

MINISTÈRE DE LA SANTÉ
RÉGION LORRAINE
INSTITUT DE FORMATION EN MASSO-KINÉSITHÉRAPIE



**- LA MAIN DU GRIMPEUR -
ÉTUDE ARTICULAIRE ET
MUSCULAIRE ENTRE DES
GRIMPEURS DE HAUT NIVEAU ET
UNE POPULATION RÉFÉRENCE**

Rapport de travail écrit personnel
présenté par **Benjamin CHERY**
étudiant en 3^{ème} année de kinésithérapie
en vue de l'obtention du Diplôme d'État
de Masseur-Kinésithérapeute
2003-2004

Ce travail a débuté du 23 juin au 25 juillet 2003, au service de rééducation fonctionnelle de la Clinique Claude BERNARD à METZ (57).

A propos de cet établissement :

- Cadre de Santé Masseur Kinésithérapeute : M. CHAUVIN Christian.
- Pathologies rencontrées : traumatologie, rhumatologie, pédiatrie, pneumologie, cardiologie.
- Composition du plateau technique : quatre masseurs kinésithérapeutes (dont un cadre de santé).

Il a été poursuivi du 8 septembre 2003 au 24 octobre 2003, au service de rééducation fonctionnelle de l'Hôpital de REMIREMONT (88).

A propos de cet établissement :

- Il fait partie de l'Union de Gestion des Etablissements des Caisses d'Assurance Maladie (U.G.E.C.A.M.) Lorraine, Champagne, Ardennes.
- Médecin-chef : Dr. MATHIEU-PIERRE Annie.
- Cadre de Santé Masseur Kinésithérapeute : M. PERRIN Daniel.
- Pathologies rencontrées : traumatologie, rhumatologie, pédiatrie, pneumologie, neurologie, cardiologie.
- Composition du plateau technique : six masseurs kinésithérapeutes, trois ergothérapeutes (dont un cadre de santé).

Il a été ensuite terminé au cours de l'année à l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de NANCY, ainsi que sur différents sites artificiels et naturels d'escalade en Lorraine et en Alsace (Site du Kronthal à MARLENHEIM (67), Casabloc Terre de Grimp' à MALZEVILLE (54), Roc en Stock à STRASBOURG (67) et SIUAP à NANCY (54)).

Je remercie :

- Û M. CHAUVIN et M. PERRIN (et toute l'équipe de Remiremont) pour leurs conseils
- Û M. BOISSEAU pour le prêt de matériel
- Û les participants à l'étude qui m'ont accordé beaucoup de temps pendant leurs entraînements ou leurs cours
- Û M. BAUMANN pour l'étude statistique
- Û ma famille et mes amis.

« A quoi bon soulever des montagnes quand il est si simple de passer par dessus ? »

Boris Vian.

SOMMAIRE

RÉSUMÉ	8
<u>1. INTRODUCTION</u>	9
1.1. Alpinisme et naissance de l'escalade moderne	9
1.2. Spécificité de l'escalade « moderne »	10
1.3. Les différentes prises mises en jeu lors de l'escalade et les mécanismes de force	11
1.4. Les pathologies en rapport avec la pratique de l'escalade	12
1.5. Objectifs de l'étude	13
1.6. Anatomie mise en jeu	14
<i>1.6.1. Les articulations</i>	14
<i>1.6.2. Les muscles</i>	15
<i>1.6.3. L'appareil fibreux</i>	16
<i>1.6.4. Les gaines synoviales</i>	17
<u>2. MATÉRIEL ET MÉTHODE</u>	18
2.1. Population	18
<i>2.1.1. Groupe 1 = groupe « grimpeurs de haut niveau »</i>	18
<i>2.1.2. Groupe 2 = groupe « Référence »</i>	18
2.2. Recueil de données	19
<i>2.2.1. Matériel</i>	19
<i>2.2.2. Préparation et méthodes de mesure</i>	20
<i>2.2.2.1. L'échauffement musculaire et articulaire</i>	20
<i>2.2.2.2. Les mesures</i>	21

2.2.3. <i>Questionnaire</i>	23
2.2.3.1. <i>Pour mieux connaître les sportifs</i>	23
2.2.3.2. <i>Questionnaire pour la population référence</i>	23
2.3. Analyse statistique	24
<u>3. RÉSULTATS</u>	24
3.1. Les amplitudes articulaires	24
3.2. La force	25
3.3. L'extensibilité	26
3.4. L'expérience sportive	27
3.5. Le niveau d'escalade	27
3.6. Escalade moderne versus escalade classique	28
<u>4. DISCUSSION</u>	28
4.1. Les différences d'amplitudes articulaires	28
4.2. Les différences de force	28
4.3. Les différences d'extensibilité	29
4.4. Les autres analyses	30
4.5. Limites de l'étude	30
<u>5. CONCLUSION</u>	32
BIBLIOGRAPHIE	34
ANNEXES	37

RÉSUMÉ

L'escalade moderne est un sport qui attire de nombreux adeptes depuis une vingtaine d'années. Les pathologies rencontrées dans ce domaine sont variées mais touchent d'abord le membre supérieur, et tout particulièrement la main.

Cette étude vise à établir l'aptitude articulaire et musculaire exacte de la main du grimpeur à travers des mesures d'amplitudes, de force musculaire et d'extensibilité musculaire. Elle permet de comparer ces valeurs à celle d'une population de référence afin de mieux connaître les particularités du grimpeur. Par la suite nous pouvons tenter d'établir un lien entre ces adaptations et les pathologies du grimpeur (rupture de poulies notamment).

On constate chez le grimpeur que les valeurs moyennes d'amplitude articulaire des doigts longs sont plus faibles en flexion et en extension, particulièrement sur les articulations interphalangiennes distales et proximales. De même, l'extensibilité des muscles fléchisseurs des doigts et du poignet est réduite. Il existe également une différence majeure de force (plus importante chez les grimpeurs) mais seulement pour la position arquée, spécifique de l'escalade.

Nous avons abouti à la conclusion que ces altérations pouvaient être le signe de la bonne adaptation des diverses structures de la main aux multiples prises. Cependant, nous pouvons conseiller les étirements de type passif-passif sur les fléchisseurs, par séance courte, pour prévenir ces pathologies, tout en conservant la spécificité de force liée à l'escalade.

Mots clés : escalade, main, amplitude, force, extensibilité.

1. INTRODUCTION

1.1. Alpinisme et naissance de l'escalade moderne (4, 22)

L'escalade moderne trouve ses racines dans l'alpinisme. L'alpinisme prend naissance au XVIII^e siècle avec la première ascension du Mont-Blanc le 8 août 1786 par deux français (Jacques BALMAT et le Dr. PACCARD). Au départ, la conquête des montagnes se faisait sous couvert d'expéditions scientifiques ou géologiques. Puis au fil du temps, avec l'évolution des moeurs et du matériel au cours des XIX^e et XX^e siècles, l'alpinisme est devenu une pratique sportive à part entière ; les objectifs principaux étant alors l'ascension en elle-même, la découverte de nouvelles voies de passage, la communion avec la nature, etc.

L'escalade moderne commence à se distinguer de l'alpinisme dans les années 80, grâce notamment à la médiatisation des exploits de Patrick EDLINGER (20, 21) dans les gorges du Verdon. En 1985, la F.F.E. (Fédération Française d'Escalade) est créée puis, 4 ans plus tard, elle rejoint celle de la montagne (F.F.M.) pour donner la F.F.M.E. (Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade). Durant cette même année, les premiers murs d'escalade fleurissent dans toute la France (fig. 1) pour accueillir dès 1986 les premières compétitions. En 1998, les blocs (fig. 1) se démocratisent et font à leur tour de nombreux adeptes à la recherche d'intensité et de technicité sans les contraintes du matériel. Les grimpeurs de bloc évoluent en effet sur des structures ne dépassant que très rarement les 3 mètres de haut, ils n'ont donc aucun besoin de s'assurer au moyen d'un baudrier ou un crash-pad (ou matelas) permettant d'amortir une éventuelle chute.

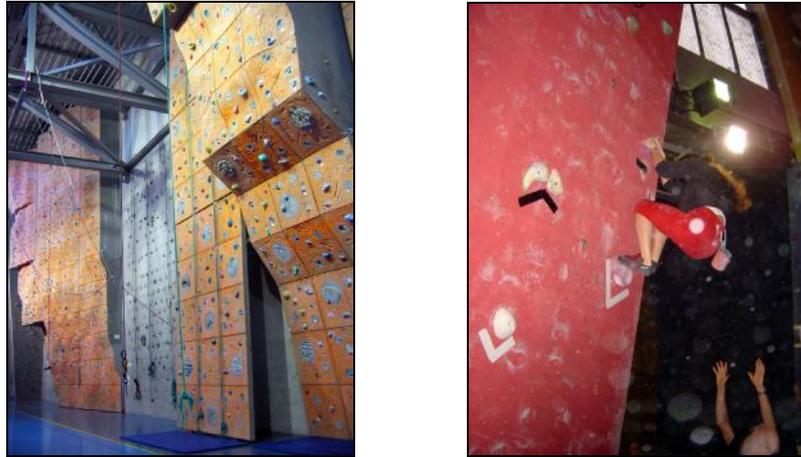


Figure 1 : Structure Artificielle d'Escalade (S.A.E) de type « Mur » (à gauche) et « Bloc » (à droite)

1.2. Spécificité de l'escalade « moderne ».

Ces nouveaux grimpeurs pratiquant sur des Structures Artificielles d'Escalade (S.A.E.) peuvent donc à loisir s'investir physiquement sans aucune retenue. La spécificité de l'escalade moderne est d'abord liée aux conditions externes puisque la pratique du sport est possible même par mauvais temps. Mais aussi, la caractéristique même de ce terrain d'entraînement fait que le grimpeur peut enchaîner toutes les voies présentes sur le site, sans parfois s'accorder de temps de repos ou de préparation préalable. Il peut répéter plusieurs fois un passage jusqu'à la réussite même s'il faut longuement insister, allant jusqu'à la limite de la douleur au niveau des doigts. De même, le bloc oblige parfois à réaliser des « jetés » qui permettent de passer d'une prise à l'autre, distantes parfois de deux mètres (*ANNEXE I*), obligeant le grimpeur à saisir les prises « à la volée » après un saut. Par ces aspects, la pratique intensive actuelle de l'escalade (jusqu'à 5 entraînements par semaine) en fait un sport à risques. Les grimpeurs « modernes » ont pour terrain les murs mais aussi et surtout les blocs, tandis que les grimpeurs « classiques » pratiquent en haute montagne ou en falaise. Cependant, cette classification n'est pas franche et le mur ou le bloc reste un bon moyen d'entraînement pour le grimpeur « classique ».

1.3. Les différentes prises mises en jeu lors de l'escalade et les mécanismes de force.

Devant la beauté de ce sport et la facilité apparente qu'ont certains grimpeurs à gravir les parois, si abruptes soient-elles, il apparaît comme évident que le corps entier est mis à contribution (*ANNEXE I*). Cependant, les extrémités du corps sont mises à rude épreuve et la main fine de préhension devient la « main primitive » de locomotion. En effet, le membre supérieur est au premier plan puisqu'il explore le chemin à venir et se retrouve souvent au dessus du grimpeur. La main doit s'adapter à la roche (ou la surface de grimpe) pour adopter les différentes préhensions. Elles sont différentes (4, 7, 8, 12, 13) selon le type et la forme du matériau de la paroi : les prises arquées et tendues sont les plus fréquentes (fig. 2).



Figure 2 : Prise arquée (à gauche) et prise tendue (à droite)

Les prises arquées se réalisent à base d'hyperextension des interphalangiennes distales (IPD), de flexion maximum des IP Proximales (IPP) et de flexion plus ou moins marquée des métacarpo-phalangiennes. Elles permettent une plus grande surface de contact avec la prise (toute la pulpe du doigt) et assure un maintien de la préhension moins fatigant pour les structures musculaires mais qui est plus contraignant pour le système des poulies digitales. A celles-ci on peut ajouter les positions inversées, en crochet, en coincement, en pincette, etc. (*ANNEXE I*). Les grimpeurs utilisent tous les doigts lorsque la prise est suffisamment grosse

mais peuvent être obligés de n'en utiliser que 3 voire 2 (prise en tri ou bi-doigts), parfois un seul (mono-doigt) lorsqu'une seule aspérité dans la roche le permet. QUAINÉ F. et Coll. (14) indiquent la force prédominante des doigts III et IV dans les positions arquées, justifiant ainsi leur implication fréquente dans les lésions. L'intérêt de l'utilisation préférentielle de ces doigts est d'autant plus marqué qu'ils se situent dans le prolongement de l'axe longitudinal du membre supérieur (6). On notera également que, dans la majorité des cas, le mode de contraction des muscles fléchisseurs des doigts est un mode isométrique (verrouillage de prises, maintien d'une position statique pour assurer la progression de l'ensemble du corps).

1.4. Les pathologies en rapport avec la pratique de l'escalade (1, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 17, 18, 19, 23)

Des études, comme celles de ROOKS M.D. et Coll. (17, 18) révèlent des souffrances du poignet et de la main à hauteur de 60% chez les grimpeurs de haut niveau et 30 à 50% des blessures impliquent la région de l'IPP. L'étude réalisée par J.P. HERRY (1, 19) en 1984 montre que 84% des grimpeurs auscultés souffrent des doigts et 34% d'entre eux présentent des « lésions de poulies authentifiées ». Pour PARZY O. (13), ces lésions touchent à 36% le troisième doigt et à 64% le quatrième doigt. Hormis les lésions des poulies au niveau des doigts longs, on retrouve de nombreuses souffrances comme des tendinites du fléchisseur superficiel des doigts, des tendinites d'insertion de l'extenseur commun des doigts, des ténosynovites des fléchisseurs, des ruptures des lombricaux, des entorses, des douleurs chroniques, sans compter les nombreux traumatismes occasionnés par des chutes accidentelles.

1.5. Objectifs de l'étude

Le Professeur MOUTET (11) souligne que « bien que la pathologie de la main du

grimpeur soit à priori bénigne, le recul manque pour cette nouvelle discipline et sa pratique intensive : ces grimpeurs sont-ils exposés à une pathologie articulaire dégénérative sévère à moyen terme ? ».

Nous pouvons alors nous poser plusieurs questions :

- ü Y'a-t-il une différence entre la main du grimpeur de haut niveau et celle d'une personne ne pratiquant pas l'escalade ?
- ü Quelles sont les spécificités de cette main ?
- ü Quelle est alors l'incidence de ces éventuelles déformations sur la fonction de la main, sur ses pathologies ?
- ü Ces facteurs sont-ils déterminants dans le mécanisme lésionnel de la rupture de poulie ?
- ü Le grimpeur « moderne » a-t-il des caractéristiques particulières vis-à-vis de ses aptitudes ? Ce type d'escalade est-il délétère pour la main ?

Enfin, nous essayerons d'envisager sous un aspect plus global les autres facteurs de risques.

Pour avoir une vision d'ensemble de la main du grimpeur, nous nous sommes donc attelés à définir l'aptitude articulaire et musculaire exacte de cette main à travers des mesures d'amplitudes articulaires, de force et d'extensibilité musculaire. Ces valeurs sont ensuite comparées à celles d'une population de référence. Nous avons également tenté de cerner au mieux le grimpeur par une approche de son entraînement et son hygiène de vie sportive.

1.6. Anatomie mise en jeu (6, 7)

Seuls les 4 doigts longs ont été testés lors de notre étude (l'essentiel des pathologies n'intéressant que ceux-ci), nous nous limiterons donc à leur anatomie respective.

1.6.1. Les articulations

ü La métacarpo-phalangienne (MP) :

- Elle unit l'os métacarpien et la première phalange (P1) pour former une

articulation ellipsoïde. La tête métacarpienne est encroûtée de cartilage hyalin.

- Les moyens d'union : une capsule est incluse dans chaque interligne et est tapissée d'une synoviale. Cette capsule forme un cul-de-sac à la face dorsale en extension, tandis qu'en flexion elle est tendue par un fibrocartilage. Ce dernier sert non seulement de moyen d'union (puisque s'insérant sur la capsule) mais aussi de surface articulaire, prolongeant celle de P1 au niveau palmaire. Les ligaments collatéraux (médial et latéral) sont tendus en flexion et détendus en extension.

Ü L'interphalangienne proximale (IPP) et distales (IPD) :

- Elle unit la première phalange à la deuxième (P2) pour l'IPP et P2 à la troisième (P3) pour l'IPD. Ces articulations sont de type ginglyme ; leurs surfaces étant tapissées de cartilage hyalin. La surface articulaire proximale de P2 (et P3) est complétée par un fibrocartilage glénoïdien au niveau palmaire.
- Les moyens d'union : la capsule est comparable à celle de la MP. Il en est de même pour les ligaments collatéraux, ceux-ci étant tendus quelle que soit la position articulaire. D'autres éléments stabilisent à distance comme la poulie A3 (coulisse fibreuse), l'insertion proche des tendons extenseurs et fléchisseurs superficiels des doigts, et le ligament rétinaculaire.

1.6.2. Les muscles

Ü **Long et court extenseurs radiaux du carpe :** ils ont pour origine l'humérus. Le court appartient aux épicondyliens latéraux. Le long se finit sur le métacarpien du II (MII), le court sur MIII. L'innervation se fait par le nerf radial (C6, C7 pour le long et C7, C8 pour le court). Ils participent à la fonction d'extension et de **stabilisation du poignet**.

Ü **Extenseur ulnaire du carpe :** il a pour origine l'épicondyle latérale et l'ulna. Il se

termine sur MV. Il est innervé par le nerf radial. Son action est la **stabilisation du coude et du poignet (en médial pour la main de force)**.

Ü **Brachio-radial** : l'origine se fait au tiers inférieur du bord latéral de l'humérus et il se termine sur la face latérale de l'extrémité inférieure du radius. Il est innervé par le nerf radial (C5, C6). Il réalise la **flexion du coude et ramène l'avant-bras en pronosupination intermédiaire**.

Ü **Extenseur des doigts** : il appartient au groupe des épicondyliens latéraux. Il part de l'épicondyle latéral de l'humérus pour se finir sur les 3 phalanges (en postérieur) des 4 doigts longs. Son innervation se fait par la branche profonde du nerf radial (C7, C8). Il **stabilise latéralement le coude et réalise l'extension des 4 doigts longs (surtout MP) et du poignet**.

Ü **Fléchisseur superficiel des doigts** : il appartient aux épicondyliens médiaux. Ces origines sont multiples : l'épicondyle médial de l'humérus (tendon commun avec les autres épicondyliens), le ligament collatéral ulnaire, l'ulna (en dehors du tubercule coronoïdien), l'arcade ulnaire (entre les 2 os de l'avant-bras) et sur la moitié supérieure du bord antérieur du radius. Il se termine sur la deuxième phalange (P2) des 4 doigts longs, près des bords latéraux. Il est innervé par le nerf médian (C7, C8, T1). **Il stabilise l'IPP et réalise la flexion des doigts et du poignet**.

Ü **Fléchisseur profond des doigts** : il prend son origine sur les $\frac{3}{4}$ supérieurs du corps de l'ulna (face antérieure et médiale et bord antérieur). Il se termine sur la troisième phalange (P3) des 4 doigts longs. Ses 2 chefs latéraux sont innervés par le nerf médian, tandis que les 2 médiaux sont innervés par le nerf ulnaire (C8, T1). **Il stabilise l'IPD en statique et réalise la flexion de l'IPD et du poignet**.

Ü **Interosseux dorsaux et palmaires** : les 4 dorsaux prennent naissance au niveau des 2 métacarpiens adjacents (faces latérales) et se terminent sur la base de P1 mais aussi sur

la languette latérale du tendon de l'extenseur des doigts et enfin sur la dossière en arrière de l'extenseur des doigts. Les interosseux palmaires partent des métacarpiens I, II, IV et V (moitié antérieure). Leur terminaison est complémentaire de celle des dorsaux (en vis-à-vis). Ils sont innervés par le nerf ulnaire (C8, T1). **Ils stabilisent les MP en statique, réalisent la flexion des MP et l'extension des IPP et IPD. Les dorsaux réalisent l'abduction des doigts et les palmaires font l'adduction.**

1.6.3. L'appareil fibreux

On retrouve les coulisses fibreuses (ou poulies digitales). Elles sont échelonnées depuis la MP jusqu'à l'IPD. Elles sont numérotées du proximal au distal. On distingue les coulisses arciformes (A) (fig. 3) dont les fibres sont transversales par rapport à l'axe du doigt et les coulisses cruciformes (C) dont les fibres sont croisées. Elles jouent un rôle biomécanique très important puisqu'elles servent de **poulies de réflexion aux tendons fléchisseurs des doigts** (superficiels et profonds).

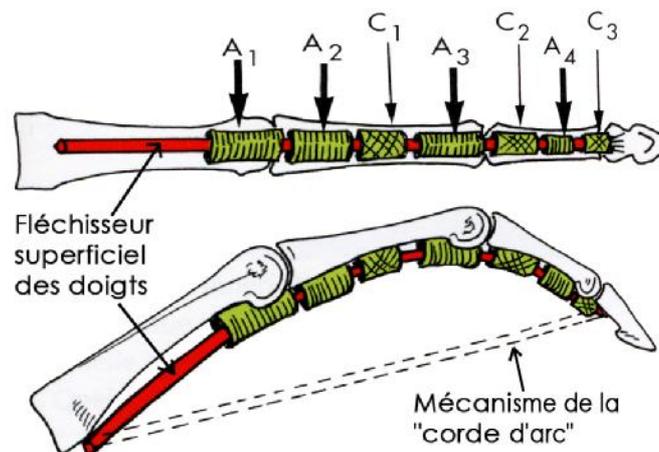


Figure 3 : Le système des poulies digitales (coulisses fibreuses) [illustration modifiée, d'après

DUFOUR (6)]

1.6.4. Les gaines synoviales

Les gaines synoviales se localisent au niveau palmaire et dorsal de la main. Elles

protègent les tendons à chaque zone où un frottement risque de se produire ou dans les zones de réflexion de ces tendons (fig. 4).

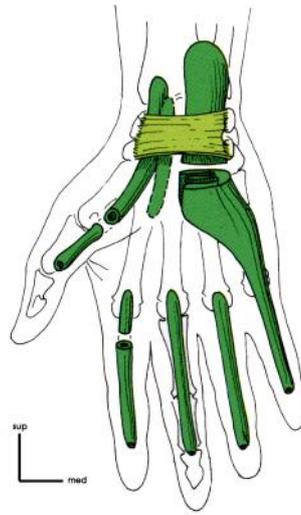


Figure 4 : Les gaines synoviales des fléchisseurs (face palmaire) [illustration modifiée, d'après DUFOR (6)]

2. MATÉRIEL ET MÉTHODE

2.1. Population

2.1.1. Groupe 1 = groupe « grimpeurs de haut niveau »

Composé de 35 sportifs masculins, pratiquant l'escalade (tous types de grimpeurs confondus) à raison de 0 à 5 entraînements par semaine selon les sujets. L'âge des sujets examinés varie de 17 à 46 ans, 14,3% d'entre eux sont gauchers. Ces sportifs sont issus pour la plupart de la région Grand Est de la France, et pour certains de Belgique et de Hollande. Le grimpeur le « moins performant » du groupe est de niveau « 7a » et le meilleur de niveau « 8b+ » (échelle en difficulté croissante de 1 : très facile à 9 : extrêmement difficile ; avec des sous-niveaux en difficulté croissante : a, a+, b, b+, c, c+). Le niveau moyen des grimpeurs testés se situe entre « 7c » et « 8a ». L'échelon « 7 » représente un niveau d'escalade élevé et qui n'existe que depuis la création de l'escalade moderne (soulignons que la première voie

franchie en « 7a » par un français date de 1977 (22)). Il est à noter que les niveaux relevés dans cette étude sont des niveaux « après travail », ce qui signifie que le passage de la voie n'a pas été fait au premier essai et que le grimpeur a dû s'y prendre à plusieurs reprises pour parvenir à la franchir entièrement. Notons également qu'il s'agit des niveaux « en tête de cordée », ce qui signifie que le grimpeur s'assure au fur et à mesure de sa progression sur la paroi, son camarade de cordée étant en contrebas pour l'assurer en cas de chute. Les sujets ont une expérience de l'escalade qui varie entre 2 et 27 ans, sachant qu'il est très rare d'atteindre un niveau « 7a » en l'espace de 2 ans.

2.1.2. Groupe 2 = groupe « Référence »

Il s'agit d'un groupe de référence composé de 35 sujets masculins âgés de 19 à 36 ans parmi lesquels on retrouve 5,7% de gauchers. Aucun d'entre eux ne pratique l'escalade actuellement (certains l'ont pratiqué à l'école mais aucun à haut niveau). Ce groupe sert de référentiel de comparaison. 94% sont des élèves de l'Institut de Formation en Masso-Kinésithérapie de Nancy.

2.2. Recueil de données

2.2.1. Matériel (ANNEXE II)

- ü Un musclet calibré à 4,1 kg, avec poignée unique (n'individualisant pas chaque doigt), de marque *Digi-Flex* ®, permettant l'échauffement musculaire et le « rodage » articulaire (notamment par l'activation des mécanorécepteurs articulaires).
- ü Un goniomètre métallique Balthazar « classique ».
- ü Un goniomètre de type Balthazar permettant de mesurer l'hyperextension des articulations MP, IPP et IPD des 4 doigts longs. Ce goniomètre n'étant pas vendu dans le commerce, il nous a été nécessaire de le fabriquer (fig. 5). Il utilise le même principe

que le Balthazar mais permet, grâce à une branche mobile à 90° (au lieu de 30° sur le Balthazar « classique »), de mesurer des hyperextensions plus importantes des MP (et éventuellement IP) jusqu'à 90° d'extension. Nous l'avons réalisé en PVC et imprimé sur une face un quart de rapporteur, nous permettant donc d'avoir la même précision et fiabilité que le goniomètre « classique ».

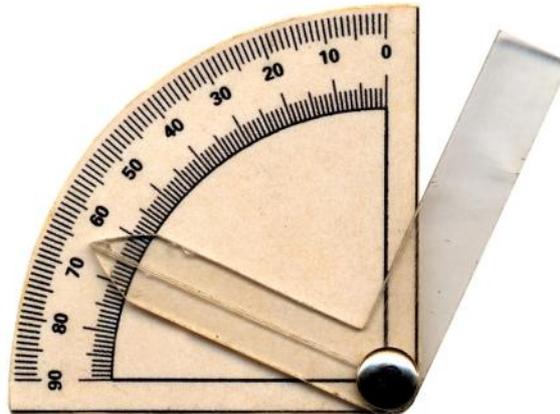


Figure 5 : Goniomètre adapté, type Balthazar.

- ü Un manomètre *Jamar* ®, permettant de mesurer la force maximale de préhension. Nous l'avons également équipé de bandes antidérapantes sur la poignée pour réaliser, non seulement des prises « classiques » (type poignée de main) mais aussi des prises arquées, fréquentes en escalade.
- ü Un plurimètre (aussi appelé inclinomètre) de *Rippstein* ® (16) pour mesurer l'extensibilité globale des fléchisseurs de l'avant-bras et des doigts.

2.2.2. Préparation et méthodes de mesure

2.2.2.1. L'échauffement musculaire et articulaire

Réaliser 3 séries de 10 mouvements en serrant le musclet (avec ressorts calibrés à 4,1 kg), à raison d'une contraction concentrique des fléchisseurs du poignet et des doigts, suivie de 2 secondes de contraction statique ensuite le sujet relâche en excentrique. Entre

chaque contraction, 2 secondes de repos sont demandées. Au bout des 10 contractions le sujet change de côté, permettant ainsi un temps de repos (égal au temps de travail) sur la main qui vient de travailler. Le poignet est laissé libre. Il est à noter que pour la plupart des grimpeurs, cet échauffement a été annulé car, dans 80% des cas, nous sommes intervenus pendant les périodes d'entraînements ou de compétitions, ils étaient donc déjà échauffés.

2.2.2.2. Les mesures

ü Mesure de la force maximale de préhension, en prise tendu puis en prise arquée (fig. 6), ceci en bilatéral. Le sujet est en position assise, le coude sur la table, l'avant-bras posé sur un coussin en forme de triangle rectangle, incliné à 30° par rapport à l'horizontale. Nous utilisons la poignée du manomètre *Jamar*® dans la deuxième position la plus serrée (fig. 6 à droite) afin d'avoir le même réglage pour tous les sujets. Nous demandons au sujet de serrer la prise au maximum en position tendue à gauche puis à droite. On procède de la même manière en prise arquée. Nous veillons à ce que le sujet n'utilise pas le pouce. On obtient une force en kilogrammes. Deux essais sont accordés à chaque sujet et nous notons la valeur la plus élevée.



Figure 6 : Test de force (ici en position arquée)

ü Mesure de l'extensibilité globale des muscles fléchisseurs du poignet et des doigts (fig.

7). Aucun test validé n'est actuellement utilisé pour mesurer cette valeur, nous avons donc décidé d'en proposer un. Le sujet est debout, nous plaçons alors la paume de la main le plus haut possible mais à plat sur un mur (on vérifiera au préalable la verticalité exacte du mur avec l'inclinomètre de *Rippstein* ®), le poignet en supination, les doigts verticaux et le coude en extension maximum (position maintenue pendant tout le test). On demande au sujet de plier les genoux afin de descendre son centre de gravité de quelques centimètres et ainsi de décoller la paume de la main du mur, ceci jusqu'aux articulations métacarpo-phalangiennes. À ce stade, nous arrêtons le test, nous positionnons l'inclinomètre sur l'avant-bras (la face antérieure de l'avant-bras pouvant être considérée comme plane) et nous mesurons l'angle fait par l'avant-bras avec l'horizontale. Plus l'angle est petit et plus la rétraction est importante. Ce test est également effectué en bilatéral.

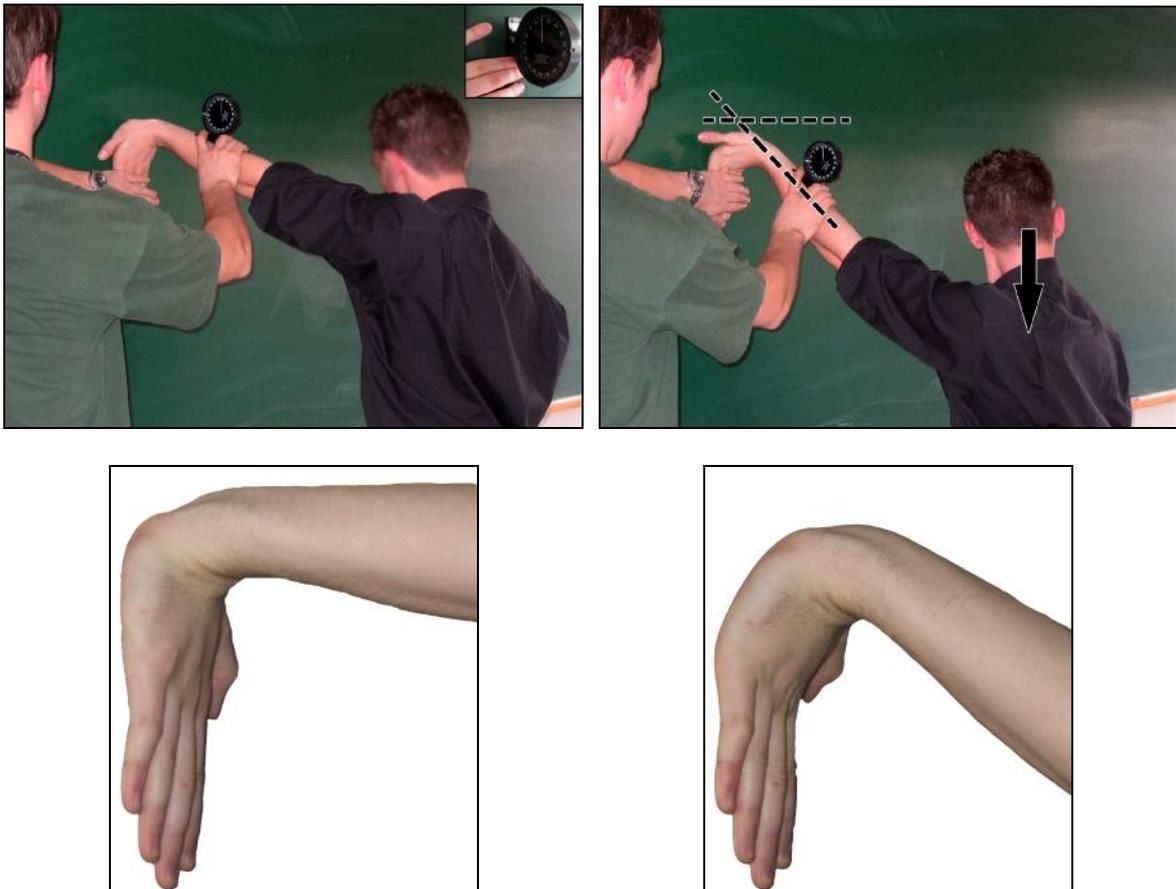


Figure 7 : Test d'extensibilité.

Ü Mesure de la flexion / extension passive sur les métacarpo-phalangiennes, interphalangiennes proximales et distales des doigts longs (II, III, IV et V), du côté gauche puis du côté droit. La position adoptée par le sujet pendant les mesures permet un relâchement musculaire des fléchisseurs (poignet en position intermédiaire). Nous utilisons la méthode goniométrique de la référence zéro de DE BRUNNER (2, 5).

2.2.3. Questionnaire

2.2.3.1. Pour mieux connaître les sportifs...

Collecte d'informations sous la forme d'un questionnaire (*ANNEXE III*) pour le groupe « Haut niveau » avec : âge, poids, taille, sexe, profession, expérience sportive dans l'escalade (en années), nombre d'entraînements par semaine, niveau des voies franchies, structure d'escalade (artificiel ou naturel), antécédents traumatiques du membre supérieur, hydratation pendant et après l'entraînement, échauffement avant l'effort, étirement avant ou après l'effort, autres sports pratiqués en rapport avec le membre supérieur, loisirs et activités manuels, port de chaussons d'escalade (en effet l'escalade moderne nécessite une utilisation optimale du membre inférieur et des pieds pour assurer une stabilité et une adhérence maximum du corps sur la paroi. Ainsi, avec des chaussons adaptés à la morphologie du sujet et grâce à l'utilisation de gomme de semelle très adhérente, le grimpeur évite une surcharge de travail trop importante sur le membre supérieur).

2.2.3.2. Questionnaire pour la population référence

Avec seulement : âge, taille, poids, sexe, profession, antécédents traumatiques du membre supérieur, sports pratiqués, loisirs et activités manuels.

2.3. Analyse statistique (9)

L'analyse a consisté à réaliser une étude de l'association entre la pratique de l'escalade à haut niveau et les paramètres d'amplitudes, de force et d'extensibilité, en distinguant la main dominante de la main non dominante. Les variables qualitatives ont été exprimées par leur fréquence et leur pourcentage, les variables quantitatives par leur moyenne, leur écart-type et l'étendue [min - max]. Les comparaisons ont été effectuées, en fonction du type de variables, par : les tests T de Student (comparaison de moyennes) et la corrélation de Spearman.

En raison du faible effectif de certains sous groupes, des tests non paramétriques - Mann et Whitney - ont été appliqués. Les valeurs de « p » inférieures ou égales à 0,05 ont été considérées comme statistiquement significatives. L'analyse a été réalisée avec le soutien du Service d'épidémiologie clinique, CEC - INSERM, Hôpital Marin, CHU de Nancy.

3. RÉSULTATS (9)

Nous allons voir quels sont les paramètres que la pratique de l'escalade influence. Les valeurs et les relations mises en évidence du côté de la main dominante sont superposables, dans la plupart des cas, à ceux de la main non dominante. Nous représenterons donc graphiquement les résultats exclusivement pour la main dominante (pour les résultats en détails, se référer aux annexes IV, V, VI et VII).

3.1. Les amplitudes articulaires

Les résultats apportés par le test de Student (*ANNEXE IV*) montrent l'existence d'une relation entre la pratique de l'escalade et les paramètres d'amplitudes (fig. 8). Nous constatons que **les grimpeurs ont des amplitudes plus faibles que le groupe référence** pour toutes les

articulations des doigts longs (par exemple : $p < 10^{-4}$ pour toutes les IPD en flexion), avec des différences d'amplitudes atteignant $16,6^\circ$ pour l'IPD du III en extension et une différence moyenne de $7,4^\circ$ (résultats du côté dominant). Cependant nous trouvons des exceptions :

- du côté dominant pour toutes les MP en extension et l'IPP du V en flexion

- du côté non dominant pour l'IPP du V en flexion, la MP du II en flexion, la MP du V en extension.

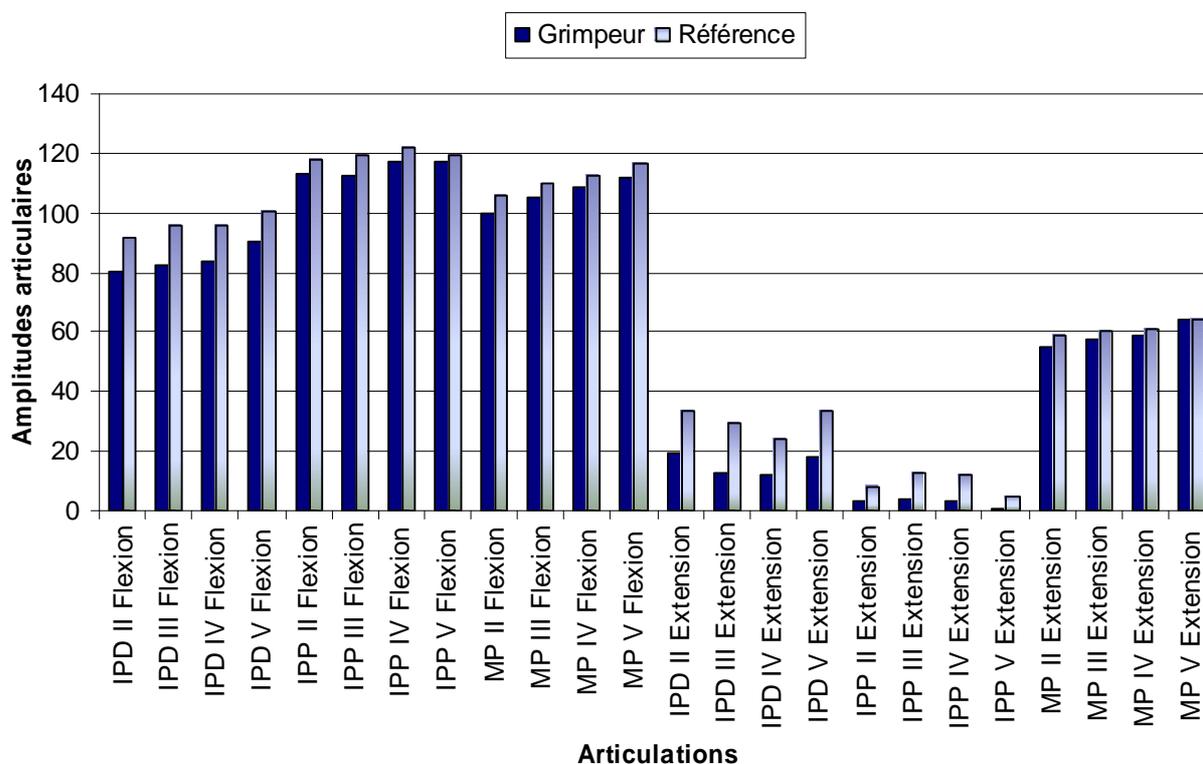


Figure 8 : Valeurs moyennes des amplitudes du groupe "grimpeurs de haut niveau" et du groupe "référence". Côté main dominante.

3.2. La force

En ce qui concerne les valeurs de force (fig. 9), l'analyse statistique par le test de Student (ANNEXE IV) montre que la pratique de l'escalade modifie les paramètres de force arquée de manière statistiquement significative ($p < 10^{-3}$) puisque :

ù pour la force arquée, il y a une différence significative entre les grimpeurs à 36,7 kg et la population de référence à 29,9 kg, du côté dominant. Idem, du côté non dominant, les grimpeurs ont une force de 33,3 kg contre 26,3 kg pour le deuxième groupe.

ù pour la force tendue, il n'y a pas de différence significative entre les grimpeurs à 58,4 kg et la population de référence à 57,9 kg, du côté dominant. De la même manière, du côté non dominant, les grimpeurs ont une force de 52,5 kg contre 55,2 kg pour le deuxième groupe.

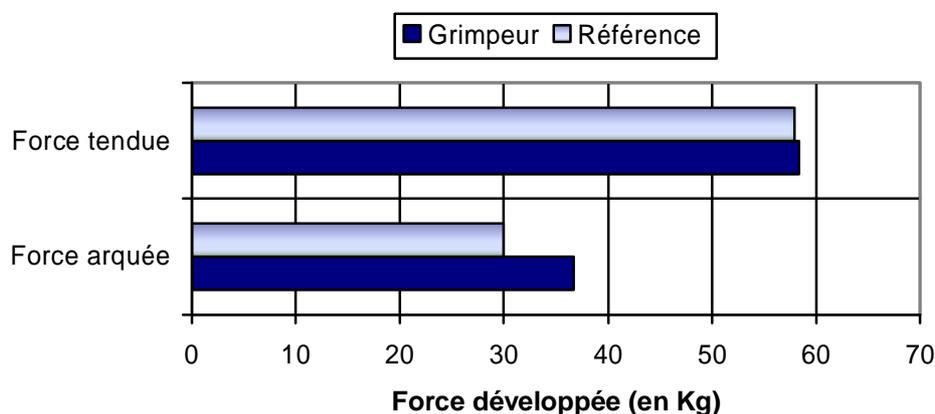


Figure 9 : Valeurs moyennes des forces du groupe "grimpeurs de haut niveau" et du groupe "référence". Côté main dominante.

3.3. L'extensibilité

Le test de Student (*ANNEXE IV*) pratiqué sur les valeurs d'extensibilité montre qu'il existe une différence significative du côté dominant entre les deux populations ($p=0,001$). Les grimpeurs ont en moyenne une extensibilité de 28° contre 38° pour la population référence (fig. 10). Du côté non dominant, la même analyse peut être faite puisque les grimpeurs ont une extensibilité musculaire de 30,9° contre 42° pour le groupe référence ($p<10^{-3}$).

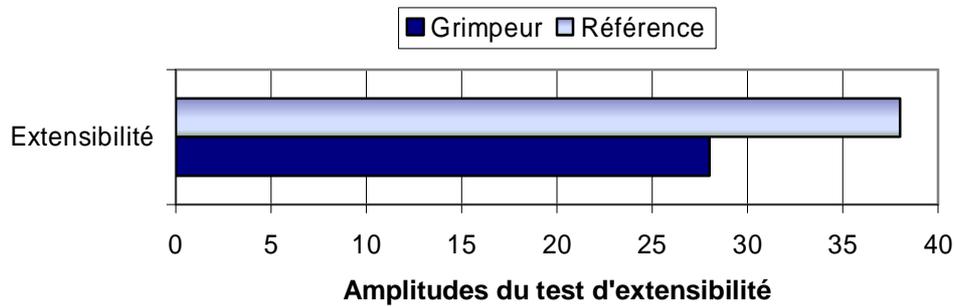


Figure 10 : Valeur moyenne de l'extensibilité du groupe "grimpeurs de haut niveau" et du groupe "référence". Côté main dominante.

3.4. L'expérience sportive

Le coefficient de corrélation de Spearman (*ANNEXE V*) montre que **les amplitudes d'IPP ou d'IPD diminuent lorsque l'expérience sportive des grimpeurs s'accroît** – $p < 5.10^{-3}$ – à l'exception d'une seule amplitude d'IPP qui augmente (celle du V^e doigt en extension). On peut faire le même type d'analyse du côté non dominant.

3.5. Le niveau d'escalade

Par le biais du test de Mann et Whitney (*ANNEXE VI*), nous constatons que **plus le niveau des grimpeurs est élevé, plus leurs amplitudes au niveau des IP** (surtout en extension) **vont diminuer** (comparaison entre 13 grimpeurs de niveau 7 et 22 de niveau 8, à l'intérieur même de notre population de grimpeurs).

3.6. Escalade moderne versus escalade classique

Nous avons comparé deux types de pratiques à l'intérieur même du groupe 1. Pour ce faire, nous utilisons le test de Mann et Whitney (*ANNEXE VII*). Nous avons d'un côté les grimpeurs classiques (sous-groupe n°1 avec 14 pratiquants de haute montagne ou de falaise essentiellement), de l'autre, les grimpeurs modernes (sous-groupe n°2 avec 21 pratiquants de

S.A.E., en particulier de bloc). On constate que **l'extensibilité du côté dominant varie entre les deux sous-groupes de grimpeurs** avec $27,5^\circ$ pour les grimpeurs classiques contre $28,3^\circ$ pour les grimpeurs modernes.

4. DISCUSSION

4.1. Les différences d'amplitudes articulaires

Les résultats mis en évidence sur les amplitudes montrent bien la différence significative qui existe entre des grimpeurs et la référence. En effet, les interphalangiennes sont les articulations pour lesquelles il y a le plus de différences significatives entre les valeurs moyennes du grimpeur et celles de référence (essentiellement en flexion mais aussi en extension). Ces diminutions d'amplitude pourraient s'expliquer par des rétractions des structures capsulo-ligamentaires, consécutives aux contraintes majeures de charge sur la main.

4.2. Les différences de force

Nous avons pu constater que les grimpeurs avaient une force accrue dans la position arquée ; à cela nous pouvons tenter d'apporter 3 hypothèses explicatives :

- ü La rétraction des éléments capsulo-ligamentaires au niveau des IP et MP augmenterait la stimulation des capteurs articulaires (récepteurs de Ruffini notamment), occasionnant une réponse musculaire plus accrue dans le but de protéger et stabiliser les articulations mises à mal.
- ü La diminution de l'extensibilité et des amplitudes chez le grimpeur fait que les muscles fléchisseurs des doigts (particulièrement le fléchisseur superficiel des doigts (7)) travailleraient dans une course plus faible, d'autant plus que le travail demandé se fait en isométrique. Dans ce mode de contraction « le gain de force est spécifique de l'angle

de travail » (3). On se trouve alors face à une adaptation des fibres musculaires dans ce secteur angulaire de travail (vers la course interne).

Ü La position de test de la force arquée s'est parfois révélée douloureuse sur la population de référence, tandis que les grimpeurs supportaient mieux cette prise. Ce constat est d'autant plus remarquable que l'on remarque dans la population référence que cette prise arquée n'est jamais utilisée car non fonctionnelle. Nous pouvons alors supposer que, chez les grimpeurs, une adaptation des récepteurs capsulo-ligamentaires nociceptifs s'est produite, du fait de la position répétée ; ainsi cela leur permettrait de mieux supporter le test et donc de développer une force arquée plus importante car moins douloureuse.

4.3. Les différences d'extensibilité

On a pu constater qu'il existait une différence d'environ 11° entre les deux populations. Cela peut s'expliquer par le fait que les corps musculaires mis en jeu s'adaptent par le biais de rétraction, au fur et à mesure de leur travail intensif, au cours des entraînements et/ou compétitions.

4.4. Les autres analyses

La répartition préférentielle des ruptures de poulies sur les doigts III et IV (décrites dans la littérature) ne peut pas être expliquée par nos résultats, puisque la majorité des articulations présentent des différences significatives entre les deux populations. En effet, la flexion et l'extension sont diminuées sur tous les doigts chez les grimpeurs, et non spécifiquement sur les doigts III et IV. La répartition des ruptures sur ces doigts s'expliquerait alors par leur utilisation intensive et préférentielle lors de certains mouvements en bi-doigts par exemple.

Par le biais des tests non paramétriques de Mann et Withney (*ANNEXE VII*), nous avons constaté que seule l'extensibilité variait entre les deux types de grimpeurs. Or, si l'on compare strictement les valeurs des autres paramètres entre eux, sans passer par la statistique (le test non paramétrique n'étant pas un test suffisamment puissant car l'échantillon des deux types de grimpeurs est trop faible), nous constatons pour les grimpeurs modernes que :

Ü ils ont plus de force (en tendu et en arqué)

Ü leurs amplitudes sont plus réduites (sur la plupart des articulations en bilatéral)

Nous avons également rencontré le problème du classement des différents grimpeurs en fonction de leur pratique, dans la mesure où certains d'entre eux étaient à mi-chemin entre les deux catégories.

4.5. Limites de l'étude

Nous pensons que de nombreux facteurs permettent de nuancer les résultats apportés. Tout d'abord, toutes ces mesures ont été réalisées à chaud, pendant les entraînements ou compétitions. On pourrait s'attendre à trouver d'autres valeurs de force (plus importantes), d'amplitudes (moins importantes) ou d'extensibilité (majorées), dans la mesure où le grimpeur est en « phase aiguë » vis-à-vis des différents tissus (fatigue musculaire, tension capsulo-ligamentaire, etc.). De plus, nous ne sommes pas en mesure d'apporter la preuve que les grimpeurs ne possédaient pas déjà des aptitudes particulières de force, d'extensibilité ou d'amplitudes avant de débiter ce sport.

De même, les tests proposés manquent de puissance et de spécificité.

Premièrement, le test de force est réalisé dans une position qui n'est pas superposable avec précision au geste technique de prise arquée ou tendue. En effet, la poignée du manomètre *Jamar*® est une barre rectiligne et très rigide, sur laquelle la main s'adapte difficilement, parfois avec des douleurs. Dans un premier temps, nous pourrions refaire ces mêmes tests en

modulant individuellement la position de la poignée en fonction de la taille de la main du sujet. Puis dans un deuxième temps, il serait idéal de pratiquer un électromyogramme de surface pour ce type de muscle (comme dans l'étude de QUAINÉ F. (15)), ou plus simplement de mettre en place un protocole de mesure de l'endurance musculaire avec abaque (pour calculer la force maximale théorique par exemple).

Deuxièmement, le test d'extensibilité s'est parfois révélé limité par la présence de douleurs dans la position extrême en fin d'amplitude, dues probablement à la mise en tension globale de chaînes aponévrotiques ou des différents paquets vasculo-nerveux du poignet et de l'avant-bras. Il serait donc préférable d'adopter la position de supination maximale pour rentrer dans toutes les composantes de mise en tension des muscles fléchisseurs des doigts et cibler spécifiquement ces muscles (au lieu de la position de verticalité des doigts).

Rappelons ensuite que la précision des mesures goniométriques se fait à 5° près et, même si dans notre étude toutes les mesures ont été faites par le même évaluateur, un pourcentage d'erreur faible peut être à l'origine de mesures erronées.

Enfin, nous pouvons penser qu'il serait préférable d'établir les populations sur un échantillon plus important et plus hétérogène en randomisant la sélection des personnes (notamment pour le groupe référence) pour obtenir une plus grande représentativité sur le plan statistique. En effet, la plupart des mesures du groupe 2 ont été réalisées sur des étudiants en kinésithérapie qui peuvent déjà avoir une certaine morphologie de la main du fait du travail manuel.

5. CONCLUSION

A l'issue de cette discussion, nous pouvons nous interroger sur la place des étirements dans la préparation ou la récupération dans l'escalade puisque nous avons montré que la réduction de l'extensibilité était caractéristique du grimpeur. Si nous envisageons de

programmer des étirements à visée de gain d'extensibilité, nous pouvons supposer que le grimpeur va perdre la spécificité de travail des muscles fléchisseurs (comme avancé au paragraphe 4.2. avec la deuxième hypothèse). D'un autre côté, si ce muscle présente une tension trop importante, les contraintes mécaniques appliquées sur les gaines fibreuses sont majorées (notamment les poulies A2 et A4, tel le mécanisme de la « corde d'arc »). Donc, même si ces structures passives sont adaptées par l'entraînement, leur mise en tension par les tendons des fléchisseurs favoriserait la rupture de poulie. On peut donc envisager de prévenir ces accidents par des étirements de type passif-passif (sans sollicitation active des agonistes ni des antagonistes) qui permettront également de favoriser la récupération musculaire. C'est pourquoi nous préconisons une séance courte (5 minutes) en fin d'entraînements ou de compétitions à risque afin de ne pas perdre la force spécifique. Ces étirements de récupération auront pour but de prévenir les lésions musculaires et tendineuses, nous ne rechercheront donc pas le gain d'amplitude en première intention.

Nous avons également constaté qu'il y avait une légère différence entre les paramètres des deux types de grimpeurs. Il serait alors intéressant d'étudier de manière plus approfondie (sur un échantillon plus important de grimpeurs) les véritables différences qui existent entre les catégories et de voir si l'une ou l'autre des pratiques d'escalade est plus nocive que l'autre vis-à-vis du membre supérieur. De la même manière, une autre étude pourrait s'intéresser à une population de grimpeurs moins expérimentée ou plus jeune pour déterminer si l'influence de l'escalade sur les différents tissus se produit précocement ou non.

Enfin, la question du professeur MOUTET (11) reste malgré tout en suspend, dans la mesure où notre étude ne nous a pas permis d'avoir suffisamment de recul vis-à-vis de la pathologie du grimpeur, puisque seule l'aptitude particulière a pu être mise en avant. En effet les altérations mises en évidence ne sont-elles pas le signe d'une bonne adaptation de la main à l'environnement ?

BIBLIOGRAPHIE

1. **CARTIER J-L., TOUSSAINT B., DARLOT P., HERRY J-P., ALLIEU Y., BOUSQUET G.** – Approche d’une nouvelle pathologie de la main liée à la pratique de l’escalade. – J. Traumatol. Sport, 1985, 2, pp. 35-39.
2. **CAVE E.F., ROBERTS S.M.** – A method of measuring and recording joint function – J. Bone and Joint surgeon, 18 : 2 : 455-466 – Avril 1936.
3. **COMETTI G.** – Méthodes modernes de musculation. Tome 1 : données théoriques. – Université de Bourgogne – Dijon, 1988.
4. **CREASEY M., SHEPHERD N., BANKS N., GRESHAM N., WOOD R.** – Le grand livre de l’escalade. – Editions Minerva, avril 2001 – 256 p.
5. **DE BRUNNER H.U.** – Bulletin : La cotation de la mobilité articulaire par la méthode de la référence zéro. Mesures des longueurs et périmètres – Juillet 1976. Organe de l’association Suisse pour l’étude de l’ostéosynthèse. Traduction de A. BOITZY et G. HOLLAERT.
6. **DUFOUR M.** – Anatomie de l’appareil locomoteur : membre supérieur – 1^{ère} édition – PARIS : Masson, 2002. – 447p.
7. **DUVAL M.A.** – La main du grimpeur : approche physiologique, clinique et expérimentale. – Thèse de doctorat de médecine, NICE, 1986 – 133 p.
8. **FALLET B.** – Les pathologies de la main du grimpeur : étude statistique et intérêt de la prévention. – Mémoire de fin d’études : Haute école libre de Bruxelles, Ilya Prigogine, Département Paramédical, section Kinésithérapie : 2003 – 84 p.
9. **LEGRAS B.** – Eléments de statistique à l’usage des étudiants en médecine : sujets de concours / Bernard LEGRAS – NANCY : Presses universitaires de NANCY, 1991. – 215p. : tabl. ; 24 cm. – (Outils et méthodes).

- 10. LEVAME J-H., CASTELLO J.** – La main du sportif. – Kinésithér. Sci., 1993, n°326, pp. 29-32.
- 11. MUGNIER C., MOUTET F.** – La main du grimpeur. – Ann. Kinésithér., 1992, t. 19, n°1, pp. 19-23 – Paris : MASSON.
- 12. PARZY O.** – Ruptures des poulies digitales opérées chez les grimpeurs de haut niveau : étude préalable à la construction d'un référentiel de l'intervention kinésithérapique – Rapport de recherche en vue de l'obtention du diplôme d'état de masseur-kinésithérapeute et de la maîtrise ingénierie de la santé : Ecole de Kinésithérapie, Centre Hospitalier Universitaire de Grenoble : 2003 – 53 p.
- 13. PEQUIGNOT J-P., DUVAL M-A., GIORDANO Ph.** – La main du grimpeur : approche expérimentale et clinique. – ALLIEU Y. – La main du sportif. – Paris : Expansion Scientifique Française, 1995. – pp. 161-167 – Monographies du GEM n°20.
- 14. QUAINÉ F., VIGOUROUX L., MARTIN L.** – Effect of simulated rock climbing finger postures on force sharing among the fingers. – Clinical Biomechanics, 2003, pp. 385-388.
- 15. QUAINÉ F., VIGOUROUX L., MARTIN L.** – Finger flexors fatigue in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. – International Journal of Sport Medecine, 2003, 24, pp. 424-427.
- 16. RIPPSTEIN J.** – Le plurimètre V64, un nouvel instrument de mensuration. – Ann. Kinésithér., 1983, t. 10, n°1-2, pp. 37-45 – Paris : MASSON.
- 17. ROOKS M-D.** – Rock climbing injuries. – Sports Med., 1997, 23 (4), pp. 261-270.
- 18. ROOKS M-D., JOHNSTON R-B. 3rd, ENSOR C-D., MCINTOSH B., JAMES S.** – Injury patterns in recreational rock climbers. – Am J Sports Med., 1995, 23 (6), pp. 683-685.

19. TOUSSAINT B., CARTIER J-L., HERRY J-P., ALLIEU Y. – Pathologie tendineuse et des poulies de la main chez le grimpeur. – **ALLIEU Y.** – La main du sportif. – Paris : Expansion Scientifique Française, 1995. – pp. 154-160 – Monographies du GEM n°20.

POUR EN SAVOIR PLUS :

20. EDLINGER P., FERRAND A., LEMOINE J-F. – Grimper ! – Paris : Arthaud : 1985.

21. EDLINGER P., NICOD R. – Opéra vertical. – Paris : Arthaud : 1983.

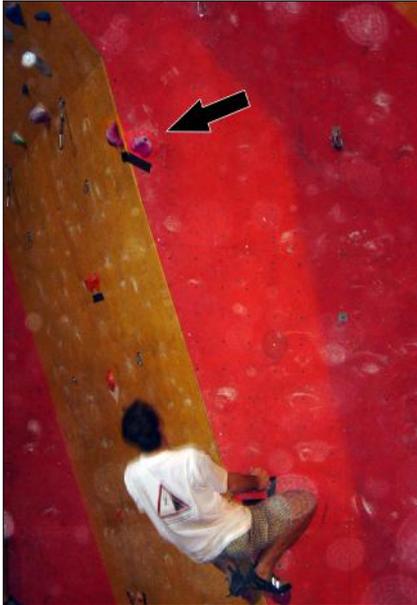
22. Site de la Fédération Française de la Montagne et de l'Escalade : <http://www.ffme.fr>

23. <http://www.kinescalade.com>

ANNEXES

ANNEXE I

Sport et techniques



Technique de jeté sur des structures de type bloc. Le grimpeur est obligé de sauter vers la prise et de la saisir rapidement pour supporter tout le poids du corps.



Prise inversée.
L'avant-bras est en supination.



Prise tendue aidée d'une pince au niveau du pouce droit.



Sollicitation complète du corps dans des positions parfois inattendues.

ANNEXE II

Matériel

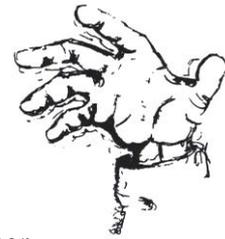


Les différents outils utilisés :

- ü Goniomètre Balthazar
- ü Goniomètre adapté de Balthazar
- ü Inclinomètre de Rippstein ®
 - ü Musclet *Digi-Flex* ®
 - ü Manomètre *Jamar* ®

ANNEXE III

Questionnaire



Nom, Prénom (restera anonyme pour l'étude) :

Sexe : H - F Âge :ans Profession :

Poids :kg Taille :cm Etes-vous : Droitier - Gaucher

- ⊙ Depuis combien de temps faites-vous de l'escalade :ans
- ⊙ Nombre d'entraînement(s) par semaine :fois
- ⊙ Niveau des voies franchies (à entourer « A, B ou C » en face du chiffre du niveau) :

7	A	8	A
	B		B
	C		C

- ⊙ Pratique habituelle (entourez la plus fréquente) :
 - Structure artificielle : mur / bloc
 - Structure naturelle : falaise / haute montagne
- ⊙ Antécédent(s) traumatique(s) du membre supérieur :
- ⊙ Vous hydratez-vous :
 - pendant la séance (en litres) :L
 - après l'effort (en litres) :L
- ⊙ Echauffement avant l'entraînement (précisez le type et la durée) :
- ⊙ Etirement(s) avant l'entraînement : - Oui / Combien de temps ?
- Non
- ⊙ Etirement(s) après l'entraînement : - Oui / Combien de temps ?
- Non
- ⊙ Port de chaussons d'escalade : Oui / Non
- ⊙ Autre(s) sport(s) pratiqué(s), loisir(s) et activité(s) manuel(s) (instrument de musique, informatique, bricolage, etc.) - depuis combien de temps :



ANNEXE IV

Test « t » de Student : test de comparaison de moyennes.
 Comparaison des variables **amplitudes, force, extensibilité** dans le **groupe « grimpeurs de haut niveau »** et « référence ». Côté main **DOMINANTE**.

VARIABLES	GROUPE GRIMPEURS n=35				GROUPE REFERENCE n=35				P *
	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	
IPD II Flexion	80,6	10,27	60	100	91,6	9,98	70	110	<10 ⁻⁴
IPD III Flexion	82,4	10,10	60	95	95,7	9,56	75	110	<10 ⁻⁴
IPD IV Flexion	83,6	11,86	45	100	96,0	9,76	75	120	<10 ⁻⁴
IPD V Flexion	90,7	8,92	65	110	100,6	8,81	75	115	<10 ⁻⁴
IPP II Flexion	113,0	5,71	90	120	117,7	5,05	105	130	<10 ⁻³
IPP III Flexion	112,6	8,69	85	125	119,1	5,35	105	130	<10 ⁻³
IPP IV Flexion	117,3	8,08	90	125	122,1	5,19	115	135	0,004
IPP V Flexion	117,1	7,98	90	130	119,1	8,18	90	135	0,304
MP II Flexion	100,1	9,03	85	120	105,6	9,76	75	120	0,018
MP III Flexion	105,1	6,24	95	115	110,0	7,67	90	120	0,005
MP IV Flexion	108,3	6,41	95	120	112,3	6,68	100	125	0,013
MP V Flexion	112,0	6,32	95	125	116,7	7,07	95	130	0,004
IPD II Extension	19,6	9,58	0	35	33,7	10,17	20	60	<10 ⁻⁴
IPD III Extension	12,7	11,46	-10	40	29,3	8,15	10	45	<10 ⁻⁴
IPD IV Extension	12,1	9,80	-5	35	24,3	11,06	5	45	<10 ⁻⁴
IPD V Extension	18,1	11,05	-5	40	33,6	9,52	10	55	<10 ⁻⁴
IPP II Extension	3,4	6,04	-10	20	8,0	6,55	-5	25	0,003
IPP III Extension	4,0	7,46	-10	25	12,7	8,43	0	35	<10 ⁻⁴
IPP IV Extension	3,1	7,58	-10	20	12,1	9,80	-5	35	<10 ⁻⁴
IPP V Extension	0,6	5,39	-5	10	4,6	5,86	-5	15	0,004
MP II Extension	55,1	14,01	35	90	58,9	13,83	25	90	0,268
MP III Extension	57,3	14,06	35	90	60,0	13,83	35	90	0,418
MP IV Extension	58,9	13,40	40	90	60,9	14,68	30	90	0,554
MP V Extension	64,1	16,06	30	90	64,1	14,93	25	90	1
Force arquée	36,7	8,56	22	58	29,9	5,71	20	46	<10 ⁻³
Force tendue	58,4	11,32	20	75	57,9	8,67	42	75	0,841
Extensibilité	28,0	13,94	-5	50	38,0	10,38	20	60	0,001

* si le seuil de significativité **P<0,05** alors la différence de moyennes entre les 2 groupes est statistiquement significative.

Test « t » de Student : test de comparaison de moyennes.
 Comparaison des variables **amplitudes, force, extensibilité** dans le groupe « grimpeurs de haut niveau » et « référence ». Côté main NON DOMINANTE.

VARIABLES	GROUPE GRIMPEUR n=35				GROUPE REFERENCE n=35				P *
	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	
IPD II Flexion	81,0	8,98	55	95	90,9	9,35	70	110	<10 ⁻⁴
IPD III Flexion	84,0	10,06	55	95	96,3	8,60	80	115	<10 ⁻⁴
IPD IV Flexion	84,6	9,50	65	100	95,3	9,23	75	110	<10 ⁻⁴
IPD V Flexion	90,4	9,34	70	105	99,3	8,84	75	110	<10 ⁻³
IPP II Flexion	112,4	4,91	100	120	116,7	7,37	90	125	0,006
IPP III Flexion	114,4	6,84	90	125	119,6	4,91	110	125	<10 ⁻³
IPP IV Flexion	118,0	6,88	90	125	123,4	3,79	115	130	<10 ⁻³
IPP V Flexion	117,4	6,34	100	130	119,7	5,14	105	130	0,102
MP II Flexion	100,6	8,02	80	115	104,3	10,92	85	125	0,110
MP III Flexion	104,7	6,18	85	115	109,0	8,03	90	125	0,015
MP IV Flexion	107,9	6,56	90	115	113,6	7,13	95	125	<10 ⁻³
MP V Flexion	111,6	6,04	95	120	115,3	7,17	100	130	0,022
IPD II Extension	14,7	8,74	0	35	28,6	11,15	10	60	<10 ⁻⁴
IPD III Extension	13,1	9,63	-5	35	29,9	10,18	15	55	<10 ⁻⁴
IPD IV Extension	14,9	10,18	0	40	29,3	10,01	10	55	<10 ⁻⁴
IPD V Extension	22,9	13,36	-5	45	40,3	10,77	20	65	<10 ⁻⁴
IPP II Extension	3,0	5,71	-5	15	9,3	7,19	0	25	<10 ⁻³
IPP III Extension	3,1	8,84	-10	30	12,4	9,80	0	30	<10 ⁻⁴
IPP IV Extension	3,7	7,80	-10	25	12,0	8,68	0	30	<10 ⁻⁴
IPP V Extension	0,6	5,66	-15	10	5,7	8,76	-5	40	0,005
MP II Extension	55,0	15,58	30	90	64,6	15,74	35	90	0,013
MP III Extension	57,1	14,47	30	90	65,3	14,29	45	90	0,021
MP IV Extension	57,4	14,57	35	90	65,0	14,45	35	95	0,033
MP V Extension	61,3	15,11	35	95	67,6	15,31	35	100	0,088
Force arquée	33,3	7,29	20	53	26,3	4,73	14	33	<10 ⁻⁴
Force tendue	55,2	10,21	30	78	52,5	8,50	34	70	0,241
Extensibilité	30,9	11,01	0	50	42,0	11,64	20	70	<10 ⁻³

* si le seuil de significativité **P<0,05** alors la différence de moyennes entre les 2 groupes est statistiquement significative.

ANNEXE V

Coefficient de corrélation de Spearman.
Relation entre l'expérience sportive et les paramètres d'amplitude, de force et d'extensibilité. Côté main DOMINANTE.

VARIABLES	Coefficient de corrélation #	P *	Corrélation
IPD II Flexion	-0,32	0,057	Non
IPD III Flexion	-0,55	<10 ⁻³	Oui
IPD IV Flexion	-0,51	0,002	Oui
IPD V Flexion	-0,31	0,075	Non
IPP II Flexion	-0,31	0,074	Non
IPP III Flexion	-0,74	<10 ⁻⁴	Oui
IPP IV Flexion	-0,57	<10 ⁻³	Oui
IPP V Flexion	-0,53	<10 ⁻³	Oui
MP II Flexion	0,05	0,759	Non
MP III Flexion	-0,23	0,183	Non
MP IV Flexion	-0,04	0,824	Non
MP V Flexion	-0,17	0,315	Non
IPD II Extension	-0,32	0,057	Non
IPD III Extension	-0,49	<10 ⁻³	Oui
IPD IV Extension	-0,47	0,005	Oui
IPD V Extension	-0,14	0,434	Non
IPP II Extension	0,06	0,759	Non
IPP III Extension	-0,16	0,373	Non
IPP IV Extension	-0,0002	0,999	Non
IPP V Extension	0,35	0,041	Oui
MP II Extension	-0,22	0,201	Non
MP III Extension	-0,23	0,172	Non
MP IV Extension	-0,26	0,139	Non
MP V Extension	-0,31	0,069	Non
Force arquée	0,14	0,412	Non
Force tendue	0,06	0,742	Non
Extensibilité	-0,31	0,072	Non

si le coefficient est inférieur à 0, la corrélation est négative (quand l'expérience augmente, l'autre paramètre diminue).

* teste la différence du coefficient à 0.

Coefficient de corrélation de Spearman.
Relation entre **l'expérience sportive** et les paramètres **d'amplitude, de force et d'extensibilité. Côté main NON DOMINANTE.**

VARIABLES	Coefficient de corrélation #	P *	Corrélation
IPD II Flexion	-0,47	0,005	Oui
IPD III Flexion	-0,58	<10⁻³	Oui
IPD IV Flexion	-0,26	0,139	Non
IPD V Flexion	-0,45	0,006	Oui
IPP II Flexion	-0,39	0,022	Oui
IPP III Flexion	-0,49	0,003	Oui
IPP IV Flexion	-0,53	0,001	Oui
IPP V Flexion	-0,28	0,105	Non
MP II Flexion	0,07	0,706	Non
MP III Flexion	0,02	0,920	Non
MP IV Flexion	0,02	0,897	Non
MP V Flexion	0,09	0,619	Non
IPD II Extension	-0,15	0,387	Non
IPD III Extension	-0,47	0,004	Oui
IPD IV Extension	-0,52	0,002	Oui
IPD V Extension	-0,07	0,669	Non
IPP II Extension	-0,15	0,403	Non
IPP III Extension	-0,25	0,146	Non
IPP IV Extension	-0,30	0,090	Non
IPP V Extension	-0,07	0,679	Non
MP II Extension	-0,07	0,696	Non
MP III Extension	-0,19	0,276	Non
MP IV Extension	-0,15	0,394	Non
MP V Extension	-0,06	0,725	Non
Force arquée	0,16	0,367	Non
Force tendue	0,39	0,022	Oui
Extensibilité	0,07	0,674	Non

si le coefficient est inférieur à 0, la corrélation est négative (quand l'expérience augmente, l'autre paramètre diminue).

* teste la différence du coefficient à 0.

ANNEXE VI

Test de Mann et Whitney : test de comparaison de moyennes non paramétrique.
 Comparaison des variables **amplitudes, force, extensibilité** dans le **groupe « grimpeurs de niveau 7 » et « grimpeurs de niveau 8 »**. Côté main **DOMINANTE**.

VARIABLES	GROUPE GRIMPEUR DE NIVEAU 7 n=13				GROUPE GRIMPEUR DE NIVEAU 8 n=22				P *
	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	
IPD II Flexion	84,6	7,49	75	100	78,2	11,08	60	95	0,20
IPD III Flexion	87,3	7,25	75	95	79,5	10,57	60	95	0,04
IPD IV Flexion	88,1	8,55	75	100	80,9	12,88	45	100	0,10
IPD V Flexion	93,5	8,51	80	110	89,1	8,95	65	105	0,23
IPP II Flexion	113,8	3,63	110	120	112,5	6,68	90	120	0,77
IPP III Flexion	114,6	7,49	95	125	111,4	9,28	85	120	0,24
IPP IV Flexion	119,6	3,80	115	125	115,9	9,59	90	125	0,36
IPP V Flexion	115,4	6,28	100	125	118,2	8,80	90	130	0,13
MP II Flexion	97,3	8,81	85	110	101,8	8,94	85	120	0,20
MP III Flexion	104,2	6,41	95	115	105,7	6,23	95	115	0,50
MP IV Flexion	108,1	6,93	95	120	108,4	6,25	95	120	0,97
MP V Flexion	112,3	4,39	105	120	111,8	7,33	95	125	0,97
IPD II Extension	23,8	8,20	10	35	17,0	9,59	0	30	0,05
IPD III Extension	16,5	10,88	0	40	10,5	11,43	-10	40	0,11
IPD IV Extension	17,3	8,81	5	30	9,1	9,21	-5	35	0,01
IPD V Extension	24,6	8,53	15	40	14,3	10,72	-5	35	0,01
IPP II Extension	5,4	8,03	-5	20	2,3	4,29	-10	10	0,38
IPP III Extension	8,8	8,20	-5	25	1,1	5,33	-10	10	0,009
IPP IV Extension	7,7	7,80	0	20	0,5	6,15	-10	10	0,02
IPP V Extension	1,2	5,83	-5	10	0,2	5,23	-5	10	0,68
MP II Extension	53,5	13,13	40	90	56,1	14,71	35	90	0,55
MP III Extension	54,2	13,52	35	90	59,1	14,36	35	90	0,37
MP IV Extension	54,6	11,63	45	90	61,4	13,99	40	90	0,15
MP V Extension	62,3	14,67	45	90	65,2	17,08	30	90	0,52
Force arquée	37,2	10,69	22	58	36,4	7,28	24	55	0,90
Force tendue	56,5	12,97	20	73	59,5	10,40	30	75	0,49
Extensibilité	29,2	9,09	15	45	27,3	16,31	-5	50	0,93

* si le seuil de significativité **P<0,05** alors la différence de moyennes entre les 2 groupes est statistiquement significative.

Test de Mann et Whitney : test de comparaison de moyennes non paramétrique.
 Comparaison des variables **amplitudes, force, extensibilité** dans le **groupe « grimpeurs de niveau 7 »** et **« grimpeurs de niveau 8 »**. Côté main **NON DOMINANTE**.

VARIABLES	GROUPE GRIMPEUR DE NIVEAU 7 n=13				GROUPE GRIMPEUR DE NIVEAU 8 n=22				P *
	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	
IPD II Flexion	84,6	6,91	70	95	78,9	9,50	55	95	0,06
IPD III Flexion	88,1	9,02	70	95	81,6	10,05	55	95	0,04
IPD IV Flexion	88,8	10,03	70	100	82,0	8,40	65	95	0,06
IPD V Flexion	91,5	9,22	75	105	89,8	9,57	70	105	0,55
IPP II Flexion	113,1	4,80	105	120	112,0	5,04	100	120	0,49
IPP III Flexion	115,0	5,40	105	125	114,1	7,66	90	125	0,98
IPP IV Flexion	118,8	5,46	110	125	117,5	7,68	90	125	0,76
IPP V Flexion	115,8	6,07	105	125	118,4	6,43	100	130	0,17
MP II Flexion	99,6	9,00	80	110	101,1	7,55	85	115	0,58
MP III Flexion	104,6	6,91	85	110	104,8	5,87	95	115	0,75
MP IV Flexion	108,8	7,68	90	115	107,3	5,92	95	115	0,27
MP V Flexion	111,9	6,93	95	120	111,4	5,60	100	120	0,74
IPD II Extension	19,6	9,89	5	35	11,8	6,64	0	20	0,03
IPD III Extension	15,4	9,67	0	30	11,8	9,58	-5	35	0,26
IPD IV Extension	20,0	11,55	5	40	11,8	8,10	0	30	0,04
IPD V Extension	29,6	11,45	15	45	18,9	13,00	-5	40	0,03
IPP II Extension	5,8	6,72	-5	15	1,4	4,41	-5	15	0,04
IPP III Extension	8,8	10,44	-5	30	-0,2	5,66	-10	10	0,01
IPP IV Extension	8,5	8,75	0	25	0,9	5,70	-10	15	0,01
IPP V Extension	3,5	5,55	-5	10	-1,1	5,10	-15	10	0,03
MP II Extension	51,9	15,48	30	90	56,8	15,70	30	90	0,3
MP III Extension	51,5	14,05	30	90	60,5	13,97	40	90	0,05
MP IV Extension	53,1	13,00	35	90	60,0	15,12	35	90	0,14
MP V Extension	56,2	15,70	35	90	64,3	14,25	50	95	0,12
Force arquée	32,4	8,08	20	52	33,9	6,92	25	53	0,46
Force tendue	52,9	10,87	30	78	56,5	9,81	37	73	0,20
Extensibilité	28,5	10,08	0	40	32,3	11,52	10	50	0,58

* si le seuil de significativité **P<0,05** alors la différence de moyennes entre les 2 groupes est statistiquement significative.

ANNEXE VII

Test de Mann et Whitney : test de comparaison de moyennes non paramétrique.
 Comparaison des variables **amplitudes, force, extensibilité** dans le groupe « grimpeur classique » et « grimpeur moderne ». Côté main **DOMINANTE**.

VARIABLES	GROUPE GRIMPEUR CLASSIQUE n=14				GROUPE GRIMPEUR MODERNE n=21				P *
	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	
IPD II Flexion	81,8	10,67	60	100	79,8	10,18	60	95	0,07
IPD III Flexion	83,2	10,67	60	95	81,9	9,93	65	95	0,73
IPD IV Flexion	84,3	14,53	45	100	83,1	10,06	60	100	0,13
IPD V Flexion	93,6	7,45	85	105	88,8	9,47	65	110	0,87
IPP II Flexion	113,2	3,17	105	115	112,9	6,99	90	120	0,12
IPP III Flexion	111,4	10,08	85	120	113,3	7,80	90	125	0,88
IPP IV Flexion	118,6	8,64	90	125	116,4	7,77	90	125	0,81
IPP V Flexion	117,5	7,27	100	125	116,9	8,58	90	130	0,32
MP II Flexion	104,3	8,29	95	120	97,4	8,61	85	110	0,94
MP III Flexion	107,5	5,80	95	115	103,6	6,15	95	115	0,5
MP IV Flexion	110,7	3,31	105	115	106,7	7,47	95	120	0,15
MP V Flexion	112,1	3,78	105	115	111,9	7,66	95	125	0,99
IPD II Extension	21,8	7,75	10	35	18,1	10,54	0	35	0,76
IPD III Extension	12,9	8,25	0	25	12,6	13,38	-10	40	0,06
IPD IV Extension	14,3	7,30	5	30	10,7	11,10	-5	35	0,46
IPD V Extension	21,4	10,64	5	40	16,0	11,02	-5	30	0,68
IPP II Extension	4,3	7,30	-10	20	2,9	5,14	-5	15	0,53
IPP III Extension	4,3	8,52	-10	25	3,8	6,87	-5	15	0,90
IPP IV Extension	2,9	8,93	-10	20	3,3	6,77	-10	15	0,48
IPP V Extension	0,7	5,84	-5	10	0,5	5,22	-5	10	0,86
MP II Extension	52,5	9,15	35	65	56,9	16,47	40	90	0,6
MP III Extension	55,0	10,56	35	75	58,8	16,04	35	90	0,63
MP IV Extension	55,7	8,96	45	75	61,0	15,54	40	90	0,76
MP V Extension	63,2	14,62	40	90	64,8	17,28	30	90	0,20
Force arquée	36,1	8,38	22	58	37,1	8,86	24	58	0,94
Force tendue	56,6	12,56	20	70	59,5	10,58	30	75	0,58
Extensibilité	27,5	12,97	-5	45	28,3	14,86	0	50	0,04

* si le seuil de significativité **P<0,05** alors la différence de moyennes entre les 2 groupes est statistiquement significative.

Test de Mann et Whitney : test de comparaison de moyennes non paramétrique.
 Comparaison des variables **amplitudes, force, extensibilité** dans le **groupe « grimpeur classique »** et **« grimpeur moderne »**. Côté main **NON DOMINANTE**.

VARIABLES	GROUPE GRIMPEUR CLASSIQUE n=14				GROUPE GRIMPEUR MODERNE n=21				P *
	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	
IPD II Flexion	81,4	9,89	55	90	80,7	8,56	60	95	0,40
IPD III Flexion	84,3	11,58	55	95	83,8	9,21	65	95	0,67
IPD IV Flexion	87,9	8,48	75	100	82,4	9,70	65	100	0,51
IPD V Flexion	91,1	9,03	70	105	90,0	9,75	70	105	0,60
IPP II Flexion	112,1	5,08	100	120	112,6	4,90	105	120	0,79
IPP III Flexion	113,2	8,46	90	125	115,2	5,58	100	125	0,91
IPP IV Flexion	117,9	9,14	90	125	118,1	5,12	110	125	0,85
IPP V Flexion	117,9	6,71	100	125	117,1	6,24	105	130	0,27
MP II Flexion	102,1	5,79	90	110	99,5	9,21	80	115	0,70
MP III Flexion	106,1	3,50	100	110	103,8	7,40	85	115	0,31
MP IV Flexion	108,9	5,61	100	115	107,1	7,17	90	115	0,73
MP V Flexion	112,5	4,27	105	120	111,0	7,00	95	120	0,55
IPD II Extension	17,1	8,71	5	35	13,1	8,58	0	35	0,54
IPD III Extension	13,9	8,36	0	30	12,6	10,56	-5	35	0,54
IPD IV Extension	15,4	9,90	5	40	14,5	10,60	0	40	0,16
IPD V Extension	26,4	13,36	5	45	20,5	13,12	-5	45	0,56
IPP II Extension	4,3	4,75	0	15	2,1	6,24	-5	15	0,93
IPP III Extension	4,6	11,17	-10	30	2,1	6,99	-10	15	0,79
IPP IV Extension	3,9	9,24	-10	25	3,6	6,92	-5	20	0,14
IPP V Extension	1,1	6,84	-15	10	0,2	4,87	-10	10	0,26
MP II Extension	55,0	14,41	30	90	55,0	16,66	30	90	0,59
MP III Extension	53,6	14,47	30	90	59,5	14,31	40	90	0,9
MP IV Extension	53,9	14,03	35	90	59,8	14,79	40	90	0,56
MP V Extension	58,2	14,09	35	90	63,3	15,76	40	95	0,23
Force arquée	32,4	4,97	24	42	34,0	8,56	20	53	0,90
Force tendue	55,0	8,19	39	67	55,3	11,56	30	78	0,59
Extensibilité	30,7	8,05	20	50	31,0	12,81	0	50	0,40

* si le seuil de significativité **P<0,05** alors la différence de moyennes entre les 2 groupes est statistiquement significative.