

Année universitaire 2022-2023

Master 1^{ère} année Master 2^{ème} année

**Master STAPS Mention : Entraînement et Optimisation de la
Performance Sportive**

Parcours : *Préparation du sportif : aspects physiques, nutritionnels et mentaux*

MÉMOIRE

TITRE : L'intégration d'une routine d'assouplissements au service de la performance technique en gymnastique artistique : Etude comparative des méthodes CRE vs CRAC

Par Chloé Estéouille

Sous la direction de Medhi Pawlak Chaouch

Tuteur professionnel : Marie Vanghelder

Structure d'accueil : US Roncq Gymnastique

Membres du jury : Philippe Campillo, Frédéric Daussin et François Xavier Gamelin

Soutenu à la Faculté des Sciences du Sport et
de l'Éducation Physique le 15/05/2023

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

REMERCIEMENTS

Je souhaite d'abord remercier le club de l'US Roncq, et plus particulièrement Thierry Capelle, le président, de m'avoir accueillie dans sa structure et de m'avoir permis d'y effectuer mon expérimentation. Un grand merci également à Marie Vanghelder, ma tutrice professionnelle, pour sa disponibilité, ses compétences et ressources partagées. Elle m'a apporté son aide tout au long de mon étude.

Ensuite, je tiens à remercier Medhi Pawlak-Chaouch, mon responsable de mémoire pour m'avoir guidée dans cette démarche et m'avoir apporté des conseils éclairés.

Aux gymnastes que j'ai suivis durant cette période, j'adresse un grand merci pour la confiance et le temps accordés.

Mes derniers remerciements sont adressés aux membres de ma famille qui m'ont soutenue dans mes projets, qui m'ont aidée durant les relectures orthographique et grammaticale, et qui m'ont parfois servi de cobayes !

TABLE DES MATIÈRES

1.	Introduction.....	4
1.1	Revue de littérature	4
1.1.1.	Les contraintes et qualités physiques	4
1.1.2.	Des méthodes de sollicitation	6
1.1.3.	Les méthodes de développement de la souplesse	6
1.1.4.	Mesures des effets de la souplesse.....	9
1.1.5.	Les facteurs influençant la souplesse	9
1.1.6.	Figures requérant de la souplesse en gymnastique artistique	13
1.1.7.	Muscles ciblés	14
1.2	Problématique.....	16
1.3	Objectifs et hypothèses.....	17
2.	Le stage	18
2.1	Milieu professionnel.....	18
2.1.1.	Organisation	18
2.1.2.	Enjeux du club	19
2.1.3.	Mes missions.....	19
2.2	Population.....	19
2.3	Matériels et techniques de mesures	20
2.3.1.	Les tests.....	20
2.3.2.	Le matériel	22
2.3.3.	Le logiciel et le traitement des données	22
2.4	Protocole.....	25
2.4.1.	Etirements psoas-iliaque : fentes.....	27
2.4.2.	Étirements ischios-jambiers : fermetures unilatérales	28
2.4.3.	Etirements dos : scorpion et chandelier inversé (culbuto)	29
2.4.4.	Etirements adducteurs :	30
3.	Résultats	31
3.1	Présentation	31
3.2	Discussion	36
4.	Conclusion	38
5.	Liste des références bibliographiques	39
6.	Annexes.....	46
8.	Résumé.....	48
9.	Compétences	50

TABLE DES IMAGES

Figure 1 : Facteurs de la souplesse (Chloé Estéouille)	9
Figure 2 : Muscles étudiés	16
Figure 3 : Organigramme de l'US Roncq	18
Figure 4 : Schéma du CSR (Physio-Study)	21
Figure 5 : Matériel photo	22
Figure 6 : Zoom Kinovéa	22
Figure 7 : Protocole.....	25
Figure 8 : Fermeture unilatérale.....	28
Figure 9 : Etirement scorpion.....	29
Figure 10 : Etirement culbuté	29
Figure 11 : Comparaison des gains moyens d'angles avec la méthode CRE et CRAC	31
Figure 12 : Comparaison des gains moyens de centimètres avec la méthode CRE et CRAC au CSR ..	32
Figure 13 : Comparaison des gains d'amplitude pour les techniques statiques VS dynamiques.....	33
Figure 14 : Corrélation entre les gains d'amplitude et les points de faute (T0/T1)	34
Figure 15 : Corrélation entre les gains d'amplitude et les points de faute (T1/T2)	34

TABLE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Données anthropométriques.....	20
Tableau 2 : Tests scientifiques	23
Tableau 3 : Eléments gymniques évalués et mesures effectuées	24
Tableau 4 : Etirement et test psoas-iliaque	28
Tableau 5 : Etirement et test adducteurs	30
Tableau 6 : Test de Wilcoxon (comparaison des gains.....	32
Tableau 7 : Test t Student (comparaison souplesse active VS passive).....	33
Tableau 8 : Test de Spearman (corrélation gains amplitude et points fautes)	34
Tableau 9 : Test de Wilcoxon (effet de l'âge sur les valeurs des angles).....	35
Tableau 10 : Test de Wilcoxon (effet du sexe sur les valeurs des angles).....	35

GLOSSAIRE

CSR : Classic Sit and Reach

CRAC : Contracté Relâché Antagoniste Contracté

CRE : Contracté Relâché Étiré

GAF : Gymnastique Artistique Féminine

GAM : Gymnastique Artistique Masculine

HAT : Hip Abduction Test

FNM : Fuseaux Neuromusculaire

NS : Non significatif

OTG : Organes Tendineux de Golgi

PNF : Proprioceptive Neuromuscular Facilitation

RPE : Rating Scale of Perceived Exertion

1. Introduction

A travers ce mémoire, j'ai souhaité m'intéresser au développement des qualités de souplesse au profit de la performance sur des éléments techniques de gymnastique artistique. La souplesse est une qualité physique considérée comme primordiale dans les centres d'entraînement, mais les méthodes de travail sont très vastes et souvent mal exécutées. Elle est de plus en plus étudiée par les chercheurs, cependant les études ne mènent pas toujours aux mêmes conclusions (selon le contexte). En effet, les publications scientifiques fleurissent depuis le début des années 2000 (sur le moteur de recherche PubMed) mais beaucoup se contredisent. Mon objectif est donc de mettre en application mes recherches et d'apporter ma contribution sous un angle encore peu étudié.

1.1 Revue de littérature

1.1.1. Les contraintes et qualités physiques

Avant de rentrer dans le détail, il faut d'abord préciser les contraintes auxquelles doivent faire face les gymnastes dans ce sport ainsi que les qualités physiques qu'ils doivent développer.

La gymnastique artistique est une discipline olympique depuis les premiers jeux modernes de 1896. Elle inclut 4 agrès en Gymnastique Artistique Féminine (GAF), que sont le sol, le saut, les barres asymétriques et la poutre, et 6 en Gymnastique Artistique Masculine (GAM), à savoir le sol, les arçons, les anneaux, le saut, les barres parallèles et la barre fixe. Durant les compétitions, les gymnastes sont amenés à présenter un mouvement répondant à des exigences précises (listées dans le code de pointage FIG). A l'issue de leur prestation, des juges leur attribuent une note basée sur la difficulté et l'exécution des éléments.

Les gymnastes doivent développer des profils très complets afin de faire face aux exigences de ces différents agrès. Cette discipline demande une grande force des membres inférieurs et supérieurs, notamment aux agrès dit « de bras » tels que les anneaux, les barres (fixe, parallèles, asymétriques) ou encore aux arçons, durant lesquels ils doivent pouvoir maîtriser leur corps aussi bien dans des positions statiques que dynamiques.

Aussi, des qualités de **vitesse et d'explosivité** leur sont nécessaires, notamment lors des phases préparatoires aux diagonales au sol et lors de la course au saut de cheval. L'effort fourni lors de ces accélérations est très bref (durée de la phase d'accélération inférieure à 5s).

Il est également intéressant d'ajouter les qualités de **force**, surtout en GAM. En effet, les gymnastes masculins doivent maintenir certaines figures appelées "forces" durant 3s dans des angulations articulaires très précises, particulièrement aux anneaux et au sol. Ces éléments vont induire des adaptations musculaires, avec une prévalence des fibres musculaires rapides (type IIa ou IIb), favorables à la production d'un effort anaérobie alactique (court et intense) pour une majorité d'agrès. Ils doivent produire un maximum de force dans un temps très réduit, puisque le temps sur les agrès n'excède jamais 1min30.

En combinant la vitesse et la force, des qualités de **puissance** en découlent. Elles sont à la base de la performance dans ce sport.

De plus, l'effort alterne entre des phases d'appuis manuels et pédestres, de suspension, mais aussi de renversement et d'alternances de prise (dorsale, palmaire, cubitale), et position (groupée, carpée, tendue, tuck). Tous ces éléments requièrent donc une certaine **agilité**.

Ce sport comprend de nombreuses phases acrobatiques, variant les orientations (avant, arrière) ainsi que les rotations (longitudinales, transversales, antéro-postérieures). Ces mouvements complexes demandent d'avoir de bons repères dans l'espace et une oreille interne très développée. C'est ce que l'on appelle l'équilibriception. Ceci est lié à **l'équilibre**, défini par Akyüz (2017) comme l'habileté à contrôler son corps avec un minimum d'activité musculaire dans des positions statiques et dynamiques faisant varier le centre de gravité. Avec le **gainage**, ce sont des éléments fonctionnant en synergie pour réaliser des acrobaties sur chaque agrès et en particulier à la poutre et au cheval d'arçons. Les gymnastes doivent d'ailleurs faire preuve d'une grande **coordination** inter et intramusculaire pour se mouvoir avec fluidité.

Ensuite, bien que ce ne soit pas la qualité physique la plus importante à première vue, **l'endurance de répétition** de contractions musculaires de haute intensité est primordiale. La gymnastique est une discipline exigeante ; elle demande beaucoup de répétitions durant de nombreuses heures (entraînements biquotidiens à haut niveau). Également, les sportifs doivent enchaîner des successions d'efforts très intenses en compétition : environ 5s au saut (2 répétitions), 45s aux anneaux, barres et 1min30 (sol, poutre).

Enfin, la **souplesse** est classée comme une capacité intermédiaire par Manno (1992) dans la mesure où ses facteurs limitants sont à la fois de nature anatomique et neurophysiologique. Elle désigne « la propriété intrinsèque des tissus qui détermine le degré de mouvement que l'on peut atteindre sans blessure au niveau d'une ou plusieurs articulations » (Holt et al., 1996). Cette qualité se manifeste sous la forme statique (posture) ou dynamique: par exemple lors de la réalisation d'un grand écart facial (statique) versus le saut carpé écart (en mouvement). Il est important de préciser que même si même si les structures impliquées dans ces 2 types de souplesse sont semblables, les déterminants diffèrent en

termes de proportion dans la performance finale. Ceci peut expliquer que certaines gymnastes soient très souples sur un élément statique et plus “raides” sur le même élément en dynamique (et inversement).

L'ensemble de ces paramètres sont à prendre en considération dans le choix des méthodes de développement de la souplesse, afin de ne pas créer de tensions supplémentaires.

1.1.2. Des méthodes de sollicitation

Il existe 2 principales méthodes de sollicitation : les étirements et les assouplissements.

Les **étirements** consistent en l'élongation de l'unité musculo-tendineuse (UMT) par l'application d'une force renvoyant cette même UMT à sa longueur maximale (McNeal et al. 2006). Ils permettent d'atteindre une flexibilité définie comme l'amplitude de mouvement maximale obtenue sans douleur (Hubley-Kozey et al. 1991). La **mobilité** serait une extension du concept de flexibilité, incluant la facilité et la fluidité du mouvement selon Flannagan et al. (2012). Elle est à différencier de l'**hypermobilité**, définie comme une extrême flexibilité due à une anomalie génétique influençant sur l'élasticité des tissus (Beighton et al. 2012). L'**élasticité** équivaut à une faible raideur ou une meilleure compliance. Il s'agit selon Reiss et Prévot (2020) de la « capacité d'un tissu à s'allonger puis à retourner à sa longueur initiale ». Tandis que l'**extensibilité** correspond à la « valeur (longueur ou angle) maximale obtenue à la fin d'une mise en tension ».

Les **assouplissements**, quant à eux, ont pour objectif d'augmenter l'amplitude articulaire comme le montre Canal (2005). On cherche alors à supprimer les tensions au niveau psychophysiologique pour ne pas contrarier le mouvement. Des adaptations au niveau articulaire et musculaire sont alors nécessaires, ainsi que des temps de maintien plus longs. Il s'agit d'une méthode destinée à certains types de sports, ayant des besoins spécifiques d'un point de vue technique et esthétique, comme dans le cas de la gymnastique artistique et rythmique, du patinage, de la danse, etc.

1.1.3. Les méthodes de développement de la souplesse

Les méthodes de développement de la souplesse sont divisées en 2 grandes catégories - statiques et dynamiques - qui elles-mêmes sont divisées en plusieurs sous catégories.

Les techniques statiques

Les techniques statiques se composent de méthodes passives, actives et combinées.

Les **méthodes passives** se basent sur une force extérieure (gravité, objet ou assistant) exerçant des contraintes. Ces méthodes sont faciles à mettre en place, mais entraînent une diminution des performances. Elles font intervenir le réflexe myotatique inversé (ou inhibition autogène) représentant une réduction de l'excitabilité de la contraction du muscle lorsqu'il est étiré. Cela résulte de l'activation des Organes Tendineux de Golgi (OTG) après une tension exercée sur les tendons. Elles peuvent être idéales pour un retour au calme ou bien pour développer l'amplitude articulaire. Elles peuvent aussi être indiquées aux débutants pour se familiariser à la douleur.

Les **méthodes actives** font intervenir une phase de contraction volontaire sur le muscle étiré ou sur le muscle opposé. Elles font appel au réflexe d'inhibition réciproque. Lors de celui-ci, la contraction d'un muscle antagoniste va réduire l'activation du muscle agoniste. Ceci est possible grâce aux motoneurones inhibiteurs Ia afférents partant du muscle antagoniste.

La **méthode combinée (ou activo passive)**, ou PNF (Proprioceptive Neuromuscular Facilitation) regroupe les étirements CRE (Contracté Relâché Étiré) et CRAC (Contracté Relâché Antagoniste Contracté) et se base sur le principe d'inhibition réciproque. Elle favorise l'allongement de l'unité musculo-tendineuse (UMT) et peut s'utiliser en étirement statique mais aussi balistique. De nombreuses études (Sharman et al., 2006 ; Shrier, 2000 ; Gajdosik, 2001 et Ferber et al., 2002) s'accordent à penser qu'il s'agit de la méthode la plus adaptée afin d'améliorer l'amplitude de mouvement. De plus, cette technique serait efficace pour améliorer la souplesse passive (Ferber et al, 2002, Feland et al, 2001), mais aussi active (Hardy et al, 1986, Spernoga et al, 2001). Ces deux modalités de souplesse faisant partie de la performance en gymnastique, c'est la raison pour laquelle j'ai choisi de me pencher sur la méthode d'étirements PNF. Néanmoins, la durée de ses effets (l'extensibilité du muscle) ne serait maintenue que sur une très courte période, c'est à dire environ 6 minutes, selon Spernoga et al. (2001). Et son action sur les autres qualités physiques est encore assez discutée, et plutôt décriée en échauffement, notamment pour la force, la détente (Carvalho et al., 2009) et la puissance (Franco et al., 2012). Bradley et al. (2007) relativisent ces résultats, puisque selon eux, ces effets néfastes ne seraient valables que durant 15 minutes pour 10 minutes de stretching. D'autant plus que Shrier (2004), dans sa revue de littérature, a noté des effets bénéfiques sur les sprints courts, la force maximale et excentrique ainsi que le drop jump.

La méthode CRE (Contracté Relâché Étiré) : on place le muscle cible en position d'étirement puis on effectue une contraction volontaire isométrique de celui-ci. Ensuite on relâche la contraction et le muscle va s'étirer de manière passive (gravité, poids supplémentaire, assistant).

La méthode CRAC (Contracté Relâché Antagoniste Contracté) : suite à la contraction du muscle cible en position d'étirement, on va contracter le muscle antagoniste pour accentuer le relâchement du muscle agoniste.

Les chercheurs recommandent d'utiliser les étirements PNF avec très peu de répétitions avec une contraction isométrique idéale de 3s (Nelson et al. 1991 ; Bonnar et al, 2004) et au moins 2 fois par semaine pour obtenir des améliorations de l'amplitude de mouvement (Moore et al, 1980, Etnyre et al, 1988). En effet, la durée de contraction peut être très courte puisqu'il suffit de quelques dixièmes de secondes pour activer le réflexe myotatique. L'amplitude de mouvement pourrait être augmentée même avec de très faibles intensités de contraction (20% selon Felan et Marin, 2004) pour éviter les risques de blessures.

Les techniques dynamiques

Les techniques dynamiques regroupent les méthodes balistiques et par rebonds. Reiss et Prévost (2020) nous indiquent qu'il s'agit de « mouvements lents, contrôlés et de grande amplitude » dans lesquels les muscles antagonistes produisent de la force afin de stimuler les muscles cibles. Si elles sont employées de manière progressive en échauffement, elles peuvent être très efficaces (Chaouachi et al. 2010 ; Turki et al. 2012).

La **méthode balistique** mime le cycle d'allongement-contraction naturel du mouvement. Cette forme est donc intéressante puisqu'elle permet de se rapprocher au plus près des amplitudes et mouvements fournis dans la discipline. D'un point de vue structural, ce type de travail induit une diminution de la raideur des structures élastiques du tendon après 6 semaines d'entraînement. Les études de Mahieu et al. (2007) et de Wallin et al. (1985) ne la recommandent donc pas pour développer la souplesse. Cette méthode fait intervenir le réflexe myotatique (inhibition autogénique) lorsqu'un allongement trop important est détecté par les fuseaux neuro-musculaires (FNM) qui vont alors délivrer un message de contraction afin de protéger le muscle. Leur sensibilité est sous l'influence de la boucle gamma, régulant (faisant chuter) ainsi le tonus musculaire. Certains auteurs déconseillent donc cette technique puisque la contraction réflexe pourrait être à l'origine de lésions musculaires.

La **méthode par rebonds** reprend la même base à laquelle on ajoute de petits mouvements oscillatoires rapides en fin d'amplitude.

1.1.4. Mesures des effets de la souplesse

Pour mesurer les effets de la souplesse, différents paramètres peuvent être choisis. Le plus communément employé sur le terrain est l'**amplitude de mouvement** « ou range of motion » en anglais. Toutefois, d'un point de vue biomécanique (interaction entre les différentes composantes au niveau tissulaire et nerveux), il est plus juste de parler de **raideur** (équivalent à la compliance et élasticité) ou **hystérésis**, notamment pour évaluer les forces qui s'appliquent lors de l'allongement d'un muscle de manière passive ou active. L'hystérésis est définie comme un « phénomène de déperdition d'énergie par déformation et production de chaleur » (mise en tension d'un tissu dispersion de l'énergie sous une forme physique).

1.1.5. Les facteurs influençant la souplesse

J'ai pu synthétiser, sous forme de systémie, les facteurs influençant la souplesse (**Figure 1**).

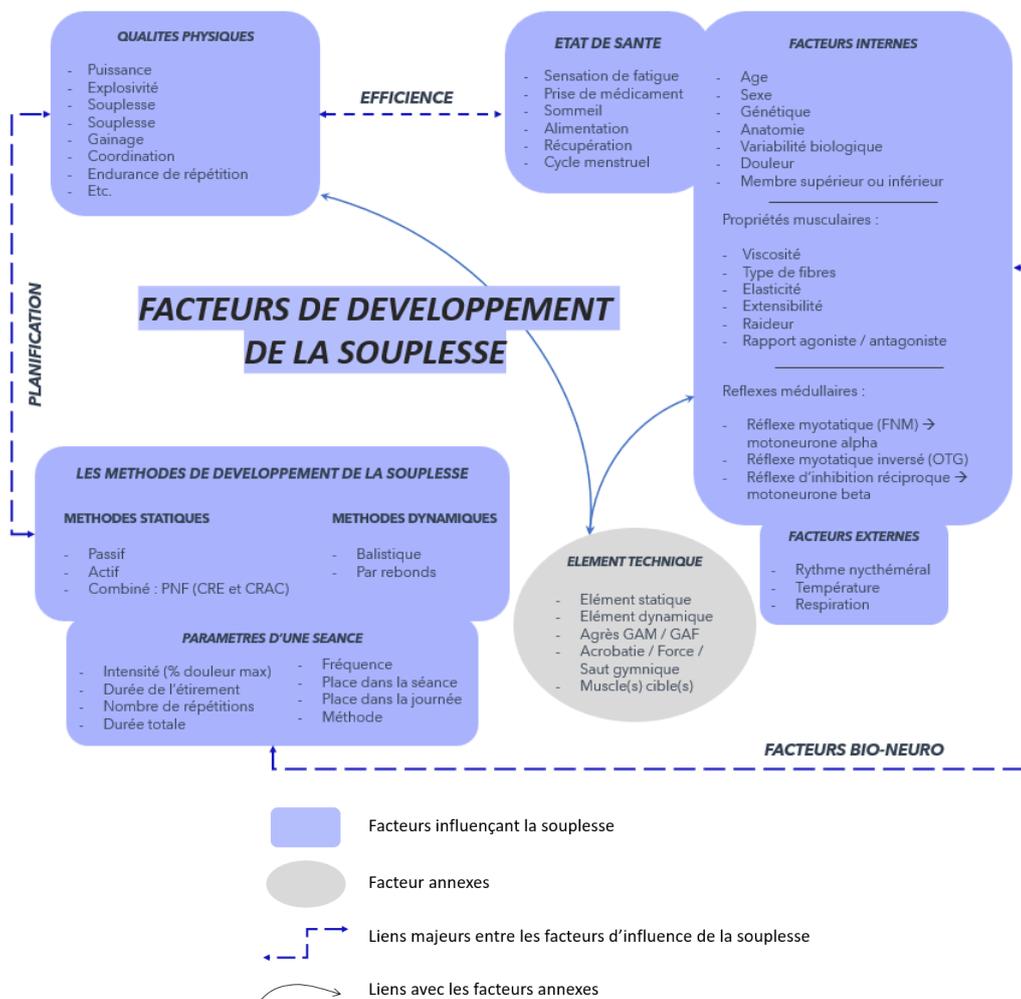


Figure 1 : Facteurs de la souplesse (Chloé Estéouille)

Les facteurs internes

L'**âge** est l'un des facteurs principaux influençant la souplesse. En effet, entre 7 et 11 ans, la raideur musculaire et la sensibilité des réflexes augmentent. Durant cette période, la croissance des os pourrait réduire la souplesse dans la mesure où les muscles s'allongent (Caine et al. 2002 ; Malina et al. 2013). Malgré cela, certains s'accordent à penser que cette période est optimale pour le développement de la souplesse car la masse musculaire est encore peu développée.

Le **sexe** impacte également la souplesse. Les filles ont un taux de masse adipeuse plus important que les garçons, elles sont donc plus à même de développer leur souplesse. A fortiori, la raideur et la densité musculaire sont plus notables chez les hommes, ce qui n'est pas favorable pour cette qualité physique.

Le facteur **anatomique** est essentiel. En effet, la forme de l'articulation (elle-même dépendante du sexe) est un facteur limitant pour l'amplitude du mouvement. La capsule articulaire, renfermée dans l'articulation, peut fortement limiter les mouvements de glissements articulaires dans le but de protéger cette même articulation. L'UMT est aussi responsable de l'intégrité de l'articulation, de par sa résistance à l'étirement bien supérieure. Elle agit donc comme un « amortisseur ».

Le facteur **génétique** intervient grandement au niveau de la flexibilité, notamment celle du tronc. Grahame et al. (1999) ajoutent que l'hypermobilité peut également être transmise de parents à enfants.

La **douleur** est un signal dont il faut tenir compte tout en faisant attention au niveau de sensibilité des gymnastes. Cependant elle n'est pas toujours favorable au développement de la souplesse puisque cela indique que les tissus musculaires sont menacés.

Aussi, l'état de santé, et notamment la **fatigue** sont à prendre en compte dans l'entraînement. Une fatigue peut être néfaste pour le développement de la souplesse et peut même être à l'origine de blessures.

Et il ne faut pas oublier la **variabilité biologique** car tous les sujets réagissent différemment à l'entraînement, même si le protocole est similaire.

Le **tissu conjonctif** a lui aussi son importance. C'est un maillage fibrillaire qui assure le lien entre les différentes articulations (Maas et Sandercock, 2010). Il est composé de différentes structures : composante intramusculaire, intermusculaire et extramusculaire. Le tendon fait la jonction entre l'extrémité des muscles et l'insertion sur le squelette. Il peut encaisser des contraintes mécaniques énormes, emmagasinées pendant la pratique sportive (Magnusson, 2008). Sur les composantes inter et extra musculaire, les fascias ont pour rôle de contrôler la synergie entre les muscles et les relations agonistes-antagonistes grâce à des forces de cisaillement (Azizi et al. 2008), responsables de la raideur musculaire. Ils joueraient un rôle dans la perception de la douleur, de par leur innervation (Han, 2009).

Enfin, sur la composante intramusculaire, les aponévroses maintiennent le volume musculaire durant le mouvement, tout en retranscrivant la force générée par les ponts actine-myosine. On peut donc affirmer que les contraintes anatomiques apportent des **contraintes mécaniques** à l'étirement.

Les paramètres biomécaniques et anatomiques sont ainsi liés aux **propriétés et aux composantes musculaires**. D'abord, le comportement du muscle face à un étirement (la résistance à l'allongement) n'est pas linéaire puisque le muscle est composé de tissus contractiles et élastiques. L'UMT est donc un élément viscoélastique, il est dépendant de l'intensité, de la fréquence et de la durée des contraintes qui lui sont imposées. Le modèle de Hill (1937, 1957) nous permet de mieux comprendre la structure musculaire, impliquée dans le développement de la souplesse. La Composante Contractile (CC) génère la force par la formation de ponts actine-myosine et la contraction des sarcomères. Ensuite, la Composante Élastique Série (CES) comprend une fraction active (ponts myofibrillaires) et une fraction passive (structures tendineuses, tissu conjonctif). Ainsi, lors de la contraction musculaire, cette composante subit un allongement lié au raccourcissement des sarcomères. Enfin la Composante Élastique Parallèle (CEP) présente une résistance à l'allongement du muscle lorsque celui-ci n'est pas contracté (lutte contre la déchirure). Les structures qui en sont responsables sont les gaines élastiques (sarcolemme) et certaines protéines comme la titine.

Les facteurs externes

Il existe également des facteurs externes agissant sur la souplesse.

Le **rythme nycthémeral** doit être pris en considération. En effet, l'horloge biologique induit que le corps humain est plus souple l'après-midi que le matin.

La **température** interagit de 2 manières différentes. La chaleur passive, c'est-à-dire le climat dans la pièce, induit une amélioration si elle est supérieure à 20°C. La chaleur propre à l'échauffement intervient également. On considère que 20 minutes serait la durée d'échauffement idéale pour être dans des conditions favorables à la souplesse.

Un paramètre supplémentaire à prendre en compte est la **respiration**. Prêter attention à son souffle (l'expiration) peut s'avérer utile pour diminuer le tonus musculaire. Cette méthode sollicite le système nerveux parasympathique, responsable d'une diminution des tensions psychiques et physiques. Nous pouvons le coupler à des techniques de préparation mentale comme le discours interne ou la méditation, favorisant un état mental favorable à l'acceptation de la douleur et donc le relâchement.

Les paramètres de la séance

La planification des séances d'étirements est primordiale afin de ne pas créer de lésions. Il faut intégrer certains paramètres pour construire une séance répondant aux objectifs fixés.

Tout d'abord, **l'intensité** correspond au pourcentage de douleur maximale. Freitas et al. (2015) expliquent qu'elle a le plus d'effets sur l'amplitude maximale.

La **durée** aurait quant à elle plus d'impacts sur la diminution de résistance passive. Pour éviter d'abaisser le pic de force, Behm et al (2008) nous indiquent qu'il vaut mieux éviter les hautes intensités couplées à une courte durée. Dans cette optique, la douleur maximale devrait être d'environ 50% (Guissard et al., 2006). Selon les méthodes et les effets recherchés, les exercices pourront être réalisés pendant des temps plus ou moins grands. En statique, l'étirement doit durer entre 20 et 45s (Sato et al. 2020 ; Takeuchi et al. 2020). Les étirements PNF permettent d'utiliser des durées plus courtes (en-dessous de 20s). Si l'objectif est d'augmenter l'amplitude articulaire (comme dans notre cas), il est possible d'aller au-delà de 60s. Il faudra alors atteindre une intensité de douleur suffisamment haute (8/10 sur l'échelle de Borg).

Le **nombre de répétitions** a également son importance. Il dépend de la méthode utilisée. Dans le cas de **l'angle constant** (mise en tension d'un groupe musculaire jusqu'à une douleur tolérable : la longueur du muscle est constante), le relâchement de la force est le plus important dans les premières répétitions, pour une même intensité. Ainsi, 3 à 4 répétitions sont suffisantes. Dans le cas du **moment constant** (angle qui augmente à chaque répétition en fonction du seuil de tolérance de la douleur), les effets sont les plus marqués dans les 5 à 20s (Ryan et al, 2012) et sont majorés dans les 2 premières répétitions (Ryan et al, 2009).

La **durée totale des étirements** est très en lien avec la **fréquence**. Cipriani et al. (2003), s'accordent à penser que la durée totale est plus importante que la durée d'un seul étirement. Dans ce cas, un entraînement optimal fluctuerait entre 2 fois par semaine avec 2 séances par jour (Cipriani et al. 2012) et tous les jours si possible (Marques et al. 2009).

La **place des étirements dans la séance** est encore un sujet peu étudié. Certains auteurs admettent qu'elle n'a pas d'importance pour les étirements statiques (Beedle et al. 2007 ; Funk et al. 2003). Toutefois, il semblerait qu'intégrés dans l'échauffement, les étirements soient davantage bénéfiques (Kokkonen et al. 2017 ; Myer et al. 2011). D'autre part, placés à froid, il serait possible de reculer le seuil de douleur. Ainsi, l'angle serait plus faible en fin de journée pour un même niveau de douleur. Au contraire, le moment de la journée pourrait davantage influencer sur la souplesse du fait du rythme nyctéméral (raison pour laquelle il faut toujours prendre les mesures au même moment de la journée et de préférence à la même heure).

1.1.6. Figures requérant de la souplesse en gymnastique artistique

La souplesse est la qualité physique qui différencie le plus la gymnastique des autres sports. Les gymnastes doivent atteindre des amplitudes de mouvement extrêmes afin de performer au plus haut niveau. Ajoutons à cela que la gymnastique n'est pas un sport uniquement statique. L'extrême majorité des éléments s'effectuent dans le mouvement, y compris ceux requérant de la souplesse. Ceci est d'ailleurs illustré dans le code de pointage, qui inclut de plus en plus d'éléments de souplesse à chaque cycle Olympique. C'est pourquoi il faut enseigner la souplesse à travers des positions variées statiques ou dynamiques dès les premières années de pratique.

La souplesse du **dos** (en particulier lombaire et thoracique) est très importante pour les jeunes gymnastes, bien qu'elle soit à l'origine de nombreuses douleurs et blessures (si les exercices sont mal exécutés). Elle nécessite donc d'être vigilant et de progresser doucement, sur la durée (Sands et al., 2016). Elle se manifeste en hyperextension (pont, souplesse avant ou arrière, flip) ou en flexion (fermeture), sur tous les agrès GAF comme GAM. Également, les éléments statiques ou à très faible vitesse (pont, souplesse arrière, tic-tac) sont plus souvent employés à niveau compétitif inférieur, tandis que les gymnastes évoluant au-delà du niveau national effectuent des mouvements beaucoup plus brefs et explosifs (flip, shaposhnikova, moy, etc.) (Bruggemann et al. 1994 ; Bruggemann et al. 2002). Il en est de même pour les éléments de flexion lombaire : à niveau intermédiaire, les gymnastes ont recours à la fermeture au sol ou en barres ou le pied main tour en barres tandis que cette position de flexion lombaire pourrait se retrouver sous forme de salto carpé ou de tkatchev à haut niveau.

La souplesse du **psoas-iliaque** est également prédominante en gymnastique. En effet, ce muscle est constamment sollicité, notamment lors des mouvements qui requièrent une courbe arrière. La gymnastique est fondée en partie sur une alternance de courbes. Le psoas-iliaque doit être aussi fort en flexion qu'en extension, afin de restituer toute son énergie. En compétition, on le retrouve en position étirée lors des grands écarts antéro-postérieurs statiques ou bien dynamiques (la majeure partie du temps, comme énoncé précédemment) sur des éléments tels que les ciseaux au cheval d'arçon, saut changement de jambe au sol, descente du pied-main aux barres, etc.

Ensuite, les **adducteurs** sont particulièrement sollicités lors de sauts chez les gymnastes féminines (popa, changement de jambe quart de tour) mais aussi lors d'éléments acrobatiques comme le jaeger, le tkatchev ou le endo-stalder aux barres (fixe, asymétriques) ou encore lors de l'exécution de cercles thomas au sol ou au cheval d'arçons. J'ai également choisi de développer la souplesse de ce groupe musculaire car l'étude de Cejudo et al. (2015) montre qu'un déficit de souplesse des adducteurs est l'un des facteurs les plus courants de blessure et de douleurs chroniques à l'aîne.

Enfin, les **ischios-jambiers** ont un rôle prédominant dans la performance en gymnastique. De nombreuses postures nécessitent de se retrouver en fermeture comme le salto carpé et ses déclinaisons à chaque agrès, le tour pied-main aux barres, l'équerre renversée aux barres parallèles ou aux anneaux. A plus faible niveau, ils sont étirés dans certaines figures de maintien (pied-main barre, fermeture au sol, Y, etc.).

1.1.7. Muscles ciblés

Pour des raisons de temps et de moyens, j'ai été contrainte de cibler mon étude sur les 4 groupes musculaires : les ischio-jambiers, le psoas-iliaque, les adducteurs et les muscles postérieurs du tronc. Afin d'optimiser les étirements de ces muscles, il est nécessaire de détailler l'aspect anatomique de chacun d'entre eux.

Les ischio-jambiers sont divisés en 3 muscles (**Figure 2C**) : les muscles semi-tendineux et semi-membraneux (les deux sont très charnus à leur insertion et plutôt tendineux à leur extrémité inférieure et se situent sur la face intérieure) et le biceps fémoral chef long (placé sur la face extérieure, qui est tendineux près de l'ischion et charnu sur la fin). La partie charnue d'un muscle correspond à celle riche en fibres rouges. Elle est opposée aux aponévroses et aux tendons. Ce groupe musculaire est polyarticulaire. Il a pour fonction l'extension de hanche et la flexion de genou. Il s'insère sur l'ischion et se termine sur le tibia et la tête du péroné. Pour l'étirer, il faut donc aller à l'inverse de son action, c'est-à-dire réaliser une flexion de hanche et extension du genou.

Ainsi, pour étirer la partie fibreuse, on va d'abord réaliser une antéversion au maximum dans la hanche puis chercher le reste en tendant son genou. Tandis que pour étirer la partie distale (partie inférieure), le sujet doit forcer l'extension de genou. Il faut également veiller à ne pas faire de rotation du bassin pour ne pas déborder sur les adducteurs ; l'erreur la plus fréquente étant de vouloir chercher la pointe de pied, ce qui sollicite plutôt les triceps suraux (notamment les gastrocnémiens) et les lombaires.

Les adducteurs (Figure 2B) ont pour rôle principal d'effectuer une adduction de la hanche mais ils sont également extenseurs lorsque la hanche est en flexion et fléchisseurs lorsqu'elle est en extension. Ils contrôlent aussi la rotation du bassin. Ils s'insèrent sur le bord inférieur du bassin jusqu'à la tubérosité ischiatique. Ils sont 5, répartis en 2 groupes : les courts et longs. Les longs sont composés du grand adducteur, du long adducteur et du gracile. Tandis que les courts sont composés du pectiné et du court adducteur.

Ainsi, pour étirer les adducteurs, les hanches sont en flexion avec les jambes tendues (étirement des longs adducteurs) ou fléchies (étirements des courts adducteurs).

L'**ilio-psoas (Figure 2A)** s'insère sur la face antérieure des 5 vertèbres lombaires. Il est composé de 2 faisceaux (un profond et un superficiel) qui se terminent sur le petit trochanter par un tendon commun. Ce dernier rejoint le muscle iliaque puis descend sur la face antérieure du fémur. L'ilio-psoas possède différents rôles (dont certains ne faisant pas encore consensus) qui dépendent du point fixe ainsi que de la position du sujet. Si le bassin est fixe, ce muscle est donc fléchisseur de la hanche (fémur mobile) lorsque le sujet est debout et allongé, et fléchisseur du bassin sur la cuisse en position allongée. Lorsque le bassin n'est pas fixé, il a une action hyperlordosante et fonctionne en synergie avec les muscles extenseurs de la hanche et le droit de l'abdomen. Il est aussi rotateur externe.

Les **muscles postérieurs du tronc (Figure 2D)** sont divisés en 3 grandes régions : cervicale, dorsale et lombaire. De manière générale, les muscles dorsaux contrôlent la flexion du tronc en excentrique et l'extension du tronc en concentrique. Les muscles de la région lombaire (longissimus, masse sacro-lombaire, ilio-costal et gouttière vertébrale) participent à la stabilité et la solidité du rachis et fonctionnent en synergie avec le psoas. Ils se situent sur le plan profond et sont érecteurs du rachis. Ils participent également à l'auto-grandissement, très utile en gymnastique. Les muscles de la région thoracique (groupe des dentelés postérieurs, grand dorsal, rhomboïde, élévateur scapula, carré des lombes) ont des rôles variés. Enfin, les muscles cervicaux (sous-occipitaux, semi-épineux de la tête, splénius de la tête, trapèze) participent principalement à l'extension de la tête. Pour les étirer, il faut donc effectuer une flexion de la tête.

Le dos permet de bouger dans 3 dimensions : dans le plan sagittal (flexion, extension), frontal (flexions latérales) et horizontal (rotations à droite ou à gauche). Il y a donc 6 possibilités pour l'étirer (Huelke et al. 1979).

La **Figure 2** représente les muscles ciblés dans cette étude. Les images sont issues de la chaîne YouTube « Anatomie 3D Lyon ».

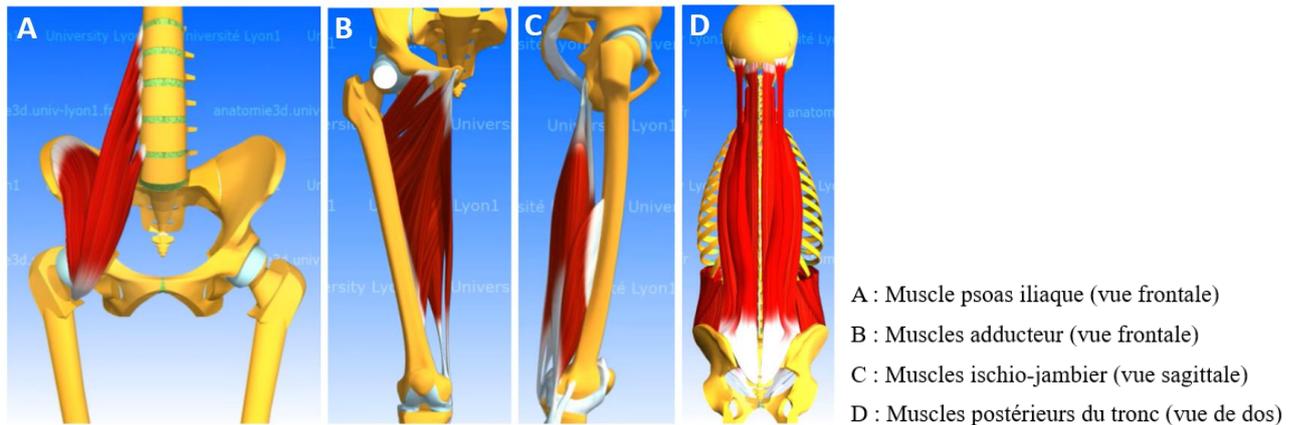


Figure 2 : Muscles étudiés

Cependant, mon étude présente une limite puisque tous les muscles fonctionnent en synergie, ce qui ne permet pas toujours d'isoler une articulation ou un muscle en particulier. Les gymnastes peuvent alors compenser avec une autre articulation ou un autre muscle qui présente de meilleures qualités de souplesse. Le pont en est un exemple, puisqu'il fait intervenir la souplesse en extension des épaules, des abdominaux et du psoas-iliaque.

1.2 Problématique

D'après ma revue de littérature, la gymnastique artistique est apparue comme un sport complexe, dont l'une des qualités physiques essentielles est la souplesse. Cette qualité physique apparaît dans de nombreux éléments du code de pointage faisant appel à de grandes amplitudes de mouvement.

Ces éléments m'ont amenée à me demander comment une routine d'étirements pourrait améliorer la réalisation de certains éléments gymniques en statique et en dynamique. Mais également, existe-il une méthode plus pertinente pour induire un gain d'amplitude ?

1.3 Objectifs et hypothèses

A travers cette étude, je souhaite évidemment répondre à ma problématique mais je souhaite également apporter une plus-value à la structure qui m'accueille, à savoir limiter la déperdition de points sur des éléments techniques, grâce aux assouplissements. L'objectif serait alors d'accroître la note des gymnastes en compétition.

Par ailleurs, il existe différents objectifs sous-jacents. J'aimerais donc à l'issue de mon protocole déterminer s'il existe une méthode plus efficace pour obtenir des gains importants et en peu de temps. Mais également comparer s'ils ont la même incidence sur les éléments statiques et dynamiques. Les nombreuses données collectées me donneront des indications sur les populations qui présentent les meilleurs gains (âge, sexe). Cela permettra par la suite d'individualiser aux mieux les besoins de chaque gymnaste et cibler les éléments les plus pertinents. De plus, j'ai remarqué que, bien qu'étant primordiaux dans ce sport, les étirements sont souvent laissés de côté par les gymnastes, par manque d'intérêt ou par peur de souffrir. Je voudrais leur apporter les éléments concrets qui pourraient les motiver à pratiquer régulièrement ces exercices.

En réponse à ma problématique et suite aux recherches effectuées, je pose l'hypothèse H0 que les méthodes employées n'auront pas d'effet sur le gain d'amplitude des mouvements, et de ce fait, il n'y aurait pas de diminution des points de fautes.

Mon hypothèse H1 admet que la méthode de sollicitation via les étirements PNF aura un effet bénéfique sur le gain d'amplitude des éléments statiques et/ou dynamiques pour l'ensemble de la population. Ceci induirait une diminution des fautes pour une majorité des éléments techniques. Toutefois, des différences interindividuelles pourraient apparaître.

L'hypothèse H2 traduit un gain d'amplitude significatif avec une seule des deux méthodes.

Enfin, l'hypothèse H3 ne montre pas de lien entre l'amélioration de l'amplitude et la réalisation technique des éléments gymniques.

2. Le stage

2.1 Milieu professionnel

2.1.1. Organisation

J'interviens au sein du club de l'Union Sportive Ronquoise de Gymnastique (USR). Cette association affiliée à la Fédération Française de Gymnastique (FFG) est régie par la loi du 1^{er} juillet 1901 et est présidée par Thierry Cappelle. Le club est labellisé « Petite Enfance », gage de qualité de la FFG.

Elle comporte différents secteurs : la BabyGym, la section Loisirs et les secteurs compétitifs Gymnastique Artistique Féminine (GAF) et Gymnastique Artistique Masculine (GAM).

La BabyGym et la section Loisirs sont encadrées par Sébastien Vanaudenhove (BPJEPS mention Activités Gymniques) qui est épaulé par Lucie Dodin.

Le secteur GAF est sous la responsabilité de Marie Vanghelder (Master EOPS Lille), encadrant le centre de formation (école primaire - collège) ainsi que les autres gymnastes en catégorie Nationale. Les groupes engagés en catégorie Fédérale sont répartis entre les entraîneurs : Soumeya Cheurfi (animateur GAF), Chloé Dewast (Licence STAPS ES et Master APA), Lucie Dodin, Léa Cappelle (Juge niveau 2), Coline Gaden et Virginie Rufflaere (Juge niveau 3).

La partie GAM est dirigée par Thierry Cappelle (Brevet Entraîneur Fédéral) et Raphaël Dhellem (Juge niveau 2).

J'ai mis à jour l'organigramme administratif et technique. Le voici ci-dessous (**Figure 3**) :

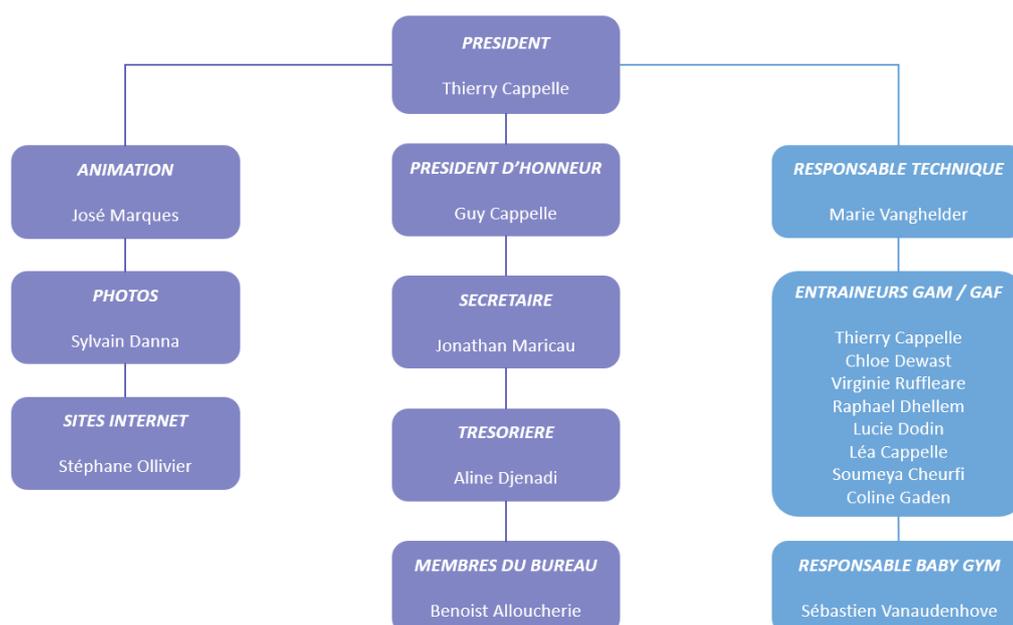


Figure 3 : Organigramme de l'US Roncq

2.1.2. Enjeux du club

Les sections Loisirs et Compétition du Club sont bien étayées. Bien qu'accueillant déjà des enfants en difficulté provenant d'IME afin de leur faire découvrir cette pratique sportive, le club souhaiterait développer le secteur des Activités Physiques Adaptées (APA). Aussi, l'ouverture d'un créneau pour les Séniors est en projet, tout comme le Free run. Toutefois, ces projets sont tributaires des encadrants et leur mise en œuvre est compromise.

2.1.3. Mes missions

Dans le cadre du master en formation initiale, j'ai réalisé au minimum 308h de stage dans cette structure sportive. Je suis intervenue en tant que préparatrice physique pour le centre de formation et le collectif de garçons en Fédérale (même groupe que celui suivi pour l'expérimentation). En lien avec la fiche RNCP, j'ai eu différentes responsabilités, établies avec les entraîneurs :

- Conception de protocoles de mesures adaptés pour l'entraînement et la performance dans le cadre du projet sportif (tests)
- Maîtrise de l'usage d'outils technologiques au service du projet de performance (analyse vidéo)
- Analyse des résultats des évaluations et l'évolution des performances
- Production d'une évaluation systémique et une caractérisation individuelle des facteurs de la performance des sportifs suivis
- Conception d'une planification, d'une programmation et de méthodes pour optimiser le potentiel des athlètes
- Mise en œuvre et adaptation des séances d'entraînement (préparation physique et mentale)
- Accompagnement du projet de développement sur les différents facteurs de la performance : préparation physique et préparation mentale.

2.2 Population

Mon étude se base sur un groupe de 16 gymnastes âgés de 7 à 18 ans (dont 7 filles et 9 garçons) ne comportant pas de blessure majeure des membres inférieurs ou du dos dans l'année. Les données anthropométriques des participants sont répertoriées dans le **Tableau 1**. L'étude inclut différentes populations réparties en 3 groupes principaux. Tout d'abord, le groupe de féminines Nationale : centre de formation CM2 et collègue (Louise, Chloé, et Eline) ainsi que les plus âgées (Marie, Valentine, Pauline, Capucine), qui s'entraînent entre 17h et 20h par semaine. Ensuite, le centre de formation pour les plus

jeunes, en Nationale (Alliya, Robin et Matthias), s’entraînant à raison de 17h par semaine. Le dernier groupe comprend les garçons concourent en Fédérale A, à raison de 6h par semaine (Nicolas, Nathan, Tom, Alex, Augustin, Nathan et Valentin). Initialement, cette étude comportait 4 gymnastes supplémentaires, mais pour des raisons diverses (blessures, absences fréquentes, niveau technique insuffisant), ils ont été exclus de l’analyse afin d’éviter tout biais statistique. Tous les sujets et leurs parents ont été avertis du protocole à suivre durant ces 4 mois (validé par l’entraîneur et le directeur de mémoire via une lettre de consentement). Ils ont tous donné leur accord mais pouvaient interrompre l’expérimentation à tout moment.

Tableau 1 : Données anthropométriques

Caractéristiques du groupe expérimental (n = 16)	
Age (années)	13,4 ± 3,8
Poids (kg)	46,8 ± 15,1
Taille (cm)	153,9 ± 19,5
IMC (kg/m ²)	19,2 ± 2,9

Ces données ont été récoltées à l’aide de courts entretiens semi-directifs (ESD) avec leur entraîneur (Marie Vanghelder ou Thierry Cappelle). En parallèle, je les ai questionnés sur des sujets annexes (nombre d’années de pratique, les sports pratiqués antérieurement, historique de blessures, leurs points forts et points faibles, etc.) Les réponses fournies m’ont permis de recruter les sujets pour mieux exploiter mes données (critères d’exclusion ou d’inclusion).

2.3 Matériels et techniques de mesures

Afin de mesurer les effets de l’entraînement en souplesse, j’ai eu recours à différents outils.

2.3.1. Les tests

Tout d’abord, j’ai veillé à choisir des tests valides, accessibles (peu de temps et de matériel), qui facilitent l’analyse des résultats, fiables et les plus pertinents possibles. Toutefois, je n’ai trouvé que des tests statiques, moins représentatifs de la discipline étudiée ici.

Le **test Thomas modifié** évalue la souplesse du muscle ilio-psoas, du quadriceps et du tenseur du fascia lata (bandelette ilio-tibiale) selon Janda (1983). Clapis et al. (2009) ont admis que ce test était fiable en utilisant un goniomètre ou un flexomètre. Le test se déroule de la manière suivante : le sujet est en décubitus dorsal sur une surface plane, avec les hanches au bord de la table. Il tient son genou le plus proche de la poitrine et veille à garder le dos contre la table et le bassin rétroversé, tout en maintenant la jambe testée relâchée dans le vide. Harvey (1998) indique que l'angle mesurant l'extensibilité du psoas iliaque est représenté par l'extension de hanche. Les points forment alors un angle genou - bassin (crête iliaque) - genou (**Tableau 4**).

Le test **Classic Sit-and-Reach (Figure 4)** dans sa version finale (CSR) évalue la flexibilité des ischio-jambiers et des muscles lombaires. Ce test nécessite une box de Sit and Reach mais une autre alternative (celle que j'ai choisie) est d'utiliser une surface plane (surélevée pour positionner ses pieds) avec un mètre. Davis et al. (2008) indiquent que pour la réalisation du test, le sujet s'assoit jambes tendues et pieds nus contre la box. L'objectif est de toucher les mains le plus loin possible devant lui. L'assistant mesure ensuite la distance (en centimètres) séparant l'extrémité de la box du bout des doigts. Leur étude a montré une très bonne fiabilité de ce test mais une validité médiocre, en accord avec les résultats de Hoeger et al. (1990). Ce constat est le même pour une population d'adolescents ou d'enfants (celle pertinente pour cette étude). Il faudra donc garder un certain recul sur les valeurs obtenues.

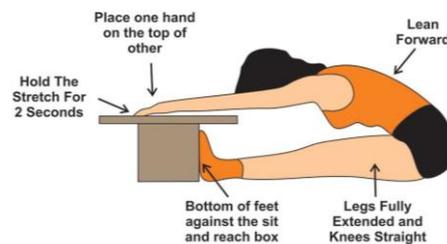


Figure 4 : Schéma du CSR (Physio-Study)¹

Le **Hip Abduction Test (HAT)** employé dans ce protocole se base sur l'étude de Rubini et al. (2011). Dans ce test, la souplesse des adducteurs de hanches peut être mesurée grâce à 2 flexomètres (fiabilité évaluée positivement pour ce test, selon la même étude). J'ai fait le choix d'utiliser Kinovea pour des raisons pratiques, en positionnant les points sur chaque tubérosité tibiale et au niveau du pubis (**Tableau 5**). Le sujet est contre un mur, sur le dos avec les hanches fléchies à 90°. L'opérateur appuie sur les jambes du sujet afin de l'amener en position d'étirement avec la plus grande amplitude possible.

¹ <https://physio-study.com/sit-and-reach-test/>

2.3.2. Le matériel

Lors de la réalisation de ces tests, j'ai utilisé mon smartphone (iPhone 12 : qualité 1080p à 30ips) afin de récolter des données photo et vidéo de différents éléments gymniques (détaillés dans le **Tableau 3**) à chaque prise de mesure. Pour cela, j'ai veillé à photographier ou filmer les gymnastes toujours avec le même angle de vue (même distance, hauteur, inclinaison). Ceci a notamment été possible grâce à un trépied ainsi que des repères dans la salle (**Figure 5**). Aussi, les mesures ont été effectuées, dans la mesure du possible, au même moment de la journée, et de l'entraînement (environ à 17h10 pour les filles et 18h10 pour les garçons, qui commencent plus tardivement). Ces éléments m'ont permis de comparer les sujets entre eux-mêmes et entre les autres, le plus objectivement possible. Afin de calibrer les appareils et trouver les prises de vue les plus stratégiques, je me suis accordée en amont une semaine de pré-tests.



Figure 5 : Matériel photo

2.3.3. Le logiciel et le traitement des données

Après la récolte des données photo et vidéo, j'ai procédé à leur analyse grâce au logiciel Kinovea (dans la version 0.9.5). J'ai utilisé différents outils (repérés par les cercles rouges sur la **Figure 6**) tels que les « angles » et « traits » ainsi que le curseur de réglage de la vitesse et de position pour les vidéos. J'ai ainsi pu annoter les fichiers.

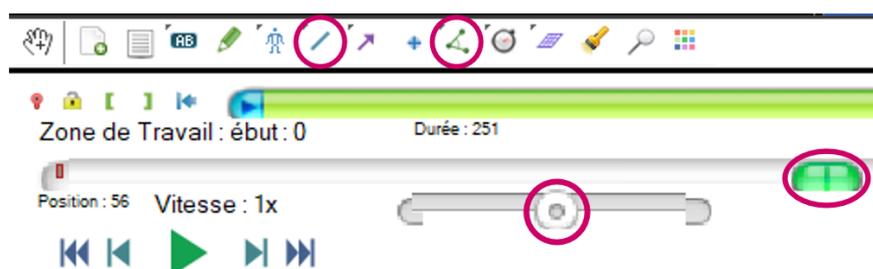


Figure 6 : Zoom Kinovéa

J'ai mis en parallèle mes analyses photos avec des tests validés scientifiquement (**Tableau 2**) afin d'objectiver les résultats.

Tableau 2 : Tests scientifiques

Test	Souplesse muscle cible	Élément gymnique correspondant	Unité de mesure
Thomas modifié	Ilio psoas Quadriceps et TFL	Grand écart antéro postérieur Saut écart antéro-postérieur	Angles (en °)
CSR Test	Ischios Jambiers Flexion lombaire	Ecrasement facial Endo, flip	Distance (en cm)
HAT	Adducteurs	Ecrasement facial Endo	2 angles (en °)

Enfin, le logiciel Kinovéa m'a permis d'analyser les photos et vidéos des gymnastes effectuant des éléments gymniques (**Tableau 3**). Ce sont des éléments de base qui sont transférables à tous les agrès (quasiment) et déclinables en termes de difficulté croissante. Ils sont communs aux filles et aux garçons et figurent tous dans le code de pointage GAM et GAF de la Fédération Internationale de Gymnastique (FIG) et ont tous la même valeur (0,10). Cela m'a ensuite permis d'effectuer un jugement des fautes techniques, sur les bases du code FIG (**Annexes 1 et 2**). Afin d'objectiver mes résultats, ces fautes ont été analysées avec une seconde personne, disposant d'un diplôme de juge délivré par la fédération française.

Tableau 3 : Eléments gymniques évalués et mesures effectuées

Elément	Photo	Modalité	Muscle cible
Écart antéro-postérieur		Statique	Psoas-iliaque
Ecart facial		Statique	Ischios-jambier et adducteurs
Pont		Statique	Dos
Saut écart antéro-postérieur au fast track		Dynamique	Psoas-iliaque
Endo		Dynamique	Ischios-jambiers et adducteurs
Flip arrière		Dynamique	Dos

2.4 Protocole

Afin de récolter le maximum de données, l'expérimentation s'est déroulée avec un seul groupe de travail. Cette méthode présente l'avantage de récolter plus de données qu'avec un groupe expérimental et un groupe contrôle, mais par ailleurs, il est plus difficile de changer le protocole au cours de l'expérimentation.

Le protocole s'est déroulé de la manière suivante (**Figure 7**) : La prise de mesures initiale (T0) s'est déroulée mi-janvier (après validation du protocole par mon directeur de stage). Elle a été suivie d'une phase expérimentale de 4 semaines avec la méthode CRE. Puis, une prise de mesures intermédiaire (T1) de 1 semaine, précédant la seconde phase expérimentale avec la méthode CRAC. Le protocole s'est achevé par une mesure finale (T2). Les mesures ont été étalées sur 1 à 2 semaines afin de ne pas faire perdre trop de temps aux gymnastes dans leur séance mais également en raison du nombre important d'éléments gymniques et tests à réaliser (**Tableau 3**).

*Remarque : la prise de mesures est indirecte ; elle correspond à la prise de vidéos ou de photos des gymnastes dans les différentes positions indiquées dans le **Tableau 3**.*

	Janvier	Février	Mars	Avril
Semaine 1			T1	
Semaine 2				T2
Semaine 3	T0			
Semaine 4				

LEGENDE

	Prise de mesure
	Méthode CRE
	Méthode CRAC

Figure 7 : Protocole

Par ailleurs, les prises de mesures ont été réalisées toujours au même moment : en début de séance, après un échauffement cardiovasculaire très rapide (afin d'élever la température corporelle et d'éviter tout risque de blessure) suivi d'un circuit training en 25s d'exercice et 15s de repos. Ce circuit comprenait 4 exercices différents : sauts groupés dans une fosse, burpees avec pompe, squats sumo et fentes sautées. Il a été réalisé 2 fois, séparé de 1min30 de repos. Les gymnastes se sont présentés par groupe de 2 à 4 personnes à chaque fois pour réaliser les 3 tests et les 6 éléments. 2 prises de mesure ont été réalisées pour chaque test/élément afin d'éliminer les éventuelles valeurs aberrantes. Les gymnastes avaient l'occasion de s'échauffer 1 fois sur les éléments dynamiques avant d'être filmés.

Le déconditionnement pouvant toucher les sportifs après quelques jours d'arrêt seulement, nous avons décidé avec l'entraîneur, de faire suivre une routine standardisée aux gymnastes qui n'effectuaient

pas les prises de mesure. Celle-ci est basée sur un circuit existant pour gagner en efficacité dans la mise en place par les gymnastes, et dans la réalisation des exercices. Ce circuit était composé d'étirements passifs d'environ 45s chacun pour une durée totale d'environ 10 minutes : écarts antéro-postérieur et facial avec jambes surélevées, dorsi-flexion jambes tendues (étirements gastrocnémiens), fermeture avec charge (étirements ischio-jambiers), antépulsion et rétropulsion épaule, ponts (4x10s). Le temps de récupération entre chaque atelier était d'environ 15s.

Afin de tirer des résultats plus significatifs, les études montrent qu'il faut privilégier la durée totale des étirements. C'est pourquoi j'ai choisi de reproduire le protocole 3 fois par semaine. Pour comparer au mieux mes sujets, j'ai tenu une fiche de présence dans laquelle j'ai noté les absences et leur durée.

J'ai décidé d'utiliser un programme d'assouplissements basé sur la méthode PNF dans la mesure où les gymnastes peuvent en tirer bénéfice plus rapidement et sans les inconvénients des autres méthodes d'après la littérature scientifique (Bandy et al. 1998 ; Etnyre et al. 1986 ; Moore et al. 1980). Pour cela, je me suis inspirée des travaux de Robert et Wilson (1999) qui préconisent 3 entraînements en contracté relâché par semaine, avec 3 répétitions de 15s. J'ai donc utilisé le premier mois le CRE avec la méthode du moment constant (l'angle était augmenté à chaque répétition), puis le second mois d'expérimentation, le CRAC. Ces deux méthodes requièrent une certaine connaissance de son anatomie ce qui aurait pu être limitant dans la réalisation mais malgré le jeune âge de certains sujets, les gymnastes ont révélé un développement moteur assez fin (sensation des contractions musculaires, douleur, repères dans l'espace, etc.).

Sheard et Paine (2010) recommandent d'effectuer une contraction volontaire située entre 60 et 65% de la contraction maximale pour obtenir le maximum de gains. N'ayant pas de matériel de mesure, j'ai dû utiliser une échelle de perception de l'effort pour estimer le curseur de douleur tolérable. Elle représente « les sentiments d'effort, de contrainte, d'inconfort et de fatigue, qu'un individu éprouve durant un exercice » (Noble et al. 1996 ; Robertson et al. 2004). Chez l'adulte, la Rating Scale of Perceived Exertion (RPE) de Borg est l'échelle la plus employée mais elle semble moins pertinente pour la population relative à mon étude (Coquart et al. 2008). J'ai donc choisi d'utiliser celle de Gros Lambert et al. (2001) : la Rating scale of Perceived Exertion for Children (RPE-C). L'échelle de cotation varie de 6 à 20 et est « associée à sept images de Gaston Lagaffe, qui semble de plus en plus fatigué ». Ces auteurs ont validé cette adaptation française de l'échelle RPE chez les enfants et les adolescents, dans le cas où les exercices se réalisent à faible intensité, comme dans le cas de mon étude. Aussi, Behm et al. (2019) ont montré que pour obtenir des gains d'amplitude, l'intensité de la douleur tolérable maximale

doit se situer entre 50% et 85%. Toutefois, une haute intensité couplée à une courte durée diminuerait le pic de force. J'ai donc demandé aux gymnastes de se situer autour d'une intensité de douleur entre 5 et 8 sur 10 sur une échelle visuelle analogique (**Annexe 3**). Tandis que l'intensité de contraction devait être proche de 14 sur 20 la RPE-C.

Le CRE demande d'amener le muscle cible en position d'étirement puis de contracter ce même muscle durant 3s. Le sujet relâche la contraction 3s puis vient l'étirer pendant 15s.

Le CRAC demande également de contracter le muscle agoniste (cible) en position d'étirement durant 3s. Le sujet vient ensuite relâcher la contraction 3s avant d'étirer 15s tout en contractant le muscle antagoniste.

Pour chaque méthode, j'ai effectué 3 répétitions par groupe musculaire et par membre, espacées de 5s de récupération. Il y avait donc un temps effectif d'assouplissements d'environ 1min30.

Dans la mesure où la durée totale de la routine est privilégiée par rapport à la durée de l'étirement effectif, la routine d'assouplissements devait être suffisamment longue. Elle était d'une durée d'environ 12 minutes et intégrait 2 postures d'étirements par groupe musculaire (le psoas-iliaque, les ischio-jambiers, les adducteurs et les muscles dorsaux). Afin de mieux comparer les effets de chaque méthode, les exercices sont restés les mêmes tout au long de l'expérimentation.

En amont des tests, chaque consigne a été expliquée avec des mots simples et je m'assurais que les gymnastes les aient bien comprises et qu'ils ressentent l'étirement et/ou la contraction. Il s'agit de la phase de familiarisation. Cette phase est aussi une occasion pour eux d'en apprendre plus sur l'anatomie et le fonctionnement de leur corps.

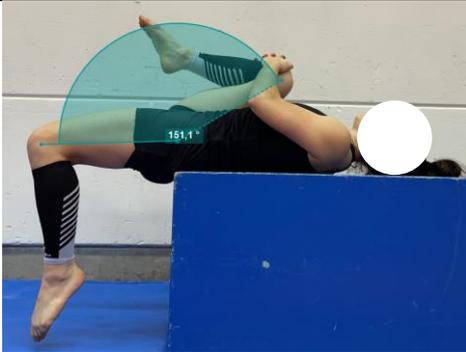
Description du protocole d'assouplissements par muscle

2.4.1. Etirements psoas-iliaque : fentes

En position de fente, le bassin rétroversé, venir chercher une extension de hanche jusqu'au seuil de douleur tolérable. La descente s'accompagne en pliant le genou avant et en tendant la jambe arrière (le genou n'est donc pas posé au sol à l'arrière). Faire l'exercice avec la jambe droite en avant puis la jambe gauche (**Tableau 4**).

La contraction du muscle agoniste (psoas iliaque) s'effectue par l'intention de faire une flexion de hanche (rapprocher le genou) tandis que le muscle antagoniste (grand fessier) se contracte avec l'intention d'effectuer d'extension hanche.

Tableau 4 : Etirement et test psoas-iliaque

Étirements	Test correspondant
	
	Thomas modifié

2.4.2. Étirements ischio-jambiers : fermetures unilatérales

Cet étirement se réalise avec un pied au sol et le second reposant sur un support en hauteur (cheval d'arçons). Le gymnaste enclenche la hanche (antéversion associée à une fermeture tronc-jambe) avec la jambe semi-fléchie. Lorsqu'il arrive à son maximum, il doit tendre sa jambe au fur et à mesure. Il doit veiller bien à garder le bassin dans l'axe pour ne pas recruter les adducteurs. Précisons aussi que la jambe tendue n'est pas forcément un gage de réussite dans la mesure où elle donne une information sur la souplesse des gastrocnémiens. L'exercice est réalisé avec la jambe droite sur le support puis la jambe gauche (**Figure 8**).

La contraction du muscle agoniste (ischio-jambiers) s'effectue avec l'intention d'appuyer dans le sol avec son talon. Pour contracter le muscle antagoniste (quadriceps), le gymnaste va auto-repousser avec ses mains, sa jambe semi-fléchie en extension de hanche.

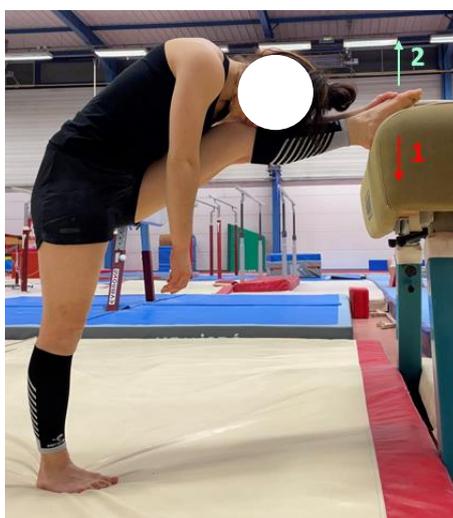


Figure 8 : Fermeture unilatérale

2.4.3. Etirements dos : scorpion et chandelier inversé (culbuto)

Le scorpion cible la partie lombaire du dos. Il prend départ allongé, ventre au sol, les paumes face au sol, à côté des épaules. Le gymnaste pousse dans les bras pour atteindre l'hyper extension lombaire, tout en veillant à garder le bassin au sol (**Figure 9**).

La contraction du muscle agoniste (lombaires) s'effectue avec une extension volontaire du buste, sans l'aide des mains. Le gymnaste contracte volontairement les abdominaux et psoas iliaque pour solliciter les muscles antagonistes (par l'intention de flexion de hanche).



Figure 9 : Etirement scorpion

Le chandelier inversé (culbuto) cible essentiellement les parties cervicale et thoracique du dos (mais aussi lombaire). Le gymnaste, sur le dos, emmène son bassin au-dessus de sa tête (flexion lombaire) et les jambes le plus loin derrière possible, de sorte à ce qu'elles soient à l'horizontale (au minimum) (**Figure 10**).

La contraction des muscles agonistes se fait en contractant toute la chaîne postérieure (redresser la tête et serrer les fessiers). Le gymnaste contracte volontairement les abdominaux et le psoas iliaque pour solliciter les muscles antagonistes (volonté de se mettre en boule).



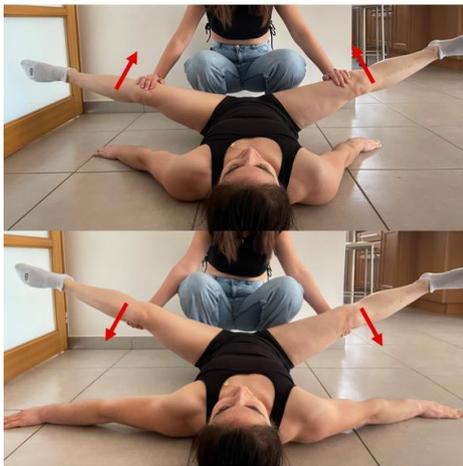
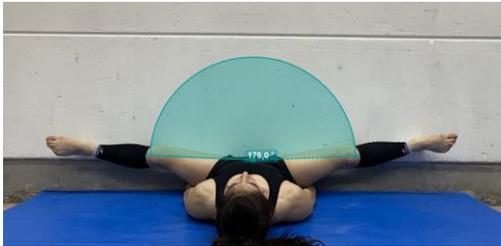
Figure 10 : Etirement culbuto

2.4.4. Étirements adducteurs :

Cet étirement s'effectue en binôme (**Tableau 5**). Sur le dos, le gymnaste effectue une abduction jambes tendues. Lorsqu'il sent une tension dans les adducteurs, il repousse les mains de son binôme (adduction).

La contraction du muscle antagoniste (abducteurs) se fait en repoussant les mains de son partenaire vers le sol (il place ses mains sous les genoux).

Tableau 5 : Étirement et test adducteurs

Étirements	Test correspondant
	 <p data-bbox="884 1081 1238 1115">Hip Abduction Test (HAT)</p>

3. Résultats

3.1 Présentation

Le nombre de sujets pour cette étude est de 16 (n=16). Il est constitué de 7 filles et 9 garçons, d'âges compris entre 7 et 18 ans et de niveaux (Fédérale et Nationale) différents. Les données de 3 tests scientifiques et 6 éléments techniques (dont 3 statiques et 3 dynamiques) sont récoltées dans un document Excel (version 2304). Le logiciel Anostat est employé afin de procéder au traitement statistique et de déterminer le niveau de significativité de l'entraînement.

Remarque : Pour les grand écarts, sauts grand écart et le Thomas modifié, les jambes droite et gauche sont analysées, d'où le nombre important de données.

Comparaison des gains de souplesse avec les méthodes CRE et CRAC

Nous avons vérifié la normalité (test de Shapiro-Wilk) et l'homogénéité des variances (test de Levene) des paramètres suivants : valeurs des angles (en degrés) des 6 éléments techniques et 2 tests scientifiques, ainsi que la distance en cm du test scientifique (CSR). La distribution n'étant pas normale et les variances hétérogènes, j'ai donc utilisé le test non paramétrique de Wilcoxon (**Tableau 6**) pour comparer les valeurs des angles entre T0 et T1 (méthode CRE) et entre T1 et T2 (méthode CRAC) collectées sur 2 échantillons appariés.

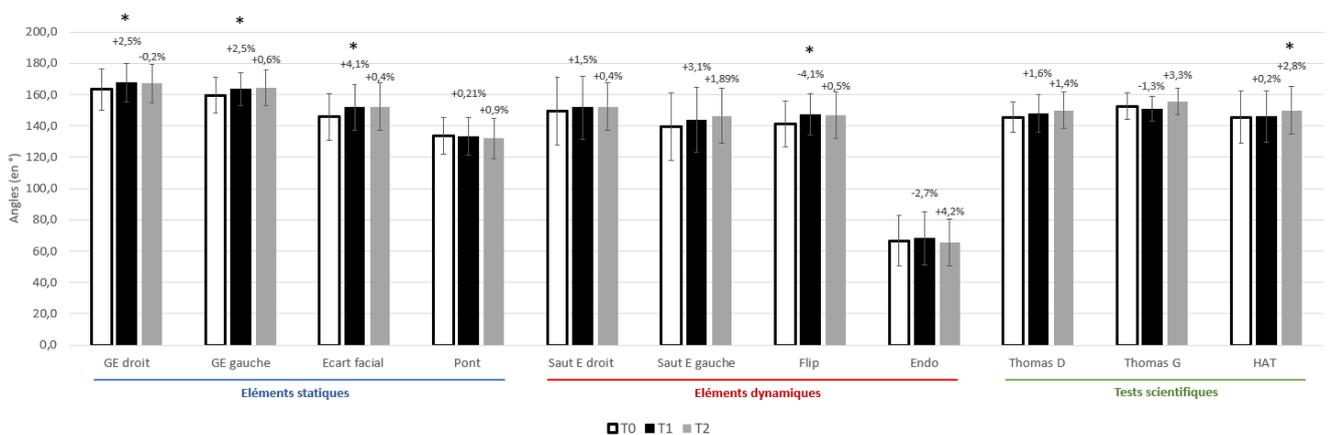


Figure 11 : Comparaison des gains moyens d'angles avec la méthode CRE et CRAC

Sur le diagramme en barres verticales (**Figure 11**) figurent les deltas moyens des gains d'amplitude articulaire (en %). On note des améliorations significatives (* $p < 0,025$) après T1 pour les amplitudes des grands écarts droits, gauche et le flip arrière. Les valeurs du HAT, quant à elles, ne deviennent significatives qu'à T2.

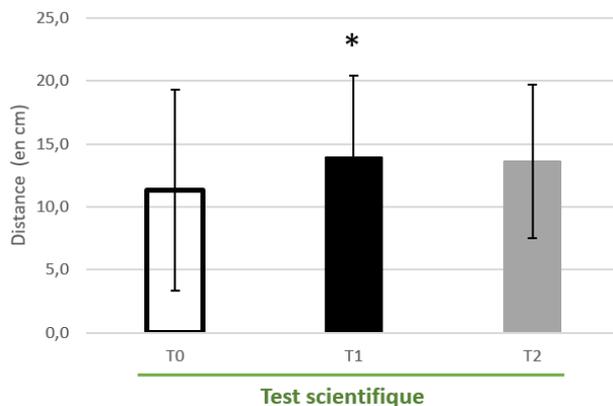


Figure 12 : Comparaison des gains moyens de centimètres avec la méthode CRE et CRAC au CSR

La **Figure 12** représente l'évolution des gains moyens en centimètres pour le CSR. On constate un gain significatif (* $p < 0,025$) après la méthode CRE.

Tableau 6 : Test de Wilcoxon (comparaison des gains)

	GE droit	GE gauche	Ecart facial	Pont	Saut E droit	Saut E gauche	Flip	Endo	Thomas D	Thomas G	HAT	CSR
T0/T1	0,00	0,02	0,00	0,40	0,26	0,15	0,02	0,44	0,19	0,13	0,20	0,00
T1/T2	0,42	0,17	0,32	0,26	0,21	0,12	0,40	0,18	0,17	0,17	0,00	0,35

$p < 0,025$

Comparaison des gains de souplesse active et passive

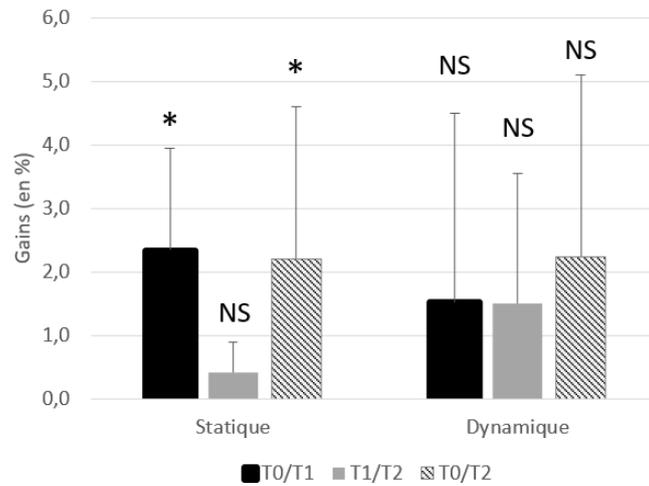


Figure 13 : Comparaison des gains d'amplitude pour les technique statiques VS dynamiques

La **Figure 13** compare, sous forme de diagramme en barres, les gains d'amplitude pour les éléments statiques ou dynamiques après la méthode CRE (T0/T1), CRAC (T1/T2) et après l'entièreté du protocole (T0/T2).

Le test t de Student (paramétrique) a été employé pour comparer l'ensemble des valeurs d'angles.

Tableau 7 : Test t Student (comparaison souplesse active VS passive)

	Statique		Dynamique	
	p-value	Conclusion	p-value	Conclusion
T0/T1	0,00	<0,0001	0,15	NS
T1/T2	0,65	NS	0,45	NS
T0/T2	0,00	<0,0001	0,07	NS

Je constate une différence significative ($*p < 0,0001$) sur le gain d'amplitude sur les éléments statiques après le protocole CRE (**Tableau 7**) et entre le début et la fin de l'étude. Tandis que les différences sont non significatives (NS) pour les éléments dynamiques. Les figures 10 et 11 ciblent des améliorations significatives sur 4 éléments techniques statiques à T1 contre 1 seul en dynamique.

Corrélation entre les gains d'amplitude et les points de fautes

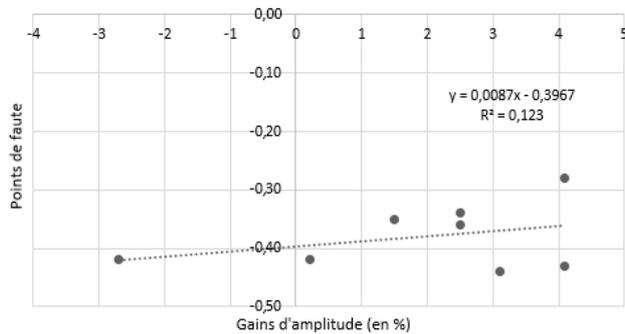


Figure 14 : Corrélation entre les gains d'amplitude et les points de faute (T0/T1)

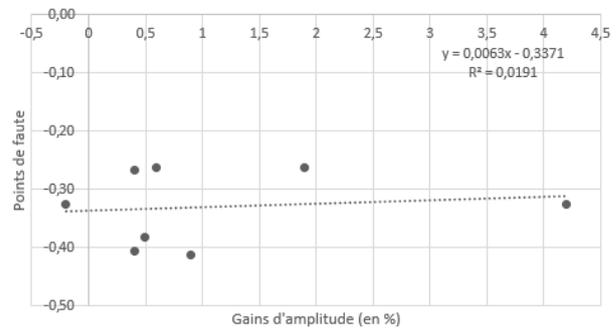


Figure 15 : Corrélation entre les gains d'amplitude et les points de faute (T1/T2)

La corrélation entre les gains d'amplitude et les points de fautes pour chaque élément technique a été établie grâce à des graphiques en nuages de points, pour la méthode CRE ou T0/T1 (**Figure 14**) et pour la méthode CRAC ou T1/T2 (**Figure 15**).

La distribution étant anormale et les variances hétérogènes, le test non paramétrique de Spearman a été employé pour déterminer le degré de significativité.

Tableau 8 : Test de Spearman (corrélations gains amplitude et points fautes)

	T0/T1	T1/T2
ρ	0,03	0,24
Conclusion	Les classements sont indépendants (p unilatéral $> 0,025$)	

Il n'y a aucune corrélation entre ces deux paramètres pour la méthode CRE ($\rho = 0,036$) ni pour la méthode CRAC ($\rho = 0,24$) pour un risque d'erreur de 5% (avec un p unilatéral). Les facteurs sont donc indépendants (**Tableau 8**).

Effet de l'âge et du sexe sur la souplesse

Tableau 9 : Test de Wilcoxon (effet de l'âge sur les valeurs des angles)

	≤ 12 ans (n=9)	> 12 ans (n=7)
T0/T1	0,04*	0,00*
T1/T2	0,11	0,4

J'ai comparé l'effet de sexe sur les valeurs des angles. J'ai choisi de prendre comme repère 12 ans, représentant la médiane du groupe. Pour ce faire, j'ai utilisé le test non paramétrique de Wilcoxon à 2 voies (T0/T1 et T1/T2), les valeurs n'étant pas normales et hétérogènes. Il compare alors 2 échantillons appariés. L'effet de l'entraînement est significatif (* $p < 0,05$) pour les deux populations après la méthode CRE (T0/T1) (**Tableau 9**).

Tableau 10 : Test de Wilcoxon (effet du sexe sur les valeurs des angles)

	Filles (n=7)	Garçons (n=9)
T0/T1	0,04*	0,00*
T1/T2	0,35	0,049*

J'ai utilisé la même démarche pour évaluer l'effet de l'entraînement en fonction du sexe. Je constate une amélioration significative (* $p < 0,05$) des angles chez la population masculine quelle que soit la méthode. Je note une différence significative chez les filles, uniquement pour la méthode CRE (**Tableau 10**).

3.2 Discussion

J'ai pu mettre en évidence dans cette étude, une évolution globalement positive de la souplesse des 16 sujets étudiés. Les gains les plus significatifs apparaissent sur la souplesse passive après la méthode CRE. Ces résultats sont communs aux études de Ferber et al. (2002), de Feland et al. (2001). Celles de Hardy et al. (1986), de Spornoga et al. (2001) ou de Ferraz et al. (2010) montrent également des gains en souplesse passive sans détailler le type de méthode employée (parmi les étirements PNF).

L'étude de Marek (2005) a aussi démontré des améliorations sur l'amplitude active, avec une durée de routine proche de la mienne (environ 15 minutes), ce que je n'ai pas observé dans mon travail.

Mes résultats n'indiquent pas d'amélioration significative avec la méthode CRAC contrairement à l'étude de Nagarwal et al. (2009) qui comparait les deux mêmes méthodes d'étirements PNF. Cela peut s'expliquer du fait que l'étude portait sur une population plus âgée (sujets de 25 ans) et uniquement masculine. Mais il est aussi possible que la première méthode que j'ai utilisée ait potentialisé les résultats de la seconde. Ajouté à cela, en seconde partie de protocole, les gymnastes étaient moins assidus, notamment en raison des vacances et blessures qui se multipliaient. D'autre part, je n'ai pas constaté d'évolution significative en souplesse active (hormis pour le flip arrière). Ceci est probablement dû à l'imprécision de l'analyse sur Kinovéa (pour les éléments dynamiques), en l'absence de repères corporels. L'aspect physiologique intervient également, et notamment la boucle gamma peut inhiber les capacités d'étirement, lorsque le tonus est trop important.

Mes résultats n'indiquent pas de corrélation significative entre les gains d'amplitude articulaire et la déduction de points lors du jugement des éléments gymniques. Toutefois, après T1, cette corrélation tend vers la significativité ($p=0,036$). Même si l'amplitude tend vers celle recherchée, le jugement est influencé par la technique. Les disparités de niveau compétitif entre les gymnastes ont donc pu interférer dans mon étude. Ce sujet n'a pas encore été abordé dans la littérature scientifique, il est donc difficile d'émettre des comparaisons.

L'analyse statistique montre un effet du sexe sur les gains d'amplitude. En effet, les gains semblent supérieurs chez la population masculine après le protocole CRE. Cela peut être dû à leur raideur moyenne supérieure en début d'expérimentation. Concernant l'âge, les deux populations ont obtenu des gains significatifs pour la méthode CRE seulement. Il n'y a donc pas d'effet de l'âge sur la souplesse. Ces résultats sont d'ailleurs partagés avec l'étude de Kanbur et al. (2005).

Limites des outils et méthodes employés

Malgré le soin accordé au protocole, il existe d'autres biais pouvant compromettre l'interprétation de mes résultats.

L'évaluation des gains en souplesse d'un seul muscle (ou groupe musculaire) sur un élément spécifique est parfois faussée dans la mesure où chaque muscle fonctionne en synergie avec d'autres. De plus, certains participants ont effectué quelques étirements chez eux, en plus de leur pratique régulière et les entraîneurs laissaient la possibilité de s'étirer ou non juste après la séance ; les gymnastes pouvaient alors cibler les points de tensions qui leur étaient propres. Ajoutons qu'il était difficile de faire passer les gymnastes à la même heure suivant T0, T1 et T2 et qu'il y avait un décalage horaire entre les 2 groupes d'entraînement (environ 1h d'intervalle), ce qui a pu fausser légèrement les résultats.

Enfin, rappelons que mon étude se base sur un ensemble d'articles scientifiques, uniquement vrais dans le contexte de leur étude. Il existe de nombreux paramètres différents des miens (population, outils de mesures, etc.), ce qui ne peut garantir des résultats semblables. L'application de mes résultats de leur analyse ne pourra pas forcément être applicable à une étude similaire.

4. Conclusion

Pour conclure, cette étude présente des améliorations significatives quant aux effets de la méthode CRE sur les capacités d'étirement de la population, et notamment sur les éléments statiques. Tandis qu'elle ne comporte pas de différences significatives sur le protocole CRAC, que ce soit en souplesse passive ou en souplesse active. On valide donc les hypothèses H2 (gain d'amplitude avec une seule des deux méthodes) et H3 (aucun lien entre gains d'amplitude et qualité d'exécution).

L'intervention de ce protocole a également permis à l'ensemble des gymnastes d'améliorer leurs performances (réduction de la perte de points), passant d'en moyenne -0,44 (T0) à -0,33 (T2). Malgré la non significativité statistique, les entraîneurs (GAF) ont observé des gains d'amplitude dans les sauts gymniques. Les gymnastes GAM et GAF ont quant à eux perçu une diminution du seuil de douleur pour un même étirement. La catégorie d'âge n'a pas d'effet sur les valeurs des angles. Aussi, je constate une différence d'amplitude après T1 et T2 chez les garçons, que je n'observe pas chez les filles.

Pour compléter cette étude, il aurait pu être intéressant de se pencher sur la souplesse du haut du corps, et notamment des épaules, très sollicités en GAM (4 agrès de bras), d'autant plus que son fonctionnement diffère des membres inférieurs (Notarnicola et al., 2017). D'autre part, si je devais reprendre ce sujet, je choiserais de travailler par groupe musculaire (et non les muscles individuellement) dans la mesure où les éléments gymniques font appel à une certaine synergie. Aussi, il pourrait être pertinent d'employer la méthode de Mirwald pour comparer les sujets adolescents entre eux selon leur stade de développement biologique dans la phase de puberté, étant donné les grandes divergences de profils. Elle est facilement applicable sur le terrain et nécessite peu de mesures (âge, poids et rapport taille assise / taille debout). Je pourrais également cibler les effets des assouplissements à l'échauffement ou en récupération, voire comparer d'autres méthodes (balistiques, activo-dynamique...) ou les niveaux compétitifs (Nationale et Fédérale). Enfin, l'utilisation d'outils d'analyse plus précis et fiables ainsi qu'un plus grand nombre de gymnastes me permettrait une meilleure interprétation des résultats.

5. Liste des références bibliographiques

Akyüz Ö. Effect of Aerobic Loading on Static Balance in Young Athletes. *Journal of Education and Training Studies* 2017; 5(3) : 154-159.

Alibert F. Analyse de l'effet à court et à long terme des étirements sur la performance par le biais d'une revue de littérature [Travail écrit de fin d'études]. Institut Régional de Formation aux Métiers de Rééducation et de Réadaptation des Pays de Loire 2013.

Azizi E, Brainerd EL, and Roberts TJ. Variable gearing in pennate muscles. *Proc Natl Acad Sci* 2008; 105: 1745-1750.

Bandy WD, Iron JM, Briggler M. The effect of static stretch and dynamic range of motion training on the flexibility of the hamstring muscles. *J Orthop Sports Phys Ther* 1998; 27(4) : 295-300.

Beedle BB, Leydig SN, and Carnucci JM. No Difference in Pre-and Postexercise Stretching on Flexibility. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2007; 21 : 780-783.

Beighton P, Grahame R, Bird H. Hypermobility of joints. 2012.

Bellaud E, Renault D, Gremion G, Bertucci W. Connaissances actuelles sur les effets des étirements : aspects théoriques et pratiques. Partie 1 - Aspects théoriques. 2013; (9) : 17-30.

Bonnar BP, Deivert RG, Gould TE. The relationship between isometric contraction durations during hold-relax stretching and improvement of hamstring flexibility. *J Sports Med Phys Fitness* 2004; 44 (3) : 258-61

Bradley PS, Olsen PD, Portas MD. The effect of static, ballistic and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation stretching on vertical jump performance. *Journal of Strength and Conditioning Research* 2007. 21(1), 223-226.

Bruggemann GP. Biomechanics of gymnastic techniques. *Sport Sci Rev*. 1994; 3(2) : 79–120.

Bruggemann GP. Mechanical loading and tissue response in young elite gymnasts. *Applied proceedings: gymnastics* 2002; 10–22.

Caine DJ. Injury and growth. In: Sands WA, Caine DJ, Borms J, editors. Scientific aspects of women's gymnastics. *Medicine and Sport Science* 2002; 45 : 46–71.

- Canal M. La souplesse : quelques mises au point. *J. Traumatol. Sport* 2005; (22) : 32 - 43.
- Carvalho FLP, Prati JELR, Carvalho MCGA et Al. Acute effects of static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation stretching on the performance of vertical jump in adolescent tennis players. *Fitness and Performance Journal* 2009. 8(4), 264-268.
- Cejudo A, Ayala F, De Baranda PS, Santonja F. Reliability of two methods of clinical examination of the flexibility of the hip adductor muscles. *Int J Sports Phys Ther* 2015; 10(7) : 976-83.
- Chaouachi A, Castagna C, Chtara M, Brughelli M, Turki O, Galy O, Chamari K, and Behm DG. Effect of warm-ups involving static or dynamic stretching on agility, sprinting, and jumping performance in trained individuals. *Journal of strength and conditioning research* 2010; 24(8) : 2001-11.
- Cipriani D, Abel B and Pirrwitz D. A comparison of two stretching protocols on hip range of motion : implication for total daily stretch duration. *J Strength Cond Res* 2003; 17 : 274-278.
- Cipriani DJ, Terry ME, Haines MA, Tabibnia AP, and Lyssanova O. Effect of Stretch Frequency and Sex on the Rate of Gain and Rate of Loss in Muscle Flexibility During a Hamstring-Stretching Program: A Randomized Single-Blind Longitudinal Study. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2012; 26 : 2119-2129.
- Clapis PA, Davis SM, Davis RO. Reliability of inclinometer and goniometric measurements of hip extension flexibility using the modified Thomas test. *Physiotherapy Theory and Practice* 2008; 24(2) : 135-41.
- Coquart J, Lensele G and Garcin M. Perception de l'effort chez l'enfant et l'adolescent : mesure et intérêts. 2009; 24(3-4), 0- 145.
- Dallas G, Smirniotoy A, G. Tsiganos G, Tsopani D, Di Cagno A and Tsoiakisa CH. Acute effect of different stretching methods on flexibility and jumping performance in competitive artistic gymnasts. *J Sports Med Phys Fitness* 2014; 54 : 683-90.
- Davis DS, Ashby PE, McCale KL, et al. The effectiveness of 3 stretching techniques on hamstring flexibility using consistent stretching parameters. *J Strength Cond Res.* 2005; 19(1) : 27-32.
- Davis DS, Quinn RO, Whiteman CT, Williams JD, Young CR. Concurrent Validity of Four Clinical Tests Used to Measure Hamstring Flexibility. *The Journal of Strength & Conditioning Research* 2008; 22(2) : 583.

- Etnyre BR, Abraham LD. Gains in range of ankle dorsiflexion using three popular stretching techniques. *Am J Physical Med*. 1986; 65(4) : 189- 96.
- Etnyre BR, Lee EJ. Chronic and acute flexibility of men and women using three different stretching techniques. *Res Q unassisted PNF stretching made easy* 1988; 59 (3) : 222-8.
- Feland JB, Marin HN. Effect of submaximal contraction intensification in contract-relax proprioceptive neuromuscular facilitation. *Br J Sports Med* 1955; 33: 536-41.
- Feland JB, Myrer JW, Merrill RM. Acute changes in hamstring flexibility: PNF versus static stretch in senior athletes. *Phys Ther Sport* 2001; 2 : 186-93.
- Ferraz NVA, De Oliveira DAAP, De Oliveira RF et Al. Influence of stretching hamstrings and calf muscles on active knee extension. *Revista terapia manual, fisioterapia manipulativa* 2010. 8(39), 377-381.
- Franco BL, Signorelli GR, Trajano GS et Al. Acute effects of three different stretching protocols on the wingate test performance. *Journal of Sports Science and Medicine* 2012; 11, 1-7.
- Ferber R, Osterning LR, Gravelle DC. Effect of PNF stretch techniques on knee flexor muscle EMG activity in order adult. *J Electromyogr Kinesiol* 2002; 12 : 391-7.
- Ferber R, Osternig L, Gravelle D. Effect of PNF stretch techniques on knee flexor muscle EMG activity in older adults. *J Electromyogr Kinesiol* 2002; 12 (5) : 391-7.
- Flannagan SP. Mobility. *NSCA's guide to tests and assessments* 2012; 275-94.
- Freitas SR, Vilarinho D, Rocha Vaz J, Bruno PM et al. Responses to static stretching and dependant on stretch intensity and duration. *Clinical physiology and functional imaging* 2015; 35 : 478-484.
- Funk DC, Swank AM, Mikla BM, Fagan TA, and Farr BK. Impact of prior exercise on hamstring flexibility: a comparison of proprioceptive. 2003; 489-492.
- Gajdosik RL. Passive extensibility of skeletal muscle: review of the literature with clinical implications. *Clin Biomec* 2001; 16: 87-101.
- Grahame R. Joint hypermobility and genetic collagen disorders: are they related? *Arch Dis Child*. 1999; 80 : 188-91.

- Gros Lambert A, Hintzy F, Hoffman MD, Dugué B, Rouillon JD. Validation of a rating scale of perceived exertion in young children. *Int J Sports Med* 2001; 22 : 116-9.
- Guissard N, Duchateau J. Neural aspects of muscle stretching. *Exerc Sport Sci Rev* 2006; 34(4) : 154-8.
- Han DG. The other mechanism of muscular referred pain: the «connective tissue» theory. *Med Hypotheses* 2009; 73 : 292-295.
- Hardy L, Jones D. Dynamic flexibility and proprioceptive neuromuscular facilitation. *Res Q* 1986; 57 (2) : 150-3.
- Harvey D. Assessment of the flexibility of elite athletes using the modified Thomas test. *British Journal of Sports Medicine* 1998; 32 : 68-70.
- Hoeger WW, Hopkins DR, Button S, Palmer TA. Comparing the sit and reach with the modified sit and reach in measuring flexibility in adolescents. *Pediatric Exercise Science* 2 1990 ; 156-162.
- Holt JH, Pelham TW. Flexibility redefined. *Biomechanics in Sports. Thunder Bay* 1996; 170-174.
- Hubley-Kozey CL. Testing flexibility. *Physiological testing of the high-performance athlete* 1991; 309-59.
- Huelke DF. Anatomy of the human cervical spine and associated structures. *The human neck-anatomy, injury mechanisms and biomechanics* 1979; 1-7.
- Janda V. Muscle testing and function. 1983; 230-4.
- Kanbur NÖ, Düzgün I, Derman O and Baltacı G. Do sexual maturation stages affect flexibility in adolescent boys aged 14 years? *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 2005; 45(1) : 45-57.
- Kokkonen J, Nelson AG, Eldredge C, and Winchester JB. Chronic static stretching improves exercise performance. *Medicine and science in sports and exercise* 2007; 39 : 1825-1831.
- Maas H and Sandercock TG. Force transmission between synergistic skeletal muscles through connective tissue linkages. *Journal of biomedicine & biotechnology* 2010.
- Magnusson SP, Narici MV, Maganaris CN, and Kjaer M. Human tendon behaviour and adaptation, in vivo. *J Physiol* 2008; 586 : 71-81.

Mahieu NN, McNair P, De Muynck M, Stevens V, Blanckaert I, Smits N, and Witvrouw E. Effect of static and ballistic stretching on the muscle-tendon tissue properties. *Med Sci Sports Exerc* 2007; 39 : 494-501.

Malina RM, Baxter-Jones AD, Armstrong N, et al. Role of intensive training in the growth and maturation of artistic gymnasts. *Sports Med.* 2013; 43(9) : 783-802.

Manno R. Les bases de l'entraînement sportif. *Ed. Revue EPS* 1992.

Marchetti PH, Miyatake MMS, Magalhaes RA et al. Different volumes and intensities of static stretching affect the range of motion and muscle force output in well-trained subjects. *Sports Biomech* 2019; 1-10.

Marchetti PH, Miyatake MMS, Magalhaes RA, Gomes WA, Da Silva JJ, Brigatto FA, Zanini TCC, and Behm DG. Different volumes and intensities of static stretching affect the range of motion and muscle force output in well-trained subjects. *Sports Biomech* 2019; 1-10.

Marek M, Cramer JT, Fincher AL et Al. Acute Effects of Static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Muscle Strength and Power Output. *Journal of Athletic Training* 2005; 40(2), 94-103.

Marques AP, Vasconcelos AA, Cabral CM, and Sacco IC. Effect of frequency of static stretching on flexibility, hamstring tightness and electromyographic activity. *Brazilian journal of medical and biological research* 2009; 42 : 949-953.

Mayorga-Vega D, Merino-Marban R, Viciano J. Criterion-Related Validity of Sit-and-Reach Tests for Estimating Hamstring and Lumbar Extensibility: a Meta-Analysis. *J Sports Sci Med* 2014; 13(1) : 1-14.

McNeal JR, Sands WA. Stretching for performance enhancement. *Curr Sports Med Rep* 2006; 5 : 141-6.

Moore MA, Hutton RS. Electromyographic investigation of muscle stretching techniques. *Med Sci Sports Exerc* 1980; 12(5) : 322-9.

Myer GD, Faigenbaum AD, Chu DA, Falkel J, Ford KR, Best TM, and Hewett TE. Integrative training for children and adolescents: techniques and practices for reducing sports-related injuries and enhancing athletic performance. *Phys Sportsmed* 2011; 39 : 74-84.

Nagarwal AK, Zutshi K, Ram CS and Zafar R. Improvement of Hamstring Flexibility: A Comparison between Two PNF Stretching Techniques. *International Journal of Sports Science and Engineering* 2010; 4(1) : 25-33.

Nelson KC, Cornelius WL. The relationship between isometric contraction durations and improvement in shoulder joint range of motion. *J Sports Med Phys Fitness* 1991; 31(3) : 385-8

Noble BJ, Robertson RJ. The Borg scale: development, administration, and experimental use. 1996; 59-92.

Notarnicola A, Perroni F, Campese A, Maccagnano G, Monno A, Moretti B, and Tafuri S. Flexibility responses to different stretching methods in young elite basketball players. *Muscles Ligaments Tendons J* 2017; 7 : 582-589.

Özer Ö, Soslu R. The Effects of Specific Stretching Exercises on Flexibility and Balance Parameters in Gymnastics. *JEL* 2019; 8(5) : 136.

Reiss D, Prévot P. La nouvelle bible de la préparation physique. 2020.

Roberts JM and Wilson K. Effect of stretching duration on active and passive range of motion in the lower extremity. *British journal of sports medicine* 33: 259-263, 1999.

Robertson RJ. Perceived exertion. Perceived exertion for practitioners: rating effort with the OMNI picture system. Champaign, USA: Human Kinetics 2004; 1-9.

Rubini EC, Souza AC. Immediate Effect of Static and Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching on Hip Adductor Flexibility in Female Ballet Dancers. *J Dance Med Sci* 2011; 15(4) : 177-81.

Ryan ED, Herda TJ, Costa PB, Defreitas JM, Beck TW, Stout J, and Cramer JT. Determining the minimum number of passive stretches necessary to alter musculotendinous stiffness. *J Sports Sci* 2009; 27: 957-961.

Ryan ED, Herda TJ, Costa PB, Walter AA, and Cramer JT. Dynamics of viscoelastic creep during repeated stretches. *Scand J Med Sci Sports* 2012; 22: 179-184.

Sands WA, McNeal JR, Penitente G, Murray SR, Nassar L, Jemni M, et al. Stretching the Spines of Gymnasts: A Review. *Sports Med* 2016; 46(3) : 315-27.

Sato S, Kiyono R, Takahashi N, Yoshida T, Takeuchi K, and Nakamura M. The acute and prolonged effects of 20-s static stretching on muscle strength and shear elastic modulus. 2020; 15.

Sharman MJ, Cresswell AG, Riek S. Proprioceptive Neuromuscular Facilitation Stretching. *Sports Med* 2006; 36(11) : 929-39.

Sheard PW and Paine TJ. Optimal contraction intensity during proprioceptive neuromuscular facilitation for maximal increase of range of motion. *J Strength Cond Res* 2010; 24 : 416-421.

Shrier I. Myths and truth of stretching: Individualized recommendations for healthy muscles. *Phys Sports Med* 2000; 28(8).

Shrier I. Does Stretching improve performance ? *Clin J Sport Med* 2004; 14(5) : 267-73.

Spernoga SG, Uhl TL, Arnold BL, et al. Duration of maintained hamstring flexibility after a one-time, modified hold-relax stretching protocol. *J Athl Train* 2001; 36(1) : 44-8.

Spernoga SG, Uhl TL, Arnold BL et Al. Duration of maintained hamstring flexibility after a one-time, modified hold-relax stretching protocol. *Journal of Athletic Training* 2001. 36(1), 44-48.

Takeuchi K and Nakamura M. Influence of High Intensity 20-Second Static Stretching on the Flexibility and Strength of Hamstrings. *Journal of sports science & medicine* 2020; 19: 429-435.

Turki O, Chaouachi A, Behm DG, Chtara H, Chtara M, Bishop D, Chamari K, and Amri M. The effect of warm-ups incorporating different volumes of dynamic stretching on 10- and 20-m sprint performance in highly trained male athletes. *J Strength Cond Res* 2012; 26 : 63-72.

Wallin D, Ekblom B, Grahn R, and Nordenborg T. Improvement of muscle flexibility. A comparison between two techniques. *Am J Sports Med* 1985; 13 : 263-268.

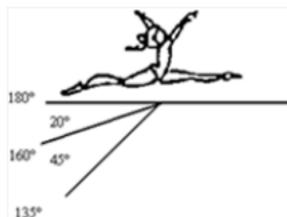
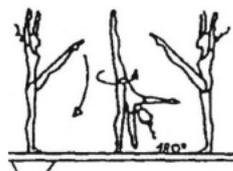
6. Annexes

Annexe 1 : Dédutions sur les sauts écarts (extrait du code de pointage GAF)

Note : Sauts (Jump et leap) avec écart : écart de jambes de 180° demandé.

9.2.3 Exigences pour les écarts

Pour angle d'écart insuffisant dans les sauts (*leaps, jumps*) et les tours



Écart insuffisant

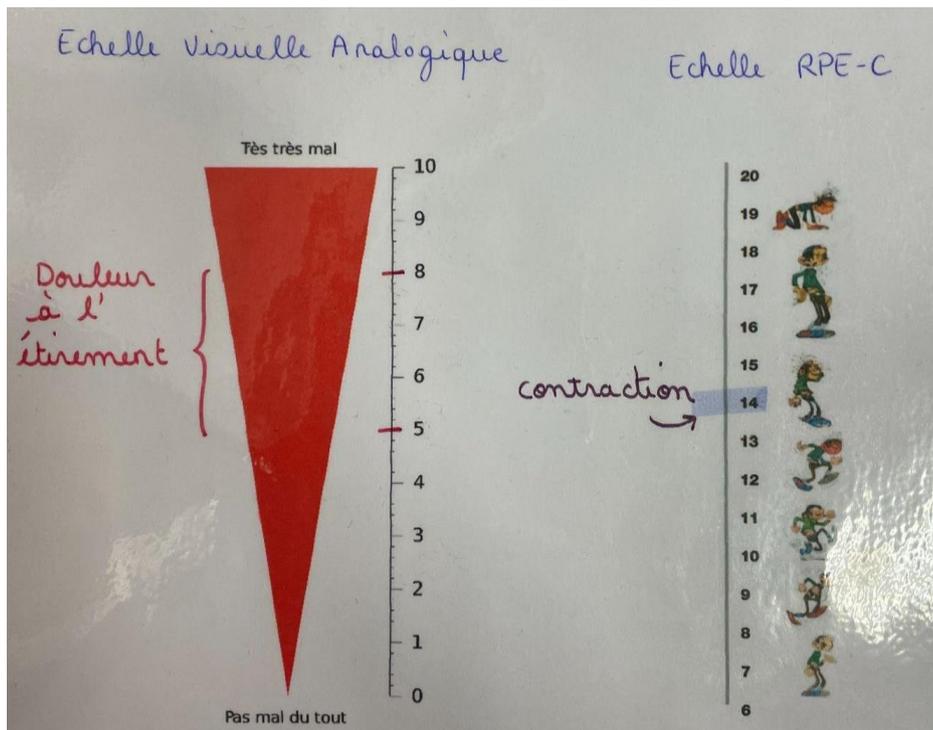
- > 0° - 20° petite faute
- > 20° - 45° faute moyenne
- > 45° on donne la valeur d'un autre élément du code ou pas de VD

Annexe 2 : Fautes d'exécution générales (extrait du code de pointage GAM/GAF)

Section 8.3 — Tableau des fautes générales et des pénalisations

Fautes		Petite	Moyenne	Grosse	Très grosse
		0.10	0.30	0.50	1.00 ou plus
Par le jury E					
Fautes d'exécution					
- Bras fléchis ou genoux fléchies	Ch. fois	X	X	X	
- Jambes ou genoux écartés	Ch. fois	X	X largeur des épaules ou plus		
- Jambes croisées dans les éléments avec vrilles	Ch. fois	X			
- Hauteur insuffisante des éléments (<i>amplitude externe</i>)	Ch. fois	X	X		
- Manque de précision de la position groupée ou carpée dans les salti simples sans vrille	Ch. fois	X 90° Angle bassin/genoux	X > 90° Angle bassin/genoux		
- Manque de précision de la position groupée ou carpée dans les doubles salti sans vrille	Ch. fois	X > 90° Angle bassin			
- Ne pas maintenir la position corps tendu (<i>fermeture trop tôt</i>)	Ch. fois	X	X		
- Hésitation pendant l'exécution des éléments	Ch. fois	X			
- Essai sans exécuter un élément (<i>course à vide</i>)	Ch. fois		X		
- Déviation par rapport à l'axe	Ch. fois	X			
Position du corps et/ou des jambes dans les éléments (non gymniques)					
- Alignement du corps	Ch. fois	X			
- Pieds pas pointés/pieds relâchés	Ch. fois	X			
- Écart insuffisant dans les éléments acro (<i>sans envol</i>)	Ch. fois	X	X		
- Ne pas remplir les exigences techniques des éléments gymniques (<i>forme du corps</i>) (<i>se référer à la section 9 liste des fautes dans les éléments gymniques</i>)	Ch. fois	X	X	X	
- Précision	Ch. fois	X			
- Exécution de la sortie trop près de l'agrès (<i>barres & poutre</i>)			X		
Fautes de réception					
(Tous les éléments y compris les sorties)					
		S'il n'y a pas de chute la déduction maximum pour fautes de réception ne peut pas dépasser 0.80			
- Jambes écartées à la réception	Ch. fois	X			
- Élan supplémentaire des bras	Ch. fois	X			
- Déséquilibre	Ch. fois	X	X		
- Pas supplémentaire, petit sursaut	Ch. fois	X			
- Très grand pas ou saut (<i>référence: plus que la largeur des épaules</i>)	Ch. fois		X		
- Fautes de position du corps	Ch. fois	X	X		
- Flexion profonde	Ch. fois			X	
- Frôler/toucher l'agrès/tapis avec les mains mais sans tomber	Ch. fois		X		
- Appui sur le tapis/l'agrès avec 1 ou 2 mains	Ch. fois				1.00
- Chute sur le tapis sur les genoux ou le bassin	Ch. fois				1.00
- Chute sur ou contre l'agrès	Ch. fois				1.00
- La réception de l'élément n'est pas sur les pieds d'abord	Ch. fois				1.00

Annexe 3 : Photocopie verso de la routine donnée aux gymnastes (EVA et Echelle RPE-C)



8. Résumé

Titre : « L'intégration d'une routine d'assouplissements au service de la performance technique en gymnastique artistique : Etude comparative des méthodes CRE vs CRAC »

RÉSUMÉ

Introduction - L'amplitude articulaire fait partie intégrante de la performance en gymnastique artistique. Les entraîneurs ont donc la nécessité de trouver la méthode la plus adéquate pour améliorer les capacités d'étirements des gymnastes. L'objectif de cette étude est de comparer 2 méthodes d'étirements combinées (PNF) et d'en déduire si elles ont un impact sur l'exécution des mouvements en compétition.

Méthode - 16 gymnastes de 13,4 ans ($\pm 3,8$) ont bénéficié d'un protocole axé sur les membres inférieurs et la partie dorsale, sur une période de 3 mois. 2 méthodes (le CRE et le CRAC) ont été utilisées durant 1 mois chacune, à hauteur de 3 fois par semaine, sous forme d'une routine de 12 minutes après un court échauffement standardisé. La souplesse a été mesurée par l'intermédiaire de 6 figures gymniques (dont 3 statiques et 3 dynamiques) et 3 tests scientifiques.

Résultats - Amélioration significative ($*p < 0,025$) de la souplesse des adducteurs (HAT et écart facial), du psoas-iliaque (grands écarts antéro postérieurs) et des ischio-jambiers (CSR) grâce à la méthode CRE et du dos (flip arrière) après la méthode CRAC. Gains significatifs ($*p < 0,0001$) de souplesse passive (seulement) après le CRE. En revanche, pas de gains significatifs liés à la méthode CRAC, ni en souplesse active, ni passive. Aussi, dans cette étude l'amplitude articulaire est influencée significativement ($*p < 0,05$) pour le sexe masculin pour les 2 méthodes. Tandis que l'âge n'aurait aucun effet sur la souplesse. Enfin, aucune corrélation significative entre la perte de point lors du jugement des éléments gymniques et le gain d'amplitude mais tendance à la significativité après le CRE ($p = 0,03$).

Conclusion – La méthode CRE semble bénéfique pour améliorer l'amplitude articulaire des gymnastes, en comparaison avec le CRAC, notamment pour les membres inférieurs. Toutefois, elle ne serait efficace que sur les éléments statiques et ne serait pas associée directement à une diminution des points de fautes en compétition. Ces éléments pourront guider les entraîneurs dans le choix des méthodes d'étirements à privilégier en échauffement, selon leurs objectifs.

Mots clés : PNF - Sport - Amplitude de mouvement – Membre inférieur – Performance

Title : « A stretching routine to enhance performance in artistic gymnastics : A comparison between CRE and CRAC methods »

ABSTRACT

Introduction - Range of motion is an integral part of performance in artistic gymnastics. Therefore, coaches need to find the most appropriate method to improve the stretching abilities of their gymnasts. The purpose of this study was to investigate and compare the effects of 2 PNF stretching methods and to deduce if they have an impact on their execution note in competition.

Methods -16 gymnasts aged 13,4 years ($\pm 3,8$) benefited from a protocol focusing on the lower limbs and the dorsal part over 3 months. It includes 2 combined stretching methods (PNF) : the CRE and the CRAC. They are used for 1 month each, up to 3 times a week, in the form of a 12 minutes routine after a short standardized warm up. Flexibility was measured on 3 static figures and 3 dynamic figures of gymnastics and 3 scientific tests.

Results - Significant improvement ($*p<0.025$) in the flexibility of the adductors (HAT and facial split), psoas-iliac (anteroposterior splits) and hamstrings (CSR) thanks to the CRE method and on the back (back flip) after the CRAC method. Significant gains ($*p<0.0001$) only in passive flexibility after CRE. On the other hand, there are no significant gains linked to the CRAC method, neither in active nor passive flexibility. Also, in this study the range of motion is significantly influenced ($*p<0.05$) for the male sex for the 2 methods. While age would have no effect on flexibility. No significant correlation between point loss and amplitude gain but tendency to significance after CRE ($p=0.03$).

Conclusion - The CRE method seems beneficial to improve the range of motion of gymnasts, compared to the CRAC, especially for the lower limbs. However, it would only be effective on static elements and not directly associated with a reduction in foul points in competition. These elements can then help coaches in the choice of stretching methods to favor during warm-up, according to their objectives.

Keywords : PNF - Sports - Range of motion – Lower Limbs - Performance

9. Compétences

- Lire aisément de la littérature scientifique anglophone
- Communiquer par l'écrit de manière synthétique
- Faire progresser le champ des savoir : Compléter et actualiser mes connaissances scientifiques
- Produire un document répondant aux normes académiques du mémoire
- Analyser des résultats bruts pour en interpréter une conclusion, transférable au terrain
- Concevoir, piloter et tester la fiabilité d'un protocole