

ENSEIGNEMENT SUPERIEUR PARAMEDICAL DE TYPE LONG
ET DE NIVEAU UNIVERSITAIRE
DEPARTEMENT DE KINESITHERAPIE

LES RUPTURES DES POULIES DIGITALES LIEES A LA PRATIQUE DE L'ESCALADE

Revue scientifique de la littérature

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU TITRE DE
MASTER EN KINESITHERAPIE

Sous la direction de

Géry BURLET

Etienne MENEGOZ
8^{ème} promotion

Année académique 2008-2009

ENSEIGNEMENT SUPERIEUR PARAMEDICAL DE TYPE LONG
ET DE NIVEAU UNIVERSITAIRE
DEPARTEMENT DE KINESITHERAPIE

LES RUPTURES DES POULIES DIGITALES LIEES A LA PRATIQUE DE L'ESCALADE

Revue scientifique de la littérature

MEMOIRE PRESENTE EN VUE DE L'OBTENTION DU TITRE DE
MASTER EN KINESITHERAPIE

Sous la direction de

Géry BURLET

Etienne MENEGOZ
8^{ème} promotion

Année académique 2008-2009

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon promoteur, Monsieur Burlet, kinésithérapeute spécialisé dans la rééducation de la main, pour son aide et ses conseils.

Je remercie également tous les membres de ma famille pour leur présence et leur soutien, en particulier ma mère qui m'a permis de faire ces études.

Merci à Charlène pour son énergie et sa patience.

Merci à mon père

SOMMAIRE

INTRODUCTION.....	1
1. PRESENTATION DE L'ESCALADE	3
1.1. L'alpinisme.....	3
1.2. L'escalade moderne.....	3
1.2.1. Les terrains de jeux	3
1.2.1.1. Structure artificielle d'escalade (SAE)	3
1.2.1.2. Escalade en bloc	5
1.2.1.3. Escalade en falaise.....	5
1.2.2. Les différentes cotations.....	6
1.2.3. L'escalade de compétition.....	7
1.2.3.1. Compétition de difficulté.....	8
1.2.3.2. Compétition de bloc.....	8
1.2.3.3. Compétition de vitesse.....	9
1.3. Différents types de prises	10
1.3.1. Prise arquée	10
1.3.2. Prise tendue	11
1.3.3. Autres types de prise	11
2. DESCRIPTIONS ANATOMIQUES	13
2.1. Myologie	13
2.1.1. Fléchisseur superficiel des doigts (FDS).....	13
2.1.2. Fléchisseur profond des doigts (FDP).....	15
2.2. Les poulies digitales	16
2.2.1. Description anatomique.....	17
2.2.1.1. Les poulies annulaires ou arciformes	17
2.2.1.2. Les poulies cruciformes.....	17
2.2.2. Rôle des poulies	18
3. BIOMECANIQUE	20
3.1. Modélisation du système	20
3.1.1. Préalable à la modélisation.....	20
3.1.2. Modélisation dans le plan sagittal	20
3.1.3. Modélisation dans le plan horizontal	22
3.2. Caractéristiques des positions arquées et tendues	23
3.2.1. Au niveau de la force développée à la pulpe du doigt	23
3.2.2. Au niveau des tensions musculaires.....	24
3.2.3. Au niveau de la force s'exerçant sur les poulies	25
3.2.4. Conclusion.....	26
3.3. Caractéristiques concernant les différents doigts en position arquée.....	26
3.3.1. Force développée au niveau de la pulpe du doigt (F_P).....	26

3.3.2. Au niveau de la tension selon les doigts	27
3.3.3. Au niveau des forces qui s'exercent sur les poulies.....	28
3.3.3.1. Forces exercées sur les poulies par rapport à leurs seuils de rupture	28
3.3.3.2. Ratio force exercée sur les poulies / tensions des tendons	30
3.4. Localisation des poulies	31
3.5. Conclusions	33
4. APPROCHE THERAPEUTIQUE	34
4.1. Incidence des pathologies des poulies chez le grimpeur.....	34
4.1.1. Incidence chez le grimpeur confirmé	35
4.1.2. Incidence dans une population hétérogène de grimpeurs.....	37
4.2. Diagnostic clinique.....	38
4.2.1. Classement des ruptures	38
4.2.2. Circonstance de la rupture	38
4.2.3. Signes cliniques	39
4.2.3.1. La rupture complète aigüe	39
4.2.3.2. La rupture progressive	40
4.2.4. Examen clinique.....	40
4.2.4.1. Effet corde d'arc	41
4.2.4.2. Impotence fonctionnelle	41
4.2.5. Diagnostic différentiel	42
4.3. Techniques d'imagerie	42
4.3.1. La radiographie	42
4.3.2. L'échographie	43
4.3.3. Le scanner	45
4.3.4. Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)	47
4.3.5. Conclusion : arbre thérapeutique décisionnel	49
5. PRISE EN CHARGE THERAPEUTIQUE	50
5.1. Traitement conservateur	50
5.1.1. Traitement des atteintes de grade 1	50
5.1.2. Traitement des atteintes de grade 2	50
5.1.3. Traitement des atteintes de grade 3	51
5.2. Traitement chirurgical	51
5.2.1. Introduction	51
5.2.2. Traitement préopératoire	53
5.2.3. Techniques opératoires.....	53
5.2.3.1 Utilisation d'un greffon du LADC sans enroulement autour de la phalange.	53
5.2.3.2. Utilisation d'un greffon du long palmaire sans enroulement autour de la phalange	54
5.2.4. Traitement post-opératoire	55
5.2.4.1. Objectifs à atteindre.....	55
5.2.4.2. Traitement proprement dit.....	56
5.2.5. Résultats	56
5.2.5.1. Résultats de l'opération avec greffon du LADC	57

5.2.5.2. Résultats de l'opération avec greffon du long palmaire	57
5.2.6. Conclusion.....	58
5.3. Traitement kinésithérapeutique	59
5.3.1. Rééducation	59
5.3.2. Taping.....	62
5.3.2.1. Tape circulaire au niveau du bord distal de A2	63
5.3.2.2. Taping circulaire au niveau de l'extrémité distale de la première phalange : le Schweizer-Tape	63
5.3.2.3. Le H-Tape.....	64
5.3.2.4. Conclusion	66
CONCLUSION.....	67
TABLES DES ILLUSTRATIONS	69
BIBLIOGRAPHIE	71
METHODOLOGIE DE TRAVAIL	77
CRITIQUES DES SOURCES.....	79
1. Par auteur.....	79
2. Par revue.....	80
3. Par ouvrage.....	82
4. Par site internet.....	83
ANNEXES.....	85

INTRODUCTION

La pratique de l'escalade a connu un important développement depuis une trentaine d'année lors de la naissance de l'escalade moderne dans les années septante. Cet engouement s'explique par plusieurs facteurs comme, par exemple, la multiplication des espaces réservés à la pratique de ce sport, mais aussi la médiatisation de certains exploits réalisés par des grimpeurs mythiques (comme Patrick Edlinger ou Patrick Berhault) ou encore la sensibilisation à l'escalade par les « falaises écoles ». En France, en 2004, c'est plus d'un million de personnes qui se disaient grimper de façon régulière ou occasionnelle sur des supports tel que le pan, la falaise ou le bloc.¹

Cette pratique sportive n'a cessé d'évoluer, et c'est grâce à l'utilisation de nouveaux matériels et aux prouesses techniques de ces sportifs que des voies d'une difficulté extrême ont pu être réussies. Lors de la réalisation de ces voies, le grimpeur utilise deux positions de préhension de base : les prises « tendues » et « arquées ». ^{2 3} Cette dernière, qui est la plus employée, est également la plus traumatisante pour le grimpeur.

La pratique de l'escalade génère des contraintes très importantes au niveau des membres supérieurs ⁴, en particulier au niveau de l'appareil fléchisseur des doigts. En effet, 41% des pathologies du grimpeur confirmé concernent cette zone ⁵. Ces contraintes peuvent alors engendrer des pathologies de surcharge de type micro traumatique, souvent méconnues. L'une d'entre elles est spécifique à la pratique de l'escalade : les ruptures de poulies digitales au niveau des tendons fléchisseurs.⁶

¹ S. LELARDOUX, J.W. LOUBRIAT. « L'escalade sportive. », Kinésithérapie scientifique. Vol. 58, p. 10-13 (2006).

² N. BARTON. « Sports injuries of the hand and wrist. », British journal of sports medicine. Vol. 31, p. 194 (1997).

³ G. JOSEPHSEN, S. SHINNEMAN, J. TAMAYO-SARVER, K. JOSEPHSEN, D. BOULWARE, M. HUNT, H. PHAM. « Injuries in bouldering : a prospective study. », Vol.18, p. 376 (2007).

⁴ G. JONES, A. ASGHAR, D. LLEWELLYN. « The epidemiology of rock-climbing injuries. », British journal of sports medicine. Vol. 42, p. 777 (2008).

⁵ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER. « Pulley injuries in rock climbers. », Wilderness and Environmental Medicine. Vol 14, p.95 (2003).

⁶ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulie chez le grimpeur. », Chirurgie de la main. Vol. 23, p. 246 (2004).

Les poulies digitales sont d'étroites bandes de tissus fibreux situées transversalement à l'axe de la phalange. Au niveau des doigts longs, on dénombre cinq poulies annulaires (de A1 à A5) et quatre poulies cruciformes (de C1 à C4).

Une rupture de ces poulies peut arriver lors d'entraînement intensif, lorsque le grimpeur effectue des mouvements répétitifs et qu'il est en position arquée. Il en découle une perte de force et de mobilité ; le grimpeur doit immédiatement arrêter son activité.

L'objectif de ce mémoire est d'exposer une vision globale des ruptures de poulies.

C'est au travers de la littérature récente que nous étudierons les différents aspects de cette pathologie. Tout d'abord l'aspect biomécanique dans lequel nous présenterons les différents facteurs susceptibles d'engendrer ces ruptures. Puis l'aspect thérapeutique où nous développerons le diagnostic clinique, les techniques d'imagerie médicale et tous les examens susceptibles d'affirmer ou non la présence d'une rupture. Enfin, les traitements chirurgicaux, conservateurs et kinésithérapeutiques proposés aux grimpeurs blessés concluront ce travail.

1. PRESENTATION DE L'ESCALADE

1.1. L'alpinisme

L'alpinisme débute au 18^{ème} siècle avec la première ascension du Mont Blanc en 1786. A cette période, le but de ces expéditions était surtout scientifique et géologique.

C'est à la fin du 18^{ème} siècle que l'alpinisme sportif débute réellement, avec le développement de nouveau matériel tel que pitons et mousquetons, notamment en Allemagne où les premiers exploits en falaise voient le jour en 1897.

En réalité, l'escalade a longtemps été considérée comme une pratique secondaire à l'alpinisme. Ce n'est que dans les années 70 que l'escalade, en tant que pratique sportive à part entière, connaît un réel essor. C'est la naissance de l'escalade moderne.

Elle est maintenant bien développée et recouvre plusieurs pratiques différentes : de l'escalade en falaise à l'escalade en bloc en passant par la pratique de compétition, l'escalade compte aujourd'hui un grand nombre d'adeptes.

1.2. L'escalade moderne

1.2.1. Les terrains de jeux⁷

*1.2.1.1. Structure artificielle d'escalade (SAE)*⁸

Une SAE est un support grimposable dont l'aménagement permet une pratique de l'escalade en toute sécurité et pendant toutes les périodes de l'année. Généralement, elle est construite à l'intérieur d'un équipement sportif existant tel qu'un gymnase. La majorité des SAE est constituée de panneaux résinés sur lesquels sont fixées des prises amovibles, elles aussi en résine.

⁷ <http://www.ffme.fr/>. Consulté le 02/02/2009.

⁸ J.P. VERDIER. *Escalade : s'initier et progresser*. Ed. Amphora sport, 2004 ; p. 80

Il existe deux types de SAE :

- Une SAE sans points d'assurage, appelé « pan », ne dépassant pas une hauteur de 4,50 mètres. La pratique se fait sans corde, le grimpeur n'est donc pas assuré et, en cas de chute, peut tomber de toute la hauteur qu'il a gravi. Des coussins de réception (« crash pad ») amortissent la chute.



Figure 1 : SAE sans points d'assurage (pan) ⁹

- Une SAE avec points d'assurage qui se pratique sur des murs plus hauts et qui s'apparente à la pratique sur falaise.

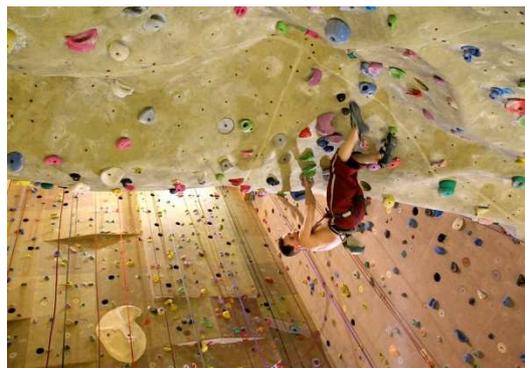


Figure 2 : escalade sur mur (SAE avec points d'assurage) ¹⁰

⁹<http://www.ffcam.fr/tzr/scripts/resizer.php?filename=T027/image/30/2c/48jlgp4775t1&mime=image%2Fjpeg&geometry=450x300%3E>. Consulté le 12/02/2009.

¹⁰ <http://www.agripp.be/produits/murs-escalade/references/>. Consulté le 23/02/2009.

Les SAE ont pris un essor important dans les années 80 et c'est au début des années 90 que des salles dédiées uniquement à l'escalade vont naître dans les grandes agglomérations.

*1.2.1.2. Escalade en bloc*¹¹

Le bloc ou bouldering en anglais est un type d'escalade qui se pratique à une faible hauteur et sans assurage. Si la hauteur du bloc est assez importante pour entraîner des traumatismes lors de la chute, les athlètes doivent pouvoir tomber sur des matelas au sol sans danger. Cette pratique de l'escalade se fait, à l'extérieur, sur des blocs de rocher et également en salle sur des structures synthétiques (SAE sans points d'assurage).

Un circuit de compétitions internationales et nationales de bloc existe depuis quelques années.



Figure 3 : escalade en bloc¹²

1.2.1.3. Escalade en falaise

L'escalade en falaise se pratique sur des voies allant des quelques dizaines de mètres à des voies de plus de trois cents mètres. Le grimpeur doit alors gravir la voie en se servant au mieux du relief dont il dispose. Il est assuré par le haut (moulinette) ou par le bas (grimper en tête). L'escalade en falaise est la discipline phare de ce sport puisqu'elle allie puissance, technicité, observation et contact avec la nature.

¹¹http://www.saccas.ch/fileadmin/pdf/Leistungssport/Sportklettern/Presstexte/Communique_de_presse_SCC_Grindelwald_08_annonce.pdf Consulté le 23/02/2009.

¹² A. LEJONCOUR. « **Pathologies des doigts liées à la pratique de l'escalade chez des grimpeurs de haut niveau.** », Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de licencié en kinésithérapie et réadaptation (2006), Université Catholique de Louvain. p. 18.



Figure 4 : escalade en falaise ¹³

1.2.2. Les différentes cotations

« La cotation d'une voie représente la difficulté à la réaliser en escalade libre (sans points de repos ou d'aides artificiels) dans sa totalité. Lorsque la voie comporte plusieurs longueurs, une cotation est donnée pour chacune des longueurs. » ¹⁴

Ils existent plusieurs cotations des voies selon les pays. Bien qu'une cotation internationale ait été mise en place par l'Union Internationale des Associations d'Alpinisme (UIAA), chaque pays préfère garder sa propre cotation traditionnelle.

Une voie est évaluée selon de nombreux critères comme sa hauteur, ses différentes inclinaisons, l'enchaînement des prises, son adhérence ou encore son homogénéité. Tous ces critères sont cependant subjectifs et les cotations des voies sont encore des sujets de débats. Les caractéristiques morphologiques d'un grimpeur, notamment sa taille, peuvent constituer un atout à la réalisation d'une voie ou, au contraire, lui être défavorable : deux grimpeurs ne sont pas égaux devant la même voie.

¹³ <http://www.bonnegrimpe.com/photos/escalade.jpg>. Consulté le 23/02/2009.

¹⁴ http://www.staps.uhp-nancy.fr/escalade/cotations_escalade.pdf. Consulté le 25/02/2009

UIAA	GB	USA	FR.
-	-	5.3	3
-	-	5.5	4
V	4b	5.6	4c
V+	4c	5.7	5a
VI-	5a	5.8	5b
VI		5.9	5c
VI+	5b	5.10a	6a
VII-		5.10b	6a+
		5.10c	6b
VII	5c	5.10d	6b+
VII+		5.11a	
			5.11b
VIII-	6a	5.11c	6c+
VIII		5.11d	7a
VIII+	6b	5.12a	7a+
		5.12b	7b
IX-			5.12c
IX	6c	5.12d	7c
		5.13a	7c+
IX+			5.13b

Figure 5 : différents types de cotations¹⁵

La cotation française s'étend du niveau trois au niveau neuf avec une difficulté croissante. Il existe des sous-niveaux constitués d'une lettre et d'un signe « + » ou « - ». La cotation « a » étant plus facile que la cotation « b » et la cotation « - » plus facile que la cotation « + ». Une voie cotée 6a+ est donc plus facile qu'une voie cotée 6b.

Toutes ces cotations doivent se réadapter selon les niveaux de voies franchies et des cotations de niveaux supérieurs doivent sans cesse être créées au fur et à mesure que les grimpeurs progressent. Ainsi, la cotation française 9a+, qui n'est pas présente dans ce tableau, a dû être créée en 2001.

1.2.3. L'escalade de compétition

C'est en 1986 que l'escalade de compétition est née. La Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade¹⁶ (FFME, 2008) ainsi que l'Union Internationale des Associations d'Alpinisme¹⁷ (UIAA, 2004) ont répertorié trois catégories de compétitions : la compétition de difficulté, la compétition de bloc et la compétition de vitesse.

¹⁵ http://www.staps.uhp-nancy.fr/escalade/cotations_escalade.pdf. Consulté le 27/02/2009.

¹⁶ <http://www.ffme.fr/texte/ffme/escalade-jeu.pdf>. Consulté le 01/03/2009.

¹⁷ <http://www.ffme.fr/escalade/telechargement/icc-handbook.pdf>. Consulté le 01/03/2009.

1.2.3.1. Compétition de difficulté

Selon le règlement officiel de la Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade (FFME) mise à jour en 2008, l'escalade de difficulté consiste à parcourir une ou plusieurs voies en tête avec un assurage par le bas et à réaliser cette (ou ces) voie(s) dans un temps imparti.

Les compétitions de difficulté peuvent inclure des tentatives :

- à vue : à l'issue d'une période d'observation de la voie. Un isolement des compétiteurs empêche d'avoir des informations autres que celles acquises lors de l'observation.
- Flash : après une démonstration de la voie par un ouvreure et sans indication extérieure pendant la tentative du grimpeur.

Les compétitions de difficulté se déroulent généralement en trois tours : qualifications, demi-finale et finale.

Il est prévu pour chaque voie un temps maximum pendant lequel un concurrent effectue sa tentative. Ce temps est de six minutes en qualifications, huit minutes en demi-finale et huit minutes en finale.

La voie mesure généralement vingt mètres et doit être grimpée en un seul essai. Les grimpeurs sont notés selon la hauteur atteinte ou la réussite de la voie. Une voie est considérée réussie lorsque le compétiteur a passé sa corde dans le mousqueton de la dernière « dégaine » (Voire annexe 1). Si la voie n'est pas terminée, on mesure la hauteur atteinte lorsque le compétiteur tombe ou est arrêté sur ordre du juge de voie.

1.2.3.2. Compétition de bloc

Un bloc est un passage court d'escalade. La compétition consiste à gravir une succession de blocs sans corde. Le nombre de prise de main dans chaque bloc ne doit pas être supérieur à douze.

Les compétitions se déroulent généralement en trois tours : qualifications, demi-finale et finale.

La compétition de bloc se divise en deux types d'épreuves :

- Le circuit dans lequel l'enchaînement des blocs est imposé et les voies réalisées « à vue » (sans préparation au préalable).

- Le contest dans lequel il n'y a pas d'enchaînement imposé des différents blocs. Dans ce type de compétition, le grimpeur peut faire des tentatives à sa guise.

Une tentative est terminée lorsque :

- Le compétiteur réussit le bloc en attrapant la prise de sortie à deux mains et en contrôlant l'ensemble de son corps.
- Le compétiteur chute.
- Le compétiteur est arrêté par le juge de bloc.

Des prises appelées prises bonus peuvent être atteintes par le grimpeur.

Lors de ces compétitions, la réussite ou non des blocs est notée ainsi que le nombre de tentatives réalisées et le nombre de prises bonus atteintes. Le compétiteur le meilleur est celui qui réussit le plus de bloc en moins de tentatives tout en atteignant le plus de prises bonus.

1.2.3.3. Compétition de vitesse

L'escalade de vitesse consiste à gravir encordé une voie dans le temps le plus court possible. Les voies sont escaladées en moulinette. Les compétitions de vitesse se déroulent en deux phases : une phase qualificative et une phase finale.

Lors de ces compétitions, les voies mesurent entre douze et vingt mètres ; des passages en surplomb sont présents, cependant ils ne doivent pas dépasser une longueur totale de cinq mètres.

La pratique de l'escalade de compétition génère donc d'importantes contraintes physiques notamment au niveau de la main et de l'appareil fléchisseurs des doigts. Outre l'intensité de l'effort imposée par la compétition, les grimpeurs, dans un souci de stabilité, doivent utiliser des prises de main spécifiques qui elles aussi engendrent des contraintes élevées et peu habituelles pour l'appareil fléchisseur des doigts.

1.3. Différents types de prises

En escalade, le terme prise représente à la fois le mode de préhension et les variations du relief qui permettent aux grimpeurs d'évoluer. Dans cette partie, seuls les différents modes de préhension seront développés.

1.3.1. Prise arquée

Selon A. Schweizer¹⁸, plus de 90 % des grimpeurs utilisent cette prise. En effet, elle est adoptée presque naturellement par tous, notamment sur les prises à rebord étroit, de type règles et réglettes, sur les rebords des trous, etc. Cette préhension donne une impression de puissance, de stabilité et de sécurité¹⁹ car elle permet une surface de contact maximale entre la roche et la pulpe du doigt. Lors de cette prise, l'articulation inter-phalangienne distale (IPD) est en extension voire en hyperextension, l'articulation inter-phalangienne proximale (IPP) est en flexion à 90° et la métacarpo- phalangienne (MP) est en légère flexion. Le pouce peut compléter cette prise en prenant appui au niveau de l'articulation IPD ce qui permettra de développer une force supérieure.

Cette prise est la plus susceptible de provoquer des atteintes au niveau des poulies digitales.



Figure 6 : prise arquée²⁰

¹⁸ A. SCHWEIZER. « Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. », Journal of biomechanics. Vol. 34 p. 217 (2001).

¹⁹ J.P. VERDIER. *Escalade : s'initier et progresser*. Ed. Amphora sport, 2004 ; p. 80.

²⁰ S GUIRAO. « **Rupture de poulie digitale chez le grimpeur : Et le membre supérieur dans tout ça ?** », diplôme de licencié en kinésithérapie (2008) Haute Ecole Robert Schuman Libramont.

1.3.2. Prise tendue

Cette prise est principalement utilisée pour les reliefs de formes fuyantes, les « à-plats », les bosses ou bossettes. La pulpe de tous les doigts est placée en adhérence sur la surface de la prise. La paume de la main vient parfois compléter cette action d'adhérence maximale. Cette position permet une protection des articulations, elle est donc à utiliser aussi souvent que possible.

Dans cette position, l'IPD est fléchie entre 50° et 70° et l'IPP est en extension ou en légère flexion.



Figure 7 : prise tendue ²¹

1.3.3. Autres types de prise

Des dizaines d'autres prises peuvent être employées pour permettre au grimpeur de s'adapter à la diversité du relief. Une liste non exhaustive est présentée ci-dessous.

- Prise en crochet : elle est employée sur des grosses prises. La main fait un véritable crochet, les doigts sont en flexion globale.

²¹ S. ROULEAU. « Aspect clinique des doigts des grimpeurs après plusieurs années de haut niveau. Evaluation des conséquences fonctionnelles. », Diplôme interuniversitaire de médecine et d'urgence de montagne (2006), Université Paul Sabatier Toulouse – Université Joseph Fourier Grenoble.



Figure 8 : prise en crochet ²²

- Prise mono-doigt ou bi-doigt : elle s'emploie lorsque l'utilisation des prises arquées ou tendues est impossible, par exemple dans un trou. Ce sont le majeur et/ou l'annulaire qui sont généralement employés.

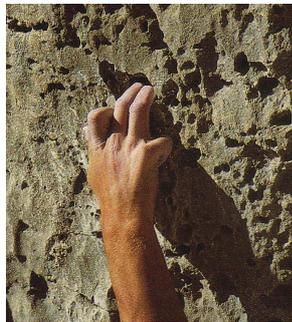


Figure 9 : prise bi-doigt ²³

- La pincette qui s'utilise sur les petites aspérités du rocher. C'est généralement le pouce et l'index qui effectue ce geste de préhension bi-digitale



Figure 10 : prise en pincette ²⁴

²² A. LEJONCOUR. « **Pathologies des doigts liées à la pratique de l'escalade chez des grimpeurs de haut niveau.** », Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de licencié en kinésithérapie et réadaptation (2006), Université Catholique de Louvain, p. 22.

²³ A. LEJONCOUR. « **Pathologies des doigts liées à la pratique de l'escalade chez des grimpeurs de haut niveau.** », Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de licencié en kinésithérapie et réadaptation (2006), Université Catholique de Louvain, p. 22.

2. DESCRIPTIONS ANATOMIQUES

Tout les systèmes musculo-squelettiques de la main, en particulier le système fléchisseurs des doigts, sont nécessaires au maintien des différentes positions de préhension vues ci-dessus. Les muscles fléchisseurs superficiels et profonds des doigts (FDS et FDP) sont très sollicités dans la pratique de ce sport et développent des tensions très élevées. Un bref rappel de leurs insertions et de leurs actions est effectué dans la partie suivante. Un rappel anatomique concernant les poulies est également présenté.

2.1. Myologie ^{25 26}

2.1.1. Fléchisseur superficiel des doigts (FDS)

C'est un muscle de la loge antérieure de l'avant bras qui est innervé par le nerf médian. Il constitue le deuxième plan des muscles fléchisseurs superficiel de l'avant-bras. Son insertion proximale présente deux chefs, un chef huméro-ulnaire et un chef radial.

Le chef huméro-ulnaire s'insère :

- sur l'épicondyle médial de l'humérus
- sur le faisceau antérieur du ligament collatéral ulnaire
- sur la face médiale du processus coronoïde de l'ulna

Le chef radial s'insère :

- sur la moitié supérieure du bord antérieur du radius

Au niveau du poignet, il donne naissance à quatre tendons qui s'engagent dans le canal carpien, sous le rétinaculum des muscles fléchisseurs. Chacun des tendons se divise en deux

²⁴ A. LEJONCOUR. « **Pathologies des doigts liées à la pratique de l'escalade chez des grimpeurs de haut niveau.** », Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de licencié en kinésithérapie et réadaptation (2006), Université Catholique de Louvain, p. 22.

²⁵ J.P. BEAUTHIER, P. LEFEVRE. *Traité d'anatomie: de la théorie à la pratique palpatoire. Tome 2 Membre supérieur et ceinture scapulaire.* Ed. De Boeck Université, 1991 ; p. 174-177.

²⁶ K.L. MOORE, A.F. DALLEY. *Anatomie médicale, aspects fondamentaux et applications cliniques.* Ed. De Boeck, 2001 ; p. 737-740.

languettes qui s'insèrent sur les faces médiale et latérale des deuxièmes phalanges des quatre derniers doigts. Ces tendons constituent les tendons perforés de l'appareil fléchisseurs des doigts.

Les actions de ce muscle sont :

- flexion de l'articulation inter phalangienne proximale (IPP) des quatre derniers doigts ;
- légère flexion de l'articulation inter phalangienne distale (IPD) des quatre derniers doigts si la phalange moyenne est en flexion complète ;
- pas d'action sur la phalange distale.

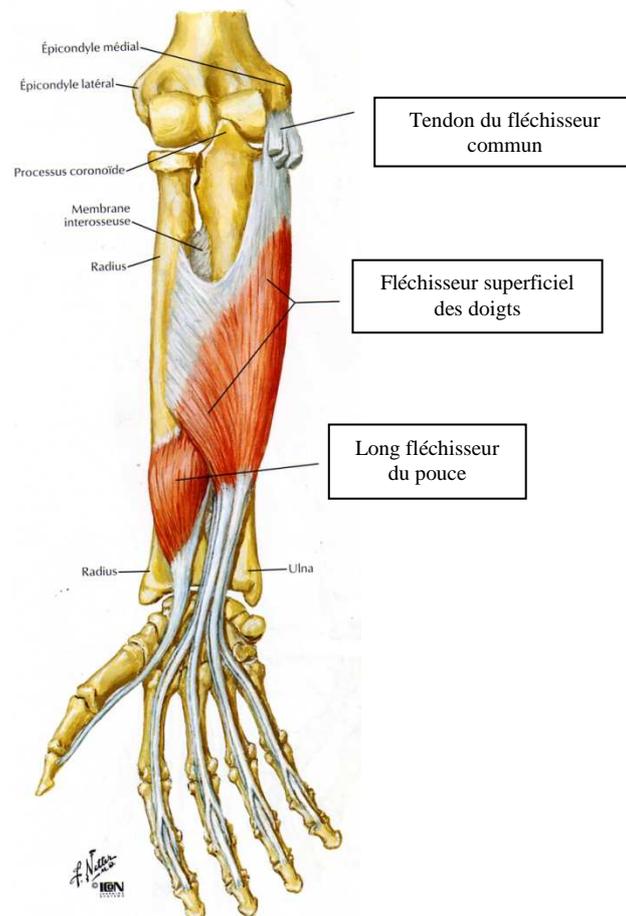


Figure 11 : Le fléchisseur superficiel des doigts ²⁷

²⁷ F.H. NETTER. *Atlas d'anatomie humaine*. 3^{ème} édition. Ed. Masson, 2004 ; planche 426.

2.1.2. Fléchisseur profond des doigts (FDP)

C'est un muscle de la loge antérieure de l'avant bras qui est innervé dans sa partie médiale par le nerf ulnaire et dans sa partie latérale par le nerf médian. Il constitue le troisième plan des muscles de la loge antérieure de l'avant bras.

Dans sa partie proximale, il s'insère sur les trois quart proximaux des faces médiale et antérieure de l'ulna et de la membrane interosseuse.

Il se termine en quatre tendons situés initialement profondément par rapport aux tendons du FSD et au rétinaculum des fléchisseurs. Ces tendons s'insèrent à la base des phalanges distales des quatre derniers doigts. Ils constituent les tendons perforants.

L'action de ce muscle est la flexion de l'IPD des quatre derniers doigts accompagnée de la flexion de l'IPP.

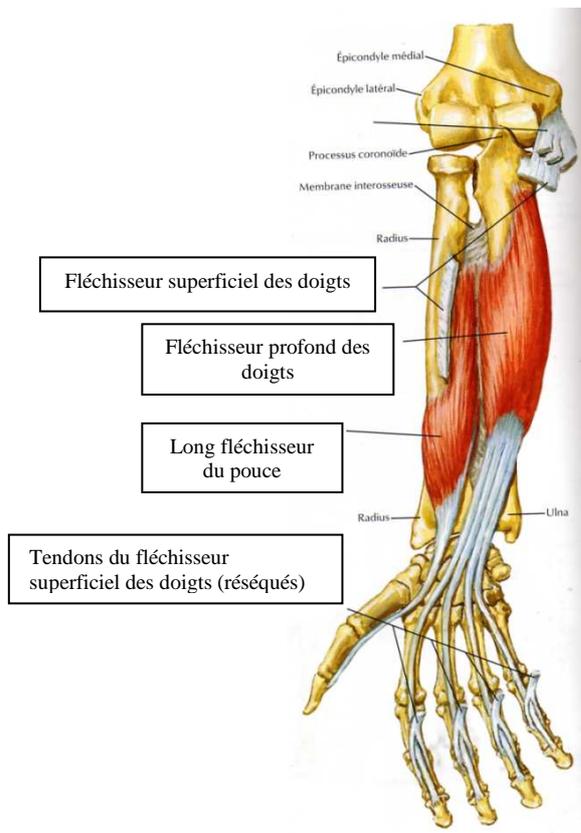


Figure 12 : Le fléchisseur profond des doigts ²⁸

²⁸ F.H. NETTER. *Atlas d'anatomie humaine*. 3^{ème} édition. Ed. Masson, 2004 ; planche 426.

2.2. Les poulies digitales ²⁹

La première description de ces poulies a été faite en 1543 par Léonard De Vinci ; cependant elle a beaucoup évolué et la nomenclature actuelle n'a été mise au point qu'en 1975 par Doyle et Blythe. ³⁰

Elles correspondent à des bandes de tissus fibreux, d'épaisseur, de longueur, de largeur et de configuration variables, renforçant la gaine synoviale. « De manière générale, la longueur de chaque poulie est directement proportionnelle à la longueur du doigt ; l'épaisseur de la poulie est également directement proportionnelle à sa longueur ». ³¹

Les poulies sont donc formées par un épaissement de la gaine synoviale qui forme des condensations fibreuses segmentaires. ³²

Selon F. Moutet ³³ (2003), elles ne sont pas seulement un épaissement de la gaine synoviale. En effet, elles sont formées de trois feuillets :

- un feuillet interne qui est le feuillet pariétal de la gaine tendineuse.
- un feuillet moyen formé de fibroblastes et de collagène orientés perpendiculairement à l'axe de la phalange.
- un feuillet externe, formé de tissus mésenchymateux, qui s'étend et englobe l'appareil fléchisseur, l'appareil extenseur et la phalange.

Seules les poulies des doigts longs seront développées par la suite, le système de poulie du pouce n'étant jamais atteint lors de la pratique de l'escalade.

Il existe deux types de poulies digitales : les cruciformes et les annulaires ou arciformes.

²⁹ PH.PRADEL, D. CORCELLA, A. FORLI, D. GUINARD, F. MOUTET. « Une pathologie spécifique du grimpeur : les lésions de poulies digitales des fléchisseurs », Revue Suisse de Medecine et Traumatologie du Sport (Schweizerische Zeitschrift fur « Sportmedizin und Sporttraumatologie »). Vol. 50 (1), p. 11-15 (2002).

³⁰ F. MOUTET. « Les poulies de l'appareil fléchisseurs : anatomie, pathologies, traitement. », Chirurgie de la main. Vol. 22, p. 2 (2003).

³¹ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers : Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », Radiology. Vol. 217, p. 202 (2000).

³² A. KLAUSER, F. FRAUSCHER, G. BODNER, E. J. HALPERN, M. F. SCHOCKE, P. SPRINGER, M. GABL, W. JUDMAIER, D. ZUR NEDDEN. « Finger pulley injuries in extreme rock climbers : depiction with dynamic US », Radiology. Vol. 222 p. 755 (2002).

³³ F. MOUTET. « Les poulies de l'appareil fléchisseurs : anatomie, pathologies, traitement. », Chirurgie de la main. Vol. 22 p. 1-12 (2003).

2.2.1. Description anatomique

2.2.1.1. Les poulies annulaires ou arciformes

Les poulies annulaires sont constituées de fibres arciformes inextensibles et très résistantes. Elles sont susceptibles de supporter des pressions considérables lors de la flexion digitale.

Une étude de O. Hauger³⁴, réalisée sur douze cadavres et assistée par imagerie médicale (IRM, CT scan et ultra-son), a pu déterminer précisément la localisation et la taille des poulies annulaires. Il existe cinq poulies annulaires ou arciformes au niveau des doigts : A1, A2, A3, A4 et A5.

La poulie A1 se situe à la face antérieure et juste au dessus de l'articulation métacarpo-phalangienne (MP) et s'insère latéralement au niveau de la plaque palmaire de la MP. L'Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) a pu montrer qu'elle a, en moyenne, une taille de 10 mm.

La poulie A2 s'insère au niveau de la partie proximale de la première phalange (P1) et s'étend jusqu'à la jonction entre les deux tiers proximaux et le tiers distal de P1. Elle a une longueur moyenne de 17,4mm.

La poulie A3 s'insère au niveau de l'articulation inter-phalangienne proximale et mesure 2,6mm.

La poulie A4 s'insère au niveau du tiers médial de la deuxième phalange (P2), et elle a une longueur de 6,4mm en moyenne.

La poulie A5 s'insère au niveau de l'articulation inter-phalangienne distale et mesure 3,7mm.

2.2.1.2. Les poulies cruciformes

Les poulies cruciformes sont au nombre de quatre, C1, C2, C3 et C4. Elles se trouvent respectivement entre les poulies annulaires A1-A2, A2-A3, A3-A4 et A4-A5.

Elles sont obliques d'un bord à l'autre de la phalange et sont formées par des fibres cruciformes qui s'entrecroisent en amont et en aval des articulations. Cette configuration

³⁴ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers : Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », Radiology. Vol. 217, p. 202 (2000).

permet le passage, au niveau des entrecroisements, de vaisseaux issus des artères collatérales palmaires et destinés aux tendons fléchisseurs : les vincula.

La poulie C1 se situe à la face antérieure de la diaphyse de la première phalange P1 ; la poulie C2 se trouve à la partie proximale de la deuxième phalange P2 et la poulie C3 à la partie distale de P2.

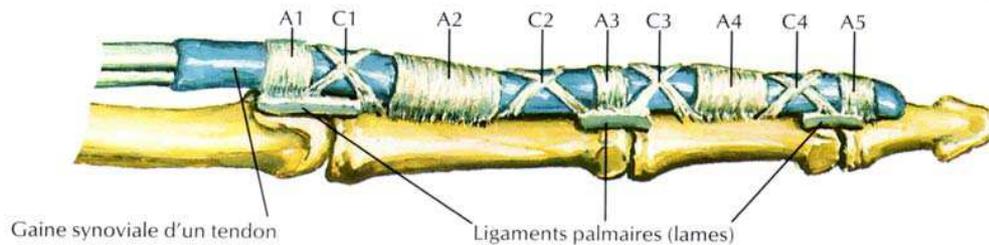


Figure 13 : les poulies annulaire (A) et cruciformes (C) des doigts longs³⁵

2.2.2. Rôle des poulies

Ces poulies digitales ont pour rôle de maintenir les tendons fléchisseurs plaqués contre la phalange afin d'éviter un décollement de ces tendons lors de la mise en tension musculaire. Ce décollement est nommé phénomène de corde d'arc dans la littérature. Ces poulies jouent également un rôle biomécanique important en créant un bras de levier efficace qui convertit de façon optimale la tension développée par les tendons fléchisseurs en mouvement.³⁶

Selon Pradel³⁷, ce sont les poulies A2 et A4 qui assurent essentiellement ce rôle. Selon cet auteur, « les poulies A2 et A4, beaucoup plus rigides et résistantes que les autres, impriment un véritable changement de direction aux tendons fléchisseurs lors de la flexion du doigt et leur évitent à elles seules de se luxer en avant ». Les poulies A3 et C3 quant à elle sont

³⁵ F.H. NETTER. *Atlas d'anatomie humaine*. 3^{ème} édition. Ed. Masson, 2004 ; planche 446.

³⁶ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers : Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », *Radiology*. Vol. 217, p. 202 (2000).

³⁷ PH.PRADEL, D. CORCELLA, A. FORLI, D. GUINARD, F. MOUTET. « Une pathologie spécifique du grimpeur : les lésions de poulies digitales des fléchisseurs », *Revue Suisse de Medecine et Traumatologie du Sport (Schweizerische Zeitschrift fur « Sportmedizin und Sporttraumatologie »)*. Vol. 50 (1), p. 12 (2002).

beaucoup plus élastiques et permettent aux tendons de s'éloigner de l'axe de la phalange. C'est pour ces raisons que les atteintes touchent de manière plus systématiques les poulies A2 et A4.

Lors de la pratique de l'escalade, ces poulies subissent des contraintes importantes. Ces contraintes varient selon différents facteurs comme la position des doigts ou les tensions des différents muscles fléchisseurs. Dans la partie suivante, nous étudierons les forces s'exerçant sur les poulies selon ces facteurs.

3. BIOMECHANIQUE

3.1. Modélisation du système³⁸

3.1.1. Préalable à la modélisation

« Un modèle biomécanique consiste à représenter numériquement le comportement mécanique du corps humains et permet ainsi d'accéder à l'estimation de variables difficilement mesurable. »³⁹

Il est important de noter que dans cette modélisation, seules les poulies A2 et A4 sont présentes. Cela s'explique par leurs importances biomécaniques : ce sont ces poulies principalement qui empêchent l'effet de corde d'arc et ont pour rôle de maintenir les tendons contre la phalange, tandis que les poulies A3 et C3 sont beaucoup plus extensibles.

La tension de l'extenseur commun des doigts n'est pas présente non plus étant donné que lors de ces expériences, l'EMG montrait une très faible activité de ce muscles.

Cette modélisation permet, à partir de valeur de force et de tensions musculaires quantifiées, d'évaluer les forces s'exerçant sur les poulies.

3.1.2. Modélisation dans le plan sagittal

Un modèle fictif du système de poulie a été établi. Il est composé d'une articulation (l'articulation IPP), de deux poulies (A2 et A4), qui sont placées respectivement sur la phalange proximale et sur la phalange distale, et des tendons des muscles FDP et FDS. Le tendon du muscle FDP passe au travers des deux poulies et le tendon du muscle FDS passe au travers de la poulie proximale seulement.

³⁸ I. ROLOFF, V.R. SCHÖFFL, L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ « Biomechanical model for the determination of the forces acting on the finger pulley system. », *Journal of biomechanics*. Vol. 39, p. 916-917 (2006).

³⁹ L. VIGOUROUX. « Modélisation biomécanique des systèmes musculosquelettiques sous-déterminés. Analyse statique des tensions des tendons mobilisant le doigt. », *Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université Joseph Fourier (Grenoble) discipline : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives*. p.9 (2005).

Les tendons fléchisseurs ont une certaine tension (T_{FDP} et T_{FDS}) qui varie selon les mouvements et les contractions musculaires. T_{FDP} et T_{FDS} s'appliquent au niveau de la poulie A2 alors que T_{FDP} seulement s'applique au niveau de A4.

Les tendons forment un angle avec la poulie A2 (β_{A2}) et selon cet angle et la tension des tendons, une résultante des forces (F_{A2}) s'applique sur la berge distale de la poulie A2. En ce qui concerne A4, un angle (β_{A4}) est formé entre le tendon du FDP et la poulie, et une résultante des forces (F_{A4}) s'applique sur la berge proximale de cette poulie.

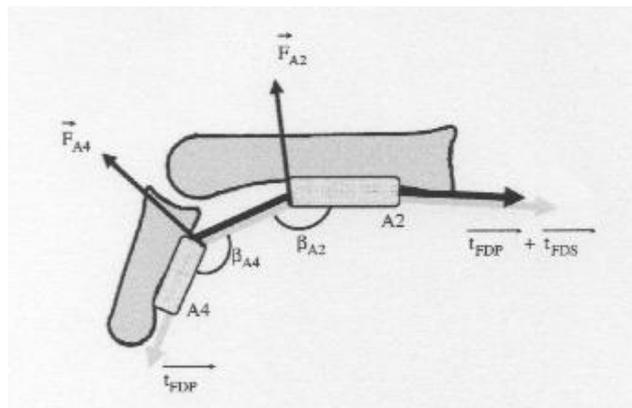


Figure 14 : model biomécanique de l'appareil fléchisseurs. Vue sagittale.⁴⁰

Une force n'est pas représentée sur ce schéma, c'est la force développée par le doigt au niveau de la pulpe, F_p . Pour le grimpeur, elle correspond à la force générée par l'appui de la pulpe au contact du relief.

Grâce aux lois de l'équilibre statique de Newton, l'équation suivante concernant la poulie A2 a pu être établie :

$$F_{A2} = 2 * (T_{FDS} + T_{FDP}) * \cos(\beta_{A2} / 2)$$

Notons que pour un angle β_{A2} de 180° , $F_{A2} = 0$ et que plus l'angle β se rapproche de la valeur de 0° , plus la résultante des forces (F_{A2}) qui en découle est grande.

Concernant la poulie A4, l'équation donne :

$$F_{A4} = (2 * T_{FDP}) * \cos(\beta_{A4} / 2)$$

⁴⁰ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, A. LABARRE-VILAB, F. MOUTET. « Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. », *Journal of biomechanics* Vol. 39, p. 2588 (2006).

3.1.3. Modélisation dans le plan horizontal

Le système fléchisseur peut également être modélisé dans le plan horizontal. La schématisation en vue sagittale (voir 3.1.2.) donne celle représentée ci-dessous dans le plan horizontal.

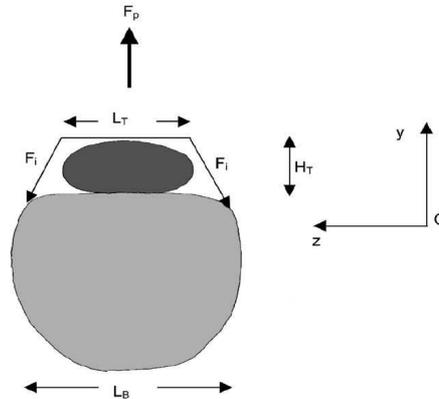


Figure 15 : model biomécanique de l'appareil fléchisseurs. Vue horizontale. ⁴¹

$$F_i = (T_{FDS} + T_{FDP}) \left(1 + \left(\frac{L_B - L_T}{2 * H_T} \right)^2 \right)^{1/2}$$

Dans cette équation :

- F_i représente la force qui agit sur l'insertion de la poulie.
- L_B représente la largeur de l'os et L_T la largeur du tendon.
- H_T représente la taille du tendon qui correspond à la distance entre l'os et la base de la poulie.

Au niveau de A2, la taille du tendon, ainsi que sa largeur, sont considérées comme la largeur et la taille du FDP et du FDS regroupés. Par contre, au niveau de A4, seul la largeur, la taille et la tension du FDP sont présents.

A partir de ces modélisations et de certaines données évaluées lors d'expériences *in vivo*, des paramètres ont pu être calculés. Dans les parties suivantes, les paramètres tels que la force développée au niveau de la pulpe des doigts (F_p), la tension des différents tendons (T_{FDS} et T_{FDP}) et les forces s'exerçant sur les poulies (F_{A2} et F_{A4}) seront étudiés ainsi que leurs variations selon les doigts et selon les prises.

⁴¹ I. ROLOFF, V.R. SCHÖFFL, L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ « Biomechanical model for the determination of the forces acting on the finger pulley system. », Journal of biomechanics. Vol. 39, p. 917 (2006).

3.2. Caractéristiques des positions arquées et tendues

Les positions arquées et tendues ont des caractéristiques différentes. Nous étudierons les paramètres de force développée au niveau de la pulpe du doigt, de tensions des tendons fléchisseurs et de force s'exerçant sur les poulies selon que le sujet soit en position arquée ou tendue.

3.2.1. Au niveau de la force développée à la pulpe du doigt

Lorsqu'il évolue sur une paroi, le grimpeur doit appliquer une force (F_P) au relief afin de pouvoir progresser et garder sa stabilité. Cette force n'est pas la même selon les doigts et varie également en fonction des prises (arquées ou tendues).

Lorsque la prise est globale, c'est-à-dire avec les quatre doigts longs en contact avec le relief, la force totale produite par les doigts est la même en prise arquée et en prise tendue. En effet, en position arquée, cette force vaut 407,66 Newton (N) et en position tendue, elle vaut 434,3 N : ces différences n'étant pas significatives.⁴²

Lors d'une prise mono-digitale, les résultats sont équivalents. Selon Vigouroux et al⁴³, la force moyenne développée par six majeurs est de 95,6 N en position arquée et de 97 N en position tendue. Une étude similaire⁴⁴, réalisée sur 16 doigts (majeurs ou annulaires), nous donne des chiffres de 96 N pour la prise arquée et 116 N pour la prise tendue. Il n'y a également pas de différences significatives entre ces valeurs ce qui laisse penser que la force développée par un doigt seul est la même pour ces deux prises.

Cette étude nous montre aussi que si le doigt n'est pas le seul sur la prise, il développe une force maximale inférieure. En effet, lorsque les autres doigts de la main sont présents sur le

⁴² F. QUAINÉ, L. VIGOUROUX. « Maximal resultant fourfingertip force and fatigue of the extrinsic muscles of the hand in different sport climbing finger grips. », International journal of sports medicine. Vol. 25, p. 636 (2004).

⁴³ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, A. LABARRE-VILAB, F. MOUTET. « Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. » Journal of biomechanics Vol. 39, p. 2588-2589 (2006).

⁴⁴ A. SCHWEIZER. « Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. », Journal of Biomechanics, vol. 34, p.221 (2001).

relief, la force au niveau d'un même doigt est de 82 N en prise arquée et de 78 N en prise tendue. Rappelons que cette force lors d'une prise mono-digitale est de 96 N en position arquée et de 116 N en position tendue. Il y a donc une baisse de 15% lors d'une prise arquée et de 33,8% lors d'une prise tendue.

3.2.2. Au niveau des tensions musculaires

Les muscles FDS et FDP doivent développer une tension très importante (T_{FDS} et T_{FDP}) lors de la pratique de l'escalade.

Il a été prouvé que la tension des tendons des muscles FDP et FDS est différente selon que le grimpeur soit en position arquée ou en position tendue.

- Le FDP a une tension moyenne de 257,5 N en position arquée (2,7 fois la valeur de la force développée par le doigt) et de 189,8 N en position tendue (1,9 fois la valeur de la force développée par le doigt).
- Le FDS a une tension moyenne de 147,6 N en position arquée (1,5 fois la valeur de la force développée par le doigt) et de 214,8 N en position tendue (2,2 fois la valeur de la force développée par le doigt).⁴⁵

Ces résultats nous montre que le FDP est le principal fléchisseur utilisé lors d'une prise arquée alors que les deux muscles fléchisseurs sont sollicités de manière presque égale lors d'une prise tendue. Le FDS développe même une tension légèrement plus importante que le FDP dans cette prise.

Le calcul du ratio FDP/FDS nous confirme ces résultats : il est de 1,9/1 pour une position arquée et de 0,88/1 pour la position tendue.

⁴⁵ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, A. LABARRE-VILAB, F. MOUTET. « Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. » Journal of biomechanics Vol. 39, p. 2589 (2006).

3.2.3. Au niveau de la force s'exerçant sur les poulies

Les forces qui s'exercent sur les poulies sont différentes lorsque le grimpeur est en position arquée ou en position tendue.

Le calcul de ces forces peut se faire grâce aux équations vues précédemment :

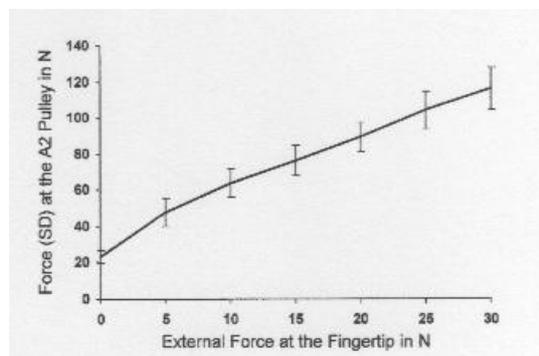
- Pour la poulie A2 : $F_{A2} = 2 * (T_{FDS} + T_{FDP}) * \cos(\beta_{A2} / 2)$
- Pour la poulie A4 : $F_{A4} = (2 * T_{FDP}) * \cos(\beta_{A4} / 2)$

En position arquée, les forces exercées sur A2 sont de 254,8 N et celles exercées sur A4 sont de 220,9 N. En position tendue, elles sont de 8,1 N sur A2 et de 57,4 N sur A4. La force exercée sur A2 est donc 31 fois plus importante en position arquée qu'en position tendue. En ce qui concerne A4, elle est 3,8 fois plus importante en position arquée.

Le ratio « force exercée sur A2 / force au niveau de la pulpe » est de 2,7 pour la position arquée et de 0,1 dans la position tendue. Au niveau de A4, il est de 2,4 en position arquée et de 0,6 en position tendue ; ces différences entre les deux positions sont significatives. Pour des valeurs similaires de F_P , la position arquée génère plus de force que la position tendue au niveau de A2 et de A4. Il est donc préférable pour le grimpeur d'utiliser la position tendue afin de préserver ces poulies.

En position arquée, la force qui s'applique au niveau de A2 est directement proportionnelle à la force développée par le doigt. On peut donc établir une équation de la droite « force au niveau de A2 (F_{A2}) en fonction de la force développée au niveau de la pulpe du type

$$F_{A2} = a * F_P + b.$$



Graphique 1 : relation F_P / F_{A2} ⁴⁶

⁴⁶ A. SCHWEIZER, « Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. », Journal of Biomechanics, vol. 34, p.221 (2001).

3.2.4. Conclusion

Le schéma présent ci-dessous est un résumé des caractéristiques des positions arquées et tendues. Il nous montre assez clairement que pour une force développée par le bout du doigt équivalente, les forces s'exerçant sur les poulies sont bien plus importantes en position arquée. Le grimpeur doit donc privilégier la position tendue afin de préserver ses poulies digitales.

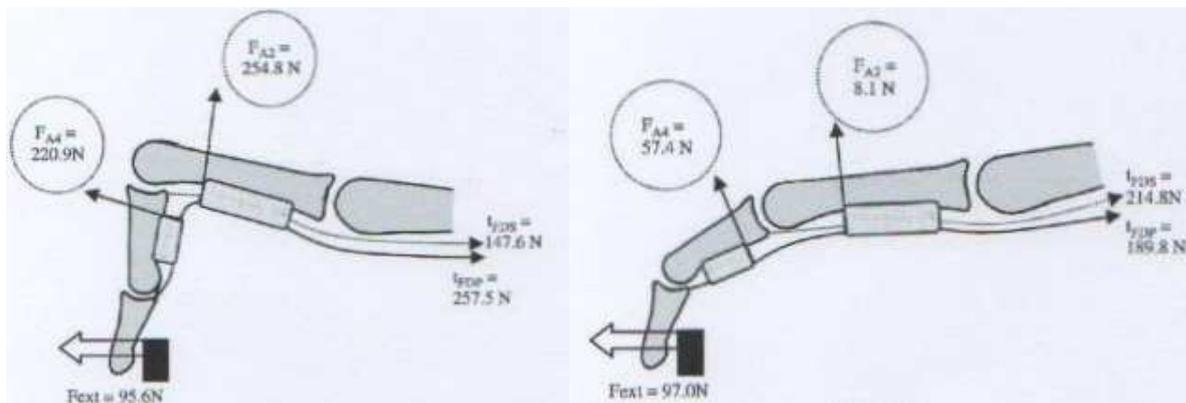


Figure 16 : les différentes forces suivant la position arquée (gauche) et en tendue (droite) ⁴⁷

3.3. Caractéristiques concernant les différents doigts en position arquée

Nous venons de voir que la position arquée était la position susceptible d'entraîner les atteintes de poulies. Nous allons étudier maintenant le comportement des doigts dans cette position, les caractéristiques de forces et de tension étant différentes en fonction du doigt.

3.3.1. Force développée au niveau de la pulpe du doigt (F_P)

Les doigts n'ont pas tous la même importance lors de la prise arquée. Chaque doigt peut développer une force maximale différente.

Vigouroux et al ⁴⁸ ont étudié les forces développées par les doigts, au niveau de leurs pulpes, après échauffement et en position arquée. Selon leurs expériences, l'index développe une

⁴⁷ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, A. LABARRE-VILAB, F. MOUTET. « Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. » *Journal of biomechanics* Vol. 39, p. 2590 (2006).

force moyenne de 97,0 N, le majeur une force de 124,1 N, l'annulaire une force de 105,8 N et l'auriculaire une force de 54,5 N. Ces valeurs montrent des différences significatives, au niveau de la force développée, exceptés pour l'index et l'auriculaire. Le majeur et l'annulaire sont les doigts capables de produire le plus de force lors de la prise arquée. En effet, les forces développées par ces deux doigts représentent 58,8 % de la force totale développée par l'ensemble des doigts ; le majeur représente à lui seul 31,8 % de cette force totale.

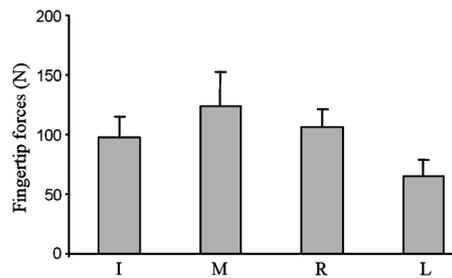
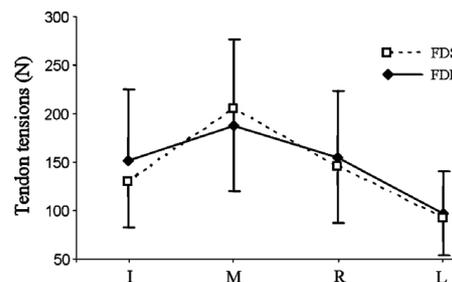


Figure 17 : force développée au niveau de la pulpe de chaque doigt ⁴⁹

3.3.2. Au niveau de la tension selon les doigts

Les tensions développées au niveau du tendon du FDS et au niveau du tendon du FDP sont différentes selon les doigts.



Graphique 2 : tension des différents tendons selon les doigts ⁵⁰

⁴⁸ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, F. PACLET, F. COLLOU, F. MOUTET. « Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing : A biomechanical explanation. », Clinical biomechanics. Vol. 23, p. 562-570 (2008).

⁴⁹ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, F. PACLET, F. COLLOU, F. MOUTET. « Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing : A biomechanical explanation. », Clinical biomechanics. Vol. 23, p. 567 (2008).

⁵⁰ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, F. PACLET, F. COLLOU, F. MOUTET. « Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing : A biomechanical explanation. », Clinical biomechanics. Vol. 23, p. 567 (2008).

Au niveau du FDP, les tensions respectives sont de 151,2 N pour l'index, 186,9 N pour le majeur, 154,4 N pour l'annulaire et 96,9 N pour l'auriculaire.

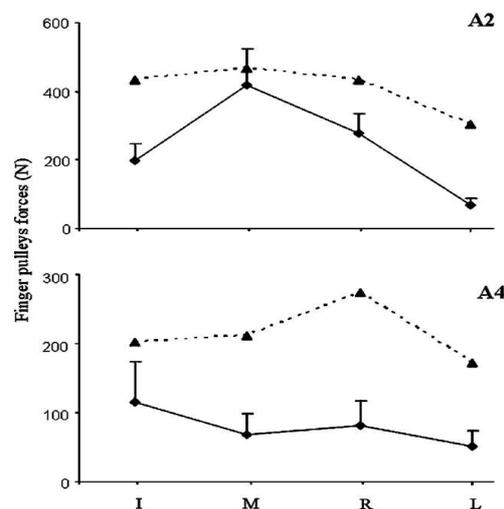
Au niveau du FDS, les tensions sont de 130 N pour l'index, 205,1 N pour le majeur, 145,6 N pour l'annulaire et 92,7 N pour l'auriculaire.

En ce qui concerne ces deux tendons, les tensions sont les plus élevées au niveau du majeur et de l'annulaire. Cependant, si on calcule le rapport « tension du tendon/force développée », on se rend compte que, pour une position donnée, il est pratiquement le même quelque soit le doigt. Il est égal en moyenne à 1,5 pour le FDP et à 1,46 pour le FDS. Ces données sont intéressantes car il devient donc possible de calculer T_{FDP} et T_{FDS} si la valeur de F_P est connue. Par exemple, si $F_P = 1$, alors T_{FDP} vaut 1,5 et T_{FDS} 1,46.⁵¹

3.3.3. Au niveau des forces qui s'exercent sur les poulies

3.3.3.1. Forces exercées sur les poulies par rapport à leurs seuils de rupture

Le graphique suivant représente les forces exercées sur les poulies en position arquée (lignes) ainsi que leurs forces de rupture respectives (pointillés).



Graphique 3 : force exercée sur les poulies (continu) et force de rupture des poulies (pointillés) selon les doigts⁵²

⁵¹ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, F. PACLET, F. COLLOU, F. MOUTET. « Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing : A biomechanical explanation. », Clinical biomechanics. Vol. 23, p. 567 (2008).

⁵² L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, F. PACLET, F. COLLOU, F. MOUTET. « Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing : A biomechanical explanation. », Clinical biomechanics. Vol. 23, p. 567 (2008).

En ce qui concerne la poulie A2, les forces exercées sont de 199,3 N au niveau de l'index, 419,5 N au niveau du majeur, 276,5 N au niveau de l'annulaire et 68,7 N au niveau de l'auriculaire. Cela représente, au niveau de A2 toujours, 46,1% de la charge de rupture pour l'index, 90,0% pour le majeur, 64,1% pour l'annulaire et 22,5% pour l'auriculaire. Ces résultats sont une explication au fait que le majeur et l'annulaire sont plus touchés au niveau des ruptures de A2.

En ce qui concerne la poulie A4, les forces exercées sont de 115,7 N pour l'index, 67,0 N pour le majeur, 81,6 N pour l'annulaire et 51,0 N pour l'annulaire. Cela représente 57,2% de la charge de rupture pour l'index, 31,8% pour le majeur, 29,9% pour l'annulaire et 29,6% pour l'auriculaire. Les forces s'appliquant sur la poulie A4 ne dépassent pas la moitié du seuil de rupture de cette poulie pour tous les doigts, excepté pour l'index.⁵³

On peut se demander comment des cas de ruptures de la poulie A4 peuvent apparaître étant donné l'écart important entre les forces examinées et les charges de rupture. Il semblerait selon L. Vigouroux et al⁵⁴ que les ruptures des poulies A4 soient dues, dans un premier temps à une rupture de A2. Cette dernière entraînerait une baisse rapide de l'angle β_{A4} qui serait à l'origine de la rupture de A4.

Cependant, certains auteurs⁵⁵ ont mis en évidence des ruptures isolées de A4 ce qui montre que les facteurs biomécaniques ne sont certainement pas les seuls à expliquer ces ruptures. Marco et al⁵⁶, par exemple, à partir de 19 cadavres, nous montre que la rupture initiale se situe au niveau de A4 dans 14 cas alors que la rupture initiale de A2 survient dans trois cas.

⁵³ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, F. PACLET, F. COLLOU, F. MOUTET. « Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing : A biomechanical explanation. », Clinical biomechanics. Vol. 23, p. 567 (2008).

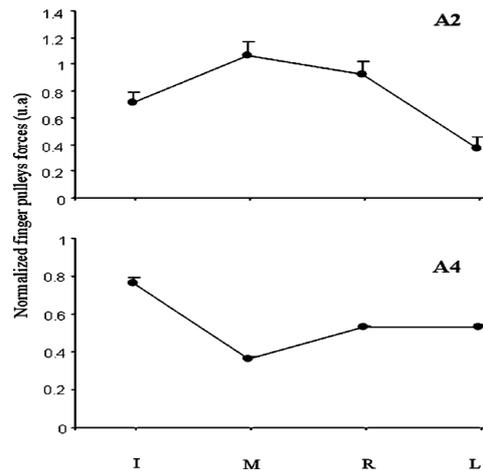
⁵⁴ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, F. PACLET, F. COLLOU, F. MOUTET. « Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing : A biomechanical explanation. », Clinical biomechanics. Vol. 23, p. 569 (2008).

⁵⁵ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers. », Wilderness and Environmental Medicine. Vol. 14, p. 94-100 (2003).

⁵⁶ R. MARCO, A. SHARKEY, S. SMITH, G. ZISSIMOS. « Pathomechanics of Closed Rupture of the Flexor Tendon Pulleys in Rock climbers. », The journal of bone and joint surgery. Vol. 80, p. 1012-1019 (1998).

3.3.3.2. Ratio force exercée sur les poulies / tensions des tendons

Si on rapporte les valeurs des forces exercées sur les poulies aux tensions des tendons (FDS+FDP pour A2 et FDP seulement pour A4), le graphique suivant est obtenu. Le fait de normaliser ces valeurs nous permet de savoir combien de fois la force exercée au niveau de la poulie vaut par rapport aux tensions des tendons.



Graphique 4 : normalisation des forces exercées sur les poulies selon les doigts⁵⁷

Au niveau de A2 : la force qui s'exerce sur cette poulie est égale à 0,71 fois les tensions développées par les tendons des FDS et FDP au niveau de l'index. Au niveau du majeur 1,08, au niveau de l'annulaire 0,92 et au niveau de l'auriculaire 0,37.

Au niveau de A4 : la force qui s'exerce sur cette poulie est égale à 0,76 fois la tension développée au niveau de l'index, par le tendon du FDP seulement. Au niveau du majeur 0,36, au niveau de l'annulaire 0,53 et au niveau de l'auriculaire 0,53.

Grâce à cette normalisation, on peut constater que le rapport « force exercée sur les poulies / tension des tendons » est le plus élevé pour la poulie A2 au niveau du majeur et de l'annulaire. C'est-à-dire que la tension ($T_{FDS} + T_{FDP}$) est entièrement transmise en force (F_{A2}) au niveau du majeur et de l'annulaire.

Ceci nous montre les raisons d'une incidence de rupture plus élevée sur ces doigts.

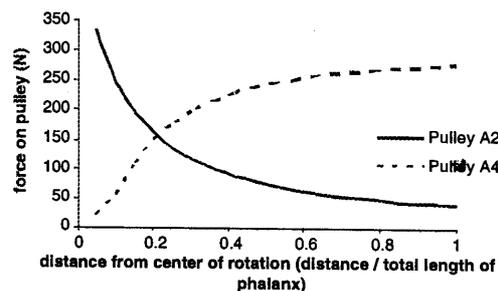
⁵⁷ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, F. PACLET, F. COLLOU, F. MOUTET. « Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing : A biomechanical explanation. », Clinical biomechanics. Vol. 23, p. 568 (2008).

3.4. Localisation des poulies⁵⁸

La localisation des poulies a une grande influence sur les forces exercées sur ces dernières. En effet, selon la modélisation vue en 3.1.2, l'angle β_{A2} ainsi que l'angle β_{A4} varient selon la position des poulies.

En variant seulement la localisation de la poulie A2, les angles β_{A2} et β_{A4} vont changer :

- Si A2 se rapproche de l'articulation IPP, l'angle β_{A2} va diminuer et l'angle β_{A4} va augmenter. Les forces exercées sur la poulie A2 (F_{A2}) vont donc augmenter et les forces exercées sur la poulie A4 (F_{A4}) vont diminuer.
- A l'inverse, si A2 s'éloigne de l'articulation PIP, l'angle β_{A2} va augmenter et l'angle β_{A4} va diminuer. F_{A2} va donc diminuer et F_{A4} va augmenter.



Graphique 5 : force exercées sur les poulies en fonction de la localisation de A2⁵⁹

Les différentes positions de la poulie A4 ont aussi un impact sur les forces exercées au niveau de la berge distale de la poulie A2 et de la berge proximale de la poulie A4.

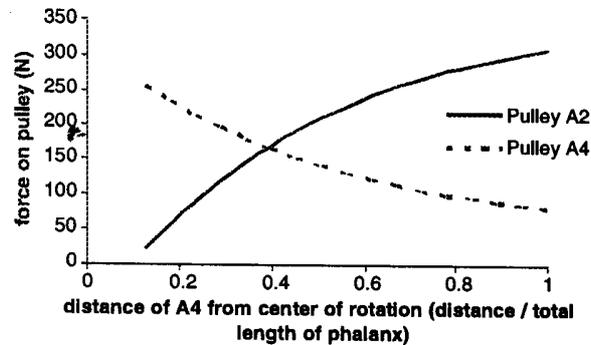
Comme pour la poulie A2, les différentes positions de A4 font varier les angles β_{A2} et β_{A4} :

- Si A4 se rapproche de l'articulation PIP, l'angle β_{A2} va augmenter et l'angle β_{A4} va diminuer. Les forces exercées sur A4 (F_{A4}) vont donc augmenter et les forces exercées sur A2 (F_{A2}) vont diminuer.

⁵⁸ I. ROLOFF, V.R. SCHÖFFL, L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ « Biomechanical model for the determination of the forces acting on the finger pulley system. », *Journal of biomechanics*. Vol. 39, p. 915-923 (2006).

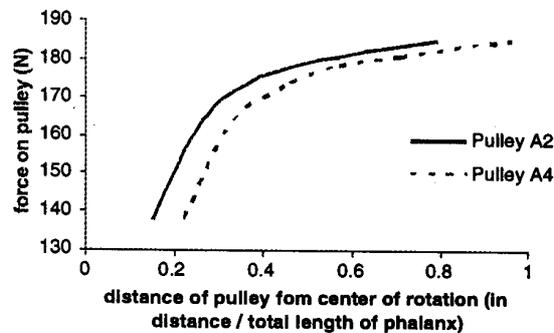
⁵⁹ I. ROLOFF, V.R. SCHÖFFL, L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ « Biomechanical model for the determination of the forces acting on the finger pulley system. », *Journal of biomechanics*. Vol. 39, p. 919 (2006).

- A l'inverse, si A4 s'éloigne de l'articulation PIP, l'angle β_{A4} va augmenter et l'angle β_{A2} va diminuer. F_{A4} va donc diminuer et F_{A2} va augmenter.



Graphique 6 : force exercées sur les poulies en fonction de la localisation de A4 ⁶⁰

Si on répartit de façon égale les forces F_{A2} et F_{A4} et qu'on éloigne ces deux poulies afin que les forces soient toujours égales, on obtient le graphique suivant :



Graphique 7 : force exercées sur les poulies lorsque $F_{A2} = F_{A4}$ ⁶¹

Ce graphique nous montre que les forces exercées, quand elles sont de même valeurs entre les poulies, sont les plus faibles lorsque ces poulies sont proches de l'articulation. Cela peut avoir

⁶⁰ I. ROLOFF, V.R. SCHÖFFL, L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ « Biomechanical model for the determination of the forces acting on the finger pulley system. », *Journal of biomechanics*. Vol. 39, p. 920 (2006).

⁶¹ I. ROLOFF, V.R. SCHÖFFL, L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ « Biomechanical model for the determination of the forces acting on the finger pulley system. », *Journal of biomechanics*. Vol. 39, p. 920 (2006).

des impacts sur la chirurgie. En effet, dans le cas de reconstruction des poulies, il semble intéressant de positionner les poulies A2 et A4 le plus proche possible de l'articulation PIP dans le but qu'elles subissent le moins de contraintes possibles.

3.5. Conclusions

Grace aux modélisations biomécaniques et aux expériences *in vivo*, des tendances ont pu être mises en avant en ce qui concerne les ruptures de poulies. C'est au travers de la littérature que les divers facteurs influençant les ruptures ont pu être évalués. Tout d'abord, nous avons vu que les forces s'exerçant sur les poulies sont plus élevées en position arquée qu'en tendue. Elles sont même très faible en position tendue ce qui explique que ces ruptures surviennent exclusivement en prise arquée.

En position arquée, le majeur et l'annulaire sont les plus susceptibles d'être atteint. En effet, nous avons vu que le seuil de rupture de la poulie A2 est quasiment atteint au niveau de ces doigts. Selon le modèle biomécanique, c'est donc la poulie A2 qui aurait le plus de risque de ce rompre. Cette rupture s'effectuant de la partie proximale à la partie distale.

Après avoir étudié les causes biomécaniques de ces ruptures, nous allons développer maintenant les différents moyens thérapeutiques mis en place afin de les prendre en charge.

4. APPROCHE THERAPEUTIQUE

4.1. Incidence des pathologies des poulies chez le grimpeur

Peu d'études nous renseignent sur les incidences des atteintes de poulies chez le grimpeur. Quelques études récentes^{62 63 64}, avec un nombre de sujets suffisants sont présentes dans la littérature.

Ces études ne concernent pas la même population de grimpeur. L'étude menée par A.J. Logan⁶⁵ a été effectuée à partir d'un questionnaire distribué aux membres d'un club d'escalade en Angleterre. Cette étude est représentative d'une population composée de différents niveaux, de différents âges et de différentes intensités de pratique. Elle regroupe aussi bien le grimpeur occasionnel, que le grimpeur confirmé, ou de compétition.

Une autre étude menée par V.R. Schöffl⁶⁶, également réalisée à partir d'un questionnaire, a été réalisée lors de compétitions nationales et internationales. Elle concerne donc des grimpeurs d'un niveau élevé, passant en moyenne, des voies cotées à 9- selon l'UIAA (7C selon la cotation Française).

Grâce à ces deux études et leurs différentes populations, nous pouvons étudier l'incidence des pathologies de poulies chez une population de grimpeurs confirmés et celle chez une population de niveaux et de pratiques hétérogènes, qui représenterait d'avantage la population générale.

⁶² A.J. LOGAN, N. MAKWANA, G. MASON, J. DIAS. « Acute hand and wrist injuries in experienced rock climbers », British journal of sport medicine. Vol. 38, p. 545-548 (2004).

⁶³ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », Wilderness and Environmental Medicine. Vol. 14, p. 94-100 (2003).

⁶⁴ G. JONES, A. ASGHAR, D. LLEWELLYN. « The epidemiology of rock-climbing injuries. », British journal of sports medicine. Vol. 42, p. 773-778 (2008).

⁶⁵ A.J. LOGAN, N. MAKWANA, G. MASON, J. DIAS. « Acute hand and wrist injuries in experienced rock climbers », British journal of sport medicine. Vol. 38, p. 545-548 (2004).

⁶⁶ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », Wilderness and Environmental Medicine. Vol. 14, p. 95 (2003).

4.1.1. Incidence chez le grimpeur confirmé^{67 68}

L'étude menée par V.R. Schöffl⁶⁹, qui a évalué 604 grimpeurs passant, en moyenne, des voies de niveau 7C selon la cotation Française, nous révèle que les doigts sont la partie du corps la plus touchée au sein d'une population confirmée. Le nombre de pathologies concernant cette zone est de 247 soit 41% de la population étudiée. Arrive ensuite le complexe coude/épaule (13,4%) puis les pieds (9,1%).

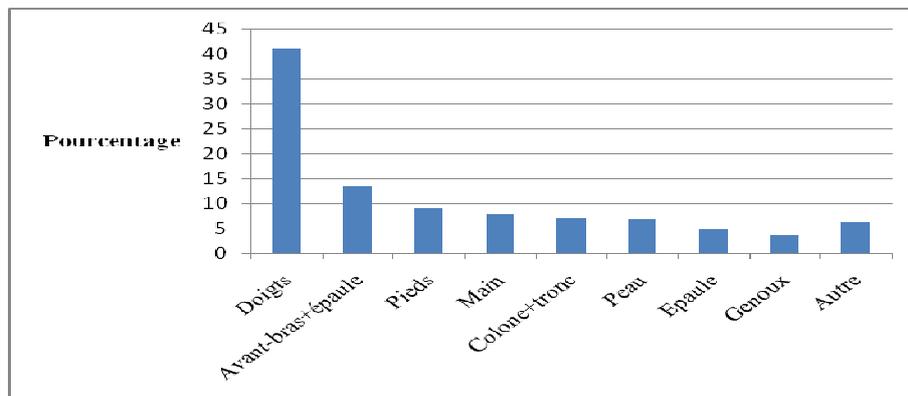
Selon une autre étude réalisée uniquement sur des grimpeurs de bloc, les pathologies des doigts concernent 49 % de la totalité des pathologies du grimpeur.⁷⁰

Dans l'étude réalisée par Schöffl, les atteintes de poulies sont divisées en deux sous catégories : les ruptures et les distensions.

Les ruptures de poulies sont les pathologies les plus fréquentes au niveau des doigts. Elles représentent 27,3% des atteintes des doigts ce qui représente 12,3% des pathologies totales du grimpeur confirmé.

La distension de la poulie est présente dans 17,7% des atteintes des doigts ce qui représente 7,9% des pathologies du grimpeur. C'est la seconde pathologie la plus fréquente.

Les atteintes des poulies représentent donc, à elles seules, 45% des atteintes des doigts, soit 18,5 % des pathologies totales du grimpeur confirmé.



Graphique 8 : localisation des pathologies du grimpeur⁷¹

⁶⁷ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », *Wilderness and Environmental Medicine*. Vol. 14, p. 94-100 (2003).

⁶⁸ L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, F. PACLET, F. COLLOU, F. MOUTET. « Middle and ring fingers are more exposed to pulley rupture than index and little during sport-climbing : a biomechanical explanation. », *Clinical Biomechanics*. Vol. 23, p. 562-570 (2008).

⁶⁹ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », *Wilderness and Environmental Medicine*. Vol. 14, p. 94-100 (2003).

⁷⁰ G. JOSEPHSEN, S. SHINNEMAN, J. TAMAYO-SARVER, K. JOSEPHSEN, D. BOULWARE, M. HUNT, H. PHAM. « injuries in bouldering : a prospective study. », vol.18, p. 280 (2007).

Ces atteintes touchent plus les hommes (90,2 %) que les femmes (9,8 %).

La main droite est touchée dans 56,6 % des atteintes, contre 43,4 % pour la main gauche.

Les doigts touchés sont le majeur, l'annulaire et l'auriculaire dans respectivement 38,5 %, 59,9 % et 1,6 % des cas.

La poulie A2 a été rompue chez 66,4 % des grimpeurs, la poulie A3 chez 4,9 % et la poulie A4 dans 22,9 % des cas. Les poulies A2 et A3 sont atteintes simultanément dans 3,3 % des cas et les poulies A2/A3/A4 dans 2,5 % des atteintes.⁷²

Le tableau ci-dessous résume toutes ces données.

	SEXE		COTE		DOIGTS			POULIE(S)				
	Homme	Femme	D	G	3	4	5	A2	A3	A4	A2/A3	A2/A3/A4
Etirement (n=48)	43	5	28	20	21	27	0	31	3	14	0	0
%	89,8	10,2	58,3	41,7	43,8	56,2	0	64,6	6,2	29,2	0	0
Rupture (n=74)	67	7	41	33	26	46	2	50	3	14	4	3
%	90,5	9,5	55,4	44,6	35,1	62,2	2,7	67,6	4,1	18,9	5,3	4,1
Total (n=122)	110	12	69	53	47	73	2	81	6	28	4	3
%	90,2	9,8	56,6	43,4	38,5	59,9	1,6	66,4	4,9	22,9	3,3	2,5

Tableau 1 : incidence des atteintes de poulies chez le grimpeur confirmé (n=122)⁷³

⁷¹ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », *Wilderness and Environmental Medicine*. Vol. 14, p. 95 (2003).

⁷² V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », *Wilderness and Environmental Medicine*. Vol. 14, p. 97 (2003).

⁷³ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », *Wilderness and Environmental Medicine*. Vol. 14, p. 97 (2003).

4.1.2. Incidence dans une population hétérogène de grimpeurs

L'étude menée par A.J. Logan ⁷⁴ (cf. Annexe) a été réalisée à partir de 545 réponses à un questionnaire. Elle concerne uniquement les pathologies de la main et du poignet. Ces zones sont atteintes chez 155 grimpeurs (28 % de la population étudiée). La rupture de poulie touche 12 personnes avec des pathologies de la main ou du poignet ; soit 8 % des atteintes de la main et du poignet et 2,2 % des pathologies totales du grimpeur. L'âge moyen est de 50 ans ce qui montre que la population étudiée est représentative de la population générale, et qu'elle n'est pas centrée exclusivement sur les performances de jeunes grimpeurs confirmés.

Les différences observées entre ces deux populations peuvent se justifier.

La première population pratique l'escalade en compétition et les voies passées sont généralement d'intensité très élevée (notamment les compétitions de bloc et de difficultés cf. première partie). Les doigts sont alors soumis à d'importantes contraintes qui sont moins présentes lors de la pratique dite « de loisir ». L'aspect compétitif amène généralement à un dépassement de soi qui expose les grimpeurs à des pathologies plus graves.

L'étude menée par A.J. Logan ⁷⁵ se base sur des grimpeurs d'âges et de niveaux hétérogènes, ne pratiquant pas nécessairement l'escalade en compétition. La performance est donc, en moyenne, moins recherchée, les contraintes sont plus faibles et les pathologies moins nombreuses.

Il est difficile de tirer des conclusions sur ces atteintes à partir de deux études seulement. Cependant, les résultats de ces études nous montrent que les ruptures de poulies semblent être une pathologie qui touche de façon préférentielle les grimpeurs d'un bon niveau avec une intensité de pratique élevée.

⁷⁴ A.J. LOGAN, N. MAKWANA, G. MASON, J. DIAS. « Acute hand and wrist injuries in experienced rock climbers », British journal of sport medicine. Vol. 38, p. 545 (2004).

⁷⁵ A.J. LOGAN, N. MAKWANA, G. MASON, J. DIAS. « Acute hand and wrist injuries in experienced rock climbers », British journal of sport medicine. Vol. 38, p. 545 (2004).

4.2. Diagnostic clinique

4.2.1. Classement des ruptures^{76 77}

Il existe une classification des ruptures de poulies. Quatre grades d'atteintes de poulies allant du simple étirement à la rupture multiple sont référencés ci-dessous.

Grade	Pathologie
1	Distension de poulie (entorse)
2	Rupture complète de A4 ou rupture partielle de A2 ou A3
3	Rupture complète de A2 ou A3
4	Multiplés ruptures (A2/A3 ou A2/A3/A4) ou rupture simple de A2 ou A3 combinée avec un traumatisme des lombricaux ou des ligaments latéraux.

Tableau 2 : les différents grades des atteintes de poulies⁷⁸

4.2.2. Circonstance de la rupture^{79 80}

La rupture de poulie est une pathologie directement liée à la pratique de l'escalade moderne. C'est dans ce sport que les sollicitations digitales sont les plus importantes. Cependant, elle peut être observée également dans la pratique du rugby ou du judo.

⁷⁶ V.R. SCHÖFFL, I. SCHÖFFL. "Finger pain in rock climbers: reaching the right differential diagnosis and therapy", The journal of sports medicine and physical fitness. Vol. 47, p.73 (2007).

⁷⁷ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », Wilderness and Environmental Medicine. Vol. 14, p. 94-100 (2003).

⁷⁸ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers. », Wilderness and Environmental Medicine. Vol. 14, p. 95 (2003).

⁷⁹ E.N. Kubiak, J. A. Klugman, J. A. Bosco. « Hand injuries in rock climbers. », Bulletin of the 172 NYU Hospital for Joint Diseases. Vol. 64 p.174 (2006).

⁸⁰ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers. », Wilderness and Environmental Medicine. Vol. 14, p. 94-100 (2003).

Les contraintes importantes engendrées par la pratique de l'escalade, génère une « pathologie micro-traumatique de surcharge spécifique »⁸¹. Ces atteintes de poulie surviennent lors d'entraînement intensif, notamment sur bloc, lorsque « le grimpeur travaille de manière répétitive un passage difficile »⁸². Elles se produisent presque exclusivement lors d'une mise en tension violente des doigts en position arquée lorsque le grimpeur effectue un brusque transfert d'appui ou que le pied perd le contact avec la paroi.

Rappelons que les doigts les plus touchés sont l'annulaire et le majeur au niveau des poulies A2 mais aussi A4 et/ou A3. Aucune atteinte du pouce n'est référencée dans la littérature.

Ce mécanisme est donc stéréotypé tout comme la symptomatologie clinique

4.2.3. Signes cliniques^{83 84}

Il existe deux types de tableaux cliniques : la rupture complète aigüe et la rupture progressive.

4.2.3.1. La rupture complète aigüe

Elle survient lors d'un effort brutal et entraîne douleur, gonflement et craquement.

- La douleur peut être immédiatement ressentie par le grimpeur ; cependant il n'est pas rare qu'elle n'apparaisse que plus tard, au repos. Elle se situe au niveau de l'insertion de la poulie lésée, au niveau des bords latéraux de P2 pour une atteinte de A4 et au niveau des bords latéraux de P1 pour une atteinte de A2. Cette douleur irradie plutôt distalement vers P2 ou vers l'IPD, elle n'irradie que rarement vers le poignet ou la paume de la main.

⁸¹ PH.PRADEL, D. CORCELLA, A. FORLI, D. GUINARD, F. MOUTET. « Une pathologie spécifique du grimpeur : les lésions de poulies digitales des fléchisseurs. », Revue Suisse de Médecine et Traumatologie du Sport (Schweizerische Zeitschrift für « Sportmedizin und Sporttraumatologie »). Vol 50 (1), p. 11 (2002).

⁸² D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur. », Chirurgie de la main. Vol. 23 p. 244 (2003).

⁸³ A. COTTEN. *Imagerie musculosquelettique. Pathologies locorégionales*. Ed. Masson, 2008 ; p. 316-317.

⁸⁴ PH.PRADEL, D. CORCELLA, A. FORLI, D. GUINARD, F. MOUTET. « Une pathologie spécifique du grimpeur : les lésions de poulies digitales des fléchisseurs. », Revue Suisse de Médecine et Traumatologie du Sport (Schweizerische Zeitschrift für « Sportmedizin und Sporttraumatologie »). Vol 50 (1), p. 13-14 (2002).

- Le gonflement se situe au niveau de la face palmaire en regard de la poulie atteinte : gonflement de P1 lors d'une atteinte de A2 et gonflement de P2 lors d'une atteinte de A4. Il n'est pas toujours présent et, dans le cas contraire, peut se révéler quelques heures après le traumatisme. Une ecchymose peut accompagner le gonflement.
- Le craquement est présent dans 80% des cas. Il se traduit par la perception d'un « clac » audible qui peut être perçu par l'assureur se trouvant plusieurs mètres plus bas.

La rupture peut être précédée d'un « syndrome de menace ». Le grimpeur ressent alors une douleur sur un doigt et une inefficacité de la prise dans les huit à dix jours précédant l'accident. ⁸⁵

4.2.3.2. *La rupture progressive*

« La rupture peut être progressive, la poulie étant surchargée de façon chronique. Il s'ensuit une distension progressive de la poulie cicatricielle. L'interrogatoire trouve de multiples épisodes de douleurs en regard de la poulie, cédant à l'arrêt du sport, puis réapparaissant au repos. » ⁸⁶

4.2.4. Examen clinique

Pour commencer, l'examen clinique doit être global : les mobilités des trois articulations du doigt doivent être inspectées ainsi que le FPD et le FSD de façon analytique. Le FSD s'examine lors d'une flexion de la deuxième phalange et le FDP lors de la flexion de la troisième phalange.

Les ligaments collatéraux des articulations IPD et IPP doivent être testés afin d'exclure toutes atteintes associées de ces ligaments. ⁸⁷

⁸⁵ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur. », *Chirurgie de la main*. Vol. 23 p. 244 (2003).

⁸⁶ A. COTTEN. *Imagerie musculosquelettique. Pathologies locorégionales*. Ed. Masson, 2008 ; p. 316

⁸⁷ V.R. SCHÖFFL, I. SCHÖFFL. « Finger pain in rock climbers: reaching the right differential diagnosis and therapy. », *The journal of sports medicine and physical fitness*. Vol. 47, p.71 (2007).

4.2.4.1. Effet corde d'arc

L'effet corde d'arc, bowstringing en anglais, est le signe pathognomonique d'une rupture complète de plusieurs poulies. Il se repère à la palpation de la face antérieure du doigt : lors d'une flexion contrariée d'un rayon digital, on sent le tendon fléchisseur venir en avant et se tendre sous la peau. Il doit être comparé avec le doigt homologue controlatéral en faisant varier les angles de flexion du doigt.⁸⁸

Selon Ph. Pradel⁸⁹, la corde d'arc correspond à « la luxation antérieure des tendons fléchisseurs, qui, au moment de la flexion active des doigts, ne sont plus plaqués à l'os par la poulie lésée ». Ce signe apparaît de manière évidente lors de ruptures multiples de poulies mais il est plus difficilement observable dans les formes moins sévères. En effet, une rupture complète ou partielle de poulie peut exister en l'absence d'un effet de corde d'arc palpable. Des examens complémentaires doivent donc être réalisés afin d'objectiver cet examen clinique et, c'est par l'imagerie médicale que le diagnostic pourra être posé avec certitude.

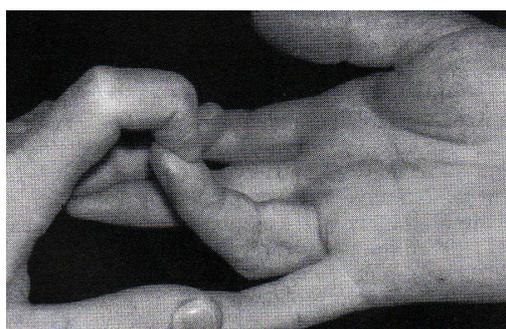


Figure 18 : effet corde d'arc⁹⁰

4.2.4.2. Impotence fonctionnelle

Lors de rupture isolée de poulie, la mobilité est facile et libre ; cependant elle est incomplète. Une perte de mobilité lors de la flexion globale du doigt est présente, la mobilité de l'interphalangienne proximale peut également être diminuée par le gonflement et la douleur.

⁸⁸ F. MOUTET. « Les poulies de l'appareil fléchisseurs : anatomie, pathologies, traitement. », Chirurgie de la main. Vol. 22, p. 1-12 (2003).

⁸⁹ PH.PRADEL, D. CORCELLA, A. FORLI, D. GUINARD, F. MOUTET. « Une pathologie spécifique du grimpeur : les lésions de poulies digitales des fléchisseurs. », Revue Suisse de Médecine et Traumatologie du Sport. (Schweizerische Zeitschrift für « Sportmedizin und Sporttraumatologie »). Vol 50 (1), p. 14 (2002).

⁹⁰ G. VANDEPUTTE, T. DUBERT. « Closed traumatic rupture of the flexor pulleys of a long finger associated with avulsion of the flexor digitorum superficialis. », Journal of hand surgery (British and European volume). Vol. 26, p. 266 (2001).

Dans les cas d'atteintes associées des muscles lombricaux, un flessus antalgique au niveau de l'IPP est présent, ainsi qu'un déficit d'extension du doigt dû aux contractures de ces muscles.

4.2.5. Diagnostic différentiel⁹¹

La pathologie la plus proche d'une rupture de poulie est la ténosynovite des muscles fléchisseurs des doigts. Cette pathologie est également une pathologie de surcharge micro-traumatique fréquente chez les grimpeurs et concerne les mêmes zones anatomiques que les ruptures de poulies. Le grimpeur ressent une douleur et une gêne fonctionnelle. Un gonflement peut aussi apparaître au niveau de la face palmaire de la phalange. Cependant, il n'existe pas d'effet corde d'arc dans cette pathologie.

4.3. Techniques d'imagerie

Les techniques d'imagerie médicale permettent de mettre en évidence, au niveau des doigts du grimpeur, la présence de quelques signes d'adaptation physiologique, prouvant les sollicitations et le stress subis lors de la pratique de l'escalade.

Parmi ces adaptations, notons l'hypertrophie de la capsule articulaire, l'épaississement des ligaments collatéraux, une hypertrophie de la corticale et une hypertrophie du tendon lui-même pouvant atteindre 50% de sa taille.⁹²

En cas d'atteinte de poulie, l'imagerie médicale est un bon adjuvant au diagnostic. La lecture et l'interprétation de l'imagerie médicale doivent néanmoins se faire avec prudence. C'est le praticien qui doit différencier les signes réels de pathologie des adaptations physiologiques.

4.3.1. La radiographie⁹³

Le diagnostic d'une rupture de poulie ne peut pas être établi par la radiographie.

⁹¹ V.R. SCHÖFFL, I. SCHÖFFL. « Finger pain in rock climbers: reaching the right differential diagnosis and therapy. », *The journal of sports medicine and physical fitness*. Vol. 47, p.71 (2007).

⁹² V.R. SCHÖFFL, I. SCHÖFFL. « Finger pain in rock climbers: reaching the right differential diagnosis and therapy. », *The journal of sports medicine and physical fitness*. Vol. 47, p.71 (2007).

⁹³A. COTTEN. *Imagerie musculosquelettique. Pathologies locorégionales*. Ed. Masson, 2008 ; p. 318

Néanmoins, des radiographies de face et de profil sont toujours réalisées. Elles permettent d'exclure des pathologies souvent présentes dans la pratique de l'escalade comme des avulsions osseuses ou des fractures de fatigues chroniques chez l'adolescent grimpeur.

4.3.2. L'échographie^{94 95}

L'échographie permet la visualisation des poulies A2 et A4 mais elle ne permet pas celle des poulies A3 et A5. La poulie A2 est observée dans 100 % des cas, et la poulie A4 dans 79 % des cas.

L'échographie statique, les doigts en rectitude, ne permet pas de faire le diagnostic de rupture de poulie.⁹⁶ En revanche, l'échographie dynamique en flexion contrariée (le patient effectuant une flexion du doigt contre la résistance de l'échographiste) permet de diagnostiquer les ruptures complètes.

Dans le plan sagittal, et en cas de rupture de poulie, cette dernière n'est plus visible.

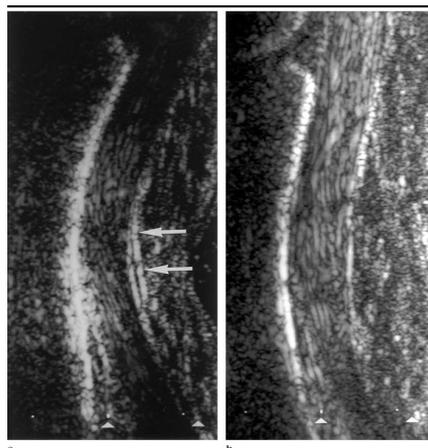


Figure 19 : échographie sagittale, doigt en extension avant (a) et après (b) rupture complète de A2⁹⁷

⁹⁴ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », *Radiology*. Vol. 217, p. 212-217 (2000).

⁹⁵ A. KLAUSER, F. FRAUSCHER, G. BODNER, E. J. HALPERN, M. F. SCHOCKE, P. SPRINGER, M. GABL, W. JUDMAIER, D. ZUR NEDDEN. « Finger Pulley Injuries in Extreme Rock Climbers : Depiction with Dynamic US. », *Radiology*. Vol. 222, p. 755-761 (2002).

⁹⁶ A. KLAUSER, F. FRAUSCHER, G. BODNER, E. J. HALPERN, M. F. SCHOCKE, P. SPRINGER, M. GABL, W. JUDMAIER, D. ZUR NEDDEN. « Finger Pulley Injuries in Extreme Rock Climbers : Depiction with Dynamic US. », *Radiology*. Vol. 222, p. 755-761 (2002).

⁹⁷ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR

Dans le plan transversal, c'est l'importance de l'écart entre l'os et le tendon qui signe la ou les rupture(s) de poulie. Cet écart n'est pas visible lorsque le doigt est en rectitude, c'est pourquoi cet examen doit impérativement être réalisé en flexion.

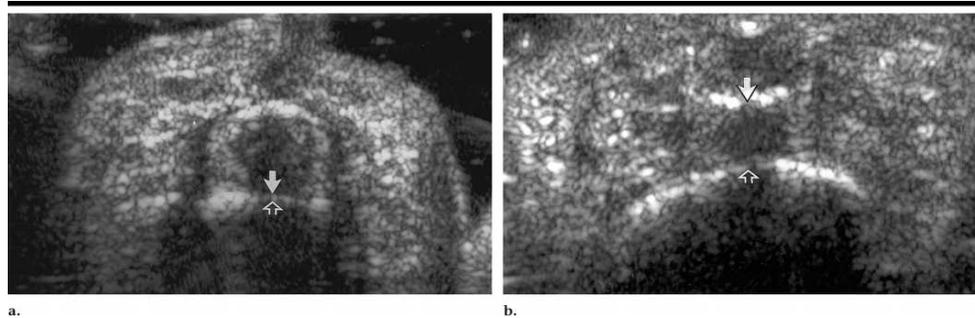


Figure 20 : coupe transversale d'une rupture complète de A2 en rectitude (a) et en flexion contrariée (b) ⁹⁸

Selon A. Cotten ⁹⁹« bien que les poulies soient directement analysables en échographie, le diagnostic de rupture repose sur l'écart anormal existant entre les tendons fléchisseurs et la face palmaire des phalanges. » La distance tendon-os augmente en fonction du nombre de poulies rompues.

La rupture partielle est plus difficilement diagnostiquée étant donné l'effet corde d'arc moins étendu en longueur et le déplacement moins important des tendons fléchisseurs.

Type de lésions	Avant lésion(s) (mm)		Après lésion(s) (mm)	
	Extension	Flexion	Extension	Flexion contrariée
Rupture complète A2	0,3	0,3	1,1	3,3
Rupture partielle A2	0,3	0,5	0,5	1,4
Rupture complète A2/A3	0,2	0,3	1,3	5,8
Rupture complète A2/A3/A4	0,3	0,5	1,2	6,2

Tableau 3 : distance os-tendon en fonction des lésions à l'échographie ¹⁰⁰

Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », *Radiology*. Vol. 217, p. 210 (2000).

⁹⁸ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », *Radiology*. Vol. 217, p. 210 (2000).

⁹⁹ A. COTTEN. *Imagerie musculosquelettique. Pathologies locorégionales*. Ed. Masson, 2008 ; p. 316-317.

¹⁰⁰ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », *Radiology*. Vol. 217, p. 208 (2000).

Une seconde étude de A. Klauser et al.¹⁰¹, réalisée sur des 47 doigts de grimpeurs de haut niveau, met également en évidence le phénomène de corde d'arc. Les examens sont réalisés in vivo et, contrairement, à l'étude précédente, des résultats concernant la poulie A4 sont établis.

	Distance tendon-os	
	Statique en rectitude	Dynamique en flexion contrariée
Sans rupture (n=28)	0,1 ± 0,1 mm	0,3 ± 0,2 mm
Rupture incomplète (n=15)	0,9 ± 0,7 mm	1,5 ± 0,6 mm
Rupture complète A2 (n=16)	2,8 ± 0,7 mm	4,6 ± 0,6 mm
Rupture complète A4 (n=9)	1,5 ± 0,4 mm	3,1 ± 0,5 mm
Rupture combinée A3/A4 (n=6)	2,9 ± 0,6 mm	6,1 ± 0,5 mm

Tableau 4 : Distance tendon-os à l'échographie¹⁰²

4.3.3. Le scanner¹⁰³

Le scanner ne permet pas la visualisation directe des poulies tant dans le plan sagittal que dans le plan frontal.

Selon F. Moutet¹⁰⁴, les ruptures de poulies, qu'elles soient partielles ou totales, peuvent être mises en évidence sur des coupes sagittales de 1,5 mm d'épaisseur et dans une position arquée. Ces coupes nous permettent d'objectiver les variations de l'espace entre le tendon fléchisseur et l'os (l'effet de corde d'arc). Ces clichés sont bilatéraux et doivent être comparés avec le doigt homologue controlatéral dans la même position.

¹⁰¹ A. KLAUSER, F. FRAUSCHER, G. BODNER, E. J. HALPERN, M. F. SCHOCKE, P. SPRINGER, M. GABL, W. JUDMAIER, D. ZUR NEDDEN. « Finger Pulley Injuries in Extreme Rock Climbers : Depiction with Dynamic US. », Radiology. Vol. 222, p. 755-761 (2002).

¹⁰² A. KLAUSER, F. FRAUSCHER, G. BODNER, E. J. HALPERN, M. F. SCHOCKE, P. SPRINGER, M. GABL, W. JUDMAIER, D. ZUR NEDDEN. « Finger Pulley Injuries in Extreme Rock Climbers : Depiction with Dynamic US. », Radiology. Vol. 222, p. 755-761 (2002).

¹⁰³ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », Radiology. Vol. 217, p. 201-212 (2000).

¹⁰⁴ F. MOUTET. « Les poulies de l'appareil fléchisseurs : anatomie, pathologies, traitement. », Chirurgie de la main. Vol. 22, p. 8 (2003).

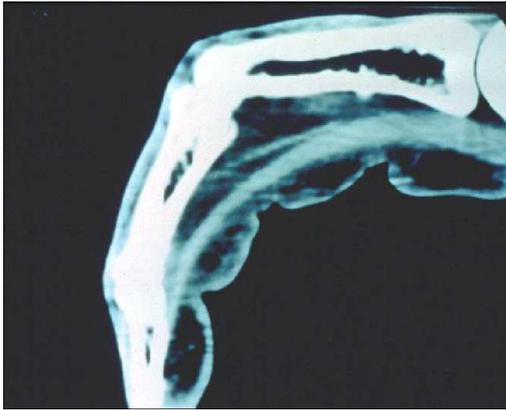


Figure 21 : aspect d'une corde d'arc par rupture complète de poulie A2 mise en évidence au scanner ¹⁰⁵



Figure 22 : coupe sagittale d'une rupture de A2 en extension (a) et en flexion contrariée (b) ¹⁰⁶

La distance tendon-os varie selon les atteintes ; le tableau 3 montre l'effet de corde d'arc plus ou moins accentué que prennent les tendons fléchisseurs en cas de rupture d'une ou plusieurs poulies. Nous remarquons que, plus il y a de poulies rompues et plus l'écart entre le tendon et l'os est important ; de plus, pour une même atteinte, l'écart est plus important en flexion contrariée qu'en extension.

Notons que la ténographie (injection d'un produit de contraste dans le tendon) combinée au scanner ne permet pas de visualiser les poulies.

Type de lésions	Avant lésion(s) (mm)		Après lésion(s) (mm)	
	Extension	Flexion	Extension	Flexion contrariée
Rupture complète A2	0,6	0,8	1,8	3,9
Rupture partielle A2	0,8	0,8	0,8	1,9
Rupture complète A2/A3	0,5	0,5	1,9	5,5
Rupture complète A2/A3/A4	0,7	0,7	2,0	7,0

Tableau 5 : distance os-tendon en fonction des lésions ¹⁰⁷

¹⁰⁵ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur », *Chirurgie de la main*. Vol. 23 p. 245 (2003).

¹⁰⁶ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », *Radiology*. Vol. 217, p. 201-212 (2000).

¹⁰⁷ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », *Radiology*. Vol. 217, p. 206 (2000).

4.3.4. Imagerie par Résonance Magnétique (IRM) ^{108 109}

L'IRM met en évidence, de la même manière que le scanner, le phénomène de corde d'arc mais en « négatif ». L'examen doit se faire bilatéralement, le doigt en position arquée en comparant le coté pathologique avec son homologue controlatéral.

Lors d'une IRM d'un doigt sain, la poulie A2 est visualisée dans 100% des cas et la poulie A4 dans 91% des cas.

Si l'IRM est réalisée dans le plan transversal, les poulies se visualisent au niveau de leurs insertions sur la phalange. Dans le cas d'une rupture, on observe une rétraction entre le tendon et l'os, et une discontinuité des fibres.

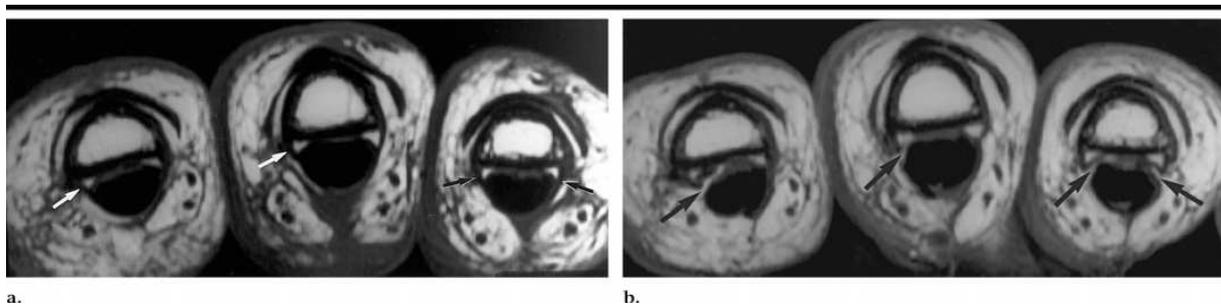


Figure 23 : coupe transversal avant (a) et après (b) rupture complète de A2 ¹¹⁰

Cependant, dans le plan sagittal, c'est la non-visualisation de la poulie qui signe sa rupture ; ainsi qu'une augmentation de la distance tendon-os.

¹⁰⁸F. MOUTET. « Les poulies de l'appareil fléchisseurs : anatomie, pathologies, traitement. », Chirurgie de la main. Vol. 22, p. 8 (2003).

¹⁰⁹ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », Radiology. Vol. 217, p. 208 (2000).

¹¹⁰ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », Radiology. Vol. 217, p. 206 (2000).



Figure 24 : coupe sagittale d'une rupture de A2 et A3 en extension (a), flexion (b) et flexion forcée (c) et sur cadavre (d) ¹¹¹

Type de lésions	Avant lésion(s) (mm)		Après lésion(s) (mm)	
	Extension	Flexion	Extension	Flexion contrariée
Rupture complète A2	0,6	0,6	1,8	3,8
Rupture partielle A2	0,7	0,8	0,8	1,6
Rupture complète A2/A3	0,5	0,6	1,9	5,7
Rupture complète A2/A3/A4	0,6	0,6	2,0	7,1

Tableau 6 : distance os-tendon en fonction des lésions ¹¹²

¹¹¹ O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », *Radiology*. Vol. 217, p. 206 (2000).

¹¹² O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R. D. BOUTIN, AND D. RESNICK ET AL. « Pulley System in the Fingers: Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath. », *Radiology*. Vol. 217, p. 201-212 (2000).

4.3.5. Conclusion : arbre thérapeutique décisionnel

Afin de prendre en charge une rupture de poulie le plus efficacement possible, l'arbre thérapeutique décisionnel suivant doit être suivi. Les traitements seront adaptés aux différents types d'atteinte.

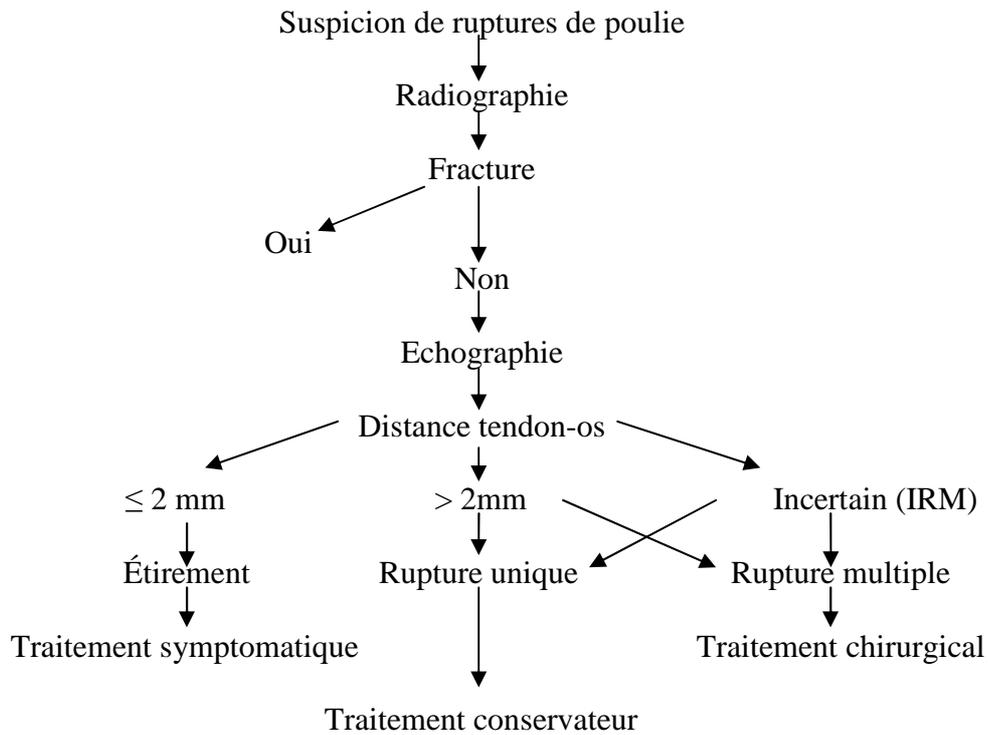


Figure 25 : arbre décisionnel thérapeutique ¹¹³

¹¹³ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », Wilderness and Environmental Medicine. Vol. 14, p. 95 (2003).

5. PRISE EN CHARGE THERAPEUTIQUE

5.1. Traitement conservateur

Le traitement conservateur est mis en place lors de rupture simple ou d'étirement de poulie contrairement au traitement chirurgical qui est effectué lors de ruptures multiples, lorsqu'un phénomène de corde d'arc est détecté.

Le traitement conservateur doit être commencé le plus tôt possible suite à la blessure.

Les atteintes de grade 1, 2 et 3 nécessitent un traitement conservateur avec une immobilisation par attelle ou application d'un *tape*.

5.1.1. Traitement des atteintes de grade 1

Pour les atteintes de grade 1, c'est-à-dire pour les étirements de poulies, l'immobilisation n'est pas préconisée mais le port d'un *tape* est conseillé; seul un traitement fonctionnel et symptomatologique est effectué pendant deux à quatre semaines. La reprise du sport est autorisée doucement après la quatrième semaine et la reprise de la compétition peut commencer à la sixième semaine post-traitement. Un *tape* est appliqué pendant les trois premiers mois lors de la pratique sportive.

5.1.2. Traitement des atteintes de grade 2

Les atteintes de grade 2 nécessitent une immobilisation par attelle pendant une dizaine de jours. Le traitement est ensuite le même que pour les atteintes de grade 1, excepté que la reprise de la compétition qui est reportée entre la sixième et la huitième semaine.

5.1.3. Traitement des atteintes de grade 3

Pour finir, les atteintes de grade 3 sont traitées par immobilisation avec attelle pendant dix à quatorze jours. Le traitement fonctionnel est effectué pendant quatre semaines et le port d'une bague rigide est conseillé. La reprise du sport est autorisée entre la sixième et la huitième semaine et la reprise de la compétition est possible au troisième mois après le début du traitement. Un *tape* doit systématiquement être appliqué jusqu'au sixième mois.

Le tableau ci-dessous résume les différents traitements conservateurs

	Grade 1	Grade 2	Grade 3
Pathologie	Etirement/distension de la poulie	Rupture complète de A4 ou rupture partielle de A2 ou A3	Rupture complète de A2 ou A3
Immobilisation	Pas d'immobilisation	10 jours	10 à 14 jours
Protection de la poulie	Tape	Tape	Bague rigide
Reprise douce du sport	Après 4 semaines	Après 4 semaines	Après 6 à 8 semaines
Reprise complète du sport	6 semaines	6 à 8 semaines	3 mois
Port de tape lors de la pratique du sport	3 mois	3 mois	6 mois

Tableau 7 : traitement des atteintes de poulies¹¹⁴

5.2. Traitement chirurgical

5.2.1. Introduction

Comme nous l'avons expliqué dans la partie thérapeutique de notre travail, le traitement chirurgical est employé seulement dans le cas de rupture multiples des poulies. Selon D. Voulliaume¹¹⁵, « En l'absence d'intervention, la poulie cicatrise en position vicieuse ou pas

¹¹⁴ V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers », *Wilderness and Environmental Medicine*. Vol. 14, p. 96 (2003).

¹¹⁵ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur », *Chirurgie de la main*. Vol. 23 p. 247 (2003).

du tout, aboutissant à une perte d'efficacité de la prise. Seul un traitement chirurgical peut alors redonner une bonne fonction au doigt lésé. »

Si la poulie a seulement subi un étirement ou une rupture unique, le traitement conservateur est préféré.

De nombreuses techniques chirurgicales ayant pour objectif la reconstruction de poulies existent. En voici une liste non exhaustive selon D. Voulliaume ¹¹⁶ :

- La technique de Bunnel : un prélèvement du long palmaire ou de l'extenseur propre du 5^{ème} doigt est effectué. Le greffon obtenu est alors enroulé autour de la phalange au niveau de la poulie lésée.
- Lister obtient un greffon en prélevant un fragment du ligament annulaire dorsal du carpe (LADC) au niveau du 4^{ème} compartiment des extenseurs et enroule ce fragment autour de la phalange. Ce fragment peut aussi passer au travers de la phalange mais en la fragilisant.
- Tropet pratique une suture simple de la poulie sur des cas vus en urgence

Toutes ces techniques sont employées, mais en ce qui concerne les grimpeurs, seules des variantes chirurgicales des techniques de Lister ou de Bunnel sont utilisées. En effet, les techniques de Lister ou de Bunnel utilisent des greffons qui encerclent toute la phalange, ce qui peut « interférer sur le mécanisme d'extension et peut entraîner un blocage lors de l'extension » ¹¹⁷. Il a donc fallu trouver une solution à ces techniques afin d'éviter ces blocages. C'est pourquoi d'autres techniques comme celles proposées par D. Voulliaume ¹¹⁸ ou par R. Arora ¹¹⁹ ont été élaborées. Ces techniques sont des variantes de celles de Lister et de Bunnel mais qui n'encerclent pas la phalange.

Notons que dans les études suivantes, seuls les majeurs et les annulaires sont atteints ce qui confirme les incidences données précédemment.

¹¹⁶ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur », Chirurgie de la main. Vol. 23 p. 247 (2003).

¹¹⁷ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 60 (2007).

¹¹⁸ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur », Chirurgie de la main. Vol. 23 p. 243-248 (2003).

¹¹⁹ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 60-66 (2007).

5.2.2. Traitement préopératoire

Le traitement préopératoire est basé sur le port d'une bague (rigide ou souple) et sur la prise d'anti-inflammatoires non stéroïdiens par voie locale ou générale. Ces traitements sont associés à des ultra-sons, des injections de corticoïdes, de la mésothérapie ou des massages.

Suite à ce traitement, la douleur disparaît mais le doigt reste non-fonctionnel surtout au niveau de la force et de la mobilité ; dans ces cas-là, le traitement chirurgical semble indispensable afin d'obtenir un meilleur résultat.

5.2.3. Techniques opératoires

5.2.3.1 Utilisation d'un greffon du LADC sans enroulement autour de la phalange.^{120 121}

Cette intervention se déroule sous anesthésie locorégionale et est pratiquée en ambulatoire.

Un greffon d'une dizaine de millimètre de largeur et de 3 ou 4 cm de longueur est prélevé au niveau du 4^{ème} compartiment des extenseurs du LADC. Ce prélèvement est intéressant puisqu'il présente l'avantage d'avoir une face synovialisée (la face profonde) tout comme les poulies qu'il doit remplacer. Cette face synovialisée permet un réel glissement entre les tendons fléchisseurs et la nouvelle poulie.

L'accès à la poulie rompue se fait par une incision de Bruner, le greffon est suturé aux berges restantes de la poulie rompues (qui peuvent être encore présentes plusieurs mois après l'accident) avec quatre sutures résorbables. Il faut noter que, dans un premier temps, le chirurgien doit retirer le tissu cicatriciel qui est souvent présent à l'endroit de l'atteinte.

Au niveau de la poulie A2, cette opération peut se réaliser en ajoutant des lames de périostes au niveau des extrémités du greffon. Le prélèvement du greffon du LADC se fait de la même manière que vue précédemment, excepté le prélèvement d'une lame de périoste de chaque côté du greffon. Le plancher fibro-osseux de la gaine du tendon est excisé afin de permettre

¹²⁰ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur », Chirurgie de la main. Vol. 23 p. 243-248 (2003).

¹²¹ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 60-66 (2007).

aux lames de périoste d'être en contact direct avec l'os. La nouvelle poulie est alors enroulée autour des tendons, le doigt en extension. Le greffon est fixé à la phalange avec une suture non-résorbable.

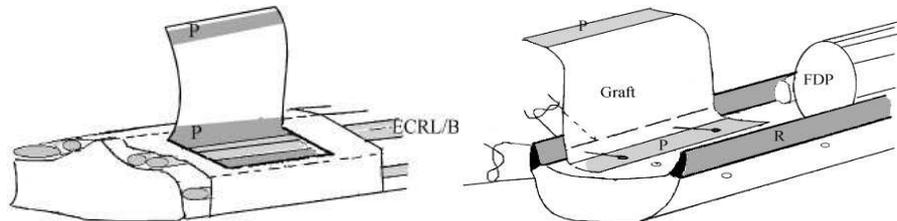


Figure 26 : prélèvement du greffon du LADC (gauche) et mise en place au niveau de la poulie (droite) ¹²²

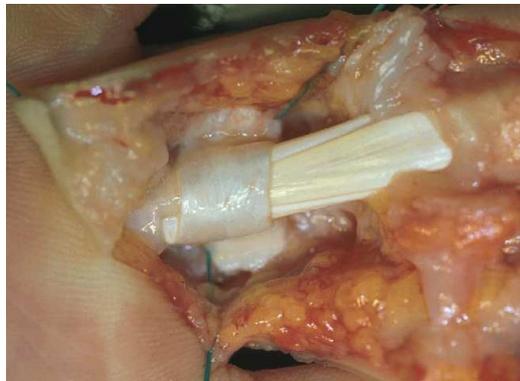


Figure 27 : résultat in vivo de la mise en place du greffon ¹²³

5.2.3.2. Utilisation d'un greffon du long palmaire sans enroulement autour de la phalange ¹²⁴

Le principe de cette opération est simple : le chirurgien prélève un greffon au niveau du long palmaire. Il passe ce dernier au travers des perforations faites sur les berges restantes de la poulie rompues. Le tendon est mis en place comme les lacets d'une chaussure afin de répartir

¹²² M. GABL, C. REINHART, M. LUTZ, G. BODNER, P. ANGERMANN, S. PECHLANER. « The use of a graft from the second extensor compartment to reconstruct the A2 flexor pulley in the long finger », Journal of Hand Surgery (British and European Volume). Vol. 25, p. 99-100 (2000).

¹²³ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 62 (2007).

¹²⁴ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 60-66 (2007).

les charges, et les extrémités restantes sont soit suturées entre elles, soit suturées aux extrémités de la poulie. Cette technique opératoire a été mise en place par Kleinert et Bennet.

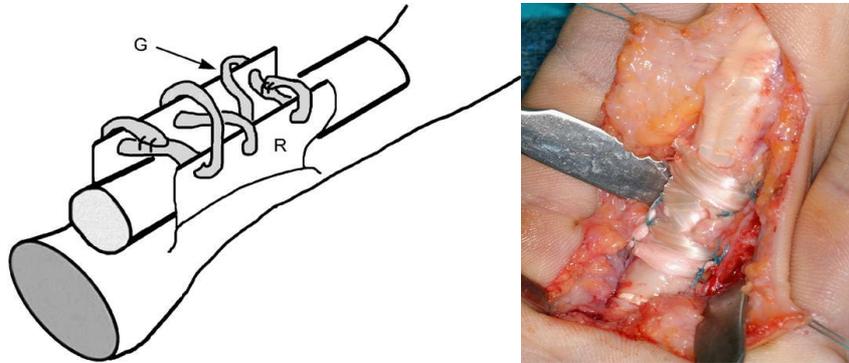


Figure 28 : mise en place du greffon tendineux et résultat in vivo ¹²⁵

5.2.4. Traitement post-opératoire

5.2.4.1. Objectifs à atteindre

La rééducation postopératoire a pour but de récupérer un doigt indolore et fonctionnel, tout en répondant si possible aux exigences sportives souvent élevées du grimpeur opéré. La cicatrisation de la nouvelle poulie se fait en six semaines et imposera les délais d'immobilisation.

Les tendons doivent circuler sans frottements au niveau de la poulie reconstruite afin de ne pas créer d'adhérences. Le mouvement doit être récupéré totalement au niveau de l'articulation atteinte tout comme au niveau des articulations voisines si leur mobilité a été affecter. La douleur doit être diminuée le plus efficacement possible. Enfin, le thérapeute doit sensibiliser le patient aux gestes préventifs comme l'échauffement, l'hydratation, les étirements, l'utilisation préférentielle de la prise tendue.

¹²⁵ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 62 (2007).

5.2.4.2. Traitement proprement dit

M. Gabl ¹²⁶, conseil le port d'une attelle rigide partant de l'avant bras et qui couvre toute la surface des doigts longs, pendant deux semaines. Cette période passée, une attelle plus petite allant du pli palmaire proximal jusqu'au bout du doigt et réunissant le doigt atteint avec un de ses voisins (syndactylisation) sera portée pendant quatre semaines. Ces attelles ont pour but d'empêcher la flexion des articulations MP et IPP. Une fois l'attelle enlevée, les mobilisations actives douces peuvent commencer sous surveillance d'un kinésithérapeute. A douze semaines postopératoires, le travail contre résistance peut commencer progressivement si la mobilité complète et sans douleur est retrouvée. La reprise de l'escalade est autorisée au sixième mois postopératoire.

D. Voulliaume ¹²⁷ préconise le port d'une attelle avec le poignet fléchi à 40° et l'articulation MP fléchi à 80° pendant 45 jours accompagnée d'une bague rigide. Passée cette période, seule la bague rigide est portée de nouveau pendant 45 jours.

R. Arora ¹²⁸ propose une attelle avec les articulations MP et PIP en extension que le patient doit porter pendant quatre semaines. Cette attelle s'étend du pli palmaire proximal jusqu'au bout des doigts. Les mobilisations actives sont commencées une fois ces quatre semaines terminées. Ce délais de quatre semaines nous semble court étant donné qu'il faut à la poulie six semaines afin de cicatriser totalement, nous conseillons donc plutôt les rééducations postopératoire décrites par Gabl et Voulliaume.

5.2.5. Résultats

Les résultats présentés ci-dessous, sont la conséquence du geste chirurgical mais également de la rééducation faites par le sujet ; la rééducation étant similaire quelque soit la technique chirurgicale employées.

¹²⁶ M. GABL, C. REINHART, M. LUTZ, G. BODNER, P. ANGERMANN, S. PECHLANER. « The use of a graft from the second extensor compartment to reconstruct the A2 flexor pulley in the long finger », Journal of Hand Surgery (British and European Volume). Vol. 25, p. 99-100 (2000).

¹²⁷ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur. », Chirurgie de la main. Vol. 23 p. 243-248 (2003).

¹²⁸ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 60-66 (2007).

5.2.5.1. Résultats de l'opération avec greffon du LADC

R. Arora ¹²⁹ a pratiqué cette opération sur 13 grimpeurs. En préopératoire, il n'y avait pas de limitation au niveau des articulations MP et IPD. Les pertes d'amplitude concernaient uniquement l'articulation IPP.

Avant la chirurgie, la flexion de l'articulation IPP était de 82° ; après opération, elle est de 91° ce qui correspond à 97 % de la même valeur prise du côté sain. En ce qui concerne la force de préhension, elle est de 48 kg après l'opération ce qui correspond à 96 % de la force du côté sain. La circonférence du doigt a augmenté de 6 mm après l'opération (de 70 mm à 76 mm). Cependant, elle est inférieure au côté sain et correspond à 96 % de la circonférence du doigt controlatéral.

D. Voulliaume ¹³⁰ a effectué cette opération sur 12 grimpeurs de haut niveau (passant au minimum des voies cotées 7a. Sur cette population, cinq patients (41,7 %) ont progressé par rapport à leur niveau préopératoire, cinq autres (41,7 %) ont retrouvé leur niveau ; les deux derniers (16,6 %), par contre, ont vu leur niveau diminuer suite à l'opération. Parmi ces grimpeurs, neuf ont évalué le résultat de l'opération comme excellent (75 %), deux l'ont évalué comme bon (16,6 %) et un l'a évalué moyen (8,4 %).

Cette même opération, pratiquée par M. Gabl ¹³¹, donne de bons résultats. L'effet de corde d'arc a disparu chez tous les patients, excepté un, et tous les patients souhaiteraient subir la même intervention s'ils étaient, encore une fois, victime de la même pathologie. Tous les grimpeurs ont retrouvé leur niveau préopératoire.

5.2.5.2. Résultats de l'opération avec greffon du long palmaire ¹³²

¹²⁹ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 60-66 (2007).

¹³⁰ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur. », Chirurgie de la main. Vol. 23 p. 243-248 (2003).

¹³¹ M. GABL, C. REINHART, M. LUTZ, G. BODNER, P. ANGERMANN, S. PECHLANER. « The use of a graft from the second extensor compartment to reconstruct the A2 flexor pulley in the long finger. », Journal of Hand Surgery (British and European Volume). Vol. 25, p. 98-101 (2000).

¹³² R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 60-66 (2007).

Avant l'opération, il n'existait pas de perte de mobilité au niveau des articulations MP et IPD, c'est pourquoi seuls les chiffres concernant l'articulation IPP sont présentés ici.

La flexion au niveau de l'articulation IPP est passée de 80° en préopératoire à 91° suite à l'opération, soit une augmentation de 13,7 %. L'amplitude postopératoire vaut 94 % de l'amplitude au niveau du doigt sain controlatéral. La force de préhension est de 48 kg soit 98 % par rapport au coté sain. La force de pincement bi-digitale est équivalente entre les deux mains. La circonférence du doigt passe de 66 mm à 62 mm (94% de la circonférence du doigt controlatéral) après l'opération.

Tous les grimpeurs ont retrouvé leur niveau préopératoire et souhaiteraient subir la même opération s'ils étaient de nouveau victime d'une rupture de poulie.

5.2.6. Conclusion

Bien que les populations étudiées soient peu nombreuses, les résultats concernant les deux types d'opération semblent similaires. Le doigt opéré retrouve presque la totalité de sa mobilité ainsi que sa force et l'effet de corde d'arc n'est plus présent. Les grimpeurs retrouvent presque tous leur niveau sportif, certains ont même progressé.

Les praticiens conseillent le greffon du LADC pour les grimpeurs qui sont soumis à des charges extrêmes. En effet, le greffon du LADC est intrasynovial et produit moins de friction qu'un greffon tendineux.¹³³

L'utilisation de greffons synthétiques en silicone, en nylon ou en polytétrafluoroéthylène n'ont pas donnée de bons résultats au niveau de la solidité.¹³⁴

Ces opérations donnent de très bons résultats et sont donc à conseiller pour les grimpeurs avec des ruptures multiples de poulie. Il est important de faire comprendre à ces sportifs que le geste chirurgical n'altérera en rien leur niveau ; cela les influencera certainement sur leur décision de subir ou non cette opération.

¹³³ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 65 (2007).

¹³⁴ M. GABL, C. RANGGER, M. LUTZ, C. FINK, A. RUDISCH, S. PECHLANER. « Disruption of the finger flexor pulley system in elite rock climbers. », The american journal of sports medicine. Vol. 26, p. 654 (1998).

5.3. Traitement kinésithérapeutique

La rééducation est préconisée par de nombreux auteurs.^{135 136 137} Cependant, l'efficacité du traitement kinésithérapeutique seulement n'a pas été évaluée.

Un protocole décrit sur le site internet www.kinescalade.com¹³⁸, est présenté dans la partie suivante. Ce protocole n'a pas fait l'objet de recherches mais c'est le seul présent dans la littérature.

Il est important de mentionner que ce protocole a été complété grâce à un article paru dans la revue « kinésithérapie scientifique » qui ne traite pas spécifiquement de la rupture de poulie mais de « la prise en charge du grimpeur blessé »¹³⁹. L'auteur de cet article est également celui du protocole.

5.3.1. Rééducation

La rééducation peut commencer immédiatement après l'accident ou après l'intervention chirurgicale. Si le patient reçoit un traitement conservateur, le kinésithérapeute peut commencer son traitement en retirant l'attelle du patient.

➤ Phase 1 : J0 à J15

Lors de cette phase, le thérapeute essaie essentiellement de diminuer l'inflammation et la douleur par les techniques suivantes :

¹³⁵ M. GABL, C. REINHART, M. LUTZ, G. BODNER, P. ANGERMANN, S. PECHLANER. « The use of a graft from the second extensor compartment to reconstruct the A2 flexor pulley in the long finger », Journal of Hand Surgery (British and European Volume). Vol. 25, p. 98-101 (2000).

¹³⁶ R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 60-66 (2007).

¹³⁷ D. VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulies chez le grimpeur », Chirurgie de la main. Vol. 23, p. 243-248 (2003).

¹³⁸ http://www.kinescalade.com/protocole_poulie_1.pdf . Consulté le 03/03/2009.

¹³⁹ J.W. LOUBRIAT, C. BEYLER. « La prise en charge du grimpeur blessé. », Kinésithérapie la revue. Vol. 58, p. 19-22 (2006).

- Massage au glaçon trois fois par jour.
- Application de pommade anti-inflammatoire lorsque le tape est enlevé pour être remplacé. L'application de cette pommade peut donc se faire sous le tape qui jouera alors un rôle de cataplasme.
- Prise d'anti-inflammatoires non stéroïdiens (AINS).
- Massage décontracturant de l'avant bras (muscles fléchisseurs des doigts ++).

➤ Phase 2 : J15 à J30

A cette période, on cherche à redonner de la mobilité au doigt tout en préservant la poulie.

- Mobilisations passive stricte du doigt une fois le tape retiré.
- Massage au glaçon trois fois par jour.
- Massage décontracturant de l'avant bras (muscles fléchisseurs des doigts ++).
- Ultrasons appliqué en pulsé à une intensité de 0,5W/cm² pendant cinq minutes.
- TENS : une première électrode placée en regard de l'articulation MP et une deuxième au dessus de l'articulation IPP. Ces électrodes sont de petits formats.
- Travail de la cicatrice par du palpé-roulé (manuelle ou instrumentalisé) lorsque cette dernière est totalement refermée.

➤ Phase 3 : J30 à J60

- Le massage au glaçon est continué. Si le doigt est encore douloureux, ce massage est effectué comme décrit dans la phase 1 ; si le doigt n'est plus douloureux, le massage au glaçon peut être effectué seulement une fois par jour.
- L'application de la pommade anti-inflammatoire est encore conseillée à ce stade de la rééducation.
- Massage décontracturant de l'avant bras (muscles fléchisseurs des doigts ++).
- Ultrasons, comme indiqué lors des phases précédentes.
- Mobilisations passives et, s'il y a absence de douleur, la mobilisation active sans résistance peut commencer. Il est conseillé au patient de tenir le tendon plaqué contre la première phalange avec sa main saine au niveau du doigt lésé. Il peut ainsi sentir l'effet de corde d'arc et le diminuer.

- La reprise douce de l'escalade peut être effectuée à J30 pour les atteintes de grade 1 et 2 mais exclusivement sous certaines conditions : cette reprise sportive doit être non-douloureuse la prise arquée étant formellement interdite, le grimpeur ne doit pas chercher la performance et l'application du tape est obligatoire. Le grimpeur doit s'attaquer à des voies d'un niveau bien inférieur au sien avant l'accident et favoriser le travail des pieds.

La reprise douce peut commencer à J45 pour les atteintes de grade 3, les conditions de reprise étant exactement les mêmes que celles énoncées ci-dessus.

A J45, une reprise complète est permise pour des atteintes de grade 1.

Nous insistons sur le fait que si une douleur apparaît, le sport doit immédiatement être arrêté.

➤ Phase 4 : J60 à J180

- Ultrasons comme indiqué à la phase 1.
- Massage décontractant de l'avant bras (muscles fléchisseurs des doigts ++).
- Mobilisations passives puis mobilisations actives et enfin mobilisations actives contre résistance. La main controlatérale continue à contrôler l'effet de corde d'arc en plaquant le tendon contre la première phalange. Cette mobilisation active contre résistance peut également être commencée en position tendue sous couvert d'un tape afin d'apprendre au grimpeur le geste sportif qui préservera les poulies.
- La reprise complète de l'escalade pour les atteintes de grade 2 se fait à J60 et à J180 pour celles de grade 3
- La douleur ainsi que la prise arquée sont toujours formellement interdites.
- Sensibilisation et apprentissage par le kinésithérapeute des gestes préventifs à effectuer tel qu'une bonne hydratation, un échauffement complet et progressif, une séance d'étirement, l'utilisation de la prise tendue.

5.3.2. Taping

En ce qui concerne les atteintes de poulies, plusieurs types de *tapes* sont référencés dans la littérature. Ils ont un rôle préventif et sont généralement appliqués par le grimpeur lui-même au niveau de la première ou de la deuxième phalange ; ils lui permettent de retrouver de la force, de la stabilité et de la confiance dans la prise. Ces *tapes* prophylactiques sont utilisés suite à des douleurs, des sensations d'instabilité d'un doigt, ou après un traitement conservateur ou chirurgical. Ils tentent de soulager les poulies en diminuant l'effet corde d'arc et en réduisant l'angle entre la poulie et le tendon afin d'éviter l'aggravation ou la création de l'atteinte.

A. Schweizer¹⁴⁰ compare deux sortes de *tape* : un *tape* qui s'applique au niveau de la berge distale de la poulie A2 et le *Schweizer-Tape* qui s'applique à la partie distale de la première phalange. Il a réalisé ses expériences sur quatre sujets sains et a mesuré l'impact de ces deux *tapes* sur l'effet de corde d'arc. Cet effet est évalué sans *tape*, puis avec un *tape* au niveau du bord distal de A2 et enfin, avec le *Schweizer-Tape*. Il mesure ensuite le diamètre du doigt en position arquée sans *tape* puis avec les deux sortes de *tape* (le diamètre du doigt augmente lors du phénomène de corder d'arc). Le *tape* utilisé a une largeur de 13 mm , il est non élastique et enroulé sur quatre tours autour de la phalange.

I.Schöffl¹⁴¹ propose un nouveau *tape* : le *H-Tape* appliqué en forme de croix au niveau de l'articulation IPP, où la distance tendon-os est la plus importante. Selon cet auteur, c'est à cet endroit que le *tape* est le plus efficace.

Dans l'ensemble de ces études, les mesures ont été prises en position arquée étant donné les contraintes biomécaniques beaucoup plus importantes et les traumatismes bien plus fréquents dans cette position.

¹⁴⁰ A. SCHWEIZER. « Biomechanical effectiveness of taping the A2 pulley in rock climbers. », Journal of Hand Surgery (British and European Volume). Vol. 25, p. 102-107 (2000).

¹⁴¹ I. SCHÖFFL, F. EINWAG, W. STRECKER, F. HENNIG, V. SCHÖFFL. « Impact of taping after finger flexor tendon pulley ruptures in rock climbers. », Journal of Applied Biomechanics, Vol. 23, p.52-56 (2007).

5.3.2.1. Tape circulaire au niveau du bord distal de A2

L'expérience de Schweizer montre qu'en prise arquée, le *tape* circulaire au niveau de la berge distale de la poulie A2 diminue de 0,05 mm l'effet corde d'arc, ce qui correspond à une diminution de 2,8% de la distance tendon-os. Sans *tape*, cette distance est de 1,8 mm ; après l'application du *tape* elle est de 1,75 mm. Les différences entre ces valeurs ne sont pas significatives, on peut donc dire que ce *tape* n'a pas de réelle d'influence sur la distance tendon-os.

En ce qui concerne la force qui s'applique au niveau de la berge distale de A2 (F_{A2}), ce *tape* absorbe une charge de 41 Newton. Cela correspond à 11% de la force maximale exercée sur la poulie. Ce *tape* permettrait donc une légère diminution des contraintes appliquées par le tendon sur la poulie sans pour autant prévenir les risques de rupture.

5.3.2.2. Taping circulaire au niveau de l'extrémité distale de la première phalange : le Schweizer-Tape

Selon Schweizer, lors d'une prise arquée, ce type de *tape* diminue de 0,18 mm l'effet corde d'arc, ce qui correspond à une diminution de 4,8% de la distance tendon-os. La distance tendon-os moyenne au niveau de l'extrémité distale de la première phalange est de 3,77 mm sans *tape*. Après l'application du *tape*, elle est de 3,59 mm. Cette diminution est plus importante qu'avec le *tape* au niveau de la berge distale de A2.

En ce qui concerne la force qui s'applique au niveau de la berge distale de A2, ce *tape* absorbe une charge de 46N. Une telle diminution correspond à une baisse de 3° de l'angle entre le tendon et la poulie A2 (β_{A2}) ce qui entraîne une réduction de 17% de la force s'exerçant sur la poulie (F_{A2}). Ces améliorations ne sont pas significatives.

Warne ¹⁴² montrent que ce même *tape* ne diminue pas les forces de ruptures des poulies. En effet, il trouve que la poulie se rompt pour une force de 516 N lorsqu'un *tape* est appliquée, cette force est de 582 N sans *tape*. Ces résultats n'étant pas significatifs, on ne peut pas attribuer aux *tapes* un rôle de prévention dans les ruptures de poulies.

¹⁴² W.J. WARME, D. BROOKS. « The effect of circumferential taping on flexor tendon pulley failure in rock climbers. », American journal of sports medicine, Vol. 28, p. 676 (2000).

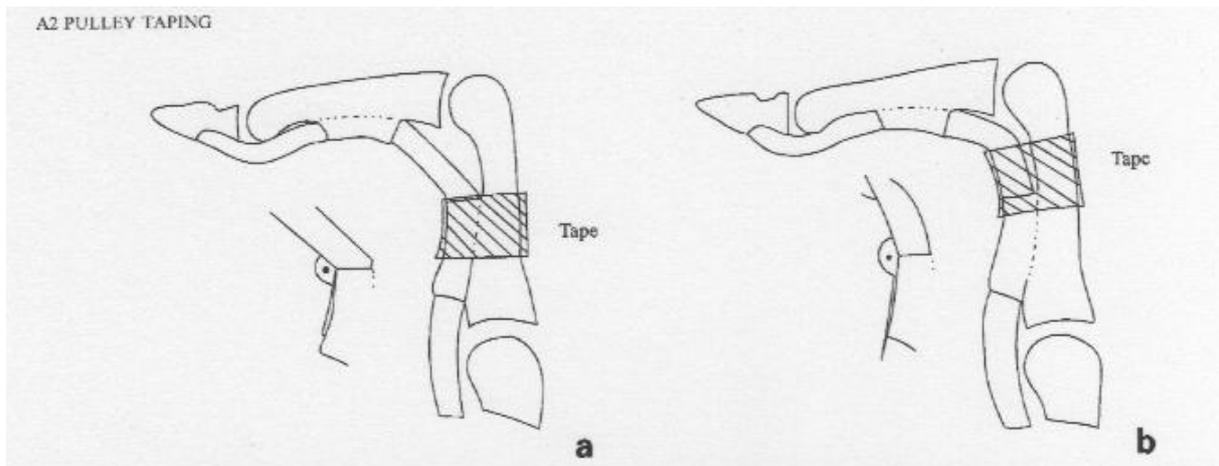


Figure 29 : effet du tape sur l'angle β_{A2} au niveau du bord distale de A2 (a) et à l'extrémité de la première phalange (b) ¹⁴³

La comparaison entre ces deux *tapes* nous montre que, sur un plan biomécanique, ils ont peu d'influence sur les paramètres F_{A2} , β_{A2} et sur la distance tendon-os. On ne peut pas considérer ces *tapes* comme des moyens de prévention des ruptures de poulies. On parlerait donc plus d'un effet placebo et proprioceptive plutôt que d'un réel effet biomécanique.

Cependant, si l'un de ces deux *tapes* doit être employé, nous conseillons l'application du *Schweizer-Tape*, qui, quantitativement, a de meilleurs effets sur la distance tendon-os et sur l'absorption des charges au niveau de la poulie.

5.3.2.3. Le H-Tape

Selon Schöffl. I. ¹⁴⁴, « le *taping* a toujours été utilisé comme un moyen prophylactique et thérapeutique, mais ces effets après rupture de poulies n'ont été que trop rarement étudiés ».

Elle a donc proposé un type de *tape*, le *H-tape*, constitué d'une bande de longueur de 10 cm et de largeur de 1,5 cm, coupée dans le sens de la longueur de manière à ce qu'il ne reste plus qu'un centimètre pour relier les deux morceaux. Ce *tape* est appliqué au niveau de l'articulation IPP, là où la corde d'arc est la plus importante.

Après avoir enroulé la partie proximale au niveau de l'extrémité distale de la première phalange, le patient plie l'articulation IPP et la bande distale est ensuite appliquée au niveau de la partie proximale de la phalange moyenne. En divisant ce *tape* en deux parties et en

¹⁴³ A. SCHWEIZER. « Biomechanical effectiveness of taping the A2 pulley in rock climbers. », Journal of Hand Surgery (British and European Volume). Vol. 25. p. 105 (2000).

¹⁴⁴ I. SCHÖFFL, F. EINWAG, W. STRECKER, F. HENNIG, V. SCHÖFFL. « Impact of taping after finger flexor tendon pulley ruptures in rock climbers. », Journal of Applied Biomechanics, Vol. 23, p.53 (2007).

l'appliquant là où la distance tendon-os est la plus grande, on peut supposer une diminution plus efficace de l'angle β_{A2} mais également de l'angle β_{A4} .

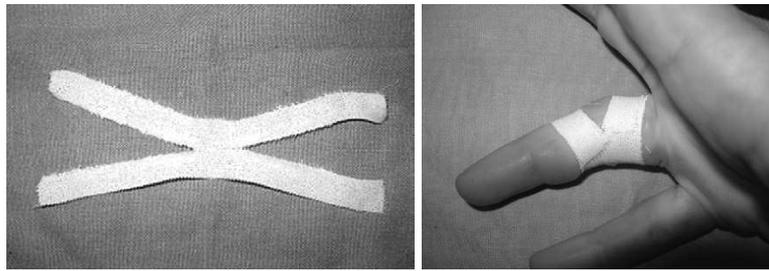


Figure 30 : forme et application du *H-tape* ¹⁴⁵

Lors de cette expérience, la distance moyenne tendon-os est de 3,77 mm. Cette distance est de 3,19 mm avec le *H-tape* et de 3,59 mm avec le *Schweizer-tape*. Cela correspond à une baisse de 16% avec le premier est de 4,8% avec le second. Ces différences sont significatives, il semble donc que le *H-tape* est plus efficace pour réduire l'effet corde d'arc.

Le *H-Tape* permet un gain de force lors de la prise arquée. En effet, un doigt avec ce *tape* développe plus de force qu'un doigt sans *tape*. Cette amélioration est significative au niveau du rapport « force développée au niveau de la pulpe / poids corporel ».

Cependant, en prise tendue, il n'existe pas de gain de force.

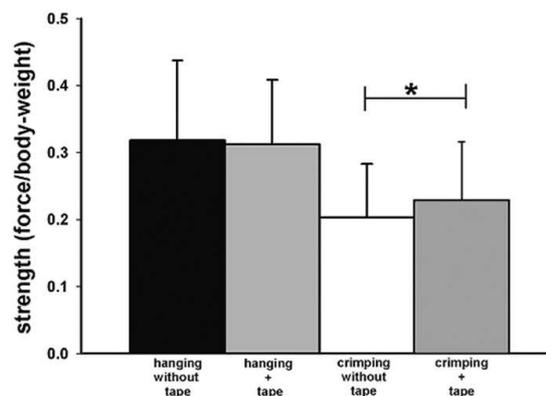


Figure 31 : impact du *H-tape* sur la force en position arquée et tendue ¹⁴⁶

¹⁴⁵ I. SCHÖFFL, F. EINWAG, W. STRECKER, F. HENNIG, V. SCHÖFFL. « Impact of taping after finger flexor tendon pulley ruptures in rock climbers. », *Journal of Applied Biomechanics*, Vol. 23, p.55 (2007).

¹⁴⁶ I. SCHÖFFL, F. EINWAG, W. STRECKER, F. HENNIG, V. SCHÖFFL. « Impact of taping after finger flexor tendon pulley ruptures in rock climbers. », *Journal of Applied Biomechanics*, Vol. 23, p.59 (2007).

5.3.2.4. Conclusion

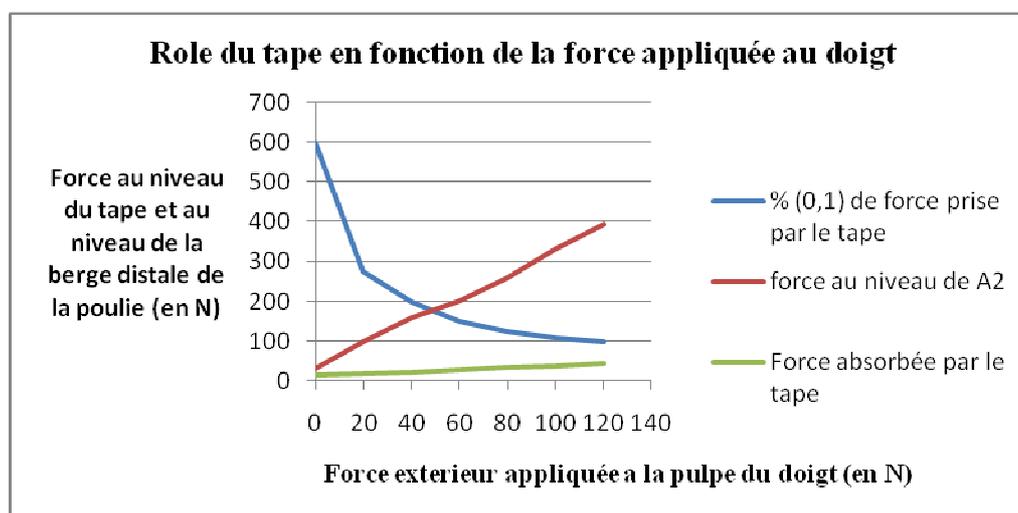
Les *tapes* ont toujours été employés par les grimpeurs dans le but de soulager leurs appareils fléchisseurs et plus particulièrement les poulies. Il semble que ces *tapes* sont plus efficaces lorsqu'ils sont placés au plus proches (*Schweizer-tape*) voire-même au niveau de l'articulation IPP (*H-tape*).

Nous conseillons ce dernier pour des grimpeurs ayant des atteintes de poulies mais également en préventif, pour des grimpeurs sains qui pratiquent une escalade intense et répétitive (en bloc et pan notamment). En effet, les résultats sur la distance tendon-os, bien que non-significatifs, sont meilleurs et, de plus, il permet un gain de force lors de la prise arquée.

D'autres études avec une population plus nombreuse seraient intéressantes afin d'avoir des données plus fiables concernant ce sujet.

Il est important de noter, en ce qui concerne tout les types de *tape*, que, au plus la force développée par le bout du doigt est élevée, au moins le *tape* est efficace.

En effet, lorsque la force appliquée est de seulement 40N, un *tape* circulaire simple n'absorbe que 20% de la charge totale.



Graphique 9 : Charge absorbée par le tape selon la force développée par le doigt (en N) ¹⁴⁷

¹⁴⁷ A. SCHWEIZER. « Biomechanical effectiveness of taping the A2 pulley in rock climbers. », Journal of Hand Surgery (British and European Volume). Vol. 25. p. 106 (2000).

CONCLUSION

La naissance de l'escalade et son développement sont à l'origine d'une pathologie de surcharge de type micro traumatique : les ruptures de poulies digitales.

Grâce à la littérature récente, nous avons pu découvrir, approfondir et cerner cette pathologie peu connue du grand public mais pourtant fréquente dans cette pratique sportive. Les publications concernant cette atteinte sont généralement basées sur des populations d'étude restreintes ce qui nous amène à rester prudent face à la significativité de certains résultats.

Les pathologies des doigts, et les atteintes de poulies en particulier, concernent essentiellement des grimpeurs d'un niveau élevé. Selon les études, les pathologies des doigts représentent entre 41 et 49 % des pathologies du grimpeur et les atteintes de poulie 19 %.

Tous les auteurs sont en accord pour affirmer que les ruptures de poulies surviennent quand la main du grimpeur est en position arquée, c'est-à-dire lorsque l'inter-phalangienne proximale est fléchie à 90° et l'inter-phalangienne distale est en extension. Dans cette position, les forces exercées au niveau des poulies sont proches de leurs seuils de rupture. La position est donc la plus contraignante et, est à l'origine de cette pathologie.

Les auteurs s'accordent également en ce qui concerne les doigts atteints. Toutes les études montrent que ces ruptures se situent au niveau du majeur et de l'annulaire.

Cependant, le mécanisme de lésion reste un sujet de discordes. En effet, la grande majorité des auteurs soutient l'hypothèse d'une rupture initiale de la poulie A2, qui s'expliquerait par l'application d'une force sur la poulie proche de sa force de rupture. D'autres, plus rares, ont mis en évidence une rupture initiale de la poulie A4 en basant leurs expériences sur l'étude de cadavres.

Les incidences répertoriées ne nous permettent pas de soutenir une hypothèse plutôt qu'une autre. En effet, les ruptures de poulies concernent de façon plus systématique la poulie A2 mais des cas de rupture isolée de A4 sont également observés.

D'un point de vue clinique, une rupture de poulies peut être facilement détectable notamment par la présence d'un phénomène de corde d'arc lorsque le doigt est en flexion contrariée. Ce phénomène s'explique par l'augmentation de la distance entre la phalange et le tendon

fléchisseur. Il s'observe à la palpation dans le cas de ruptures multiples et à l'imagerie médicale dans le cas de ruptures simples. Ce signe de corde d'arc est dit « pathognomonique » de cette pathologie.

Concernant la prise en charge de ces ruptures, c'est la gravité de l'atteinte qui déterminera le protocole thérapeutique. Un traitement conservateur sera mis en place en cas d'une atteinte de grade 1, 2 ou 3 ; un traitement chirurgical par greffon du Ligament Annulaire Dorsal du Carpe s'imposera en cas de ruptures multiples (grade 4). Un suivi kinésithérapeutique accompagne ces deux types de traitements dans un but antalgique et de récupération de la mobilité et de la force.

Ces différentes prises en charge donnent de très bons résultats et vont généralement permettre aux grimpeurs de retrouver leurs niveaux initiaux, sans altérer leurs possibilités de progresser. En cas de chirurgie, le sportif pourra reprendre une activité intense dans un délai de six mois.

La prévention prend une part importante dans cette pathologie. Nous conseillons l'application du *H-Tape* qui semble être plus efficace que les autres types de *tapes*. Le grimpeur doit également être sensibilisé aux étirements, à une bonne hydratation et à l'utilisation de la prise tendue : tout aussi efficace et beaucoup moins traumatisante pour l'appareil fléchisseur des doigts.

Le nombre toujours croissant de pratiquants de l'escalade ainsi que l'amélioration permanente de leurs niveaux sportifs nous font supposer que cette pathologie de surcharge va se développer dans les années à venir. Cela permettrait aux futurs auteurs d'augmenter leurs populations d'études afin d'établir de manière encore plus fiable des normes concernant cette pathologie encore trop peu étudiée.

TABLES DES ILLUSTRATIONS

1. FIGURES

Figure 1 : SAE sans points d'assurage (pan)	4
Figure 2 : escalade sur mur (SAE avec points d'assurage)	4
Figure 3 : escalade en bloc	5
Figure 4 : escalade en falaise	6
Figure 5 : différents types de cotations	7
Figure 6 : prise arquée	10
Figure 7 : prise tendue	11
Figure 8 : prise en crochet	12
Figure 9 : prise bi-doigt	12
Figure 10 : prise en pincette	12
Figure 11 : Le fléchisseur superficiel des doigts	14
Figure 12 : Le fléchisseur profond des doigts	15
Figure 13 : les poulies annulaire (A) et cruciformes (C) des doigts longs	18
Figure 14 : model biomécanique de l'appareil fléchisseurs. Vue sagittale.	21
Figure 15 : model biomécanique de l'appareil fléchisseurs. Vue horizontale.	22
Figure 16 : les différentes forces suivant la position arquée (gauche) et en tendue (droite) ...	26
Figure 17 : force développée au niveau de la pulpe de chaque doigt	27
Figure 18 : effet corde d'arc	41
Figure 19 : échographie sagittale, doigt en extension avant (a) et après (b) rupture complète de A2	43
Figure 20 : coupe transversale d'une rupture complète de A2 en rectitude (a) et en flexion contrariée (b)	44
Figure 21 : aspect d'une corde d'arc par rupture rupture de A2 complète de poulie A2 mise en évidence au scanner en flexion contrariée (b)	46
Figure 22 : coupe sagittale d'une en extension (a) et	
Figure 23 : coupe transversal avant (a) et après (b) rupture complète de A2	47
Figure 24 : coupe sagittale d'une rupture de A2 et A3 en extension (a), flexion (b) et flexion forcée (c)et sur cadavre (d)	48
Figure 25 : arbre décisionnel thérapeutique	49

Figure 26 : prélèvement du greffon du LADC (gauche) et mise en place au niveau de la poulie (droite)	54
Figure 27 : résultat in vivo de la mise en place du greffon	54
Figure 28 : mise en place du greffon tendineux et résultat in vivo	55
Figure 29 : effet du tape sur l'angle β_{A2} au niveau du bord distale de A2 (a) et à l'extrémité de la première phalange (b)	64
Figure 30 : forme et application du <i>H-tape</i>	65
Figure 31 : impact du <i>H-tape</i> sur la force en position arquée et tendue	65

2. GRAPHIQUES

Graphique 1 : relation F_P / F_{A2}	25
Graphique 2 : tension des différents tendons selon les doigts	27
Graphique 3 : force exercée sur les poulies (continu) et force de rupture des poulies (pointillés) selon les doigts	28
Graphique 4 : normalisation des forces exercées sur les poulies selon les doigts	30
Graphique 5 : force exercées sur les poulies en fonction de la localisation de A2	31
Graphique 6 : force exercées sur les poulies en fonction de la localisation de A4	32
Graphique 7 : force exercées sur les poulies lorsque $F_{A2} = F_{A4}$	32
Graphique 8 : localisation des pathologies du grimpeur	35
Graphique 9 : Charge absorbée par le tape selon la force développée par le doigt (en N)	66

3. TABLEAUX

Tableau 1 : incidence des atteintes de poulies chez le grimpeur confirmé (n=122)	36
Tableau 2 : les différents grades des atteintes de poulies	38
Tableau 3 : distance os-tendon en fonction des lésions à l'échographie	44
Tableau 4 : Distance tendon-os à l'échographie	45
Tableau 5 : distance os-tendon en fonction des lésions	46
Tableau 6 : distance os-tendon en fonction des lésions	48
Tableau 7 : traitement des atteintes de poulies	51

BIBLIOGRAPHIE

1. ARTICLES

1. R. ARORA, D. FRITZ, R. ZIMMERMAN, M. LUTZ, F. KAMELGER, A. S. KLAUSER, M. GABL. « Reconstruction of the digital flexor pulley system: a retrospective comparison of two methods of treatment. », Journal of Hand Surgery (European Volume). Vol. 32, p. 60-66 (2007).
2. N BARTON. « Sports injuries of the hand and wrist. », British journal of sports medicine. Vol. 31, p. 191-196 (1997).
3. M. GABL, C. RANGGER, M. LUTZ, C. FINK, A. RUDISCH, S. PECHLANER. « Disruption of the Finger Flexor Pulley System in Elite Rock Climbers. » American journal of sports medicine. Vol. 26, p. 651-655 (1998).
4. M. GABL, C. REINHART, M. LUTZ, G. BODNER, P. ANGERMANN, S. PECHLANER. « The use of a graft from the second extensor compartment to reconstruct the A2 flexor pulley in the long finger », Journal of Hand Surgery (British and European Volume). Vol. 25, p. 98-101 (2000).
5. O. HAUGER, C. B. CHUNG, N. LEKTRAKUL, M. J. BOTTE, D. TRUDELL, R.D. BOUTIN, D. RESNIK. « Pulley System in the Fingers : Normal Anatomy and Simulated Lesions in Cadavers at MR Imaging, CT, and US with and without Contrast Material Distention of the Tendon Sheath », Radiology. Vol. 217, p. 201-212 (2000).
6. G. JONES, A. ASGHAR, D.J. LLEWELLYN. « The epidemiology of rock-climbing injuries. », British journal of sports medicine. Vol. 42, p. 773-778 (2008).
7. G. JOSEPHSEN, S. SHINNEMAN, J. TAMAYO-SARVER, K. JOSEPHSEN, D. BOULWARE, M. HUNT, H. PHAM. « Injuries in bouldering : a prospective study. », Vol.18, p. 271-280 (2007).
8. A. KLAUSER, F. FRAUSCHER, G. BODNER, E. J. HALPERN, M. F. SCHOCKE, P. SPRINGER, M. GABL, W. JUDMAIER, D. ZUR NEDDEN. « Finger pulley injuries in

extreme rock climbers : depiction with dynamic US », Radiology. Vol. 222, p. 755-761 (2002).

9. E.N. KUBIAK, J. A. KLUGMAN, J. A. BOSCO. « Hand injuries in rock climbers. », Bulletin of the 172 NYU Hospital for Joint Diseases. Vol. 64, p. 172-177 (2006).

10. S. LELARDOUX, J.W. LOUBRIAT. « L'escalade sportive. », Kinésithérapie la revue. Vol. 58, p. 10-13 (2006).

11. A.J. LOGAN, N. MAKWANA, G. MASON, J. DIAS. « Acute hand and wrist injuries in experienced rock climbers. », British journal of sport medicine. Vol. 38, p. 545-548 (2004).

12. J.W. LOUBRIAT « La pathologie en escalade sportive. ». Kinésithérapie la revue. Vol. 58, p. 14-18 (2006).

13. J.W. LOUBRIAT, C. BEYLER. « La prise en charge du grimpeur blessé. ». Kinésithérapie la revue. Vol. 58, p. 19-22 (2006).

13. W. MARCO, A. SHARKEY, S. SMITH, G. ZISSIMOS. « pathomechanics of closed rupture of the flexor tendon pulleys in rock climbers. », The journal of bone and joint surgery. Vol. 80, p. 1012-1019 (1998).

14. K. MOOR, L. NAGY, G. SNEDEKER, A. SCHWEIZER. « Friction between finger flexor tendons and the pulley system in the crimp grip position. », Clinical biomechanics. Vol. 24, p. 20-25 (2009).

15. F. MOUTET. « Les poulies de l'appareil fléchisseurs : anatomie, pathologies, traitement. », Chirurgie de la main. Vol. 22, p. 1-12 (2003).

16. PH. PRADEL, D. CORCELLA, A. FORLI, D. GUINARD, F. MOUTET. « Une pathologie spécifique du grimpeur : les lésions de poulies digitales des fléchisseurs », Revue Suisse de Medecine et Traumatologie du Sport (Schweizerische Zeitschrift fur « Sportmedizin und Sporttraumatologie »). Vol 50 (1), p. 11-15 (2002).

17. F. QUAINÉ, L. VIGOUROUX. « Maximal resultant four fingertip force and fatigue of the extrinsic muscles of the hand in different sport climbing finger grips. », International journal of sports medicine. Vol. 25, p. 634-637 (2004).

18. I. ROLOFF, V. R. SCHÖFFL, L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ. « Biomechanical model for the determination of the forces acting on the finger pulley system », Journal of Biomechanics. Vol. 39 , p. 915-923 (2006).

19. I. SCHÖFFL, F. EINWAG, W. STRECKER, F. HENNIG, V. SCHÖFFL. « Impact of taping after finger flexor tendon pulley ruptures in rock climbers. », Journal of Applied Biomechanics, vol. 23, p. 52-56 (2007).
20. V.R. SCHÖFFL, T. HOCHHOLZER, H. P. WINKELMANN, W. STRECKER. « Pulley injuries in rock climbers. », Wilderness and Environmental Medicine. Vol. 14, p. 94-100 (2003).
21. V.R. SCHÖFFL, J. JÜNGERT. « Closed flexor pulley injuries in nonclimbing activities. », The journal of hand surgery. Vol. 31, p. 806-810 (2006).
22. V. SCHÖFFL, S. KLEE, W. STRECKER. « Evaluation of physiological standard pressures of the forearm flexor muscles during sport specific ergometry in sport climbers. », British journal of sports medicine. Vol. 38, p. 422-425 (2004).
23. V.R. SCHÖFFL, I. SCHÖFFL. « Finger pain in rock climbers: reaching the right differential diagnosis and therapy. », The journal of sports medicine and physical fitness. Vol. 47, p. 70-78 (2007).
24. A. SCHWEIZER. « Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. », Journal of biomechanics. Vol. 34 p. 217-223 (2001).
25. A. SCHWEIZER. « Biomechanical effectiveness of taping the A2 pulley in rock climbers.», Journal of Hand Surgery (British and European Volume). vol. 25. p. 102-107 (2000).
26. A. SCHWEIZER, O. FRANK, P. OCHSNER, H. JACOB. « Friction between human finger flexor tendons and pulleys at high loads. », Journal of biomechanics. Vol. 36, p. 63-71 (2003).
27. J. TANG, R. XIE. « Effect of A3 pulley and adjacent sheath integrity on tendon excursion and bowstringing. », The journal of hand surgery. Vol. 26, p. 855-861 (2001).
28. G. VANDEPUTTE, T. DUBERT. « Closed traumatic rupture of the flexor pulleys of a long finger associated with avulsion of the flexor digitorum superficialis. », Journal of Hand Surgery (British and European Volume). Vol. 26, p. 266-268 (2001).
29. L. VIGOUROUX, F. QUAINÉ, A. LABARRE-VILAB, F. MOUTET. « Estimation of finger muscle tendon tensions and pulley forces during specific sport-climbing grip techniques. », Journal of biomechanics Vol. 39, p. 2583-2592 (2006).

30. D.VOULLIAUME, A. FORLI, O. PARZY, F. MOUTET. « Réparation des ruptures de poulie chez le grimpeur. », Chirurgie de la main. Vol. 23, p. 243-248 (2004).
31. W.J. WARME, D. BROOKS. « The effect of circumferential taping on flexor tendon pulley failure in rock climbers. », American journal of sports medicine, vol. 28, p. 674-678 (2000).
32. D. Wright, T. Royle, T. Marshall. « Indoor rock climbing: who gets injured ? », British journal of sports medicine. Vol. 35, p. 181-185 (2001).
33. T. YAMAGUCHI, Y. IKUTA. « climber's finger. », Hand surgery. Vol. 12, p. 59-65 (2007).
34. C. ZHAO, P. AMADIO, L. BERGLUND, K. AN. « The A3 pulley. », The journal of hand surgery. Vol. 25, p. 270-276 (2000).

2. OUVRAGES

1. J.P. BEAUTHIER, P. LEFEVRE. *Traité d'anatomie: de la théorie à la pratique palpatoire. Tome 2 Membre supérieur et ceinture scapulaire*. Ed. De Boeck Université, 1991.
2. J.C. CHANUSSOT, R.G. DANOWSKI. *Rééducation en traumatologie du sport*. Ed. Masson, 2001.
3. A. COTTEN. *Imagerie musculosquelettique. Pathologies locorégionales*. Ed. Masson, 2008.
4. R.G. DANOWSKI, J.C. CHANUSSOT. *Traumatologie du sport*. Ed. Masson, 2005.
5. C. LECLERCQ. *La main traumatique du sport*. Ed. Masson, 2001.
6. C. LECLERCQ. *Lésions de la main chez le sportif*. Ed. Frison-Roche, 1996.
7. K.L. MOORE, A.F. DALLEY. *Anatomie médicale, aspects fondamentaux et applications cliniques*. Ed. De Boeck, 2001.
8. F.H. NETTER. *Atlas d'anatomie humaine. 3^{ème} édition*. Ed. Masson, 2004.
9. J. RODINEAU, G. SAILLANT. *Un sport, un geste, une pathologie*. Ed. Masson, 2000.
10. J.P. VERDIER. *Escalade : s'initier et progresser*. Ed. Amphora sport, 2004.

3. THESE

1. L. VIGOUROUX. « Modélisation biomécanique des systèmes musculosquelettiques sous-déterminés. Analyse statique des tensions des tendons mobilisant le doigt. », *Thèse pour obtenir le grade de docteur de l'université Joseph Fourier (Grenoble) discipline : Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives.* (2005).

4. MEMOIRES

1. B. CHERY. « **La main du grimpeur : étude articulaire et musculaire entre des grimpeurs de haut niveau et une population de référence.** », Rapport de travail présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de masseur-kinésithérapeute (2004), Ministère de la santé région Lorraine institut de formation en masso-kinésithérapie.

2. F. DRUMEL. « **Évaluation isocinétique des muscles du poignet : influence de la pratique de l'escalade** », Mémoire réalisé en vue d'obtenir le titre de licencié en kinésithérapie (2004), Haute Ecole Provinciale du Hainaut Occidental Tournai.

3. S. GUIRAO. « **Rupture de poulie digitale chez le grimpeur : et le membre supérieur dans tout ça ?** », Travail de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme de licencié en kinésithérapie (2008), Haute Ecole Robert Schuman Libramont.

4. A. LEJONCOUR. « **Pathologies des doigts liées à la pratique de l'escalade chez des grimpeurs de haut niveau.** », Mémoire de fin d'études présenté en vue de l'obtention du diplôme de licencié en kinésithérapie et réadaptation (2006), Université Catholique de Louvain.

5. O. PARZY. « **Rupture des poulies digitales opérées chez les grimpeurs de haut niveau.** », Rapport de recherche en kinésithérapie présenté en vue de l'obtention du Diplôme d'Etat de Masseur-Kinésithérapeute et de la Maîtrise Ingénierie de la Santé (option Kinésithérapie) (2003), IUP Sante Kinésithérapie Sport universite joseph fourier – Grenoble 1 Ecole de kinésithérapie Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble

6. S. ROULEAU. « Aspect clinique des doigts des grimpeurs après plusieurs années de haut niveau. Evaluation des conséquences fonctionnelles. », Diplôme interuniversitaire de médecine et d'urgence de montagne (2006), Université Paul Sabatier Toulouse – Université Joseph Fourier Grenoble.

5. SITES INTERNET

1. <http://www.agripp.be/produits/murs-escalade/references/>
2. <http://www.bonnegrimpe.com/photos/escalade.jpg>
3. <http://www.ffme.fr/>
4. <http://www.ffme.fr/texte/ffme/escalade-jeu.pdf>
5. <http://www.ffme.fr/escalade/telechargement/icc-handbook.pdf>
6. <http://www.kinescalade.com/patho/rupture-poulie.php>.
7. http://www.saccas.ch/fileadmin/pdf/Leistungssport/Sportklettern/Presstexte/Communique_de_presse_SCC_Grindelwald_08_annonce.pdf
8. http://www.staps.uhp-nancy.fr/escalade/cotations_escalade.pdf

METHODOLOGIE DE TRAVAIL

1. Axes de recherche

- Caractéristiques biomécaniques des ruptures de poulies.
- Approche thérapeutique des ruptures de poulies (circonstance de survenue, incidence, examen clinique, examen palpatoire, imagerie médicale).
- Traitement (chirurgical et kinésithérapeutique) et prévention.

2. Bases de données informatiques

- Pubmed : base de données de la bibliographie des différents domaines médicaux et paramédicaux.
- Science direct : base de données de la littérature gérée par l'éditeur Elsevier
- Google scholar : base de données Google reprenant tout les sites internet sur lesquels se trouve le mot-clé tapé.
- Antilope et libellule : catalogue regroupant les bibliothèques scientifiques de Belgique et qui permet de localiser les articles recherchés dans ces bibliothèques.
- Inist : Base de données des publications scientifiques gérée par le CNRS

3. Bibliothèques consultées

- Bibliothèque de l'IESCA Sainte Thérèse à Montignies sur Sambre.
- Bibliothèque de médecine de l'UCL (BMD).

- Bibliothèque universitaire de santé pole recherche (SCD Lille 2).
- Bibliothèque des sports de Louvain-la-Neuve (BIEP).

4. Mots clés

Les mots clés utilisés pour rechercher les articles sont les suivants :

- Pulley rupture, rupture de poulie
- Climber(s), climbing, rock climbing, escalade
- Finger flexor tendon
- Hand injuries

Des liens tels que « related articles » m'ont permis de trouver également des articles et d'élargir mes recherches.

5. Critères de recherche

- Critères d'inclusion

- Anglais, Français
- Articles provenant de bases de données scientifiques, publiés par une revue scientifique.
- Dates de parution des articles supérieur à 1997 inclus étant donné le peu d'articles publiée sur cette pathologie. En ce qui concerne les livres, la date limite est de 1990.

- Critères d'exclusion

- Sites non reconnues scientifiquement.
- Articles ne concernant pas les poulies digitales.
- Articles publiés avant 1997 et livres édités avant 1990.

CRITIQUES DES SOURCES

1. Par auteur

➤ *François Moutet :*

Le professeur Moutet est chef du service de chirurgie plastique de la main et des brûlés au CHU de Grenoble. Il est un chirurgien de référence dans le domaine de l'escalade.

Il a publié 45 articles depuis 1982 selon le site internet « Biomedexperts » et son dernier article publié est un article concernant l'escalade sur lequel nous nous sommes appuyés pour notre travail (« middle and ring are more... »). Il est l'auteur principal d'un article et co-auteur de trois articles référencés dans ce travail.

➤ *Laurent Vigouroux :*

Il est docteur de l'université Joseph Fourier de Grenoble dans la discipline des « Science et Techniques des Activités Physiques et Sportives (STAPS) ». Il est l'auteur d'une thèse publiée le 4 novembre 2005 qui s'intitule « MODÉLISATION BIOMÉCANIQUE DES SYSTÈMES MUSCULOSQUELETTIQUES SOUS-DÉTERMINÉS. Analyse statique des tensions des tendons mobilisant le doigt ». C'est donc un biomécanicien spécialisé dans les doigts.

Il est à noter que son directeur de thèse est F. Quaine et qu'un de ses lecteurs est F. Moutet. Cet auteur est référencé quatre fois dans notre étude.

➤ *Volker Schöffl :*

Ce docteur Allemand travaille pour les services de traumatologie, d'orthopédie et de traumatologie du sport de la clinique Bamberg. Il est également professeur en université. Il apparaît comme une référence dans le domaine de l'escalade étant donné ses nombreuses publications : seize articles concernant l'escalade depuis 1999 dont quatorze en tant qu'auteur principal.

➤ Markus Gabl :

Il est docteur dans le service de traumatologie de l'hôpital universitaire d'Innsbruck et a publié de nombreux articles sur l'escalade notamment sur les ruptures de poulies. Il a publié huit articles sur les ruptures de poulies depuis 1996. Il est présent dans quatre articles référencés dans ce mémoire.

➤ Philippe Pradel :

Diplômé de la fédération européenne des sociétés de chirurgie de la main, ce docteur a été assistant chef de clinique au CHU de Grenoble où il exerça en relation étroite avec le professeur Moutet. Il travaille actuellement pour le Centre Alpin de la Main et du Membre Supérieur (CAMSUP). Il est aussi membre de la société Française et de la société Suisse de chirurgie de la main.

➤ Rex Marco :

Il est professeur assistant en chirurgie à l' « University of Texas Medical School » à Houston dans le service de chirurgie orthopédique. Son travail sur les ruptures de poulies est une référence pour de nombreux articles.

2. Par revue

➤ Radiology

C'est un journal mensuel qui concerne la radiologie clinique et les sciences liées à cette dernière. Il appartient et est publié par la société de radiologie de l'Amérique du nord (RSNA) qui a pour mission de promouvoir et de développer les normes de la radiologie au travers de la recherche. Ce mensuel a été classé par la division biomédicale et des sciences humaines (DBIO) comme faisant partie des 100 journaux ayant eu le plus d'influence sur la médecine lors du siècle dernier.

➤ *Journal of Hand Surgery (British and European Volume, 2000)*

C'est le journal de la société anglaise de chirurgie de la main et le journal officiel de la fédération des sociétés européennes de chirurgie de la main. Il est dédié au chirurgien de la main et traite les domaines de la reconstruction, de l'orthopédie mais aussi de la chirurgie plastique. Il sélectionne les meilleures publications actuelles sur la chirurgie de la main et regroupe des articles d'experts du monde entier qui mettent en avant de nouvelles recherches.

➤ *Journal of Biomechanics*

Le *journal of biomechanics* publie des articles utilisant la biomécanique afin d'expliquer les problèmes biologiques. Des rapports d'analyse ou d'expérience sont présents dans ce périodique ; les articles sont acceptés sur des critères d'excellence, de nouveauté, de significativité et de clarté. Les sujets rapportés par ce journal sont les suivants : la biomécanique du sport, de la rééducation, de l'orthopédie, de la biologie, des pathologies, la biomécanique cardio-vasculaire et dentaire. Ce journal est affilié aux sociétés Américaine, Européenne, Japonaise, Australienne et internationale de biomécanique.

➤ *Clinical Biomechanics*

Ce périodique est international et multidisciplinaire et traite de la biomécanique musculo-squelettique. Son objectif est de renforcer les liens entre la clinique et l'expérimentation biomécanique en publiant des recherches qui expliquent les mécanismes biomécaniques des atteintes musculo-squelettiques ainsi que les fondements biomécaniques des traitements. *Clinical biomechanics* explore toutes les facettes de la biomécanique musculo-squelettique avec une place particulière pour les prises en charge clinique. Ce périodique est affilié aux sociétés européenne, américaine, taïwanaise et internationale de biomécaniques.

➤ *British journal of sports medicine (BJSM)*

Cette revue internationale concerne les dernières avancées au niveau de la recherche et de la pratique. Les thèmes abordés incluent tous les aspects du sport et de la médecine comme la prévention et les traitements des pathologies sportives, la physiologie ainsi que la psychologie du sport, la physiothérapie et également l'épidémiologie sportive. Il est destiné

aux médecins, aux kinésithérapeutes et aux scientifiques de l'exercice. Ce périodique est le journal officiel de la British Association of Sport and Exercise Medicine et, est publié depuis 1974.

➤ Chirurgie de la main

Cette revue publie des articles originaux en français et en anglais. Elle est affiliée à la Société française de chirurgie de la main, à la Société suisse de chirurgie de la main et au Belgian Hand Group. Elle est publiée six fois par an par l'éditeur Elsevier.

➤ Kinésithérapie scientifique

Cette revue créée en 1971 propose une palette de tous les domaines de la kinésithérapie. Elle publie des articles concernant aussi bien la recherche, que la pratique de la kinésithérapie ou que l'évolution de la profession. Elle met en avant certain thèmes (généralement présenté par la couverture) et publie plusieurs articles en rapport avec ce thème. Un comité de lecture composé de 102 kinésithérapeutes reconnus contrôle et critique les publications.

3. Par ouvrage

➤ Rééducation en traumatologie du sport

Cet ouvrage publié par les éditions Masson présente la rééducation sportive de façon claire grâce à la présentation des contraintes articulaires, musculaires et posturales qui sont à l'origine des diverses pathologies sportives. Il est adressé aux kinésithérapeutes essentiellement mais également aux professionnels de santé ayant un rôle dans la rééducation. Des rappels concernant les pathologies, la biomécanique ou l'anatomie sont aussi présents dans cet ouvrage de référence dans la kinésithérapie du sportif.

➤ *La main traumatique du sport*

Ce livre présente les différentes pathologies que peut entraîner la pratique du sport au niveau de la main et du poignet. Les pathologies sont classées par zones anatomiques et non par sports comme dans d'autres ouvrages. Cet ouvrage propose quelques rappels anatomiques au lecteur, mais également des définitions de pathologies, des examens cliniques, des examens par imagerie et des traitements (chirurgicaux, orthopédiques ou fonctionnels). Une partie « rééducation de la main du sportif » est présente à la fin de l'ouvrage.

➤ *Un sport, un geste, une pathologie*

Cet ouvrage présente les différentes pathologies associées à un geste sportif précis. Chaque sport est ainsi présenté avec son geste susceptible d'entraîner la pathologie. Vingt-sept associations geste-pathologie sont décrites ainsi que dix-huit pratiques sportives.

4. Par site internet

➤ www.ffme.fr

Ce site internet est le site officiel de la fédération Française de la montagne et de l'escalade (FFME). Cette Fédération a été fondée en 1945 et est membre du Comité National Olympique et Sportif Français (CNOSF) et de l'Union Internationale des Associations d'Alpinisme (UIAA). Ce site présente toutes les disciplines gérées par la FFME tel que l'escalade, l'alpinisme, le canyoning, les randonnées et raid, et d'autres encore. Les textes officiels régissant ces différentes pratiques sportives sont également présents.

Il s'adresse aux membres de l'association mais également à ceux qui souhaiteraient le devenir et à tout ceux qui s'intéressent à la pratique de ces sports.

➤ www.kinescalade.com

Ce site internet est un lien entre la pratique de l'escalade et la kinésithérapie. Le rédacteur en chef et webmaster de ce site est Jocelyn-William Loubriat, kinésithérapeute, diplômé en

kinésithérapie du sport et grimpeur de bon niveau. Il a aussi rédigé des articles parus dans « kinésithérapie la revue » mentionné dans ce travail.

Nous savons qu'une attention toute particulière doit être portée aux sites internet ; ce site nous paraît fiable étant donné qu'il est dirigé par des kinésithérapeutes reconnus ayant déjà publié dans des revues scientifiques, dans le domaine de l'escalade notamment.

ANNEXES

1. Glossaire

- Baudrier : ensemble complet fait de la réunion d'un cuissard, enveloppant les cuisses et la taille, et d'un torse ceinturant la poitrine par les épaules. Il est destiné principalement à la pratique en montagne.
- Dégaine : elles sont constituées d'un anneau de sangle dans lequel passent deux mousquetons. Elles assurent la sécurité du grimpeur en tête lors de sa progression et donnent une liberté à la corde, limitant son frottement sur le rocher.
- Grimper en tête : lorsqu'un grimpeur monte en tête, il est assuré par le bas. Il relie sa corde à la paroi par l'intermédiaire de dégaines. L'assureur en contrebas doit suivre l'évolution de son camarade afin de lui laisser du moue lorsque ce dernier doit accrocher sa corde.
- Longe : accessoire d'auto-assurance, elle s'utilise pour s'attacher à un point d'ancrage en paroi. Elle a une longueur minimum de 40 cm mousquetons compris.
- Moulinette : outil de travail utilisé pour l'initiation, le perfectionnement gestuel et l'étude de passages très technique, c'est également un moyen rapide pour descendre une vois qui vient d'être grimpée.
- Rappel : le rappel est utilisé pour descendre rapidement, en autonomie, une paroi, en une ou plusieurs fois. Pour cela, on utilise une corde de rappel. Cette dernière est passée dans un descendeur relié au grimpeur et lui permet de contrôler sa vitesse de descente et de la diriger. Afin d'assurer la sécurité, ce dispositif est complété par un système autobloquant qui le relie à la corde de rappel.

2. Questionnaire proposé par A.J. Logan

QUESTIONNAIRE TO MEMBERS OF THE CLIMBERS' CLUB ON DUPUYTREN'S CONTRACTURE

see Newsletter for full details

My age isyears I have / do not have **Dupuytren's Contracture**
circle as appropriate

**IF YOU HATE FILLING IN QUESTIONNAIRES YOU CAN RETURN THE FORM NOW.
IF YOU ARE HAPPY TO CONTINUE, PLEASE ANSWER THE FOLLOWING QUESTIONS,
EVEN IF YOU DO NOT HAVE DUPUYTREN'S CONTRACTURE**

Occupation (or previous occupation, if retired).....

Date of birth: Day.....Month.....Year.....

Sex Male Female circle as appropriate

Are you Right-handed Left Ambidextrous circle as appropriate

Height..... Metres or ft & inches

Weight..... kilograms or stones & pounds

Please fill in the following table about your rock climbing history. Approximate numbers will do. We are trying to identify the intensity of past and current activity.

Age (years)	Days per year of climbing	Average grade of climbing
example	25	VS
-20		
21-30		
31-40		
41-50		
51-60		
61-70		
71-80		
81-90		
90+		

Hand and wrist injuries

Please indicate (approximately will do) the **type** of any significant injury to hands or wrists (i.e. fracture, dislocation, crush, burn, scald, severe cut or abrasion etc.), its **cause** (i.e. climbing, work, domestic accident etc.), and **severity** (graded from extreme (crush or scald of whole hand), very severe (limited to part of the hand), severe (dislocation or fracture of a bone or two) to moderate (severe cut or abrasion)).

age hand type cause severity

.....

3. Abréviations

- β_{A2} : angle formé au niveau distal de la poulie A2 entre les tendons fléchisseurs et la poulie
- β_{A4} : angle formé au niveau proximal de la poulie A4 entre le tendon du FDP et la poulie
- FDP : fléchisseur des doigts profond
- FDS : fléchisseur des doigts superficiel
- F_P : force exercée au niveau de la pulpe du doigt lors de la flexion
- IPD : articulation inter-phalangienne distale
- IPP : articulation inter -phalangienne proximale
- LADC : ligament annulaire dorsal du carpe
- MP : articulation métacarpo-phalangienne
- Poulie A2 : deuxième poulie annulaire
- Poulie C2 : deuxième poulie cruciforme
- T_{FDS} : tension du muscle FDS
- T_{FDP} : tension du muscle FDP

Depuis une trentaine d'années, la pratique de l'escalade sportive connaît un réel essor. En 2004, on dénombrait un million de pratiquant en France. L'escalade est un sport intense et traumatisant pour le corps, qui génère d'importantes contraintes, notamment au niveau des membres supérieurs. Elle peut engendrer une pathologie de type micro-traumatique peu connue des professionnels de santé : la rupture des poulies digitales. Pathologie qui représente 18,5 % des atteintes du grimpeur confirmé.

Ce travail est une recherche bibliographique concernant les différents aspects biomécaniques, cliniques et thérapeutiques de cette pathologie.

Sur le plan biomécanique, il a été prouvé que les ruptures de poulies sont dues à un type de préhension bien précis : la prise arquée. Lors de l'utilisation de cette prise, la force exercée sur la poulie A2 est de 254 Newton et celle exercée sur la poulie A4 de 220 Newton. Ces valeurs sont proches du seuil de ruptures des poulies.

Les circonstances de survenue de cette pathologie, ainsi que les incidences et les aspects cliniques des ruptures de poulies ont été étudiés. Ces atteintes concernent préférentiellement les grimpeurs confirmés au niveau du majeur ou de l'annulaire. C'est « l'effet de corde d'arc » qui permet leurs diagnostics.

Les traitements conservateurs, chirurgicaux et kinésithérapeutiques donnent généralement de bons résultats et permettent aux grimpeurs, dans la majorité des cas, de retrouver le niveau qu'ils avaient avant l'atteinte

Ce travail a donc pour but de présenter cette pathologie au travers de la littérature publiée depuis 1997 afin de permettre aux lecteurs d'avoir une vision globale de la prise en charge des ruptures de poulies digitales.