

MASTER STAPS

ENTRAÎNEMENT ET OPTIMISATION DE LA PERFORMANCE SPORTIVE

ANNÉE UNIVERSITAIRE 2021-2022

MEMOIRE

TITRE : INTÉRÊT DE L'ENTRAÎNEMENT
PLIOMÉTRIQUE DURANT UNE PÉRIODE
D'ARRÊT PROLONGÉE CHEZ LE JEUNE
HANDBALLEUR

PRÉSENTÉ PAR : PELLÉ KILLIAN

SOUS LA DIRECTION DE : M.ROUSSEL YOHAN

SOUTENU LE 28/06/2022

DEVANT LE JURY :
M. COQUART JEREMY

“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

Roussel Yohan, Maître de Conférences - FSSEP de Lille

Murielle Garcin, Professeur des Universités - Responsable du Master EOPS de la FSSEP de Lille

Daussin Frédéric, Maître de Conférences - FSSEP de Lille

Mélantois handball Club, Structure d'accueil

L'équipe -15 ans régions du Mélantois Handball Club, Sujets d'étude

La section handball du collège Félix Del Marle, Sujets d'étude

Erwann Jan, Encadrant De la section handball du collège Félix Del Marle

Glossaire

ATP = Adénosine Triphosphate

CC = Composante Contractile

CEP = Composante Élastique en Parallèle

CES 1 = Composante Élastique en Série active

CES 2 = Composante Élastique en Série passive

CM = Centimètre

CMJ = Counter Mouvement Jump

COD = Change Of Direction; Changement de direction

GE = Groupe Expérimental

GT = Groupe Témoin

H/S = Hauteur de Saut

MHB = Mélantois Handball Club

MS = Milliseconde

RSI = Reactive Strength Index; Force Réactive

SHC = Section Handball du Collège Félix Del Marle

SJ = Squat Jump

SN = Système Nerveux

SSC = Stretch-Shortening Cycle; Cycle Étirement-Raccourcissement

UM = unité motrice

Sommaire

Remerciements.....	p.3
Glossaire.....	p.4
Sommaire.....	p.5
1 - Introduction.....	p.7
2 - Revue de littérature.....	p.8
2.1 - La pliométrie définition générale.....	p.8
2.2 - La structure musculo-tendineuse et ses propriétés.....	p.9
2.3 - L'influence de la pliométrie sur les structures neuromusculaires.....	p.10
2.3.1 - Les unités motrices.....	p.10
2.3.2 - Réflexe myotatique et inhibition neuromusculaire.....	p.11
2.3.3 - Typologie musculaire.....	p.12
2.4 - La pliométrie dans le sport.....	p.13
2.5 - La pliométrie chez les jeunes	p.14
2.6 - Arrêt d'activité et qualités physiques.....	p.15
2.7 Synthèses et perspectives	p.15
3 - Problématiques, objectifs et hypothèses.....	p.16
4 - Le stage	p.17
4.1 - La structure.....	p.17
4.2 - Les Sujets.....	p.17
4.3 - Matériel et méthodes.....	p.18
4.3.1 - Matériel	p.18
4.3.2 - Méthodes	p.19
4.3.2.1 - Passation des tests.....	p.19
4.3.2.1.1 - Echauffement.....	p.20
4.3.2.1.2 - Cadrage.....	p.20
4.3.2.1.3 - Réalisation des tests.....	p.21
4.3.2.1.4 Intérêts des tests.....	p.21
4.3.2.1.5 Paramètres retenus.....	p.22
4.3.2.1.6 Critères d'exclusions de l'étude.....	p.22
4.3.2.2 Programme réalisé	p.22
4.3.2.3 Analyses statistiques.....	p.25
5 - Résultats.....	p.26

6 - Discussion.....	p.27
7 - Conclusion.....	p.30
Bibliographie.....	p.31
Annexes.....	p.36
Résumé de l'étude.....	p.39
Compétences acquises.....	p.41

1 - Introduction

L'échéance des jeux olympiques 2024 approchant à grand pas, et la possibilité de voir les épreuves de handball se dérouler sur la métropole lilloise, permet aux clubs d'imaginer participer à ce grand évènement ne serait-ce que pour proposer leurs services aux fédérations internationales. Il y a donc actuellement un enjeu important de développement des clubs.

De plus, le bénévolat subissant une baisse d'année en année d'environ 15% entre 2019 et 2022 (France Bénévolat, 2022), cela représente un danger pour le futur des structures associatives. Celles-ci cherchent donc de plus en plus à se professionnaliser. De ce fait, les clubs ont besoin de moyens, pour cela ils peuvent s'appuyer sur les sponsors (pouvant trouver l'opportunité des jeux olympiques idéale), mais le facteur discriminant principal reste le nombre de licenciés.

Un axe vital pour les clubs sera donc de conserver ses adhérents et d'en accueillir de nouveaux. La période COVID et notamment celle de non droit à la pratique en club a été une catastrophe pour les clubs perdants de nombreux licenciés (26% en moyenne, CNOSF, 2020) s'adonnant à d'autres activités et ne revenant pas toujours au sein de leur club à la réouverture. Il y avait donc 2 défis à relever durant cette période pour ces structures. La première, conserver ses licenciés, en gardant le contact, en proposant des activités, des échanges à distance. La seconde pour des équipes compétitives, être prêt à rejouer rapidement en minimisant le plus possible le temps nécessaire avant le retour à la compétition et en évitant les blessures pouvant survenir suite à une reprise prématurée de celle-ci. C'est donc autour de ces 2 axes précisément que ce mémoire a été réalisé.

Pour se faire nous nous sommes mis en relation avec différentes entités sportives, le Mélantois Handball club et la section handball du collège Félix Del Marle, qui ont répondu positivement à notre demande. Le but était d'obtenir 2 groupes ou au moins 12 joueurs de handball identifiés dans la catégorie -15 (13-14 ans en moyenne) avec un objectif de compétition de niveau régional, comprenant au minimum 3 entraînements par semaine et une expérience d'au moins 2 ans de pratique régulière. En somme, un public sportif, étant susceptible de répondre aux problématiques citées précédemment grâce à notre étude.

2 - Revue de littérature

2.1 La pliométrie définition générale

La pliométrie est un agencement de régime de contraction étant présent dans de nombreux sports comme le souligne Alain Piron en 1988. Il le décrit comme des phases successives : d'étirement-raccourcissement de la structure musculo-tendineuse en anglais "stretch-shortening cycle" (SSC). Ce cycle se caractérise par une contraction excentrique (étirement) de la structure musculo-tendineuse de suite suivie par une contraction concentrique (raccourcissement) dans un court laps de temps. Ce cycle se caractérise par une augmentation de la performance lors de la phase concentrique (Cavagna et al., 1968), cela résulte de ce qu'on appelle "coupling time" qui représente la synchronisation de l'étirement excentrique et du réflexe myotatique (contraction d'un muscle en réponse à son étirement) pour l'optimisation de la restitution d'énergie élastique (la capacité élastique fait référence à la capacité qu'ont les tissus à s'étirer et à reprendre leur forme initiale), après l'étirement des tissus. Le SSC est régi par un temps d'application des forces afin d'être catégorisé comme pliométrique entre 100 et 250ms (millisecondes), sous peine de ne pas emmagasiner assez d'énergie élastique dans la partie excentrique si il est trop court, ou de voir cette même énergie se dissiper en chaleur si il est trop long (Cavagna et al., 1994). Cependant certains chercheurs démontrent qu'il existe des SSC lent et rapide (inférieur ou supérieur à 250 millisecondes selon Schmidtbleicher en 1992), et que l'amélioration de chaque type est spécifique à lui-même (Flanagan, 2007). Le SSC long caractérisé par des mouvements de plus grande amplitude comme le counter movement jump, se justifierait par de meilleure performance en hauteur de saut justifié par le temps de contact au sol plus long permettant une plus grande application de force musculaire (Bobbert et al., 1996). Nous allons maintenant voir quelles sont les structures responsables du SSC.

2.2 La structure musculo-tendineuse et ses propriétés.

De manière générale, la structure musculo-tendineuse peut-être représentée par un modèle à trois composantes (illustration 1) :

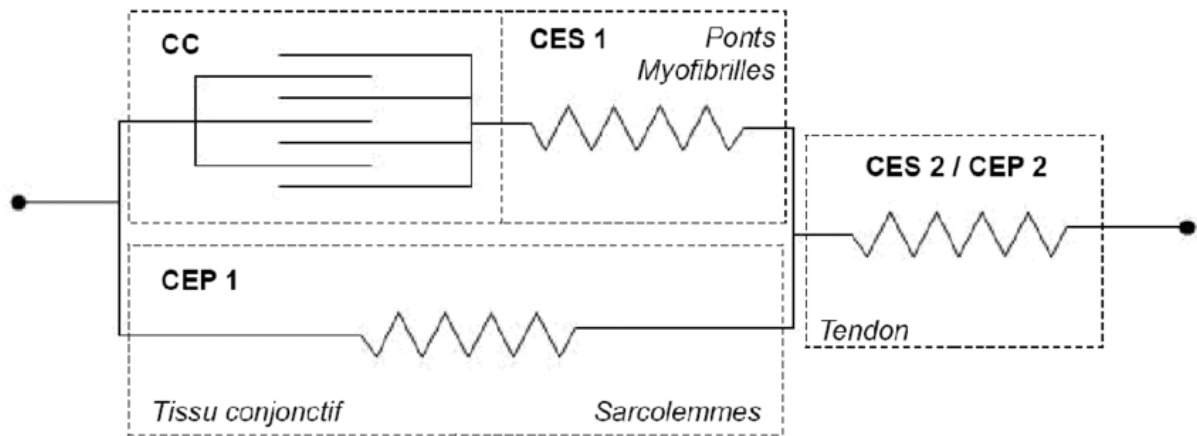


Illustration 1 : Modèle mécanique du muscle à 3 composantes de Hill (1938), modifié par Zajac (1989)

Ces 3 composantes se composent de la manière suivante, une composante contractile (CC) représentée par les ponts d'actine-myosine ayant pour rôle de générer de la force (l'adénosine triphosphate (ATP) s'y transforme en énergie mécanique). Une composante élastique en parallèle (CEP) représenté par les structures conjonctives du muscle (endomysium, périmysium, épimysium), au sarcolemme (membrane des fibres) et par une protéine la titine. Cette composante représente une résistance à l'allongement du muscle dans un contexte passif (pas de contraction musculaire). Et enfin une composante élastique en série active (CES 1) et passive (CES 2) qui ont pour rôle de transmettre la force de CC à l'os, représenté par la charnière de la molécule de myosine (CES 1) et le tendon (CES 2). Notre SSC va être directement impacté par les propriétés de cette structure, notamment par le biais de la composante CES et de sa raideur.

La raideur de ce système fait référence à sa capacité de résistance à la déformation et à la restitution optimale de l'énergie stockée sur la phase d'étirement (diminuer la déperdition d'énergie). Plus un système est raide, mieux il restitue l'énergie (amélioration du taux de montée en force et de la hauteur de saut Bojsen-Møller et al., 2005 ; Waugh et al., 2013). Dans ce sens, le travail pliométrique semble être relié à une augmentation de la raideur musculo-tendineuse après 6 à 12 semaines d'entraînements. (Kubo et al., 2007 ; Spurr et al., 2002)

2.3 L'influence de la pliométrie sur les structures neuromusculaires

2.3.1 Les unités motrices

Une unité motrice (UM) se compose d'un motoneurone, d'un axone, et de terminaisons nerveuses reliées à des fibres musculaires. Lorsqu'un signal électrique arrive au motoneurone qu'il soit de nature réflexe ou volontaire, celui-ci engendrera un potentiel d'action d'inhibition ou de contraction aux fibres qu'il innervent.

Dans son ouvrage "Périodisation Theory and methodology for training", Bompa et al. (2019) décrivent bien l'influence que peut avoir le travail à charge externes élevées ou/et à vitesse élevées sur les adaptations neuromusculaires. En se basant sur le principe de taille de Henneman (1965) (illustration 2) ce type de travail permet un meilleur recrutement des unités motrices.

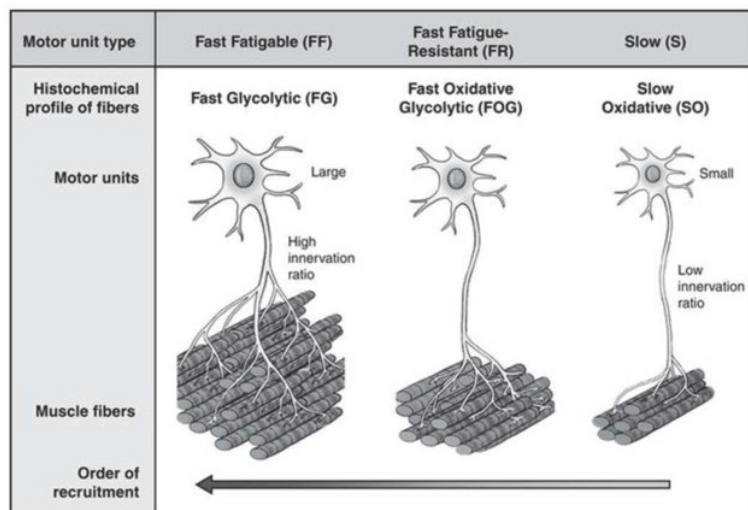


Illustration 2 : Ordre de recrutement physiologique des UM selon le principe de taille d'Henneman (1965), des UM lentes vers les rapides. Adapté de Sieck et Mantille (2009).

Ce principe nous décrit l'existence de petites unités motrices liées à des fibres à plus faible potentiel de force "Fibre type I" et de plus grande unités motrices liées à des fibres à grand potentiel de force "Fibre type II". Si nous voulons recruter un maximum d'unités motrices, il faudra donc favoriser des mouvements rapides et/ou à charge externe importante. Plus nous nous rapprochons de ce type d'effort, plus grand sera le nombre d'unités motrices recrutées et donc plus notre expression de force à différents niveaux de vitesse (spécifique à notre pratique) sera importante (Tsatsouline, 2000).

De plus ce travail à intensité élevée permet d'améliorer la vitesse de recrutement des unités motrices ou "taux de montée en force", de ce fait avec des exercices de type pliométrique et une volonté de se

déplacer aussi vite que possible, la capacité explosive du sujet augmentera car l'activation des unités motrices se fera plus rapidement (Matavulj et al., 2001). Par exemple, sur un sprint le pied du sujet décollera plus tôt du sol, après l'amortissement et la phase de couplage. En lien avec cette capacité explosive optimisant le SSC en raccourcissant le temps de contact au sol, celui-ci est aussi fortement influencé par 2 types de réflexes qui sont le réflexe myotatique et le réflexe myotatique inverse.

2.3.2 Réflexe myotatique et inhibition neuromusculaire

Dans son ouvrage en 2001 Christian Collet nous décrit ces deux mécanismes intervenant dans l'expression de la force musculaire. Le premier est le réflexe myotatique (illustration 3) qui fonctionne de sorte à être sensible à l'étirement musculaire grâce au fuseau neuromusculaire situé en parallèle des fibres musculaires. Si celui-ci est trop important et dangereux pour la structure, le réflexe ordonnera une réponse activatrice du muscle fortement étiré pour amener à l'action contraire, cette contraction sera proportionnelle à l'intensité de l'étirement. Il veille donc à la stabilisation articulaire, mais aussi à la précision sur des mouvements même peu intenses (exemple : prendre sa tasse de café).

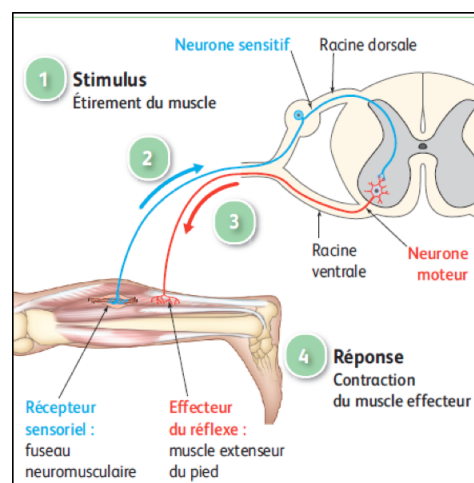


Illustration 3 : Principe de fonctionnement de réflexe myotatique

Le second réflexe jouant un rôle dans l'activité pliométrique, est le réflexe myotatique inverse (illustration 4), faisant intervenir les organes tendineux de golgi, étant situé à la jonction entre le muscle et le tendon. Ces organes lorsque une tension en raccourcissement (concentrique) sera jugée comme trop importante au sein d'un muscle vont envoyer une réponse inhibitrice à la contraction volontaire, et donc diminuer la tension dans celui-ci et éviter une dégradation des tissus.

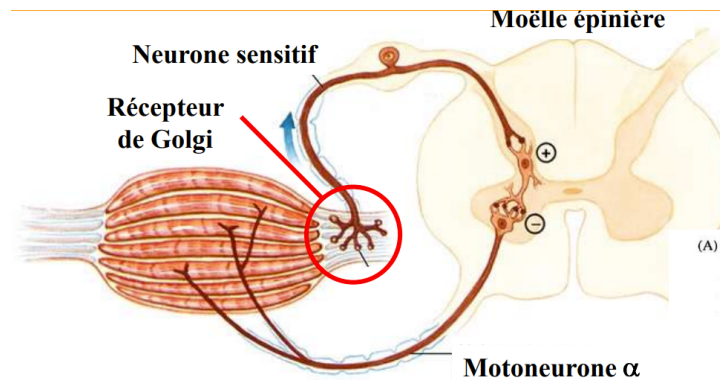


Illustration 4 : Principe de fonctionnement du réflexe myotatique inverse

Il a été prouvé que nous pouvons agir sur ces mécanismes afin d'améliorer notre performance. Schmidtbleicher (1985) a montré en comparant l'activité électromyographique du triceps sural d'un débutant et d'un pratiquant expérimenté durant un saut en contrebas (drop jump), que le réflexe myotatique et la phase de poussée n'étaient pas synchronisés, contrairement au pratiquant expérimenté qui lui synchronise parfaitement la poussée et la réponse du réflexe myotatique (coupling-time) pour optimiser sa performance. Nous savons aussi que l'effet inhibitoire du réflexe myotatique inverse peut être diminué par la pratique spécifique d'activité intégrant le SCC (Zatsiorsky, 2006).

2.3.3 Typologie musculaire

Il existe 3 grands types de fibres musculaires, les Fibre IIa et IIb dites "rapides", et les fibres I dites "lentes". De manière générale, les fibres rapides sont destinées aux efforts intenses demandant des taux élevés de puissance et de force maximale, à l'inverse les fibres lentes seraient plus aptes à gérer des efforts de plus basse intensité de type endurance (Sieck et al., 2009; Wilson et al., 2012). Les athlètes entraînés réalisant des efforts de type pliométrique régulier, comme le seraient ceux des sports d'équipes, possèdent un volume et une diamètre de fibre rapide plus important que ceux de sport d'endurance pour répondre au besoin des activités spécifiques demandant la répétition d'actions à haute intensité (Buchheit et al., 2019). En effet, des chercheurs (Vissing et al., 2008; Malisoux et al., 2006; Potteiger et al., 1999) ont montré que chez des populations sportives (3 entraînements/semaine) et non sportive, le travail pliométrique semble avoir un effet sur l'augmentation de la section transversale du muscle pour les fibres rapides (environ $9,87\% \pm 8,15$). Ce qui pourrait justifier de

l'augmentation des performances en sauts ou tous autres activités induisant des efforts musculaires maximaux.

2.4 La pliométrie dans le sport

La description des différents gestes sportifs communs à de nombreux sports (saut, sprint, lancé, changement de direction (COD)) de Fred Aubert (2019) confirme que la pratique de la pliométrie est très proche de la spécificité des activités sportives qui implique ces mouvements dynamiques. De même Chaouachi et al. (2009) et Buchheit et al. (2019) démontrent que les capacités anaérobies en sports collectifs sont discriminantes. La filière anaérobie représentant l'expression des efforts courts et intenses, comme peut l'être le travail pliométrique à haute intensité. Cette proximité biomécanique et bioénergétique est un réel avantage pour développer les qualités physiques spécifiques à une activité (Bompa et al., 2019) notamment sur les aspects de force/vitesse exprimés dans celle-ci.

De nombreuses études ont démontrés l'efficacité de l'entraînement pliométrique, notamment sur le saut, le sprint, et la puissance (Markovic, 2007; Matavulj et al., 2001) et plus spécifiquement dans le handball (Chelly et al., 2014; Hermassi et al., 2014), avec une programmation de 8 semaines sur un public de 17 à 20 ans qui réalisait deux séances par semaines de trente minutes de travail effectif. Ces séances étaient composées avec des sauts de haies (40-60 centimètres (cm)) et des drop jump (40cm), à la fin du protocole, ils ont obtenu une amélioration en moyenne sur les deux tests SJ et CMJ respectivement de 9,5 à 12% sur la hauteur de saut (H/S) et la puissance, cependant il faut noter que l'étude de Hermassi et al. (2014) a testé le pic de puissance sur ergomètre, où ils ont obtenu 10% d'amélioration. Ils ont aussi amélioré la vitesse de sprint sur 5m de 15% et de 10% sur 25-30m. Sur l'ensemble des tests p était inférieur à 0,05.

Durant le programme les consignes pour la réalisation étaient toujours les mêmes : passer le moins de temps possible au sol et vouloir sauter le plus haut possible à chaque saut. Ces améliorations de la performance semblent généralement s'expliquer par les différents points abordés dans les sous-parties précédentes, en effet la pliométrie réalisé à haute intensité semble améliorer l'efficacité du système nerveux (SN), la rigidité musculo-tendineuse ou encore le développement des fibres de type II (section transversale).

2.5 La pliométrie chez les jeunes

Le sujet des jeunes et de la préparation physique à longterm fait débat, et les fausses croyances d'hier persistent toujours malgré des preuves ne datant pas d'aujourd'hui (Ingle et al., 2006). Très longtemps nous avons cru à un effet néfaste des charges additionnelles sur les jeunes, sans se soucier de l'effet de la pliométrie que ces jeunes pratiquent hebdomadairement dans leurs sports respectifs comme nous l'avons souligné précédemment. Cette pratique peut parfois amener à des tensions supérieures à de simples charges additionnelles utilisées communément en musculation.

Il peut survenir chez le jeune sportif des fragilités au niveau des os, des muscles, et des tendons le temps de s'adapter aux nouvelles structures corporelles notamment autour du pic de croissance qui pour les garçons se situe en moyenne entre 12 et 16 ans (Ratel, 2018; Van der Sluis, 2014; Broussal-Derval et al., 2018).

De ce fait, l'ajout de charge "importante" peut sembler inadéquat. Cependant pour étayer les travaux d'Ingle et al. (2006) d'autres études ont prouvés l'intérêt de ce type d'entraînement sur un public prépubère (8-14 ans) (Kotzamanidis, 2006; Faigenbaum et al., 2009; Meylan et al., 2009), globalement ces études démontrent une amélioration significative de la H/S verticale, de la réactivité du SSC (Taux de montée en force), de la distance des sauts horizontaux, de la vitesse 5-30m et de l'agilité (ici reconnu comme qualité de changement de direction prédéterminé) sur des périodes de 8 à 12 semaines. Les points les plus importants sur lesquels la majorité des auteurs sont en accord sont le besoin de rester sur des charges moyennes, et d'être progressif sur ces charges. Il est demandé d'avoir un intérêt particulier sur la réalisation technique de chaque exercice (dos droit, amorti pointe de pied, genoux dans l'axe des pieds) et sur la fraîcheur des sportifs lors de la réalisation (pas de pliométrie sous fatigue). Pour préciser nos pensées et la mise en place d'un tel programme, nous pouvons nous intéresser à la programmation de ce type d'entraînement.

D'après nos auteurs citées en amont de ce paragraphe, des adaptations similaires aux adultes semblent pouvoir être possibles à l'exception de certains paramètres. Comme par exemple l'expression de puissance et le gain musculaire dû au manque d'hormones androgènes avant la puberté, mais ils possèdent également un niveau d'activation volontaire des unités motrices moindre d'environ 10% comparé à l'adulte, ou encore une capacité plus faible à restituer l'énergie élastique du système musculo-tendineux lors du SSC du fait d'une compliance plus importante que chez l'adulte (raideur inférieure), cependant les 2 derniers facteurs peuvent être améliorés avec l'entraînement (Ratel, 2018).

2.6 Arrêt d'activité et qualités physiques

Plusieurs auteurs exposent les effets d'un arrêt de l'activité sur nos capacités physiques pour des athlètes de sport de puissance. Hortobágyi et al. (1993), démontre qu'après 14 jours de désentraînement la surface transversale des fibres de type II a diminué de 6,4% ($P < 0,05$) en moyenne sur des athlètes de hauts niveau. Et la force excentrique sur l'extension de genou a elle aussi diminué de 12% ($P < 0,05$). De plus, Loturco et al. (2017) après un désentraînement de 28 jours ont constaté des baisses de performance au CMJ et au sprint de 5-45m, contrairement à d'autres déterminants de la performance (taux de montée en force, sprint 5m). Ce qui peut mettre en évidence la détérioration de l'efficacité du SSC durant cette période, sachant l'impact de celui-ci dans ces deux tests (Aubert 2019, Komi et al., 1978) un travail permettant de limiter sa dégradation peut s'envisager en période d'arrêt. Comme le suggèrent Loturco et al. (2017), et dans notre développement précédent Markovic (2007), un travail de pliométrie pourra être intégré dans ce type de période afin de diminuer la dégradation du SSC dans l'expression de la performance. En ce qui concerne les jeunes athlètes, les résultats des études sont hétérogènes, mais globalement sur une population âgée de 10 à 14 ans, le désentraînement provoque une baisse des facteurs de performances (force/puissance) à partir d'environ 12 semaines, un temps inférieur à 12 semaines ne semble pas affecter la performance (Nunes et al., 2019; Gavanda et al., 2020; Ingle et al., 2006).

2.7 Synthèses et perspectives

Grâce aux travaux des auteurs précédemment cités (Markovic, 2007; Matavulj et al., 2001; Buchheit et al., 2019; Aubert, 2019) nous avons pu démontrer que la pliométrie était essentielle dans le sport, notamment les sports collectifs (football, basket, handball) où ce régime de contraction SSC est sollicité constamment. La pratique de celle-ci permet d'augmenter la force, la vitesse, la puissance ou encore l'agilité, des caractéristiques physiques amenant l'amélioration de la détente verticale, horizontale ou encore du sprint. Ces améliorations ne sont pas négligeables pour travailler les qualités spécifiques à l'activité (Bompa, 2019).

Pour les jeunes sportifs, nos auteurs (Kotzamanidis, 2006; Faigenbaum et al., 2009; Meylan et al., 2009) démontrent qu'aucune contre-indication ne laisse prétendre que la pratique de la pliométrie est dangereuse, elle est même recommandée pour améliorer les performances, dans certaines limites évidemment. En effet il n'est pas concevable de réaliser des sauts sur box, ou de simple counter movement jump avec des jeunes ne sachant pas comment bien se positionner au décollage, n'y à

l'atterrissage, ou encore de vouloir imposer une fréquence, une intensité d'entraînement trop élevée, non adaptée à l'expérience de nos pratiquants. Ce genre de comportement peut amener à terme à la création de douleurs récurrentes voire à des blessures (Ratel, 2018; Van der Sluis, 2014).

Enfin, l'arrêt d'activité prolongé (15-28 jours) est un facteur de diminution de la performance notamment sur les performances faisant entrer en jeu le SSC (Hortobágyi et al., 1993; Loturco et al., 2017). Notons tout de même que les gains de performances observés par Loturco et al. (2017) ont été prouvés pour des sportifs expérimentés (7 entraînements par semaine et 8 années d'expérience minimum), ce qui ne sera pas forcément le cas pour des jeunes qui s'entraînent 3 fois par semaine avec 2 ans d'expérience minimum.

Il semble que le désentraînement chez les publics prépubères ne soit observable qu'après un long temps (environs 12 semaines) d'inactivité (Nunes et al., 2019; Gavanda et al., 2020; Ingle et al., 2006), même si très peu de public pourrait être sujet à ce genre de désentraînement long, la situation exceptionnelle liée au COVID-19, semble y correspondre amenant notre jeune public à ne plus pratiquer d'activité sportive. Il sera donc essentiel de prescrire à ces sportifs une programmation adéquate, comme peut l'être la pratique de la pliométrie pour conserver, voire améliorer les performances.

Notre développement nous amène à penser le travail pliométrique chez les jeunes joueurs autour de 3 objectifs. La prévention des blessures avec l'apprentissage de la réception, du décollage, et de la conservation d'une posture saine durant le mouvement. L'amélioration des performances avec l'amélioration de la détente verticale, ou du moins sa conservation. Et enfin, il a pour objectif d'être un travail préparatoire pour la future pratique des jeunes joueurs (musculature, haltérophilie, etc...).

3 - Problématiques, objectifs et hypothèses

Au vu de notre développement précédent, notre problématique est la suivante : comment minimiser la déperdition des qualités physiques durant une période de désentraînement à domicile grâce à la pliométrie. Pour cela notre objectif sera de proposer un travail pliométrique réalisable chez soi afin de pouvoir constater si cette pratique a un impact ou non sur les qualités physiques des joueurs durant une période de désentraînement où la pratique sportive (handball) n'est plus possible. Nous admettons de ce fait plusieurs hypothèses :

H0 : Les deux groupes n'ont pas d'évolutions de leurs performances après l'intervention.

H1 : Le groupe expérimental (GE) a conservé des performances similaires à celles d'avant l'intervention, et le groupe témoin (GT) a diminué ses performances.

H2 : Le groupe expérimental (GE) à améliorer ses performances comparativement à celles d'avant intervention, et le groupe témoin (GT) n'a pas d'évolution significative.

4 - Le stage

4.1 La structure

En ce qui concerne la structure, nous avons uniquement utilisé la salle couderc à Ronchin une après-midi sur un créneau du Mélantois handball club. Pour réaliser nos tests post-intervention durant la courte période où nous pouvions retourner en salle le samedi 19 Décembre. Le reste du temps, que cela soit les pré-tests ou le programme, tout a été réalisé en distanciel via zoom et des documents partagés en raison des conditions sanitaires.

4.2 Les Sujets

Les sujets de l'étude sont répartis en 2 groupes, 1 groupe test représentant les joueurs du Mélantois Handball Club (MHB), et un groupe témoin représenté par les joueurs de la section handball du collège Félix Del Marle (SHC) (tableau 1). Pour des raisons pratiques, les groupes n'ont pas pu être répartis de manière aléatoire, ni de sorte à contrôler les moyennes, ce qui représente une limite de notre étude. Chacun des sujets possède entre 3 et 5 ans de pratique du handball et cela fait au moins 3 ans que chacun pratique un sport régulièrement au cours de la saison sportive (de septembre à juin, 2 fois par semaine minimum). Avant le second confinement chaque joueur s'entraînait 2 à 3 fois par semaine au handball. Tous font partie de la catégorie -15 ans qui comprend tous les joueurs nés entre 2006 et 2007 à l'exception d'un 2008 étant surclassé de catégorie.

Sujets N=13	Age (années) M $\pm$ ET	Taille (cm) M $\pm$ ET	Masse (kg) M $\pm$ ET	Longueur des jambes (cm) M $\pm$ ET	Hauteur à 90° (cm) M $\pm$ ET
Groupe Test N=7	13 $\pm$ 0,82	172,14 $\pm$ 10,22	61,56 $\pm$ 12,39	105,21 $\pm$ 9,78	78,71 $\pm$ 10,77
Groupe Témoin N=6	13 $\pm$ 0,51	170,4 $\pm$ 7,77	56 $\pm$ 8,34	112,17 $\pm$ 7,96	69,33 $\pm$ 5,85

Tableau 1 : Caractéristiques des sujets pré-intervention

4.3 Matériel et méthodes

4.3.1 Matériel

Tout d’abord pour réaliser les différents tests nous avons utilisé un mètre et une balance afin d’obtenir certaines mesures anthropométriques sur les sportifs, qui nous permettront d’utiliser l’application MyJump. Nous avons utilisé cette application afin de réaliser les mesures des squat sump (SJ), des counter movement jump (CMJ). Grâce à l’application, nous avons pu mesurer les différents paramètres recherchés en filmant (selon un cadrage précis illustré par la suite) les deux tests. Pour cela nous avons dû pour chaque test définir l’instant de décollage du sujet ainsi que l’instant d’atterrissage. Il nous a suffi d’installer un smartphone sur un trépied, cadrer la caméra avec un angle nous permettant d’identifier correctement la phase d’envol et d’atterrissage. Pour l’analyse des résultats et l’interprétation nous nous sommes servi du logiciel “Sheets” afin de rentrer nos différentes données dans des tableaux.

4.3.2 Méthodes

4.3.2.1 Passation des tests

Tout d'abord nous avons réalisé avec les parents de chaque enfants les mesures (illustrations 5 et 6) nécessaires pour obtenir des résultats avec MyJump (sachant que nous étions à distance pour les réaliser en raison du COVID 19), qui sont :

- taille (en cm)
- Longueur de jambe (en cm) (illustration 4)
- la hauteur à 90° (en cm) (illustration 3)
- le poids (en kg)

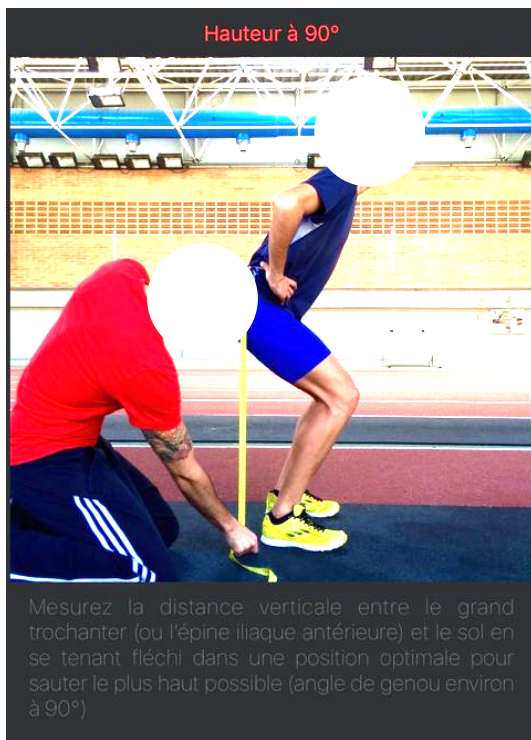


Illustration 5 : Mesure de la Longueur des jambe



Illustration 6 : Mesure de la Hauteur à 90°

4.3.2.1.1 Echauffement

5' déverrouillage articulaire

- Protocole cheville
- Mobilisation hanche (au sol en équerre normal et en extension de hanche + squat complet en position basse 10s)
- Dos rond, dos creux x6
- Ouverture thoracique en fente 5/côté
- Mobilisation des bras (grande amplitude/ petite amplitude / rotation scapulaire)
- Cou

Augmentation de la fréquence cardiaque et de la température corporelle (basse intensité) x 5

- 20'' Gainage (alterner planche de face/côté/dorsal/côté)
- 20'' Jumping jack
- 20'' Burpees (saut léger)

Mise en route motrice spécifique

- 3 squat Jump sous maximaux + 1 squat jump maximal
- 3 CMJ sous maximaux + 1 CMJ maximal
- 5 sauts répétés (d'affilés) puis 5 maximaux
- Repos 3'

4.3.2.1.2 Cadrage

Pour réaliser les tests MyJump nous avons dû intégrer des placements et des angles de caméra précis afin d'avoir des tests valides, reproductibles, et comparables en se basant sur les consignes de l'application et des positionnements précis afin que chaque parent durant les pré-tests réalisent des tests identiques. La prise de vue doit se faire des pieds jusqu'aux épaules (plus ou moins) si l'angle est plus grand ce n'est pas problématique tant que l'on observe bien les segments demandés et que ces segments ne sortent pas du cadre du début à la fin de chaque test. La caméra doit être placée à la verticale en mode portrait à une distance de 160 cm du sportif à 5 cm près. Et à 20cm du sol à 5cm près. Il faudra s'assurer de filmer un endroit très éclairé. Un espace délimité de 80cm de longueur (plan frontal) et de 60cm de largeur (plan sagittal) sera délimité au sol, le sportif aura pour consigne d'avoir

le moins de déplacement possible entre son saut et sa réception et interdiction de sortir de la délimitation au sol.

4.3.2.1.3 Réalisation des tests

Squat Jump

Faire 3 sauts espacés de 10 secondes, se replacer en flexion correspondante à celle mesurée lors des tests anthropométriques (90° environ au niveau des genoux) et attendre 2s avant de sauter.

Counter Movement Jump

Faire 3 sauts espacés de 10 secondes, sans descendre plus bas que la flexion mesurée (environ 90° aux genoux) lors des tests anthropométriques, puis au signal l'athlète réalise le saut en enchaînement la phase excentrique et concentrique le plus vite possible.

Ces tests ont été réalisés avant le programme de pliométrie et après, pour le groupe test et pour le groupe témoin, afin de pouvoir comparer les deux groupes et les bénéfices potentiels de cet entraînement.

4.3.2.1.4 Intérêts des tests

Le squat jump est un saut vertical. Il est l'un des tests les plus souvent utilisés pour évaluer la puissance musculaire ainsi que la détente « sèche », non pliométrique, sans étirement des membres inférieurs. Le sujet démarre en position semi-accroupie (genou ~90° et tronc/hanches en position fléchie). A partir de la position de départ, le sujet effectue une action de poussée verticale aussi rapidement et explosivement que possible afin d'effectuer le saut le plus haut dans le plus court délai, il veillera à garder ses mains sur les hanches tout le long du saut. Ce mouvement sera donc concentrique seulement. Il sera donc dépendant de la force/vitesse musculaire indépendamment des qualités élastiques ou du réflexe myotatique (Komi et al., 1978).

Le Countermovement jump est un test pliométrique régulièrement utilisé pour évaluer la puissance musculaire ainsi que la détente pliométrique des membres inférieurs. Le sujet démarre en position verticale. Il effectue un contre-mouvement rapide couplé d'une action de poussée. Lors de l'exécution de cet exercice, la position basse doit être semi-accroupi (genou ~90° et tronc/hanches en position fléchie). Le saut doit être effectué aussi rapidement et explosivement que possible. Ce saut rend

compte des qualités élastiques et du bon fonctionnement du SSC, (Komi et al., 1978). Ce saut est caractérisé comme SSC “lent” sachant que celui-ci est supérieur à 250ms (Schmidtbleicher, 1992) .

4.3.2.1.5 Paramètres retenus

Suite aux mesures obtenues lors des différents tests énumérés précédemment, nous avons décidé de nous concentrer sur un paramètre afin de construire notre analyse. Nous nous intéressons donc à la hauteur du saut (en cm). Ce paramètre va nous permettre de savoir si nos qualités physiques et mécaniques (force/raideur/taux de montée en force) exprimées lors de différents sauts verticaux (SJ/CMJ) sont conservées après un programme de pliométrie et durant une période de désentraînement.

4.3.2.1.6 Critères d'exclusions de l'étude

Les sujets étaient exclus si ils étaient absents à au moins 20% du total des séances ou si des douleurs importantes persistaient sur plus de deux séances consécutives. Une exclusion a été à déplorer lors de cette étude pour le GT pour cause d'absence.

4.3.2.2 Programme réalisé

Nous avons donc réalisé deux groupes, un groupe test qui va réaliser un entraînement pliométrique et un groupe témoin ne réalisant aucune activité de manière récurrente. Les groupes ont été constitués de manière à respecter les équipes existantes et à faciliter le travail commun. Il est évident que l'accord des parents a été obtenu pour réaliser ce programme. Pour réaliser le programme nous nous sommes majoritairement inspirés du travail de Meylan et al. (2009) et de Chu et al. (2013). Notre programme est composé en 2 phases, une d'apprentissage, et une phase de travail, afin de minimiser les risques de blessures, d'optimiser les aspects techniques, et potentiellement d'accroître les résultats.

La première partie met l'accent sur la prévention comme préconisée par nos auteurs, ainsi que sur l'apprentissage des différents mouvements intégrés au programme de développement. Dans cette logique, nous avons débuté par un programme préparatoire de 2 semaines avec GE, réalisé sur 2 séances par semaine d'environ une heure. Chaque séance est composée d'exercices et de mouvements éducatifs comme par exemple : des arabesques, sauts 20-30cm intégrés petit à petit, d'une hauteur

suffisante pour les accoutumer au travail pliométrique, sans augmenter le risque de blessures (Ratel, 2018). Ces séances sont complétées par un travail de coordination intégrant des gammes athlétiques pour aider à la réalisation des différents exercices et notamment aux placements, à une intensité faible permettant l'apprentissage sans risque. Au global, 70 à 120 contacts au sol de type pliométrique ont été réalisés. Nous avons aussi poursuivi le travail de gainage entrepris depuis le début de l'année afin d'optimiser le maintien de la posture et nous avons intégré un travail théorique, sur le placement du dos, des genoux, comment bien se réceptionner, avec des aides orales et physiques. De son côté GT a seulement réalisé une séance d'initiation aux tests en amont, mélangeant pratique et travail théorique.

La deuxième partie est la partie développement (tableau 2 et illustration 7) censée permettre d'augmenter la détente verticale des participants. Pour cela nous avons augmenté le volume d'entraînement en passant à 3 séances de 30 à 45 minutes par semaine le lundi, mercredi et vendredi. La durée du programme est de 4 semaines. Pour chaque séance les joueurs ont réalisé 5 à 8 exercices de pliométrie dans un plan vertical en majorité, ils ont réalisé entre 3 et 4 séries avec 4 à 12 répétitions pour chaque exercice avec un temps de repos compris entre 45 et 60 secondes pouvant varier en fonction de la fraîcheur des athlètes comme le recommande nos auteurs au minimum. Chaque séance était espacées de 48h afin de permettre une récupération complète au sportif. Le temps à notre disposition nous a permis de réaliser un macrocycle de 4 semaines en suivant une logique de surcharge progressive (Chu et al., 2013).

L'intensité a été noté de 1 à 3 avec 1 représentant une intensité faible, 2 une intensité modérée et 3 une intensité élevée (Chu et al., 2013) nous avons calibré notre nombre de contact au sol total par session sur nos auteurs qui allait de 50 à 192 à la fin de l'expérience pour Meylan et al. (2009) avec des intensités mixtes, et de 100 à 400 proportionnellement à l'intensité des exercices et à l'aptitude des joueurs pour Chu et al. (2013).

Son augmentation se traduisait par l'intégration d'exercices ayant des niveaux d'intensité supérieurs en plus d'une augmentation du volume global. En terme de charge de travail (illustration 6) (quantifié par le nombre de contact au sol x l'intensité), celui-ci augmentait au fur et à mesure des séances accompagné de certaines variations dû à l'intensité de la séance qui augmentait, cela s'explique par le fait qu'un travail réalisé à intensité plus élevé sera beaucoup plus demandant en énergie qu'à basse intensité (Broussal-Derval 2020). Un facteur qui a aussi régulé le volume et l'intensité du programme sont les retours des joueurs post-séance. En fonction de si ils étaient en réussite ou non, grâce à notre

analyse durant la séance et les échanges post séance. Car malgré un objectif de performance, l'intégrité des joueurs était la priorité.

A noter que comparativement à certains programmes (Meylan et al, 2009) notre nombre de saut devient très vite important du fait que nous avons seulement 4 semaines de travail "effectif" sans compter les 2 semaines de préparation en amont, ce qui est peu. J'ai donc fait le choix d'intensifier pour potentiellement combler le déficit de temps, tout en restant dans une quantité de travail acceptable pour ce public. Car dans notre cas, comparativement au travail de Meylan et al. (2009), nos joueurs n'avaient plus du tout de pratique du handball (qui représentait 3 séances d'une heure et demie par semaine), qui est d'après Buchheit et al. (2019) est composé d'en moyenne 120 actions à haute intensité lors d'une opposition de 60 minutes. Ce qui nous permet d'imaginer une charge plus importante que ces auteurs sachant que leurs joueurs s'entraînaient encore 60 minutes post travail pliométrique avec un match le week-end. Contrairement aux recommandations de Chu et al. (2013), qui eux se basent sur des nombres de contacts réalisés de manière isolée, sans pratique en parallèle. Enfin nous devons noter que le travail a été fait à distance et que les conditions n'étaient pas optimales à la pratique. En ce sens, il a fallu imaginer un programme s'adaptant à de petit espace et avec peu de matériel.

Semaine/ Séance	Exercices (Séries x répétitions)								Totals Contacts
	CMJ	Sauts latéraux unipoda ux	Skipping	Hexagon drill pieds joints	Sauts de chevilles	Hexagon drill unipodal	Fentes sautées	CMJ unipoda ux	
1/1	3x8	3x8/côté	4x10/côté	3x10	3x12				154
1/2	4x8	3x8/côté	4x10/côté	3x10	3x12				162
1/3	4x8	4x8/côté	4x10/côté	3x10	4x10				174
2/1	4x8	4x8/côté	3x10/côté	2x10	4x10	2x8/côté			178
2/2	4x8	4x8/côté	3x10/côté	2x10	4x10	3x8/côté			186
2/3	4x8	4x8/côté	3x10/côté	2x10	4x10	3x12/côté			198
3/1	4x8	4x8/côté	3x10/côté	1x10	4x10	3x12/côté	2x4/côté		196
3/2	4x8	4x8/côté	3x10/côté	1x10	4x10	3x12/côté	3x6/côté		206
3/3	4x8	4x8/côté	3x12/côté	2x8	4x10	3x12/côté	3x6/côté		218
4/1	2x8	4x8/côté	3x12/côté	2x8	4x10	3x12/côté	3x6/côté	2x6/côté	214
4/2	2x8	4x8/côté	3x12/côté	2x10	4x10	3x12/côté	3x6/côté	3x6/côté	222
4/3	3x8	4x8/côté	3x12/côté	2x10	4x10	3x12/côté	3x6/côté	3x6/côté	230

Tableau 2 : Tableau résumant le programme d'entraînement pliométrique de 4 semaines (exercice sur une jambe/unipodal compte comme un seul contact au sol)

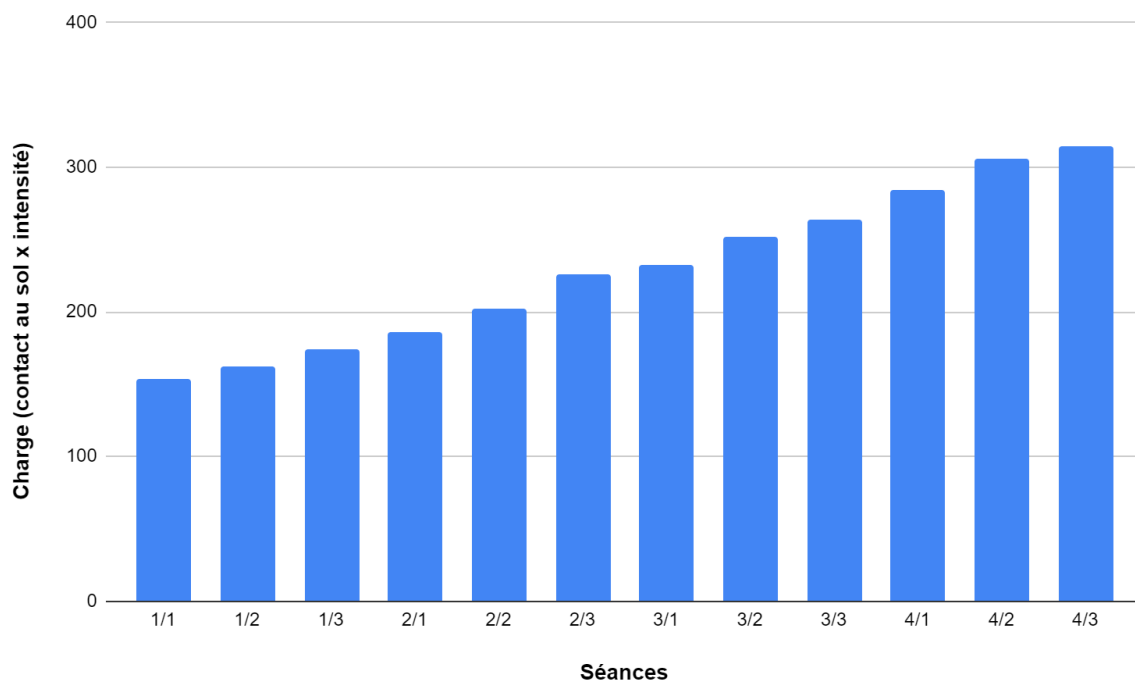


Illustration 7 : Evolution de la charge de travail au cours des séances. 1/1 représentant la séance 1 de la semaine 1.

4.3.2.3 Analyses statistiques

Les données quantitatives sont exprimées en moyenne +/- écart type, et les données qualitatives sont exprimées en pourcentage. Nous avons vérifié la normalité des paramètres de H/S avant et après intervention sur le SJ et le CMJ pour les groupes témoin et test, avec le test de Shapiro-Wilk puis nous avons vérifié l'homogénéité des variances de ces mêmes paramètres par le test de Levene.

Nous avons utilisé une ANOVA à 2 voies à mesure répétées pour détecter les effets de temps avant/après des groupes, (déterminer si il y a amélioration pour chaque groupe ou non et si effet global pour l'ensemble de la population) sur les différents paramètres testés (H/S pour le SJ et H/S et pour le CMJ). Puis les effets de groupe en déterminant si les groupes sont différents ou non avant et après pour ensuite mesurer l'interaction afin de déterminer si les groupes ont évolué de manière différente. Enfin si il s'avère y avoir une différence nous avons utilisé le Sidak Test afin de réaliser une comparaison multiple et identifier précisément les différences d'effets. Les valeurs sont considérés significatives pour un $p < 0,05$

La taille de l'effet a été calculé à l'aide du d de cohen, où 0,2 est considéré comme un effet faible, 0,5 un effet moyen, 0,8 un effet élevé, et >1,2 est un effet très élevé. Nous avons réalisé les statistiques en utilisant le logiciel Excel et les documents Anastats.

5 - Résultats

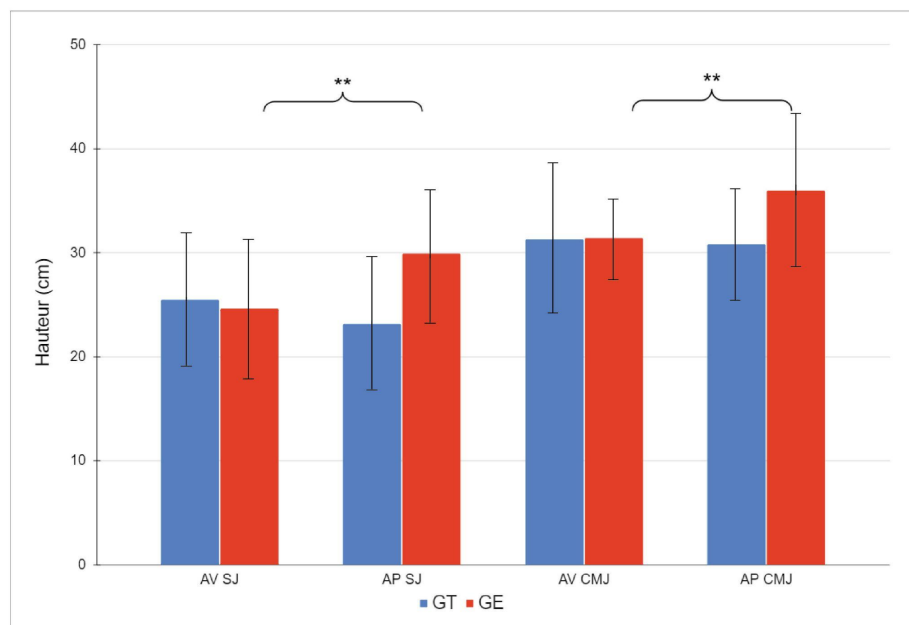


Illustration 8 : Résultats des tests sur la H/S avant et après intervention sur le SJ et le CMJ

GT = groupe témoin; GE = Groupe expérimental; AV SJ = test squat jump avant l'expérience; AP SJ = test squat jump après l'expérience; AV CMJ = test counter mouvement jump avant l'expérience ;AP CMJ = test counter mouvement jump après l'expérience;

Sur l'évaluation de la H/S en SJ (Illustration 7), après analyse statistique il n'y a pas de différence entre les groupes ($p=0,47$), ni d'effet de temps ($p=0,12$), cependant il y a bien une différence d'évolution entre les deux groupes avant/après intervention. Après application du Sidak test le GT n'a pas évolué ($p=0,2$) mais le GE s'est significativement amélioré +23% ($p=0,0017$) avec une taille d'effet élevée de 1, passant ainsi de $24,66 \pm 7,05$ cm à $29,89 \pm 6,61$ cm au SJ.

L'évaluation statistique de la H/S en CMJ (illustration 7) met en évidence qu'il n'existe aucune différence entre les groupes ($p=0,57$), mais il y a bien un effet de temps ($p=0,04$) et une différence

d'évolution entre les groupes avant/après intervention ($p=0,01$). Après application du Sidak test le GT n'évolue pas ($p=0,92$) mais le GE s'est significativement amélioré +15% ($p=0,0054$) avec une taille d'effet élevée de 0,96, passant ainsi de $31,41 \pm 8,23$ cm à $35,97 \pm 8,49$ cm au CMJ.

6 - Discussion

Notre étude met en lumière l'intérêt d'un travail pliométrique d'une durée de 4 semaines suite à un travail préparatoire de 14 jours, sur une période de désentraînement d'un mois et demie (42 jours) pour l'amélioration des qualités physiques des jeunes joueurs de handball en validant H2. Des améliorations significatives $p<0,05$ avec une taille d'effet élevée ont été constatées pour les tests de SJ et CMJ sur la H/S (respectivement 23% et 15%).

Nos résultats sur le CMJ sont en accord avec l'étude de Meylan et al. (2009) qui avaient constaté une amélioration significative de la hauteur de saut en CMJ de 7,9% ($p=0,004$), ils justifient ce résultat par le lien entre le CMJ et les exercices du programme stimulant de manière similaire le SSC (Schmidtbleicher, 1992), l'amélioration de ce saut semble donc être plus conséquente de par sa spécificité (Bompa et al., 2019). Il est également possible que ces améliorations viennent d'une augmentation de la rigidité musculo-tendineuse (Reiss et al., 2017), et l'amélioration du recrutement nerveux (Semler et al., 2002; Markovic et al., 2010) ou encore de la synchronisation du réflexe myotatique et une baisse de la sensibilité des récepteurs de golgi (Markovic et al., 2010; Zatsiorsky, 2006) pouvant permettre une plus grande expression de force et une meilleure exploitation du SSC.

L'amélioration du SJ est plus contrastée avec nos auteurs, en effet Meylan et al. (2009) n'ont pas obtenu de résultat significatif sur l'augmentation de la hauteur de saut au SJ après intervention (+0,6%), alors que Kotzamanidis (2006) met en évidence une amélioration au SJ de 34,67% ($p<0,01$). Cette grande différence d'amélioration au SJ comparativement à notre étude (24%) et celle de Meylan et al. (2009) (0,6%) peut s'expliquer par la différence des publics entre nos études, l'étude de Kotzamanidis est la seule intervenant sur un public non sportif et donc moins expérimenté comparativement à des jeunes avec minimum 2 ans d'expérience de travail pliométrique au travers de leur pratique. De leur côté Meylan et al. (2009) justifient leurs résultats au SJ du fait que ce saut n'est pas spécifique aux exercices réalisés durant un programme pliométrique engageant le SSC, sachant qu'il exprime la force concentrique pure uniquement. A cela nous pourrions ajouter la limitation de

développement musculaire chez les athlètes prépubères (Ratel., 2018) comparé aux adultes (Vissing et al., 2008; Malisoux et al., 2006; Potteiger et al., 1999). Sachant que l'hypertrophie musculaire possède un lien important avec la force concentrique (Bompa et al., 2019).

Toutefois, même si ces arguments sont une réalité, cela reviendrait à écarter l'idée qu'avec ce type de programme le système nerveux évolue (Semler et al., 2002; Markovic et al., 2010) et permet au sportif de mieux recruter leurs unités motrices ou encore d'améliorer leur taux de montée en force et donc d'être plus performant sur des mouvements même uniquement concentriques, ce que notre étude et celle de Kotzamanidis (2006) semblent appuyer. Il est important de préciser que nous n'avons pas réalisé d'analyse approfondie des différents facteurs de performances (activités électromyographique, raideur musculaires, analyse de section transversale, maturation biologique) de ce fait nos arguments restent de simple hypothèses basées sur les études de nos auteurs, amenant à une ouverture vers de futurs travaux.

De manière plus globale, nos résultats appuient le travail de Chu et al. (2013), qui décrivait un programme optimal de pliométrie sur 4 à 6 semaines avec au moins 48h de repos entre chaque séance moyennant un nombre de contact adapté à l'expérience, aux capacités des sportifs et à l'intensité des exercices entre 100 et 400 contacts au sol par sessions, dans ce cadre là notre étude vient confirmer l'amélioration des qualités physiques sur la composante de la détente verticale grâce à un programme de pliométrie respectant ces principes.

Nos résultats sur le désentraînement sont illustrés par GT qui n'a pas subi de changement significatif dans sa performance ce qui supporte les résultats de nos auteurs, Nunes et al. (2019) mettaient en avant que 8 semaines de désentraînement n'affectent pas négativement la performance en saut (CMJ). Et Ingle et al. (2006) démontrent que 12 semaines de désentraînements amenait une baisse de performance pour le groupe expérimental proportionnel à leur augmentation de performance, après un programme alliant un travail pliométrique et un travail de renforcement musculaire, cette baisse était notamment constatée sur le saut vertical (CMJ). Néanmoins le groupe témoin n'avait subi aucune altération de performance entre le début de l'étude jusqu'à la fin du désentraînement, ce qui correspond au résultat de notre groupe témoin. Notre étude s'ajoute donc à ce répertoire en démontrant que 6 semaines de désentraînement n'affecte pas négativement la performance de détente verticale engageant le SSC chez les jeunes athlètes prépubères.

Nous nous devons d'aborder certaines limites méthodologiques de l'étude actuelle. Premièrement la composition des groupes qui a été imposée par l'appartenance à une structure, au non de manière égale et aléatoire, ce qui peut fausser les résultats finaux en fonction de l'expérience, et des performances de chacun des joueurs sur nos tests, néanmoins les deux groupes sont similaires de part leur expérience de pratique (passée et actuelle), ou encore de leurs résultats aux tests pré-étude. Ce qui diminue le biais existant sans pour autant le faire disparaître, de plus il aurait pu être intéressant de réaliser des tests pré-période de familiarisation, afin de constater l'effet de celle-ci sur 2 semaines. Enfin la composition des groupes a été réduite par un abandon dans GE, ce qui diminue encore le nombre de nos sujets et donc la significativité de l'étude.

Secondement la réalisation des tests avant intervention, ils ont été réalisés indépendamment par chaque parent chez eux. Il y a donc une différence de matériel et de mise en place qui pourra influencer les résultats anthropométrique et vidéo non-négligeable, c'est pour cette raison que notre test de sauts répétés visant à évaluer la force réactive (le rapport entre la hauteur de saut max et le temps de contact au sol aussi nommé reactive strength index (RSI) (Flanagan et al., 2008) n'a pu être développé car les données vidéos n'étaient pas exploitables, nous avons donc dû nous limiter à l'exploration du SSC lent au travers du CMJ et de la force concentrique avec le SJ sans pouvoir étudier l'effet de ce type de programme sur le SSC rapide comme l'ont réalisé Meylan et al, 2009.

En lien avec les mesures, nos sujets ont été qualifiés de "prépubère" en se basant sur les travaux de nos auteurs (Meylan et al., 2009; Broussal-Derval et al., 2020) et à la moyenne de leur âge chronologique, mais leur niveau de maturation biologique n'a pas été évalué de manière précise (Mirwald et al., 2002), cela aurait pu permettre d'individualiser la réponse de chaque joueur de manière plus précise en fonction de sa maturation. Pour poursuivre sur l'individualisation, nous aurions pu imaginer représenter l'évolution de chaque sportif (répondeur et non répondeur à l'expérience) et le mettre en lien avec la maturation comme dit précédemment afin de pouvoir préconiser à nos lecteurs des mise en pratique plus précise.

Sur la programmation, d'après nos recherches nous sommes à ce jour la seule étude mettant en place un programme aussi court de (6 semaines), avec un volume aussi important de travail pliométrique (230 contacts au sol en fin de cycle). Mais cela s'explique cependant par l'absence de pratique totale des joueurs, qui la plupart du temps quand ces études sont menées sur des sportifs, mettent en place un entraînement combiné entre programme pliométrique et entraînements en saison, ce qui oblige à revoir

le volume global. Ce constat nous amène à prendre nos résultats avec vigilance, en attendant d'autres études similaires confirmant nos conclusions.

L'intérêt d'un travail pliométrique durant une période d'arrêt de l'activité sportive des sportifs prépubères mérite d'être étudié de plus près, notamment avec la mise en place d'évaluation plus précise (sans extrapolation) sur l'évaluation du profil force/vitesse, des qualités d'élasticités ou encore de raideur du système musculo-tendineux. Cela permettrait d'individualiser les qualités étant améliorées et celles ne subissant pas de variation, de celles subissant une baisse de performance lors de l'arrêt spécifique de l'activité. Ce qui pourrait mettre en lumière des lacunes du travail pliométrique ou du moins de la programmation réalisée dans l'étude (travail vertical, horizontal, latéral, SSC lent/rapide, volume, intensité).

7 - Conclusion

Notre travail avait pour but premier de réduire les effets d'une période de désentraînement sur le handballeur prépubère engendré par l'arrêt de leur activité. Dans ce sens, nous avons orienté notre programme sur une composante pliométrique sachant que celle-ci est spécifique à l'activité handball, engageant constamment l'activité du SSC dans divers déplacements (saut, sprint, COD). Nos sportifs du GE devaient ressortir de l'expérience avec des performances au moins similaires pour que celle-ci soit concluante. Une des spécificité de cette étude est qu'elle a été réalisée en intérieur, ce qui nous a obligé à l'axer sur une composante plutôt verticale au vu des conditions de pratique de nos sujets.

Nos résultats après expérience se sont révélés concluant sur l'amélioration des qualités de détente verticales des sujets +23% et +15% respectivement pour le SJ et le CMJ pour GE, ce qui dépassait nos espérances et nous permet d'affirmer qu'un travail pliométrique de 6 semaines durant un arrêt total d'activité peut permettre d'améliorer les performances de détente verticale chez le handballeur. Un autre résultat important est celui du groupe témoin qui n'a subi aucun changement significatif dans ses performances durant toute la durée de l'expérience. Ce qui nous amène à conclure qu'un arrêt de l'activité inférieur ou égal à 6 semaines n'est pas néfaste pour les performances de type SSC ou concentrique sur le saut vertical chez ce type de public.

D'après nos résultats, nous pouvons conseiller au club en cas de récurrences de ce type de période d'arrêt ou bien lors de programmation de période estivale qu'un arrêt de 6 semaines ne semble pas impactant

sur la performance, et qu'il est possible d'y intégrer du travail pliométrique adapté à l'expérience et aux capacités des sujets pour améliorer les performances de détente verticale.

Bibliographie

1. Piron, A. (1988). *Analyse fonctionnelle du mouvement*. Dossier FFA, revue EPS.
2. Aubert, F. (2019). *La motricité athlétique approche transversale à l'usage des sports terrestres*. Paris : EP&S
3. Bobbert, MF, Gerritsen, KGM, Litjens, MCA, Van Soest, AJV (1996) Why is countermovement jump height higher than squat jump height? *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 28, 1402-1412.
4. Bojsen-Moller J, Magnusson SP, Rasmussen LR, Kjaer M, Aagaard P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol* 99: 986-994, 2005.
5. Bompa, T. Buzzichelli, C. (2019). *Périodisation :Théorie et méthodologie de l'entraînement*. Paris : 4trainer
6. Broussal-Derval, A. Delacourt, L. (2018). *La prépa physique jeune joueur*. Paris : 4Trainer
7. Buchheit, M. Laursen, P. (2019). *Science and application of high-intensity interval training*. Westchester : Human Kinetics
8. Cavagna, G.A., Dusman, B. & Margaria, R. (1968) Positive work done by a previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology* 24, 21–32
9. Cavagna, G.A., Heglund, N.C., Harry, J.D. & Montovani, M. (1994) Storage and release of mechanical energy by contracting frog muscle fiber. *The Journal of Physiology* 481, 689–708.

10. Chaouachi A, Brughelli M, Levin G, Boudhina NB, Cronin J, Chamari K. Anthropometric, physiological and performance characteristics of elite team-handball players. *J Sports Sci.* 2009 Jan 15;27(2):151-7. doi: 10.1080/02640410802448731. PMID: 19051095.

11. Chelly MS, Hermassi S, Aouadi R, Shephard RJ. Effects of 8-week in-season plyometric training on upper and lower limb performance of elite adolescent handball players. *J Strength Cond Res.* 2014 May;28(5):1401-10. doi: 10.1519/JSC.0000000000000279. PMID: 24149768.

12. Chu, D. Myer, G. (2013). *Plyometrics*. Champaign : Human Kinetics

13. Collet, C. (2001). *Mouvements & cerveau - Neurophysiologie des activités physiques et sportives*. Paris : De Boeck

14. Faigenbaum AD, Kraemer WJ, Blimkie CJ, Jeffreys I, Micheli LJ, Nitka M, Rowland TW. Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res.* 2009 Aug;23(5 Suppl):S60-79. doi: 10.1519/JSC.0b013e31819df407. PMID: 19620931.

15. Flanagan, Eamonn P PhD, CSCS 1; Comyns, Thomas M PhD 2 The Use of Contact Time and Reactive Strength Index to Optimize Rapid Stretch Cycle Training, *Strength and Conditioning Journal*: October 2008 - Volume 30 - Issue 5 - p 32- 38 doi:10.1519/SSC.0b013e318187e25b

16. Flanagan EP. An examination of the slow and fast stretch shortening cycle in cross country runners and skiers. In. *Proceedings of the 25th International Society of Biomechanics in Sports*, Ouro Preto, Brazil, August 23–27, 2007.13. Gabbett T. A comp

17. Hermassi S, Gabbett TJ, Ingebrigtsen J, van den Tillaar R, Chelly MS, Chamari K. Effects of a Short-Term In-Season Plyometric Training Program on Repeated-Sprint Ability, Leg Power and Jump Performance of Elite Handball Players. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 2014;9(5):1205-1216. doi:10.1260/1747-9541.9.5.1205

18. Gavanda S, Geisler S, Quitmann OJ, Bauhaus H, Schiffer T. Three weeks of detraining does not decrease muscle thickness, strength, or athletic performance in adolescent athletes. *Int J Exerc Sci*. 2020 May 1;13(6):633-644. PMID: 32509134; PMCID: PMC7241623.
19. Henneman E, Somjen G, Carpentier Do. Functional significance of cell size in spine motoneurons. *J Neurophysiol*. 1965 May;28:560-80. doi: 10.1152/jn.1965.28.3.560. PMID: 14328454.
20. Hortobágyi T., Houmard J.A., Stevenson J.R., Fraser D.D., Johns R.A., Israel R.G. The effects of detraining on power athletes. *Med. Sci. Sports Exerc*. 1993;25:929–935.
21. Ingle L, Sleaf M, Tolfrey K. The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *J Sports Sci*. 2006 Sep;24(9):987-97. doi: 10.1080/02640410500457117. PMID: 16882633.
22. Komi, P.V. & Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 10, 261–265
23. Kotzamanidis C. Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J Strength Cond Res*. 2006 May;20(2):441-5. doi: 10.1519/R-16194.1. PMID: 16686577.
24. Kubo K, Morimoto M, Komuro T, Yata H, Tsunoda N, Kanehisa H, Fukunaga T. Effects of plyometric and weight training on muscle-tendon complex and jump performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2007 Oct;39(10):1801-10. doi: 10.1249/mss.0b013e31813e630a. PMID: 17909408.
25. Loturco I, Pereira LA, Kobal R, Martins H, Kitamura K, Cal Abad CC, Nakamura FY. Effects of detraining on neuromuscular performance in a selected group of elite women pole-vaulters: a case study. *J Sports Med Phys Fitness*. 2017 Apr;57(4):490 - 495. doi: 10.23736/S0022-4707.17.06162-X. Epub 2015 Dec 18. PMID: 26684439.
26. Malisoux L, Francaux M, Nielens H, Renard P, Lebacqz J, Theisen D. Calcium sensitivity of human single muscle fibers following plyometric training. *Med Sci Sports Exerc*. 2006 Nov;38(11):1901-8. doi: 10.1249/01.mss.0000232022.21361.47. PMID: 17095922.

27. Markovic G. Does plyometric training improve vertical jump height? A meta-analytical review. *Br J Sports Med.* 2007;41(6):349-355. doi:10.1136/bjsm.2007.035113

28. Markovic G, Mikulic P. Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med.* 2010 Oct 1;40(10):859-95. doi: 10.2165/11318370-000000000-00000. PMID: 20836583.

29. Matavulj D, Kukolj M, Ugarkovic D, Tihanyi J, Jaric S. Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001 Jun;41(2):159-64. PMID: 11447356.

30. Meylan C, Malatesta D. Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J Strength Cond Res.* 2009 Dec;23(9):2605-13. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b1f330. PMID: 19910813.

31. Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Bailey DA, Beunen GP. An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc.* 2002 Apr;34(4):689-94. doi: 10.1097/00005768-200204000-00020. PMID: 11932580.

32. Nunes ACCA, Cattuzzo MT, Faigenbaum AD, Mortatti AL. Effects of Integrative Neuromuscular Training and Detraining on Countermovement Jump Performance in Youth Volleyball Players. *J Strength Cond Res.* 2021 Aug 1;35(8):2242-2247. doi: 10.1519/JSC.0000000000003092. PMID: 31453943.

33. Potteiger, Jeffrey A.; Lockwood, Robert H.; Haub, Mark D.; Dolezal, Brett A.; Almuzaini, Khalid S.; Schroeder, Jan M.; Zebas, Carole J. Muscle Power and Fiber Characteristics Following 8 Weeks of Plyometric Training, *Journal of Strength and Conditioning Research*: August 1999 - Volume 13 - Issue 3 - p 275-279

34. Ratel, S. (2018). *Préparation physique du jeune sportif*. Paris : Edition Amphora.

35. Reiss, D. Prévost, P. (2017). *La bible de la préparation physique*. Barcelone : Amphora

36. Schmidbleicher D. (1985) L'entraînement de force; 1ere partie : classification des méthodes. Sciences du sport, août 1985.
37. Schmidbleicher, D. 1992. Training for power events. In strength and power for sports. P. Komi (editor). Hoboken, NJ : Blackwell (18) : 382-385.
38. Sieck GC, Mantilla CB. Novel method for physiological recruitment of diaphragm motor units after upper cervical spinal cord injury. J Appl Physiol (1985). 2009 Sep;107(3):641-2. doi: 10.1152/jappphysiol.00703.2009. Epub 2009 Jul 23. PMID: 19628723; PMCID: PMC3970934.
39. Spurrs RW, Murphy AJ, Watsford ML. The effect of plyometric training on distance running performance. Eur J Appl Physiol. 2003 Mar;89(1):1-7. doi: 10.1007/s00421-002-0741-y. Epub 2002 Dec 24. PMID: 12627298.
40. Tsatsouline, P. (2000). *Power to the People!: Russian Strength Training Secrets for Every American*. St.Paul : Advanced Fitness Solutions
41. Van der Sluis A, Elferink-Gemser MT, Coelho-e-Silva MJ, Nijboer JA, Brink MS, Visscher C. Sport injuries aligned to peak height velocity in talented pubertal soccer players. Int J Sports Med. 2014 Apr;35(4):351-5. doi: 10.1055/s-0033-1349874. Epub 2013 Sep 10. PMID: 24022568.
42. Vissing, Kristian 1; Brink, Mads 1.4; Lønborg, Simon 1.4; Sorensen, Henrik 1; Overgaard, Kristian 1; Danborg, Kasper 1; Mortensen, Jesper 1; Elstrom, Ole 1; Rosenhoj, Nikolaj 1; Ringgaard, Steffen 2; Andersen, Jesper L3; Aagaard, Par 3.4 Muscular Adaptations to Plyometric Training Compared to Resistance Training in Young Untrained Men, Journal of Strength and Conditioning Research: November 2008 - Volume 22 - Issue 6 - p 1799-1810 doi: 10.1519/JSC.0b013e318185f673
43. Waugh C. M., Korff T., Fath F., Blazeovich A. J. (2013). Rapid force production in children and adults. *Med. Sci. Sport. Exer.* 45, 762–771. 10.1249/MSS.0b013e31827a67ba
Zajac FE. Muscle and tendon: properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control. Crit Rev Biomed Eng. 1989;17(4):359-411. PMID: 2676342.

44. Zatsiorsky, V. Kraemer, W. (2006). *Science and Practice of Strength Training*. Champaign : Human Kinetics

45. CNOSF. *Fédérations et clubs en souffrance : les résultats officiels de l'enquête du mouvement sportif*, 2020. <https://cnosf.franceolympique.com/cnosf/actus/8374-fdrations-et-clubs-en-souffrance--les-rsultats-officiels-de-lenquete-du-mouvement-sportif.html> (accédé le 06/04/2022).

46. France Bénévolat. *À cause du Covid, deux millions de personnes ont cessé d'être bénévoles*, 2022. <https://www.la-croix.com/France/A-cause-Covid-deux-millions-personnes-cesse-detre-benevoles-2022-03-26-1201207095> (accédé le 06/04/2022)

Annexes

Annexe 1 : Tableau des résultats GE.

Joueurs	SJ		CMJ	
	Avant	Après	Avant	Après
	H/S (cm)			
J1	16,49	24,85	20,03	28,17
J2	28,63	30,17	36,45	39,98
J3	36,97	38,76	41,08	43,56
J4	22,58	31,16	29,66	35,39
J5	23,33	27,16	31,47	34,36
J6	17,47	20,04	21,83	23,04
J7	27,18	37,12	39,38	47,29
Moyenne	24,66	29,89	31,41	35,97
Ecart type	7,05	6,61	8,23	8,49

Annexe 2 : Tableau des résultats GT.

Joueurs	SJ		CMJ	
	Avant	Après	Avant	Après
	H/S (cm)			
J1	22,36	20,21	26,51	27,20
J2	37,77	34,84	43,41	40,68
J3	22,78	22,57	34,84	29,44
J4	22,15	20,11	24,61	27,09
J5	22,36	18,08	27,09	29,56
Moyenne	25,48	23,16	31,29	30,80
Ecart type	6,87	6,72	7,82	5,65

Annexe 3 : Exemple de séance type.

Date	25/11/20	Public/Nombre	-15 Mélançois Handball / 7
Heure	17h (45')	Emplacement	Visio
Thème			
Pilométrie Suivi Mémoire			
Echauffement	17h (10')	→ Rotations articulaires contrôlées - Cheville/Genou/Hanche/Bassin → Circuit dynamique haut du corps - pompe/superman/ enchainement cubain épaule	→ Echauffement des zones cibles, prise de conscience de son corps. → Entrée dans la séance
Séance	17h10 (30-35')	→ Hexagon drill unipodal - 3x8/côté → Sauts latéraux unipodaux - 4x8/côté → Skipping - 3x10/côté	→ 6 petits objets stables → Développement des qualités spécifiques au handball
Cooldown	17h40 (5')	➤ Respiration → Respiration en 4" inspi / 6" expiration nasale. Utiliser l'application métronome. ➤ Bilan de séance, impressions et difficultés	→ Passage en mode parasympathique → Récupération
Bilan générale			
		RPE	Note/10
		Nom	
			6
			7
			6
			6
			6
			7
			6

→ Réalisation technique impeccable
 → Aucune difficulté à relever

Résumé de l'étude

Objectifs : L'objectif de cette étude est de démontrer l'intérêt d'un travail pliométrique axé sur un travail vertical. Pour conserver, voir améliorer les performances physiques du joueur de handball prépubère sur l'expression de la détente verticale sèche et pliométrique durant une période d'arrêt prolongée de l'activité dû au COVID-19 de 6 semaines.

Méthode : Treize joueurs de handball prépubère ($13 \text{ ans} \pm 0,67$) ont été réparti en 2 groupes. Nous avons réalisé une programmation de 6 semaines, avec 2 semaines préparatoires pour les deux groupes visant à perfectionner les mouvements et les placements des exercices pliométriques dans un but de prévention des blessures et d'initiation aux tests. Suivi de 4 semaines d'entraînement uniquement pour le groupe expérimental, avec 3 sessions par semaine et un volume et une intensité qui augmentait au fur et à mesure des séances (de 154 contacts au sol à 230). Les tests ont été réalisés à la fin des 2 semaines préparatoires et à la fin des 4 semaines de programmation.

Résultats : Nous avons obtenu des résultats significatifs sur la hauteur de saut au SJ et CMJ avec respectivement une amélioration de 23% et 15% ($p < 0,05$), pour le groupe expérimental. Aucun changement significatif n'a été mesuré dans le groupe témoin.

Conclusion : L'arrêt de l'activité pour le handballeur prépubère n'est pas une fatalité et n'est pas amené à forcément induire une baisse de performance si celui-ci est inférieur ou égal à 6 semaines. Cependant des stratégies d'intégration d'un programme de pliométrie durant cette période d'arrêt semble être pertinent pour améliorer les qualités physiques lié à la détente verticale sèche (concentrique uniquement) et pliométrique.

Mots clefs : Pliométrie - Prépubère- Handball - Désentraînement - Détente verticale

Abstract

Objective : The objective of this study is to demonstrate the interest of plyometric work focused on vertical work. To preserve or see improvement on the physical performance of the prepubertal handball player on the expression of vertical jump height concentric and plyometric during a period of prolonged cessation of activity due to COVID-19 of 6 weeks.

Method : Thirteen prepubertal handball players (13 years old $\pm$ 0.67) were divided into 2 groups. We carried out a 6-week program, with 2 preparatory weeks for the two groups to perfect the movements and placement of the plyometric exercises in order to prevent injuries and to introduce them to the tests. Follow-up of 4 weeks of training only for the experimental group, with 3 sessions per week and a volume and intensity that increased with the sessions (from 154 contacts on the ground to 230). The tests were carried out at the end of the two preparatory weeks and at the end of the four programming weeks.

Results : We obtained significant results on jump height at SJ and CMJ with an improvement of 23% and 15% ($p < 0.05$) respectively, for the experimental group. No significant changes were measured in the control group.

Conclusion : Stopping the activity for the prepubertal handballer is not does not necessarily lead to a drop in performance if it is less than or equal to 6 weeks. However, strategies for integrating a plyometric program during this shutdown period seem to be relevant for improving the physical qualities related to the vertical jump height (concentric only) and plyometric.

Key words : Plyometric - Prepubertal - Handball - Detraining - Vertical jump Height

Compétences acquises

Si je devais ressortir une chose de la réalisation de ce mémoire, ce serait la capacité d'adaptation dont il a fallu faire preuve lors de la mise en place de cette étude puisque celle-ci s'est faite après une énième obligation d'arrêt d'activité. Il a donc fallu réaliser la programmation, la mise en place des tests, le contact avec les parents, la création d'un fichier pour réaliser les tests chez soi ainsi que s'assurer que chacun soit équipé d'une caméra avec ralenti pour MyJump.

Toutes ces choses là on du être mise en place rapidement pour démarrer l'étude juste après l'arrêt de la pratique. Cette capacité d'adaptation a nécessité une véritable organisation dans le travail, et dans la coordination des événements notamment avec les tests devant être fait au même moment et dans des conditions similaires. Sans oublier l'encadrement de chaque séance nécessitant la présence des joueurs.

La partie suivi de la charge avec la gestion d'un groupe a été une expérience importante (même si celle-ci n'était pas "scientifique"), avec le besoin d'analyser les joueurs durant les séances, d'échanger avec eux à chaque fois, pour obtenir un maximum d'informations et au besoin adapter les séances. Afin d'optimiser les chances de réussite de l'étude, j'ai aussi présenté aux jeunes des documents sur la nutrition, l'hydratation et le sommeil. Ce sont des choses qui se sont répercutées dans ma pratique quotidienne notamment dans mon encadrement en pôle espoir.

La gestion de projet de manière globale était également une part primordiale : créer un projet, le mettre sur papier, rechercher des sportifs pour le réaliser, s'entourer de personnes compétentes, communiquer et échanger avec les sujets et les personnes extérieures, motiver, suivre, analyser. Toutes ces étapes sont la base pour créer un projet comme celui-ci. Ce genre de projet fait, pour moi, écho à l'entrepreneuriat, qui représente la voix que j'aimerais suivre à la fin de mon cursus. Ce mémoire à donc pour moi eu beaucoup d'apport dans ce sens.