



UNIVERSITÉ  
**Grenoble**  
**Alpes**



Centre Hospitalier Universitaire  
**Grenoble Alpes**

CS 10217, 38043 Grenoble Cedex 9  
**04 76 76 75 75** - [www.chu-grenoble.fr](http://www.chu-grenoble.fr)

## DIU EUROPEEN DE REEDUCATION ET D'APPAREILLAGE EN CHIRURGIE DE LA MAIN

Session : 2017-2019

# REEDUCATION APRES SUTURE DIRECTE D'UNE POULIE ROMPUE CHEZ LE GRIMPEUR DE HAUT NIVEAU

Lionel PHILIP  
Masseur-Kinésithérapeute Diplômé d'Etat  
Orthésiste Agréé

Jury :  
Monsieur Denis GERLAC  
Professeur Dominique LE NEN  
Professeur François MOUTET



**GEMMSOR**  
SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE  
REÉDUCATION DE LA MAIN

## **REMERCIEMENTS**

Au professeur François MOUTET pour toute l'énergie qu'il nous transmet lors de ses cours, mais aussi pour sa reconnaissance du rôle du kinésithérapeute qu'il promeut dans la prise en charge des patients en post-chirurgie de la main.

A l'ensemble des enseignants de ce DIU, mais aussi l'ensemble des rééducateurs rencontrés lors des stage qui se sont impliqués dans la transmission des connaissances et de leur savoir faire, ainsi que le partage de leurs expériences, qui est selon moi, la clef de notre métier.

Aux membres du jury pour leur attention accordée à lecture de ce mémoire.

Aux intervenants pédagogiques pour leur implication de l'organisation de ce mémoire.

Au Docteur André GAY, qui en est le précurseur, et qui m'a beaucoup appris sur le diagnostic clinique lors de ses consultations, ainsi que des diverses techniques chirurgicales quand je l'accompagne en bloc opératoire.

Au Docteur Olivier LELUC, pour sa disponibilité et sa patience concernant la réalisation des échographies pour les patients.

A tous les grimpeurs, notamment Manon, Lisa et Théo pour leur disponibilité et leur aide.

A Maxime FOURMY, mon associé, qui me nourrit par son expérience, son professionnalisme et pour sa rigueur. C'est son influence particulièrement éclairée qui m'a ouvert la voie sur laquelle je suis aujourd'hui.

A Bruno FABRE, qui m'a beaucoup apporté sur les bases de la rééducation et d'appareillage de la main.

A ma famille, qui m'a conduit sur le bon chemin et qui m'a toujours soutenu dans mes choix de la vie.

A Juliette, ma compagne, pour sa patience et son soutien quotidien.

## **SOMMAIRE**

<b><u>INTRODUCTION</u></b> .....	5
<b>1. PARTIE THEORIQUE</b> .....	6
1.1. Rappel Anatomique et Physiologique de la main.....	6
1.1.1. Généralités sur les doigts.....	6
1.1.2. Le système fléchisseur.....	6
1.1.3. Le canal digital.....	7
1.1.4. Les poulies .....	8
1.2. L'escalade.....	10
1.2.1. Histoire.....	11
1.2.2. Les cotations.....	11
1.2.3. Les formes de pratique.....	12
1.2.4. Les types de préhension.....	12
1.2.5. L'escalade en compétition.....	14
1.3. Aspect biomécanique des contraintes exercées sur la poulie en escalade .....	16
1.3.1. La biomécanique de la poulie.....	16
1.3.2. La répartition des contraintes sur les poulies.....	18
1.3.2.1. Lors des prises arquées.....	19
1.3.2.2. Lors des prises tendues.....	19
1.4. La rupture de la poulie .....	20
1.4.1. Classification.....	21
1.4.2. Examen clinique.....	21
1.4.3. Examen para-clinique.....	22
1.5. Prise en charge actuelle.....	22
1.5.1. En cas de rupture partielle.....	22
1.5.1.1. Orthèse.....	22
1.5.1.2. Rééducation.....	23
1.5.2. En cas de rupture totale.....	23
1.5.2.1. Chirurgie.....	23
1.5.2.2. Orthèse & Rééducation.....	24
<b>2. REFLEXION ANALYTIQUE</b> .....	25

<b>3. PARTIE EXPERIMENTALE .....</b>	<b>26</b>
3.1. La population .....	26
3.2. La suture directe de la poulie .....	28
3.3. L'appareillage post-opératoire .....	28
3.4. Protocole de rééducation .....	29
3.5. Outils d'évaluations et Analyse des résultats.....	31
3.6. Discussion.....	36
<b>CONCLUSION .....</b>	<b>38</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE .....</b>	<b>40</b>

## **ANNEXES**

## **INTRODUCTION**

Pour la première fois de son histoire, l'escalade fera partie intégrante des Jeux Olympiques d'été de Tokyo en 2020. Cette décision du Comité Internationale Olympique (CIO) ne va sans accentuer la croissance du nombre de pratiquants que connaît l'escalade (*image 1*).

Aujourd'hui, l'explosion du nombre de salle urbaine (bloc d'escalade indoor) offre de larges possibilités aux pratiquants : en loisir, l'accès aux installations est grandement facilité, et les compétiteurs peuvent bénéficier de ce nouveau dispositif pour s'entraîner plus régulièrement et accroître ainsi leurs performances.

Un bref retour en arrière, dans cette discipline sportive, nous rappelle qu'auparavant, l'entraînement se pratiquait surtout en falaise (*image 2*) et non en bloc. De nos jours, l'échelle des niveaux ne cesse d'augmenter, ce qui incite le grimpeur à jouer de plus en plus avec ses limites. Ce phénomène engendre une sur-sollicitation du corps et plus particulièrement de la main qui joue un rôle majeur dans cette discipline.

A ce propos, des auteurs tels que Boyes (1998) ont mis l'accent sur l'accroissement de ce traumatisme au fur et à mesure que la discipline de l'escalade se modernisait. Par ailleurs, une étude menée par Bollen en 1988 est particulièrement significative. Elle fait état d'une corrélation directe entre la pratique de l'escalade et la survenue de rupture de poulie. Ainsi, la lésion de celle-ci est reconnue comme étant une pathologie spécifique à l'escalade et sa rupture totale préoccupe le grimpeur de haut niveau.

Sa prise en charge est forcément chirurgicale, avec des délais d'immobilisation comparable à celle d'une fracture avec une reprise d'activité qui ne pourra s'envisager avant le troisième mois post-opératoire.

Dans un souci de réduire les délais de prise en charge, et d'améliorer nos performances dans le cadre de l'intervention et du soin, nous avons, le Docteur André Gay et moi-même, élaboré un protocole relatif au suivi de nos prises en charge respectives, en chirurgie, orthèse et en rééducation.

C'est pourquoi, il m'est apparu intéressant de présenter, ici, cette nouvelle approche vis à vis de laquelle nous commençons à avoir du recul sur les premiers patients opérés par suture directe.

## **1. PARTIE THEORIQUE**

### **1.1 Rappel Anatomique et Physiologique de la main [9] [10] [11] [13] [14] [25]**

#### **1.1.1 Généralités sur les doigts**

Ils représentent l'extrémité distale de la main, et les structures fonctionnelles dévolues à la préhension. Dans un ordre décroissant de longueur on a : le majeur (D3), l'annulaire (D4), l'index (D2) et l'auriculaire (D5). (*image 3*)

Chaque rayon possède un métacarpe respectif (M2 pour D2, M3 pour D3,...), ayant chacun des caractéristiques propres à la fonction de préhension de la main.

Chaque doigt long est constitué de 3 trois phalanges de taille différente : proximale (P1), intermédiaire (P2) et distale (P3).

On retrouve trois articulations présentent : la première est condylaire et les deux autres sont trochléennes :

- la métacarpophalangienne (MP) reliant le métacarpe et P1 (*image 4*)
- l'interphalangienne proximale (IPP) reliant P1 et P2 (*image 5*)
- l'interphalangienne distale (IPD) reliant P2 et P3

Le pouce n'est pas considéré comme un doigt long de par son anatomie. Il forme le premier rayon, et il est constitué d'un métacarpe (M1), de deux phalanges (une phalange proximale et une phalange distale). Pour relier ces os, on retrouve la métacarpophalangienne et l'interphalangienne.

#### **1.1.2 Le système fléchisseur**

Deux principaux muscles qui sont extrinsèques à la main s'insèrent sur les doigts longs :

- le fléchisseur commun superficiel des doigts (FCS)
- le fléchisseur commun profond des doigts (FCP)

Ce sont des muscles puissants donc volumineux qui forment le galbe de la loge antérieure de l'avant-bras. (*image 6*)

Le FCS présente une origine humérale, ulnaire et radiale. Le chef huméral s'insère sur l'épicondyle médial, le chef ulnaire se situe sur le bord médial du processus coronoïde tandis que le chef radial suit la ligne oblique du radius. Le corps musculaire commun est épais avec une aponévrose centrale qui donne naissance aux tendons de chaque doigt long. Les tendons s'engagent dans le canal carpien de façon superposée : les tendons de D2 et D5 en superficie recouvrant les tendons de D3 et D4. Les tendons cheminent dans la main et se terminent sur les bords latéraux de P2 des quatre doigts longs.

Le FCS a pour action principale la flexion de P2 sur P1 et il est mis en tension lors de la flexion des doigts contre résistance. Son innervation est assurée par le nerf médian.

Le FCP prend son origine sur les  $\frac{3}{4}$  supérieurs de la partie antéro-médiale de l'ulna, de la membrane inter-osseuse et de la face profonde de l'aponévrose anté-brachiale. Les tendons sont plus longs que ceux du FCS et le FCP chemine à la face profonde du FCS se terminant par quatre tendons sur la face antérieure de base de P3 de chaque doigt long.

Le FCP est fléchisseur de P3 sur P2 et participe à la flexion de l'IPP et de la MP. Lors d'un mouvement sans résistance (à vide), il est le seul actif dans la flexion des doigts. Son innervation dépend du nerf médian pour les chefs latéraux (D2 et D3) et du nerf ulnaire pour les chefs médiaux (D4 et D5).

### **1.1.3 Le canal digital**

Le canal digital est un tunnel ostéo-fibreux formé en arrière par les phalanges et en avant par les poulies. (*image 7*)

A l'intérieur, il y coulisse les tendons du FCS et du FCP qui sont entourés de la synoviale. Cette gaine synoviale est constituée de deux feuillets : pariétal et viscéral formant ainsi un manchon qui entourent le tendon. Cette gaine sécrète du liquide synovial afin de nourrir le tendon par imbibition ou effet de pompe grâce à l'existence de petits orifices à leur face superficielle. Un système de poulie appelée « annulaire » renforce cette gaine fibreuse.

#### **1.1.4 Les poulies**

Léonard de Vinci (1452-1519) fut le premier à décrire l'existence de poulies digitales. En 1543, Vésale décrit bien le rôle fondamental de la poulie, celui de limiter l'effet corde d'arc que peut prendre le tendon fléchisseur lors de sa contraction. Par la suite, certains anatomistes du XIXème siècle, ont pu décrire de manière plus précise le rôle de ces poulies et il s'avère que le modèle décrit à l'époque est semblable à ce que nous connaissons aujourd'hui. La nomenclature actuelle des poulies est basée sur les descriptions réalisées par Doyle et Blythe en 1985 [9].

Les poulies sont des anneaux ostéo-fibreux inextensibles issus de l'épaississement de la gaine des fléchisseurs, situés à la face antérieure des phalanges. Elles sont constituées de trois feuillets : le premier, interne, formant le feuillet pariétal de la gaine tendineuse, le deuxième constitués de collagène et fibroblastes orientés perpendiculairement par rapport à l'axe de la phalange, et le troisième, externe, mésenchymateux et richement vascularisés, englobant le système fléchisseur et extenseur, ainsi que la matrice cartilagineuse de la phalange. Ainsi, la juxtaposition de l'ensemble de ces couches forme un canal très solide dans lequel le tendon fléchisseur va pouvoir cheminer tout en étant plaqué contre le squelette lors de flexion active du doigt.

Anatomiquement, on distingue deux types de poulies : (*image 8*)

- les poulies arciformes
- les poulies cruciformes

Les poulies arciformes sont au nombre de cinq notées A, pour arciforme (A1, A2, A3, A4 et A5) disposées sur la face palmaire des phalanges. Les poulies impaires sont articulaires car elles sont placées en regard de la plaque palmaire de chacune des articulations (MCP, IPP et IPD) et les poulies paires sont osseuses car elles s'insèrent chacune sur les facettes latérales des phalanges correspondantes.

A1 : se situe à 5mm juste en avant de l'interligne de la MP. Sa longueur est de 10mm, soit environ 20% de la taille de P1 et se fixe latéralement à la plaque palmaire de la MP.

A2 : commence en moyenne 2mm en aval de A1. Certains auteurs, tels Barton et De La Caffinière [39] [40] voient, en A1 et A2, une seule poulie unique. Aujourd’hui, on la distingue de A1 car anatomiquement, la poulie A1 peut être constituée d'une, deux, voire trois bandes annulaires, contrairement à la poulie A2 qui reste de façon constante semi-circulaire.

C'est la poulie la plus résistante, elle se situe au niveau des 2/3 proximaux de la P1 et s'étend sur 20mm soit environ 40% de la taille de P1. C'est aussi, celle qui est le plus exposée aux ruptures en escalade, et nous verrons par la suite pourquoi.

A3 : Elle se situe au niveau de l'IPP et se fixe, en arrière à sa plaque palmaire. Elle est présente dans 90% des cas et mesure 3mm de large.

A4 : Elle occupe le tiers moyen de P2. Quasi constante, elle est la deuxième poulie, la plus résistante, après A2. Elle s'étend sur 12mm de long et constitue avec A2, la plus épaisse et la plus étendue des poulies. C'est aussi, celle qui est la deuxième plus exposée à la rupture en escalade.

A5 : Etroite et fine, elle est présente chez 80% des cas observés et est fixée en arrière à la plaque palmaire de l'IPD.

A0 : Décrise par Manske et Lesker en 1983 [22], elle se situe en amont de A1. C'est la poulie la plus proximale, et agit comme une poulie arciforme. Elle est amarrée latéralement par des fibres verticales fixées en arrière au ligament inter métacarpien et aux fibres de l'aponévrose palmaire profonde. Plus large sur le majeur et l'annulaire, cette poulie n'est pas « osseuse » de par son insertion profonde qui est mobile.

Les poulies cruciformes sont au nombre de trois : C1, C2 et C3. Elles sont disposées obliquement formant une « croix » d'où le C pour cruciformes. Elles sont variables dans leur taille, leur présence et peuvent n'être qu'une simple bande oblique étroite.

C1 : est située au niveau de P1 entre A2 et A3. Son insertion proximale est osseuse et son insertion distale se fait sur la plaque palmaire de l'IPP.

C2 se situe au niveau de P2 entre les poulies A3 et A4 et a une insertion osseuse.

C3 se situe au tiers distal de P2 entre les poulies A4 et A5. Comme C1, elle a une insertion osseuse et une insertion distale sur la plaque palmaire de l'IPD.

Elles ont toutes un rôle de jonction entre les poulies annulaires. Elles sont moins résistantes que les poulies arciformes, car elles sont plus fines et plus lâches (elles s'effacent comme un accordéon lorsque le doigt se fléchit).

Au niveau du pouce, on retrouve deux poulies arciformes A1 et A2 et une poulie oblique. La poulie A1 se situe au niveau de la MP et la poulie A2 se situe au niveau de l'IP du pouce, se fixant à la plaque palmaire. Entre ces deux poulies arciformes se trouve la poulie oblique qui recouvre P1 : les fibres qui la constituent sont obliques de dedans en dehors et de proximal à distal et elle reçoit certaines fibres de l'adducteur du pouce.

*(image 9)*

## **1.2 L'escalade**

### **1.2.1 Histoire [35] [36]**

#### Première moitié du XXème siècle : naissance de l'escalade

A l'origine, l'escalade était une pratique réservée aux alpinistes lors de leurs ascensions en haute montagne et ils l'utilisaient comme un moyen d'entraînement. *(image10)*

Depuis le début du XXème siècle, l'escalade s'impose progressivement comme une discipline à part entière. Le matériel est encore basique alors que les premières voies en falaise dans le 5<sup>ème</sup> degré de cotation sont ouvertes (Hans Dülfer 1892-1915).

Par la suite, Willo Welzenbach (1925) propose un nouveau système de cotation allant jusqu'au 6<sup>ème</sup> degré qui sera utilisé jusque dans les années 70. A cette époque (1930), ce niveau était considéré comme la limite des possibilités humaines dans le domaine de l'escalade. C'est aussi dans ces années, en 1932, que l'UIAA (Union Internationale des Associations d'Alpinisme) a été créée à Chamonix. Elle est reconnue aujourd'hui par le CIO comme la fédération internationale représentant l'alpinisme et l'escalade. Les premières compétitions d'escalade apparaissent en 1947.

### Des années 70 à 2000 : La démocratisation de l'escalade

En 1970, l'américain Ron Kauk donne naissance au 7<sup>ème</sup> degré de cotation de voie en escalade ; deux autres américains, John Bragg (1972) et Steve Wunsch (1974) ouvriront respectivement une voie 7b et 7c. L'Europe, et notamment la France, rattrapera rapidement son retard par rapport aux américains avec Jean Claude Droyer qui ouvrira une 7a en 1977. Mais c'est grâce au reportage « La vie au bout des doigts » relatant la passion de l'escalade par Patrick Edlinger et qui a été largement médiatisé en France et dans le monde entier, que l'escalade est enfin connue du grand public.

Les années 80 marquent le début d'un essor considérable concernant la grimpe : le matériel évolue, la sécurité aussi et les salles d'escalades pullulent partout en France. Cet engouement conduit à une augmentation du nombre de pratiquants de cette discipline, et les voies deviennent de plus en plus techniques. Ainsi, chaque décennie passant, on voit les cotations augmentées de point en point.

### 2000 à nos jours : l'escalade, un changement de philosophie (image 11)

L'escalade est un sport qui connaît aujourd'hui un engouement considérable. Le nombre de licenciés à la Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade n'a cessé d'augmenter au cours de ces dernières années (cette Fédération regroupe plusieurs sports dont l'escalade). Près de 82 000 en 2012, on recense en fin d'année 2017, plus de 100 000 licenciés, sans compter qu'elle peut être pratiquée au sein d'autres organismes tel que le Club Alpin Français (CAF) et même aussi de manière « sauvage ».

Les murs d'escalade sont très répandus, facilitant l'accès à la discipline de par sa proximité. La pratique « Indoor » qu'elle soit de loisir ou compétitive devient la plus fréquentée. Par la répétition des gestes, elle permet d'intégrer plus facilement la technique qui évolue progressivement jusqu'à devenir de plus en plus performante.

#### **1.2.2 Les cotations [39]**

Malgré un système de cotation établi à l'échelle internationale, les cotations restent variables d'un pays à l'autre. (image 12)

Aujourd'hui, en France, la cotation s'étend du 3 au 9 avec des sous catégories symbolisées par les lettres a, b, c. Elle se fonde sur la difficulté de la voie suivant des critères bien définis : sa verticalité, sa qualité, la taille des prises, le nombre de prises...

On différencie, cependant, la cotation en bloc notée avec une lettre en majuscule de la cotation en voie notée avec une minuscule. De plus, on considère, de manière générale, qu'une voie de niveau 7c, par exemple, est plus « facile » qu'une voie en bloc noté 7C.

### **1.2.3 Les formes de pratique**

On définit plusieurs formes :

- l'escalade en bloc naturel : elle consiste à grimper au sommet du passage d'une faible hauteur. Elle se pratique sans matériel de sécurité mais à l'aide de tapis de réception en cas de chute (crash pad). (*image 13*)
- Les structures artificielles d'escalade (SAE) : ce sont des murs bâtis, avec des prises pour les mains et pour les pieds, utilisés pour la pratique de l'escalade. Le nombre de pratiquants de cette forme d'escalade a carrément explosé, grâce aux nombres de salles qui se sont multipliées depuis ces vingt dernières années. L'avantage aussi, par rapport au bloc naturel, c'est qu'elle est praticable toute l'année (en intérieur) quelles que soient les conditions climatiques. (*image 14*)
- l'escalade en falaise : c'est le terrain où l'escalade reste le plus pratiqué notamment pour les sportifs qui préfèrent se confronter à la nature. Elle nécessite un matériel adéquat : corde, dégaines, chausson d'escalade, baudrier, et un système d'assurage. (*image 15*)

### **1.2.4 Les types de préhension** [26] [37]

Afin de se hisser à un sommet, le grimpeur va devoir assurer les trois étapes suivantes : création d'un point fixe, stabilisation du corps et progression. Et c'est la main qui va permettre la traction verticale du corps, suppléeée par la propulsion des membres inférieurs. Ainsi, on décompose le mouvement :

- Création d'un point d'ancrage → le grimpeur s'agrippe à la paroi.
- Stabilisation → le grimpeur s'équilibre avec une contraction type placé-tenue afin d'orienter sa future prise.

- Progression → le grimpeur se tracte à l'aide de sa main en exerçant une contraction contre résistance, d'abord en concentrique puis en excentrique de tout le membre supérieur.

Plusieurs prises sont possibles pour permettre l'adaptation de la main au relief, cette liste étant non exhaustive :

- La prise arquée : Elle se définit par une flexion de l'IPP supérieur à 90° et par l'hyperextension de l'IPD, le pouce pouvant se verrouiller sur l'index. Elle permet de s'agripper sur des prises très fines tout en ayant une grande surface de contact avec celle-ci. Elle donne une sensation de force, de stabilité et prévient les atteintes cutanées. C'est pourquoi, c'est la prise préférentielle des grimpeurs notamment les novices. C'est aussi, celle qui sollicite moins le système musculaire au détriment du système de poulie qui lui est soumis à d'énormes contraintes pouvant engendrer des ruptures (Voir 1.3 et 1.4). *(image 16)*

- La prise tendue: Elle se définit par une légère flexion de l'IPP et une flexion importante de l'IPD, la MCP étant en position neutre. Elle s'utilise, surtout chez les grimpeurs expérimentés, sur des parois larges et permet un maximum de contact avec la peau sur la roche. Elle est moins puissante et stable que la prise arquée mais elle respecte au mieux les poulies car les contraintes auxquelles est soumis le canal digital sont mieux réparties. *(image 17)*

- la prise semi-arquée : C'est une position intermédiaire entre arquée et tendue. L'IPD est en position d'extension et la flexion de l'IPP n'excède pas 90°. Elle est moins traumatisante que la prise arquée. *(image 18)*

- la prise inversée : l'avant-bras se place en supination, la prise est orientée vers le bas pour forcer sur les pieds et en tirant vers le haut avec la main. Elle est souvent utilisée dans les devers. *(image 19)*

- les prises monodoigt et bidoigt : Généralement ce sont des trous où peuvent se loger un ou deux doigts. Elles sont difficiles, peu stables et très traumatisantes. C'est de préférence le 3<sup>ème</sup> doigt que l'on positionne en premier, et si la prise le permet, le 4<sup>ème</sup> doigt s'y ajoute pour former une prise bi-doigt. (*image 20 et 21*)

- le « no foot » : provient de l'anglais signifiant « pas de pied ». Les pieds sont laissés pendus dans le vide, dans des voies avec de très gros devers. Cette prise permet également de pallier à un manque de prise ou de technique de pied. Elle nécessite cependant une très bonne coordination et une force importante. (*image 22*)

- le bac : ce sont des prises avec une surface de contact importante sur toute la main et les doigts. Elle ne représente aucune difficulté. (*image 23*)

- la pince : Elle se caractérise par une opposition du pouce avec les autres doigts de la main. La main se comporte comme une mâchoire qui vient serrer la paroi, souvent en forme de colonnette. Suivant la force, elle peut être très résistante. (*image 24*)

- le verrou : les doigts ou la main se trouve « coincé(s) » dans une fissure ou un trou. Un effet de levier avec l'avant bras assure la fermeté du verrouillage. Mais, attention cette prise peut devenir douloureuse. (*image 25*)

### **1.2.5 L'escalade en compétition** [38]

Au cours de ce dernier demi-siècle, la multiplication des salles d'escalade combinée à l'amélioration du matériel et de la sécurité, ont contribué à créer deux esprits de « compétition » dans deux univers différents.

L'une consiste à la course à la performance : décrite ci-dessus dans le chapitre histoire, les grimpeurs cherchent par le dépassement de soi, à pousser leurs performances jusqu'aux limites de l'humain. Le compétiteur cherche à accomplir « l'exploit du siècle ! » afin d'être confronté avec ses propres limites en cherchant toujours à les dépasser.

C'est ce qu'a réalisé récemment Adam Ondra en ouvrant pour la première fois de l'histoire de l'escalade la seule 9c (Flatanger, Norvège) qu'il nomma « Silence ». (*image 26*)

Depuis 2011, il a ouvert treize voies comprises entre le niveau 9b et 9b+ à travers le monde, dont la Dura Dura (9b+) en février 2013, répétés par la suite par un autre compétiteur dans ce domaine Chris Sharma. Ces performeurs sont donc des grimpeurs de falaise plutôt à la recherche de difficultés toujours plus grande.

L'autre voie, plus classique, regroupe les compétiteurs d'escalade soumis à des épreuves encadrées et qui respectent les règles propres à cette discipline dont les compétitions ont débuté en 1947. Cependant, l'escalade en compétition en site naturel a vite montré ses limites car les voies peuvent être pratiquées et sur-pratiquées par certains concurrents qui monopolisent le podium. C'est pourquoi, les compétitions ont été progressivement amenées à se faire dans les SAE. Les compétiteurs privilégiennent donc la pratique « indoor » pour s'entraîner.

On distingue alors trois types de compétitions officielles en escalade qui se déroulent toutes uniquement en SAE.

- l'épreuve du bloc : C'est un passage court d'escalade, de quelques mètres. Cette épreuve consiste à gravir une succession de blocs de faible hauteur, sans corde, et dans un temps imparti. C'est une discipline, qui, historiquement, a connu un engouement particulier depuis les années 90. C'était l'époque où naissaient les SAE ; les « crash pads » commençaient à être commercialisés, délaissant ainsi les cordes et autres matériels de sécurité. Les premières compétitions à l'échelle mondiale ont débuté après les années 2000.

C'est un style d'escalade totalement différent de l'escalade « classique » : les mouvements sont courts et rapides. On recherche de l'explosivité et de la force pure dans des voies artificielles où la recherche de difficulté est le maître mot. Les contraintes mécaniques exercées sur les doigts étant très importantes, c'est la discipline où l'on retrouve le plus de ruptures de poulie. (*image 27*)

- l'épreuve de vitesse : Elle consiste pour le grimpeur à parvenir au sommet de la voie le plus rapidement possible. Il progresse en moulinette (baudriers et cordes) sur des murs homologués de 10 m ou 15 m. Il n'y a pas de cotation puisque l'enchaînement des mouvements est toujours identique.

C'est une épreuve nécessitant de la coordination, de la vitesse mais aussi de la force et de l'explosivité de la part du grimpeur. (*image 28*)

- l'épreuve de difficulté : Elle consiste à réaliser une voie en tête, dans un temps imparti (6 minutes maximum), le grimpeur étant assuré par le bas. L'objectif étant de parvenir au sommet sans tomber. Elle se rapproche le plus de l'escalade classique en falaise : à deux, on grimpe une voie comportant une certaine difficulté avec un assureur et équipés de tout le matériel de sécurité adéquat.

A la différence des autres disciplines, elle nécessite de l'endurance, de la résistance et aussi de la technique qui, elle, peut être travaillée en bloc. (*image 29*)

### **1.3 Aspect biomécanique des contraintes exercées sur la poulie en escalade**

[1] [2] [4] [9] [18] [19] [20] [22] [26] [30] [32]

En escalade, les prises digitales utilisées pour réaliser les différentes phases de déplacement sont possibles grâce à l'action des muscles FCS et FCP. Le FCP intervient majoritairement dans la fermeture des doigts et le FCS dans le maintien de la prise. Pour augmenter la force et éviter le phénomène corde d'arc, à chaque contraction, les tendons sont plaqués contre le squelette par les poulies dans le canal digital.

Nous allons détailler les contraintes qui sont exercées lors des prises et aussi la résistance de ce système de poulie jusqu'à leur rupture, partielle voire totale.

#### **1.3.1 La biomécanique de la poulie**

Comme on l'a vu plus haut, la poulie n'est pas seulement un épaississement du canal digital. Histologiquement, c'est une structure fibreuse avec plusieurs couches ayant chacune un rôle déterminé dont celui d'absorber les pressions induites par les tendons fléchisseurs.

Aussi, le mécanisme d'action des poulies est variable suivant leur localisation et leur type. (*image 30*)

Les poulies A0, A2 et A4 sont des poulies osseuses. Elles se rétrécissent légèrement (moins de 25%) lors de la flexion du doigt et limitent la corde d'arc en regard des os concaves (métacarpiens, P1 et P2) qui, sans elles, apparaîtrait en flexion. En effet, en cas de rupture d'une telle poulie, on obtiendrait une perte de mobilité du doigt ; l'appareil fléchisseur serait moins tendu car moins « plaqué » contre le squelette. Ainsi, on considère que la section isolée de A2 diminue l'enroulement digital de 10%.

Les poulies A1, A3 et A5 sont des poulies articulaires. Leur rapport est beaucoup plus variable par rapport aux poulies osseuses du fait qu'elles s'insèrent sur des articulations. Ainsi, lors de la flexion active du doigt, elles préviennent beaucoup moins l'effet corde d'arc ; elles se raccourcissent de plus de leur moitié, permettant de repartir les forces, favorisant ainsi le déplacement en avant de la plaque palmaire.

Les poulies cruciformes, étant plus fines et plus lâches, n'ont qu'un effet rétentif sur l'effet corde d'arc.

Concernant leur capacité de résistance avant rupture, plusieurs études ont été menées. Les premiers travaux de Manske et Lesker (1977, 1983) ont conclu que les deux poulies les plus résistantes seraient A1 et A4, et qu'A2 serait la plus faible. Respectivement, on retrouve, une résistance de plus de 800N pour A1, près de 400N pour A4 et 260N pour A2.

De son côté, Lin (1990) a montré que les poulies diaphysaires, grâce à leur anatomie, sont plus résistantes que les autres poulies (les annulaires articulaires et cruciformes). Elles peuvent supporter jusqu'à 409N pour A2, et 209N pour A4. Aussi, selon lui, leur capacité de résistance est différente selon la zone de la poulie : (*image 31*)

- La zone médiane de la poulie peut atteindre 666N.
- Les zones distales dites « berges distales » sont plus faibles avec une résistance aux alentours de 220N pour la poulie A4 et 254N pour A2.

### 1.3.2 La répartition des contraintes sur les poulies

Les contraintes exercées sur les poulies dépendent de deux paramètres :

- la tension musculaire : la poulie A2 subira comme tension la somme du FCP et du FCS, contrairement à la poulie A4 qui subira comme tension uniquement celle du FCP.
- l'angle  $\beta$  : formé entre le tendon et la poulie. Selon la valeur de cet angle  $\beta_{A2}$ , au niveau de A2, il en résulte une Force  $F_{A2}$  s'appliquant sur les berges distales de la poulie A2. Pour A4, l'angle  $\beta_{A4}$  est formé entre le tendon FCP et la poulie A4 avec une force  $F_{A4}$  s'exerçant sur les berges proximales de celle-ci. La valeur de l'angle  $\beta$  est corrélée au degré de flexion de l'IPP. (image 32)

Afin d'estimer les contraintes qui s'exercent sur les poulies A2 et A4, Laurent Vigouroux a établi la relation suivante :

$$F_{A2} = 2 \times (T_{FDS} + T_{FDP}) \times \cos (\beta_{A2} / 2)$$
$$F_{A4} = (2 \times T_{FDP}) \times \cos (\beta_{A4} / 2)$$

T : correspond à la tension du tendon

Mathématiquement :

En position d'extension de l'IPP  $\rightarrow \beta_{A2} = 180^\circ, 180/2 = 90^\circ$

$$\cos 90^\circ = 0$$

$$F_{A2} = 0$$

Il en ait de même pour  $\beta_{A4}$  et  $F_{A4}$ .

Pour une même tension (pour simplifier, prenons par exemple  $T_{FDS} + T_{FDP} = 0,5$ ), on retrouve :

flexion IPP	0°	30°	45°	60°	75°	90°	100°	110°	120°
angle $\beta$	180°	150°	135°	120°	105°	90°	80°	70°	60°
$F_{A2}$	0N	0,25N	0,38N	0,5N	0,6N	0,7N	0,76N	0,82N	0,86N

Ceci permet d'affirmer que : plus l'IPP est fléchie, plus la résultante des forces F est importante et par conséquent, les contraintes s'appliquant sur les berges distales des poulies le sont aussi.

En outre, toujours selon les travaux de Vigouroux, la position de travail du FCS et FCP est optimale lorsque l'IPP est fléchie entre  $90^\circ$  et  $110^\circ$ . Cette position engendre un raccourcissement du bras de levier ( $\blacktriangleleft$  de l'angle  $\beta$ ) créant un rapprochement des insertions musculaires : ainsi, cela permet de développer une résultante de force beaucoup plus importante.

Et en escalade, on retrouve ce positionnement de l'IPP dans les prises arquées. Cette prise, par définition, diminue l'angle  $\beta$ , et par conséquent augmente les contraintes mécaniques sur les poulies.

### **1.3.2.1 Lors des prises arquées**

En position arquée, le placement des différents segments correspond à :

- La MP fléchie entre  $10^\circ$  et  $20^\circ$
- L'IPP fléchie entre  $90^\circ$ - $110^\circ$
- L'IPD est en hyper extension entre  $10^\circ$  et  $30^\circ$

Cette prise peut être verrouillée par le pouce soit par application directe soit par opposition. Dans cette position, la force développée par les muscles FCP et FCS est optimale: Laurent Vigouroux a quantifié leur force respective de 257N pour le FCP et 147N pour le FCS. (*image 33*)

Ceci explique pourquoi cette prise est très utilisée par les novices. L'inconvénient est que l'angle  $\beta$  est faible ce qui entraîne une répartition de la quasi-totalité de la résultante des forces exercées par les muscles au niveau des berges distales de la poulie. Et, nous avons vu que le seuil de résistance est respectivement de 254N pour A2 et de 220N pour A4.

### **1.3.2.2 Lors des prises tendues**

En position tendue, le placement de différents segments correspond à :

- La MP est en position neutre
- L'IPP est fléchie entre  $10^\circ$  et  $20^\circ$
- L'IPD est en position neutre ou légèrement fléchie

Dans cette position la force développée par les muscles FCP et FCS est respectivement de 189N et 214N. En ce qui concerne les contraintes appliquées sur les parties distales des poulies, elles valent : 8,1 N sur A2 et 57, 4 N sur A4. (*image 34*)

On constate donc, qu'en position tendue les contraintes au niveau des extrémités de la poulie sont nettement plus faibles. Ceci s'explique, par l'ouverture du doigt dans cette position qui entraîne une augmentation de l'angle  $\alpha$  (angle de flexion de l'IPP) et ainsi qu'une répartition des contraintes au niveau de l'ensemble de la poulie aussi. Les contraintes vont se diriger vers la partie médiane de la poulie, ainsi les berges distales et proximales de la poulie seront épargnées.

#### **1.4 La rupture de la poulie** [1] [2] [4] [6] [8] [31]

La rupture de poulie est une pathologie micro-traumatique de surcharge spécifique à l'escalade moderne. Les contraintes exercées par le système fléchisseur sur les poulies sont trop importantes, et entraînent une rupture plus ou moins totale d'une ou plusieurs poulies.

Boyes (1998) a remarqué que ce traumatisme s'est accru au fur et à mesure que la discipline de l'escalade se modernisait. Déjà Bollen en 1988, avait trouvé une corrélation directe entre la pratique sportive de l'escalade et la survenue de ce traumatisme. Dès lors, la lésion de poulie est devenu une pathologie spécifique à l'escalade. Elle représente près de la moitié des prises en charge des traumatismes du membre supérieur chez les grimpeurs.

C'est un traumatisme rare et représentant moins de 1% des traitements de kinésithérapie prise en charge par la sécurité sociale.

Cependant, on peut retrouver des lésions de poulie dans d'autres sports comme le rugby ou le judo. J'ai rencontré moi même un cas de rupture d'une poulie du pouce lors d'un accouchement.

#### **1.4.1 Classification**

On constate deux types de ruptures :

La rupture partielle : il n'y a pas d'effet corde d'arc. La poulie est simplement distendue et maintient encore son rôle.

La rupture totale : la poulie est complètement rompue, et on retrouve un effet corde d'arc du fléchisseur.

Comme on a pu le voir précédemment, certaines poulies sont plus exposées que d'autres. Dans l'ordre décroissant, en termes de quantité de rupture de poulie, on retrouve, d'abord la poulie A2, puis A4, et enfin A3. Aussi, certains doigts sont plus exposés que d'autres à savoir : le 4<sup>ème</sup>, puis le 3<sup>ème</sup> doigt.

A titre informatif, parmi les ruptures de poulies, dans 75% des cas, c'est la poulie A2 du 4<sup>ème</sup> doigt qui est la plus fréquemment touchée.

#### **1.4.2 Examen Clinique [23]**

Quelle que soit la rupture, on va observer :

- un doigt plus oedématié, surtout en regard de la poulie lésée
- une douleur : qui peut être aigüe au moment de la rupture, puis diminuer en intensité, ou inversement. Elle se localise au niveau de P1 pour une rupture de A2 et au niveau de P2 pour une rupture de A4.

En revanche, en cas de rupture totale, on assiste:

- à l'instant de la rupture, un claquement qui peut être audible jusqu'à plusieurs mètres par rapport au sujet. Ce bruit signe la rupture complète de la poulie et survient pendant l'activité.
- L'impotence fonctionnelle au niveau du doigt associé à une perte de force globale de la main.

Généralement, après une rupture totale, le grimpeur stoppe son activité. Cliniquement, on aura le signe de la corde d'arc prise par le système fléchisseur qui sera palpable, et même visible dans certains cas. (*image 35*)

### **1.4.3 Examen Para-clinique** [3] [17] [33]

Aujourd’hui, l’échographie, réalisée par un spécialiste en ostéo-articulaire, permet de diagnostiquer une rupture partielle ou totale de la poulie. On la réalise en position arquée afin de visualiser le décollement du tendineux, en comparaison au côté sain.

En cas de doute, on peut réaliser soit un scanner ou une IRM pour objectiver la rupture et ainsi observer la corde de l’arc. L’imagerie est réalisée de profil, en position arquée et en comparaison du côté sain. (*image 36 et 37*)

## **1.5 Prise en charge actuelle**

Après une rupture partielle ou totale, le grimpeur doit stopper l’activité pendant quelques jours et il lui est conseillé de consulter un chirurgien de la main.

### **1.5.1 En cas de rupture partielle**

Si lors de la contraction active contre résistance en position arquée, on ne retrouve pas la présence de corde d’arc, il est possible que la poulie ne soit pas rompue totalement. Dans ce cas, on peut avoir recours à de l’imagerie pour confirmer le diagnostic et aussi, éviter de passer à côté d’une autre pathologie (rupture d’une des deux bandelettes du FCS, par exemple).

#### **1.5.1.1 Orthèse**

En cas de rupture partielle, on réalise une bague qui joue le rôle de la poulie. Pendant la réalisation de cette bague en thermoplastique, quand celui-ci est encore chaud, on appuie avec notre pouce en regard de la poulie, pour suppléer le rôle de poulie qui est lésée. Celle-ci est réalisée soit en regard de la base de P1 (A2) soit de P2 (A4) en débordant légèrement sur les articulations sus et sous jacentes pour limiter l’angle de flexion de l’IPP.

La bague est composée d'un velcro pour serrer plus ou moins, suivant l'effort que le patient réalise. (*image 38 et 39*)

Généralement, le grimpeur de haut niveau stoppe son activité. Néanmoins, en compétition, il pourra enlever la bague et strapper le doigt afin de suppléer le rôle de la poulie.

Il est conseillé de porter la bague pendant 6 semaines en continu, et de ne reprendre que progressivement l'activité après.

#### **1.5.1.2 Rééducation**

En cas de rupture partielle, la rééducation est à base de physiothérapie pour diminuer l'œdème et récupérer un doigt souple. On pourra aussi, mobiliser activement le FCS par rapport au FCP et inversement pour favoriser le glissement tendineux entre ces deux tendons.

On conseillera au patient de porter la nuit du Coheban® pour diminuer l'œdème résiduel.

#### **1.5.2 En cas de rupture totale**

Si lors d'une contraction du système fléchisseur en position arquée, on observe le tendon faisant saillie au niveau de la peau, il n'y a pas de doute quant à la rupture totale. Ce signe représente le décollement du système fléchisseur par rapport au squelette : n'étant plus plaqué à l'os par la poulie lors de la flexion active des doigts, le bras de levier est plus court et les tendons trop longs ne suivent plus les axes de flexion et rotation induits par la poulie.

#### **1.5.2.1 Chirurgie [5] [6] [12] [15] [16] [21] [23] [24] [25]**

Dans la littérature, on retrouve plusieurs techniques chirurgicales pour la réparation d'une poulie :

- La technique de Bunnell : elle utilise un greffon tendineux provenant du court palmaire ou de l'extenseur propre de D5 qui sera enroulé autour de la phalange.

- La technique d'Andreas Weilbey : elle utilise les berges restantes de la poulie ainsi qu'un greffon (court palmaire, bandelette du FCS du IV ou extenseur propre du V) pour pallier au manque de substance.
- La technique de Lister : c'est la technique la plus pratiquée, elle consiste à prélever une partie du retinaculum des extenseurs des doigts au dépend du 4<sup>ème</sup> compartiment afin de reconstruire la poulie. L'avantage de ce greffon c'est qu'il n'entraîne d'une part aucune séquelle au niveau des extenseurs et d'autre part, il est synovialisé. (*image 40*)
- La technique de Karev : elle n'est utilisée qu'en cas de lésion de l'appareil fléchisseur, en plus de la poulie.

#### 1.5.2.2 Orthèse et Rééducation [25] [27] [28] [29] [34]

En cas de rupture totale, plusieurs protocoles ont été élaborés afin de rééduquer les ruptures complètes de poulie chez les grimpeurs de haut niveau.

	Orthèses	Rééducation	Reprise sportive
Laffont (1996)	Type Duran + Bague de poulie pendant 6 semaines	Durée : 6 semaines Dès J+2 en passif Dès J+7 en actif	J+45 post-opératoire
Schöffl & Coll (2003)	Immobilisation stricte pendant 2 semaines dans une attelle palmaire, puis bague de poulie pendant 6 semaines	Elle débute à J+30	J+120 post-opératoire
D. Thomas, Pr F. Moutet, Dr P. Gerad (2010)	1 <sup>er</sup> temps : Type Duran + Bague de poulie pendant 6 semaines 2 <sup>ème</sup> temps : Bague de poulie pendant 6 semaines	Dès J+2 : passif, puis dans un second temps, actif. Mobilisation douce, placé tenu Pas de résistance avant 3 mois	J+90 post-opératoire

Ce dernier protocole (2010) est celui considéré de référence aujourd'hui pour la rééducation en post-opératoires de poulies.

## **2. REFLEXION ANALYTIQUE**

Globalement, on remarque sur les trois protocoles, une modification dans le traitement à J+45 (6 semaines) post-opératoire. Cette modification n'est pas un hasard, et se retrouve dans l'ensemble des traitements en kinésithérapie (fracture, lésions des fléchisseurs) que ce soit en post-opératoire ou non.

Quand on compare les phases de traitement en kinésithérapie et les phases de cicatrisation, on remarque qu'elles sont concomitantes. On observe alors:

- Une phase inflammatoire qui dure de J+3 à J+21 (environ) avec un œdème et une fibrose qui commence déjà à se former par la présence d'un tissu cicatriel primaire très vascularisé, pauvre en collagène de type 1 et riche en collagène de type 3 et fibronectine.
- Une phase de prolifération cellulaire qui débute de J+21 à J+45 (environ) avec fabrication de collagène de type 1 par les fibroblastes, tout en s'appauvrissant en vaisseaux. C'est cette étape où les fibres s'orientent dans le sens des forces auxquelles elles sont soumises. C'est pourquoi, aujourd'hui, l'immobilisation durant cette phase est à proscrire.
- Une phase de remodelage qui commence à J+45 et dure plusieurs mois. Le tissu cicatriel se remodèle pour s'approprier les propriétés spécifiques du tissu qu'il remplace, notamment les propriétés mécaniques.

L'objectif de toute opération chirurgicale (ici de la reconstruction de la néopoulie) est de faire cicatriser le tissu lésé. Cette cicatrisation passe par des étapes délicates qui ne doivent pas être perturbées au risque d'avoir un tissu final non fonctionnel.

A court terme, la poulie suturée n'a pas les propriétés biologiques et mécaniques antérieurs à l'accident, et elle pourrait céder à des contraintes même pour des activités quotidiennes.

D'un autre côté, l'immobilisation post-opératoire limite le renouvellement du collagène et l'apport vasculaire, qui peuvent être, au contraire, favorisés par la mobilisation active immédiate (utilisé dans les protocoles de sutures de fléchisseurs).

A ce sujet et en référence à M. Merle (1997) : « La mobilisation précoce est le meilleur moyen pour lutter contre l'œdème, l'enraissement articulaire et les adhérences tendino-périostées. »

Aussi, depuis près de 3 ans, le Docteur André Gay, chirurgien de la main à Marseille, utilise une autre technique chirurgicale sans greffon. Et c'est cette nouvelle approche chirurgicale, qui m'a conduit à établir un nouveau protocole de rééducation. Celui-ci fait l'objet de l'expérimentation que je vais détailler ci-après.

### **3. PARTIE EXPERIMENTALE**

#### **3.1 Population** [33]

Dans la littérature (cf F. Moutet), lors d'une rupture totale de poulie, les chirurgiens n'opèrent généralement que les patients qui sont grimpeurs de haut niveau. La chirurgie pour les patients non grimpeurs s'avère inappropriée.

En 2016, trois grimpeurs de haut niveau ont été opérés par suture directe par le Docteur André Gay. Ils ont suivi le même protocole en orthèse et en rééducation puisqu'ils ont été rééduqués tous les trois dans mon cabinet libéral.

Ensuite, au vu des résultats positifs, nous l'avons appliquée sur 8 patients au total. Et, même si je n'ai pas pu les suivre tous en rééducation, ils ont été rééduqués suivant le même protocole, similairement aux 3 autres et suivant les mêmes critères.

Critères d'inclusions :

- Patient : grimpeur de haut niveau, minimum 8a avant accident.
- Rupture de la poulie durant la pratique de l'escalade
- Rupture complète de la poulie
- Traiter chirurgicalement par suture directe

Critères d'exclusions :

- Rupture partielle de la poulie
- Rupture en dehors de la pratique de l'escalade

Patient	Age (jour de la rupture)	Latéralité	Poulie opérée et doigt	Circonstance de la rupture	Niveau de avant rupture
1 : Homme	20 ans	G	A2 D4 G	Bloc Prise Arquée	8b
2 : Femme	22 ans	D	A2 D4 G	Bloc Mono Doigt	8c
3 : Femme	22 ans	D	A2 D4 G	Bloc Bi-doigt tendu	8a
4 : Femme	33 ans	D	A4 D3 G	Falaise Mono Doigt	8b+
5 : Femme	20 ans	D	A2 D4 G	Bloc Doigt tendu	8c
6 : Femme	27 ans	D	A4 D4 G	Falaise Semi Arquée	8b
7 : Homme	30 ans	D	A2 D4 G	Falaise Prise Arquée	8a+
8 : Homme	34 ans	D	A2 D4 D	Bloc Prise Arquée	8c

La moyenne d'âge est de 27 ans.

Le sex-ratio est de 5 femmes pour 3 hommes.

Majoritairement, on retrouve 7 lésions sur le 4<sup>ème</sup> doigt contre 1 seul sur le 3<sup>ème</sup> doigt.

Les ¾ des poulies sont des A2 contre seulement ¼ sont des A4.

Aussi, les ruptures sont un peu plus importantes en bloc qu'en falaise : 5 contre 3.

Les ruptures en prise arquée ou semi-arquée représentent la moitié des cas de ruptures.

Enfin, pour près de 75% des patients, la rupture a lieu sur la main opposée à leur latéralité.

Analyse des résultats

Comme nous l'avons vu dans les différentes prises, le 4<sup>ème</sup> doigt est le plus exposé à la rupture. Quelle que soit la prise, il est concerné : mono-doigt et bi-doigt. En arquée et semi-arquée, les contraintes sont encore plus importantes.

Aussi, la poulie A2 est la plus sollicitée car c'est sur celle-ci que s'exerce le maximum de contrainte en arquée : plus de la moitié des ruptures de A2 ont été réalisées en bloc et en arquée ou semi-arqué.

Enfin, le manque de force et de résistance peut expliquer que la rupture de poulie a lieu sur la main contro-latérale à leur latéralité, pour la plupart des grimpeurs.

### **3.2 La suture directe de la poulie**

La suture directe n'est réalisable qu'à court terme par rapport à la rupture (quelques jours) sans quoi les deux moignons de la poulie perdent leurs caractéristiques mécaniques et se rétractent.

#### Protocole opératoire

L'avant bras est placé en supination sous anesthésie loco-régionale. L'incision selon Bruner, se fait en regard de la poulie rompue soit A2 en base de P1, soit A4, au tiers moyen de P2. Ensuite, libération du paquet collatéral afin de le protéger, puis tenosynovectomie. A l'aide d'une aiguille de 20mm et d'un fil résorbable de type PDS 5/0 (PDS 4/0 pour les patients les plus résistants), on récupère le moignon radial que l'on suture au moignon ulnaire. Le temps opératoire est d'environ 16 minutes (entre 13 et 25 minutes sur les 8 cas). *(image 41)*

Le principal intérêt de cette suture c'est l'absence de greffon, qui même s'il est bien synovialisé, n'a pas les mêmes propriétés mécaniques et biologiques que la poulie.

L'inconvénient, c'est qu'il est nécessaire de réagir rapidement après la rupture pour pouvoir réaliser la suture bout à bout.

### **3.3 L'appareillage post-opératoire**

A la suite du bloc, les patients sont immobilisés dans une attelle type Duran, c'est à dire avec 20° de flexion de poignet, 60° de flexion des métacarpo-phalangiennes et les IPP sont tendues. Cette attelle est réalisé en thermoplastique sur mesure, et est portée 24H/24H par le patient, sauf pendant la rééducation, durant 3 semaines post-opératoire. *(image 42)*

Ensuite, à la 3<sup>ème</sup> semaine, on réalise une bague thermomoulée en regard de la poulie, en réalisant un contre appui lors du moulage en regard de la poulie suturée. Cette bague est à porter pendant 3 semaines 24h/24h. (*image 38 et 39*)

A l'issue de ces 6 semaines, le patient garde la bague dans les situations à risque (renforcement musculaire, transport en commun, port de charge lourde). Il la portera aussi durant les premières séances de rééducation, ou le travail contre résistance débute, mais devra progressivement en faire le sevrage.

A 3 mois, le port de l'orthèse n'est plus nécessaire et la reprise de l'activité est possible. Toutefois, il pourra se réaliser un strapping du doigt durant les premières sessions de grimpe.

### **3.4 Protocole de Rééducation**

La rééducation commence à J+2 post-opératoire, et dure environ 3 mois jusqu'à la reprise sportive progressive.

Elle se décompose en 3 phases.

#### **Phase 1 : de J+2 à J+21**

L'attelle de Duran est enlevée pour réaliser la séance.

La cryothérapie permet de diminuer les douleurs et l'inflammation. Elle est utilisée au début de chaque séance durant 20 minutes environ. La main est placée en légère déclive avec la poche de glace qui enveloppe entièrement la main.

La mobilisation passive type Duran peut débuter. On reproduit l'effet ténodèse pour l'ensemble des doigts en souplesse. Puis, on mobilise passivement en flexion et extension les différentes articulations : poignet, MCP, IPP et IPD. La mobilisation passive dure environ 10 minutes.

Enfin, on réalise de la mobilisation active analytique sans résistance, avec un appui palmaire en regard de la néopoulie. On réalise 10 mouvements de flexion active de l'IPP et 10 mouvements de flexion de active de l'IPD. Ceci afin de faire coulisser les deux tendons l'un par rapport à l'autre dans le canal digital. On réalise 2 ou 3 séries de 10 répétitions par articulation en fonction de la douleur et du ressenti du patient.

On peut aussi espacer les séries avec de la cryothérapie entre les séries et à la fin des séries. Cette étape peut durer 10/15 minutes.

#### Phase 2 : de J+21 à J+45

L'attelle de Duran n'est plus d'actualité, le patient porte une simple bague, même durant la séance.

On poursuit la mobilisation Duran et la mobilisation passive des différents segments.

La recherche de l'effet ténodèse se fait de plus en plus en actif sans l'intervention du kinésithérapeute.

On intensifie les mobilisations actives analytiques en quantité mais aussi en qualité (contraction de plusieurs secondes) sous couvert de la bague. La mobilisation active et auto-active devient de plus en plus prépondérante dans la séance de rééducation.

Progressivement, au fur et à mesure des séances, on contrôle qu'il n'y ait pas d'enraideissement que ce soit en flexion ou en extension (généralement les grimpeurs, n'ont pas une extension totale des IPP). On compare toujours les amplitudes obtenues au coté controlatéral.

Enfin, on cherche l'effet placé-tenu : on place le doigt dans des secteurs de mobilité différents et on demande au patient de tenir la contraction durant 4 à 6 secondes. On répète cette contraction statique environ une trentaine de fois par séance. Cette technique nécessite au préalable que le patient contrôle sa force ; c'est pourquoi elle n'est pas demandée dès le début de la rééducation.

Un massage et un appareil de vacuothérapie permettent d'améliorer l'élasticité du tissu cutané. Aussi, en cas d'œdème résiduel, on peut utiliser le principe d'ionophorèse pour diminuer l'œdème et la douleur.

### Phase 3 : de J+45 à J+90

#### Sevrage progressif de la bague lors des séances

Les techniques passives ne durent que quelques minutes, alors que les mobilisations actives s'intensifient en qualité et en quantité. L'enroulement global des doigts dans la main doit être semblable au côté non opéré.

D'autre part, on pourra commencer sous couvert de la bague durant les premières séances de cette étape, le renforcement musculaire analytique du doigt contre résistance.

D'abord la résistance sera manuelle et statique, et le kinésithérapeute exerce une pression sur P2, puis sur P3. Ensuite, on pourra proposer la même manœuvre en dynamique.

Enfin, on réalisera sur plateau canadien, un montage avec des élastiques exerçant une résistance mécanique dynamique, que l'on pourra mesurer et donc augmenter progressivement grâce à un dynamomètre.

Le massage et la vacuothérapie permettront de continuer d'assouplir la peau et de diminuer les adhérences cicatricielles.

### **3.5 Outils d'évaluations et Analyses des résultats**

Les 8 patients n'ont pas tous été opérés en même temps, ni récemment. J'ai ainsi élaboré un questionnaire identique pour chaque patient. (*annexe 1*)

Patient	Date intervention	Date du bilan	Ecart
1	04/02/2016	25/01/2019	J+3ans post-op
2	10/03/2016	25/01/2019	J+3 ans post-op
3	15/06/2016	25/01/2019	J+30 mois post-op
4	14/02/2018	21/01/2019	J+1 an post-op
5	06/06/2018	12/02/2019	J+8 mois post-op
6	05/09/2018	17/01/2019	J+4 mois post-op
7	06/11/2018	12/04/2019	J+5 mois post-op
8	05/12/2018	24/04/2019	J+18 semaines post-op

## Les outils d'évaluations

### ➤ Comparaison niveau escalade avant et après opération

Premier point important, on a comparé le niveau d'escalade avant et après opération.

Patient	Niveau avant rupture	Reprise de la discipline post-opératoire
1	8b	A 5 mois : 8b, <b>aujourd'hui 8c</b>
2	8c	A 6 mois : 8c
3	8a	A 8 mois : 8a
4	8b+	A 6 mois : 8b+
5	8c	A 5 mois : 8b, <b>aujourd'hui 8b+</b>
6	8b	A 4 mois : 8b
7	8a+	A 5 mois : 7c+
8	8c	A 4 mois et demi : 8a

On constate que la moitié a repris le même niveau qu'antérieurement à la lésion, entre 4 et 6 mois post-opératoire. Un seul a progressé depuis la lésion, et le patient 5,7 et 8 étaient à un niveau en dessous après 5 mois post-opératoire.

### ➤ Mesure de la force de préhension

Pour l'évaluer, nous avons mesuré au JAMAR la pression de serrage en comparaison au côté contro-latéral. A savoir qu'il n'existe aucune corrélation entre la force de préhension et le niveau en escalade.

Patient	JAMAR (comparatif au côté non opéré)	Latéralité	Coté opéré
1	+ 3kg à Gauche	G	G
2	= (33kg)	D	G
3	= (30kg)	D	G
4	+ 10kg à droite	D	G
5	= (32kg)	D	G
6	+ 2 kg à droite	D	G
7	+4 kg à droite	D	G
8	+5 kg à gauche	D	D

On remarque que la force de préhension est assez rapidement récupérée chez les grimpeurs par rapport au côté contro-latéral. Pour les patients 6, 7 et 8 le bilan n'a pas été réalisé à plus de 6 mois post-opératoire, ce qui peut expliquer le manque de force. En revanche, on constate d'une perte de force importante pour le patient 4 qui ne semble pas, cependant, le gêner dans son activité, ni dans sa vie quotidienne.

➤ **Mesure de la douleur (EVA)**

A distance plus ou moins importante de l'intervention, j'ai demandé aux patients de quantifier la douleur à la date du bilan. Les 5 premiers, n'ont eu aucune douleur dans leur reprise sportive. Le patient 6 ressentait quelques douleurs dans certaines prises (arquées) évaluées à 2/10 à l'échelle visuelle analogique (EVA). Le patient 7, lors des prises arquées, a coté à 3/10 à l'EVA la douleur. Pour le patient 8, il cotait sa douleur à 1/10 par rapport à certaines prises (arquées ou non).

➤ **Mesure de la circonférence du doigt opéré**

La mesure de la circonférence est un paramètre important nous renseignant sur l'état cicatricielle du tissu cutanée et de la fibrose des parties molles.

Patient	Diamètre doigt (comparatif au côté non opéré)	Coté opéré
1	+1mm à gauche	G
2	= des 2 cotés (52mm)	G
3	= des 2 cotés (55mm)	G
4	+2mm à gauche	G
5	+3mm à gauche	G
6	+5mm à gauche	G
7	+3mm à gauche	G
8	+5mm à droite	D

Majoritairement, le doigt reste un peu plus oedématié chez la plupart des athlètes mis à part pour deux d'entre eux. On le constate chez le premier patient dont la mesure a été faite à 3 ans post-opératoire. Pour les 3 derniers, on est à moins de 6 mois post-opératoire, ce qui explique la différence par rapport au côté sain.

➤ **Score de Buck-Gramcko [7]**

Ensuite, pour évaluer la mobilité du doigt, j'ai utilisé le score de Buck-Gramcko. C'est une mesure qui tient compte de 3 paramètres :

- la distance pulpe du doigt au pli palmaire distale correspondant en degré à la flexion de l'ensemble des articulations (à savoir MCP, IPP et IPD),
- le déficit d'extension actif,
- la différence entre la flexion active totale du doigt et le déficit d'extension actif du doigt en degré.

L'ensemble de ces trois données donne un score compris entre 0 et 15.

Pour l'ensemble de la population, au moment du bilan nous avons obtenu un score entre 14 et 15 (6 patients ont eu 15, 2 patients ont eu 14), ce qui est excellent dans l'évaluation du score.

➤ **Gêne fonctionnelle du patient**

Par ailleurs, j'ai envisagé, de façon subjective, un autre paramètre moins quantifiable mais tout aussi intéressant à mesurer. J'ai demandé au patient s'il était gêné fonctionnellement dans sa vie de tous les jours et notamment lors de l'escalade.

Les 3 premiers opérés ne ressentent plus aucune gêne, en escalade ou dans leur vie quotidienne.

Ensuite, deux d'entre eux ressentent une légère gêne lors l'ascension de plusieurs voies dans la journée.

Une patiente relate des sensations de froid dans le doigt de temps en temps mais jamais lors des sessions d'escalade.

Aussi, le patient 7 ressent de l'engourdissement dans son doigt au réveil et après une activité physique quelle qu'elle soit. Cette sensation n'est pas rare à ce délai post-opératoire.

Enfin, pour le patient 8, il relate un manque de force, lors de l'escalade qui le gêne.

### ➤ **Satisfaction du patient**

Deuxième paramètre tout aussi subjectif inclus dans mon questionnaire, c'est la satisfaction du patient. Comme le montre le tableau, la satisfaction est unanime : 7 ont répondu excellent et 1 a répondu bien.

Patient	Satisfaction
1	Excellent
2	Excellent
3	Excellent
4	Bien
5	Excellent
6	Excellent
7	Excellent
8	Excellent

### ➤ **Mesure échographique des sutures réalisées**

Enfin, nous avons voulu mesurer la tenue des sutures directes de poulies. Nous avons pu la réaliser sur 6 patients grâce au concours d'un radiologue spécialisé en ostéo-articulaire. Sur les trois premiers patients, le recul est plus probant car l'échographie a été réalisée à 3 ans post-opératoire. Ce qui nous a permis d'avoir des mesures objectives en vue d'évaluer la résistance de la poulie suturée sur le long terme. Ensuite, on l'a réalisée aussi sur les patients 5, 6 et 8, opérés plus récemment (moins d'un an post-opératoire). Quatre paramètres ont été ainsi mesurés ou contrôlés :

- l'épaisseur de la poulie
- l'existence ou non d'un diastasis en statique
- l'existence ou non d'un diastasis en manœuvre dynamique contrariée
- l'existence d'un conflit et/ou adhérence en mouvement de flexion/extension

### Résultats

Concernant les 3 premiers patients dont l'échographie a été réalisée à J+3 ans post-opératoire (Annexes 2 à 10)

L'épaisseur de la poulie opérée, dans le plan frontale, est plus importante de 0,2 à 0,3mm pour chaque patient comparativement au même doigt côté non opéré.

Aucun diastasis n'a été remarqué en statique en comparaison du côté non opéré pour les 3 grimpeurs.

Un diastasis de 0,1 à 0,2mm a été observé chez deux des grimpeurs lors des manœuvres dynamiques contrariées. Le 3<sup>ème</sup> ne présente aucun diastasis en dynamique.

Enfin, aucun des trois grimpeurs ne présentent une adhérence ou conflit lors de la flexion et de l'extension du doigt.

Concernant les 3 autres patients dont l'échographie a été réalisée entre 4 mois et 10 mois post-opératoire (Annexe 11)

Les poulies opérées révèlent une épaisseur un peu plus importante que celle des poulies non opérées en comparaison au coté contro-latéral. Ceci est d'autant plus vérifié, que l'on est proche de l'opération : on retrouve 0,4 à 0,9mm d'écart.

En statique, on ne retrouve aucun diastasis. En dynamique, le diastasis est de 0,1 à 0,2mm pour les 3 patients.

Enfin, aucun conflit ou adhérence n'est retrouvé au niveau du système fléchisseur. Le dernier patient présente une synovite de la gaine du fléchisseur.

### **3.6 Discussion**

Ce nouveau protocole expérimental révèle un intérêt certain à partir des résultats obtenus sur ces 8 patients. A 6 mois post-opératoire, quasiment tous ont repris leur niveau antérieur et ne sont pas gênés par la poulie opérée. Nous avons même un recul de 3 ans sur 3 d'entre eux : ils sont très satisfaits de l'opération et de ses suites. En effet, pour eux c'est comme si « je n'avais subi aucune opération » témoignent-ils; et les sutures sont tout aussi résistantes qu'avec un greffon.

La rééducation active immédiate est bénéfique. Réalisée dans différents cabinets avec le même protocole, les résultats sont aussi prometteurs. C'est grâce au sevrage rapide de l'attelle de Duran qui vient réduire considérablement les délais d'immobilisation, que la reprise du travail contre résistance est réalisable et que le sport est reconduit plus rapidement.

Certes, pour que cette étude soit encore plus significative, il aurait fallu une population plus importante. En l'occurrence, il faudrait réaliser les bilans pour chaque grimpeur opéré à une date post-opératoire identique pour tous, par exemple 6 mois. Ce qui aurait permis d'évaluer la régularité de la reprise du sport pour chacun d'entre eux et d'établir un pourcentage de réussite.

Enfin, Il serait intéressant de réitérer le même bilan aux 5 derniers patients à 3 ans post-opératoire pour que le résultat de cette étude soit plus significatif. Et, dans ce même temps, il est bon de poursuivre, au vu des résultats obtenus concernant les trois premiers patients, ce même protocole sur des prochains grimpeurs de haut niveau victimes d'une rupture de poulie.

Dans l'avenir, une étude comparative entre deux populations de grimpeurs opérés pourrait être envisagée : les uns suivant le protocole actuel, et les autres avec notre protocole expérimental afin d'évaluer l'intérêt de l'un par rapport à l'autre.

## **CONCLUSION**

L'escalade est une discipline traumatisante, en particulier pour les poulies de l'appareil fléchisseur. La rupture de poulie est clairement définie comme une pathologie spécifique à la pratique de l'escalade.

Cette discipline en passe de devenir olympique s'est largement popularisée et est accessible à tout public : jeunes enfants, adolescents, adultes.

Les entraînements se multiplient dans les salles conçues spécifiquement pour sa pratique, et le surentrainement en bloc est devenu monnaie courante surtout chez le grimpeur de haut niveau qui cherche toujours à se perfectionner.

Par conséquent, le système de poulie des doigts grandement sollicité est fragilisé, d'où les ruptures de plus en plus fréquentes que nous rencontrons au sein de notre profession. Si celles-ci ne sont pas traitées, elles entraînent une perte de force au niveau de la main, ce qui représente un inconvénient majeur et tout particulièrement au niveau de la compétition. Seul, le compétiteur subira une intervention chirurgicale pour recouvrer sa motricité initiale car l'efficience des poulies est essentielle à cette discipline sportive.

C'est pourquoi, dans le cadre particulier du soin, une nouvelle approche chirurgicale nous a amené à définir un nouveau protocole de rééducation et d'orthèse. Ses résultats sont plutôt encourageants, quant à la poursuite de celui-ci.

Et je reste convaincu que le suivi de nos patients actuels et nouveaux fera l'objet d'une nouvelle expérimentation dans quelques temps. C'est l'avantage que nous offre toute recherche dans ce domaine professionnel de soin et de confort pour les patients.

A ce propos, les grimpeurs dont nous avons la charge bénéficient de nos recommandations en termes de gestes de prévention à adopter après la rééducation. Nous préconisons, bien évidemment, l'échauffement, les étirements, l'hydratation mais aussi la réalisation des strappings (surtout pour la reprise) et, nous leur conseillons d'éviter la prise arquée et le surentrainement sur du spécifique.

En fait, comme dans tous sports, les compétiteurs recherchent la performance et le dépassement de soi, et de ses limites corporelles, surtout dans l'exercice de toute discipline sportive qui vient stimuler la production d'adrénaline.

L'évolution sur des voies longues en falaise est spectaculaire. Le cœur de la voie l'est déjà pour l'observateur qui l'admiré et a fortiori pour le sportif qui se lance le défi de réussir à la sillonnner.

C'est ce qui explique l'aspect dangereux quand la pratique devient passionnelle et qu'elle n'est plus codifiée.

Pour exemple, le 19 avril de cette année, trois grimpeurs très expérimentés, David Lama, Hansjörg Auer et Jess Roskelley ont perdu la vie dans une avalanche alors qu'ils s'apprêtaient à réaliser une deuxième ascension d'une voie au cœur du Pic Howse, en Alberta (Canada).

Pourtant, leur réputation en matière de technicité et d'expériences diverses (évaluation des risques, précision des gestes et réflexion) ne faisait plus aucun doute.

Néanmoins, l'être ne peut tout maîtriser, et, en particulier, la nature.

Elle exerce un charme envoûtant tel que l'un de ces grimpeurs disparu, Hansjörg Auer, a avoué :

« Je pense au jour où je pourrai ne pas en revenir et si, pour ces montagnes, je devais en payer le prix fort. Et pourtant, je ne peux résister à relever à chaque fois le défi. Je n'arrêterai jamais parce que ce que j'y trouve quand je réussis, me fascine. »

Toute passion a un prix auquel tout sportif est confronté. Certains se plient aux exigences d'une règlementation déterminée, ce qui comporte moins de risques au niveau de la pratique, et la médecine peut réparer, « faire des miracles » selon les cas. D'autres trouvent le sens de leur vie en poussant leurs limites corporelles jusqu'au bout. Le fil est tenu entre le possible et l'impossible et certains passionnés sont prêts à en payer le prix fort, jusqu'au péril de leur vie.

## **BIBLIOGRAPHIE**

### *Articles*

- [1] BOLLEN SR. Injury to the A2 pulley in rock climbers. *J Hand Surg* 1990 ; 15B : 268-270.
- [2] BOLLEN, S. R. Soft tissue injury in extrem rock climbers. *Br. J. Sports Med* 1988. 22(4): 145-147
- [3] BOLLEN, S. R., Wright, V. Radiographic changes in the hands of rock climbers. *Br. J.Sports Med* 1994. 28(3): 185-186
- [4] BOLLEN SR, GUNSON CK. Hand injuries in competition climbers. *Br J Sports Med*. 1990, 24: 16-8.
- [5] BOUYER ET AL. Recovery of rock climbing performance after surgical reconstruction of finger pulleys. *The Journal Of Hand Surgery*. 2016. Vol 41E(4) 406-412
- [6] BOYLE J.H. *Bunnell's surgery of the hand* Philadelphia: J.B. Lippincot 1970. 403-404
- [7] BUCK-GRAMCKO D, DIETRICH FE, GOGGE S. Evaluation criteria in follow-up studies of flexor tendon therapy. *Hand surgery*. 1976;8(2):65-9.
- [8] CARTIER, J. L., TOUSSANT, B., BARLOT, P., HERRY, J-P., ALLIEU, Y., BOUSQUET, G. 1985. Approche d'une nouvelle pathologie de la main liée à la pratique de l'escalade. *Journal de Traumatologie du Sport*. 2: 35-39
- [9] DOYLE JR., BLYTHE W., (1975 )*The finger flexor tendon sheath and pulleys: Anatomy and reconstruction*. AAOS Symposium on Tendon Surgery in the Hand. Saint Louis ; C. V. Mosby Co ; 81-7

[10] DUFOUR M. – Anatomie de l'appareil locomoteur - Tome 2 Membre supérieur - 2<sup>ème</sup> édition – Edition Elsevier Masson. 2007

[12] GABL M, REINHART M, LUTZ M. The use of a graft from the second extensor compartment to reconstruct the A2 flexor pulley in the long finger. *J Hand Surg* 25(B): 98–101. Année 2000. From the University Hospital of Traumatology and the University Hospital of Radiology, Innsbruck, Austria

[13] GEMMSOR, Rééducation de la main et du poignet .Edition Elsevier Masson. 2013

[14] KAMINA P. – Anatomie clinique – Tome 1 Anatomie générale Membres – 4<sup>ème</sup> édition – Edition Maloine – juillet 2009

[15] KAREV A. The “belt-loop” technique for the reconstruction of pulleys in the first stage of flexor tendon grafting *J. Hand Surg* 1984 ; 9A : 923-924

[16] KLEINERT HE, BENNETT JB. Digital pulley reconstruction employing always present rim of the previous pulley. *J Hand Surg* 1978;3: 297–8.

[17] LE VIET, D., ROUSSELIN, B., ROULOT, E., LANTIERI, L., GODEFROY, D. Diagnosis of digital pulley rupture by computed tomography. *J. Hand Surg* 1996.21A: 245-248

[18] LE VIET, D. D'AGOSTINO P. Digital Pulleys Pathology. *Revue du Rhumatisme Monographies*. 2012. 79 ; 90-95

[19] LIN G-T., AMADIO P.C., AN K-N. AND COONEY W.P. Functional anatomy of the human digital flexor pulley system. *J Hand Surg* 1989 ; 14A : 949-56

20] LIN, G. T., COONEY, W. P., AMADIO, P. C., AN, K. N. Mechanical properties of human pulleys. *J. Hand Surg.* 1990. 15B: 429-434

[21] LISTER G.D. Reconstruction of pulleys employing extensor retinaculum *J. Hand Surg.* 1979 ; 4A : 461-464

- [22] MANSKE PR, LESKER PA. Strength of human pulley. *Hand* 1977;9: 147– 52.
- [23] MOUTET F., GUINARD D., GERAD PH., MUGNIER C. Les ruptures sous-cutanées des poulies des fléchisseurs des doigts longs chez les grimpeurs de haut niveau. *Ann Chir Main*, 1993, 12, n°3, 182-188.
- [24] MOUTET F., GUINARD D., CORCELLA D., DE MOURGUES P., La réparation des ruptures des poulies des fléchisseurs chez le grimpeur. *Journal de Traumatologie du Sport* 1998 ; 15 ; 221-4
- [25] MOUTET F., Les poulies de l'appareil fléchisseur : anatomie, pathologies, traitement. *Chirurgie de la main* 2003 ; 22 ; 1-12
- [27] SCHOFFL V., HOCHHOLZER T., WINKELM ANN H.P., STRECKER W., Pulley injuries in rock climbers. *Wilderness and Environmental Medicine* 2003 ; 14 (2) ; 2-94/100
- [28] SCHÖFFL V, [EINWAG F](#), [STRECKER W](#) ET AL. Strength measurement and clinical outcome after pulley ruptures in climbers. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 Apr;38(4):637-43
- [29] SCHÖFFL V, SCHÖFFL I. Injuries to the finger flexor pulley system in rock climbers: current concepts. *J Hand Surg* 31 (A):647–654. Avril 2006. Department of Trauma and Orthopaedic Surgery, Klinikum Bamberg, Bamberg, Germany.
- [30] SCHWEIZER A. Biomechanical properties of the crimp grip position in rock climbers. *Journal of Biomechanics*. 2001. 34 ; 217-223
- [31] SCHWEIZER A. Une pathologie spécifique du grimpeur : Les lésions de poulies digitales des fléchisseurs. *Revue Suisse de Médecine et Traumatologie du Sport*, 2002 11-15

[32] VIGOUROUX L., F. QUAINE, 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).

[33] VOULLIAUME D, FORLI A, PARZY O, ET AL. Surgical repair of flexor tendon pulley rupture in high level rock climbing. Chir Main. 2004 Oct;23 (5):243-8.

[39] BARTON NJ. Experimental study of optimal location of flexor tendon pulley. Plast Reconstr Surg 1969;43:125-9.

[40] DE LA CAFFINIERE JY. Anatomie fonctionnelle de la poulie proximale des doigts. Arch Anat Cytol Pathol 1971;19:357-66.

### Sites Internet

[34] <https://www.ffme.fr/escalade/page/historique.html>  
(consulté le 22/02/2019)

[35] [https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire\\_de\\_l%27escalade](https://fr.wikipedia.org/wiki/Histoire_de_l%27escalade)  
(consulté le 23/02/2019)

[36] <https://www.grimper.com/pedago-les-prehensions-mains>  
(consulté le 15/02/2019)

[37] <https://www.ffme.fr/escalade/page/competitions-d-escalade.html>  
(consulté le 22/02/2019)

[11] [https://www.clubortho.fr/cariboo\\_files/tendons\\_20flechisseurs\\_20anatomie\\_20physiologie.pdf](https://www.clubortho.fr/cariboo_files/tendons_20flechisseurs_20anatomie_20physiologie.pdf)  
(consulté le 06/03/2019)

[26] <https://www.ffme.fr/uploads/medical/documents/rupture-poulie.pdf>  
(consulté le 04/03/2019)

Livres

[38] Les cahiers d'entraînement de la fédération française de la montagne et de l'escalade. Ed FFME. VANVES. 1994 ; 292p

## **ANNEXE N°1 : QUESTIONNAIRE ET BILAN DU GRIMPEUR OPERE**

Nom :

Prénom :

Téléphone :

Profession :

Age :

Latéralité :

Poulie opérée :

Doigt opérée :

Main opérée :

Bloc ou falaise ?

Type de prise :

Niveau d'escalade avant opération :

Niveau d'escalade après opération :

Date de l'intervention :

Date du bilan :

Satisfaction :      Excellent      Bien      Moyen      Peu      Pas

Gène fonctionnelle : AVQ et grimpe ?

Si autre préciser :

EVA :      /10

Comparatif au coté sain :

JAMAR :    Kg

Diamètre doigt opéré :      cm

Score Buck-Gramcko :

Distance Pulpe-PPD :

Total flexion active en degré :

Déficit extension ? à comparer au coté contro-latéral

Flexion active total - déficit extension active :

Score final :

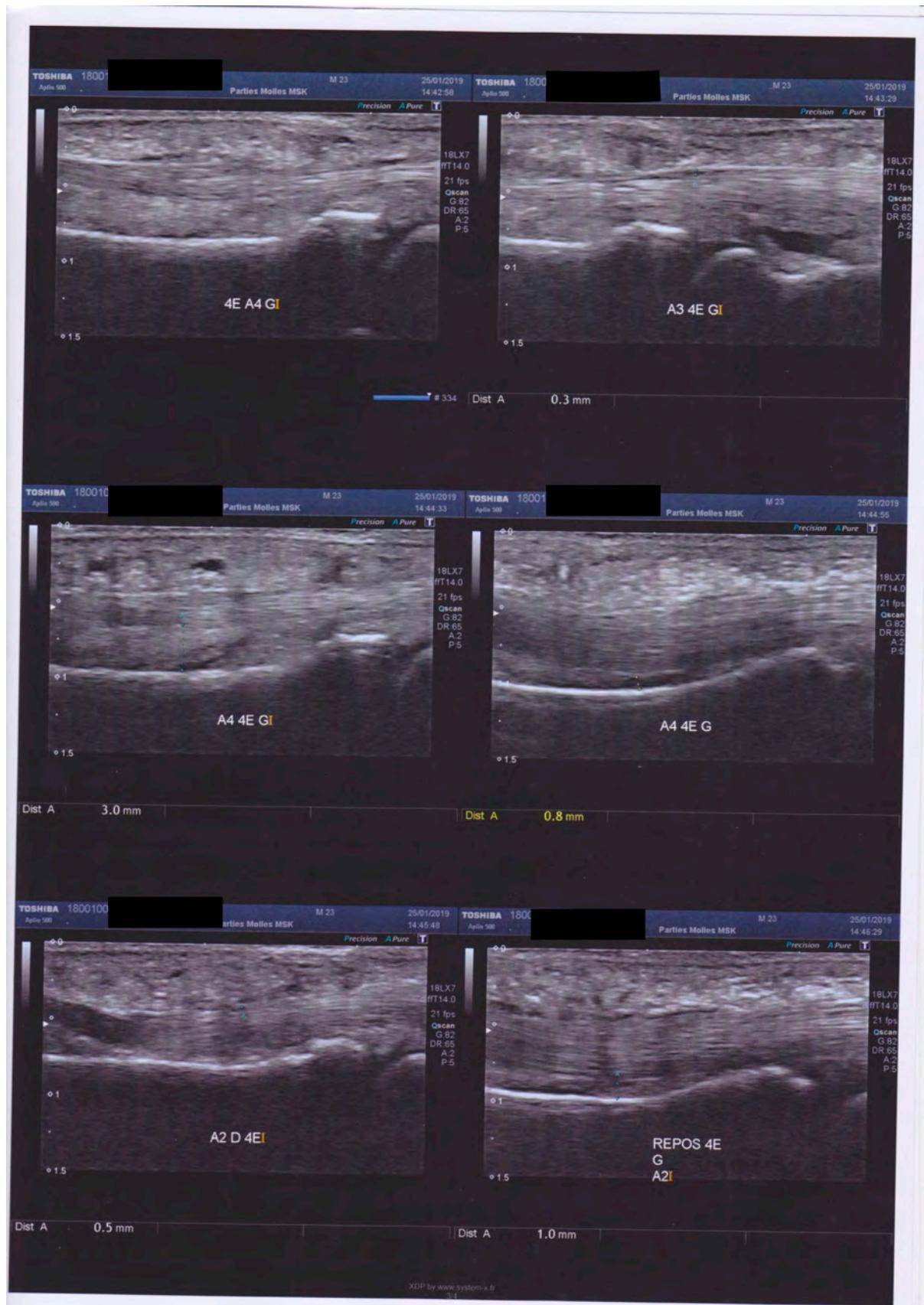
## ANNEXE N°2 : ECHOGRAPHIE D'UNE POULIE OPEREE

Patient n°1



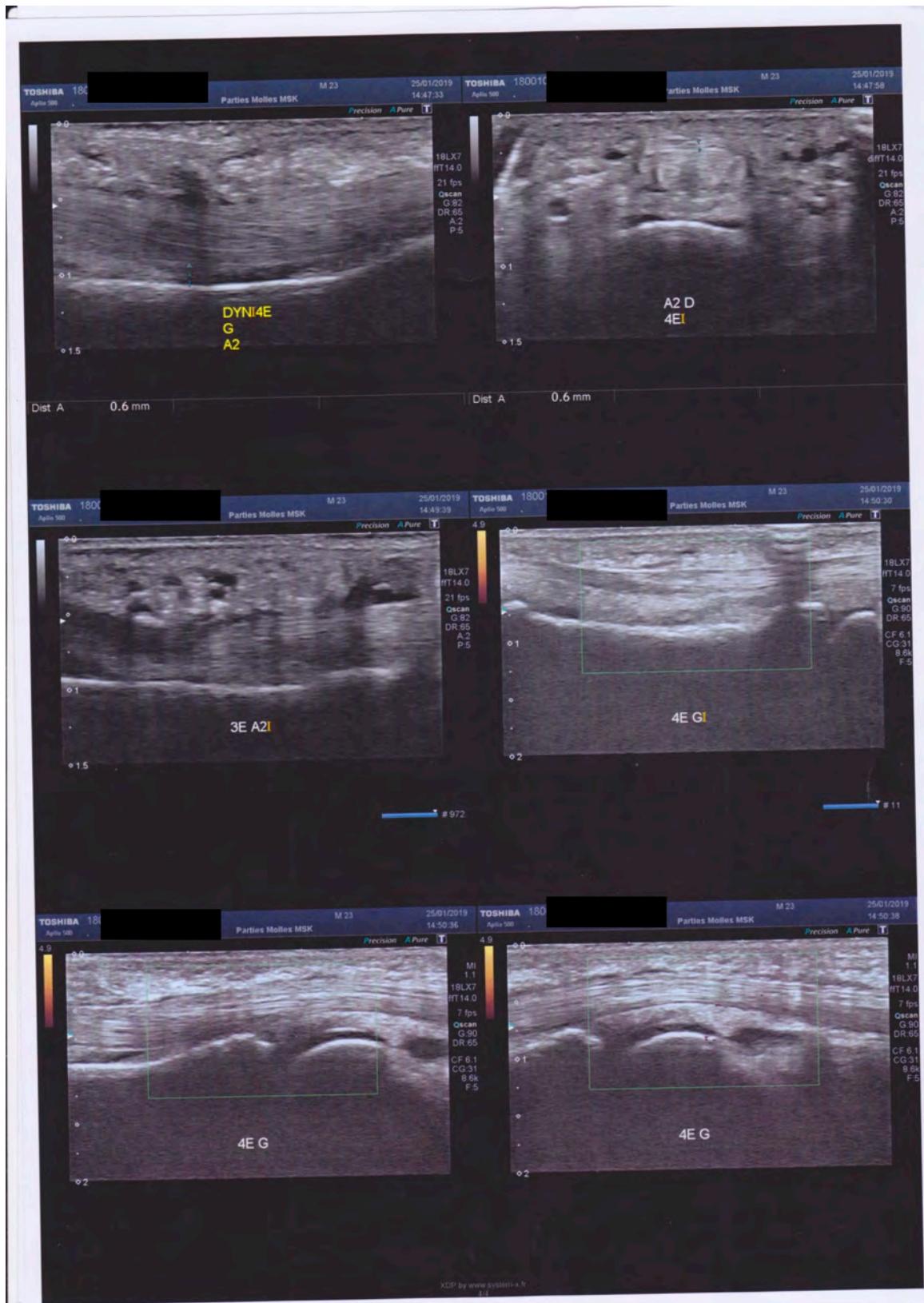
### ANNEXE N°3 : ECHOGRAPHIE D'UNE POULIE OPEREE

Patient n°1



## **ANNEXE N°4 : ECHOGRAPHIE D'UNE POULIE OPEREE**

Patient n°1



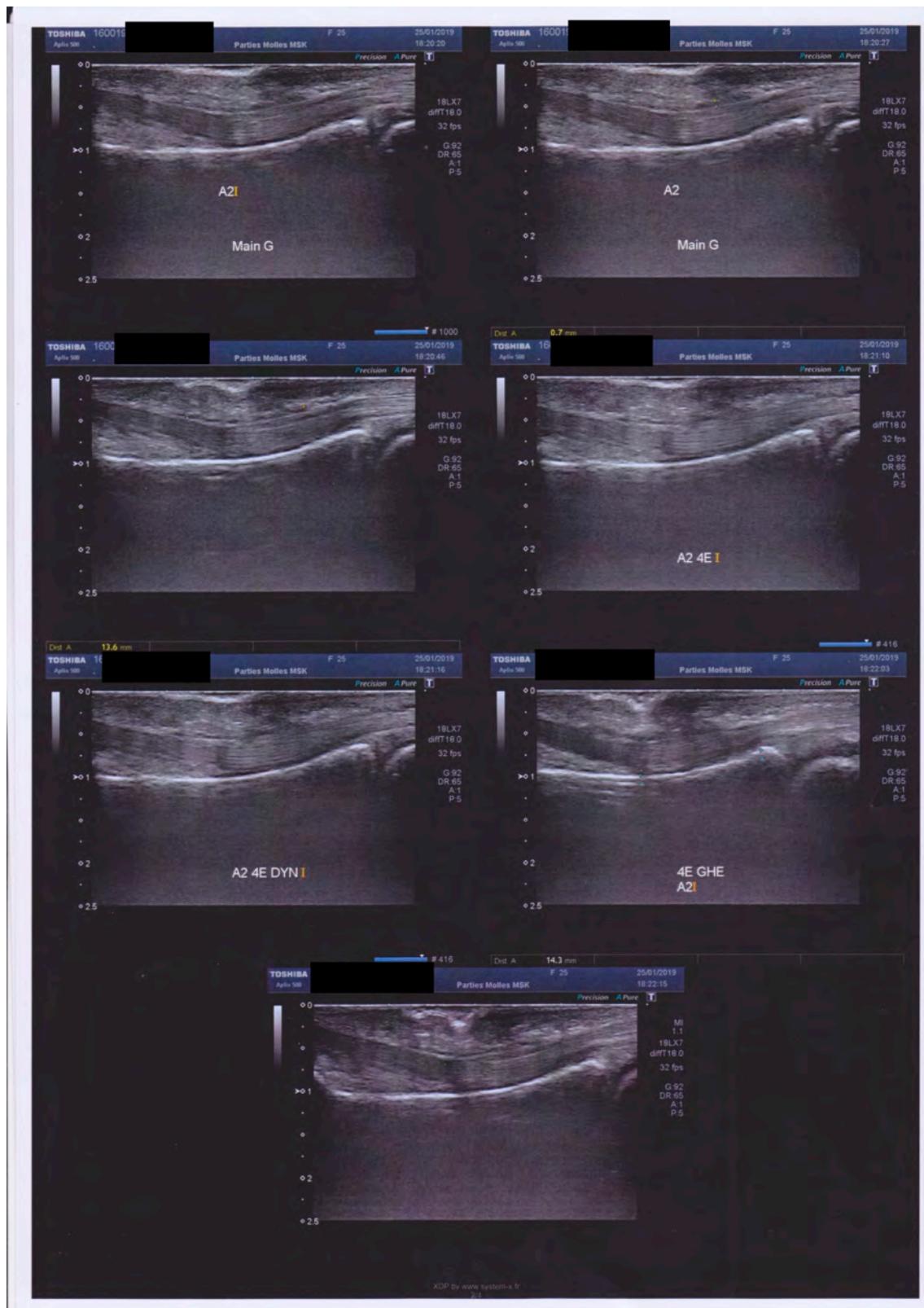
## **ANNEXE N°5 : RESULTAT DE L'ECHOGRAPHIE**

Patient n°1

<p><b>SERVICE D'IMAGERIE</b></p> <p>DR COHEN Michel DR COLLETER Loïc DR LELUC Olivier DR LUC Jean Philippe DR SEGOND Jean Michel</p> <p>116 rue Jean Mermoz 13008 Marseille 04 91 23 63 23 secretariatradio@clinique-juge.com www.almaviva-sante.com</p> <p>[REDACTED] H [REDACTED]</p> <p>Examen prescrit par le [REDACTED]</p> <p>Examen réalisé sur appareil : TOSHIBA APLIO 500 Mis en service : Octobre 2012</p>	<p><b>Almaviva</b> santé</p> <p><b>CLINIQUE JUGE</b> Clinique du Sport</p> <p>MARSEILLE, le [REDACTED] 2019</p> <p><b>ECHOGRAPHIE DE LA MAIN GAUCHE</b></p> <p><b>Indication :</b> Contrôle d'une chirurgie de la poulie digitale A2 du 4e rayon à trois ans. Rupture partielle de la poulie digitale A4 non opérée.</p> <p><b>Résultat :</b> On retrouve un épaississement modéré de la poulies digitales A2. Cette dernière mesure 0,8 mm d'épaisseur contre 0,5 à droite. On ne retrouve aucun diastasis en comparaison avec la poulie digitale A2 droite. Lors des manœuvres dynamiques contrariée on retrouve un diastasis non significatif mesuré à 1 mm le long de la poulie. On ne retrouve pas de phénomène de conflit ou d'adhérence de flexion extension.  Aspect épaisse de la poulie digitale A4 évalué à 3 mm lors des manœuvres dynamiques contrariée et 1 mm au repos.  Présence d'un épanchement de faible abondance des gaines synoviales des 3e et 4e rayons droit et gauche sans synovite en Doppler.</p> <p>[REDACTED]</p> <p>Compte-rendu validé électroniquement</p> <p><b>RADIOLOGIE GENERALE-IMAGERIE OSTEOARTICULAIRE-IMAGERIE INTERVENTIONNELLE-IMAGERIE EOS</b></p>
---	---

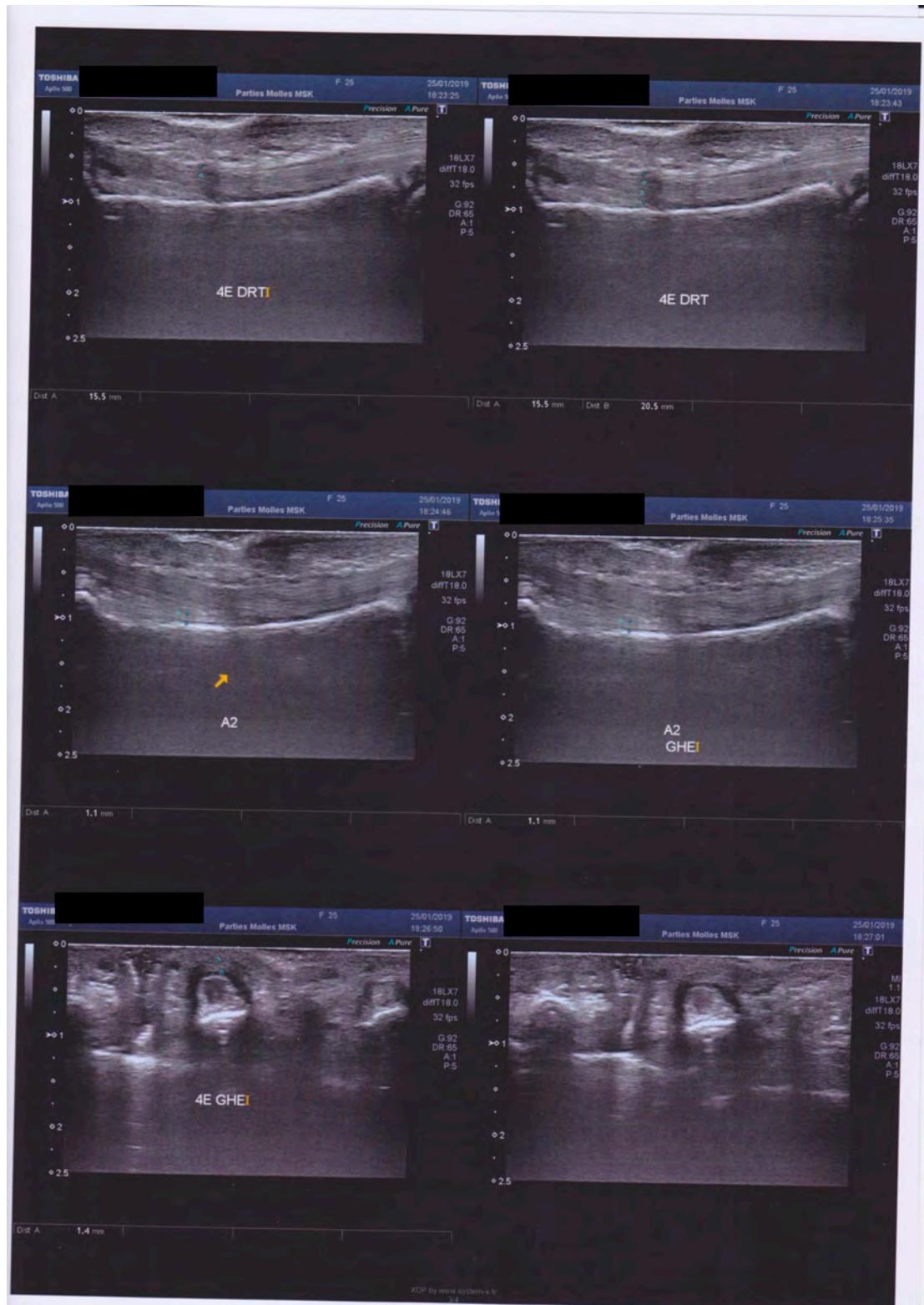
## ANNEXE N°6 : ECHOGRAPHIE D'UNE POULIE OPEREE

Patient n°2



## ANNEXE N°7 : ECHOGRAPHIE D'UNE POULIE OPEREE

Patient n°2



## **ANNEXE N°8 : RESULTAT DE L'ECHOGRAPHIE**

Patient n°2

**SERVICE D'IMAGERIE**

DR COHEN Michel  
DR COLLETER Loïc  
DR LELUC Olivier  
DR LUC Jean Philippe  
DR SEGOND Jean Michel

116 rue Jean Mermoz  
13008 Marseille  
**04 91 23 63 23**  
secretariatradio@clinique-juge.com  
www.almaviva-sante.com

[REDACTED] F [REDACTED]

Examen prescrit par le [REDACTED]

Examen réalisé sur appareil : TOSHIBA APLIO 500  
Mis en service : Octobre 2012

MARSEILLE [REDACTED] /2019

**ECHOGRAPHIE DU 4E RAYON DE LA MAIN GAUCHE**

**Indication :**  
Contrôle à trois ans d'une chirurgie de la poulie digitale à deux.

**Résultat :**  
On retrouve un épaississement non pathologique de la poulie digitale A2 qui est mesuré à 8 mm d'épaisseur. Les trois quarts de la poulie sont plaquée contre la corticale de la phalange proximale. Seule la partie la plus distale présence d'un diastasis non pathologique dans les limites du significatif mesuré à 2 mm lors des manœuvres dynamiques contrariée.  
Absence de ténosynovite.  
Intégrité des tendons fléchisseurs.  
Absence de phénomène d'adhérence lors des manœuvres dynamiques

**Conclusion :**  
[REDACTED]

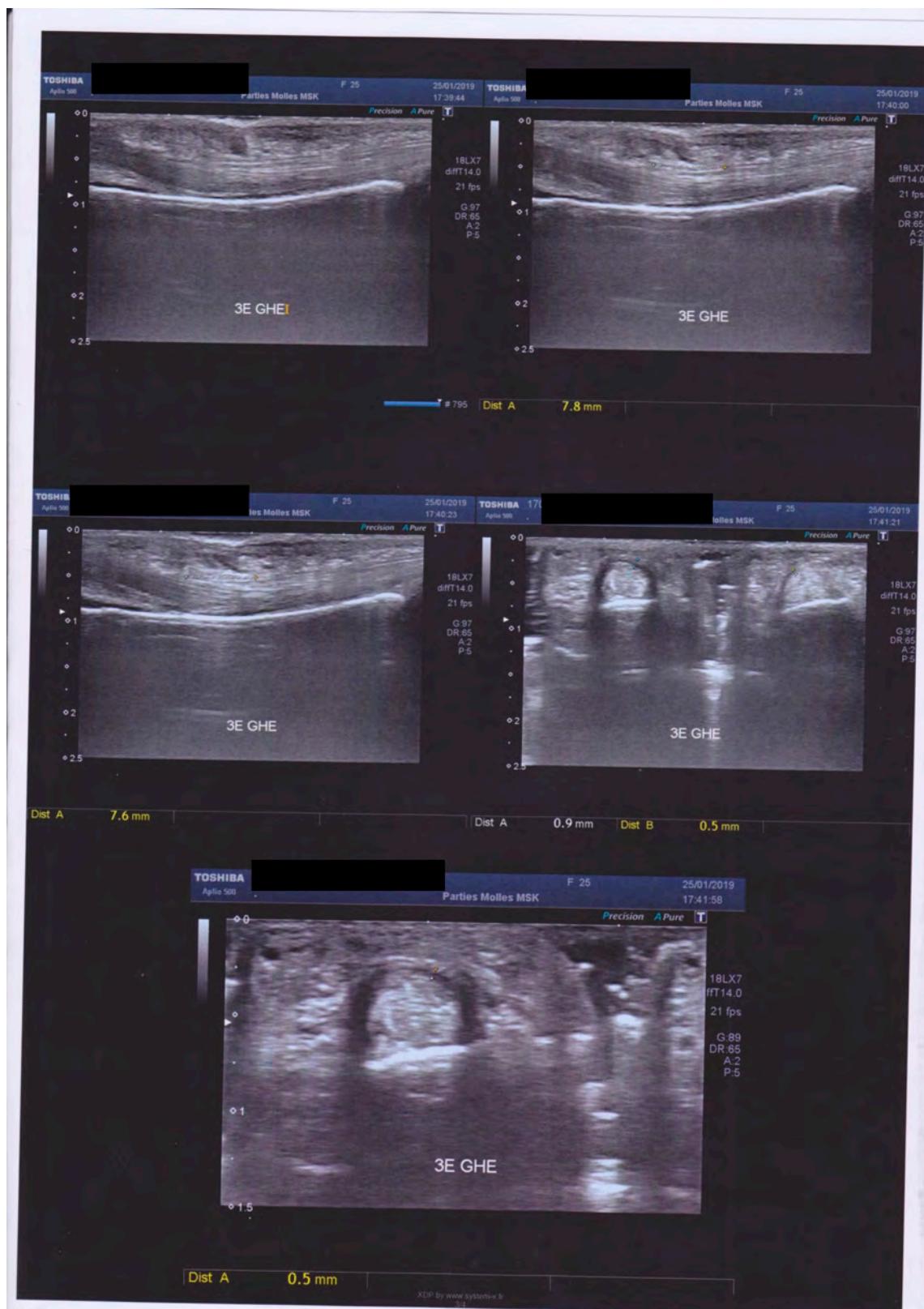
[REDACTED]  
Compte-rendu validé électroniquement

**RADIOLOGIE GENERALE-IMAGERIE OSTEOARTICULAIRE-IMAGERIE INTERVENTIONNELLE-IMAGERIE EOS**

NB : Ce n'est pas 8mm et 2mm mais 0,8mm et 0,2mm. à deux = A2

## ANNEXE N°9 : ECHOGRAPHIE D'UNE POULIE OPEREE

Patient n°3



## **ANNEXE N°10 : RESULTAT DE L'ECHOGRAPHIE**

Patient n°3

SERVICE D'IMAGERIE

DR COHEN Michel  
DR COLLETER Loïc  
DR LELUC Olivier  
DR LUC Jean Philippe  
DR SEGOND Jean Michel

116 rue Jean Mermoz  
13008 Marseille  
04 91 23 63 23  
secretariatradio@clinique-juge.com  
www.almaviva-sante.com

[REDACTED] F [REDACTED]

Examen prescrit par le [REDACTED]

Examen réalisé sur appareil : TOSHIBA APLIO 500  
Mis en service : Octobre 2012

MARSEILLE, [REDACTED] 2019

**ECHOGRAPHIE DE LA MAIN GAUCHE**

**Indication :**  
Contrôle après chirurgie de la poulie digitale A1 du 3e rayon.

**Résultat :**  
La poulie digitale opérée est de taille dans les limites supérieures de la normale évaluée à 5 mm contre 2 mm en comparatif.  
On ne retrouve aucun diastasis au repos comme lors des manœuvres dynamiques contrariée.  
Absence de ténosynovite.  
Absence d'anomalie au niveau des tendons fléchisseurs.  
Absence d'adhérence ou phénomène de conflit visible par des manœuvres de flexion-extension.

[REDACTED]  
Compte-rendu validé électroniquement

RADIOLOGIE GENERALE-IMAGERIE OSTEOARTICULAIRE-IMAGERIE INTERVENTIONNELLE-IMAGERIE  
EOS

NB : Ce n'est pas A1 de D3 mais A2 de D4. Ce n'est pas 5mm et 2mm mais 0,5mm et 0,2mm.

## **ANNEXE N°11 : RESULTAT DE L'ECHOGRAPHIE**

Patient n°5

**GAY Andre**  
393 AV DU PRADO  
13008 MARSEILLE 08

Réf : A10218780099 / /  
Le 12/04/2019,

**ÉCHOGRAPHIE DE LA MAIN DROITE**

**Indication**  
Bilan de douleurs centrées sur la poulie A2 du 4ème rayon d'apparition progressive non traumatique dans le cadre de la pratique sportive de haut niveau (escalade).  
Contrôle post-opératoire d'une suture de la poulie A2 du 4ème rayon gauche

**RESULTATS**

**Du côté droit :**  
Discret infiltrat échogène de la poulie A2 du 4ème rayon droit prédominant au niveau de son insertion phalangienne et surtout sur le versant ulnaire. Lame liquidienne dans la gaine des tendons fléchisseurs visualisée à la paume de la main et autour de la poulie.  
Les autres poulies sont normales.

Les tendons fléchisseurs sont de calibre normal et réguliers. L'échostructure est fibrillaire hyperéchogène homogène.

Le Doppler-couleur est négatif.

En échoscopie dynamique lors de la prise arquée la poulie est parfaitement stable sans aucun décollement significatif du plan tendineux par rapport à la corticale sous-jacente.

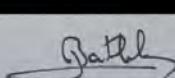
**Du côté gauche :**  
Aspect échographique considéré comme normal de la réparation de la poulie A2 du 4ème rayon. La zone de suture se manifeste par un épaississement arciforme échogène autour des tendons l'épaisseur maximale de la zone de suture est à 1,5 mm. L'épaississement est visualisé dans plan sagittal sur 7 mm. Faible épanchement interposé entre le tendon et de la poulie suturée.

Le Doppler-couleur est strictement négatif.

En dynamique lors de la prise arquée la poulie suturée est parfaitement stable le tendon restant en contact de la corticale.

**Conclusion**  
Minime anomalie de la poulie A2 du 4ème rayon droit qui est discrètement échogène par rapport à l'hypoéchogénicité normal des poulies sans aucune laxité lors du test dynamique.

Contrôle post-opératoire controlatéral normal.



Consultez votre examen sur Internet : [www.cliniquedumail.fr](http://www.cliniquedumail.fr). Cliquez sur « VOS RESULTATS » puis saisissez votre date de naissance (au format: aaaa-mm-jj) et la référence A10218780099. Accès disponible 4 mois.

Produit : / Lot : / Côté administrée :  
Examen réalisé sur Echographe PHILIPS EPIQ installé le 18/09/2017

## **ICONOGRAPHIE**



**Image 1 : Logo du Comité International Olympique**



**Image 2 : Escalade en falaise aux Goudes (Marseille)**

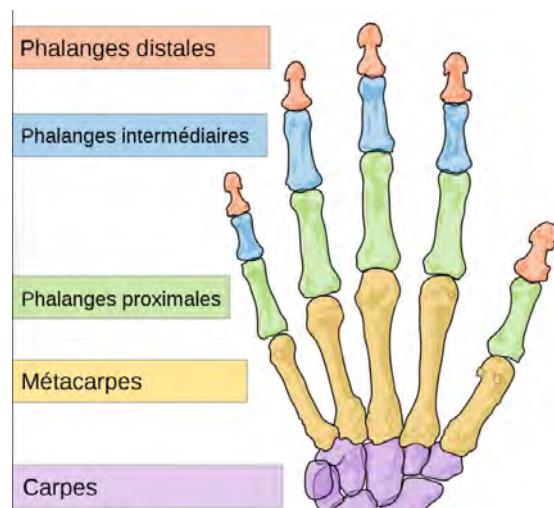


Image 3 : le squelette

**Articulation**  
**Métacarpo-phalangienne**  
 M : métacarpe  
 1 : tubercule de la tête  
 2 : fibro-cartilage glénoïdien  
 3 : capsule articulaire

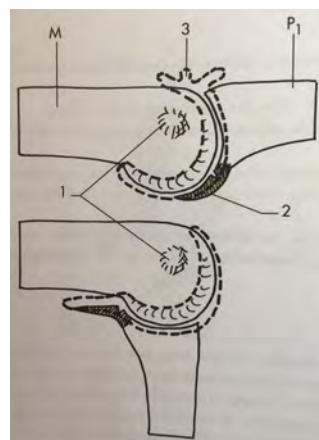


Image 4

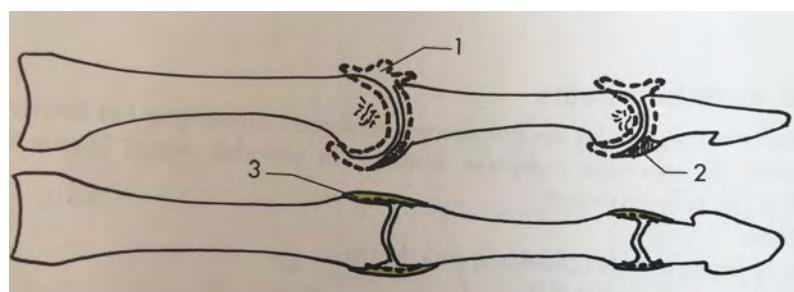
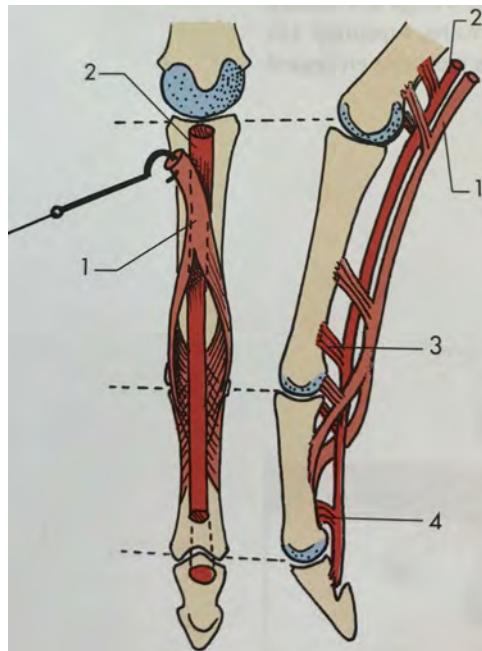


Image 5

Articulation Inter-phalangienne : Proximale et Distale

- 1 : capsule articulaire  
 2 : fibro-cartilage  
 3 : ligaments collatéraux



### Le système fléchisseur

- 1 : FCS  
 2 : FCP  
 3 et 4 : Vinculums

Image 6

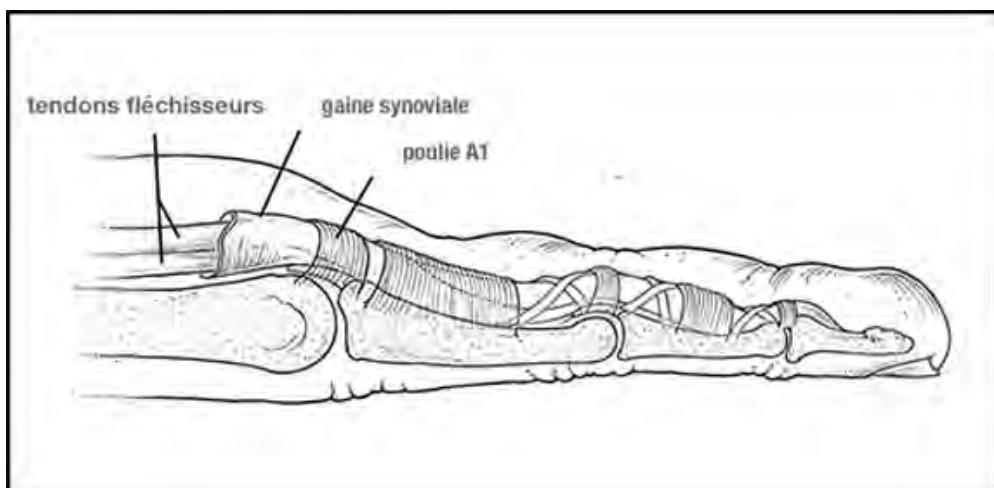
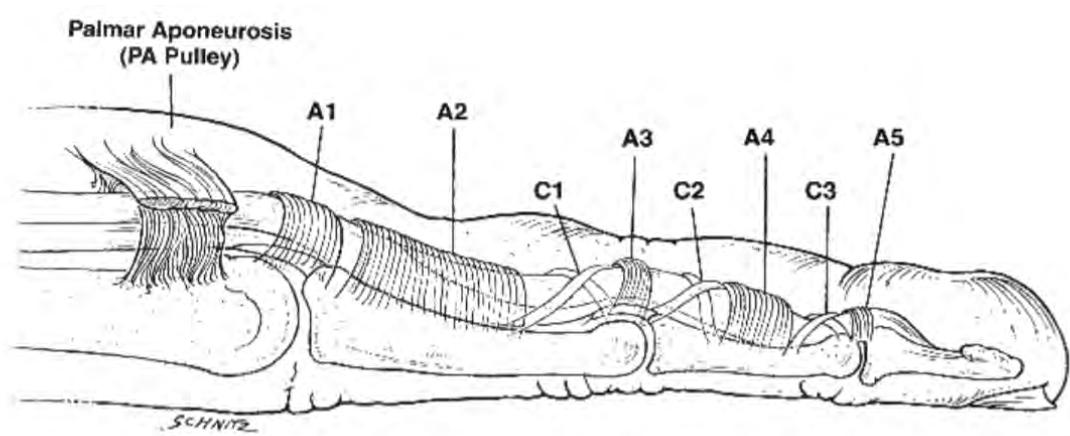
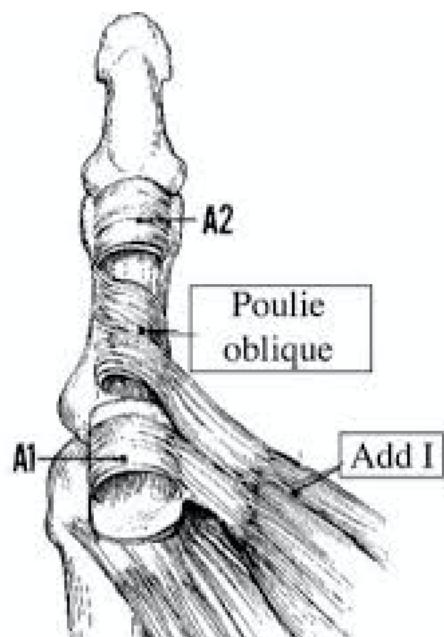


Image 7 : Le canal digital



**Image 8 : les poulies de l'appareil fléchisseur**



**Image 9 : les poulies du pouce**



**Image 10**  
**Hermann BUHL** à l'âge de 14 ans (1938)



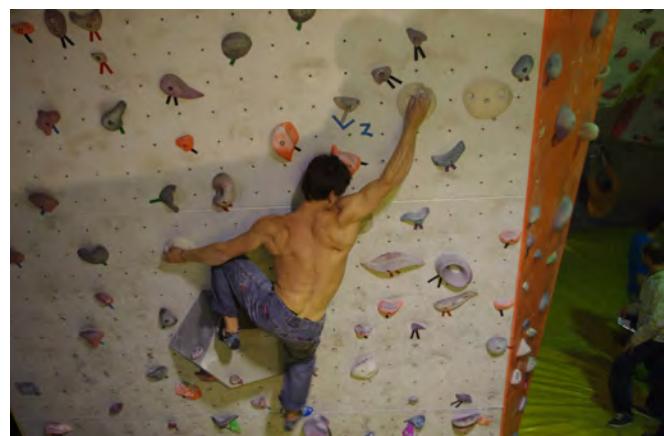
**Image 11 : bloc indoor d'aujourd'hui**

UIAA	GB	USA	FR.
-	-	5.3	3
-	-	5.5	4
V	4b	5.6	4c
V+	4c	5.7	5a
VI-		5.8	5b
VI	5a	5.9	5c
VI+		5.10a	6a
VII-	5b	5.10b	6a+
		5.10c	6b
VII		5.10d	
		5.11a	6b+
VII+		5.11b	6c
VIII-	6a	5.11c	6c+
VIII		5.11d	7a
VIII+		5.12a	7a+
		5.12b	7b
IX-		5.12c	7b+
IX	6c	5.12d	7c
IX+		5.13a	7c+
		5.13b	8a
X-	7a	5.13c	8a+
X		5.13d	8b
X+	7b	5.14a	8b+
XI-		5.14b	8c

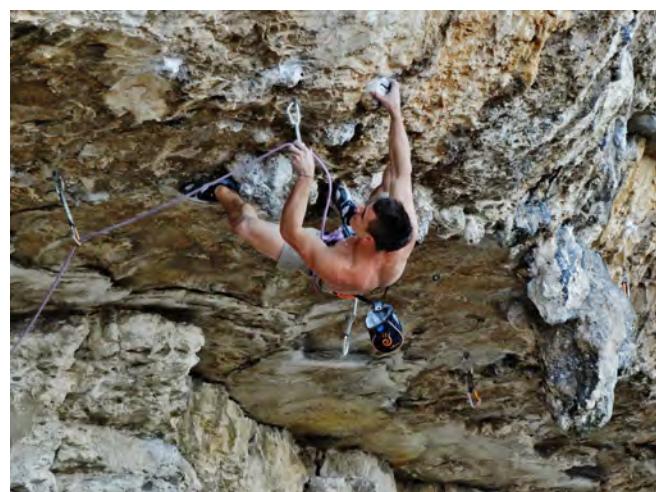
**Image 12 : les cotations**



**Image 13 : escalade sur bloc naturel**



**Image 14 : escalade en SAE**



**Image 15 : escalade en falaise**



**Image 16 : prise arquée**



**Image 17 : prise tendue**



**Image 18 : prise semi arquée**



**Image 19 : prise inversée**

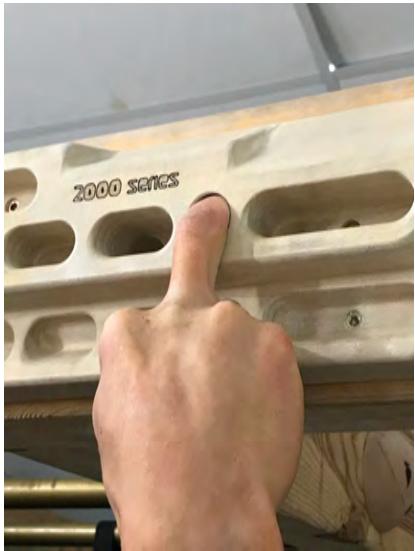


Image 20 : prise monodoigt



Image 21 : prise bidoigt



Image 22 : le « no foot »



Image 23 : le bac

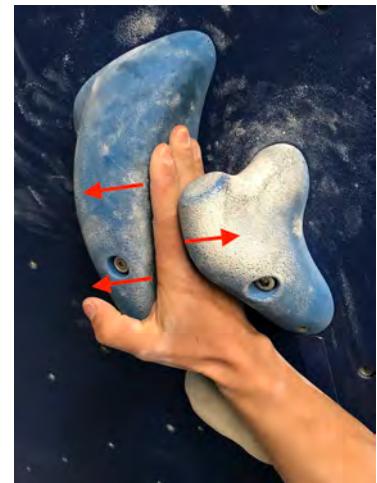
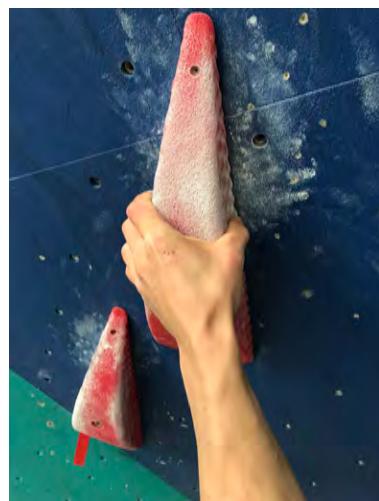


Image 24 : la pince

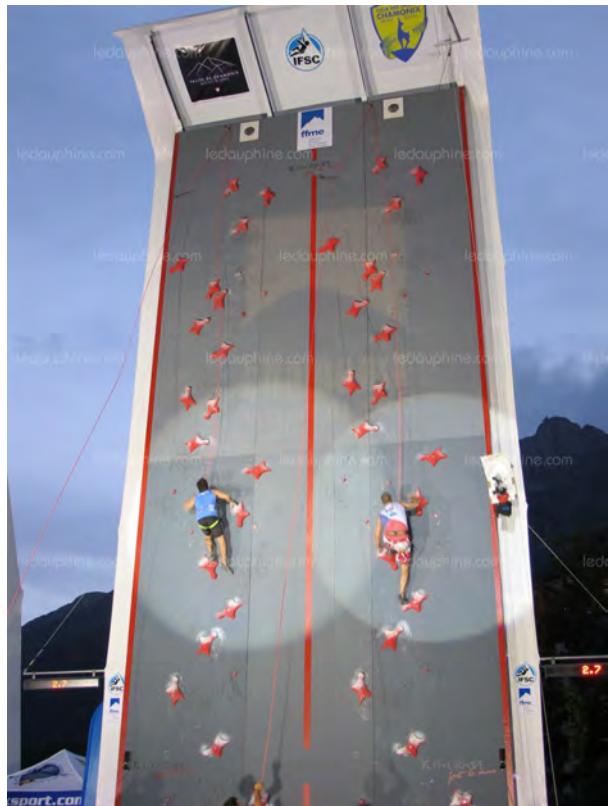
Image 25 : le verrou



Image 26 : Adam Ondra en falaise (Silence, 9c)



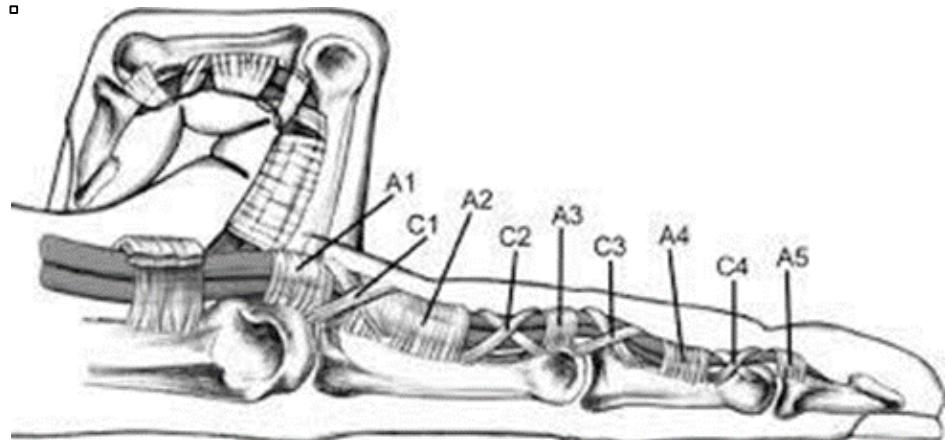
Image 27 : Adam Ondra en épreuve de bloc



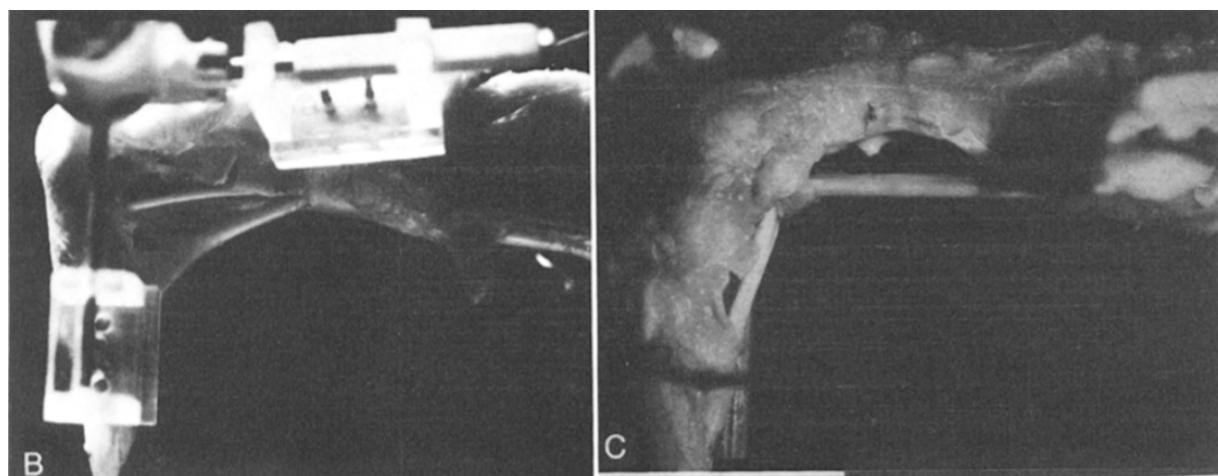
**Image 28 : Epreuve de vitesse**



**Image 29 : Adam Ondra en épreuve de difficulté**



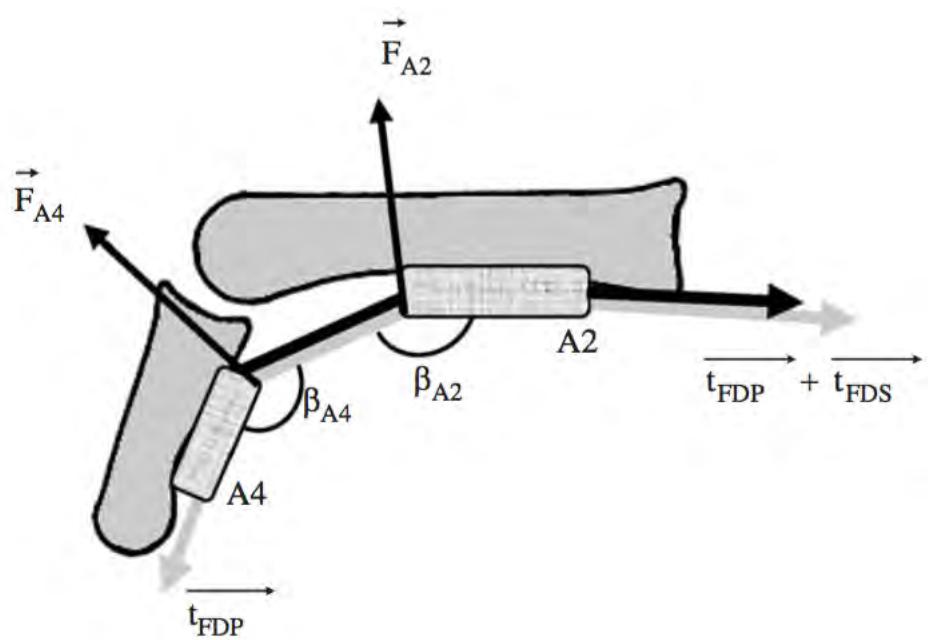
**Image 30 : anatomie du doigt en flexion et en extension**



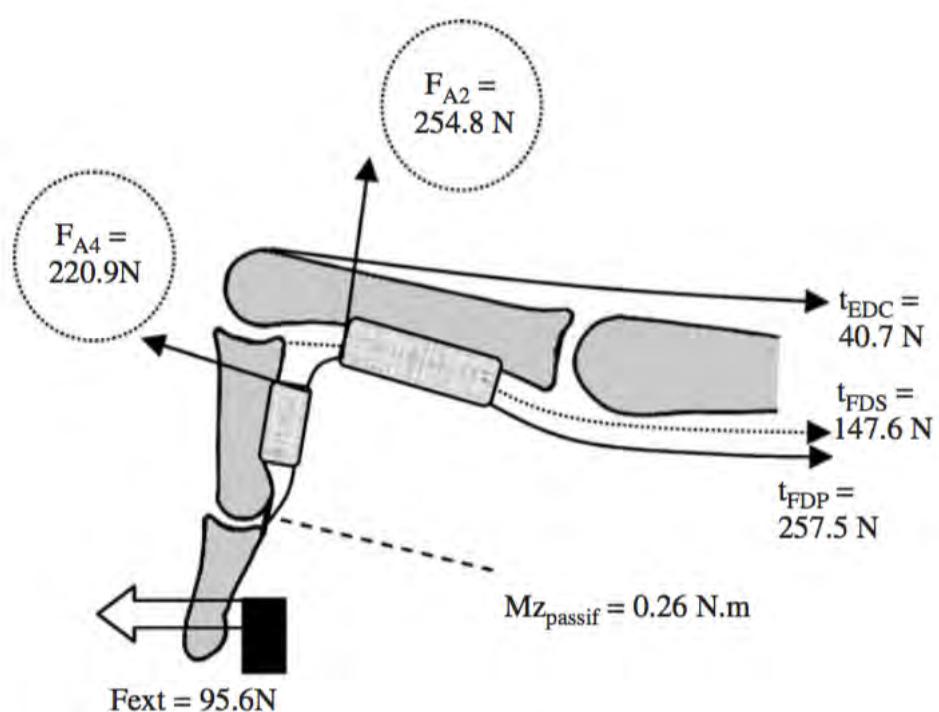
**Image 31 : Travaux de LIN (1989)**

B : Spécimen montrant la poulie (pas d'effet corde d'arc)

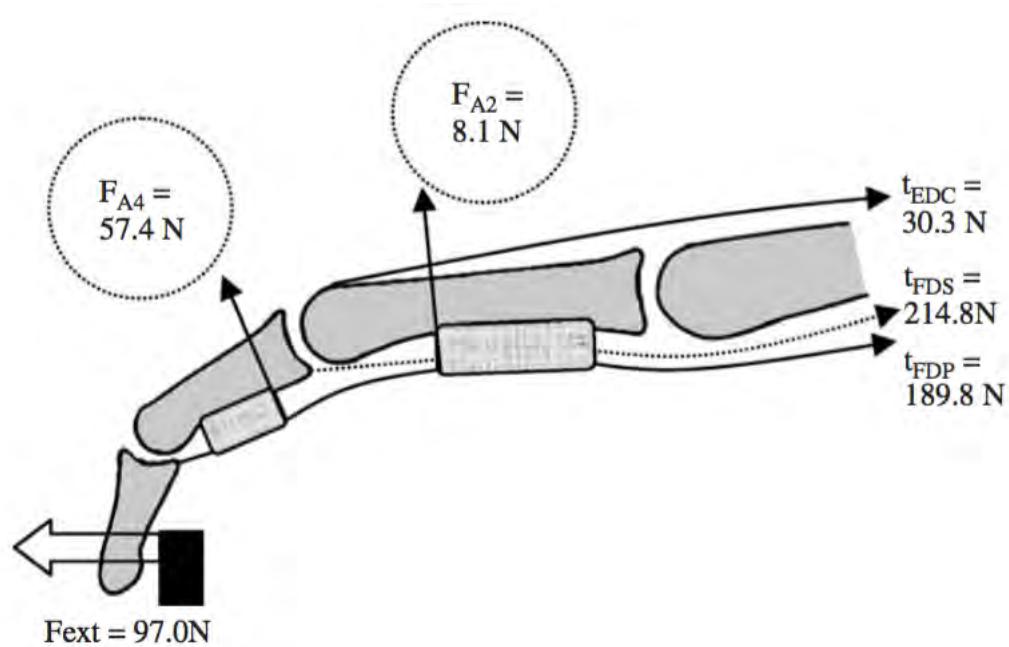
C : Spécimen montrant une poulie rompue (effet corde d'arc)



**Image 32 : Contraintes biomécaniques exercées sur la poulie**

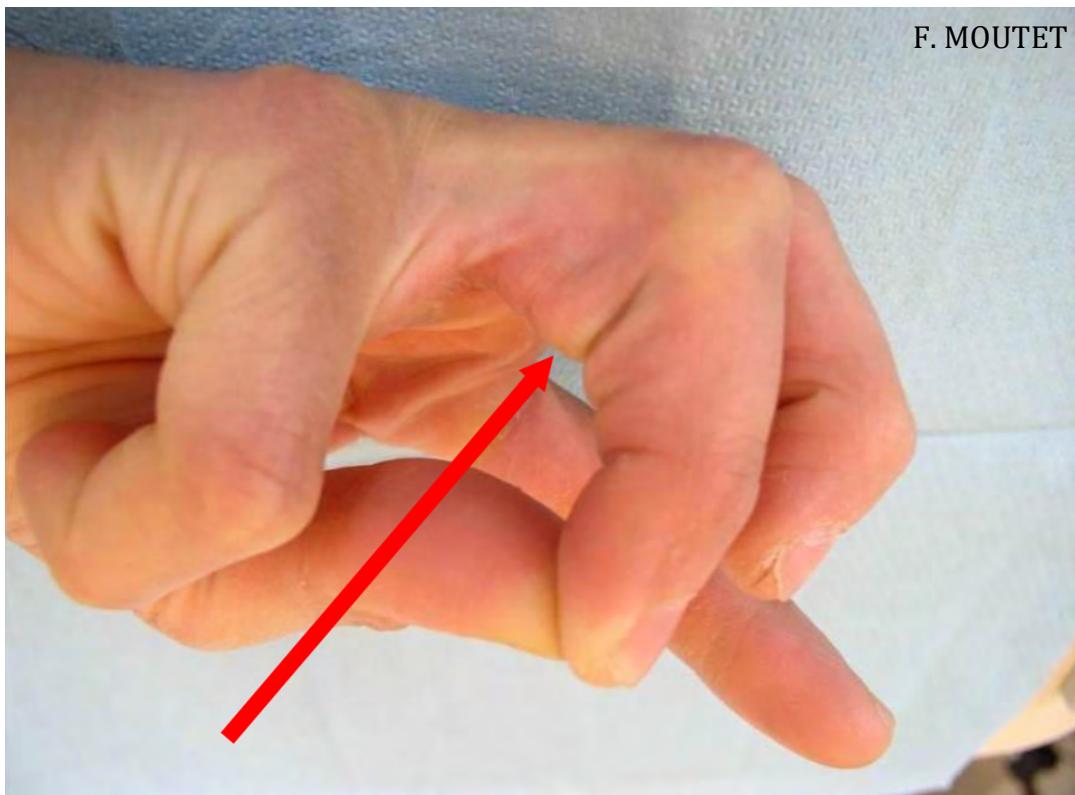


**Image 33 : Contraintes sur la poulie en prise arquée**

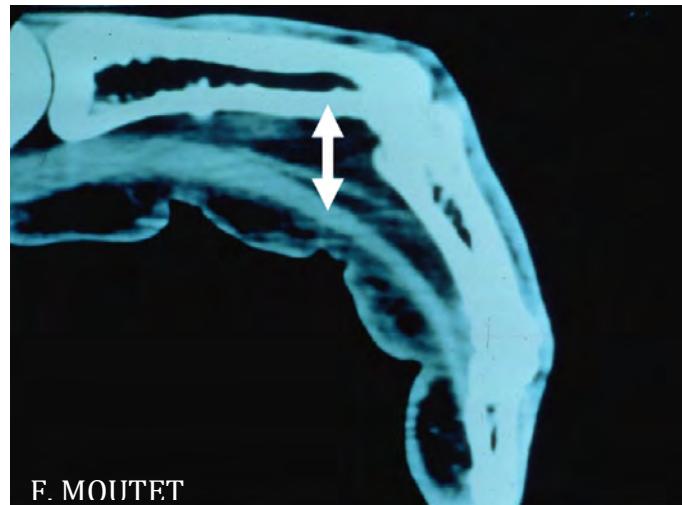


**Image 34 : Contraintes sur la poulie en prise tendue**

F. MOUTET

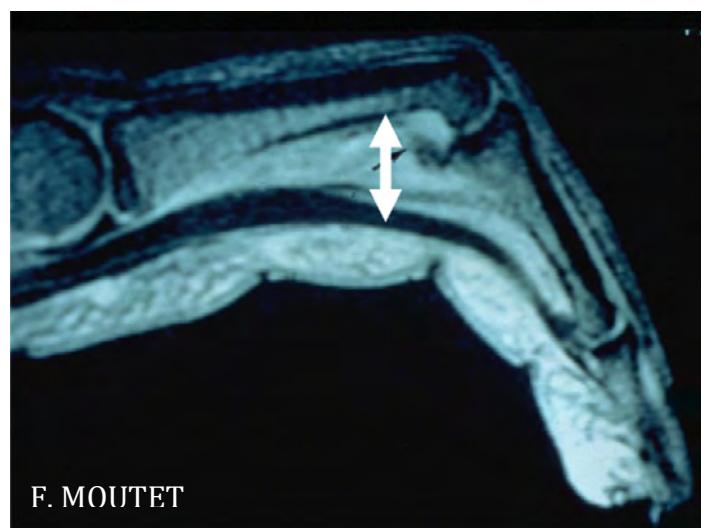


**Image 35 : signe de corde d'arc sur une rupture totale de poulie**



F. MOUTET

**Image 36 : scanner de profil d'un doigt montrant une rupture de poulie**



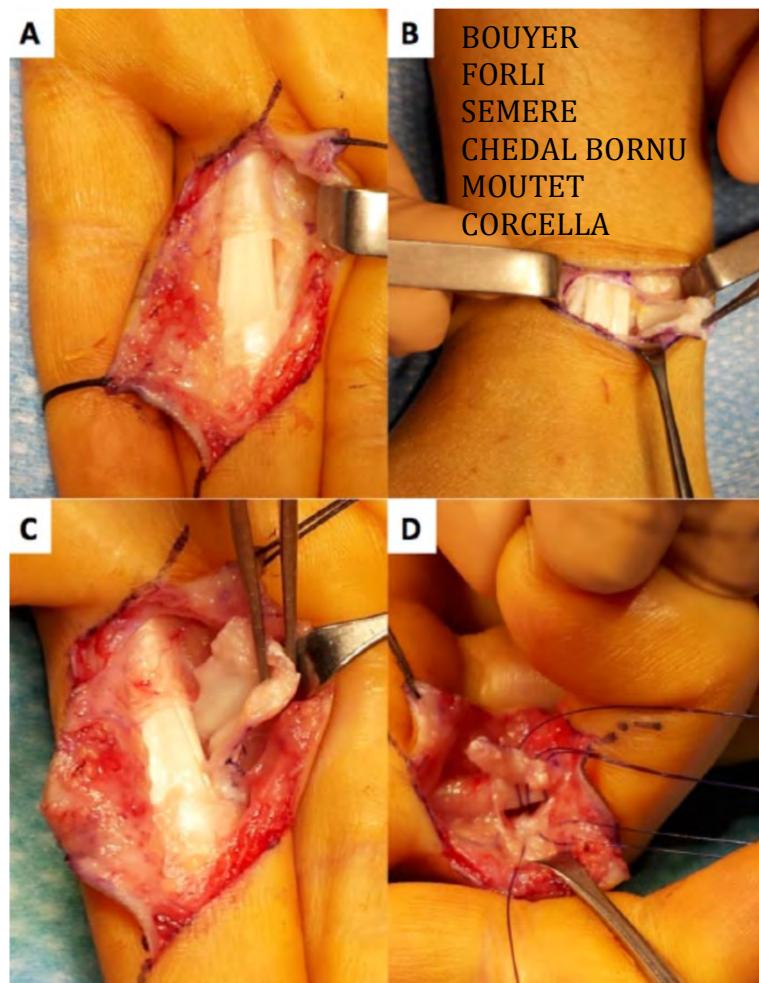
F. MOUTET

**Image 37 : IRM de profil d'un doigt montrant une rupture de poulie**



**Image 38 et 39 : Photos de la bague réalisée dans le cas de rupture de poulie**





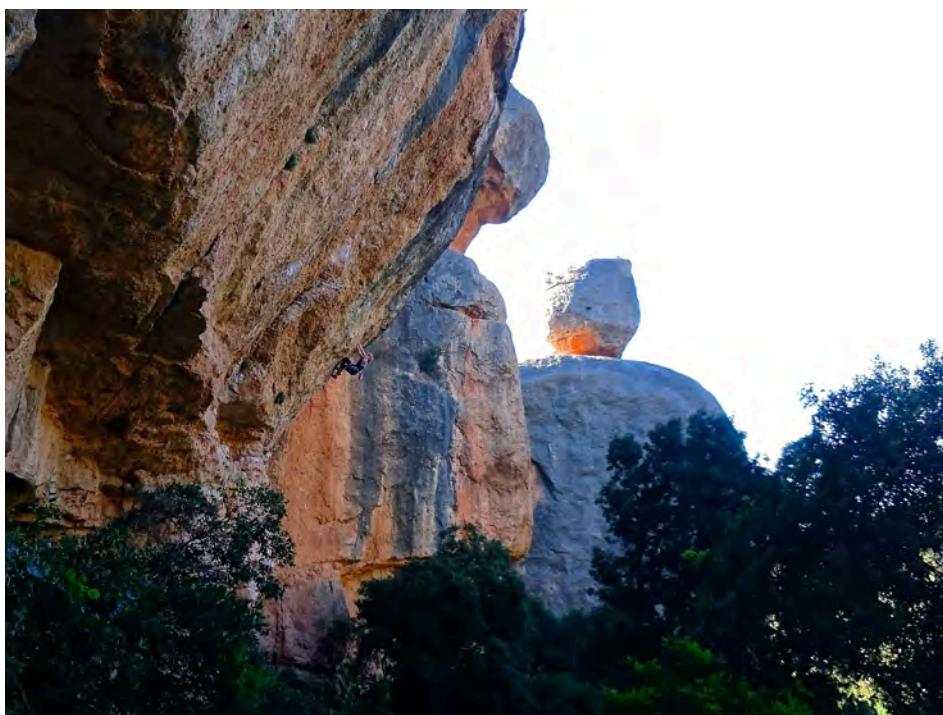
**Image 40 : Technique chirurgicale de Lister**



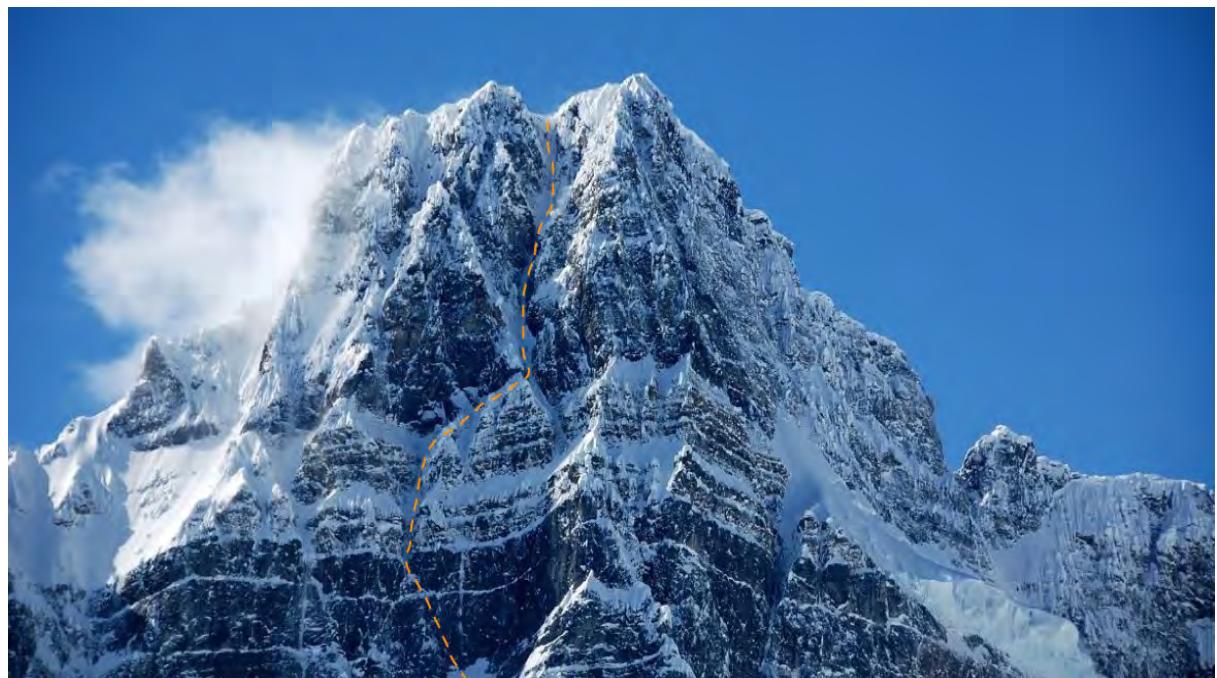
**Image 41 : suture bout à bout d'une poulie A2**



**Image 42 : Attelle de DURAN**



**Image 43 : escalade en falaise**  
**« Via Del Quim » 8b+**



**Image 44 : Voie « M16 » en face Est du Pic Howse**