



# Noeuds de jonction

auteur Philippe Batoux laboratoire d'essais des matériels de montagne

Michel Fauquet - professeur ENSA  
Frédéric Gentet - professeur ENSA



ÉCOLE  
NATIONALE  
DE LA MONTAGNE

## Résumé

Nous avons testé les nœuds existants pour fermer un anneau de cordelette et comparé leurs résistances en fonction de la matière de la cordelette. Nous avons effectué des tests en statique et en dynamique avec différents facteurs de chute.

Lorsqu'ils arrivent près de leur résistance limite tous les nœuds glissent ou se retournent. Il est essentiel de laisser les brins sortants de plusieurs dizaines de cm. Les nœuds sont aussi très sensibles au serrage, pour obtenir sa résistance optimale chaque doit être serré énergiquement chaque brin contre les autres.

Le nœud le plus résistant quelle que soit la matière de la cordelette est le pêcheur triple. Hélas il n'est pas réalisable d'une seule main, pour fermer un anneau de cordelette au cours d'une longueur d'escalade le nœud simple double est le nœud qui présente des meilleurs qualités.

**Mots clés : nœuds de jonction, dyneema, aramide, kevlar.**

## Introduction

Nous nous intéressons dans cette étude aux nœuds de jonction. Ces nœuds ont deux principales utilisations bien différentes qui exigent des propriétés différentes. La première consiste à fermer un anneau pour laisser en place lors d'un rappel par exemple, ou encore pour fermer un anneau de cordelette autour d'une lunule et créer un point de protection. La seconde consiste à relier deux brins de corde pour descendre en rappel.

L'utilisation de cordelettes aramides et dyneema s'est largement répandue ces dernières années. Ces cordelettes ont un excellent rapport poids résistance et font gagner du poids aux alpinistes.

Ces cordelettes ont une résistance exceptionnelle à la traction, supérieure à l'acier mais certaines de leurs propriétés sont très différentes. Le kevlar ne résiste pas à la fatigue ; un cycle de 1000 pliures va le détruire, alors que le dyneema n'est pas sensible à ce type de contraintes.

D'un autre côté le dyneema a un coefficient de glissement extrêmement faible et certains nœuds vont glisser à de très faibles valeurs.

En escalade nous sommes amenés régulièrement à passer des cordelette dans des lunules. Certaines voies comme à la Marmolada dans les Dolomites ne peuvent pas s'envisager sans ces protections.

Nous avons donc mené une étude sur les différents nœuds existants pour fermer un anneau dans une lunule en grimant, avec les différentes cordelettes utilisées.

Ces nœuds sont réalisés au cours de l'escalade ils doivent être réalisables d'une seule main en équilibre

précaire. Le nœud le plus résistant pour fermer un anneau est le nœud de pêcheur triple mais ce dernier est difficilement réalisable au cours d'une longueur.

Pour essayer de comprendre les différents accidents survenus avec les nœuds de jonction, nous nous intéressons en deuxième partie au nœud simple et au nœud de huit en bout lorsqu'il sont mal serrés ou mal réalisés.

Ces nœuds sont controversés en Amérique du nord où ils seraient la source d'accidents mortels. Le nœud simple est appelé European Death Knot (EDK) aux USA et Canada.

At least four accidents (in Zion in 2002; Grand Teton National Park in 1997; Big Cottonwood Canyon in 1995; and Seneca Rock in 1994) with three fatalities have been attributed to EDK failure. Three of these accidents involved the figure-8 version of the EDK; one involved a flat overhand. If indeed this recent accident was caused by an EDK untying itself, it may be a rare instance where the climber survived to tell the tale. The issue warrants more research into the reliability of the EDK. source Climbing

Nous allons essayer de comprendre pourquoi ces nœuds sont décriés.

## La norme EN-566, UIAA-104 (extrait)

Nous recherchons le meilleur nœud pour fermer un anneau de cordelette ?

Les anneaux de corde sont des EPI et ils doivent vérifier la norme EN-566 UIAA-104, qui impose une résistance de 22kN.

La norme exige un test en statique or nous pensons que les nœuds peuvent réagir différemment avec une mise en charge rapide comme lors d'une chute. Nous réaliserons donc les tests en statique et en dynamique.

EN-566	SLINGS	UIAA-104
<p>Note: This representation of EN 566 and UIAA 104 does not contain the full details of the test methods and requirements in these standards; it gives only a simplified pictorial presentation. For full details, EN 566:2006 and UIAA 104:2008 should be consulted. © UIAA, Pit Schubert, Neville McMillan, 2009</p>		
<p>Any kind of sling, and any form of sling closure, and any permanent means of connecting the tape ends, are allowable.</p> <p>The sling shall be labelled with the tensile strength and the year of manufacture.</p> <p>Stripes on the tape have no meaning concerning the strength</p>		
<p><b>Additional UIAA requirement</b></p> <p>If slings are made from tape by stitching the tape, at least 50% of the visible area of the stitching shall contrast with the tape in colour.</p>		<p>If slings are made by stitching textiles, the visible area of stitching shall contrast with the tape in colour or surface appearance.</p> <p>Designed by Georg Sojer</p>

## Les matériaux :

Les **aramide** ou **polyamide aromatique** sont des fibres légères, ayant d'excellentes propriétés mécaniques en traction (meilleures que l'acier) et une bonne résistance à l'abrasion, à la chaleur, un mauvais comportement en compression, grande difficulté à couper. Ces fibres sont sensibles aux rayons ultraviolets.

Parmi les fibres aramide, la plus utilisée en escalade est le **kevlar** : poly-para-phénylène téréphtalamide (PPD-T). Le principal défaut du kevlar est sa fragilité à la pliure répétitive. Une cordelette kevlar pliée 1000 fois est à mettre au rebut. (étude menée par Jean Franck Charlet en 1989).

**dyneema** : le polyéthylène de masse molaire très élevée est un matériau très résistant. Il absorbe extrêmement faiblement l'humidité et a un très faible coefficient de frottement (beaucoup plus faible que celui du nylon). Il est très résistant à l'abrasion.

Les cordes dynamiques sont en polyamide aliphatique ou Nylon.

## les cordelettes



## Cordelettes utilisées pour cette étude :

- Béal dyneema 5.5 mm (âme dyneema, gaine polyamide - 20g/m - résistance statique 18kN)
- Kevlar Funis 6 mm
- Rap Line Edelrid 6 mm (Âme 100% aramide, gaine en polyamide - 25g/m)
- Skylotec Aramid cord 5.5 mm (âme aramide gaine en polyamide - 26g/m - résistance statique 18kN)
- Béal Back Up Line - 5 mm (âme Aramide, gaine Polyamide- 21g/m - résistance statique 12kN) Elongation : 0,5% (50-150kg) -Norme CE 564 - UIAA -
- Petzl RAD Line 6 mm - 22 g/m - polypropylène, Dyneema®, aramide - Certification(s): CE EN 564- Allongement statique: inférieur à 2 %



Figure 1: âme de la cordelette RAD

## les nœuds réalisables en progression

- le nœud simple
- le nœud en huit
- le nœud roumain
- le nœud simple double
- le nœud d'arrêt double



Figure 2: le nœud simple, appelé European Death Knot (EDK)



Figure 3: le nœud en huit



Figure 4: le nœud simple double



Figure 5: le nœud roumain double



Figure 8: le nœud de pêcheur simple



Figure 7: le nœud de sangle



Figure 6: le nœud de pêcheur triple



Figure 9: le nœud d'arrêt double (double EDK)

## les nœuds «classiques»

- le nœud de sangle
- le nœud de pêcheur triple
- le nœud de pêcheur

# Essais en statique

## Protocole

Nous mesurons à l'aide d'un dynamomètre et d'un vérin hydraulique les résistances des anneaux de cordelette avec les différents nœuds. Pour des raisons de commodité, nous testons un anneau fermé par la cordelette et nous parlerons dans cet article de la

résistance de l'anneau, la résistance du nœud est la moitié de celle de l'anneau. Tous les nœuds ont été serrés énergiquement en laissant un brin sortant de plus de 15 cm.

## Statique

cordelette	Béal dyneema 5,5	Béal back up line	funis Kevlar	skylotec Aramide 5,5mm	rapline Edelrid	RAD line Petzl	moyenne	variance
nœud simple	glisse à 100 puis roule max 1095	roule et glisse de 400 à 900	glissement à partir de 200 à 900	roule de 900 à 1446 puis varie entre 500 et 1100	rupture gaine au niveau du mousqueton 868 puis rupture nœud 871	roule entre 400 et 600 daN	1010,25	354,74
nœud simple double	rupture 1685	rupture à 1096	rupture à 1240	rupture à 1505	rupture gaine au niveau du mousqueton 905 puis rupture nœud 941	rupture 1448 daN	1469,50	183,33
nœud roumain	rupture 1655	rupture à 1323	rupture à 1384	rupture à 1727	rupture gaine au niveau du mousqueton 868 puis glissement	rupture 1038 daN	1451,00	312,44
nœud de huit	retournement à 700 daN rupture gaine à 1498daN	rupture à 1459	roulement à partir de de 300 puis point dur au niveau des bouts à 1361	rupture à 1688	rupture gaine 877 au puis rupture nœud 880	roule entre 5 et 7 kN	1311,75	429,31
nœud d'arrêt double	rupture à 1684	rupture à 1209	rupture à 1267	rupture à 1375	rupture gaine au niveau du mousqueton 808 puis rupture nœud 1045	rupture 1730 daN	1514,00	227,95
nœud de pêcheur triple	1881	1368	1784	2092	rupture gaine au niveau du mousqueton 778 puis rupture nœud 986	rupture 1859 daN au niveau du mousqueton	1904	132,032824
	1588	1179,2	1322,67	1638,83	931,33			

## analyse

Aucun nœud ne répond au critère 22 kN de la norme sur les anneaux. Le meilleur résultat est obtenu avec le pêcheur triple (81% pour la dyneema, 95% pour l'aramide, 85% pour le kevlar, 45% pour la rapline)

Le nœud simple n'offre pas une résistance suffisante ; il est à proscrire pour fermer un anneau de cordelette. Le nœud simple double offre une résistance très satisfaisante avec le dyneema et l'aramide ; il offre une résistance assez satisfaisante avec le kevlar.

La rapline et la backup est une cordelette destinée à la descente en rappel. Elle ne doit pas être utilisée pour confectionner des anneaux de corde.

## Le serrage des nœuds

Des accidents ont été rapportés et particulièrement avec le nœud de huit en bout. Nous avons testé ces nœuds de jonction sans les serrer. Il s'avère que certains nœuds et plus particulièrement le nœud de huit se met à rouler entre 1 et 2,5 kN pour le premier retournement puis entre 4 et 6 kN pour les retournements suivants. Par conséquent cette très faible valeur du premier retournement peut être atteinte en rappel et si le brin sortant n'est pas assez long le nœud peut se défaire.

# Essais en dynamique

## Protocole

Nous avons fait chuter une masse rigide guidée de 80 kg avec différents facteur de chute : 0.5, 0.66 et 1.

L'assurage est réalisé par un grigri fixé sur le relais. L'objectif est de tester les différents nœuds de jonction en fonction de la matière composant les cordelettes avec une mise en charge rapide.

Pour des raisons de commodité, comme en statique, nous testons un anneau fermé par la cordelette et nous parlerons dans cet article de la résistance de l'anneau.

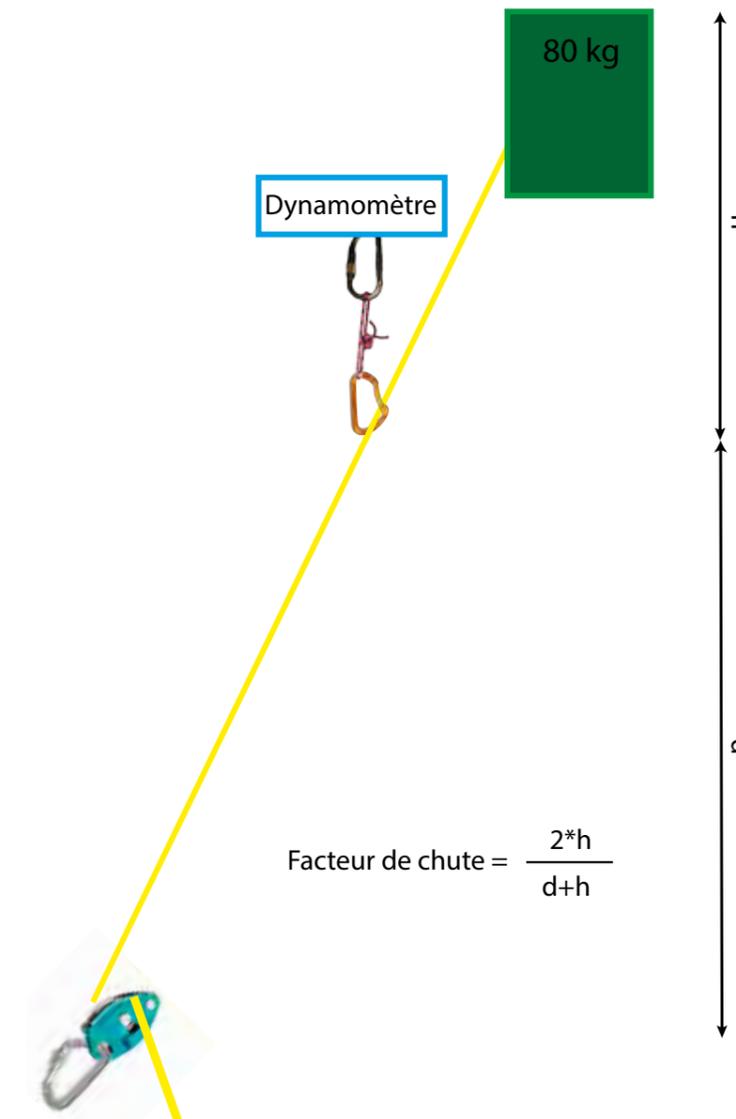


Figure 10: protocole de test avec le grigri fixé sur le mur.

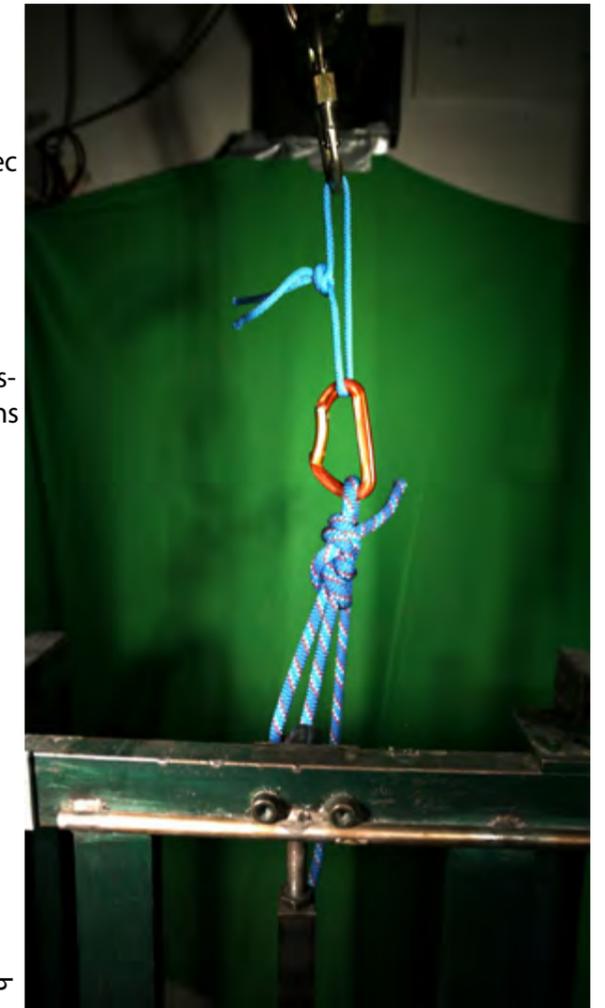


Figure 11: essai anneau en cordelette dyneema fermée avec un nœud simple.

## Paramètres des chutes

série 1 d= 4 m      h = 1.4m      Facteur de chute = 0.52  
 série 2 d= 4 m      h= 2m      Facteur de chute = 0.66  
 série 3 d= 1.6 m      h=1.6 m      Facteur de chute = 1

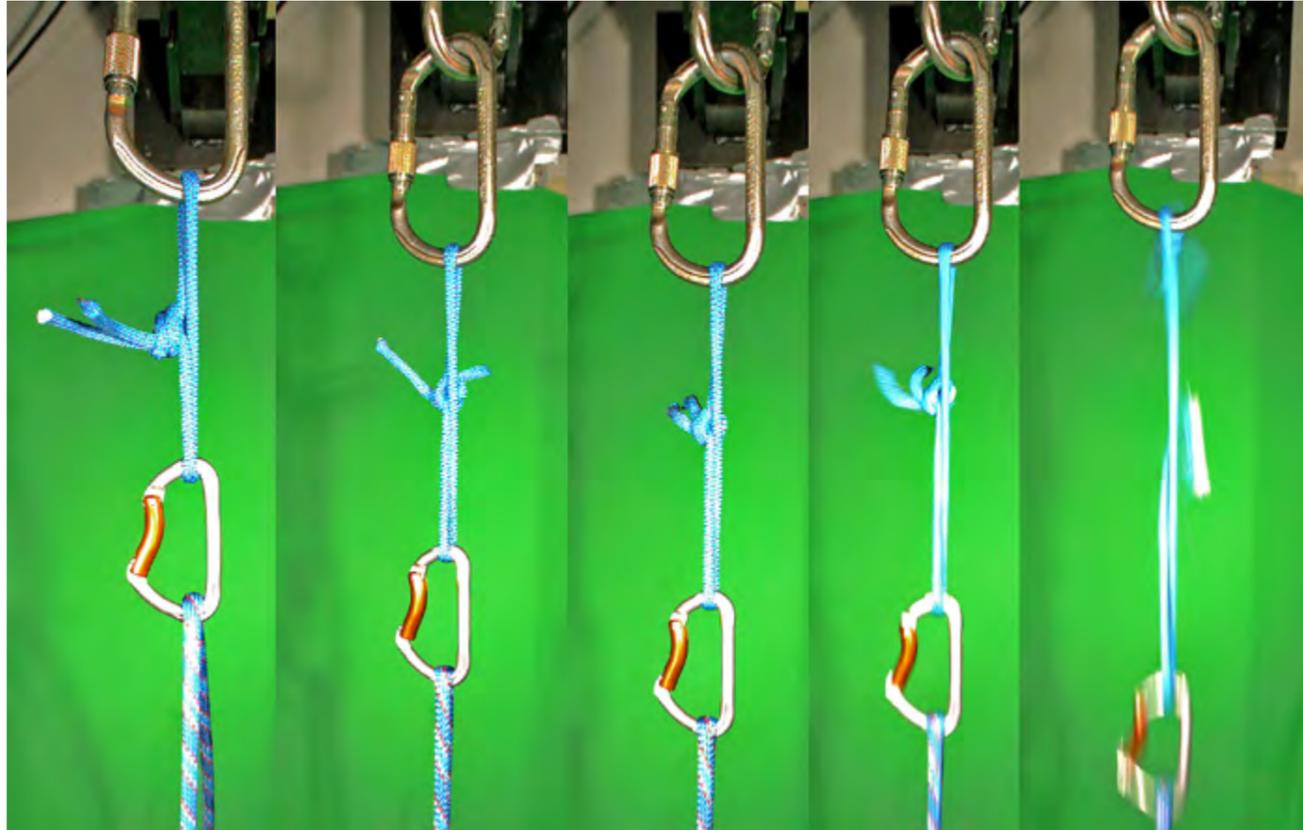


Figure 13: anneau en cordelette dyneema fermé par un nœud simple : en facteur 1 la cordelette glisse dans le nœud ; la force maximale enregistrée est de 10.5kN.

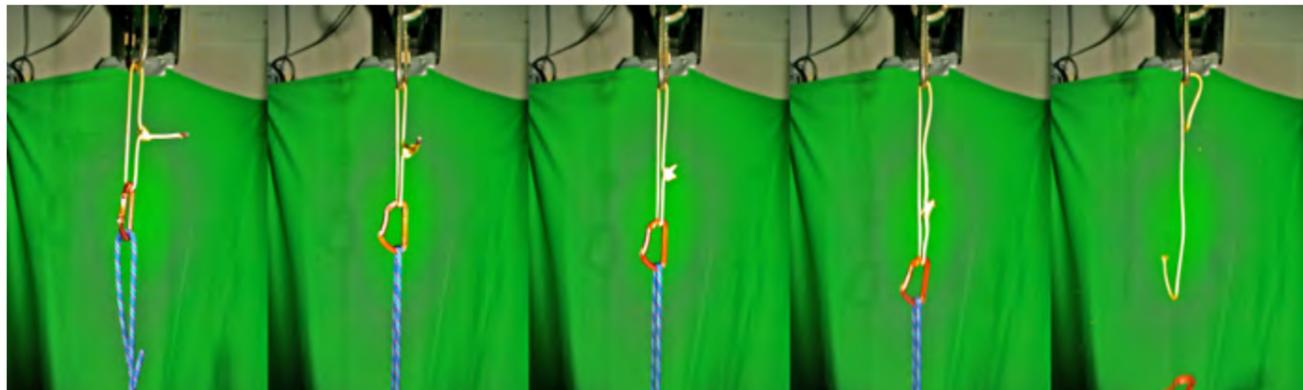


Figure 12: cordelette kevlar chute en facteur 0.66 force de choc : 7.38 kN

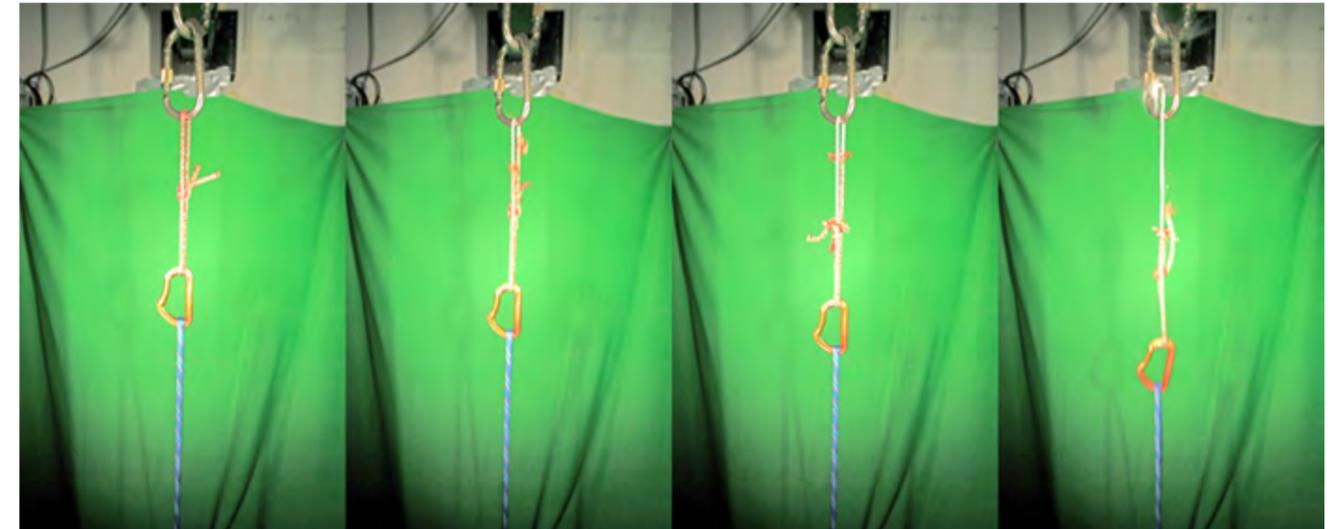


Figure 14: RapLine fermée par un nœud simple en facteur 1: la gaine se déchire au niveau du mousqueton puis l'âme se rompt au niveau du nœud.

## Dynamique

cordelette  
 nœud simple F 0,5 kN  
 nœud simple F 0,66 kN  
 nœud simple F 1 kN  
 nœud simple double F1 kN  
 nœud simple double F1,1 kN  
 nœud roumain F1  
 nœud de huit F1  
 nœud d'arrêt double F1

	Béal dyneema 5,5	Back up Béal	funis Kevlar 5mm	skylotec Aramide 5,5mm	Rapline edelrid
nœud simple F 0,5 kN	6,7		8,06	8,12	7,54
nœud simple F 0,66 kN	8,34		7,38	9,6	8,06
nœud simple F 1 kN	10,18			10,18	9,46
nœud simple double F1 kN	8,18		10,26	11,3	7,56
nœud simple double F1,1 kN	11,9		13,26	12,36	
nœud roumain F1	11,32		12,58	11,02	7,18
nœud de huit F1	8,84		10,74	12,04	7,62
nœud d'arrêt double F1	10,98	11,96	11,24	12,82	7,86

## Résultats

En facteur 0.5 tous les nœuds ont fonctionné. Les forces sur le point de renvoi étaient d'environ 8 kN. Nous avons noté des glissements de 2 cm environ.  
 En facteur 0.66 le nœud simple a résisté avec les cordelettes aramide, dyneema et rapline. Le nœud a glissé avec la cordelette kevlar avec une force maximale de 7.38 kN.

En facteur 1, le nœud simple glisse avec toutes les cordelettes testées avec des valeurs de l'ordre de 10kN.

## conclusions

Pour les chutes en faible facteur, 0.5 et moins, tous les nœuds testés sont suffisants.  
 Pour les chutes avec un plus fort facteur le nœud simple glisse ; il faut le consolider : nœud roumain ou double nœud simple, ou nœud en huit.

Dès que les forces dépassent 5kN les nœuds glissent ou roulent ; il est essentiel de laisser le bout sortant de plus de 30 cm.

Ce roulement ou glissement du nœud limite la montée de la force de choc.

En facteur 1 le nœud roumain fonctionne avec les cordelettes aramide kevlar et dyneema.  
 En facteur 1 le double nœud simple fonctionne avec les cordelettes aramide kevlar et dyneema.  
 En facteur 1 le nœud de huit fonctionne avec les cordelettes aramide kevlar et dyneema.

## Assurance dynamique amorti

Nous avons étudié dans la première partie le cas où le système d'assurance était auto bloquant et fixé sur le relais. Nous nous intéressons dans cette partie au cas d'un assurance dynamique.

Nous simulons l'assurance dynamique en installant une masse soit de 20 kg, soit de 40 kg. Nous considérons qu'une main moyenne arrive à tenir 20 kg avec une corde d'attache et donc 40 kg avec deux mains.

Nous avons attaché la corde au relais par mousqueton à vis avec un demi cabestan, la corde étant attachée à une masse de 20 ou 40 kg ce qui simule la retenue moyenne d'une ou de deux mains.

Cette représentation ne reflète pas exactement la réalité puisque l'inertie de la masse au démarrage va générer une force bien supérieure à celle que pourrait soutenir une main.

Mais ce protocole se rapproche plus de la réalité de l'assurance dynamique sur point fixe.

Comme nous pouvons le constater figure 15, pour la même chute en facteur 1, la cordelette dyneema se rompt avec le grigri fixé sur le relais alors qu'elle résiste avec le système de freinage.

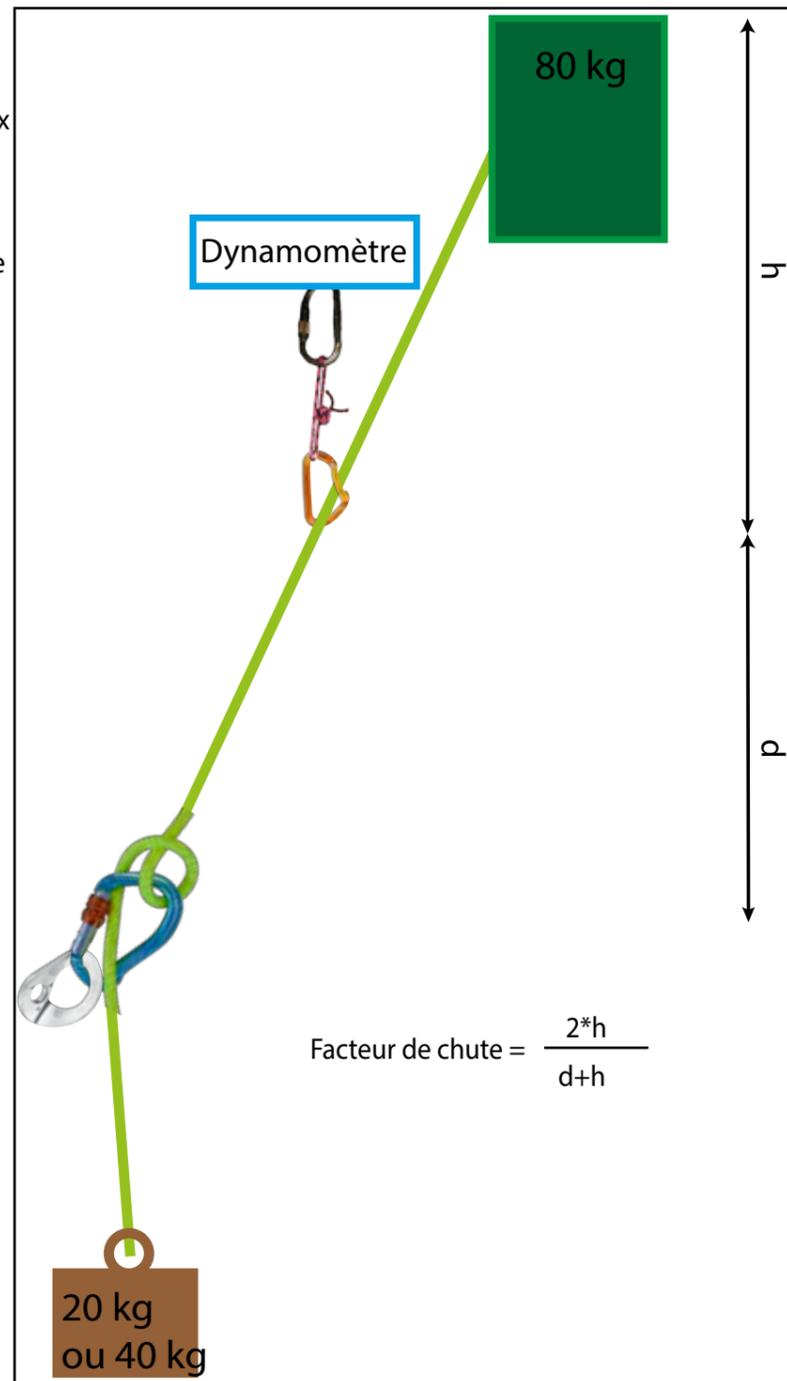


Figure 15: système d'assurance dynamique : simulant freinage une main (20kg) ; 2 mains (40kg).

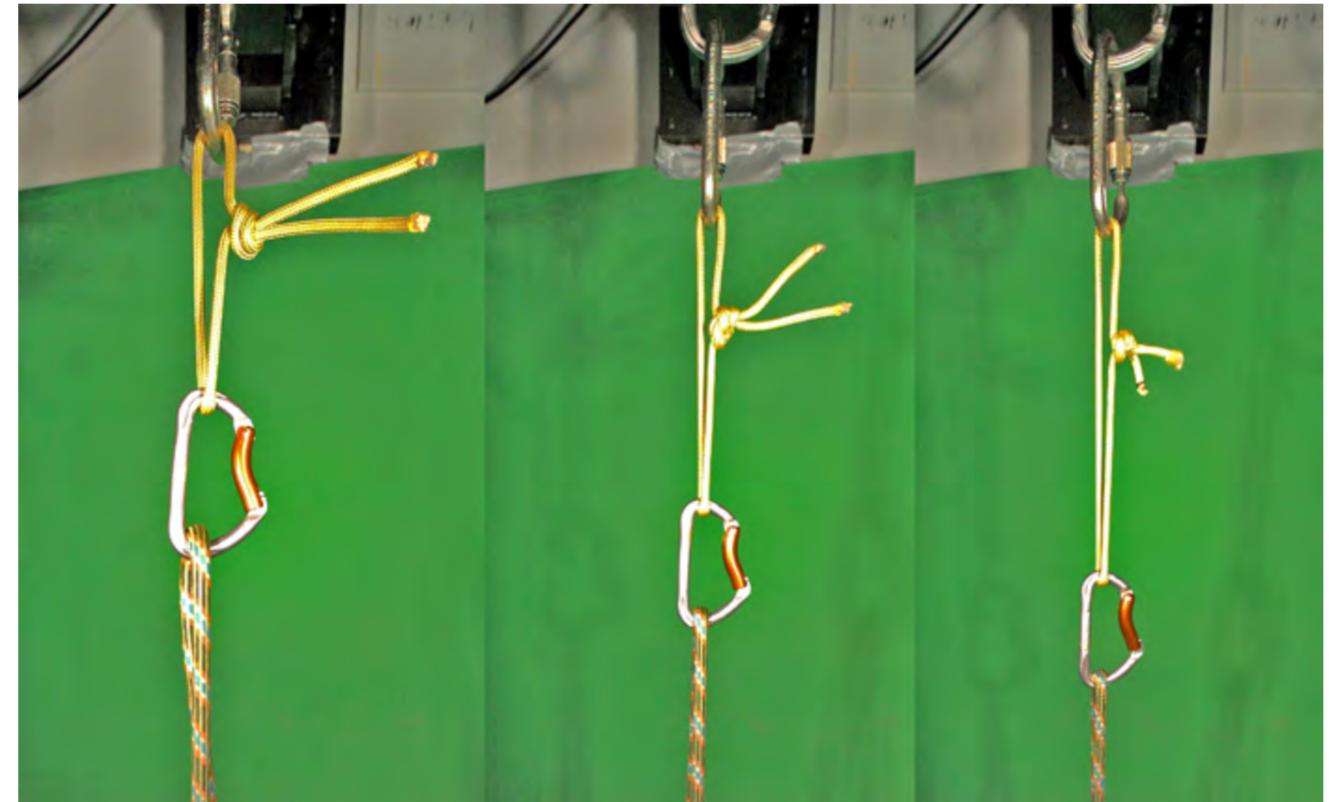


Figure 16: Glissement du nœud simple en facteur 0.66 avec la cordelette Kevlar

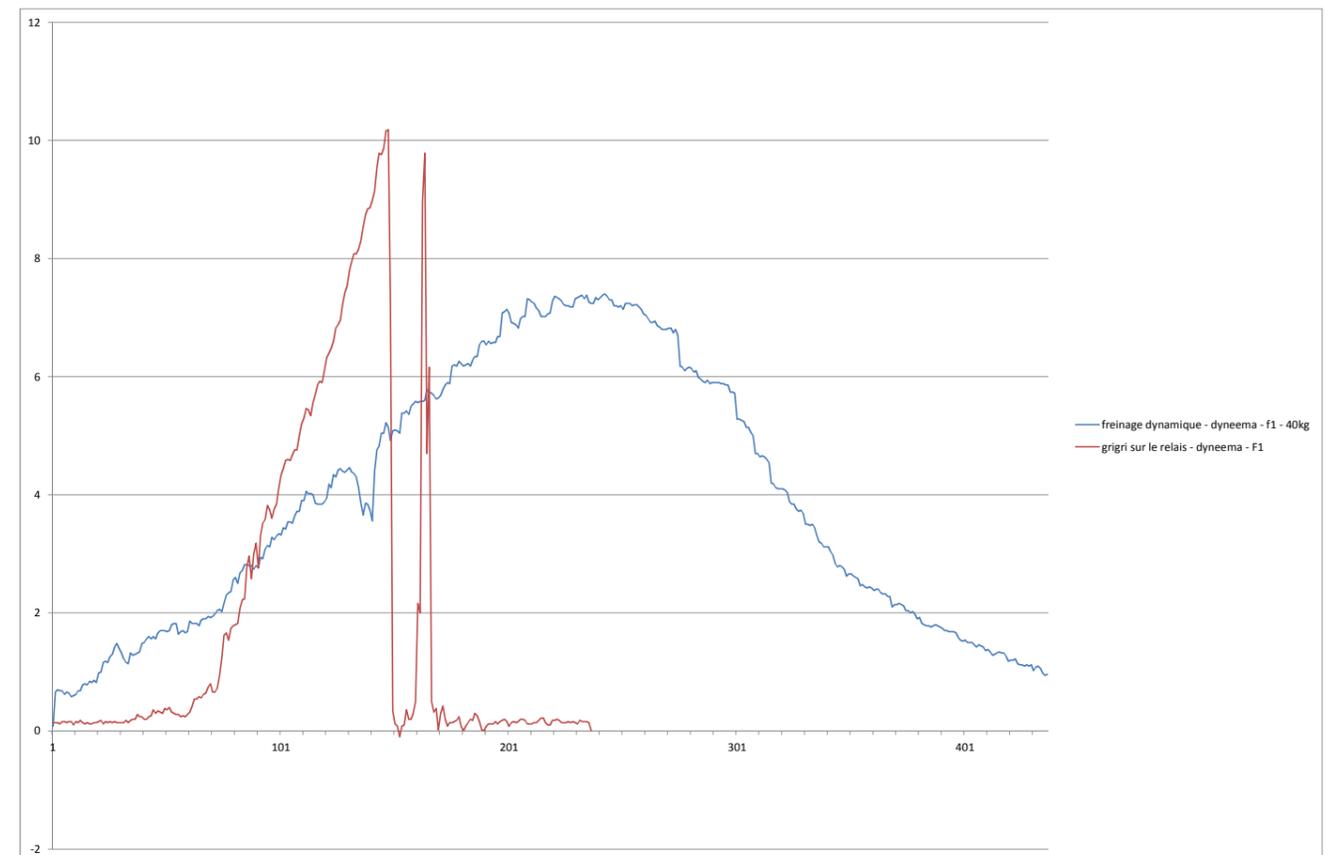


Figure 17: Comparaison entre un assurance dynamique au demi cabestan lesté de 20kg et l'assurance au grigri fixé sur une plaquette.

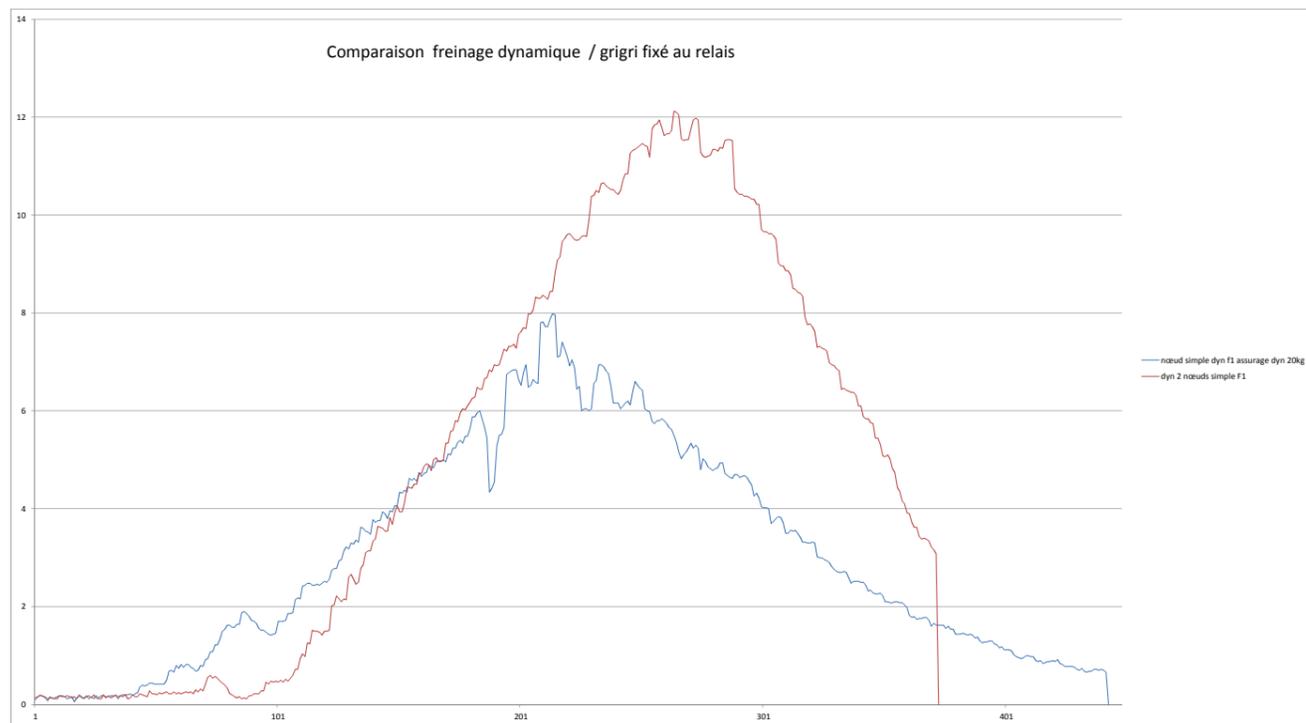


Figure 18: Comparaison entre un assurage dynamique au demi cabestan avec un freinage de 20kg et l'assurage au grigri fixé sur une plaquette.

## analyse

L'assurage dynamique va diminuer la force maximale générée sur le point d'ancrage mais augmenter la durée d'amortissement de la chute.

L'inertie de la masse ne génère qu'un léger pic au début de la chute (1.9kN) ; il semble que ce modèle d'assurage dynamique soit plus proche de la réalité que le modèle fixe.

## Nœuds mal confectionnés

Pour essayer de comprendre les accidents survenus avec des nœuds de jonction nous avons supposés que ces nœuds avaient été mal serrés et que le brin libre était très court.

At least four accidents (in Zion in 2002; Grand Teton National Park in 1997; Big Cottonwood Canyon in 1995; and Seneca Rock in 1994) with three fatalities have been attributed to EDK failure. Three of these accidents involved the figure-8 version of the EDK; one involved a flat overhand. If indeed this recent accident was caused by an EDK untying itself, it may be a rare instance where the climber survived to tell the tale. The issue warrants more research into the reliability of the EDK. source Climbing

## Conclusions :

Le nœud donnant les meilleurs résultats avec toutes les cordelettes est le pêcheur triple.

Pour fermer un anneau à demeure c'est le nœud qui doit être utilisé.

Avec les cordelettes en nylon le pêcheur double est suffisant.

Les résistances des nœuds varient en fonction de la matière de la cordelette ; certains nœuds sont plus résistants pour le dyneema, moins avec les aramides et vice versa.

Il en ressort qu'il n'existe pas de nœud universel pour l'utilisation en action.

S'ils sont correctement serrés et avec un brin libre sortant d'au moins 30 cm tous les nœuds testés conviennent pour descendre en rappel de manière classique.

Pour confectionner des anneaux en cours d'ascension pour lunule par exemple nous recommandons deux nœuds qui fonctionnent correctement dans toutes les situations : le nœud d'arrêt double et le nœud simple double.

### A retenir :

- les nœuds glissent ou roulent ; il est essentiel que les brins sortant du nœud fassent plus de 30 cm.
- chaque brin du nœud doit être serré énergiquement contre chaque brin opposé.
- les nœuds simple double et d'arrêt double fonctionnent le mieux avec les différentes cordelettes.

# Index

## A

aramide 4

## D

dyneema 4

## K

kevlar 4

## N

nœud d'arrêt double 5

nœud de pêcheur 5

nœud de pêcheur triple 5

nœud de sangle 5

nœud en huit 5

nœud roumain 5

nœud simple 2, 5

nœud simple double 5

## P

polyamide aromatique 4

# Bibliographie

Arnaud J. Les cahiers de l'EFS n°13 - la cordelette dyneema en spéléologie. Novembre 2005.

Charlet J.F. Kevlar et usure - publication de l'ENSA.

Batoux P. Utilisation de la corde en alpinisme. Publication de l'ENSA. 2018.

Brass P. Bien choisir son nœud pour rabouter 2 cordes. Montagnes Magazine. Novembre 2017.

<http://www.montagnes-magazine.com/pedago-bien-choisir-noeud-rabouter-2-cordes>

Siacci R. Esq., in-defense-of-the-european-death-knot, Climbing Magazine. Octobre 2016

<https://www.climbing.com/skills/in-defense-of-the-european-death-knot/>

Euro-death-knot flat figure 8 mysteriously fails. Rock and Ice issue 233 (April 2016).

<https://rockandice.com/climbing-accidents/euro-death-knot-flat-figure-8-mysteriously-fails/>

