



# Chutes en Crevasses et mouflages

**Laboratoire d'essai des matériels de montagne ENSA**

Thomas Anthérieu, master 2 EIAP. Université de Savoie  
Dorine Goetz, master 2 ergonomie du sport. Université de Savoie  
ENSA : Philippe Batoux, Christophe Jacquemoud.  
CNISAG : Emilien Allan, Simon Duverney.

juin 2025

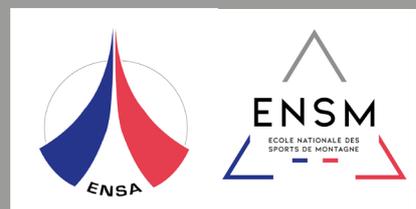




Figure 1: Mesure des efforts exercés sur le point d'ancrage lors d'un mouflage. Un dynamomètre est fixé sur le point d'ancrage.

## Résumé

Nous n'avons pas connaissance des efforts générés sur les ancrages lors d'un mouflage après une chute en crevasse. En collaboration avec le Centre National d'Instruction au Ski et à l'Alpinisme de la Gendarmerie nous avons mesuré les efforts lors d'une chute en crevasse et lors du mouflage pour remonter la victime dans différents cas : avec ou sans nœuds de freinage, avec une corde dynamique et une corde hyperstatique.

Les essais ont été réalisés au col du Géant à 3341 mètres dans une neige humide après une longue période avec un isotherme 0°C supérieur à 4000m.

Avec les conditions de neige rencontrées les nœuds de freinage facilitent grandement l'arrêt de la chute et la mise en place du mouflage. L'incidence des nœuds sur les efforts générés sur le point d'ancrage est faible par rapport au type de mouflage. Comme l'indiquent les calculs théorique, les efforts générés par un mariner double sont 3 fois plus importants qu'un mouflage simple, et 2 fois plus importants qu'un mouflage simple avec renvoi sur le point d'ancrage.

Les valeurs obtenues avec le mariner double et le mouflage simple avec renvoi de boucle sont supérieures aux valeurs de résistance de nombreux ancrages en neige.

**Mots clefs : alpinisme, chute en crevasse, cordes dynamiques, nœuds de freinage, corde hyperstatique.**

# Efforts exercés lors d'une chute en crevasse et sur des amarrages en neige

## I- Introduction

Lorsqu'ils progressent sur un glacier, les alpinistes s'encordent à une distance de 12 à 15 mètres les uns des autres. Pour ce faire, certains pratiquants utilisent des cordes dynamiques mais également des ultra-statiques, offrant une masse linéaire plus faible du fait de leur petit diamètre.

Pour faciliter l'arrêt d'une éventuelle chute, des nœuds peuvent être ajoutés sur la corde afin qu'ils se coincent dans la lèvres de la crevasse et contribuent à stopper la chute.

Une fois la chute arrêtée, l'alpiniste doit installer un amarrage à l'aide de son piolet, de broches à glace, de skis ou d'un autre équipement. Cet ancrage lui permettra de procéder aux manœuvres nécessaires pour extraire son compagnon de la crevasse.

Selon la qualité de la neige la solidité des ancrages varie d'une centaine de daN à quelques centaines. Si la glace est atteignable la résistance d'une broche à glace est d'un kN.

À ce jour, les forces exercées sur un alpiniste qui enraye la chute restent peu connues, tout comme celles s'exerçant sur l'amarrage, notamment en fonction du type de mouflage utilisé.

Cette étude a donc pour objectif de mesurer les forces exercées sur l'ancrage et sur l'alpiniste, en fonction du type de mouflage utilisé, du type de corde employé, ainsi que de la présence ou non de nœuds sur la corde.



Figure 2: Crevasse où les tests se sont déroulés.

## II- Protocole

Pour simuler des conditions aussi proches que possible de la réalité, un alpiniste stoppe la chute d'un mannequin de 80 kg dans une crevasse. Un capteur de force (ZA30X 5T SCAIME, Juvigny, France, 50 Hz) est installé entre son pontet et la corde qui le relie au mannequin afin de mesurer en continu les efforts exercés pendant la chute. Une fois la chute maîtrisée, le capteur est déplacé sur le système d'amarrage pour évaluer les forces générées lors de différents types de mouflages. (cf. figure 3).



Figure 3: Capteur de force placé sur le pontet (image de gauche) ; Capteur de force placé sur le mouflage (image de droite).

Pour répondre à ces questions, nous avons effectué des tests dans une crevasse à proximité du col du Géant 45.84644°N, 6.93512°E (cf. Figure 2) à 3341 mètres d'altitude.

Les conditions météorologiques, marquées par un isotherme 0 °C situé au-dessus de 4500 m d'altitude, ont entraîné une neige particulièrement molle et humide, favorisant l'enfoncement des nœuds dans la lèvre de la crevasse ainsi que l'enrayement de la chute.

Différentes conditions de chute sont réalisées : "avec nœuds" et "sans nœuds". Toutes les cordes présentées dans le tableau 1 ont été testées trois fois pour les deux conditions.

Nom	Marque	Type	Diamètre	Force de choc (kN)
Gym	Simond®	Dynamique à simple	10 mm	8,5 kN
Radline	Petzl®	Hyperstatique	6 mm	-

*Tableau 1 : Différentes cordes testées.*



Figure 4: Nœuds de freinage.

Dans les conditions "avec nœuds", ces derniers étaient espacés de 2 mètres. Pour chaque test, 14 mètres séparaient le mannequin et l'alpiniste.

Dans chaque scénario, l'alpiniste enraye la chute en appliquant systématiquement la même technique : dès le déclenchement, il avance vers la crevasse, puis se jette à plat ventre en plantant son piolet (cf. figure 5). Il est important de préciser que, par mesure de sécurité, il ne portait pas de crampons, afin de réduire les risques de blessure durant les essais. Cette absence de crampons entraînait une phase de glissade avant l'arrêt complet, ce qui a pu influencer les mesures de force en rendant l'arrêt plus progressif et donc plus dynamique.



Figure 5: Décomposition de l'arrêt de la chute.

	Gym Simond®		Radline Petzl®	
	Avec nœuds	Sans nœuds	Avec nœuds	Sans nœuds
Mouflage simple	X	X	X	
Mouflage simple + renvoi		X		X
Mariner double	X	X	X	

*Tableau 2 : Différents mouflages réalisés.*

### III- Résultats

	Gym (10mm)		Radline (6mm)	
	Force maximale moyenne sur 3 essais (daN)	Jerk* moyen	Force maximale moyenne sur 3 essais (daN)	Jerk* moyen
<b>Avec nœuds</b>	<b>50</b>	<b>26</b>	<b>39</b>	<b>20</b>
<b>Sans nœuds</b>	<b>68</b>	<b>24</b>	<b>48</b>	<b>23</b>

\*Variation d'accélération au cours du temps : permet d'apprécier le changement brusque dans un mouvement

**Tableau 3 :** Résultats obtenus lors des différentes conditions de chute.

	Gym (10mm)			Radline (6mm)			
	Force maximale obtenue lors du mouflage (daN)	Force moyenne obtenue sur l'intégralité du mouflage (daN)	% du temps de manipulation >150 daN	Force maximale obtenue lors du mouflage (daN)	Force moyenne obtenue sur l'intégralité du mouflage (daN)	% du temps de manipulation >150 daN	
Avec nœuds	95	51	0%	125,3	56,8	0%	Mouflage simple
Sans nœuds	94	33	0%	-	-	-	
Avec nœuds	-	-	-	-	-	-	Mouflage simple + renvoi
Sans nœuds	251,6	99,7	10,20%	288,45	102,05	35%	
Avec nœuds	201,2	105	3,60%	118,1	41,6	0%	Mariner double
Sans nœuds	199,3	117,5	13,80%	-	-	-	

**Tableau 4 :** Résultats obtenus lors des différentes conditions de mouflage.

Les forces maximales obtenues lors du mouflage, ont été générées lors de l'arrivée du mannequin dans la lèvre de neige.

### III- Discussion

Concernant l'arrêt de la chute, les mesures de force et de jerk ne révèlent pas de différences importantes entre les deux cordes que ce soit avec ou sans nœuds (cf. Tableau 3). Cependant, l'alpiniste qui a enrayé la chute perçoit une différence : la présence de nœuds permet de le soulager et d'avoir un minimum de mobilité le temps de mettre en place l'amarrage puis le mouflage (cf. Image 5) (cf. Figure 1).

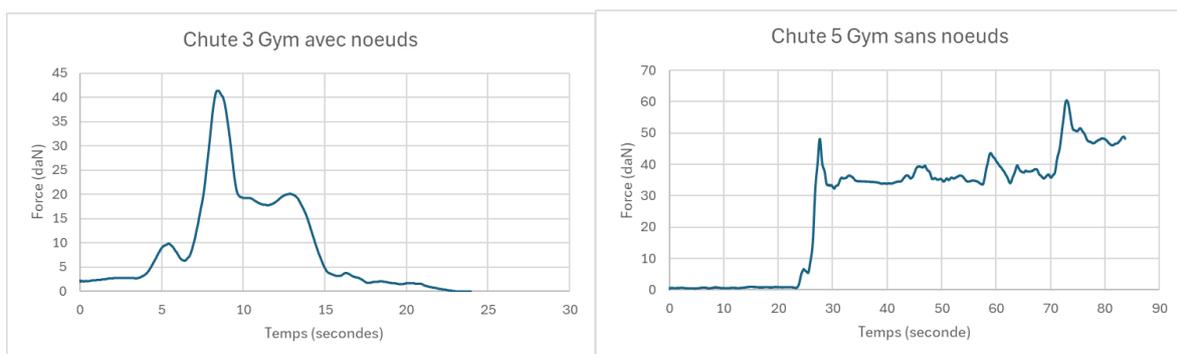


Figure 6: Graphique de la force en fonction du temps (à gauche : avec une corde Gym avec nœuds ; à droite : avec une corde Gym sans nœuds).

On observe une chute de la force à 0 daN sur la courbe de gauche lorsque le nœud se bloque dans la neige. En revanche, l'absence de nœud sur la courbe de droite entraîne une force oscillante entre environ 35 et 60 daN appliquée sur le pontet de l'alpiniste après l'arrêt de la chute.

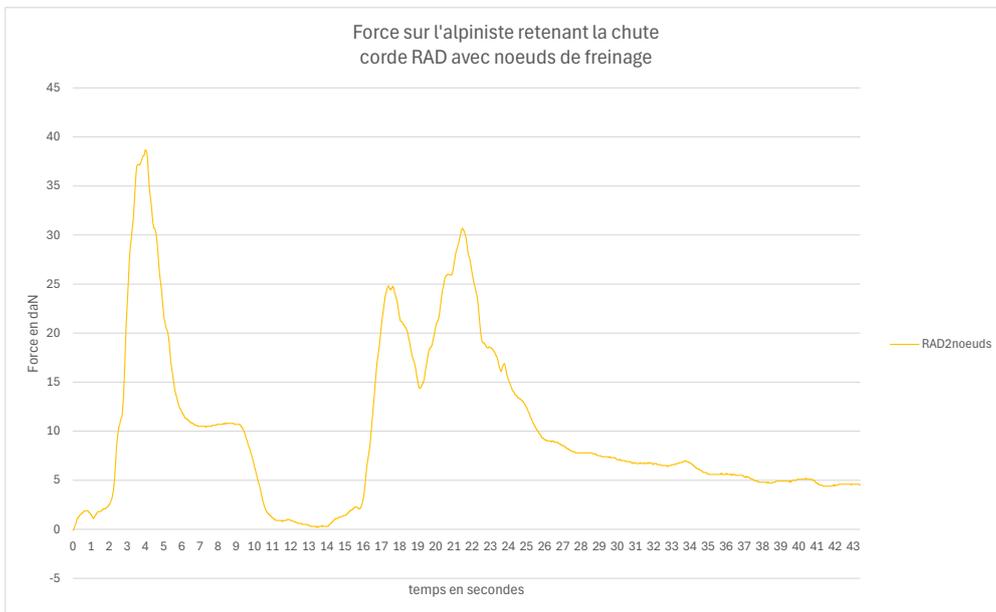


Figure 7: Graphique de la force en fonction du temps sur l'alpiniste enrayant une chute avec une corde RAD et des nœuds sur la corde. L'alpiniste a enrayé la chute puis a glissé ce qui a généré un deuxième pic de force. A la fin de la chute la force est de 5 daN sur le harnais de l'alpiniste ce qui lui permet d'installer son mouflage confortablement.

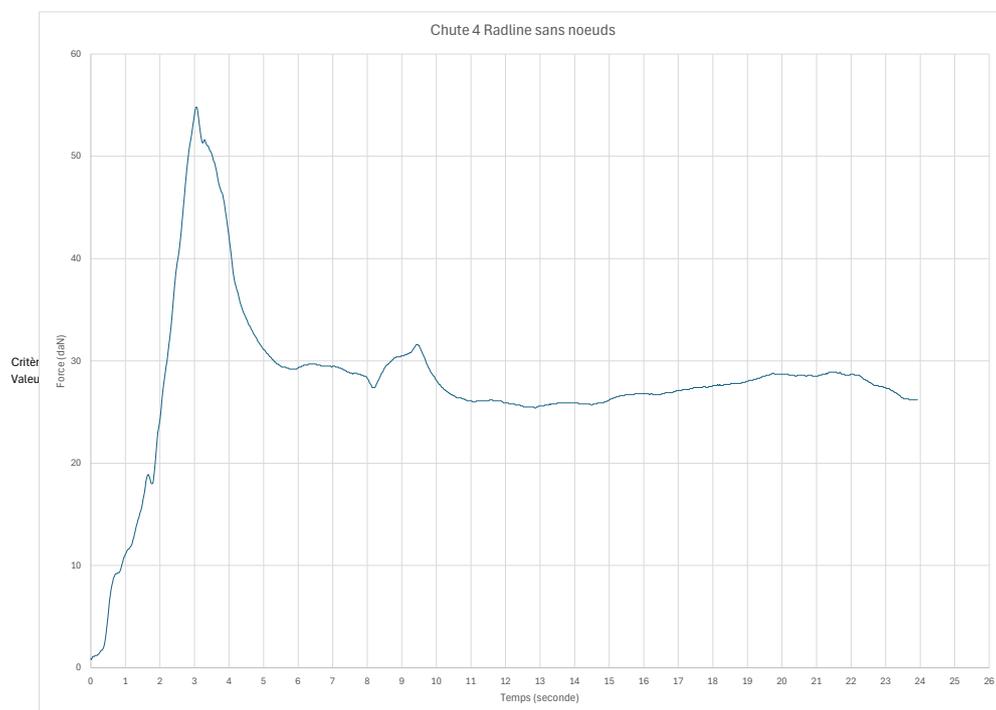


Figure 8: Graphique de la force en fonction du temps sur l'alpiniste enrayant une chute avec une corde RAD sans nœuds sur la corde. La force maximale sur l'alpiniste est de 55 daN. A la fin de la chute la force est de 27 daN sur le harnais de l'alpiniste ; soit 5 fois plus qu'avec des nœuds.

## Forces sur le point d'ancrage lors de mouflages

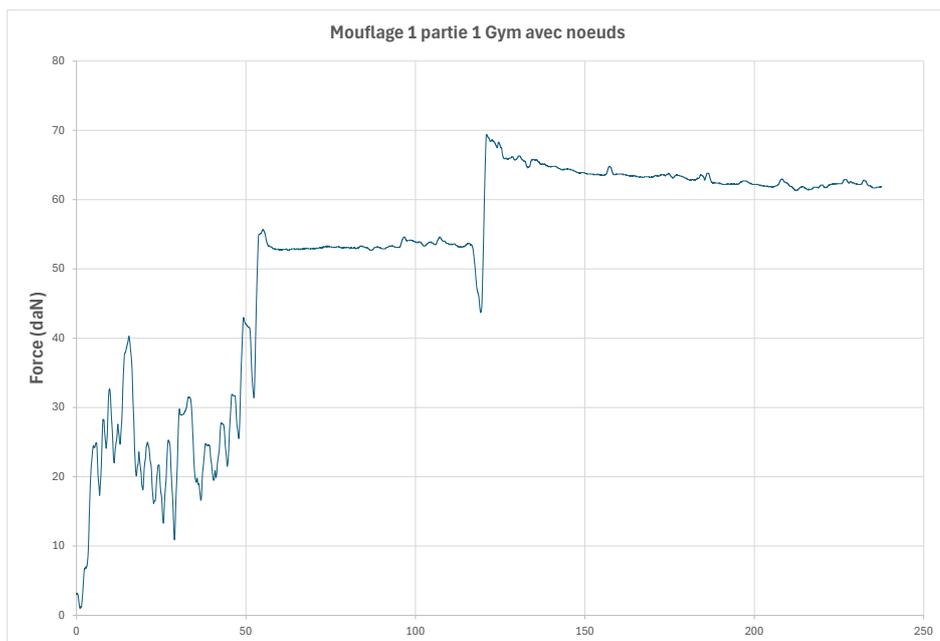


Figure 9: force sur le point d'ancrage avec un mouflage simple en fonction du temps avec une corde Gym et des noeuds.



Figure 10: force sur le point d'ancrage avec un mouflage simple en fonction du temps avec une corde Gym et des noeuds, la force augmente au cours du mouflage pour atteindre 100daN. .

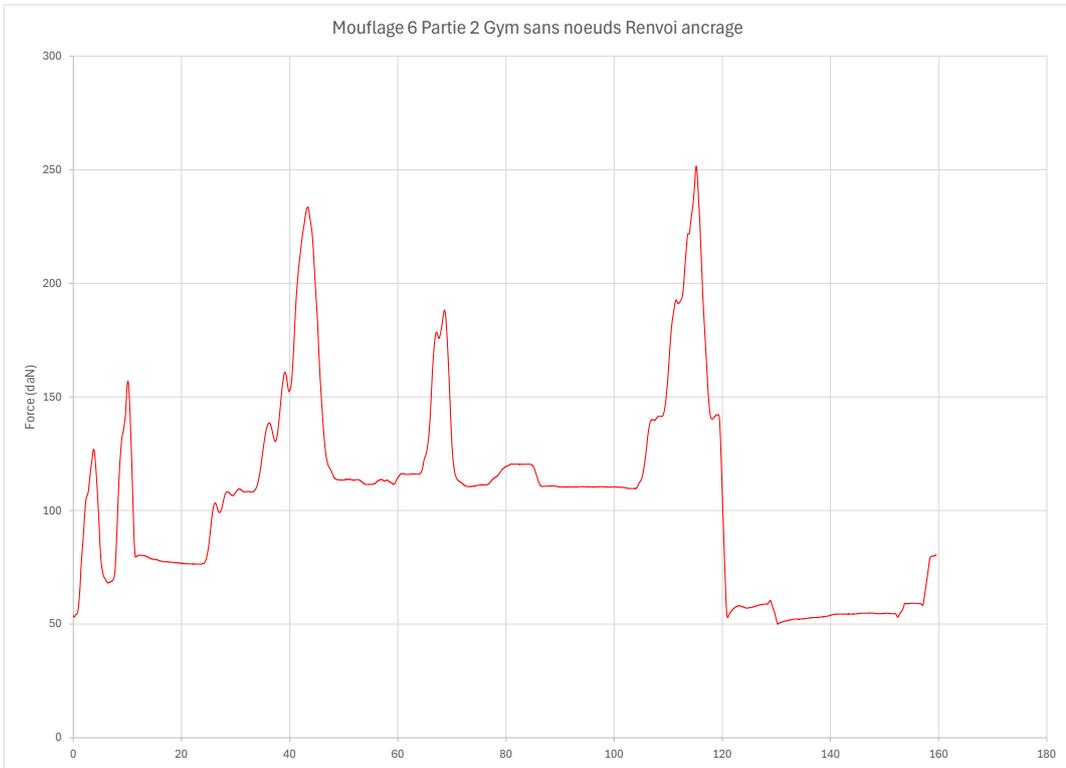


Figure 12: force sur le point d'ancrage avec un mouflage simple et un renvoi sur l'ancrage en fonction du temps avec une corde Gym sans noeuds. La force maximale atteinte est de 250daN lors de la traction par le secouriste.

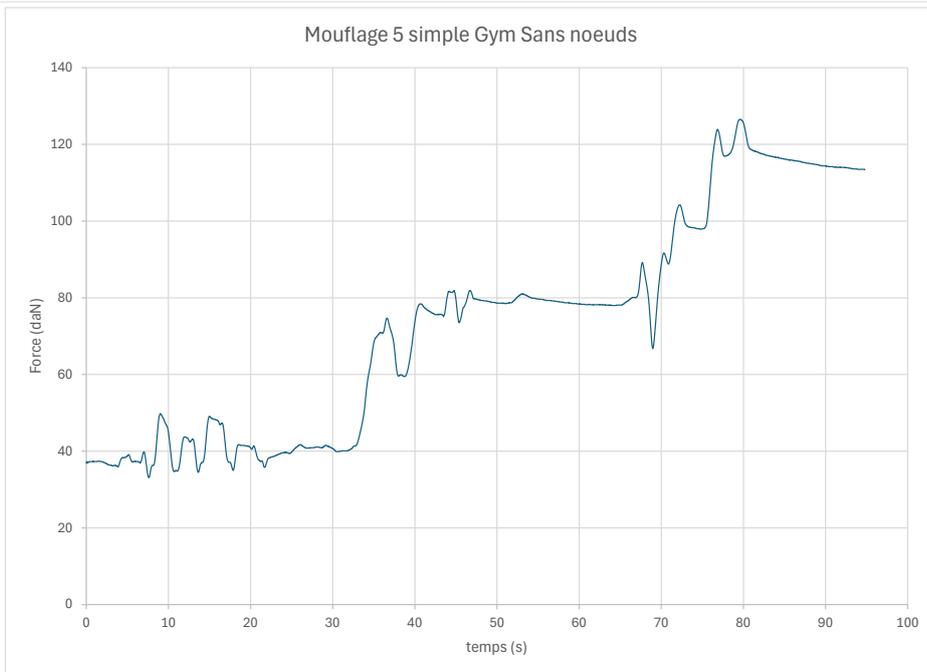


Figure 11: force sur le point d'ancrage avec un mouflage simple en fonction du temps avec une corde Gym sans noeuds, la force augmente au cours du mouflage à chaque fois que le sauveteur tire puis se stabilise.

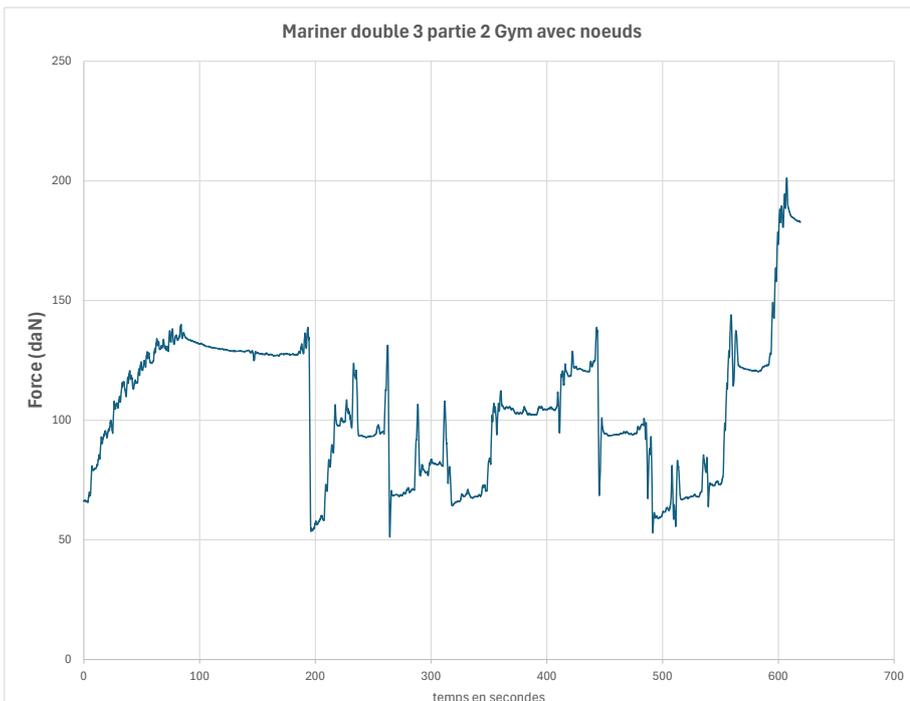


Figure 13: force sur le point d'ancrage avec un mouflage marinier double en fonction du temps avec une corde Gym et des nœuds lors de la seconde partie du mouflage. La Comme le calcul théorique indique la force est plus élevée en moyenne comme au maximum avec un maximum de 201 daN.

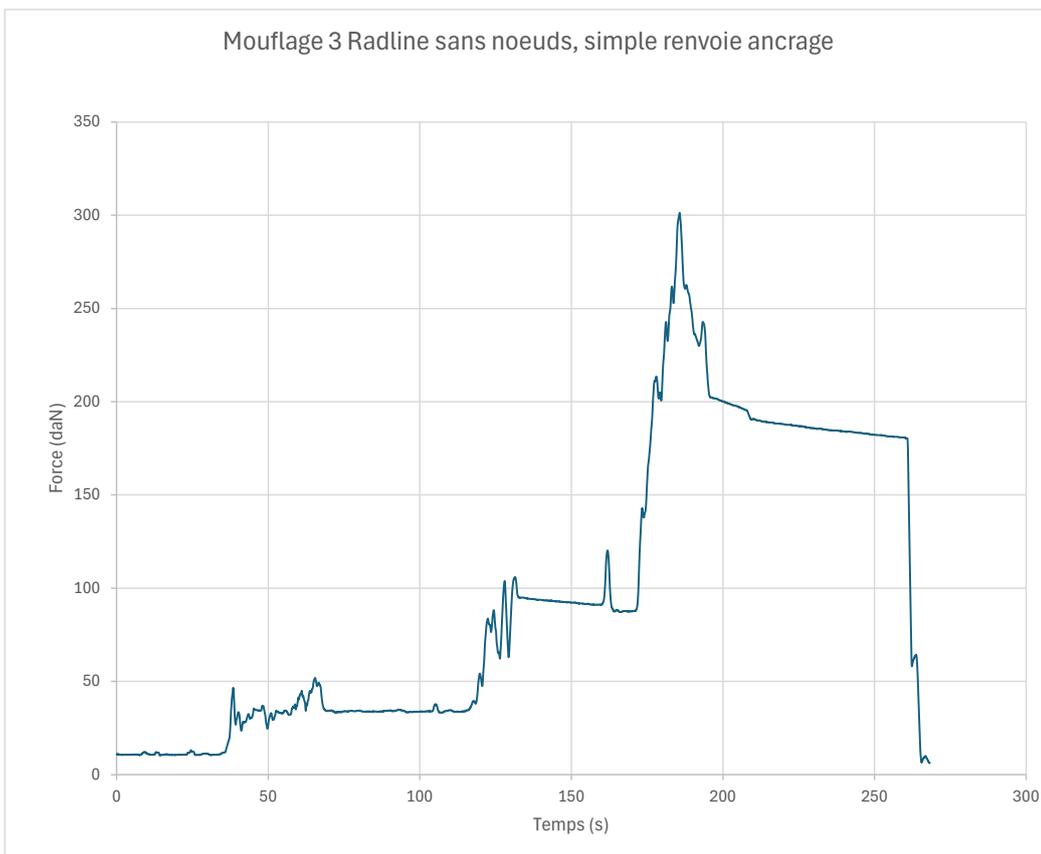


Figure 14: force sur le point d'ancrage avec un mouflage simple et renvoi sur l'ancrage en fonction du temps avec une Radline sans nœuds. On atteint 300 daN au passage de la lèvre de la crevasse en bloquant le mannequin sous la lèvre. Ces forces très importantes arracheraient la majorité des ancrages en neige.



Figure 15: Nœuds ancrés dans la neige à la suite d'une chute (Gym à gauche et Radline à droite).

Il est important de stipuler que la technique mise en place pour enrayer la chute dynamique cette dernière, sous-estimant ainsi potentiellement les forces obtenues avec la corde ultra-statique. Cela peut expliquer pourquoi l'alpiniste n'a pas ressenti plus de difficulté avec la corde ultra statique.

En ce qui concerne les efforts exercés sur l'amarrage lors des manœuvres de mouflage, peu de différences sont observées entre les deux types de cordes, que celles-ci comportent ou non des nœuds (cf. Tableau 4). En revanche, la technique de mouflage utilisée influence les forces mesurées sur l'ancrage. En effet, la mise en œuvre d'un Mariner double, tout comme celle d'un mouflage simple associé à un renvoi dans le mousqueton de l'ancrage, semble générer des forces importantes sur l'amarrage. Avec les deux cordes, les forces mesurées dépassent 150 daN, soit

la charge minimale susceptible de provoquer l'arrachement d'un ancrage, selon des études précédemment menées par le laboratoire [1]. Il paraît important de souligner que, lors de l'exécution d'un mouflage simple avec renvoi utilisant une radline sans nœud, environ 35 % du temps de la manipulation se déroule sous des forces supérieures à 150 daN.

La technique de mouflage simple génère moins de forces sur l'amarrage que les autres (cf. Figure 2). Cependant, avec cette méthode, il est beaucoup plus complexe pour un alpiniste seul de sortir son compagnon de cordée surtout si ce dernier est inconscient.

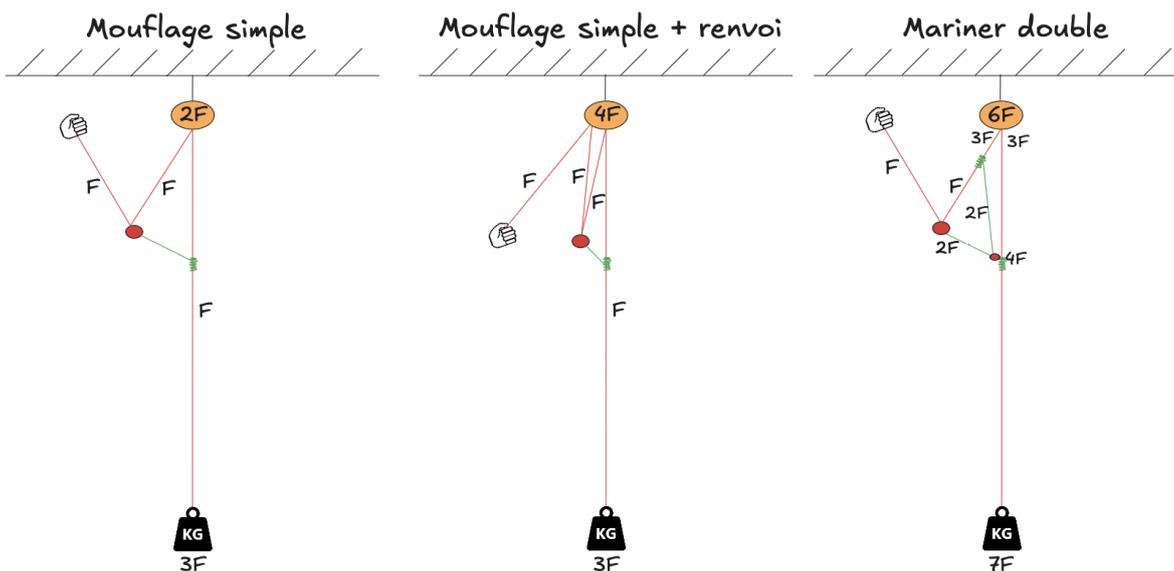


Figure 16: Décomposé  
théorique sans tenir compte des forces de frottement, des forces exercées lors de différents mouflages

Il est important de noter que le manteau neigeux évolue au cours d'une journée. Selon l'emplacement de la corde sur la lèvre, elle peut traverser des zones de neige aux consistances différentes. Ces variations peuvent donc expliquer les fluctuations observées

dans les résultats, aussi bien pendant la chute que lors des phases de mouflage.

## IV- Conclusion

Cette étude s'intéresse aux forces exercées sur l'ancrage et sur l'alpiniste, en fonction du type de mouflage utilisé, du type de corde employé, ainsi que de la présence ou non de nœuds sur la corde.

Pour cela, nous avons choisi d'examiner ces paramètres dans un scénario volontairement sévère, en utilisant un mannequin de 80 kg représentant une personne inconsciente ne pouvant aider au passage de la lèvre de la crevasse.

L'étude a été réalisée dans une neige mouillée en profondeur après une longue période avec un isotherme 0°C au dessus de 4000 mètres.

Au cours d'une chute en crevasse, l'utilisation d'une corde dynamique ne semble pas diminuer les forces exercées sur l'alpiniste au regard d'une corde ultra statique. La manière d'arrêter la chute est prépondérante sur la matière d'encordement. Si l'alpiniste se laisse entraîner et réalise un arrêt progressif et régulier les valeurs sont faibles que ce soit une corde hyperstatique ou une corde dynamique.

En revanche, la présence de nœuds sur une corde de gros diamètre permet non seulement de freiner la chute, mais aussi d'atténuer la tension exercée en s'enfonçant dans la lèvre de neige. La confection du corps mort et le transfert du poids sur ce dernier est grandement facilité par les nœuds de freinage. Avec les conditions de neige rencontrées lors de cette étude, la présence de nœuds sur la corde ne génère pas de différences significatives lors des mouflages. Comme l'indiquent les calculs théoriques, figure 16, les forces les plus importantes sur le point d'ancrages ont générées par le mariner double ou avec un renvoi sur le relais. L'incidence des nœuds sur la force générée sur l'ancrage est négligeable par rapport au type de mouflage.

L'utilisation d'un mouflage simple permet d'exercer moins de forces sur l'ancrage, ce qui peut être un atout sur un amarrage peu fiable. Au contraire, les mouflages de types mariner double et mouflage simple avec renvoi, entraînent des forces importantes pouvant causer l'arrachement du point d'ancrage.

#### **IV- Bibliographie**

[1] Valérie Aumage, Philippe Batoux, Jean-Franck Charlet, Michel Fauquet, Paul Robach, “ Chutes en crevasses et amarrages en neige”, ENSA, Chamonix, 2013