



Rappels et «agressive testing»

Laboratoire d'essai des matériels de montagne ENSA

AUTEUR : Philippe Batoux

ENSA : Frédéric Gentet, Johan Courcelle, Michel Fauquet, Christophe Jacquemoud, Aymeric Clouet, Hervé Qualizza.

juin 2019
décembre 2024



Résumé

Suite à la rupture d'une cordelette lors d'une descente en rappel nous nous sommes intéressés aux efforts générés sur le relais lors des descentes en rappel.

Cet incident étant survenu lors d'une descente sur une cordelette dyneema en simple nous avons regardé les efforts sur une corde et une cordelette en simple. Ce sont des pratiques de plus en plus répandues avec l'essor de l'escaper de Béal.

Avec une corde en simple, lors d'une descente sans à-coups la force maximale générée sur le relais est d'environ 1,25 fois le poids du grimpeur et il n'y a pas de différence notable entre cordelette hyperstatique et corde dynamique.

Avec une corde ou une cordelette dyneema en simple, lors d'une descente en rappel avec des à-coups la force générée sur le relais est de 1.6 fois le poids du grimpeur avec la cordelette dyneema et de 3 fois avec la corde Ice Line. La cordelette dyneema de 5mm de diamètre est difficile de tenir et il n'est pas possible de faire un arrêt brutal. L'ice line de 8.1mm de diamètre permet un freinage plus rapide.

Avec une corde en double (Verdon Béal) lors d'une descente sans à-coups la force maximale générée sur le relais est d'environ 1,25 fois le poids du grimpeur. Lors d'une descente en rappel avec des à-coups la force générée sur le relais est de 4 fois le poids du grimpeur.

Pour tester la solidité d'un ancrage, il est courant d'utiliser la méthode «d'agressive testing». Cette méthode génère 3 fois le poids du grimpeur sur le relais. C'est donc une méthode pertinente pour tester un relais douteux et descendre ensuite sans à-coups.

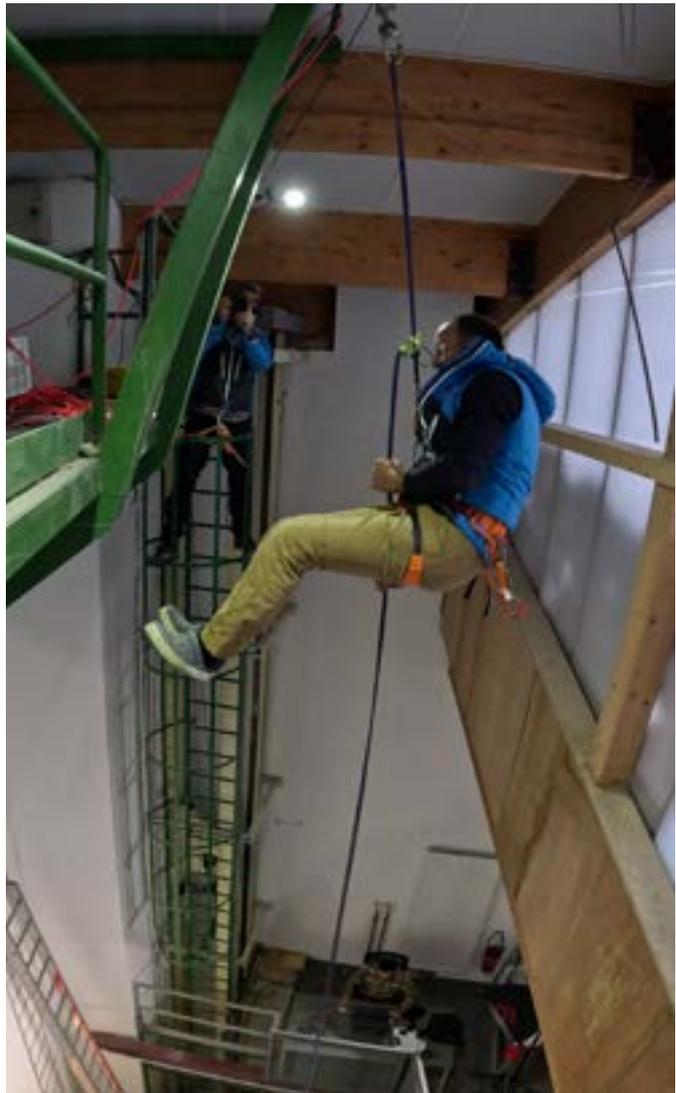


Figure 1: rappel sur une corde Verdon Béal avec un descendeur Air Force 2 (Béal) ; le rappel est fixé sur un dynamomètre

Mots clefs : alpinisme, aggressive testing, escalade, rappels, cordes dynamiques, dyneema, kevlar, cordelette hyperstatique.

Introduction

NOS INTERROGATIONS :

Nous ne connaissons pas les efforts générés sur le relais lors des descentes en rappel. Nous mesurons les efforts générés lors d'une descente «normale» et dans les situations les plus défavorables : descente rapide et arrêt brutal. Pour gagner du poids, les alpinistes et en particulier les skieurs utilisent de plus en plus des cordelettes hyperstatiques : dyneema, kevlar ou aramides pour les rappels.

Ces cordelettes hyperstatiques, génèrent-elles des forces plus importantes sur les ancrages que les cordes dynamiques ? et si c'est le cas ces forces pourraient elles être assez importante pour arracher les ancrages ?

Rappelons qu'il arrive en neige de descendre en rappel sur des ancrages en neige. Ces ancrages peuvent être des planchettes installées en corps morts creusés dans la neige avec des résistances de l'ordre de 200 daN.

Nous nous intéressons aussi à la méthode de test de résistance d'un ancrage «agressive testing». Nous mesurons les efforts générés sur le point d'ancrage par cette méthode avec des grimpeurs de 68 à 84kg.

Le système de freinage : tube, demi-cabestan, a-t'il une incidence sur les efforts générés ?

Nous nous interrogerons sur un accident survenu lors d'un rappel particulier avec une cordelette pure dyneema de Béal en simple (rappel avec escaper) La cordelette s'est rompue lors de la descente du deuxième skieur.

L'ÉTUDE

Les études sont menées au laboratoire d'essais des matériels de montagne de l'ENSA.

Les efforts sont mesurés avec une chaîne de mesure SRT et un dynamomètre Scaime (figure 2) avec une fréquence d'acquisition de 500Hz.

La résistance statique de la cordelette est mesurée à l'aide d'un vérin hydraulique et du dynamomètre Scaime.



Figure 2 : dynamomètre SCAIME : fréquence d'acquisition 500Hz.



Figure 3 : descente en rappel en fil d'araignée à la tour d'essais du laboratoire de l'ENSA. Le rappel est installé sur le dynamomètre.

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...)

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 croit avec le diamètre et l'âge de la corde. Cette valeur baisse lorsque l'assureur a des gants.

moyen d'assurance	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 4 : facteurs multiplicateurs de force de différents systèmes de freinage avec une corde dynamique. Ces facteurs sont très inférieurs avec une cordelette de faible diamètre.

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).

agressive testing :

méthode inventée par les grimpeurs d'escalade artificielle pour tester un point d'ancrage. Cette méthode consiste à se laisser tomber le plus violemment possible sur le point à tester avec sa longe pour vérifier la qualité d'un ancrage.

Cela simule une mini chute.

Lors d'une descente en rappel le grimpeur arrive au rappel suivant. Il se longe sur le relais de rappel, détend son descendeur et son nœud d'autoassurance et teste le relais avec un agressive testing tout en étant contre assuré sur le rappel précédent.

Nous avons réalisé tous les «agressive testing» avec des longues dynamiques.

Dyneema :

Le polyéthylène de masse molaire très élevée (UHMPE) est un polyéthylène haute densité caractérisé par une excellente résistance à l'abrasion. Le Dyneema est 7 fois plus léger qu'un câble en acier à résistance égale, il résiste bien aux uv et à l'humidité.

e point de fusion est de 140°C. Il n'est pas recommandé pour les autobloquants.

Rupture d'une cordelette pure dyneema en rappel

LES FAITS

Un guide et son client descendent à skis le couloir des Cosmiques en mars 2019. Ils utilisent une cordelette Pure Dyneema Béal de 60 mètres installée sur un escaper. Le client descend en premier avec un descendeur Grivel. Le guide descend à son tour avec un descendeur Grivel. Alors qu'il est à environ 2 mètres de la fin de la cordelette. Cette dernière se rompt. Le guide arrive heureusement à se rattraper. Il remonte pour récupérer son escaper et constate que la corde s'est rompue 2 mètres sous l'escaper.

La corde présente un apparence quasi neuve.

Elle n'a pas de marques de coupures ou d'usure.

Elle a été utilisée un an, une dizaine de fois uniquement en rappels en ski.

QUESTIONNEMENT

Nous imaginons plusieurs motifs de rupture :

1. cisaillement sur une arête tranchante
2. initiation d'une rupture par une carre de ski
3. rupture par échauffement du descendeur sur la cordelette
4. rupture de la cordelette en raison d'un arête tranchante sur le descendeur

PROTOCOLE

Vérification de la résistance statique de la cordelette avec dynamomètre et vérin hydraulique.

Tests de descente rapide en rappel avec arrêt brutal et suspension avec différents systèmes de freinage.

TESTS DE RÉSISTANCE STATIQUE

La cordelette présente des résistances similaires à celles d'une corde neuve. Elle ne montre aucune usure particulière.



Figure 5 : rupture de la cordelette pure dyneema 2 mètres sous le point de fixation du rappel.



Figure 6 : la gaine montre de nombreuses marques d'abrasion sous la rupture.

type de nœud	résistance (daN)	remarque
huit	899	
1/2 cabestan nœud de mule	687	
demi cabestan bloqué par un nœud de huit et un cabestan	800	glissement du cabestan pas de rupture
demi cabestan bloqué par un nœud de huit et un cabestan avec un nœud simple de blocage sur le brin libre du cabestan	1350	glissement du cabestan jusqu'au nœud



Figure 7 : mesures de résistance statique de la cordelette pure dyneema avec demi cabestan et nœud de mule.

CONCLUSION

Compte tenu des observations, il est difficile de conclure sur les raisons de la rupture.

Ce que nous savons : une cordelette en simple chargée à 80 daN est 4 fois moins résistante à l'abrasion sur une arête tranchante que la même cordelette en double . [7] et [8]

La cordelette a pu être cisailée sous tension par des carres ou même une combinaison des deux.

Lorsque l'on descend sur une cordelette en 5mm en simple, il est important de veiller à ce que la cordelette ne frotte pas sur le rocher et proscrire tout contact avec des arêtes tranchantes.

DESCENTES SUR CORDES EN SIMPLE

Corde dynamique vs cordelette hyperstatique pure dyneema

Nous effectuons deux types de tests au laboratoire de l'ENSA. Le premier est la situation la plus proche de la réalité. Un grimpeur de 62 kg descend en rappel avec un demi cabestan sur 13 mètres dans le vide. Un dynamomètre SRT est installé sur le point d'ancrage. Il mesure la force sur 6.2 secondes. La descente est réalisée le plus rapidement possible. A un mètre du sol, le grimpeur s'arrête brutalement et reste en place.

La corde ou cordelette est installée en simple correspondant à une descente avec un escaper.

Le second, est réalisé à la tour de chute. Nous moulinons la masse rigide de 125 kg avec un demi cabestan. Le grimpeur n'arrivait pas à mouliner avec le demi cabestan. Il a dû installer deux renvois pour créer suffisamment de frottements. Un dynamomètre est installé sur le point d'ancrage. Il mesure la force sur 6.2 secondes.

Analyse

C'est avec une corde dynamique (Béal Iceline 8.1 mm) que nous obtenons les plus fortes valeurs sur le point d'ancrage : 170 daN.

Avec la cordelette pure dyneema 5mm la descente est très difficile ; le grimpeur n'ar-

rive pas à bloquer correctement la cordelette dans sa main. Pour se bloquer il doit faire un tour mort. La valeur maximale obtenue est de 98 daN.

Nous suspicions une brûlure de la cordelette à l'endroit de l'a suspension finale. Nous n'avons remarqué aucune trace de brûlure.

Cependant, la cordelette dyneema se rigidifie sur tout la longueur où le système de freinage est passé. Cette rigidité s'atténue dès que l'on malaxe la cordelette.



Figure 8 : protocole de mesure des forces générées en rappel : un dynamomètre est fixé sur le point d'ancrage

type d'essai	corde	force max	fichier
iceline tube beal descente rapide arret brutal		128,1	iceline 1
iceline tube beal descente rapide arret brutal		126,4	iceline 2
iceline tube beal descente rapide arret brutal		170,1	iceline 3
pure dyneema tube beal descente cool		76,6	pdyn1
pure dyneema demi cab descente rapide brin sortant paralleles		98,2	pdyn2
pure dyneema demi cab descente rapide		83,1	pdyn3
essai masse rigide 125kg. Moulinette du sommet		185,1	pdmg1
essai masse rigide 125kg. Moulinette du sommet		287,1	pdm2
essai masse rigide 125kg. Moulinette du sommet		223,6	pdm4

CONCLUSION

Avec la pure dyneema en simple, lors d'un rappel en fil d'araignée il est difficile d'arrêter brutalement la descente les efforts générés lors des descentes restent faibles comparés à une corde dynamique qui permet un freinage plus puissant.

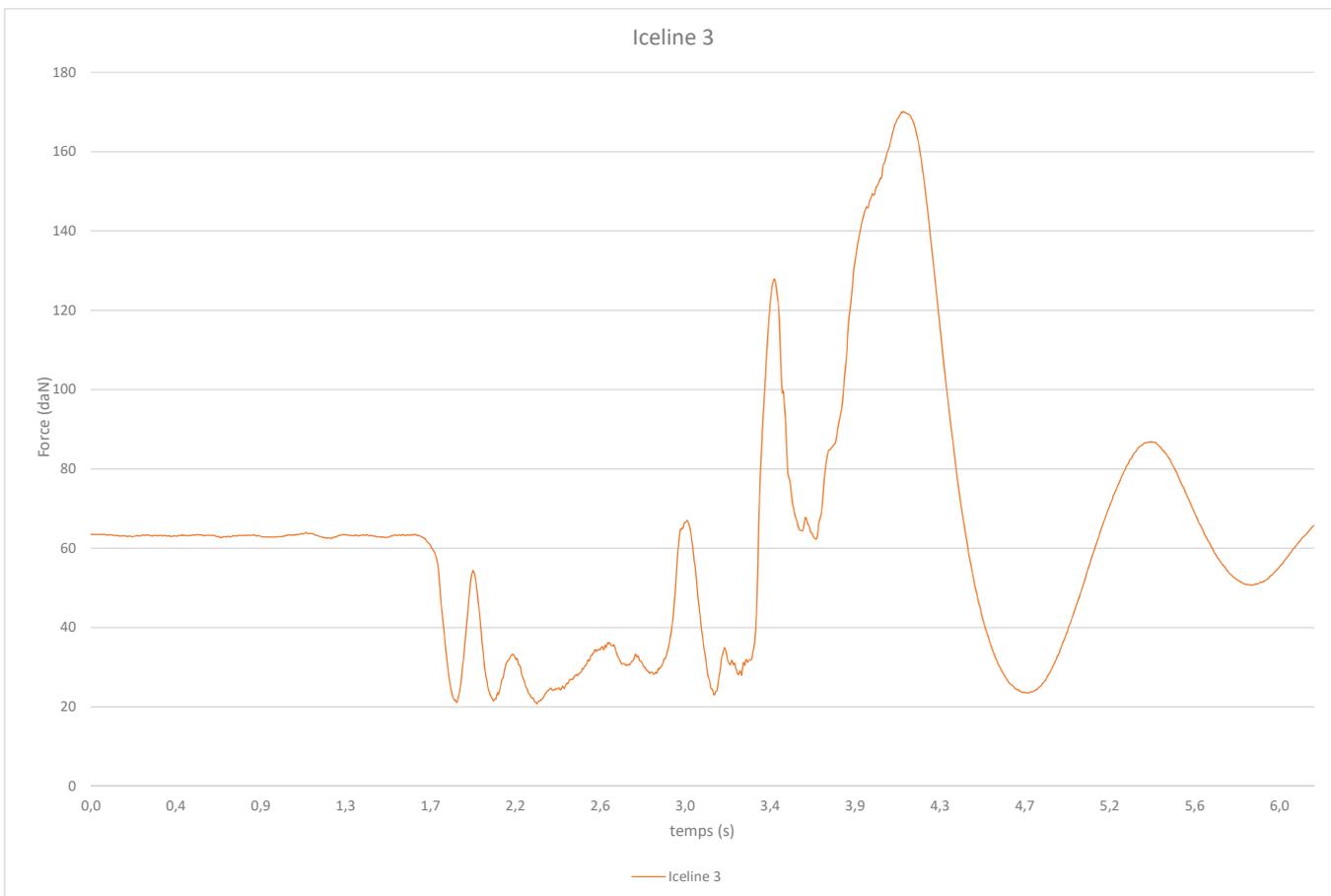


Figure 10 : force sur le point d'ancrage lors d'un rappel d'un grimpeur de 62.5kg avec une IceLine 8.1mm La force maximale mesurée sur le point d'ancrage est de 170 daN, soit presque 3 fois le poids du grimpeur.

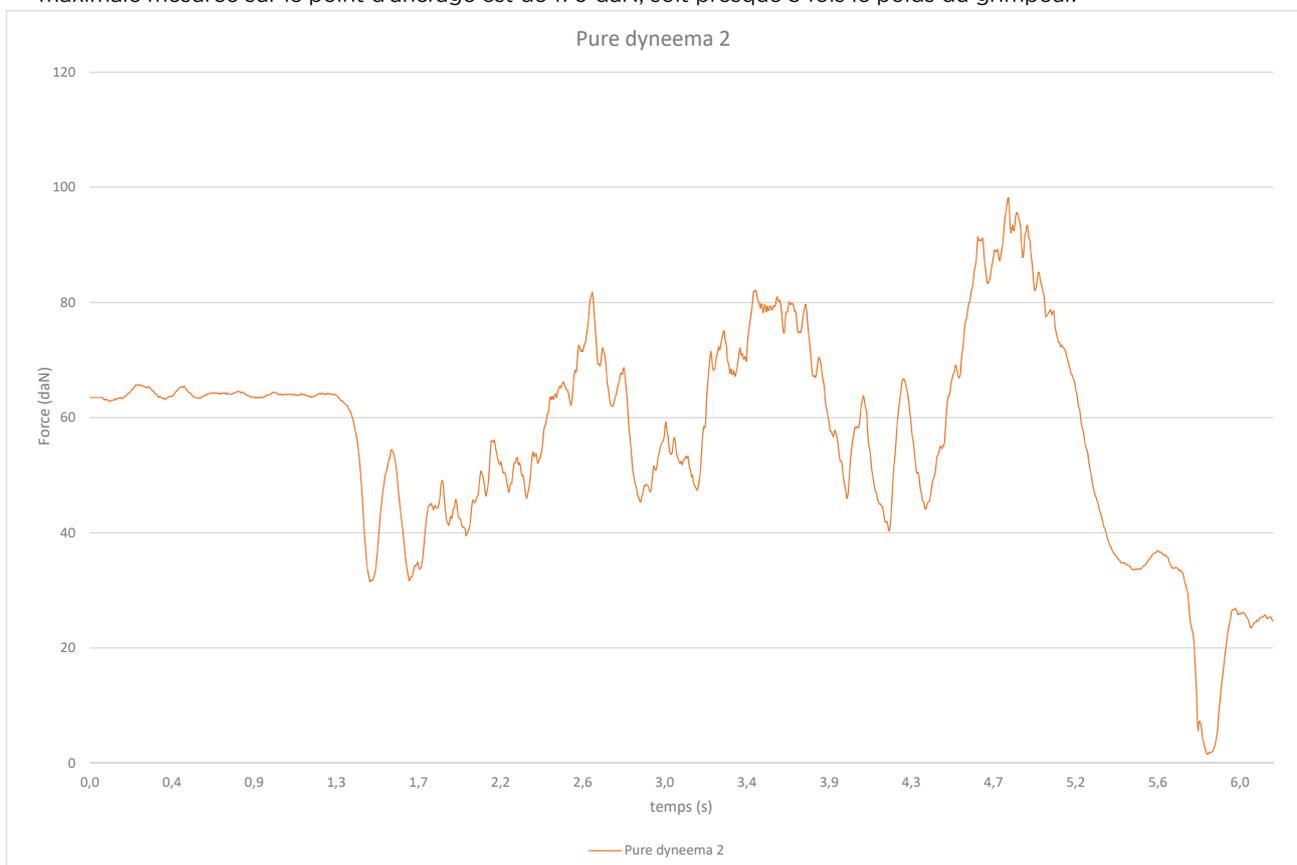


Figure 9 : force sur le point d'ancrage lors d'un rappel d'un grimpeur de 62.5kg avec la cordelette pure dyneema et un demi cabestan. Le grimpeur a de grandes difficultés à freiner correctement en raison de la finesse de la cordelette et de son manque de «grip». La force maximale enregistrée lors du rappel est de 98.2 daN.

MESURES DES EFFORTS GÉNÉRÉS EN RAPPEL CORDES À DOUBLE

Protocole

Des grimpeurs de masse comprises entre 64 et 84kg descendent en rappel en fil d'araignée sur 13 mètres avec une corde dynamique Béal Verdon.

Pour réaliser des arrêts brutaux, les grimpeurs lâcheront la corde pour être arrêtés par le nœud auto bloquant.

Un dynamomètres SCAIME est fixé sur le point d'ancrage.

La corde utilisée est une Verdon de Béal :

- construction 32 fuseaux,
- force-choc 530 daN,
- force-choc 530 daN,
- allongement statique 11%,
- allongement 1ère chute 34%,
- 15 chutes

Les grimpeurs utilisent soit un Reverso de Petzl, soit un Alr Force 3 de Béal.

Le descendeur est fixé sur une longe dynamique au dessus d'un nœud autobloquant d'autoassurance.

Les mesures sont effectuées avec un capteur SCAIME avec une fréquence d'acquisition de 500Hz.

Pour l'agressive testing les grimpeurs se pendront brutalement sur la corde et réaliseront des petits sauts suspendus.

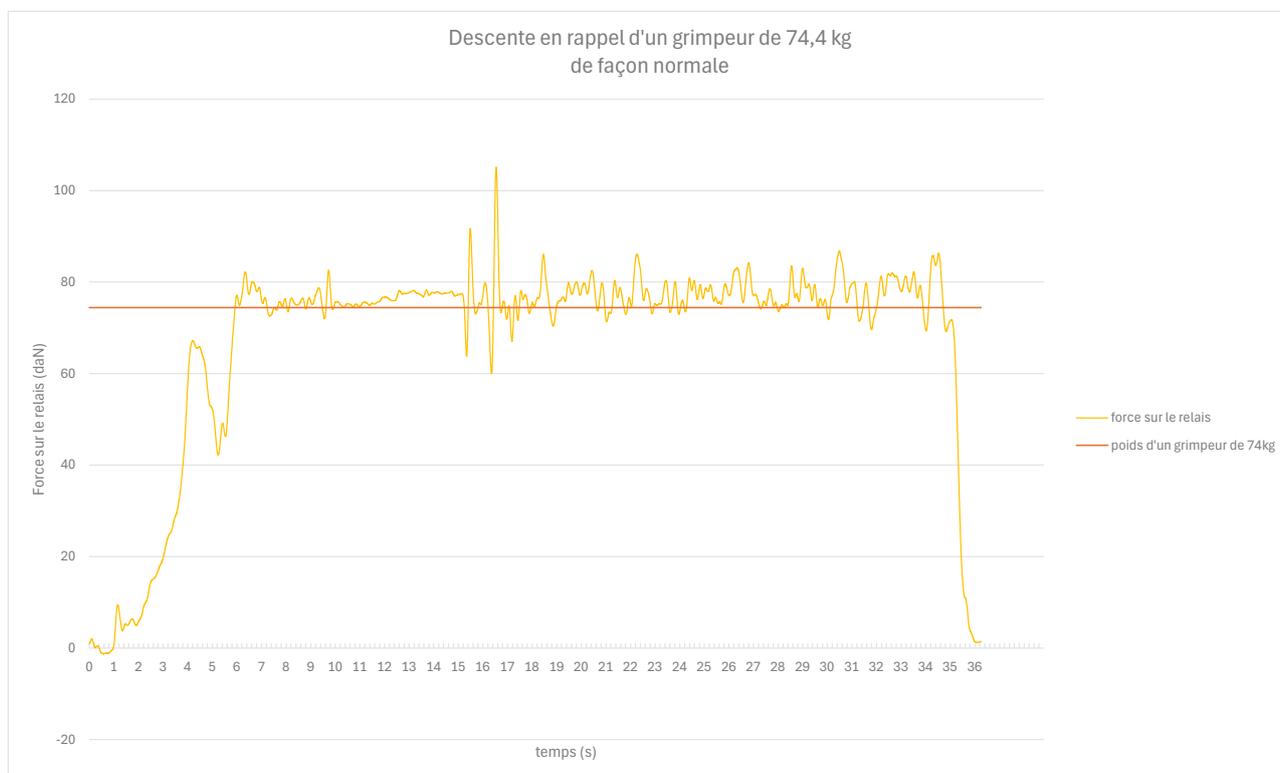


Figure 11 : De 0 à 6 s le grimpeur se met en charge sur le relais. De 6 à 15s il se stabilise. Il commence à descendre à 15s. Lors de la descente la force sur le relais oscille entre 60 et 105 daN.

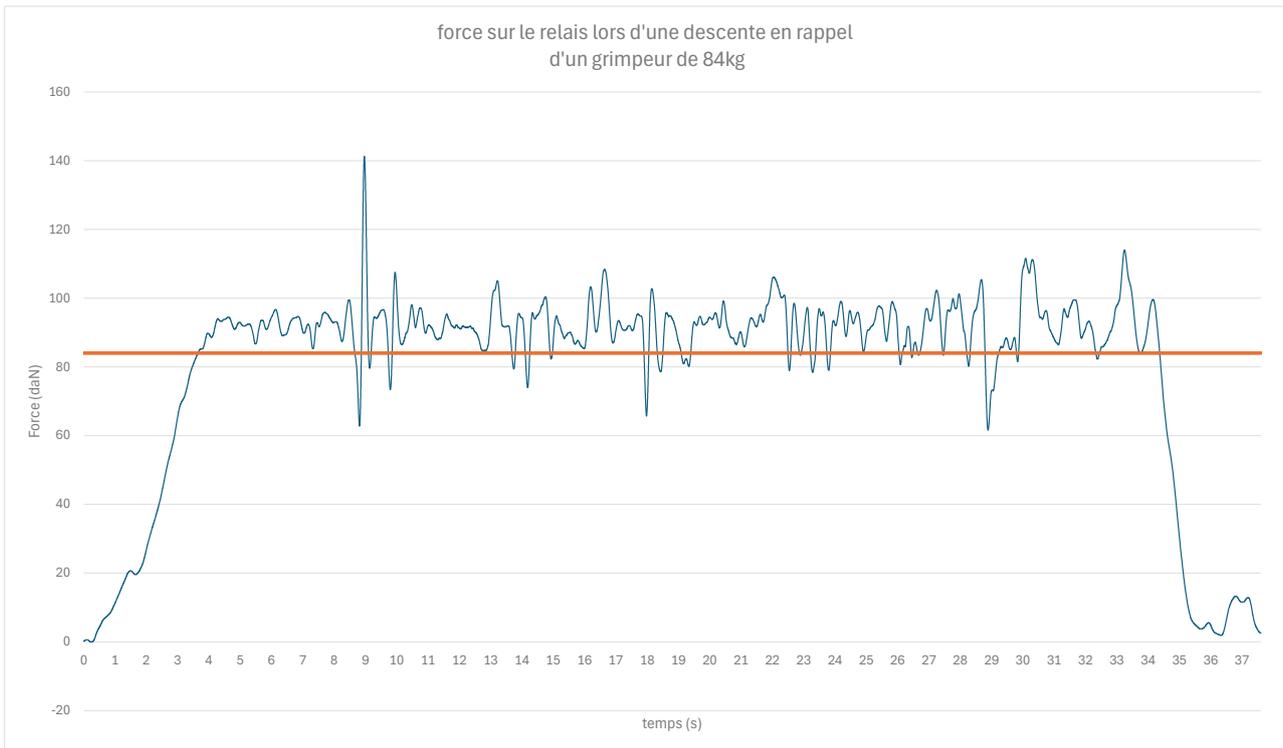
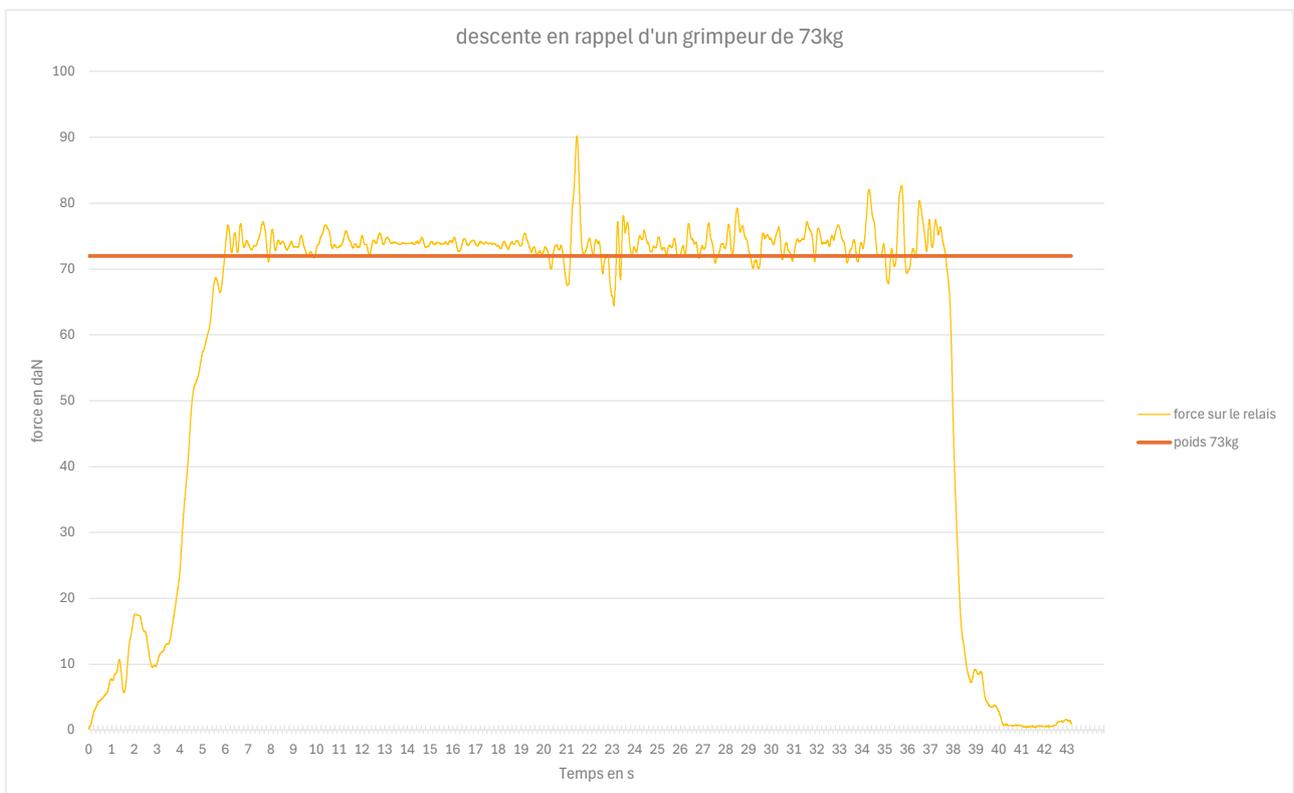


Figure 12 : Descente en rappel de façon normale d'un grimpeur de 84kg. Le grimpeur se stabilise et commence à descendre à 9s assez rapidement il génère un pic de 140 daN. Il descend ensuite de façon plus régulière avec une force variant entre 60 et 110daN.



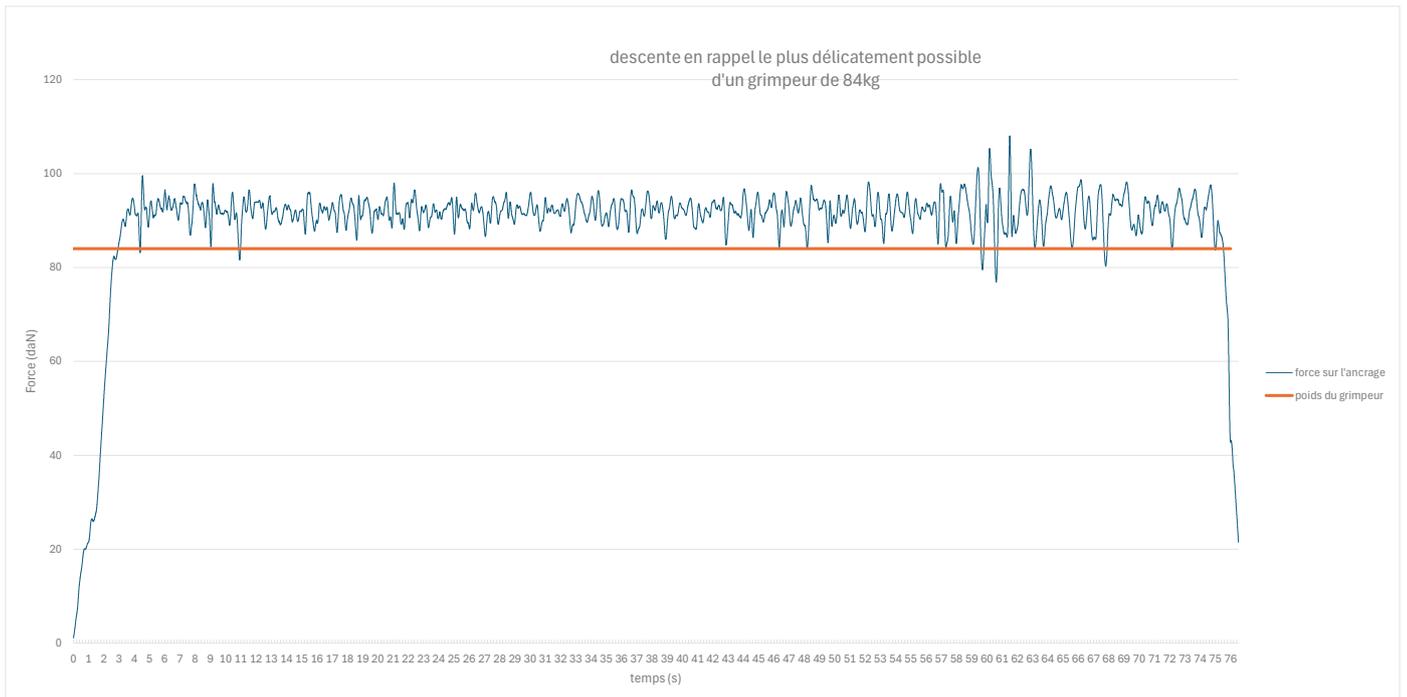


Figure 13 : descente en rappel le plus délicatement possible d'un grimpeur de 84kg (83daN). La moyenne lors de la descente est de 92 daN avec des valeurs évoluant entre 77 et 108 daN et un écart-type de 3 daN.

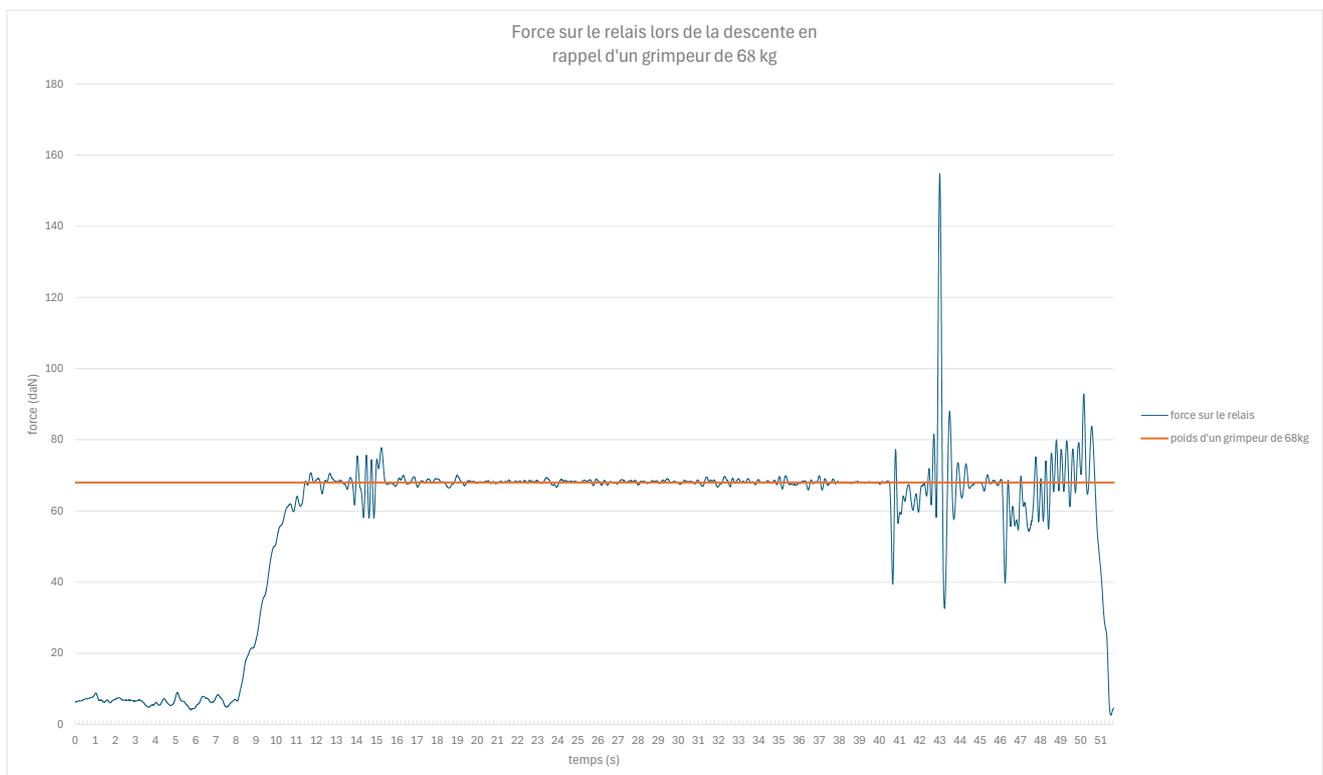


Figure 14 : descente en rappel d'un grimpeur de 68kg (69daN). De 8 à 15 s mise en tension sur le rappel, de 15 à 39 : stabilisation; descente de 39 à 51s. On notera la baisse de la force sur le relais jusqu'à 40 daN lors du début de la descente à 40.5s ainsi qu'un arrêt assez violent (155daN) à 43s.

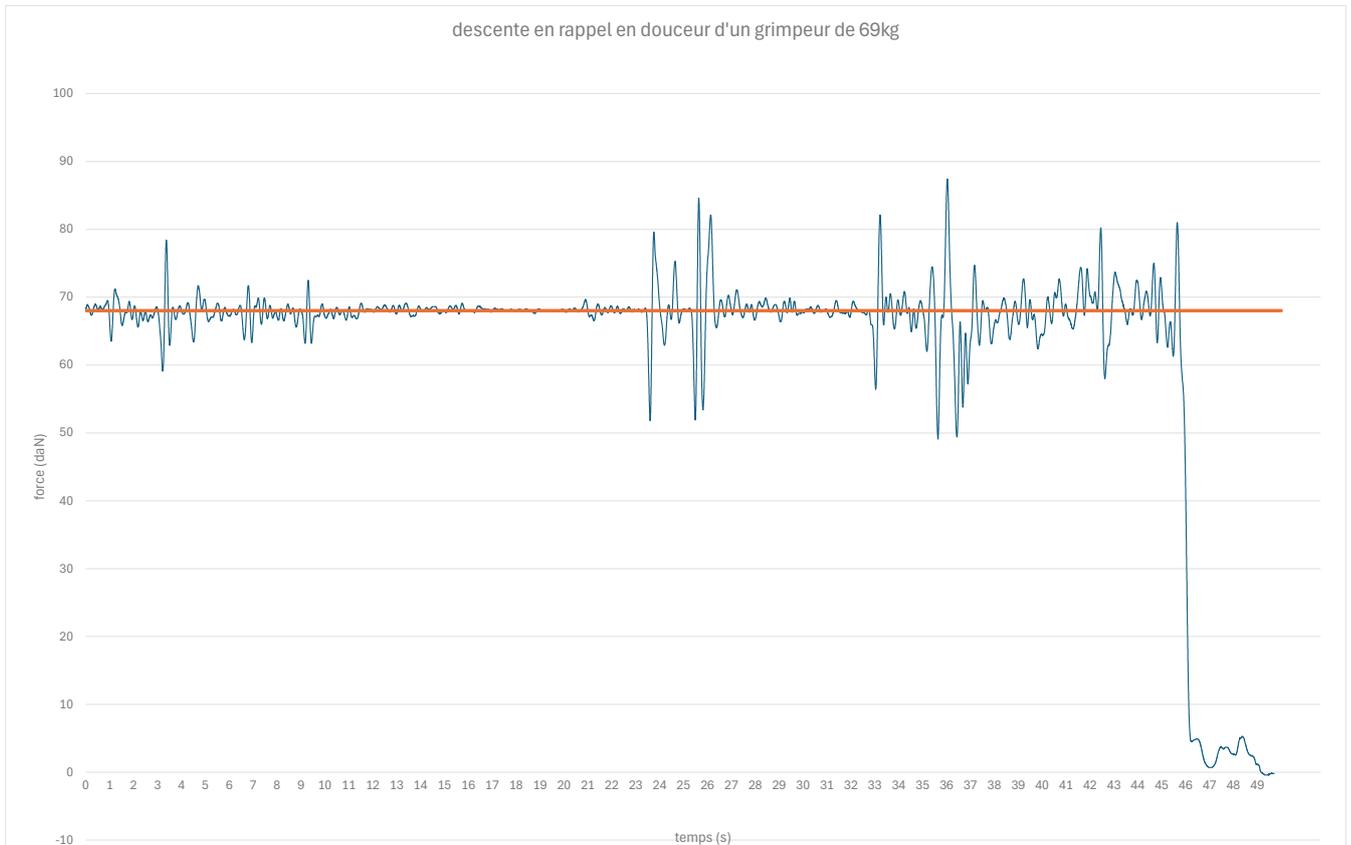


Figure 15 : De 24 à 46 secondes le grimpeur de 69 kg (68 daN) descend le plus délicatement possible. Lors de la descente, entre 25 et 46s la force sur le relais varie entre 50 et 87 daN, avec une valeur moyenne de 68daN et un écart type de 4 daN.

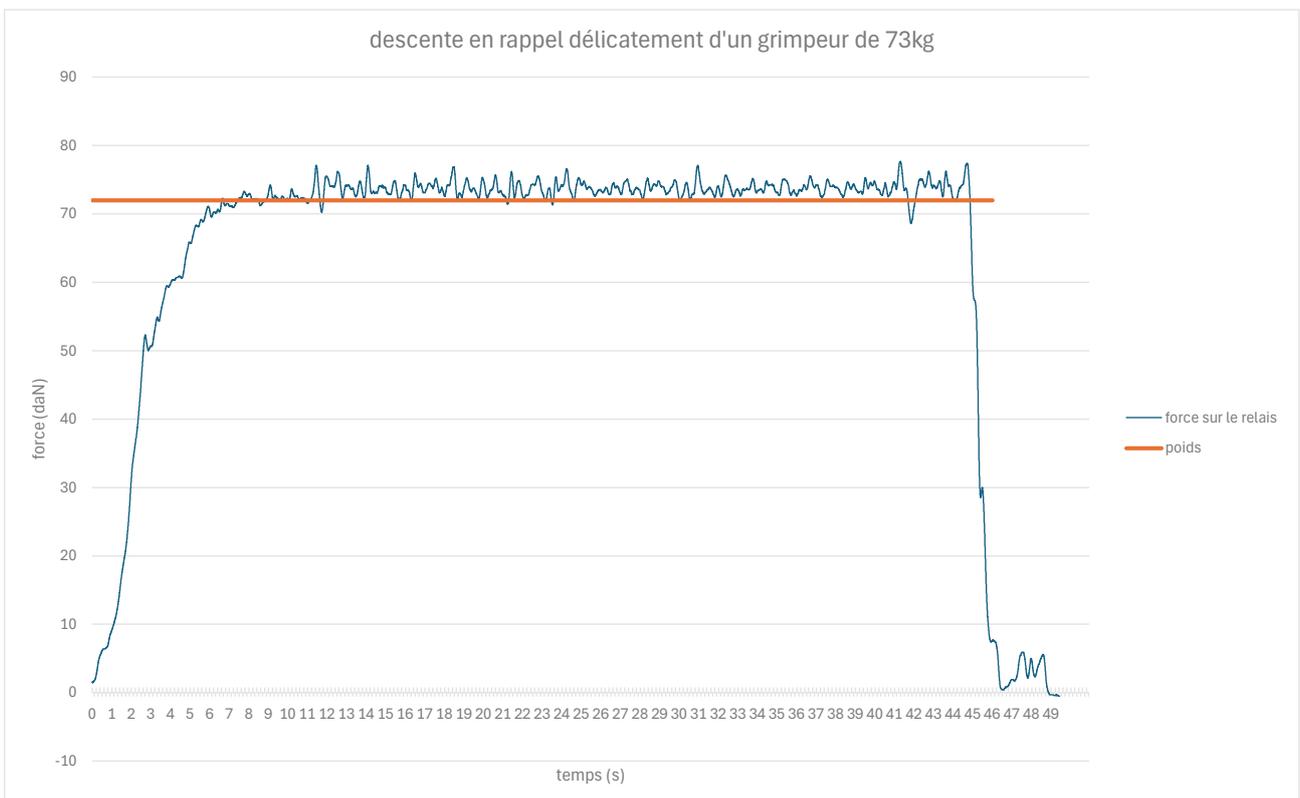


Figure 16 : De 7 à 45 secondes le grimpeur de 73 kg (72 daN) descend le plus délicatement possible. Lors de la descente, entre 11 et 44s, la force sur le relais varie entre 68.6 et 77.7 daN, avec une valeur moyenne de 73.75daN et un écart type de 1.1 daN.

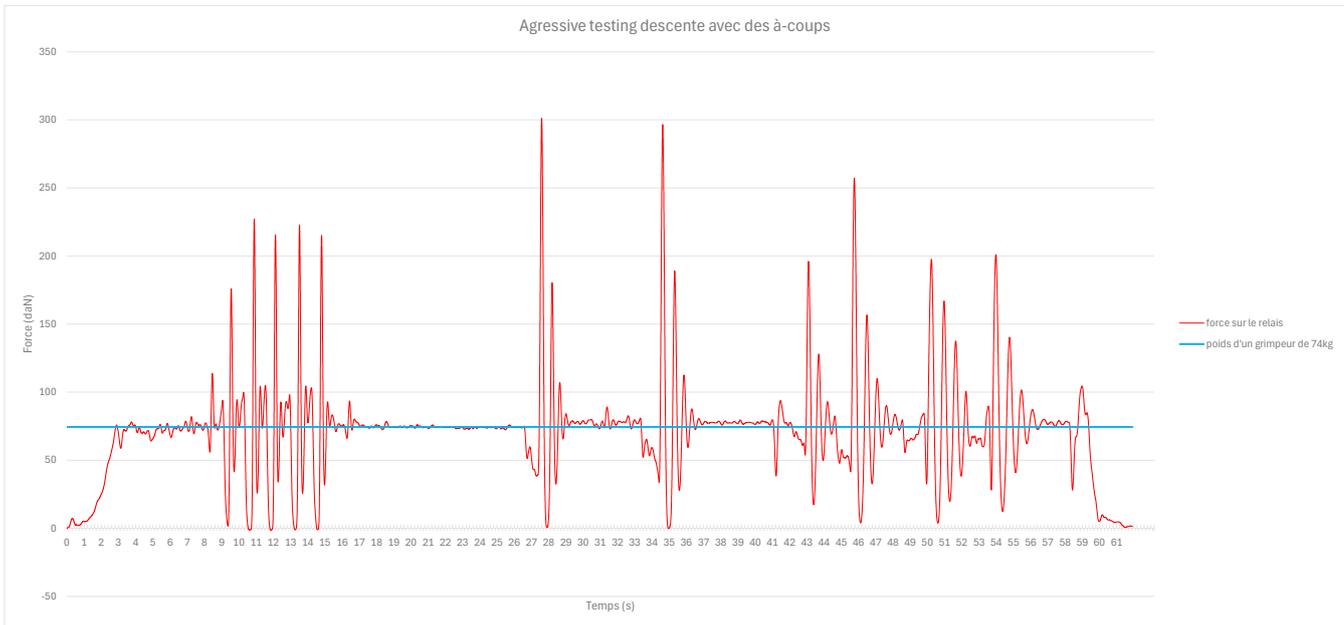


Figure 18 : De 9 à 16 secondes le grimpeur fait un «agressive testing». Un grimpeur de 74kg génère une force de 225daN lors de son aggressive testing. Cela correspond à plus de trois fois son poids. Lors d'arrêts brutaux pendant la descente en rappel, il génère 300 daN soit quatre fois son poids.

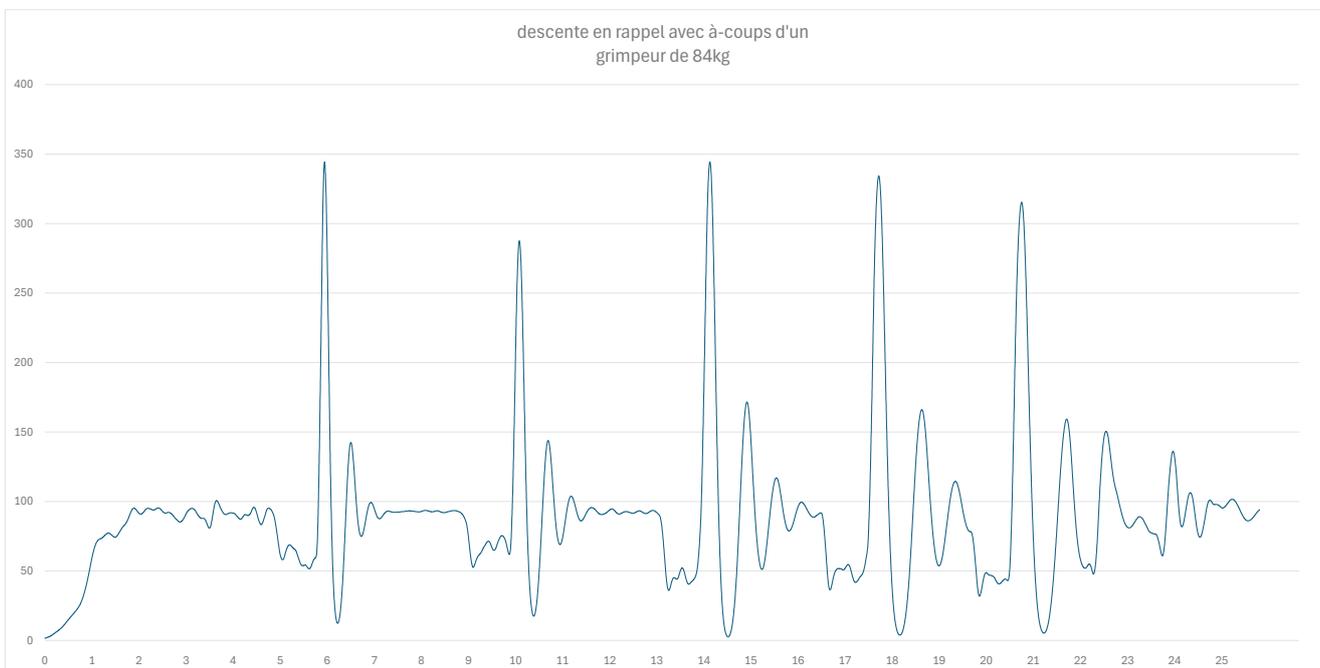


Figure 17 : descente en rappel avec 5 arrêts brutaux d'un grimpeur de 84kg. Les arrêts génèrent une force de 340 daN. Cela correspond à quatre fois son poids.

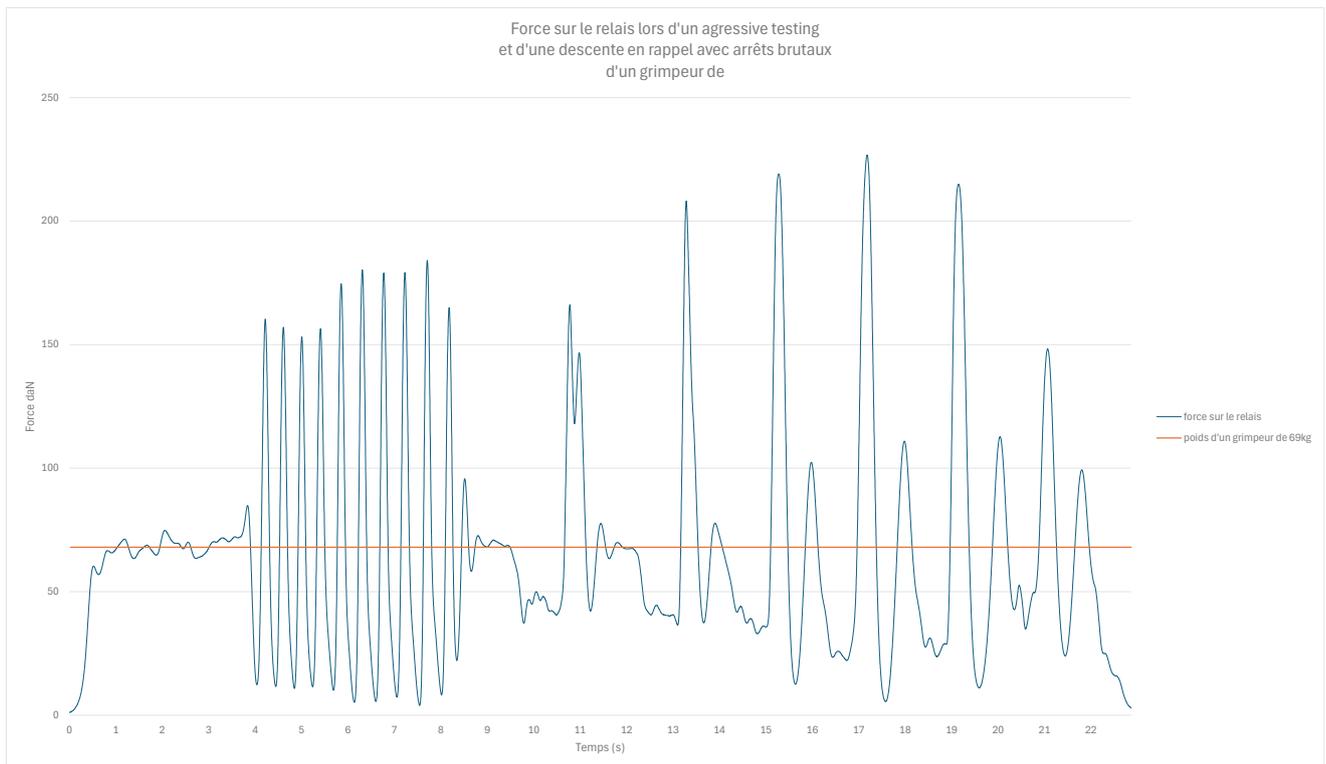


Figure 19 : De 4 à 9 secondes le grimpeur fait un «agressif testing». Un grimpeur de 69kg génère une force de 185 daN lors de son agressif testing. Cela correspond à 2.7 fois son poids. De 9s à 22 s il descend avec des arrêts brutaux, il génère lors des arrêts jusqu'à 230 daN soit 3.3 fois son poids.

Analyse

Nous constatons que les efforts sur le point d'ancrage varient très fortement en fonction de l'attitude du grimpeur générant des efforts allant de 1 à 4 fois son poids.

Lors d'une descente en douceur la force sur relais varie de 25% du poids du grimpeur.

Par contre, un freinage brutal, par exemple lors d'une descente rapide, le système d'autoassurage vient à se bloquer on obtient jusqu'à 4 fois le poids du grimpeur sur le relais.

La distance grimpeur relais est importante : plus le grimpeur est proche du relais plus la force générée par un arrêt brutal est importante. Ce qui s'explique plus il est loin du relais plus la longueur de corde dynamique disponible pour amortir est importante, en quelque sorte plus le facteur de chute diminue.

La méthode d'agressif testing génère des efforts allant jusqu'à 3 fois le poids du grimpeur. Pour un grimpeur de 84 kg cela va générer une force d'environ 250 daN, une force largement supérieure à celle générée lors d'une descente en rappel de façon normale (cf figure 12). La technique d'agressif testing est donc intéressante pour vérifier la solidité d'un relais.

Conclusion

Dans le cas d'une utilisation en simple, en descente rapide avec arrêt brutal par augmentation du freinage par le grimpeur, les forces générées sur le point d'ancrage du rappel ne sont pas plus fortes avec des cordelettes hyperstatiques que les cordes dynamiques. Cela s'explique par la difficulté de bloquer efficacement des cordelettes de faible diamètre.

Lors d'une descente en rappel sans donner d'à-coups, il n'y a pas de différence significative entre une corde dynamique et une cordelette hyperstatique.

Rappelons que les efforts sur une corde en simple sont deux fois plus élevés que sur une corde en double et que le risque de rupture sur une arête est 4 fois supérieur selon les travaux d'Edelrid [6] [7] [8]. Encore plus que pour un rappel classique, rappeler avec l'escaper exige une vigilance renforcée et éviter tout risque de cisaillement sur une arête.

Dans le cas d'une utilisation en rappel classique : corde à double, avec une corde dynamique, nous avons obtenu des efforts sur le point d'ancrage de 4 fois le poids du grimpeur.

Un grimpeur de 84kg a généré une force de 340 daN sur le relais. Si deux autres personnes de 80 kg sont vachées sur le relais, on arrive à plus de 500 daN générés sur le relais.

Ces valeurs peuvent dépasser la résistance de vieilles sangles de relais, comme nous l'avons mesuré dans une étude sur les sangles récupérées dans les relais de la descente de l'aiguille du Chardonnet et de la traversée Midi Plan [2].

Lorsque l'on descend en rappel sur des points douteux, ou sur un corps-mort en neige, il est indispensable de descendre à une vitesse constante en minimisant au mieux les à-coups et encore plus particulièrement lorsque l'on est proche du relais.

En descendant de façon régulière et délicate le grimpeur génère environ 1,3 fois son poids sur le relais.

L'agressive testing génère sur le point d'ancrage trois fois le poids du grimpeur. C'est une méthode intéressante et à utiliser dès que l'on a un doute sur un point d'ancrage.

Bibliographie

- [1] Cordelettes et résistance des nœuds - Publications de l'ENSA - P. Batoux- 2019
- [2] Vieillessement des sangles et cordelettes - Publications de l'ENSA - P. Batoux - à paraître
- [3] Cut resistance of climbing ropes – A comparative analysis of existing measurement methods and a simulated accident, Daniel Sedlá ek, Adriana Stöhr - Elsevier -2024
- [4] UIAA 101_V9 Dynamic Ropes, International Climbing and Mountaineering Association, Bern, 2019. https://theuiaa.org/documents/safety-standards/101_UIAA_Ropes_V9_2019.pdf (accessed October 8, 2023).
- [5] D. Sedlá ek, SEM images: cut resistance of climbing ropes, (2023). <https://doi.org/10.17632/hn2cy35wxh.1>.
- [6] Cut Resistance of Ropes: Part 2 | EDELRID Knowledge Base - https://www.youtube.com/watch?v=IL2r_f2g4Sw
- [7] Cut Resistance of Ropes: Part 1 | EDELRID Knowledge Base - https://www.youtube.com/watch?v=WGjvW8_wLuE

Table des matières

Nos interrogations :	3
l'étude	4
les faits	6
Questionnement	6
Protocole	6
Tests de résistance statique	6
descentes sur cordes en simple	8
Conclusion	8
Mesures des efforts générés en rappel cordes à double	10