

## **MASTER STAPS**

**ENTRAINEMENT ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE SPORTIVE**

**ANNÉE UNIVERSITAIRE 2021-2022**

### **MÉMOIRE**

**TITRE : Le développement concomitant des amplitudes passive et active de la flexion d'épaule chez le gymnaste masculin en formation.**

**PRÉSENTÉ PAR : ARTHUR PLANCQ**

**SOUS LA DIRECTION DE : FLORENCE FRANCOIS**

**SOUTENU LE 24 / 05 / 2022**

**DEVANT LE JURY : YANCY DUFOUR**

« La Faculté des Sciences du Sport et de l'Éducation Physique n'entend donner aucune approbation aux opinions émises dans les mémoires; celles-ci sont propres à leurs auteurs. »

# Remerciements

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué à rendre ce mémoire et ce stage possibles et sans qui je n'aurais pu tant apprendre et évoluer.

Je tiens à remercier Madame **Murielle GARCIN**, responsable du Master EOPS et Doyenne à la Faculté des Sciences du Sport et de l'Éducation physique (FSSEP), pour son aide et son accompagnement auprès de moi au long de ces deux années de Master.

Un remerciement et une reconnaissance particulière envers Madame **Florence FRANÇOIS**, ma directrice de mémoire, et **Aurore HUCHEZ** pour son aide précieuse en collaboration sur ce projet. Je les remercie pour leur investissement, leurs remarques honnêtes et bienveillantes ainsi que la confiance qu'elles ont su m'accorder dès le départ.

Je remercie aussi Monsieur **Frédéric DAUSSIN**, professeur à la FSSEP pour son aide dans le traitement statistique.

Je tiens à remercier Madame **Catherine DESSAINT**, présidente du club d'Henin Gym, pour la confiance qu'elle m'a accordé dès mon arrivée au club en ce début de saison en tant qu'entraîneur stagiaire.

Je remercie évidemment Monsieur **Emilien HEULS**, mon tuteur professionnel et entraîneur, sans qui rien de tout cela n'aurait été possible. Je tiens à remercier aussi Monsieur **Aoufi MANSOUR**, mon second entraîneur, pour leur écoute, leurs encouragements et leur engouement dans chacun de mes projets.

Je remercie l'Université de Lille et spécifiquement Monsieur **Fabrice PAINDAVOINE** pour m'avoir permis de joindre ces années de Master et mon projet sportif par l'obtention du statut Sportif de Bon Niveau et des aménagements qui ont pu aboutir en conséquence.

Enfin, je tiens à remercier les gymnastes que j'ai pu entraîner durant cette saison, avec qui nous venons d'écrire la première page d'un long chapitre, rendu notamment possible par **Clément HERPSON**, **Alexis BULTEEL** et **Antonin LEMESLE** avec qui j'ai entraîné ce collectif cette saison.



# Sommaire

Remerciements	2
Glossaire	6
Introduction	7
I. Revue de littérature	8
1. Repères anatomiques contextualisés	8
1.1 Structures mobilisées en flexion de l'épaule	8
1.1.1 Sémantique	8
1.1.2 Articulations impliquées dans la flexion de l'épaule	9
1.1.3 Tissus conjonctifs impliqués dans la flexion de l'épaule	11
1.1.4 Muscles impliqués dans la flexion de l'épaule	12
1.2 Mobilisation de l'épaule en gymnastique	14
1.2.1 Une surexploitation	14
1.2.2 Adaptations	15
1.2.3 Traumatologie	17
2. Une alliance de souplesse et de force	18
2.1 Notions d'amplitudes actives et passives	18
2.2 Développement de l'amplitude passive	19
2.3 Développement de l'amplitude active	21
3. Une méthode de développement simultané de la souplesse et de la force : le PAIL-RAIL	21
3.1 Étirement	22
3.2 Contraction isométrique des tissus étirés	22
3.3 Contraction isométrique des tissus rétractés	22
II. Problématique, objectifs, hypothèses	23
III. Le stage	25
1. Structure d'accueil	25
2. Protocole	25
2.1. Sujets	25
2.2. Matériel et techniques de mesure	26
2.3 Déroulement	26
3. Analyses statistiques	29

IV.Résultats	30
V. Discussion	35
VI.Conclusion	40
VII.Références bibliographiques	41
VIII.Annexes	46
IX. Résumé	54
X. Compétences	56

# Glossaire

CT : Court Terme, nous parlerons de Court Terme pour des résultats obtenus à l'échelle d'une séance.

LT : Long Terme, nous parlerons de Long Terme pour des résultats obtenus à l'échelle d'une période de plusieurs semaines.

GAM : Gymnastique Artistique Masculine

ATR : Appui Tendus Renversés

FIG : Fédération Internationale de Gymnastique

EMG : Electromyogramme

ROM: Range of motion (Amplitude de mouvement)

PROM : Passive Range Of Motion (amplitude de mouvement passif)

AROM : Active Range Of Motion (amplitude de mouvement actif)

PAIL : Progressive Angular Isometric Loading (Chargement Angulaire Isométrique Progressif)

RAIL : Regressive Angular Isometric Loading (Chargement Angulaire Isométrique Régressif)

# Introduction

« Il ne sait pas s'aligner, il faut qu'il s'assouplisse ». Voilà ce que nous avons pu entendre ces dernières années lorsqu'un entraîneur se trouvait face à un gymnaste ne parvenant pas à aligner ses segments corporels à l'Appui Tendus Renversés (ATR). Cette injonction est toujours prononcée aujourd'hui, elle sous entend que pour atteindre une amplitude importante de flexion d'épaule, la solution serait d'assouplir les tissus environnant cette articulation. Pourtant, les causes d'un manque d'amplitude en flexion d'épaule, permettant in fine l'alignement en ATR, sont diverses. Elles peuvent prendre source dans des déficits en souplesse tout comme dans des déséquilibres en force.

Nous verrons dans ce travail que, malgré la qualité des interventions des entraîneurs en gymnastique, la vision antinomique de la souplesse et de la force que portent ces acteurs reste problématique dans la prise en charge du gymnaste ne sachant pas atteindre une grande amplitude de flexion d'épaule naturellement.

Mon stage s'est déroulé au club d'Henin Gym durant la saison 2021-2022. En responsabilité sur le collectif primaire masculin, j'avais à charge les entraînements des gymnastes inscrits dans le processus de performance. Comprenant la création, l'organisation et la réalisation des programmes techniques et physiques, l'accompagnement lors de la Revue d'Effectif Régionale des Jeunes et des différentes compétitions, la communication en interne avec les différents membres de l'équipe technique.

Durant ce mémoire, nous nous attacherons à exploiter différents champs d'études au travers d'un modèle d'entraînement novateur fondé sur des principes admis scientifiquement. Nous travaillerons donc sur l'anatomie de l'épaule : son ostéologie, sa myologie et ses tissus conjonctifs associés. Puis nous placerons ce travail dans le contexte de la Gymnastique Artistique Masculine avec les contraintes et enjeux spécifiques à cette activité. Tout en faisant le point sur les différentes méthodes employées et prouvées pour développer les amplitudes de mouvement, nous tenterons d'appuyer scientifiquement l'utilité de la méthode PAIL-RAIL.

# I. Revue de littérature

Le code de pointage masculin régi par la Fédération Internationale de Gymnastique (FIG) pour le cycle olympique 2020-2024 renseigne plus de 760 éléments différents. Plus de 570 d'entre-eux, soit 75% des éléments du code de pointage, imposent au gymnaste de mobiliser ses épaules en flexion. Il paraît donc essentiel de se questionner sur le développement de l'amplitude de mouvement de l'épaule chez le gymnaste masculin.

Bien que le besoin de développer l'amplitude de mouvement de l'épaule semble évident et essentiel pour le gymnaste, la façon d'y parvenir se trouve, quant à elle, plus abscons dans l'épistémê du sport et plus particulièrement, de la gymnastique artistique.

Lors de ce travail, nous tenterons d'éclaircir les termes et structures anatomiques mises en jeu lors de la flexion d'épaule, dans le cadre spécifique de la gymnastique artistique masculine qui possède ses enjeux propres pour l'épaule. Nous caractériserons la nature des différentes amplitudes en terme de souplesse et de force pour mieux saisir les tenants et les aboutissants de la méthode employée lors du protocole.

## 1. Repères anatomiques contextualisés

Il est fondamental d'éclaircir les termes employés par les différents auteurs de l'anatomie lorsque nous parlons de l'articulation de l'épaule. Une fois les termes explicités nous pourrons les employer dans le cadre spécifique de la gymnastique.

### 1.1 Structures mobilisées en flexion de l'épaule

#### 1.1.1 Sémantique

Lorsque les anglophones semblent unanimes sur le terme employé pour désigner l'action que réalise l'humain pour amener son bras au dessus de la tête, les francophones emploient différents termes. Ainsi nous retrouvons les termes de flexion (employé systématiquement par les anglophones), d'antéimpulsion ou encore d'élévation.

L'élévation venant de *levo* en latin désigne l'action de lever, ce terme permettrait de décrire de manière abrégée les mécanismes de l'épaules permettant d'apporter le bras au dessus de la tête. Lorsque nous regardons un humain porter le bras au dessus de la tête, dans le langage commun, nous parlerons d'élévation du bras. Mais lorsque nous nous attachons aux caractères anatomiques de cette élévation

nous devons employer d'autres termes permettant de définir plus spécifiquement les actions réalisées lors de l'élévation du bras.

Weineck (1984) emploie le terme d'antéimpulsion pour désigner « le trajet du bras de la position de référence anatomique jusqu'à ce que le bras soit porté à la position horizontale antérieure dans le plan sagittal » ce qui correspond au sens du préfixe et radical qui le constitue: le préfixe latin *ante* désignant « devant » suivi de *pulsio* du latin *pulsio* désignant « l'action de pousser ».

La flexion renvoie quant à elle au mouvement caractéristique de la fermeture de l'angle d'une articulation (Manolova, 2012), ainsi nous pouvons parler de flexion de l'épaule lorsque le bras est élevé au delà de l'horizontal des épaules.

Weineck (1984) nous renseigne que le mouvement de flexion de l'épaule pour amener le bras au dessus de la tête n'est possible qu'avec une « bascule de la scapula ». Nous devons donc comprendre que l'élévation du bras au dessus de la tête est réalisée par un mouvement d'antéimpulsion puis d'une flexion de l'épaule qui induit nécessairement un mouvement au niveau de la scapula. Ce mouvement de l'épaule dans le plan sagittal et plus précisément dans l'axe antéro-postérieur nécessite en réalité l'engagement de différentes articulations associées à l'humérus, la scapula et la clavicule principalement (Glenn, 2000).

Il est impératif de les déterminer et d'en déduire leur influence sur la flexion de l'épaule.

### **1.1.2 Articulations impliquées dans la flexion de l'épaule**

Certains auteurs comme Guay et Chapleau (1991) réduisent l'épaule à la seule articulation scapulo-humérale, d'autres expriment de manière laconique que c'est « l'articulation acromio-claviculaire qui nous permet de lever le bras au dessus de la tête » (CHUV, 2019). Pourtant, les écrits plus anciens et pour autant immarcescibles de Barbara (1971) rendent compte de cinq articulations différentes, elle parle même de « complexe de l'épaule ».

Ces articulations n'influencent pas toutes significativement la flexion de l'épaule, il est malgré tout nécessaire de prendre connaissance des structures impliquées dans cette action, voici leur présentation dans l'ordre croissant d'influence :

#### L'articulation sous deltoïdienne : (Annexe 1)

Elle se constitue essentiellement d'une bourse séreuse<sup>1</sup> qui favorise le glissement du supra-épineux et du tubercule majeur sur le deltoïde et la voûte acromio-coracoïdienne. Elle favorise les mouvements d'abduction mais n'a pas d'incidence directe sur la flexion de l'épaule. (Thiriet, 2012)

Les deux articulations suivantes présentent une incidence sur la flexion de l'épaule, notamment par leurs moyens d'unions et leurs tissus conjonctifs associés (Cf partie 1.1.3).

#### L'articulation sterno-costo-claviculaire : (Annexe 2)

Elle relie le manubrium sternal, la clavicule et la première côte.

Cette articulation n'agit pas concrètement sur la flexion de l'épaule mais peut prendre la place d'un facteur limitant si les tissus conjonctifs et les structures associées à cette articulation ne sont pas assez mobiles.

#### L'articulation acromio-claviculaire : (Annexe 3)

Elle relie le bord latéral de la clavicule et la face médiale de l'acromion. Elle permet les rotations axiales et les glissements antéro-postérieurs, cependant aucun muscle ne s'y attache directement, ce qui explique que tous les mouvements de cette articulation sont passifs et initiés par les mouvements des autres articulations (Levangie et Norkin, 2011).

Beaucoup de charges sont transférées sur cette articulation alors que la surface est faible, ce qui entraîne un « stress de contact » pouvant mener à de l'ostéoarthrose ou ostéolyse selon Glenn (2000).

Si cette articulation n'est pas capable de recevoir un stress dû au mouvement des autres articulations, elle peut constituer un facteur limitant de la flexion de l'épaule.

Enfin, les deux articulations restantes constituent des éléments majeurs de la flexion d'épaule.

#### L'articulation gléno-humérale : (Annexe 4)

Elle relie la tête humérale (en forme de 3/5ème de sphère) à la cavité glénoïde (entourée d'un bourrelet glénoïdien) de la scapula. Capiod (2005) décrit la capsule articulaire associée comme « lâche et fragile ». Sa lâcheté permet en réalité à l'humérus d'évoluer dans les différents plans de mouvement possible avec de grandes amplitudes et sa fragilité est finalement compensée par de nombreuses attaches ligamentaires et musculaires (Levangie, 2011).

La capsule articulaire et les ligaments sont donc étroitement liés et permettent de stabiliser l'humérus dans la glénoïde de la scapula lors des positions extrêmes notamment, cette capsule constitue un principal frein de la flexion et de l'extension de l'épaule dans les amplitudes importantes. Nous

considérons alors qu'il y a une nécessité d'apporter des adaptations physiologiques au sein de cette capsule au travers d'exercices comme cités en *Partie 3* afin d'améliorer la capacité de la capsule articulaire à explorer de plus larges amplitudes en flexion d'épaule.

#### L'articulation scapulo-thoracique : (Annexe 5)

Elle représente l'espace entre la surface convexe de la partie postérieure de la cage thoracique et la surface concave de la partie antérieure de la scapula.

Vous trouverez en Annexe 6 les différents mouvements de la scapula et leur influence sur la flexion de l'épaule.

Lorsque la scapula réalise un mouvement de sonnette : rotation vers le haut ou le bas autour d'un axe sensiblement antéro-postérieur (Vaillant, 2013), associé à une élévation de l'humérus nous nommons le rythme scapulo-huméral. Associée à ce rythme scapulo-huméral, la bascule postérieure de la scapula permettra de dégager le bord antérieur de l'acromion, facilitant l'élévation de l'humérus.

Cette articulation semble donc jouer un rôle majeur dans la flexion de l'épaule dans la recherche d'une amplitude élevée.

Les articulations sont constituées de structures solides et indéformables que sont les os. Leur configuration spatiale les uns par rapport aux autres permettent de réaliser des mouvements dans différents plans. Les articulations ne sont pas les effecteurs du mouvement mais jouent un rôle limitant dans le mouvement. Une articulation qui ne peut pas bouger ne permettra pas aux muscles et autres structures alentour de bouger, et par conséquent de se développer.

### **1.1.3 Tissus conjonctifs impliqués dans la flexion de l'épaule**

Les articulations se définissent par l'ensemble des éléments par lesquels les os s'unissent les uns aux autres (CNRTL, 2012). Les os et leur configuration ne se trouvent pas être les seuls limitants du mouvement. Les ligaments ou encore les capsules articulaires sont, eux aussi, des éléments limitants le mouvement.

L'objectif n'étant pas de lister les différentes attaches ligamentaires de chacune des articulations citées précédemment, nous n'évoquerons ici que les tissus conjonctifs ayant un rôle dans la flexion de l'épaule.

### Les tissus conjonctifs associés à l'articulation gléno-humérale : (Annexe 7)

La capsule articulaire est la structure la plus profonde, c'est elle qui, en premier lieu, permettra le mouvement de l'articulation. Constituée d'un manchon fibreux et tapissée par une membrane synoviale, elle se trouve innervée en abondance pour permettre la régulation de la pression intra-articulaire.

Le ligament gléno-huméral renforce cette capsule articulaire sur sa partie antérieure. Son faisceau inférieur est le plus résistant et a le rôle de soutenir la tête humérale lors de l'élévation du bras.

Enfin, le ligament coraco-huméral et précisément son faisceau postero-supérieur limite l'élévation antérieure du bras. (Thiriet, 2012)

### Les tissus conjonctifs associés à l'articulation acromio-claviculaire :

La flexion de l'épaule entraîne un bâillement inférieur sur cette articulation qui est limitée par les ligaments acromio-claviculaire inférieurs et coraco-claviculaire. Si ce bâillement inférieur ne peut se réaliser, alors la flexion de l'épaule se trouve réduite.

### Les tissus conjonctifs associés à l'articulation sterno-costoclaviculaire :

(Thiriet, 2012) désigne trois ligaments limitant la flexion de l'épaule :

- Ligament costo-claviculaire
- Ligament sterno-claviculaire antérieur (par tension)
- Ligament sterno-claviculaire postérieur (par butée)

Nous nous apercevons que les structures passives qui ne produisent pas le mouvement mais peuvent le limiter sont nombreuses, en *Partie 2*, nous démontrerons les adaptations pouvant être recherchées sur ces structures trop souvent sous-estimées.

#### **1.1.4 Muscles impliqués dans la flexion de l'épaule**

Après avoir détaillé les différentes structures pouvant limiter le mouvement de manière passive, il est essentiel d'aborder les structures effectrices du mouvement, celles qui créent les déplacements des différents membres du corps, et dans notre cas, celles qui permettent de fléchir l'épaule et d'élever le bras antérieurement, nous parlons ici des muscles.

Un ensemble de muscles entoure les différentes articulations de l'épaule afin de la stabiliser et de l'accompagner dans ses larges amplitudes de mouvement.

Outrequin et Boutillier (2006) désignent trois muscles responsables de la flexion de l'épaule : le grand pectoral et le deltoïde antérieur tous deux désignés comme antépulseurs, ainsi que le trapèze désigné comme agissant sur la sonnette de Cruveiller (le mouvement de sonnette de la scapula permettant in fine l'élévation de l'humérus, Annexe 6). Si nous reprenons la nomenclature conventionnelle, il s'agirait ici des muscles agonistes du mouvement. Ces auteurs décrivent d'autres muscles appartenant au complexe de l'épaule mais n'ayant pas de rôle dans la flexion de l'épaule, certains ont même un rôle contraire à la flexion de l'épaule (nommés « extenseurs ») et par conséquent antagonistes: le petit pectoral, le sous-clavier, le grand dorsal.

À cela, Thiriet (2012) ajoute certaines précisions sur la fonction des muscles lorsque l'épaule se fléchit sur une amplitude très réduite (humérus proche de la verticale). Il désigne en plus les muscles comme le coraco-brachial et le biceps brachial ayant pour rôle l'anti-luxation de la tête humérale ainsi que le dentelé antérieur qui permet d'élever les côtes et d'attirer la scapula en avant.

Selon lui, les muscles du complexe de l'épaule suivent une synergie lors de la flexion de l'épaule, avec des muscles fixateurs (deltoïde antérieur, biceps brachial et petit rond) et des muscles effecteurs de la flexion (trapèze, dentelé antérieur, grand pectoral).

Ces indications concernant les muscles effecteurs ou agonistes et les muscles et tissus limitants ou antagonistes permettent d'orienter les différentes adaptations souhaitées en fonction de chacun des rôles.

Maintenant que nous connaissons les différentes structures associées à la flexion de l'épaule, il est souhaitable pour une meilleure compréhension de la suite de la revue de littérature, de partager quelques chiffres quant à l'angulation de cette flexion d'épaule.

Les auteurs semblent partagés quant à l'amplitude maximale pouvant être atteinte en flexion d'épaule :

Guay et Chapleau (1991) indiquent « qu'en considérant le mouvement la scapula, la flexion de l'épaule peut atteindre 160° ».

Levangie et Norkin (2011) partagent des chiffres de 0° à 180° en précisant que 120° d'élévation du bras sont rendus possible par l'articulation gléno-humérale, les 60° restant dépendent de l'articulation scapulo-thoracique.

Thiriet (2012) annonce différents secteurs angulaires allant de 0° à 150° pour l'élévation de l'humérus puis renseigne que l'élévation du bras de 150° jusqu'à 180° dépend en réalité d'une extension du tronc.

Les derniers écrits de Norkin et White (2016) rassemblent des données plus précises décrivant que la flexion de l'épaule (en prenant en compte le complexe de l'épaule dans son entier) peut donner des valeurs entre 165° et 180°.

Certaines de ces valeurs omettent de préciser certains paramètres : premièrement, la mobilisation ou non de la scapula qui n'est pas prise en compte dans les mesures. Il semble cependant clair que les 180° décrits comme maximum ne peuvent pas être atteints sans mobilisation de l'articulation scapulo-thoracique.

Secondement, la nature de l'amplitude (active ou passive) peut influencer les valeurs (Cf partie 2.1). Enfin, l'âge des sujets varie selon les études citées précédemment : Boone (2010) a réalisé une étude sur des sujets masculins âgés entre 6 et 12 ans sur une amplitude active, les résultats montrent que cette amplitude active tourne aux alentours de 169° ( $\pm 3,5$ ).

Macedo et Magee (2009) ont relevé des valeurs par goniométrie allant jusqu'à 189° de flexion d'épaule associée au mouvement de la scapula chez une population féminine de 18 à 59 ans.

Ces études nous permettent d'admettre que des valeurs au delà de 180° existent en amplitude passive et qu'il persiste une différence entre l'amplitude active et l'amplitude passive.

Ces valeurs sont révélatrices de l'anatomie génétique avec laquelle naît l'individu mais aussi de la pratique de ses apprentissages moteurs.

## **1.2 Mobilisation de l'épaule en gymnastique**

La pratique au cours de la vie peut effectivement influencer les différentes structures corporelles puisque notre corps ne cesse de s'adapter aux contraintes qu'on lui impose. Le cas de la gymnastique est singulier tant dans les amplitudes dans lesquelles le gymnaste est amené à mobiliser ses articulations que dans les contraintes imposées au sein même de ces amplitudes.

### **1.2.1 Une surexploitation**

La gymnastique artistique est un sport où la technique possède un rôle particulier puisqu'il est prédominant dans la performance. Il s'agit d'une activité où les habiletés motrices mobilisées sont majoritairement fermées, Buekers (1994) désigne les habiletés fermées comme des habiletés caractérisées par des « situations stables et prévisibles, exigeant des mouvements standardisés ». La

particularité de la Gymnastique Artistique Masculine (GAM) est le temps passé sur les membres supérieurs. L'ensemble des six agrès impose des passages en appui ou en suspension sur les membres supérieurs. Difiori (2006) a montré que les membres supérieurs des gymnastes sont exposés à des niveaux de force dépassant leur poids de corps.

D'autant plus que le code de pointage international favorise la réalisation d'éléments avec une flexion d'épaule importante : notamment lors des passages à l'Appui Tendu Renversé (ATR), des liaisons acrobatiques au sol, des grands tours à la barre fixe, des élans aux anneaux, des sauts par rotation arrière au saut de cheval (Yurchenko) etc (*Annexe 8*).

Les gymnastes de haut-niveau s'entraînent à une moyenne de trente heures hebdomadaire en France, ce qui impose un volume et une charge de travail importants sur leurs épaules. Le système compétitif porte à la fois sur les difficultés présentées mais aussi sur l'exécution de ces dernières, le pratiquant doit répéter de nombreuses fois l'élément avant de correspondre aux critères fixés par la Fédération Internationale de Gymnastique (FIG).

Cerulli (1998) montre des niveaux élevés d'activation (par EMG) du grand pectoral, du deltoïde et du trapèze lors de mouvements d'élans aux anneaux, avec des particularités dans les variations de pic de force : les gymnastes doivent absorber de hauts niveaux de forces dans les « descentes » d'élan, qui passent par un pic bas lorsqu'ils se retrouvent à la suspension complète, et qu'ils doivent à nouveau produire de manière très rapide lors de la « montée » d'un élan. Ce sont des caractéristiques à prendre en compte dans la mise en place de notre protocole.

Il est donc clair que les individus, dans le cadre de l'activité gymnique, exploitent de manière conséquente leurs membres supérieurs, cela se traduit par des expositions répétées à des niveaux de force élevés aboutissant à des adaptations.

### **1.2.2 Adaptations**

Les contraintes imposées au gymnaste lors de sa pratique semblent hormétiques et dépendent grandement de la capacité du gymnaste à subir ces contraintes.

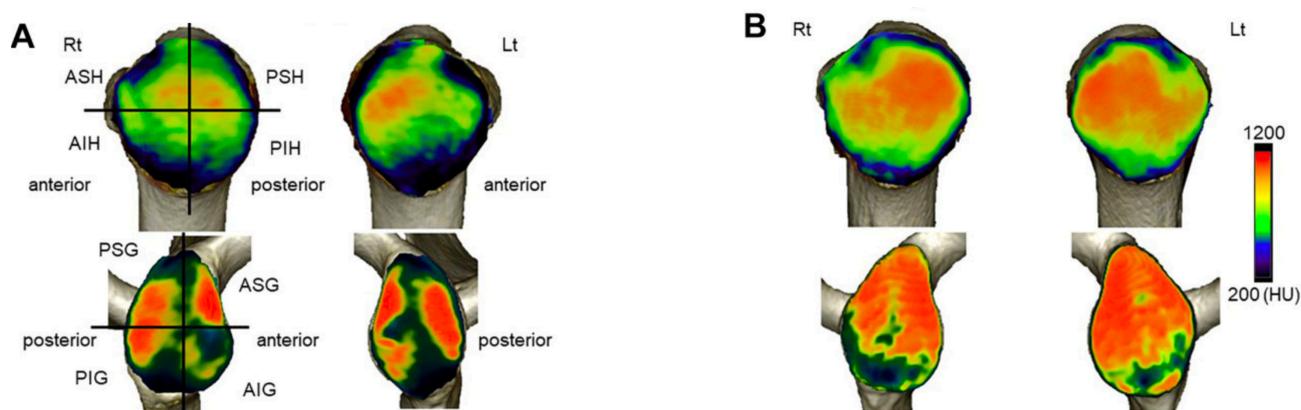
L'hormèse est un terme utilisé par les toxicologues pour désigner une dose-réponse biphasique à un agent (Mattson, 2008) en l'occurrence : les contraintes imposées à l'épaule chez le gymnaste. Elle est étroitement liée à l'entropie, c'est à dire que si les contraintes imposées sont trop faibles, aucune adaptation ne s'opère et les tissus se dégradent (entropie), si les contraintes imposées sont trop importantes par rapport aux capacités de l'individu, les tissus se dégradent aussi (entropie). Entre deux, pour une même contrainte mais correctement dosée par rapport aux capacités individuelles, l'hormèse

peut s'opérer, c'est à dire que l'individu va voir ses tissus s'adapter face à la contrainte pour savoir y faire face lorsqu'il y sera confronté de nouveau.

Les contraintes sont modifiables par les volumes et charges d'entraînement prodigués par l'entraîneur, mais elles trouvent leur limite dans la logique interne de l'activité : pour qu'un gymnaste progresse et évolue sur les acrobaties, il doit réaliser de nombreuses répétitions dans des amplitudes extrêmes de flexion d'épaule. Alors, nous devons nous intéresser aux capacités ; en améliorant ses capacités, le gymnaste peut supporter les contraintes imposées par l'activité.

Lorsque le gymnaste est en capacité de répondre aux contraintes imposées, des adaptations ont lieu, notamment au niveau tissulaire. Sterkowicz-Przybicien et al. (2019) ont montré que les gymnastes séniors avaient des Indices de Masse Corporelle (IMC) plus élevés que les gymnastes juniors, ainsi que des largeurs d'épaules plus importantes relevant d'adaptations à l'entraînement.

Les adaptations ne s'observent pas uniquement au niveau musculaire ou au niveau macroscopique de la masse de l'individu, elles s'observent aussi dans la densification osseuse, par exemple. Momma (2020) a démontré qu'une densité osseuse plus importante au sein de l'articulation gléno-humérale était repérée chez les gymnastes par rapport à un groupe contrôle (Figure 1). Cette densité est non seulement plus élevée mais aussi répartie plus largement sur la tête humérale et la glénoïde, preuve d'une adaptation aux contraintes auxquelles les épaules sont soumises chez le gymnaste. Müller-Gerbl et al. (1989) avaient notamment démontré que les adaptations osseuses sont le résultat d'une exposition d'un stress chronique sur l'articulation.



**Figure 1: Répartition de la densité osseuse sous-chondrale sur les surfaces articulaires de l'articulation de l'épaule: (A) Groupe contrôle and (B) Gymnastes. AIG, antero-inferior glenoid; AIH, antero-inferior humeral head; ASG, antero-superior glenoid; ASH, antero-superior humeral head; HU, Hounsfield unit; Lt, left; PIG, posteroinferior glenoid; PIH, posteroinferior humeral head; PSG, posterosuperior glenoid; PSH, posterosuperior humeral head; Rt, right.**

Enfin, Shaklina (2016) a réalisé une étude sur l'adaptation des tissus osseux aux charges physiques chez des gymnastes féminines et a observé à la fois une plus grande élasticité et force des tissus osseux, des valeurs supérieures sur la densité minérale des membres inférieures (beaucoup plus mobilisés chez les féminines puisque trois des quatre engins féminins recrutent essentiellement les membres inférieurs contre deux des six agrès destinés aux masculins, Czajka, 2014) ce qui permet d'avancer que le corps s'adapte à la contrainte spécifique de l'activité à la fois sur les tissus musculaires et osseux. En choisissant la contrainte nous pouvons orienter les adaptations voulues et nécessaires pour la flexion d'épaule dans notre cas, pour favoriser des muscles et des os plus résilients et en meilleure capacité de fonctionner à grande amplitude.

Malgré cela, les études montrent que les gymnastes spécialistes des anneaux et de la barre fixe (mobilisant donc de manière prépondérante les articulations de l'épaule) sont davantage sujets à des traumatismes chroniques et aigus sur ces articulations (Leglise, 2012). La notion de traumatologie semble donc pertinente à étudier dans notre analyse.

### **1.2.3 Traumatologie**

Le traumatisme survient lorsque le corps et ses capacités propres ne peuvent répondre aux contraintes qu'on lui impose. Une revue systématique (Hinds, 2018) recensant la prévalence des blessures localisées aux épaules montre que ces blessures sont plus fréquentes chez des gymnastes internationaux que chez des gymnastes de niveau national. Le niveau de pratique et les modalités comme le volume et la charge d'entraînement plus élevés, la rigueur exigée et par voie de conséquence les répétitions plus nombreuses semblent donc jouer un rôle dans le traumatisme. La plus grande part des blessures est cependant d'un impact mineur et se situe au niveau du système musculo-tendineux.

Toutefois, un rapport du pôle France de gymnastique de Lyon révèle que sur les 21 gymnastes du pôle entre 2006 et 2007, seuls trois gymnastes « n'ont eu aucune plainte au niveau de l'épaule depuis leur arrivée au pôle », les pathologies étant majoritairement des conflits postérieurs et des tendinopathies (supra-épineux et biceps). Seuls 3 gymnastes présentaient une pathologie demandant une opération chirurgicale. (Luciani et al, 2007)

Une étude de Omodani (2021) portant sur les traitements post-opératoires des gymnastes ayant subi une luxation de l'épaule met en exergue la prééminence des déchirures de la capsule articulaire, il y a donc tout intérêt à la renforcer au travers d'exercices la mettant sous contrainte sous-maximale afin de favoriser l'hormèse et le développement de cette dernière pour faire face aux contraintes en flexion d'épaule.

Les pathologies de l'épaule semblent ainsi récurrentes mais majoritairement légères chez les gymnastes, elles résultent d'une sur-sollicitation provoquée par les répétitions à haut volume pour correspondre aux attentes du système compétitif.

La flexion de l'épaule résulte donc d'un ensemble de mécanismes mis en oeuvre par les muscles et limités par les structures passives (tissus conjonctifs, ligaments, capsule articulaire, os, muscles antagonistes). Il y a donc une nécessité de développer les capacités des tissus à produire de la force et y résister dans les amplitudes de flexion mobilisées dans le cadre de l'activité gymnique. En développant la qualité de production de force de ces tissus, nous améliorons la capacité de l'individu à faire face aux contraintes (imposées par le système compétitif, la logique interne de l'activité et l'entraîneur) et mitigons le risque de blessure. L'enjeu de la suite de cette revue est de répondre à ces questions : quelles qualités physiques sont nécessaires pour améliorer la capacité du gymnaste à faire face aux contraintes de son activité ? Et comment développer ces capacités ?

## **2. Une alliance de souplesse et de force**

« *You can't move where you can't move* » traduit littéralement par : tu ne peux pas bouger où tu ne peux pas bouger, c'est ce que nous partage Andreo Spina (2005). Autrement dit : Tu ne peux pas accéder à ce que tu ne peux pas bouger, et tu ne peux pas stresser ce à quoi tu ne peux pas accéder. Il faudra donc, avant de pouvoir stresser (dans le sens de proposer une contrainte permettant une adaptation) les tissus de l'épaule, pouvoir y accéder, au travers de l'amplitude passive notamment. Une fois l'amplitude passive acquise, nous pouvons la transformer en amplitude active au travers de différentes méthodes, c'est l'objet de cette deuxième partie.

### **2.1 Notions d'amplitudes actives et passives**

La notion d'amplitude de mouvement est souvent employée sous l'acronyme anglophone ROM pour Range Of Movement, Nigg et al. (2000) proposent de la définir comme la capacité d'une articulation à parcourir son spectre complet de mouvement. Ils indiquent que cette ROM peut-être de deux natures: Passive (PROM pour Passive Range Of Movement) ou Active (AROM pour Active Range Of Movement). La PROM se définit par l'amplitude de mouvement atteignable lorsqu'une force externe provoque le mouvement (un partenaire qui saisit le membre jusqu'à une butée de l'articulation visée par exemple), il s'agit généralement de l'amplitude maximale dans laquelle l'articulation peut aller. L'AROM se définit par l'amplitude pouvant être atteinte par la contraction des muscles agonistes et le relâchement des muscles antagonistes (par exemple, l'AROM de la flexion du coude dépend de la contraction du biceps et du relâchement du triceps). L'AROM est généralement inférieure à la PROM.

Le docteur Maquaire (2007) prône la notion de « développement optimal de la mobilité » qu'il oppose au « développement maximal de la mobilité ». Il explique notamment que ce développement optimal permet une amélioration quantitative et qualitative de l'exécution du mouvement. Or, dans les disciplines gymniques, la performance a un lien avec cette mobilité maximale, la logique interne et le système compétitif contraignent le gymnaste à réaliser des mouvements avec des amplitudes de mouvement maximales. Dans le cadre de la gymnastique, le développement optimal se trouverait donc proche ou égal au développement maximal de la mobilité. Dans le sens où la mobilité est définie par le croisement entre: la souplesse, la force et le contrôle moteur par Andreo Spina (2005).

La nécessité de développer cette mobilité, dans notre cas : la souplesse, la force et le contrôle moteur des tissus de l'épaule en flexion semble explicite. En revanche, les moyens d'y parvenir semblent équivoques dans la littérature scientifique. Halbertsma (1999) cite les types d'articulations, les tissus articulaires, les attaches ligamentaires, les frictions au sein de la capsule articulaire, la peau, les tissus sous-cutanés et la masse distribuée sur les segments comme pouvant être des facteurs limitants à l'amplitude de mouvement. Il nous rappelle par voie de conséquence que les muscles ne sont pas les seuls responsables dans cette mobilité.

## **2.2 Développement de l'amplitude passive**

L'amplitude passive (PROM) ferait référence à l'amplitude maximale pouvant être atteinte par l'articulation, elle dépend de la capacité d'étirement ou bien de relâchement des muscles et tissus conjonctifs environnant en réponse à une force externe. Halbertsma (1999) précise, grâce à ses études sur les ischio-jambiers, que « les effets d'un étirement ne sont pas liés à un changement dans l'élasticité musculaire mais plutôt dans une augmentation à la tolérance de l'étirement du sujet ». Cela voudrait dire que pour développer une amplitude passive, il faudrait viser non pas des changements physiologiques en terme d'élasticité mais plutôt des changements relevant du système nerveux. Et plus précisément, une meilleure capacité du système nerveux à tolérer l'étirement.

Konrad (2014) et Nakamura (2020) en viennent aux mêmes conclusions, les étirements statiques permettent un gain sur l'amplitude de mouvement passive, sans altérer pour autant le paramètre fonctionnel (contraction maximale volontaire) ou encore les paramètres structuraux (angle de pennation au sein du muscle, raideur musculaire, raideur du tendon). Ces deux auteurs sont d'accord sur la notion de fréquence des étirements statiques, la fréquence élevée (entre deux et cinq sessions hebdomadaires) de réalisation d'étirements statiques favorise le développement de l'amplitude passive de mouvement.

Les études tendent à évaluer les effets des étirements sur du très court terme (dans les minutes suivant la réalisation de l'étirement), Magnusson (1998) a quant à lui étudié les effets à plus long terme (3 semaines), il n'observe pas non plus de changements structurels, les résultats relèveraient encore une fois d'une tolérance du système nerveux à l'étirement.

Wiemann et al (1997) affirment cette notion dans leur étude: « la tolérance à une tension d'étirement plus élevée entraîne l'élargissement de la ROM après des exercices d'étirement », ils ont aussi montré que les étirements balistiques entraînaient les mêmes effets sur cette notion. Nous pouvons donc nous poser la question du type d'étirement employé, bien que l'étirement statique seul fonctionne, d'autres modalités semblent profitables.

C'est le cas de l'étirement par le contracté-relâché, qui consiste à contracter le muscle que l'on souhaite étirer puis le relâcher pour favoriser le réflexe myotatique inverse permettant d'atteindre une amplitude plus importante. Canal (2005) a recensé 13 études montrant que le contracté-relâché avait de meilleurs résultats que le simple étirement statique. Nakamura (2015) ajoute que cette méthode permet d'altérer la perception sensorielle du muscle étiré, ce qui serait favorable au système nerveux pour développer l'amplitude passive. De plus, Magnusson (1996) s'est intéressé aux effets d'une contraction isométrique avant étirement du même muscle, il observe une viscoélasticité inchangée, un EMG (electromyogramme) inchangé mais une altération des sujets à la perception d'étirement, preuve que les facteurs nerveux sont au centre du développement de l'amplitude passive.

Enfin, en terme de durée de maintien de l'étirement, les études se centrent principalement sur les effets à très court terme, très peu d'entre elles considèrent des changements sur le long terme. Les changements au long terme sont essentiellement provoqués par l'adaptation du système nerveux mais aussi par un changement au niveau cellulaire. L'étude menée par Madding (1987) portant sur les différents temps de maintien de l'étirement démontre peu de différences sur l'amplitude passive entre les temps courts (15 secondes), moyens (45 secondes) et longs (2 minutes). En revanche, physiologiquement, il existe des différences significatives, c'est ce que nous montre l'étude de Gao (2017). Cette étude met en exergue le développement de cytosquelettes au sein des cellules épithéliales après avoir subi un étirement long, les cytosquelettes s'organisent et s'orientent dans le sens de l'étirement. Il y a donc des adaptations nerveuses permettant un gain en amplitude passive. Et des adaptations physiologiques permettant un gain en amplitude passive, ce gain est durable puisque les tissus eux-même se seront adaptés à la nouvelle amplitude.

Les tissus se sont adaptés à cette amplitude passive, mais sont-ils capables de l'explorer par eux-même en produisant les forces nécessaires à atteindre cette amplitude de mouvement ? Nous parlons ici de l'amplitude active.

### **2.3 Développement de l'amplitude active**

L'amplitude active (AROM) ferait référence à l'amplitude maximale pouvant être atteinte par l'articulation, elle dépend de la capacité d'étirement ou bien de relâchement des muscles antagonistes et tissus conjonctifs environnant en réponse à la force produite par les muscles agonistes.

Maquaire (2007) rapporte deux méthodes de développement de l'amplitude active:

Les étirements dynamiques actifs (ou balistiques) qui consistent à répéter des mouvements d'étirement élastiques (exemple : battement de jambe).

Les étirements statiques actifs qui constituent des positions maintenues comme pour le développement de l'amplitude passive, à la différence qu'une contraction des antagonistes soit réalisée.

Les contractions isométriques semblent les plus indiquées pour le développement de l'amplitude active selon Hardy (1985), ce qui confirme les expériences menées par Hartley (1980) comparant différentes méthodes de développement des amplitudes actives de flexion de hanche. L'une des méthode évoquant de meilleurs résultats était nommée : « Passive stretch and Active hold », elle consiste à amener l'articulation dans l'amplitude passive maximale à l'aide d'un partenaire puis de demander au sujet de maintenir cette amplitude à la force de ses muscles lorsque le partenaire retire son appuis. L'étirement en amplitude passive était maintenue autant de temps que l'amplitude active demandée par la suite.

Enfin, l'étude sur des danseuses classiques menée par Wyon (2013) nous permet d'appuyer ces différents concepts puisqu'elle tient compte comme résultat que les interventions basées sur le développement de la force des muscles agonistes et le développement du relâchement des muscles antagonistes à basse intensité sont bénéfiques au développement des amplitudes actives et passives.

## **3. Une méthode de développement simultané de la souplesse et de la force : le PAIL-RAIL**

Une méthode rassemblant le développement de l'amplitude passive et active des articulations a été proposée en 2010 par Andreo Spina, nommée « PAIL-RAIL », elle désigne: « Progressive Angular Isometric Loading » et « Regressive Angular Isometric Loading ». Cette méthode se base sur les

principes physiologiques et anatomiques décrits précédemment. Nous détaillons ici sa réalisation avec des temps estimés à partir de la littérature scientifique pour mieux saisir son application.

### **3.1 Étirement**

La première étape de cette méthode d'intervention consiste à placer le sujet dans une position où l'amplitude passive maximale de l'articulation est atteinte. Une fois placé dans la position, le sujet se maintient à cette amplitude durant deux minutes. La respiration ventrale est adoptée afin de favoriser la cohérence cardiaque et par voie de conséquence la dominance du système nerveux parasympathique entraînant le relâchement musculaire (Vaschillo, 2002). Cet étirement permet concrètement d'améliorer l'amplitude passive de mouvement au travers de changements nerveux: les sujets améliorent leur tolérance à l'étirement, et au travers de changements structuraux: les cytosquelettes s'organisent pour faire face à la contrainte soumise durant une durée importante.

### **3.2 Contraction isométrique des tissus étirés**

Suite aux deux minutes passées dans l'amplitude passive maximale, le sujet est amené à réaliser une contraction isométrique des tissus étirés. La méthode indique que la contraction suit une intensité croissante, c'est à dire que le sujet n'applique pas brutalement le maximum de sa force mais charge progressivement les tissus à cette amplitude. A la fin de la contraction (dix secondes), le sujet se situe à un « niveau d'effort maximal sécuritaire ». Les tissus étant étirés, en y appliquant une force maximale isométrique, bien que graduelle, il est important d'y accorder une attention particulière sur l'aspect douloureux que cela peut engendrer. Ainsi, nous demandons au sujet d'appliquer le maximum de force possible en isométrie sur les tissus étirés sans ressentir de douleur, c'est ce qui définit le niveau d'effort maximal sécuritaire.

Cette contraction isométrique des tissus étirés permet d'engager le réflexe myotatique inverse, c'est ce dernier qui profitera aux tissus dans l'atteinte d'une plus grande amplitude suite à la contraction. En effet, le réflexe myotatique inverse (grâce à l'information envoyée des Organes Tendineux de Golgi à la moelle épinière, puis au thalamus et cortex pariétal responsables de l'inhibition de la contraction musculaire en conséquence) permet le relâchement de ces tissus au profit d'un gain en amplitude passive par la suite.

### **3.3 Contraction isométrique des tissus rétractés**

À la suite de l'étirement en amplitude passive maximale et de la contraction des tissus étirés dans cette amplitude, la troisième étape consiste à développer l'amplitude maximale active (AROM).

Il s'agit cette fois-ci d'une contraction brutale des tissus rétractés pour profiter du système d'inhibition réciproque provoqué par la contraction précédente. Il s'agit une nouvelle fois d'une contraction isométrique car elle a pour qualité de ne pas augmenter la libération de médiateurs de l'inflammation (Pizza, 2002) et même de diminuer les dommages musculaires face à d'autres types de contractions (Chung-Ching Chen, 2012).

Le sujet doit donc, à la force de ses muscles antagonistes, tenter de conserver l'amplitude articulaire atteinte lors des phases précédentes. En contractant les muscles antagonistes, cette méthode se différencie du simple « contracté-relâché », elle permet à la fois aux tissus étirés de s'adapter à la nouvelle amplitude, et aux tissus rétractés d'obtenir la force nécessaire à angulation spécifique.

Ces trois étapes constituent 1 cycle de PAIL-RAIL, il est possible d'enchaîner les cycles en diminuant la durée de l'étirement entre deux cycles.

Au terme de cette revue nous pouvons avancer que l'amplitude active et passive de flexion d'épaule est un facteur déterminant de la performance en Gymnastique Artistique Masculine. Seulement, l'épaule regroupe un ensemble de tissus à l'origine de mécanismes complexes ne permettant pas de cibler une seule articulation dans le développement d'une qualité physique comme la souplesse ou la force. Les besoins de développer la qualité de force et de souplesse des tissus environnants l'épaule sont clairs, il est néanmoins plus abscons de saisir les moyens d'y parvenir. L'entraînement en PAIL-RAIL semble une option viable tant elle repose sur des principes physiologiques démontrés par une pluralité d'étude. Il nous reste à observer sa mise en application dans l'entraînement et son efficacité chez les gymnastes.

## **II. Problématique, objectifs, hypothèses**

Le membre supérieur du gymnaste est en réalité assimilable au membre inférieur de l'athlète. La cheville de l'athlète est le poignet du gymnaste, le genou est son coude et la hanche est son épaule. Ainsi, l'épaule se trouve être la charnière entre le membre supérieur, sur lequel le gymnaste se trouve en appui très souvent et le reste du corps. L'épaule est au centre des problématiques comme : l'efficacité permanente (l'épaule doit permettre au gymnaste de performer en limitant les pertes énergétiques à cause de potentielles compensations), la capacité d'absorber et de produire de la force dans de grandes amplitudes, l'alignement des segments corporels lors des éléments en ATR, ou encore la traumatologie puisqu'il s'agit d'une articulation sursollicitée chez le gymnaste.

La dichotomie effectuée dans la revue de littérature concernant les amplitudes de mouvement nous a permis de prendre conscience que l'amplitude active était majoritairement plus faible que l'amplitude passive. Ce qui peut sembler inadéquat pour le gymnaste qui, dans sa pratique, se retrouve à mobiliser de manière active ses épaules dans des amplitudes extrêmes et souvent proches de l'amplitude maximale passive. Un gymnaste doit donc posséder une amplitude passive élevée mais aussi une amplitude active proche de l'amplitude passive pour performer sans se blesser. Or certains gymnastes, en début de pratique, n'ont ni la souplesse leur permettant d'obtenir une amplitude passive élevée, ni la force suffisante pour exploiter leur amplitude passive à la force de leurs muscles fléchisseurs de l'épaule, il s'agit pourtant d'un facteur de la performance.

Les discours actuels tenus par les protagonistes de l'entraînement (et particulièrement en gymnastique) opposent en permanence le développement de la souplesse et le développement de la force dans un même temps. La coexistence de ces deux qualités chez un même sujet semble relever du talent, et de l'inné selon les discours tenus, et sert malheureusement de sélection dans un processus de recrutement pour un collectif compétitif.

Cette étude s'interroge sur la problématique suivante : Est-ce que l'entraînement en PAIL-RAIL permet d'obtenir des effets à court et long terme sur les amplitudes passive et active de la flexion d'épaule chez le gymnaste en formation ?

Les objectifs de ce travail sont dans un premier temps de déterminer les ressources et les besoins chez le gymnaste au travers d'un testing individuel, standardisé, et pragmatique en flexion d'épaule.

Dans un second temps : à partir des principes généraux évoqués dans la revue de littérature, proposer une méthode de travail permettant dans le même exercice, le développement des amplitudes passive et active. Dans un dernier temps, déterminer l'influence de la réalisation de cet exercice à court terme (testing avant et immédiatement après exercice) mais aussi à plus long terme (4 semaines puis 8 semaines). L'objectif final étant de proposer une réflexion autour des thématiques controversées du développement de la souplesse et de la force auprès des protagonistes de l'entraînement en gymnastique, en proposant une approche concrète au travers de la méthode des PAIL/RAIL.

Nous posons les hypothèses suivantes:

1. L'entraînement en PAIL/RAIL permet d'augmenter à court terme l'amplitude passive de flexion d'épaule.
2. L'entraînement en PAIL/RAIL permet d'augmenter à court terme l'amplitude active de flexion d'épaule.

3. L'entraînement en PAIL/RAIL permet d'augmenter à long terme l'amplitude passive de flexion d'épaule.
4. L'entraînement en PAIL/RAIL permet d'augmenter à long terme l'amplitude active de flexion d'épaule.
5. L'entraînement en PAIL/RAIL permet de réduire le déficit entre les amplitudes passives et actives à long terme.

## **III. Le stage**

### **1. Structure d'accueil**

J'ai réalisé mon stage au sein du club d'Henin Gym. Après cinq années passées au Lille Université Club Gymnastique, il était temps pour moi d'évoluer vers une structure orientée sur la performance. Le club d'Henin Gym est connu pour ses performances chez les gymnastes féminines (faisant partie des meilleurs clubs français, elles concourent au TOP 12), mais le secteur masculin est en pleine expansion avec de nouveaux entraîneurs, dont je fais partie, et une croissance du nombre de licenciés engagés en compétition dans le secteur performance. Le club a notamment obtenu la qualification de club d'argent de la Fédération Française de Gymnastique (FFG) en Novembre dernier, preuve d'un réel développement au sein des différentes activités du club.

J'ai pris le rôle de responsable du secteur primaire masculin à mon arrivée. J'étais donc chargé de réaliser les programmes d'entraînements en relation avec les différents entraîneurs intervenant sur le collectif primaire, puis entraîner les gymnastes. Mais aussi de régler la coordination entre les entraîneurs, diriger les réunions et la communication en interne avec les différents entraîneurs du secteur primaire. Je me chargeais aussi de la communication envers les parents concernant le projet sportif des garçons (mails réguliers, rédaction d'un rapport trimestriel, échanges informels de vive voix). Enfin, les gymnastes étant inscrits dans un processus de performance compétitive, je les accompagnais lors des différentes compétitions.

### **2. Protocole**

#### **2.1. Sujets**

Les sujets de cette étude sont les gymnastes du collectif primaire masculin d'Henin Gym.

Tableau 1 : Caractéristiques des sujets					
N° sujet	Âge (année)	Taille (cm)	Années de pratique	Amplitude initiale de flexion passive (degrés)	Amplitude initiale de flexion active (degrés)
Sujet n°1	8	128	1	-8,90	40,30
Sujet n°2	8	130	3	-18,10	4,30
Sujet n°3	9	123	3	-13,80	17,50
Sujet n°4	9	129	3	-22,40	7,10
Sujet n°5	10	130	4	-4,40	20,20
Sujet n°6	10	133	4	-1,70	17,10
Sujet n°7	10	137	4	-4,80	32,00
<b>Moyenne</b>	9,14	130,0	3,1	-10,6	19,8
<b>Ecart Type</b>	0,90	4,32	1,07	7,74	12,80

Il s'agit de gymnastes en formation (entre 8 et 10 ans), de niveau régional (sur un programme de performance), s'investissant à hauteur de 10 heures hebdomadaire. Sept des huit gymnastes composant le collectif ont pu participer au protocole.

## 2.2. Matériel et techniques de mesure

Le protocole s'est réalisé à la salle d'entraînement du club d'Henin Gym, et plus précisément dans une salle calme dédiée aux soins et aux temps de repos des gymnastes.

Le matériel que j'ai utilisé pour la mise en place du protocole a été:

- Une table de massage fixe (semblable à celle qu'emploient les kinésithérapeutes)
- Un trépied afin d'obtenir un plan vidéo fixe
- Un iPhone 8 enregistrant une vidéo en Haute Définition à 60 images/seconde
- Ruban adhésif coloré pour mieux percevoir à la vidéo les repères anatomiques de l'épaule

Les vidéos ont ensuite été analysées à l'aide du logiciel Kinovea, les données obtenues ont été traitées et analysées grâce au logiciel *Numbers*.

## 2.3 Déroulement

Le protocole consiste en l'évaluation d'effets à court et long terme de l'entraînement en PAIL/RAIL sur la flexion d'épaule. Les sujets ont donc vécu trois tests, séparés chacun d'entre-eux de 4 semaines durant lesquelles les sujets réalisaient deux séances d'entraînement en PAIL-RAIL spécifiques à la flexion d'épaule. Lors de chacun des trois tests, chaque sujet était filmé deux fois: une première fois

avant la réalisation du PAIL-RAIL, une seconde fois immédiatement après la réalisation du PAIL-RAIL, ce qui permet d'obtenir des données à court terme, que nous pouvons mobiliser par la suite en comparaison aux autres tests pour apprécier les effets à long terme.

Tableau 2 : Déroulement du protocole									
Décembre 2021	Janvier 2022			Février 2022				Mars 2022	
	Semaine 1	Semaine 2	Semaine 3	Semaine 4	Semaine 5	Semaine 6	Semaine 7	Semaine 8	Semaine 9
Familiarisation avec la technique PAIL-RAIL	12 Janvier 2022	2x PAIL-RAIL / Semaine			09 Février 2022	2x PAIL-RAIL / Semaine			09 Mars 2022
	TEST 1				TEST 2				TEST 3
	Vidéo avant/après	Vidéo avant/après	Vidéo avant/après						

L'entraînement en PAIL-RAIL a été réalisée deux fois par semaine entre chaque test. Quatre semaines séparaient chaque test. Malheureusement, la situation sanitaire a empêché certains sujets de suivre correctement le protocole, vous trouverez en Annexe 9 le détail des séances réalisées pour chaque sujet.

L'entraînement en PAIL-RAIL sur la flexion d'épaule dans ce protocole a été suivi de la manière suivante: (Annexe 10)

- 1) Allongé en décubitus ventral, tige prise dans les mains espacées à largeur des épaules, le partenaire amène la tige maintenue par le gymnaste le plus haut possible (amplitude passive maximale ressentie par la butée de l'épaule et/ou l'étirement des tissus en limitant les compensations au niveau du dos). Cet étirement est maintenu durant 2 minutes.
- 2) A la suite des deux minutes, le gymnaste applique une force graduellement vers le bas, la consigne est d' « appuyer sur le bâton vers le bas » permettant une contraction des tissus étirés. Le partenaire résiste de façon à ce que la contraction reste isométrique (le bâton ne doit pas bouger). Cette contraction est maintenue 10 secondes.
- 3) Immédiatement à la fin des dix secondes, le partenaire retire ses mains de la tige pour laisser le gymnaste soulever la tige à la force de ses muscles en tentant de conserver l'amplitude gagnée précédemment. Cette contraction est maintenue 10 secondes aussi.
- 4) Suite au premier cycle, le partenaire reprend la main en réitérant l'étape 1 sur une durée de 30 secondes puis suit les étapes 2 et 3 de la même manière. A la fin du deuxième cycle, l'exercice est terminé, les partenaires échangent les rôles.

Vous trouverez à l'adresse ci-jointe une mise en application de cette méthode:

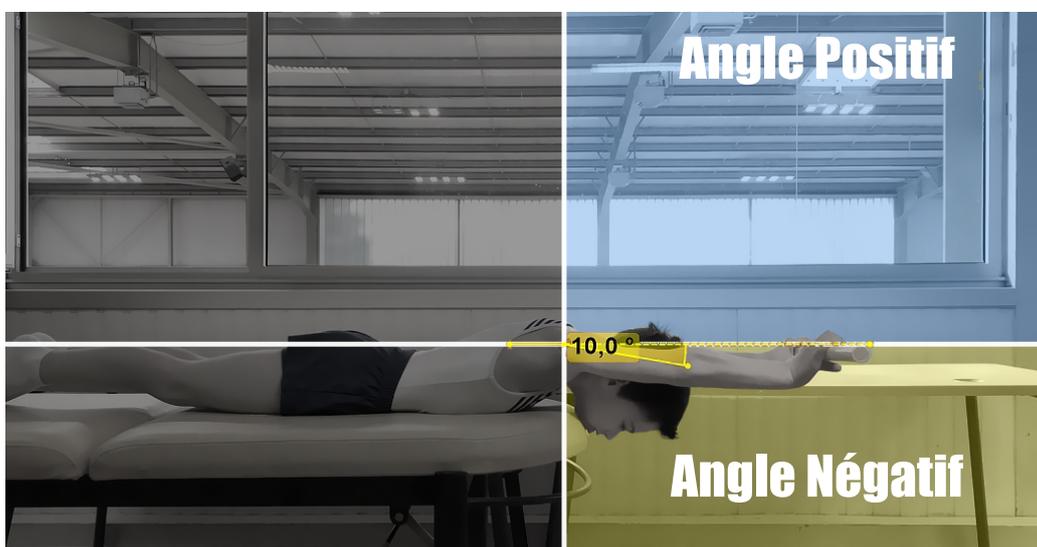
<https://www.youtube.com/watch?v=mmY25tQLy9A>

Les sujets passaient individuellement le test, chacun leur tour, en empruntant la procédure suivante: Entrée du gymnaste dans la pièce, présentation de la réalisation du test, application du marqueur coloré sur la peau au niveau du tubercule majeur de l'humerus puis enregistrement de la première vidéo, réalisation de deux cycles de PAIL-RAIL et enfin enregistrement de la deuxième vidéo.

Les consignes données lors de la prise vidéo étaient les suivantes:

- a) Le sujet se place en décubitus ventral sur la table, menton en avant de la table (pour éviter le contre-appuis sur la table avec la tête), bras relâchés en avant de la table avec tige prise en mains à largeur des épaules (la prise à largeur d'épaule est spécifique à la gymnastique et limite les mouvements de dislocations des épaules).
- b) Il est demandé au sujet d'élever la tige le plus haut possible en conservant les bras tendus, la position doit pouvoir être maintenue 2 secondes à minima (il ne s'agit pas d'évaluer un mouvement balistique mais une amplitude contrôlée). Les compensations par élévation des pieds et érection du rachis doivent être limitées, pour cela nous avons demandé au sujet de conserver les pieds et la poitrine en contact avec la table.
- c) Le sujet est ensuite amené à se relâcher afin que l'évaluateur puisse élever la tige au maximum de l'amplitude passive, l'évaluateur arrête l'élévation dès lors qu'une butée se fait sentir au niveau de l'épaule (souvent confirmée oralement par le gymnaste).

Les vidéos sont ensuite analysées grâce au logiciel Kinovea permettant d'obtenir l'angle (en degré) entre l'axe horizontal passant par l'épaule et le coude (Figure 2). Nous avons fait le choix de restreindre le point de mesure au coude et non jusque'à la tige pour se focaliser sur l'angle de l'épaule. En prenant la tige comme référence nous aurions inclus les angulations du coude et du poignet, hors, notre travail portant sur l'épaule, il était nécessaire de se séparer des facteurs externes à l'épaule.



**Figure 2: Représentation d'une analyse par goniométrie numérique**

### **3. Analyses statistiques**

Nous étudions les variables quantitatives continues suivantes:

- Angle entre l'axe horizontal passant par l'épaule, et le coude, en amplitude passive (Annexe 11)
- Angle entre l'axe horizontal passant par l'épaule, et le coude, en amplitude active (Annexe 12)

Ces mesures sont réalisées avant et après la réalisation du PAIL/RAIL (pour apprécier les effets à court terme) et entre les tests 1, 2 et 3 (pour apprécier les effets à long terme). Les échantillons sont appariés puisqu'il s'agit des mêmes sujets testés plusieurs fois.

Pour apprécier les valeurs nous avons étudié les tendances (moyenne et médiane).

Nous avons ensuite passé les données recueillies au test de Shapiro-Wilk afin de vérifier la normalité des valeurs. Puis au test de Levene afin de vérifier l'homogénéité des valeurs dans un objectif de passer le test T de student pour échantillons appariés permettant d'approuver ou non les différences significatives entre les valeurs issues d'un même test. Puis une ANOVA à 3 voies pour échantillons dépendants permettant de comparer les valeurs des trois tests.

# IV.Résultats

Les tableaux ci-dessous rendent compte des données recueillies lors des test 1, 2 et 3.

Les valeurs représentent les degrés en plus ou en moins comparativement à l'axe horizontal de l'épaule (Figure 2).

Tableau 3 : Angle de flexion d'épaule recueilli par goniométrie numérique au TEST 1. (Degrés)				
Date	TEST 1 - 12/01/2022			
Moment	Avant PAIL-RAIL		Après PAIL-RAIL	
Type ROM	Active	Passive	Active	Passive
Sujet 1	-8,90	40,30	0,50	36,60
Sujet 2	-18,10	4,30	-17,10	21,80
Sujet 3	-13,80	17,50	3,00	22,20
Sujet 4	-22,40	7,10	-6,30	17,50
Sujet 5	-4,40	20,20	0,50	32,60
Sujet 6	-1,70	17,10	-1,70	31,00
Sujet 7	-4,80	32,00	16,00	46,40
<b>MOYENNE</b>	<b>-10,59</b>	<b>19,79</b>	<b>-0,73</b>	<b>29,73</b>
<b>MEDIANNE</b>	<b>-8,90</b>	<b>17,50</b>	<b>0,50</b>	<b>31,00</b>

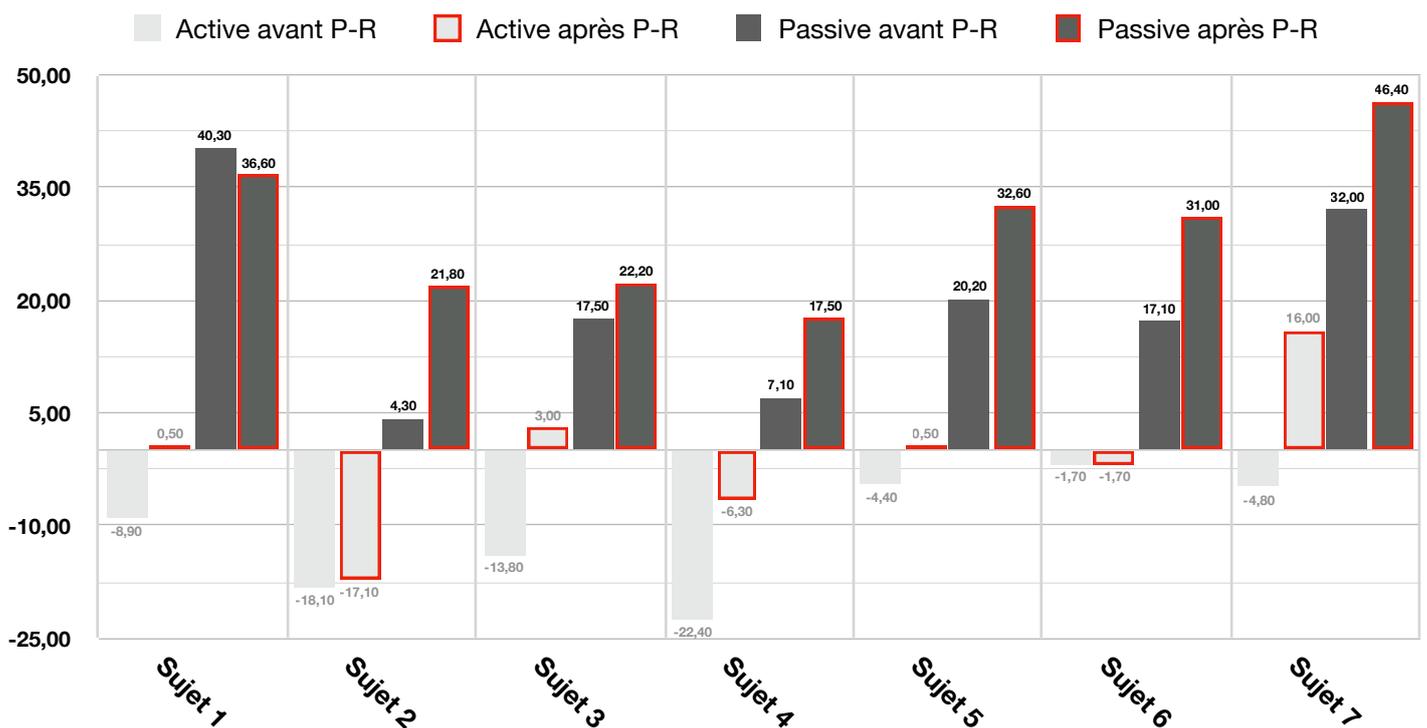


Tableau 4 : Angle de flexion d'épaule recueilli par goniométrie numérique au TEST 2. (Degrés)				
Date	TEST 2 - 09/02/2022			
Moment	Avant PAIL-RAIL		Après PAIL-RAIL	
Type ROM	Active	Passive	Active	Passive
Sujet 1	4,40	41,00	11,70	34,20
Sujet 2	-8,90	29,90	1,20	38,40
Sujet 3	0,10	28,70	2,10	27,00
Sujet 4	-8,10	18,80	-5,50	26,20
Sujet 5	0,00	0,00	0,00	0,00
Sujet 6	5,50	28,50	5,50	35,20
Sujet 7	4,30	34,40	10,60	35,30
<b>MOYENNE</b>	<b>-0,39</b>	<b>25,90</b>	<b>3,66</b>	<b>28,04</b>
MEDIANNE	0,10	28,70	2,10	34,20

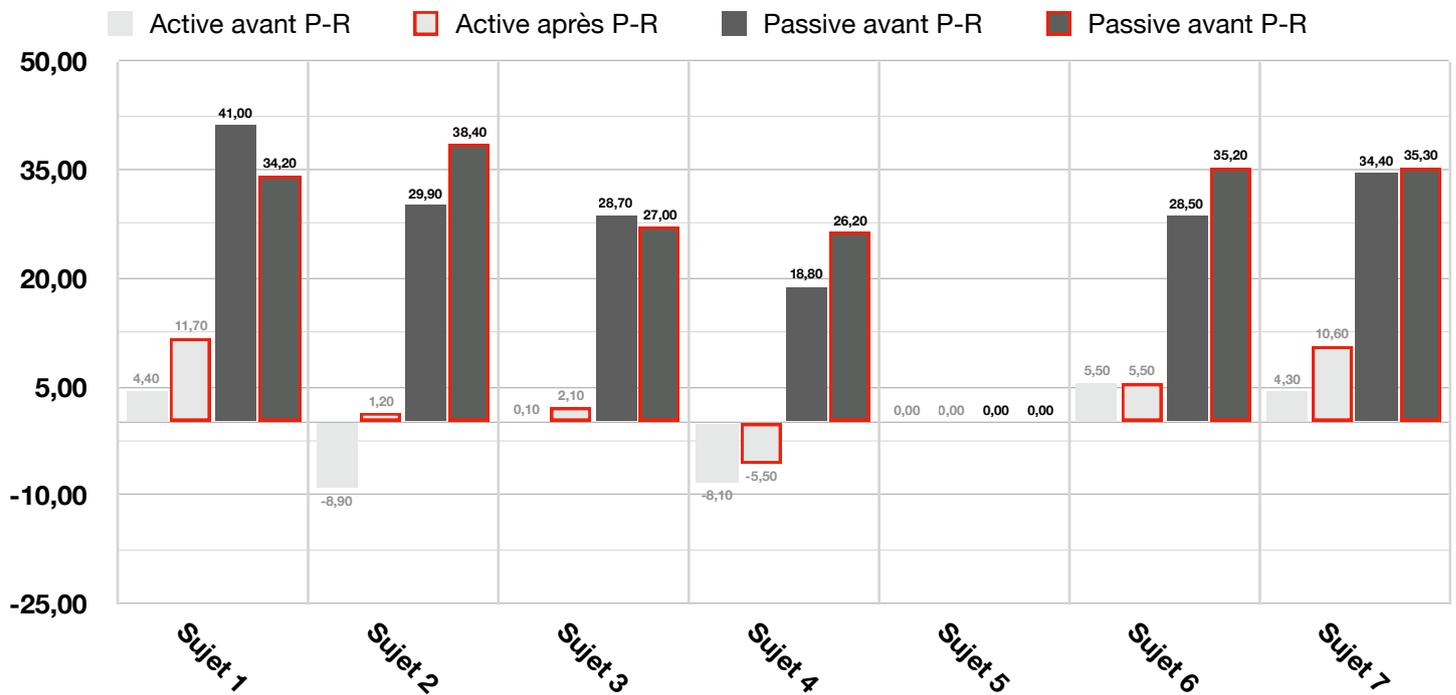
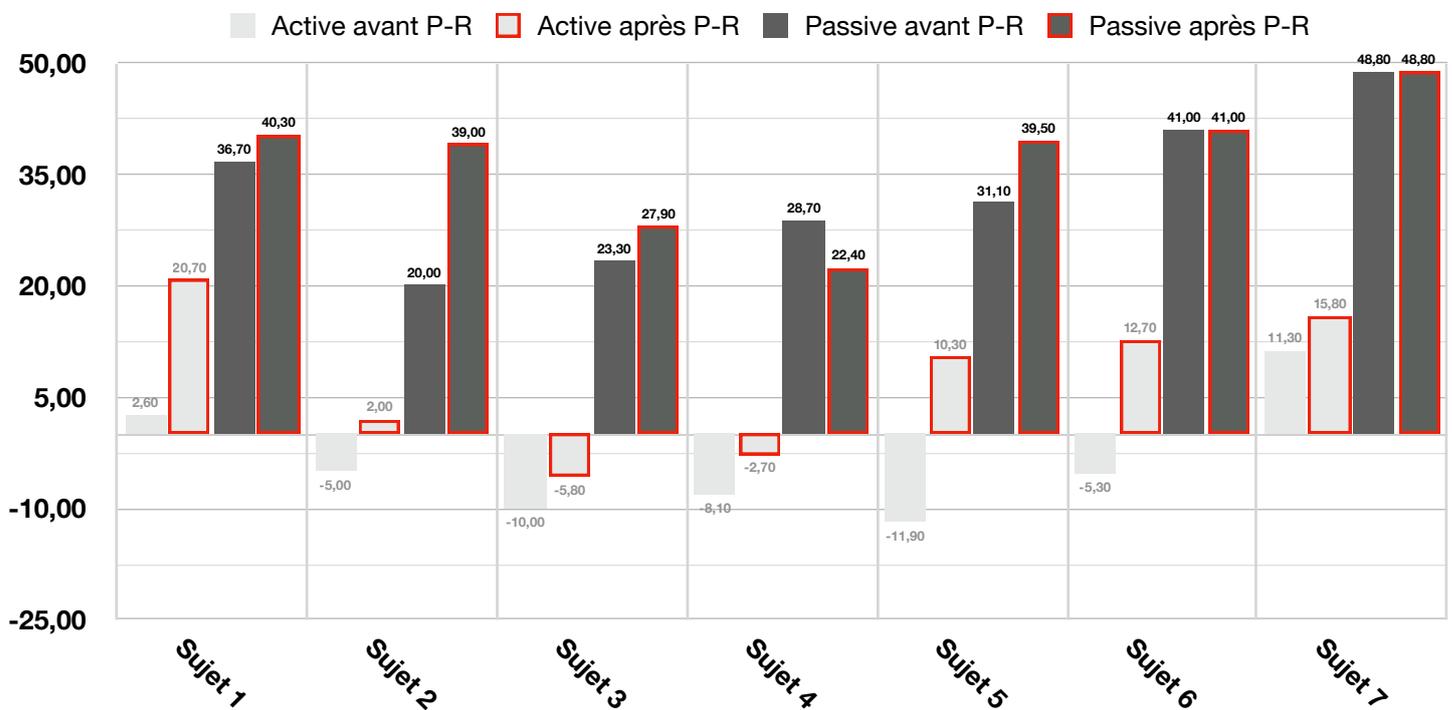


Tableau 5 : Angle de flexion d'épaule recueilli par goniométrie numérique au TEST 3. (Degrés)				
Date	TEST 3 - 09/03/2022			
Moment	Avant PAIL-RAIL		Après PAIL-RAIL	
Type ROM	Active	Passive	Active	Passive
Sujet 1	2,60	36,70	20,70	40,30
Sujet 2	-5,00	20,00	2,00	39,00
Sujet 3	-10,00	23,30	-5,80	27,90
Sujet 4	-8,10	28,70	-2,70	22,40
Sujet 5	-11,90	31,10	10,30	39,50
Sujet 6	-5,30	41,00	12,70	41,00
Sujet 7	11,30	48,80	15,80	48,80
<b>MOYENNE</b>	<b>-3,77</b>	<b>32,80</b>	<b>7,57</b>	<b>36,99</b>
<b>MEDIANNE</b>	<b>-5,30</b>	<b>31,10</b>	<b>10,30</b>	<b>39,50</b>



Concernant les statistiques, après avoir étudié les tendances, nous avons fait le choix de comparer les valeurs issues du même test grâce au Test de Student :

<b>Tableau 6 : P-Value du Test T de Student au court-terme.</b>				
<b>Date</b>	<b>TEST 1 - 12/01/2022</b>			
<b>Type ROM</b>	<b>Active</b>		<b>Passive</b>	
<b>Moment</b>	<b>AVANT</b>	<b>APRES</b>	<b>AVANT</b>	<b>APRES</b>
<b>P-value</b>	<b>0,01944*</b>		<b>0,01077*</b>	
<b>Date</b>	<b>TEST 2 - 09/02/2022</b>			
<b>Type ROM</b>	<b>Active</b>		<b>Passive</b>	
<b>Moment</b>	<b>AVANT</b>	<b>APRES</b>	<b>AVANT</b>	<b>APRES</b>
<b>P-value</b>	<b>0,03367*</b>		<b>0,35223</b>	
<b>Date</b>	<b>TEST 3 - 09/03/2022</b>			
<b>Type ROM</b>	<b>Active</b>		<b>Passive</b>	
<b>Moment</b>	<b>AVANT</b>	<b>APRES</b>	<b>AVANT</b>	<b>APRES</b>
<b>P-value</b>	<b>0,00822*</b>		<b>0,21489</b>	

Ces valeurs permettent de valider H1 dans certains cas.

La différence significative existante lors du *TEST 1* sur la qualité passive permet de valider partiellement l'*Hypothèse 1* : l'entraînement en PAIL-RAIL permet d'augmenter à court terme l'amplitude passive de flexion d'épaule. Elle n'est cependant pas significative pour les *TEST 2 et 3*.

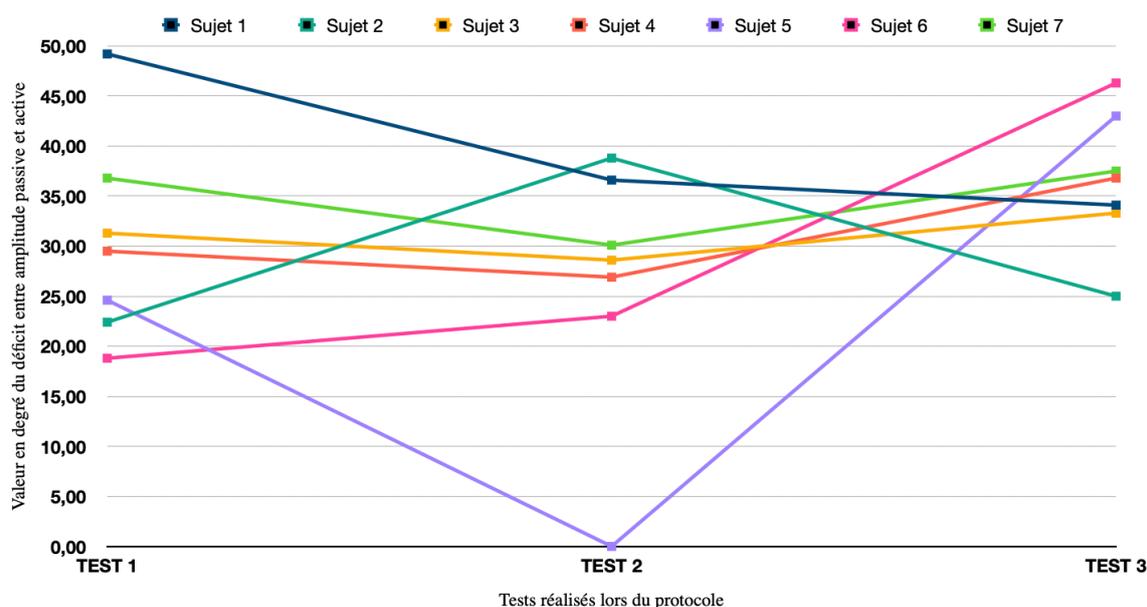
Les différences significatives existantes lors des *TEST 1, 2 et 3* sur la qualité active permettent de valider l'*Hypothèse 2* : l'entraînement en PAIL-RAIL permet d'augmenter à court terme l'amplitude active de flexion d'épaule.

Nous avons ensuite comparé les valeurs entre le *TEST 1* et *3* pour observer les évolutions des valeurs au long terme. Vous retrouverez les valeurs de  $p$  issues du Test T de student dans le tableau n°7.

Seules les comparaisons entre *TEST 1* et *TEST 3* sur les valeurs d'amplitudes passives avant et après PAIL-RAIL démontrent des différences significatives et valident partiellement l'*Hypothèse 3* : l'entraînement en PAIL-RAIL permet d'augmenter à long terme l'amplitude passive de flexion d'épaule.

Tableau 7 : P-Value du Test T de Student au Long-terme.		
Type ROM	ACTIVE AVANT PAIL-RAIL	
Date	TEST 1	TEST 3
P-value	0,10252	
Type ROM	ACTIVE APRES PAIL-RAIL	
Date	TEST 1	TEST 3
P-value	0,08553	
Type ROM	PASSIVE AVANT PAIL-RAIL	
Date	TEST 1	TEST 3
P-value	0,01125*	
Type ROM	PASSIVE APRES PAIL-RAIL	
Date	TEST 1	TEST 3
P-value	0,00865*	

L'ANOVA à trois voies a rendu une valeur de  $p$  supérieure au seuil de signification ( $\alpha=0,05$ ) ce qui ne permet pas de rejeter l'hypothèse nulle. Les moyennes des trois tests ne sont donc pas statistiquement différentes.



**Figure 2: Évolution des déficits pour chacun des sujets lors des trois tests.**

Concernant l'Hypothèse 5, pour observer l'évolution des déficits entre les amplitudes, nous avons calculé la différence entre l'amplitude passive et l'amplitude active lors de chaque test. Ce qui nous donne une valeur du déficit pour chaque sujet sur chacun des tests.

Le graphique en figure 2 représente l'évolution des déficits d'amplitude lors des trois tests pour chacun des sujets.

## V. Discussion

Les résultats sont à interpréter à différentes échelles. À l'échelle du même test pour les effets à court terme et à l'échelle des trois tests pour les effets à long terme.

**À l'échelle du même test :** nous remarquons lors de chaque test une amélioration de l'amplitude active pour chacun des sujets. L'amélioration de l'amplitude active est plus importante au TEST 1 que lors des autres test. Différentes raisons peuvent l'expliquer : la première exposition (lors du Test 1) au traitement PAIL-RAIL peut s'avérer plus efficace, l'exposition répétée au PAIL-RAIL sur le long terme peut en diminuer son effectivité ou encore les gymnastes grâce à l'entraînement en PAIL-RAIL atteignent lors des Test 2 et 3 des amplitudes « Avant PAIL-RAIL » proches de leur amplitude maximale développable. Malgré tout, chaque test démontre une différence statistique entre les valeurs d'avant et après PAIL-RAIL.

Concernant l'amplitude passive, les évolutions semblent différer. Tous les sujets n'améliorent pas systématiquement leur amplitude passive à court terme, certains perdent même quelques degrés de flexion après le PAIL-RAIL. Cependant, les moyennes montrent tout de même une amélioration de cette flexion d'épaule lors de chaque test ce qui correspond à la littérature, notamment Konrad (2014) qui décrit que les étirements statiques (comme réalisé dans l'étape 1 du PAIL-RAIL) entraînent un gain en amplitude passive. Seules les valeurs du TEST 1 démontrent une différence statistique.

Nous pouvons conclure que l'exercice en PAIL-RAIL permet d'augmenter l'amplitude de flexion d'épaule en actif à court terme. En revanche, nous ne pouvons pas avancer que l'entraînement en PAIL-RAIL permet d'améliorer l'amplitude passive à court terme. Bien que les résultats de moyennes montrent des tendances positives concernant l'amélioration de cette amplitude, elles restent disparates et ne permettent de distinguer une réaction systématique sur cette amplitude avec cette méthode.

**À l'échelle de plusieurs tests :** l'évolution des amplitudes actives et passives semble intéressante à observer. Nous remarquons que l'amplitude active *avant* PAIL-RAIL augmente fortement durant les quatre premières semaines puis diminue dans les quatre semaines suivantes. L'amplitude de flexion d'épaule active *avant* PAIL-RAIL reste malgré tout plus élevée en fin de protocole qu'au début (+6,8°). Cela peut s'expliquer notamment par le taux d'absence plus élevé dans la deuxième partie du protocole (Annexe 9) où les sujets ont par conséquent, suivi moins de séquence de PAIL-RAIL.

La valeur de l'amplitude active *après* PAIL-RAIL suit une évolution croissante entre les trois tests. La moyenne des évolutions entre *TEST 1* et *TEST 2* ainsi qu'entre *TEST 2* et *TEST 3* sur cette composante est de  $+4^\circ$ . L'amplitude active *après* PAIL-RAIL semble donc moins sensible aux absences lors du protocole et répond de manière positive aux adaptations recherchées (gain en degré d'amplitude).

L'amplitude passive *avant* PAIL-RAIL suit une évolution croissante entre les trois tests avec une moyenne de  $+6,5^\circ$ . Nous ne pouvons pas assurer que cette valeur résulte d'une adaptation structurelle des tissus puisque le protocole ne prend pas en compte l'évaluation des tissus. Les résultats semblent suivre la littérature, par conséquent, nous pouvons déterminer que cette amélioration d'amplitude résulte d'une amélioration de la tolérance des tissus à la commande nerveuse.

Les valeurs d'amplitude passive *après* PAIL-RAIL suivent elles aussi une évolution croissante avec un gain moyen de  $+7,3^\circ$  entre les tests. Ces amplitudes atteignent chez certains sujets une valeur de  $220^\circ$  (Tableau n°4) par rapport à la position anatomique de référence, alors que (Boone, 2010) rapporte des valeurs allant jusqu'à  $170^\circ$  sur cette même composante. Les facteurs différenciant l'étude de Boone (2010) de la notre sont : premièrement que nous réalisons ces mesures après deux cycles de PAIL-RAIL, secondement que nous réalisons nos mesures chez une population de gymnastes (qui mobilisent donc régulièrement leurs épaules en flexion dans une grande amplitude) et dernièrement que nous avons réalisé le testing en décubitus ventral alors que Boone (2010) le réalise en décubitus dorsal.

Les valeurs sur les amplitudes de flexion d'épaule dans ce protocole suivent une seule et même tendance : un gain sur la moyenne des amplitudes est remarqué pour chacune des modalités (active et passive) entre chaque test.

Toutefois, nous remarquons que l'amplitude passive *avant* PAIL-RAIL semble plus sensible puisqu'elle obtient le gain le plus important sur sa moyenne ( $+13,01^\circ$  entre *TEST 1* et *TEST 3*) lors du protocole. Tandis que les moyennes d'amplitude active et passive après PAIL-RAIL renseignent des valeurs comprises entre  $+4^\circ$  et  $+8^\circ$  entre le début et la fin du protocole. Il semblerait donc pertinent de parler de sensibilité à l'exercice PAIL-RAIL, les amplitudes passives obtiennent plus de gain que les amplitudes actives.

**À l'échelle du déficit :** les résultats concernant les déficits entre amplitude passive et active montrent une diminution du déficit lors du *TEST 2* pour 4 sujets sur 6 (Figure 2), puis une nouvelle diminution du déficit pour deux sujets uniquement entre le *TEST 2* et *TEST 3*. Pour la majorité des sujets, le protocole se termine par une augmentation du déficit. Malgré l'augmentation des deux modalités

d'amplitudes (active et passive), nous avons remarqué que l'amplitude passive obtenait plus de gains et plus rapidement que l'amplitude active, ce qui crée une augmentation du déficit en fin de protocole.

L'augmentation de l'amplitude passive suivie avec retard par l'amplitude active crée un déficit plus important à la fin des 8 semaines de protocole. Il faut tout de même retenir que malgré le déficit plus important, les valeurs d'amplitudes actives ont augmenté, ce déficit plus important représente en réalité une nouvelle opportunité pour les gymnastes. En effet, en développant l'amplitude passive plus largement, ils s'ouvrent un nouveau champ d'action pour développer l'amplitude active car le développement de l'amplitude passive est un pré-requis au développement de l'amplitude active. Il serait donc intéressant de poursuivre ce protocole ou d'orienter un nouveau protocole à la suite de celui-ci, visant cette fois-ci le développement de l'amplitude active.

**À l'échelle individuelle :** nonobstant le protocole identique proposé aux sujets, l'issue des résultats semble indiquer une réelle individualité dans les adaptations à l'entraînement en PAIL-RAIL. Les sujets 5 et 7 présentent des similitudes concernant leurs données de départ : même année d'âge, mêmes années de pratique, amplitudes actives similaires (Tableau 1). Ces deux sujets présentent des gains significatifs à court et long terme sur les amplitudes passives et actives. Mais ces gains divergent, pour le sujet 5 : les progrès sont plus marqués à court terme sur l'amplitude active, alors que le sujet 7 progresse d'autant plus sur l'amplitude active au long terme. Ce cas de figure semble révéler une sensibilité individuelle des sujets à l'entraînement en PAIL-RAIL et au sein même de chaque individu, une sensibilité pour chaque composante de l'amplitude (active ou passive). Cette sensibilité peut s'expliquer par l'intention des sujets lors de la réalisation du PAIL-RAIL, Dokic (1992) a démontré que l'intention crée le mouvement, et le mouvement est initié par des forces internes qui in fine, créent des adaptations. Si l'intention entre les deux sujets n'étaient pas la même lors de la réalisation du PAIL-RAIL, alors les sensibilités différentes peuvent prendre sens.

Le sujet 1 possédant le plus gros déficit de départ termine le protocole en ayant le meilleur progrès sur ce déficit (déficit réduit de  $15^\circ$  contre un déficit augmenté de  $0,70^\circ$  à  $27,5^\circ$  pour les autres sujets). Cela peut s'expliquer par le haut potentiel de départ : une très grande amplitude passive (potentiellement proche de son maximum exploitable) rendue en partie active grâce au PAIL-RAIL. (Figure 2)

Le sujet 5 s'est trouvé contraint dans le suivi du protocole pour cause de blessure à l'épaule. Cela a notamment entraîné une baisse de l'amplitude active due à l'absence de mobilisation à haut niveau de force. Nous remarquons que l'amplitude passive n'est pas impactée durant cette période sans entraînement.

Il paraît donc cohérent d'établir l'existence d'une sensibilité à l'entraînement en PAIL-RAIL. L'ensemble des sujets obtient des gains à court terme comme à long terme sur les deux modalités d'amplitude, mais ces gains sont disparates. Certains facteurs peuvent limiter les gains en amplitude comme la structure morphologique de l'individu : le PAIL-RAIL en flexion d'épaule entraîne majoritairement des adaptations au sein de la capsule articulaire de l'articulation gléno-humérale, or nous savons que les autres articulations du complexe de l'épaule influencent sa flexion (Barbara, 1971), en ne réalisant uniquement que des PAIL-RAIL associés à la flexion de l'épaule nous ne travaillons pas directement sur les facteurs limitants comme l'articulation sterno-costoclaviculaire ou encore la raideur des tissus conjonctifs responsables du bâillement de l'articulation acromioclaviculaire. Tout comme le mouvement de la scapula qui influence la flexion d'épaule (Vaillant, 2013) certains sujets peuvent se trouver limités par le mouvement déficient de la scapula et non l'articulation gléno-humérale uniquement.

**Limites :** le nombre de sujet dû au nombre de pratiquants licenciés dans la structure accueillante, face à la pluralité des réactions à l'entraînement en PAIL-RAIL, nous pouvons établir que ce protocole a entraîné des gains sur les amplitudes de flexion d'épaule mais il reste difficile de définir la source des sensibilités de chacun des sujets quant aux gains qu'ils ont pu obtenir sur chacune des modalités d'amplitude.

Nous ne pouvons nier l'influence des entraînements lors de ces 8 semaines de protocole, les gymnastes se sont entraînés et ont poursuivi des sessions d'étirements et de renforcement sur les membres supérieurs en plus des sessions dédiées au PAIL-RAIL, ce qui peut perturber la cinétique de développement des amplitudes en flexion d'épaule.

Le même protocole a été proposé aux sept sujets volontaires, cependant, la situation sanitaire et les absences diverses ne permettent pas d'avoir un groupe homogène en terme d'investissement dans le protocole. Cela peut évidemment influencer les résultats. La comparaison à un groupe contrôle suivant les mêmes entraînements mais ne pratiquant pas le PAIL-RAIL nous aurait permis d'avancer et de voir si l'entraînement en PAIL-RAIL est plus efficace que l'entraînement classique chez les jeunes gymnastes en formation.

Les trois tests ont permis de prendre des mesures à des moments donnés dans l'avancement du protocole. Nous remarquons déjà qu'entre trois mesures les progressions ne sont pas systématiquement

linéaires ce qui traduit une cinétique dans l'adaptation des tissus. Or, trois mesures ne permettent pas de tirer de conclusion quant à l'évolution dans le temps des adaptations tissulaires.

Les mesures ont été réalisées par vidéo grâce au repère positionné sur le tubercule majeur de l'humérus pour placer le centre du goniomètre (Annexe 13). Nous admettons une erreur dans la pose du marqueur sur ce point de repère. Cependant, cette erreur est limitée puisqu'elle est reproduite à l'identique sur chaque sujet lors de chaque test car les repères ont été posés sur tous les gymnastes par mes soins.

Cette étude s'inscrivant dans un cadre universitaire et limitée temporellement ainsi que matériellement, nous n'avons pu traiter l'influence directe des gains en amplitude active et passive sur la performance des gymnastes.

**Perspectives :** Une étude similaire proposée à plus de sujets permettrait d'établir des généralités sur les relations entre l'entraînement en PAIL-RAIL et l'augmentation des amplitudes active et passive en flexion d'épaule.

Les résultats de cette étude nous questionnent sur les liaisons nerveuses: seraient-elles plus simples à amadouer dans le cas des réflexes (permettant in fine de développer l'amplitude passive) que d'en créer de nouvelles (développer la force des muscles agonistes de la flexion d'épaule) ?

De la même manière, si une étude peut-être réalisée avec une prise de données plus régulière (à chaque séance de PAIL-RAIL), cela permettrait d'extraire les cinétiques de développement de ces amplitudes à la fois dans le temps et dans leur intensité.

La réalisation d'une même étude en comparaison avec un groupe contrôle non-gymnaste permettrait de mettre en exergue les potentielles différences dans les données de départ et leurs évolutions possibles, les sujets de cette étude ont déjà plusieurs années de pratique pour la plupart.

Cette étude montre que l'entraînement en PAIL/RAIL de flexion d'épaule permet d'améliorer les différentes modalités d'amplitudes dans ce plan de mouvement. Cependant, tous les sujets n'évoluent pas de la même manière. Il paraît cohérent de se pencher sur le travail des articulations adjacentes à la gléno-humérale pour développer la flexion d'épaule. Il semble notamment possible de développer cette flexion d'épaule en travaillant sur les facteurs limitants comme les mouvements de la scapula ou les qualités de souplesse et de force des tissus autour de l'articulation sterno-costoclaviculaire.

# VI. Conclusion

Bien que les tests et les résultats soient sujets à interprétation, il est possible de conclure tout de même que l'entraînement en PAIL-RAIL semble être une méthode probante permettant de développer à la fois l'amplitude passive et l'amplitude active de mouvement pour une articulation dans un plan donné.

Les résultats de ce travail de mémoire ont montré des améliorations sur la flexion d'épaule sur les deux modalités d'amplitude : active et passive, sur le court terme (avant et après la réalisation du PAIL-RAIL) mais aussi au long terme (4 semaines et 8 semaines). Ce travail a permis de mettre en exergue l'existence d'une cinétique propre au développement de chaque modalité d'amplitude, l'amplitude passive semble se développer plus rapidement que l'amplitude active. Ce qui amène à une réflexion sur le développement concomitant de la souplesse et de la force chez chacun des individus. Ce développement concomitant est réalisable, mais il faut tenir compte des cinétiques de développement de chacune des modalités d'amplitudes et des objectifs de développement poursuivis.

Plus l'amplitude passive est importante, plus elle laisse de place à l'amplitude active pour se développer. L'amplitude passive est un pré-requis au développement de l'amplitude active.

Le développement des deux modalités d'amplitude est indispensable dans la formation des jeunes gymnastes masculins étant donné les contraintes auxquelles ils font face dès le début de leur pratique. Le Code de Pointage régi par la Fédération Internationale de Gymnastique exige un recrutement excessif de l'articulation de l'épaule. Les contraintes associées à la mobilisation répétée de l'épaule dans des degrés de flexion dépassant la norme demandent au gymnaste une grande capacité d'absorption et de production de force.

L'exercice en PAIL-RAIL permet de développer l'amplitude passive de mouvement ; par dessus laquelle sont appliquées des niveaux de force élevés. Permettant d'une part de développer la qualité des tissus à absorber une force en fin d'amplitude de flexion, et d'autre part de transformer cette amplitude passive en amplitude active en développant la qualité des tissus à produire de la force en cette fin d'amplitude.

L'exercice en PAIL-RAIL semble par conséquent pertinent dans la formation des jeunes gymnastes masculins tant il développe les qualités de souplesse, de production et d'absorption de forces. Contraintes auxquelles les gymnastes en formation font face quotidiennement dans leur entraînement.

## VII. Références bibliographiques

Barbara, E., Kent, M.A. (1971). Functional Anatomy of the Shoulder Complex, A Review. *Physical Therapy*, **51**, 867-888.

Boone, D., Soucie, J.M., Wang, C., Forsyth, A., Funk, S., Denny, M., Roach, K.E. (2010). Range of motion measurements : reference values and a database for comparison studies. *Haemophilia*, **17**, 500-507.

Buekers, M.J, (1994). *L'apprentissage des techniques sportives*. Paris : INSEP - Publications

Canal, M. (2005) La souplesse : quelques mises au point. *Journal de Traumatologie du Sport*, **22**, 32-43.

Capiod, A. (2011). *Le complexe articulaire de l'épaule : 5 articulations synergiques*. Diaporama, Institut de Recherche du Bien-être de la Médecine et du Sport Santé.

Cerulli, G., Caraffa, A., Ragusa, F., Pannacci, M. (1998) A biomechanical study of shoulder pain in elite gymnasts. *International Symposium of Biomechanics in Sports*, **II**, 308-310.

Chung-Ching Chen, T., CHen, HL., Pearce, A.J., Nosala, K. (2012). Attenuation of Eccentric Exercise-Induced Muscle Damage by Preconditioning Exercises. *Medicine and science in sports and exercise*, **44**, 2090-2096.

Czajka, M., Sacewicz, T., Wisniowski, W. (2014). *The differences of legs strength possibilities of artistic gymnastics elite athlete in two periods of sports preparation*. Biala Podlaska : University of Physical Education, Faculty of Physical Education and Sport.

Difiori, J.P. (2006). Overuse injury and the young athlete : the case of chronic wrist pain in gymnasts. *Current Sports Medicine Reports*, **5**, 165-167.

Dokic, J. (1992). Le corps en mouvement : les relations entre l'action, l'intention et le mouvement corporel. *Revue de théologie et de philosophie*, **III**, 249-270.

Gao, M., Wu, S., Ji, J., Zhang, J., Liu, Q., Yue, Y., Liu, L., Liu, X., Liu, W. (2017). The influence of actin depolymerization induced by Cytochalasin D and mechanical stretch on interleukin-8 expression and JNK phosphorylation levels in human retinal pigment epithelial cells. *Gao et al. BMC Ophthalmology*, **17**, 1-6.

Glenn, C., Terry, MD., Thomas, MC. (2000). Functional Anatomy of the Shoulder. *Journal of Athletic Training*, **35**, 248-255.

Guay, M., Chapleau, C., (1991). *Anatomie fonctionnelle de l'appareil locomoteur*. Canada : Les presses de l'université de Montréal.

Halbertsma, J.P.K, (1999). Short Hamstrings and Stretching: A study of muscle elasticity. Groningen : [S.n.]

Hardy, L. (1985). Improving active range of hip flexion. *Research quarterly for exercise and sport*, **56:2**, 111-114.

Hartley-O'Brien, S.J., (1980). Six mobilization exercises for active range of hip flexion. *Research quarterly for exercise and sport*, **51:4**, 625-635.

Hinds, N., Angioni, M., Birn-Jeffery, A., Twycross-Lewis, R. (2018). Systematic review of shoulder injury prevalence, proportion, rate, onset, type, severity, mechanism, and risk factors in female gymnasts. *Physical Therapy in Sport*, **35**, 106-115.

Konrad, A., Tilp, M. (2014). *Increased range of motion after static stretching is not due to changes in muscle and tendon structures*. Clinical biomechanics.

Leglise, M., Binder, M. (2012). *L'accidentologie en gymnastique*. FIG.

Levangie, P.K., Norkin, C.C. (2011). *Joint Structure and Function : A Comprehensive Analysis*. Philadelphia : F.A Davis Company.

Luciani, J.F., Foucault, C., Tommasone, C. (2007) Pathologies de la gymnastique, mécanismes étiologiques et prévention. Service de médecine sport Hôpital Edouard Herriot, Lyon.

- Macedo, L.G., Magee, D.J. (2009). Effects of age on passive range of motion of selected peripheral joints in healthy adult females. *Physiotherapy Theory and Practice*, **25**, 145-164.
- Madding, S.W., Wong, J.G., Hallum, A., Medeiros, J.M. (1987). Effects of duration of passive stretch on his abduction range of motion. *The journal of orthopaedic and sports physical therapy*, **8**, 409-416.
- Magnusson, S.P., Simonsen, E.B., Dyhre-Poulsen, P., McHugh, M.P., Kjaer, M. (1996) Mechanical and Physiological Responses to stretching with and without preisometric contraction in human skeletal muscle. *Arch Phys Med Rehabil*, **77**, 373-378.
- Magnusson, S.P., (1998). Passive properties of human skeletal muscle during stretch maneuvers. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, **8**, 65-77.
- Maquaire, P. (2007). Une approche de l'amélioration de la mobilité, la souplesse par les étirements. Méta-analyse, Laboratoire Recherche Littoral en Activités Corporelles & Sportives, ULCO, Dunkerque.
- Mattson, M.P. (2008). *Hermesis defined. Laboratory of Neurosciences*. National institute on aging intramural research program.
- McClure, P.W., Michener, L.A., Karduna, A.R. (2006). Shoulder function and 3-dimensional scapular kinematics in people with and without shoulder impingement syndrome. *Physical Therapy*, **86**, 1075-1090.
- Momma, D., Iwamoto, W., Endo, K., Sato, K., Iwasaki, N. (2020). Stress distribution patterns across the shoulder joint in gymnasts. *The orthopaedic journal of sports medicine*, **8**, 1-8.
- Müller-Gerbl, M., Putz, R., Hodapp, N., Schulte, E., Wimmer, B., (1989). Computed tomography-osteodensitometry for assessing the density distribution of subchondral bone as a measure of long-term mechanical adaptation in individual joints. *Skeletal Radiology*, **18**, 507-512.
- Nakamura, M., Ikezoe, T., Tokugawa., Ichihashi, N. (2015). Acute effects of stretching on passive properties of human gastrocnemius muscle-tendon unit: analysis of differences between hold-relax and static stretching. *Journal of sport rehabilitation*, **24:3**, 286-292.

Nakamura, M., Sato, S., Hiraizumi, K., Kiyono, R., Fukaya, T., Nishishita, S. (2020). Effects of static stretching programs performed at different volume-equated weekly frequencies on passive properties of muscle-tendon unit. *Journal of biomechanics*, **103**, 1-5.

Nigg, B.M., MacIntosh, B.R., Mester J, (2000). *Biomechanics and biology of movement*. USA : Human kinetics.

Norkin, C.C., White, D.J. (2016). *Measurement of joint motion, a guide to goniometry*. Philadelphia : F.A Davis Company.

Omodani, T., Sugaya, H., Takahashi, N., Matsuki, K., Tokai, M., Morioka, T., Ueda, Y., Hishika, S., Kamijo, H. (2021). Pathology and surgical outcomes of anterior traumatic shoulder instability in gymnasts. *The orthopedic journal of sports medicine*, **9**, 235.

Pizza, F.X., Koh, T.J., McGregor, S.J., Brooks, S. (2002). Muscle inflammatory cells after passive stretches, isometric contractions, and lengthening contractions. *Journal of applied physiology*, **92**, 1873-1878.

Shaklina, L., Zakharchenko, I. (2016). Adaptation to physical loads of the osseous tissue of highly skilled female athletes specializing in artistic gymnastics. *Journal of Physical Education and Sport*, **16**, 192-199.

Sterkowicz-Przybicien, K., Sterkowicz, S., Biskup, L., Zarow, R., Kryst, L., Ozimek, M. (2019). Somatotype, body composition, and physical fitness in artistic gymnasts depending on age and preferred event. *PLoS ONE*, **14**, 1-21.

Vaillant, J. (2013). Mouvements de l'articulation de l'épaule, mouvements de la scapula : question de définition(s). *Kinésithérapie Scientifique*, **547**, 63-64.

Vaschillo, E., Lehrer, P., Risse, N., Konstantinov, M. (2002). Heart rate variability biofeedback as a method for assessing baroreflex function: a preliminary study of resonance in the cardiovascular system. *Appl Psychophysiol Biofeedback*, **27:1**, 1-27.

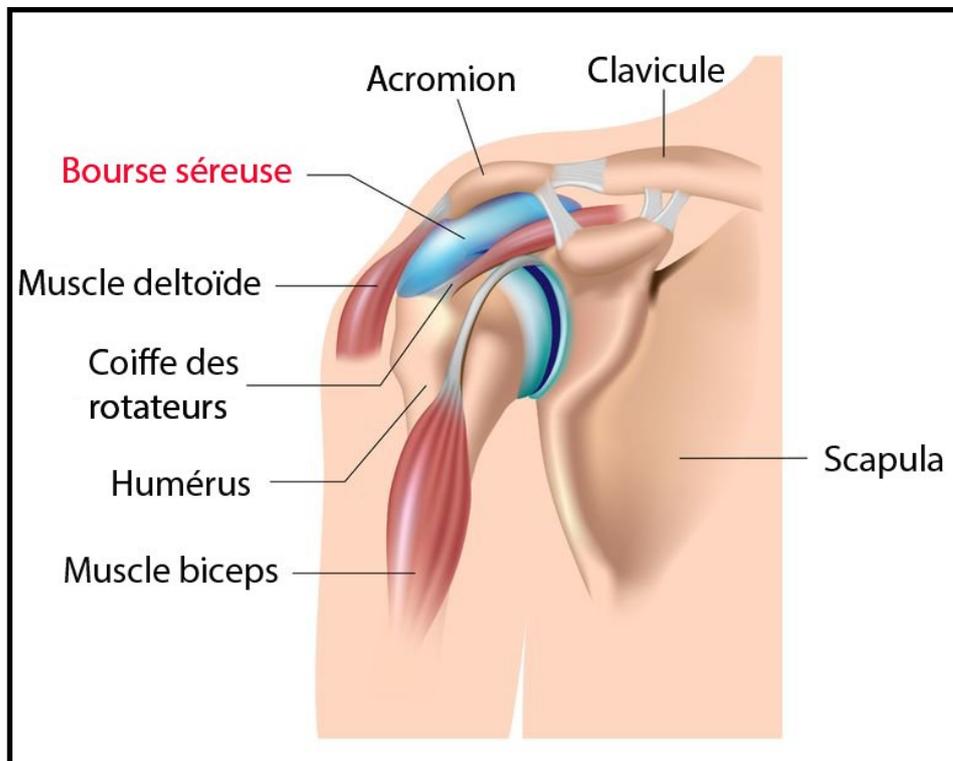
Weineck, J., (1984). *Anatomie fonctionnelle du sportif*. Paris : Masson.

Wiemann, K., Hahn, K. (1997). Influences of strength, stretching, and circulatory exercises on flexibility parameters of the human hamstrings. *International Journal of Sports Medicine*, **18**, 340-346.

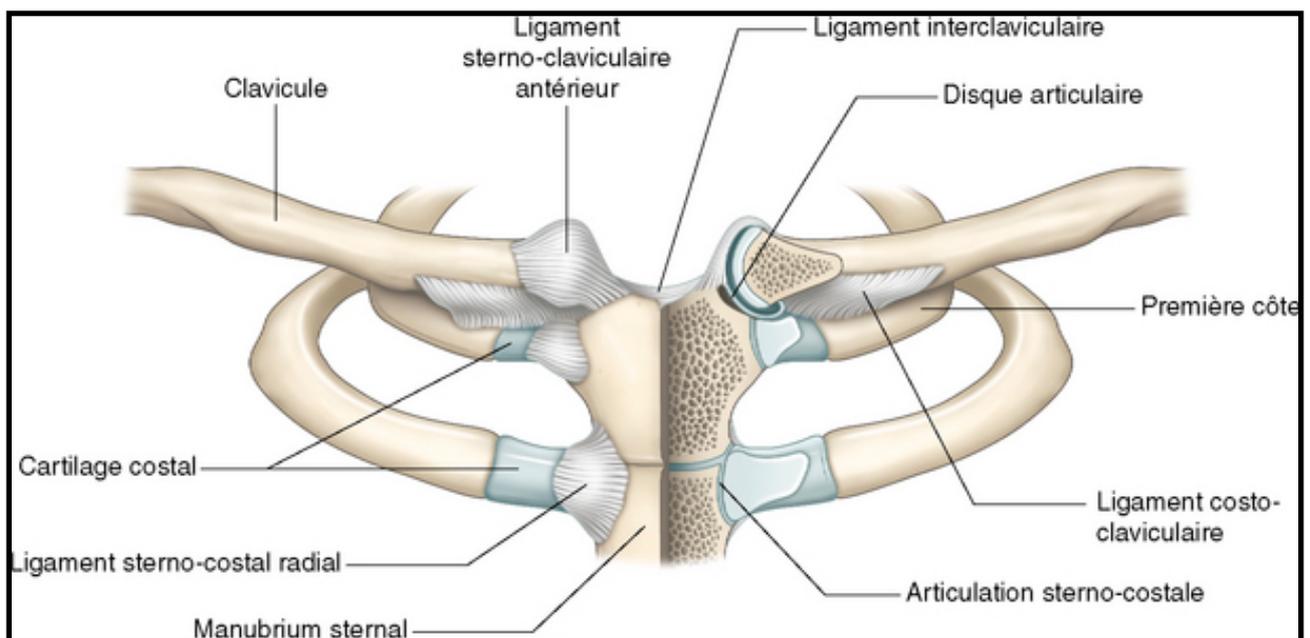
Wyon, M.A., Smith, A., Koutedakis, Y. (2013). A comparison of strength and stretch interventions on active and passive range of movement in dancers: a randomized controlled trial. *Journal of Strength and Conditioning Research*, **27:11**, 3053-3059.

# VIII. Annexes

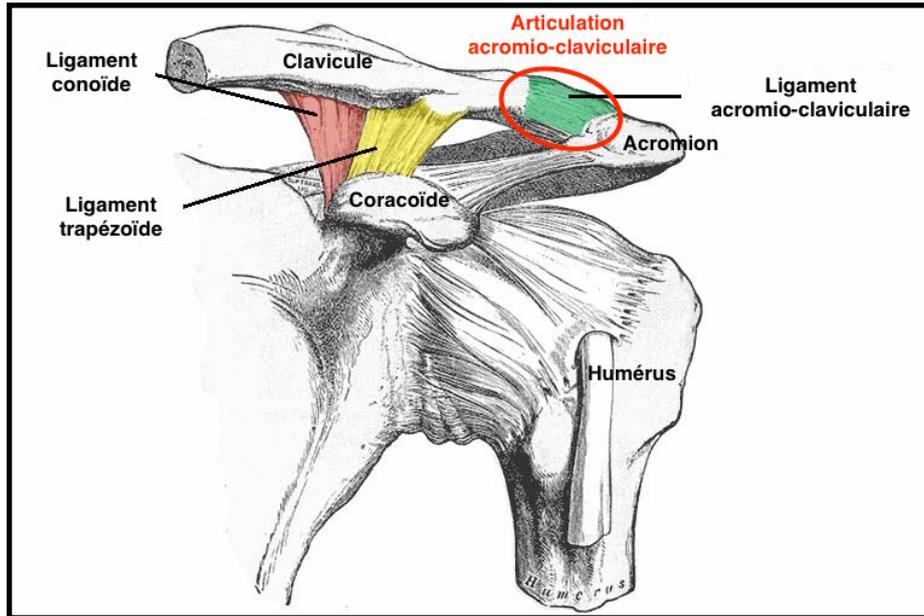
Annexe 1 : Représentation de l'articulation sous deltoïdienne.



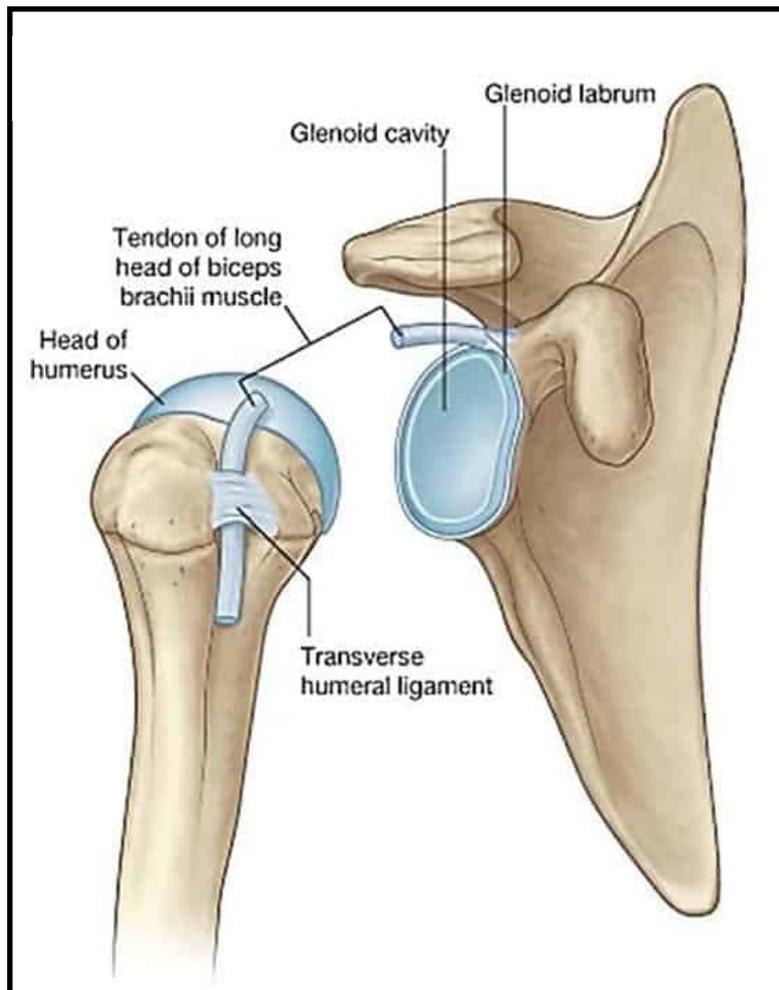
Annexe 2 : Représentation de articulation sterno-costo-claviculaire.



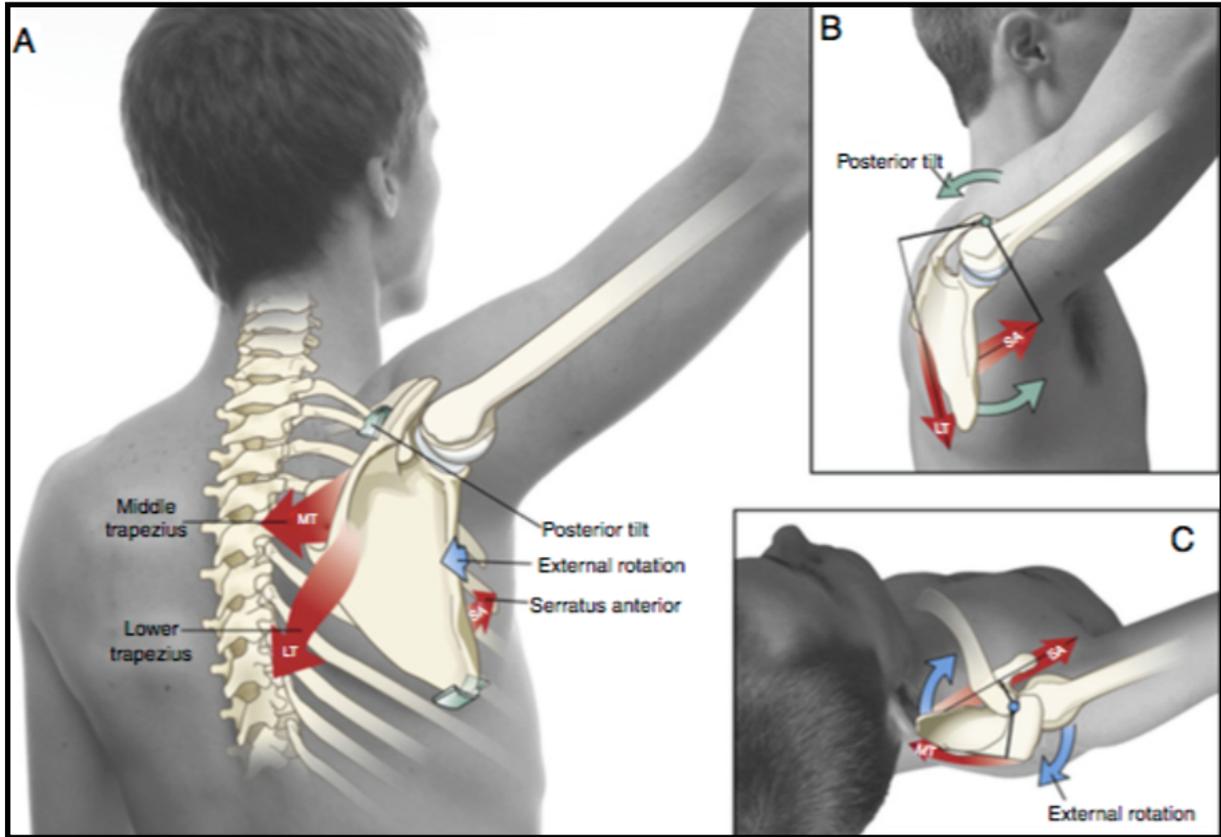
Annexe 3 : Représentation de l'articulation acromio-claviculaire.



Annexe 4 : Représentation de l'articulation gléno-humérale.

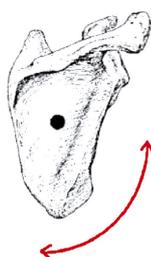


Annexe 5 : Représentation de l'articulation scapulo-thoracique.

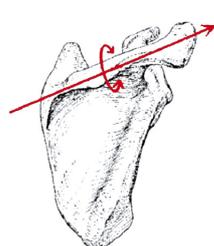


Annexe 6 : Les différents mouvements de la scapula.

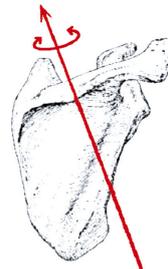
Mouvements de la Scapula		Influence sur la flexion d'épaule
<b>Mouvements de rotation</b>		
<b>1</b>	Sonnette externe et interne Sonnettes latérale et médiale Rotation axillaire/Spinale	La scapula tourne en synergie avec l'humérus (dans un rapport d'environ 2° de mouvement dans l'articulation gléno-humérale pour chaque degré de mouvement dans l'articulation scapulo-thoracique).
<b>2</b>	Bascules antérieure et postérieure	Permet le dégagement du bord antérieur de l'acromion pendant l'élévation humérale.
<b>3</b>	Sagittalisation et frontalisation	La sagittalisation accompagne l'abduction et la rotation externe de la scapula, l'antéposition (ou l'antéposition) du moignon de l'épaule, la flexion combinée à une rotation médiale de l'humérus
<b>Mouvements de glissement</b>		
	Élévation et abaissement	L'élévation s'accompagne d'une bascule antérieure de faible amplitude = meilleure flexion d'épaule
	Abduction et adduction	l'abduction permet efficacement l'allongement du membre supérieur



**1**

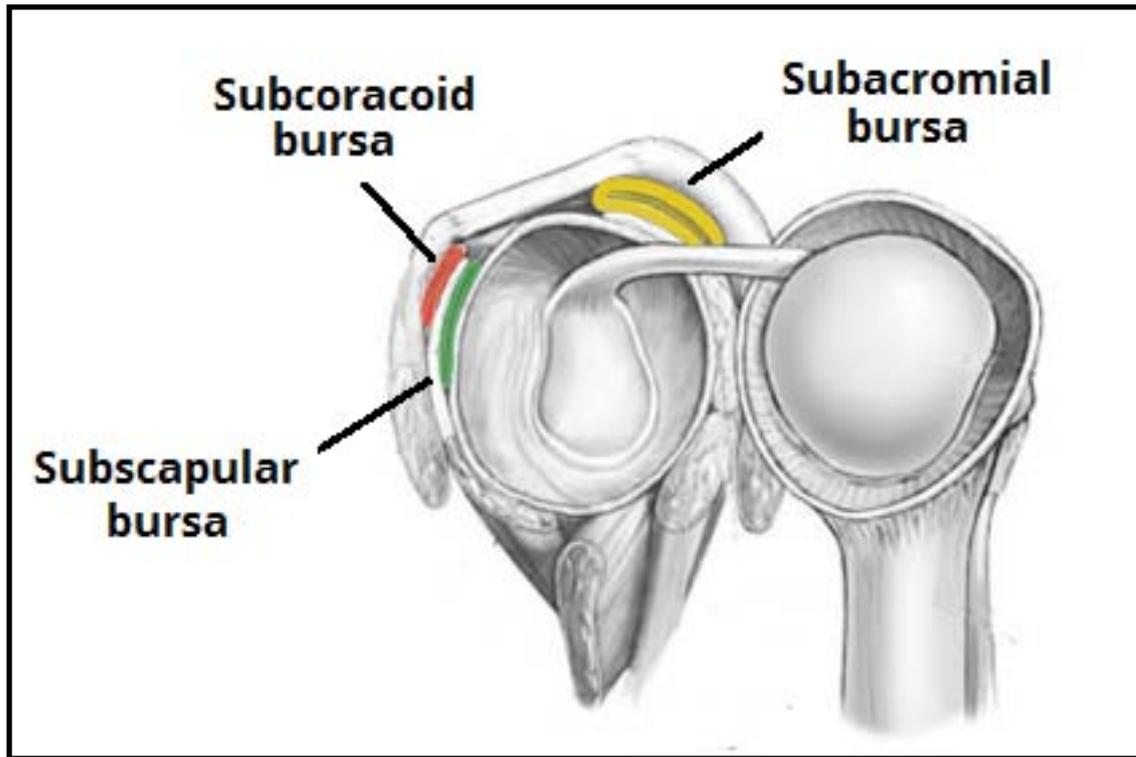


**2**



**3**

Annexe 7 : Tissus conjonctif associé à l'articulation gléno-humérale : la capsule articulaire.



Annexe 8 : Mouvements gymniques illustrés mobilisant l'épaule en flexion.



Annexe 9 : Détail des séances du protocole réalisées pour chaque sujet.

SEMAINE	DATE	Sujet n°1	Sujet n°2	Sujet n°3	Sujet n°4	Sujet n°5	Sujet n°6	Sujet n°7
1	12.01.22	x	x	x	x	x	x	x
	14.01.22	x	x	x	x	x	x	x
2	17.01.22	CAS CONTACT						
	21.01.22	x	x	x	x	x	x	x
3	24.01.22	ABS	x	x	x	x	x	x
	28.01.22	x	x	x	x	<i>Blessé</i>	x	x
4	31.01.22	x	x	x	x		x	x
	04.02.22	x	x	x	x		x	x
5	07.02.22	x	ABS	x	ABS		x	x
	09.02.22	x	x	x	x		x	x
	11.02.22	ABS	ABS	x	x		x	ABS
6	14.02.22	ABS	x	x	x		x	ABS
	18.02.22	x	x	x	x		x	ABS
7	21.02.22	x	x	x	x		x	x
	25.02.22	x	x	x	x		x	x
8	28.02.22	x	ABS	x	ABS	x	x	
	04.03.22	x	x	x	x	x	ABS	
9	07.03.22	x	x	x	x	x	x	
	09.03.22	x	x	x	x	x	x	
Séances réalisées		15	15	18	16	7	18	14
% présence		83	83	100	89	39	100	78

Annexe 10 : Étapes de réalisation de l'exercice PAIL-RAIL en flexion d'épaule.



**POSITION DE DÉPART**

Amplitude maximale passive atteinte par butée



**ÉTAPE 1**

Maintien de l'amplitude maximale passive pendant 2'00

Vitesse x6



**ÉTAPE 2**

Contraction graduelle des tissus étirés 10''



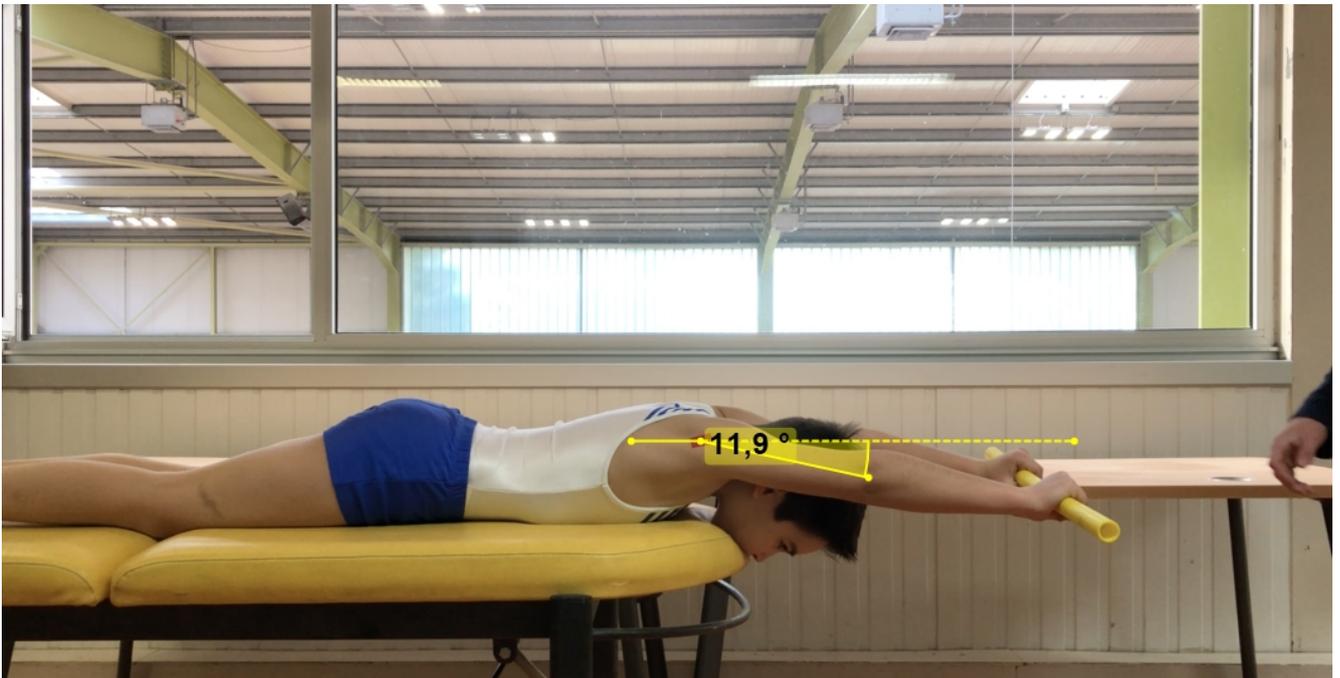
**ÉTAPE 3**

Contraction des tissus raccourcis 10''

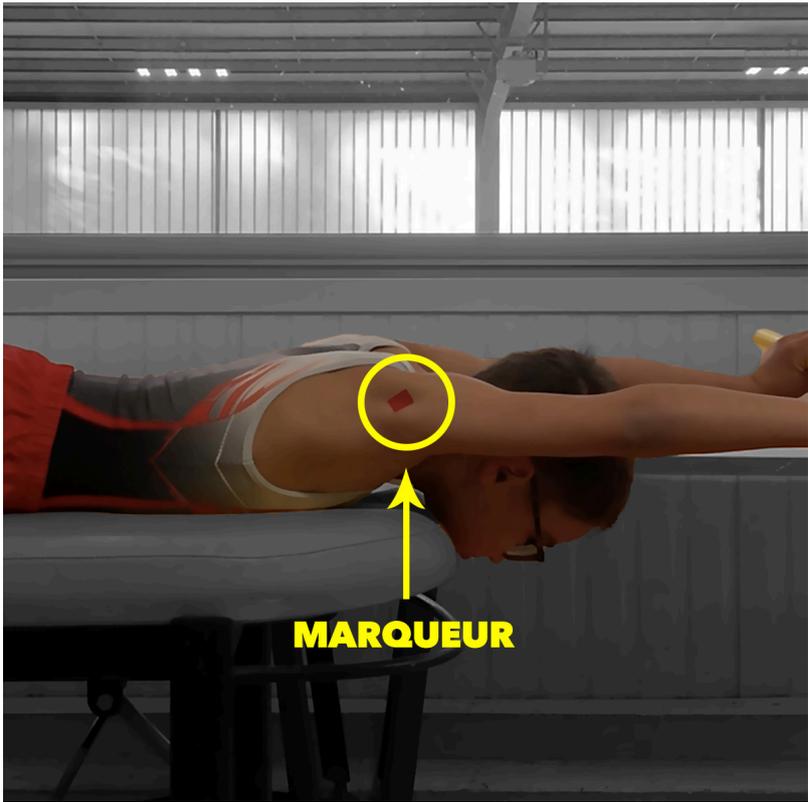
Annexe 11 : Angle entre l'axe horizontal passant par l'épaule, et le coude, en amplitude passive.



Annexe 12 : Angle entre l'axe horizontal passant par l'épaule, et le coude, en amplitude active.



Annexe 13 : Marqueur posé sur le tubercule majeur de l'humerus.



# IX. Résumé

**Objectifs :** L'objectif de ce travail est d'établir un testing individuel permettant de renseigner les ressources et besoins du gymnaste selon ses amplitudes active et passive. Dans un second temps de proposer une méthode de travail permettant de développer l'amplitude active et passive dans un même exercice.

**Méthode :** Sept gymnastes masculins en formation (entre 8 et 10 ans) ont réalisé deux séances de PAIL-RAIL hebdomadaires durant 8 semaines sur la flexion d'épaule. Un test a été réalisé avant le lancement du protocole, puis deux tests espacés de 4 semaines ont ensuite été réalisés. A chaque test étaient évaluées les amplitudes actives et passives de flexion d'épaule avant et après l'exercice PAIL-RAIL.

**Résultats :** Les résultats ont montré des augmentations significatives de l'amplitude active sur la flexion d'épaule à court terme après PAIL-RAIL. Les amplitudes actives augmentent sur le long terme mais ne semblent pas significativement différentes entre le début et la fin du protocole. Des augmentations de l'amplitude passive sur le court terme comme sur le long terme sont remarquées mais ne répondent pas positivement aux tests statistiques.

**Conclusion :** La méthode PAIL-RAIL semble répondre aux attentes de développement de la souplesse et de la force et plus spécifiquement au développement de l'amplitude de mouvement active et passive. Cette méthode peut prendre sens dans les programmes de formation des gymnastes masculins. Pour qui l'épaule dans son mouvement de flexion, relève d'un critère majeur de performance et de santé. Une cinétique de développement singulière pour chacune des modalités d'amplitude semble se dégager, d'autres études portant sur cette composante sembleraient pertinentes.

Mots clefs : Souplesse - Force - Amplitude de mouvement - PAIL-RAIL - Épaule - Gymnastique

# Abstract

**Objectives :** The aim of this study is establishing individual testing in order to inform on resources and needs of the gymnast according to active and passive range of motion. We propose a method allowing to develop the active and passive range of motion in the same exercise.

**Method :** Seven young male gymnasts (between 8 and 10 years old) performed two weekly PAIL-RAIL sessions for 8 weeks on shoulder flexion. A test was carried out before laughing protocol, then two tests were then carried out spaced 4 weeks apart. For each test, the active and passive range of motion of shoulder flexion before and after the PAIL-RAIL exercise were evaluated.

**Results :** The results pointed out significant increase on shoulder's flexion active range of motion short term after PAIL-RAIL. Active ranges of motion increase over the long term but do not seem to be significantly different between the start and the end of the protocol. Increase of passive range of motion in both short and long term are noticed but do not respond positively to statistical tests.

**Conclusion :** The PAIL-RAIL method seems to meet expectations for the development of flexibility and strength and more specifically for the development of active and passive range of motion. This method can take place in the training programs of male gymnasts for whom the shoulder in its flexion movement is a major criteria of performance and health.

A singular kinetics development for each of the amplitude modalities seems to emerge, other studies on this component would seem relevant.

**Key words :** flexibility - strength - range of motion - PAIL-RAIL - shoulder - gymnastics

# X. Compétences

**Concevoir** et **conceptualiser** des programmes d'entraînement adaptés aux objectifs, conditions d'entraînement et public visé.

**Appliquer, expérimenter** et **modifier** les programmes grâce à l'analyse sur le terrain des résultats. Rendre compte des progrès de chacun des gymnastes.

**Coordonner** une équipe d'entraîneurs sur le collectif primaire masculin.

**Planifier** des cycles d'entraînement correspondant aux objectifs compétitifs.

**Organiser** et **prévoir** les emplois du temps des gymnastes durant les vacances scolaires.

**Rédiger** et **transférer** des compte-rendus d'entraînement.

**Manipuler** les gymnastes dans le cadre de parade sécuritaire lors d'un apprentissage.

**Accompagner** les gymnastes lors des différents événements (compétition, revue d'effectif, entraînement extérieur)

**Dialoguer** et **communiquer** avec les différents membres de l'association.

**Participer** aux différents événements organisés par l'association.

**Conseiller** et guider les entraîneurs bénévoles qui apportent leur aide sur le secteur masculin.

**Découvrir, chercher, se former** sur de nouvelles méthodes d'entraînement.

**Oser** de nouvelles méthodes d'entraînement.

**Rédiger** un travail universitaire répondant aux attendus académiques.

**Convention de stage n° 40618 entre**

