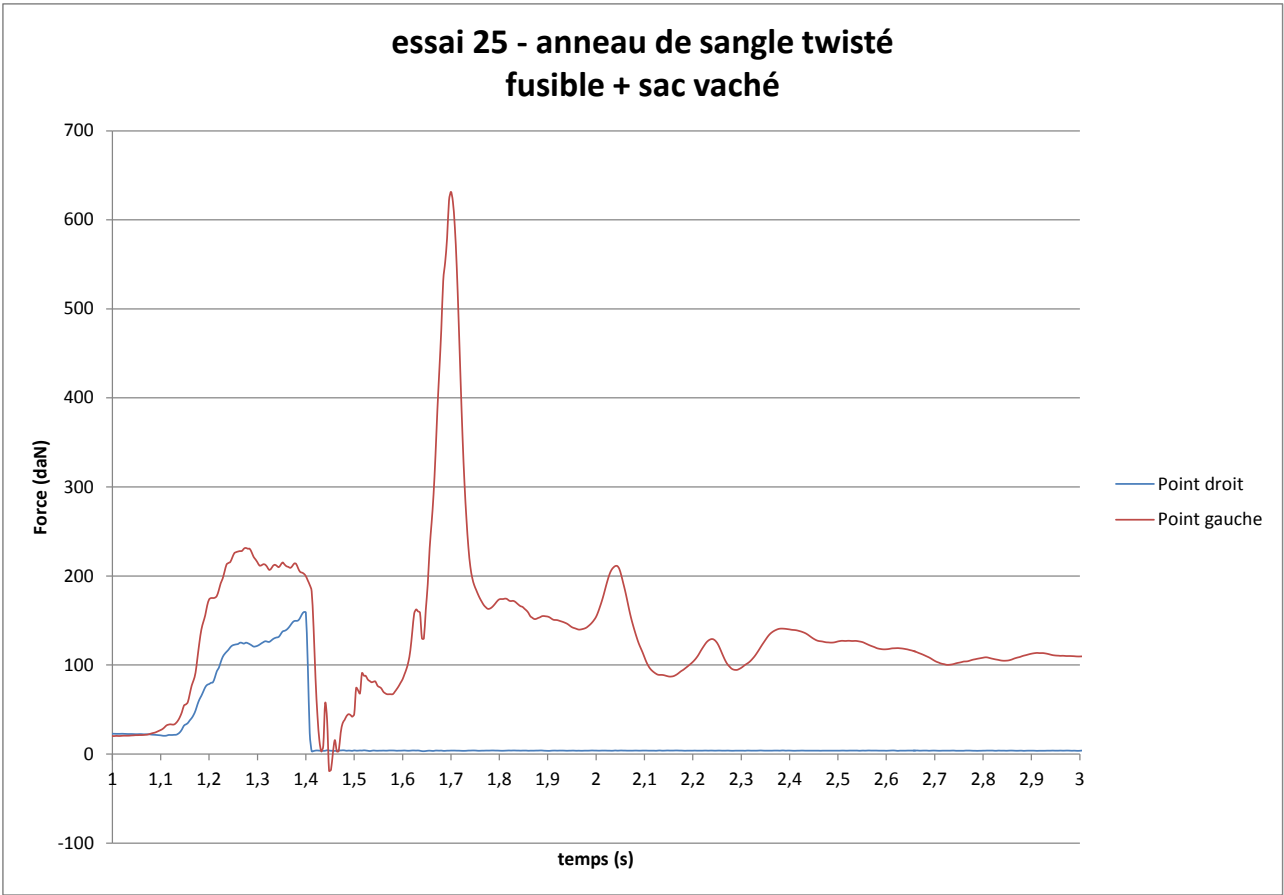


Figure 28:simulation de la rupture d'un point d'ancrage avec un grimpeur de 50 kg vaché au relais

kN) qui pourrait arracher le second point du relais.

Il est préférable de coupler les points du relais en faisant un nœud.

Si l'on désire faire une triangulation il est indispensable de séparer l'assurage du second du point central du relais. L'assureur peut par exemple, avec une corde à double se longer directement sur chaque point du relais avec un cabestan et sa corde d'encordement.



Figure 29:simulation de la rupture d'un point d'ancrage, le fusible est sur le point droit, le sac suspendu au relais simule un grimpeur de 50kg. Le mannequin est suspendu 2 mètres au dessus du relais avec un offset de 1m20.

**RUPTURE D'UN POINT DU RELAIS
AVEC UNE SANGLE TWISTÉE**

Introduction :

Lors d'une chute en cascade de glace sur un relais en sangle twistée, un des points du relais s'est arraché, le mousqueton de triangulation/renvoi s'est cassé sous le choc.

Nous avons voulu savoir si le choc généré sur ce deuxième point pouvait expliquer la rupture de ce mousqueton? Nous supposons dans ce cas que l'assureur n'est pas en tension sur le relais mais est debout sur une marche par exemple.

La meilleure façon de relier deux points pour répartir la charge sur chaque point est de les relier par une sangle twistée. Si un des points du relais vient à rompre, la tension va se libérer jusqu'à arriver en bout de sangle. Cette libération rapide entraîne-t-elle un pic de force sur le point d'ancrage restant ?

Objectif

Mesurer la force générée par une chute en facteur 2 sur un point du relais triangulé avec une sangle twistée lorsqu'un des points s'arrache.

Protocole :

Un mannequin anthropomorphe (en sable) est suspendu à 2 mètres au dessus du relais avec un offset de 1m30. Le mannequin est largué par un déclencheur. Il est stoppé par un demi cabestan installé sur le point central du relais. Un fusible cassant à 100 daN est installé sur le point droit du relais.

Analyse :

Avec ce système de couplage les deux points prennent la charge simultanément dès le départ. A 2.3 seconde le fusible saute, de 2.3 à 2.35 il n'y a plus de tension sur le relais le temps que les mousquetons glissent jusqu'au bout de la sangle.

A partir de 2.37 seconde, la force croit jusqu'à 325 daN., soit, en moyenne, 45% d'effort en plus que dans le cas d'un relais avec nœud.

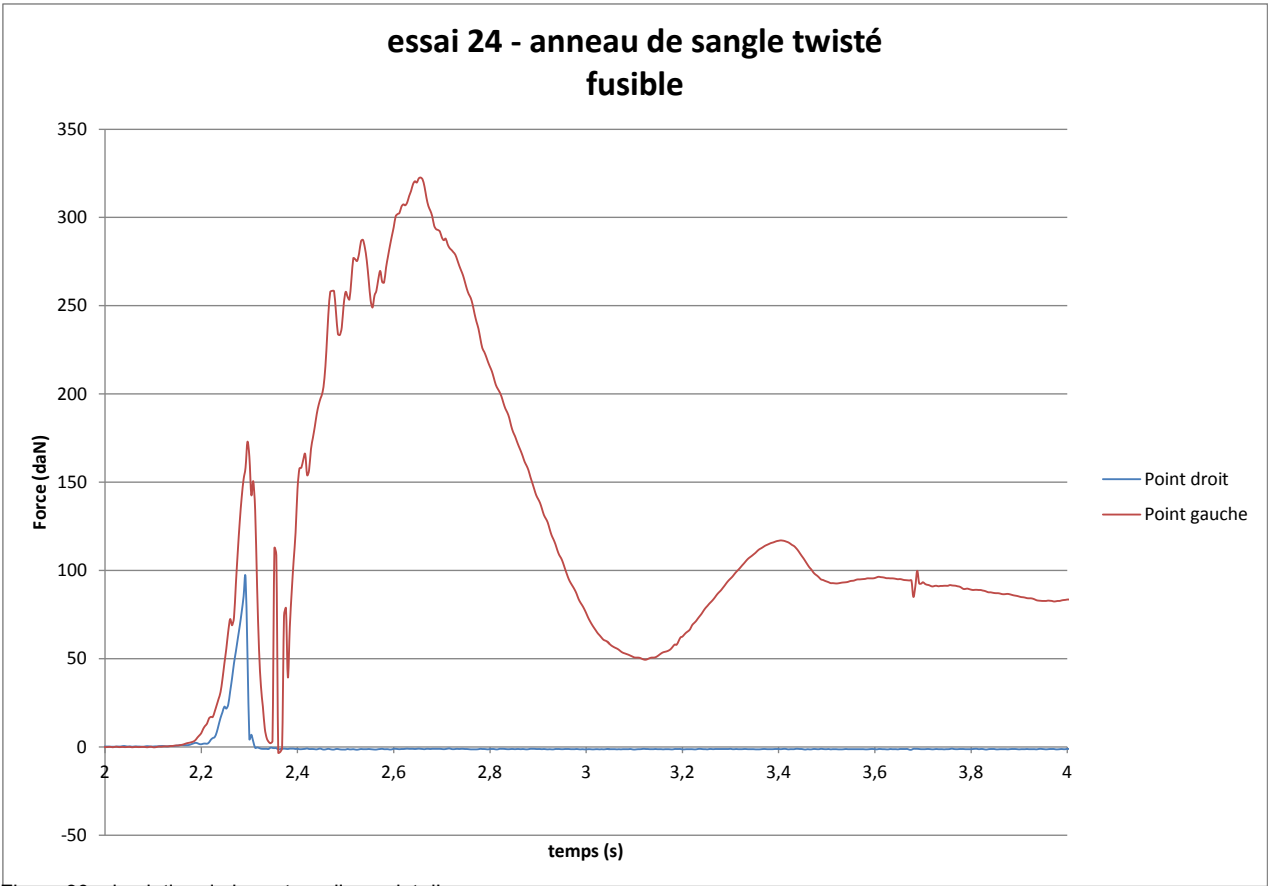


Figure 30: simulation de la rupture d'un point d'ancrage

tests de couplage dyneema twistée la tour de chute

Nous avons reproduit à la tour de chute l'accident de Christophe Moulines en cascade de glace à Fressinière. Lors d'une grande longueur avec du tirage, Christophe a placé un couplage : piton + broche à glace reliés par un anneau de sangle twisté avec des mousquetons simples. Le stalactite sur laquelle il grimpait s'est effondré. Christophe a chuté sur le couplage ; un des point s'est arraché et le mousqueton qui couplait les points s'est cassé.

Nous avons imaginé que le piton viendrait heurter le mousqueton du couplage et le casserait. Cela n'est jamais arrivé nous n'avions pas pensé que le twist de la sangle se placerait sur le doigt du mousqueton et provoquerait l'ouverture de celui ci, et donc sa rupture dès que le facteur de chute est fort. Nous n'avons jamais observé de rupture en plaçant un mousqueton de sécurité au point de couplage.

Conclusion :

Triangler avec une sangle twistée permet la meilleure répartition des forces sur chaque ancrage mais est déconseillé. Lors de la rupture d'un point, la force générée sur le point restant est importante et pourrait arracher le dernier point.

Il est préférable de coupler les points du relais en faisant un nœud.

Dans certains cas particuliers, en escalade artificielle par exemple, il peut être indispensable de coupler des points, le couplage doit être réalisé avec un mousqueton à vis.



Figure 31: Simulation d'arrachement d'un piton lors d'une chute sur un couplage avec une sangle twistée.

LE POINT DE RENVOI

Introduction :

Faut-il faire un point de renvoi ? Systématiquement ou dans certaines circonstances ? Quels sont les avantages et les inconvénients ? Il est très probable que le système de freinage entre en collision avec la dégainé. Quelles sont les conséquences de ce choc ?

Objectif

Comparer l'arrêt d'une chute en facteur 0.3 avec ou sans point de renvoi sur le point haut du relais.

Protocole :

Nous faisons chuter une masse rigide guidée de 80 kg en facteur 0.3. (longueur de corde disponible : 8.4 mètres, hauteur de chute : 2.5 mètres.

Corde stinger II 9.4mm Béal. Système de freinage : Reverso³ Petzl.

L'assureur (70kg) est longé sur le point du bas du relais, il est équipé de gants en cuir.

L'assureur est filmé avec une caméra haute vitesse.

Nous comparons au moyen de la vidéo et des données du capteur des chutes en facteur 0.3 avec ou sans point de renvoi sur le relais, et avec l'assurage avec le Reverso³ sur le pontet ou sur le relais.



Figure 32: assurage avec un point de renvoi sur le relais.

Analyse :

Avec un point de renvoi sur le relais et Reverso sur le pontet, l'assureur est soulevé par la chute. Son Reverso³ vient percuter le mousqueton de la dégainé de renvoi. La corde glisse alors dans sa main et la main vient percuter violemment le Reverso³.

Les gants se révèlent essentiels pour protéger la main lors du choc sur le Reverso³

L'assureur s'est plaint du choc de la main sur le Reverso.

Un tel choc sans gants pourrait faire lâcher la corde à l'assureur.

La comparaison avec les figures 7, 11 et 12 (assurage au pontet sans point de renvoi sur le relais) montre que l'assurage est bien plus confortable pour l'assureur avec une dégainé en place sur le point haut du relais.

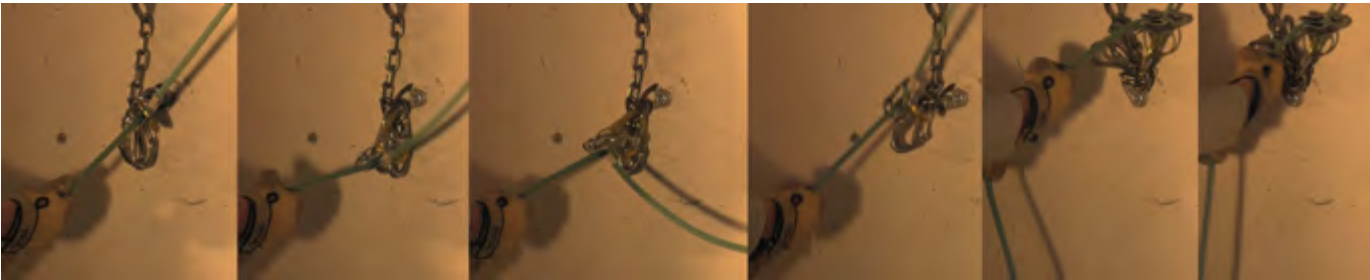


Figure 33: assurage avec le Reverso positionné directement sur le relais.

Avec le reverso sur le relais :

C'est la position la plus confortable pour l'assureur. Le glissement de la corde dans le Reverso est de 30 cm en moyenne. Le clipage de la dégainé n'a pas d'incidence sur l'arrêt de la chute mais est gênant pour donner du mou.

CONCLUSION

Le point de renvoi peut être mis en place sur le point haut du relais dès que les points du relais sont solides. Avec un assurage avec le système de freinage sur le pontet, contrairement à ce que l'on pensait auparavant, il faut laisser le point de renvoi après que le leader ait clippé plusieurs points dès qu'il existe un risque de chute de grande hauteur ou qu'il n'y a pas de tirage.



Le positionnement du système d'assurage sur le relais privilégie le confort de l'assureur alors que positionnement du système d'assurage sur l'assureur, privilégie le confort du grimpeur.

L'assurage sur le relais se fera de préférence sur un point fixe; si l'on doit assurer sur le point central d'un couplage, il est préférable d'avoir la sangle la plus court possible.

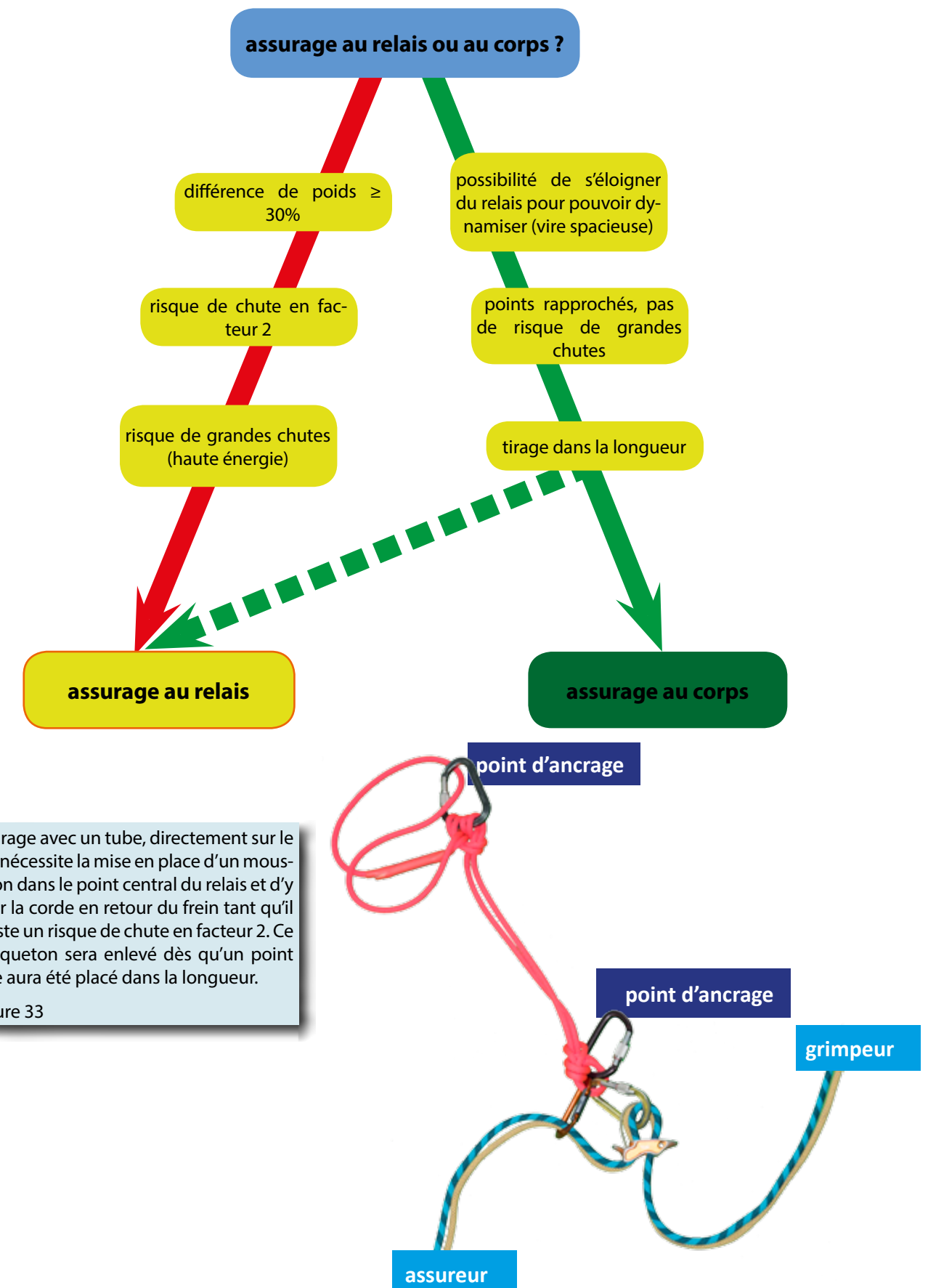


Figure 34: assurage avec le Reverso positionné directement sur le relais et un mousqueton pour obtenir un freinage efficace en cas de chute en facteur deux.



LES RELAIS SUR COINCEURS

Les coincesurs offrent une résistance optimale dans une seule direction. Le positionnement du frein sur le point central d'un relais sur coincesurs ne peut se faire que si le relais est triangulé pour travailler dans les directions de chutes potentielles : vers le bas (facteur 2) et vers le haut (chute sur points de renvoi).

Si l'on désire positionner le frein sur le relais, il faut ajouter un point qui résiste vers le haut que l'on peut coupler avec la corde ou directement sur le relais, cf figure 34.

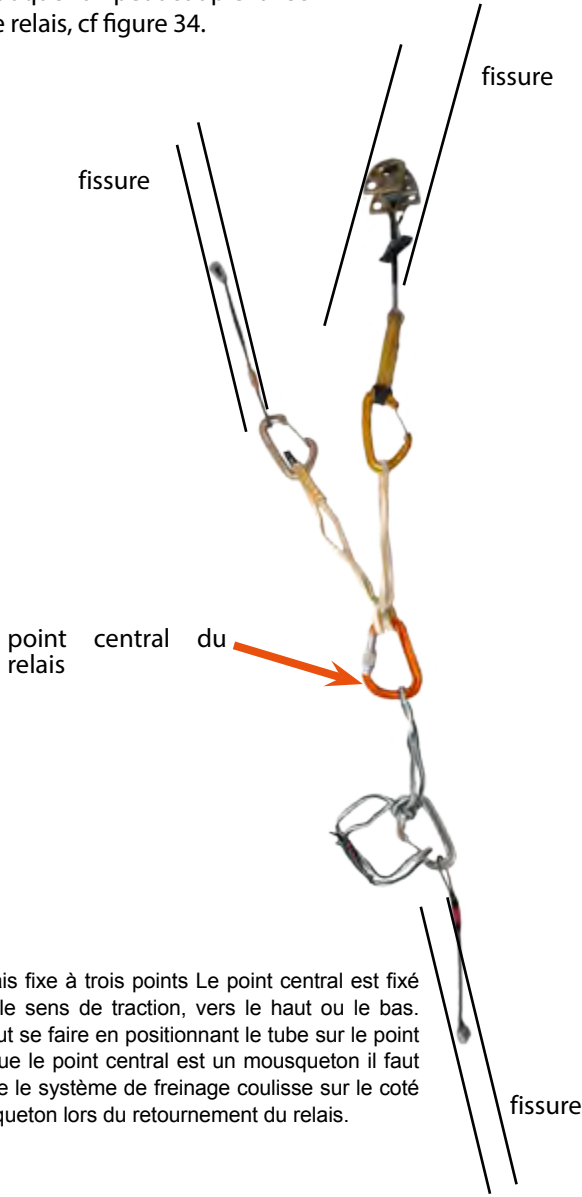


Figure 35: relais fixe à trois points Le point central est fixé quel que soit le sens de traction, vers le haut ou le bas. L'assurage peut se faire en positionnant le tube sur le point central. Dès que le point central est un mousqueton il faut veiller à ce que le système de freinage coulisse sur le côté lisse du mousqueton lors du retournement du relais.

CONCLUSIONS

La majorité des chutes : faible facteur, tirage dans la longueur peut être arrêtée avec le système d'assurage sur le pontet de l'assureur. Certaines chutes, plus rares : assureur plus léger que le grimpeur, grande hauteur, pas de tirage, facteur 2, configuration du terrain entraînant un risque de traumatisme pour l'assureur si celui-ci est projeté lors de la chute du leader (traversé horizontale après le relais, toit au-dessus du relais.....) etc. risquent de ne pas pouvoir être stoppées en positionnant le système de freinage sur l'assureur.

PERSPECTIVES

L'étude précise du jerk sur la tenue de point d'ancrages comme des pitons ou des broches à glace est un sujet qui mériterait d'être approfondi. Le calcul numérique du jerk à partir des courbes de forces devra être précisé. Les courbes de forces données par les capteurs ont des discontinuités (dus aux interférences ou à une fréquence d'acquisition trop faible ?) un travail sur ces courbes donnerait des valeurs de jerks sur toute la période de chute.

RÉFÉRENCES

- Barron T. Élaborations et révisions de normes européennes sur les matériels d'alpinisme et d'escalade. Ecole nationale supérieure de physique, électronique, matériaux. Phelma INP Grenoble. 2015.
- Batoux P. Utilisation de la corde en alpinisme, ENSA 2017
- Bedogni V., Bressan G., Melchiorri C., Zanantoni C. Stance load equalization, UIAA safety commission, May 25/27 2011
- Bedogni V. Load repartition on a stance. CAI-CMT-UIAA, 2010.
- Bellin B, Robert T, Lassia R, Charlet JF. Assurage Dynamique: Modélisation. Rapport INSA-ENSA-UIAA, Meiringen, 2001.
- Melchiorri C. Climbing activities Stances. CAI-CMT-UIAA, 2006.
- Semmel C. Übersicht Standplatzbau - DAV januar 2010
- Zanantoni C. Analysis of the belaying methods. UIAA 3:7-11, 2005.
- Bedogni V, Zanantoni C. Stance organisation. CAI-CMT-UIAA, 2006

Remerciements :

Cette étude, pilotée par l'ENSA, est soutenue par les fabricants de matériel de montagne : Béal et Petzl.

Je tiens à remercier particulièrement la société Petzl qui nous a accueilli dans son laboratoire V-access pour procéder aux tests en facteur 2 et aux chutes avec ballant.

Je remercie également Paul Robach et Alexis Mallon pour la relecture, Philippe Magnin pour toutes les chutes et Christophe Jacquemoud pour l'assurage.

ANNEXE N° 1 : LE NŒUD DE BOULINE

Le nœud de bouline est particulièrement adapté pour construire le point central d'un relais. Il faut construire la boucle de petite taille afin d'avoir la mobilité la plus réduite possible en cas de retournement. Contrairement à une boucle faite avec un nœud simple ou un nœud de huit il se défait facilement.

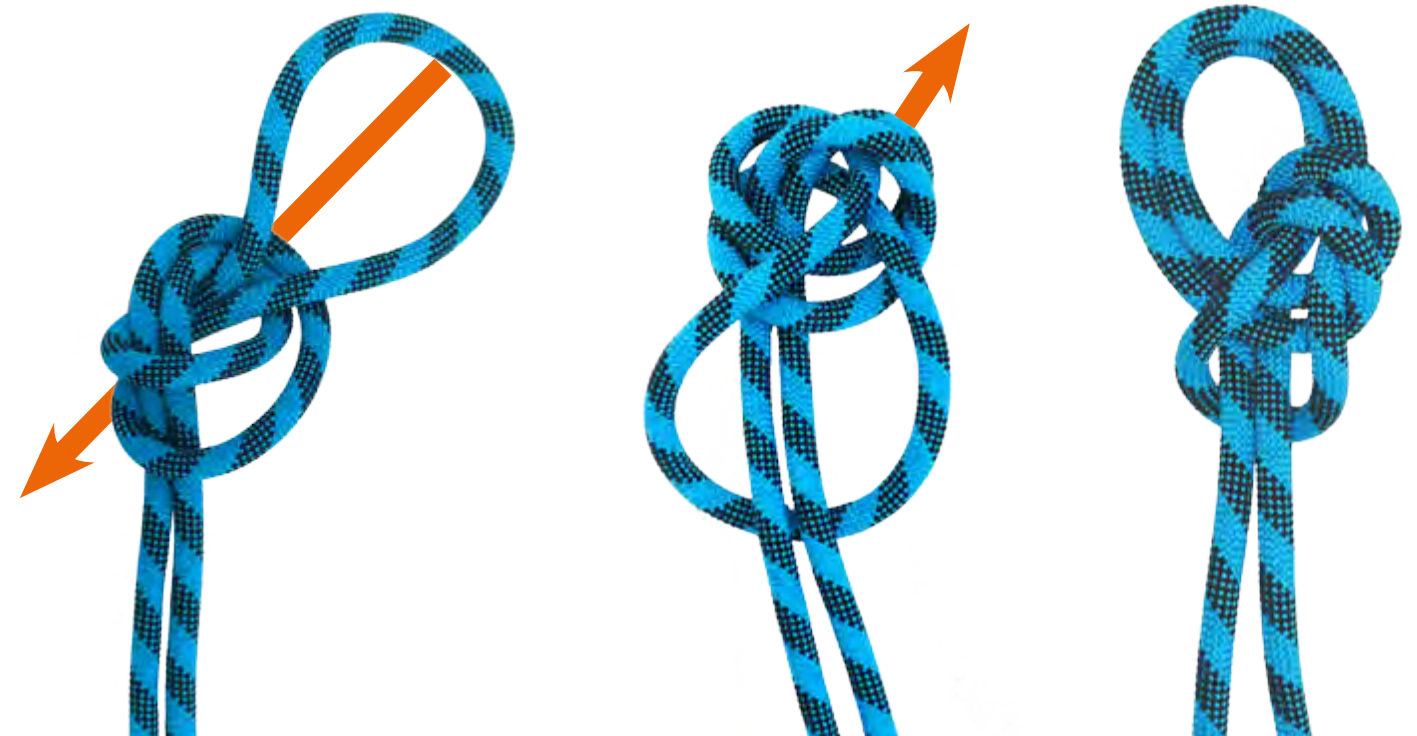


TABLE DES MATIÈRES

Résumé	2
Introduction	3
Nos interrogations :	3
l'étude	3
Définitions	4
pertinence de l'assurage sur le relais	6
comparaison grigri reverso	8
assurage sur le relais vs pontet	10
comparaison assurage sur le relais vs pontet	12
Introduction	12
Assurage sur le relais	14
Assurage dynamique	15
comparaison entre différentes constructions du relais	16
rupture d'un point du relais avec sangle twistée et l'assureur suspendu	18
rupture d'un point du relais avec une sangle twistée	20
Le point de renvoi	22
Conclusion	23
Les relais sur coincideurs	27
Perspectives	28
Références	28