

Année universitaire 2021-2022

☒ 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*

MEMOIRE

TITRE : L'impact de la musculation combinatoire sur le contrôle moteur lors d'un arraché en haltérophilie.

Par : Marine BEY

Sous la direction de : Philippe CAMPILLO

Soutenu à la Faculté des Sciences du Sport et
de l'Éducation Physique le : 28/06/2022

« 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 tiens à remercier la Faculté des Sports pour m'avoir apporté toute l'aide nécessaire à la réalisation de ce mémoire, à savoir l'accompagnement des enseignants ainsi que leurs connaissances, leurs disponibilités et le temps accordé aux différentes incompréhensions/problématiques rencontrées.

Aussi, je tiens tout particulièrement à remercier CrossFit Vauban pour m'avoir permis de réaliser mon stage dans leur structure, et de ce fait, la réalisation de ce mémoire. Principalement, je remercie Monsieur Julien Baradel pour sa confiance tout au long de l'année et pour m'avoir laissé piloter mon projet au sein de son entreprise. De plus, je remercie également l'intégralité de l'équipe des coachs pour m'avoir apporté leurs connaissances et donc leurs expériences, aussi bien dans l'univers du CrossFit que dans le coaching en général.

Ensuite, un grand merci à Monsieur Philippe Campillo, directeur de ce mémoire, pour m'avoir dirigé tout au long de mon projet, soutenu, et s'être investi tout au long de l'année. Son aide et ses connaissances dans le domaine de l'haltérophilie m'ont été précieuses et très enrichissantes. Sa disponibilité depuis le fondement de ce projet jusqu'à la rédaction de ce mémoire a été fortement appréciable.

Pour finir, je tiens à remercier mes proches qui me soutiennent et croient en moi.

Sommaire

Remerciements	2
Sommaire.....	3
Glossaire	4
Introduction	5
1. Revue de littérature	6
1.1. Musculation combinatoire.....	6
1.2. Contrôle moteur.....	7
1.2.1. Stabilité/Equilibre.....	9
1.2.2. Gainage	10
1.2.3. Mobilité articulaire	11
1.2.4. Conclusion.....	12
1.3. Arraché.....	14
2.Problématique, Objectif, Hypothèses.....	17
3.Stage.....	17
3.1. Structure	17
3.2. Méthode expérimentale.....	18
3.2.1. Sujets.....	18
3.2.2. Protocole	19
4.Analyses statistiques	22
5.Analyses des résultats.....	23
6.Discussion.....	27
Conclusion.....	30
Bibliographie	31
Annexes.....	35
Annexe 1. Récapitulatif du maintien de la bonne posture d'après <i>Starrett</i> (2017).....	35
Annexe 2. Grille d'évaluation des tests.....	41
Annexe 3. Test 70-80-90% du 1RM et échec.....	42
Annexe 4. Séances 1 et 3.....	43
Annexe 5. Trajectoires de la barre à 70,80,90% du 1RM ainsi qu'à l'échec à T0 et à T1.....	48
Annexe 6. Différences significatives sur le Mann-Whitney U Test entre les deux groupes.....	60
Annexe 7. Différences significatives sur le test Wilcoxon entre T0 et T1.....	60
Résumé et mots-clés.....	63
Abstract and Keywords	64
Compétences acquises entre le début de la mise en stage et la soutenance	65

Glossaire

Cm	Centimètre
Dx2	Déplacement horizontal de la position de départ au début du deuxième tirage
DxL	Déplacement horizontal de la position la plus en avant à la position de réception
DxT	Déplacement horizontal de la position de départ à la position de réception
DxV	Déplacement horizontal de la position du deuxième tirage à la position avant
EMOM	Every minute on a minute
ES	Effect Size
F	Femme
FMS	Functional Movement Screen
Ge	Groupe expérimental
Gt	Groupe témoin
H	Homme
HMV	Hauteur maximale atteinte par la barre
IMC	Indice de Masse Corporelle
LCA	Ligament Croisé Antérieur
M	Mètre
ORDRE	Orientation, Réactivité, Dissociation, Rythmicité, Equilibration
PIA	Pression intra-abdominale
PVC	PolyChlorure de Vinyle
RM	Répétition maximale
SEBT	Star Excursion Balance Test
Sec	Seconde
STAPS	Sciences Techniques Activités Physiques Sportives
T0	Test d'avant cycle
T1	Test d'après cycle
VTR	Déplacement vertical de la hauteur maximale à la position de réception

Introduction

L'haltérophilie est une discipline olympique présente aux Jeux Olympiques depuis 1896 consistant à soulever des charges à l'aide d'une barre. Elle nécessite de la vitesse, de la coordination, de l'équilibre et de la souplesse en plus de la force. Ce sport de force est composé de deux mouvements : l'épaulé-jeté et l'arraché qui nécessitent technique et rigueur en plus d'exiger un apprentissage moteur précis. La posture a toute son importance dans cette discipline sportive, car le moindre défaut postural peut conduire à la blessure. Il est donc primordial de travailler son placement corporel et notamment son positionnement sur chaque phase du mouvement avant de chercher à augmenter ses charges. L'apprentissage postural lors de la réalisation de ces mouvements passe aussi bien par un travail centré sur la mobilité articulaire, la respiration diaphragmatique, le renforcement des muscles profonds que par l'équilibre et la stabilité des appuis. L'amélioration de ces points clés permet aux athlètes de devenir plus forts, plus stables, plus mobiles, et ainsi d'optimiser leurs mouvements et de ce fait, leur performance sportive.

Nous nous attacherons à exploiter différents champs d'études par le biais de différents concepts pour enrichir et tenter de justifier les résultats. Le mémoire s'axera ainsi sur la musculation combinatoire qui permet un travail postural sur différents concepts, et ainsi par déduction, parfaire la posture lors de la réalisation d'un arraché. En effet, il s'agit d'une méthode de travail récente de 2015 développée par Krantz et Morigny qui permet l'optimisation de la performance sportive. C'est sur cette méthode que nous accordons de l'importance. Par la suite, nous tâcherons de conscientiser sur l'importance du contrôle moteur qui se voit composé de plusieurs éléments fondamentaux. Pour finir, une description fine du mouvement de l'arraché constituera le dernier point nécessaire à justifier pour clôturer la revue de littérature.

Les résultats, précédés du protocole expérimental, se verront le plus précisément possible figurer en adéquation avec la revue de littérature.

1. Revue de littérature

1.1. Musculation combinatoire

La musculation combinatoire est une « méthode de travail visant à l'intérieur d'une même répétition et de façon parallèle le renforcement d'un certain nombre de muscles et le développement d'un certain nombre de facteurs attachés à la coordination. C'est combiner plusieurs tâches motrices en même temps. Donner du corps à une conception, une méthodologie à un entraînement. » (*Krantz & Morigny, 2017*). Cette méthode permet d'éviter les blessures, elle prend en compte la logique interne de l'activité, tout en étant un gain de temps. « En salle, force et coordination sont rarement associées ce qui entraîne un niveau de renforcement qui demeure limité à un moment particulier de la gestuelle, qui élimine toutes les conditions d'instabilité et de variation du mouvement qui occulte la notion de chaîne musculaire et réduit la contribution des muscles périphériques. On devient peut-être plus fort de façon locale et spécifique mais on continue à se blesser. » (*Krantz & Morigny, 2017*). Les blessures de nombreux muscles sont liées à la non prise en compte du rôle des muscles périphériques qui soutiennent et contribuent à la réalisation d'un geste (ratios entre agoniste antagoniste). En effet, ce ratio met en jeu les muscles qui se trouvent autour d'une articulation. D'après Rochcongar en 2004, un déséquilibre musculaire entre muscles agoniste et antagoniste peut être générateur de blessures. La coordination pose des problématiques sur l'Orientement, la Réactivité, la Dissociation, la Rythmicité et l'Equilibration (composantes de la coordination).

Intégrer les concepts de complexité et de combinaison dans l'entraînement est fondamental car cela permet d'optimiser plus rapidement la performance de l'athlète. De plus, cela induit la nécessité pour les entraîneurs de développer leurs compétences à mettre en place des combinaisons de plus en plus fines, dans le but d'accéder à des performances toujours plus remarquables. Par exemple, quand on additionne, on ne met pas d'intelligence interactive entre les deux éléments dans le sens où il n'y a aucune combinaison. Alors qu'en effectuant une multiplication, on combine les éléments les uns aux autres. Avec les mêmes chiffres, on obtient un résultat supérieur.

Le concept de super-exercice est un exercice simple qui devient un super-exercice dès lors qu'il subit une opération de complexification des contraintes ou une modification de son architecture de base. Les patterns moteurs vont être perturbés selon un certain nombre de variables. On ajoute ensuite les éléments de **variation des conditions d'exécution** (ORDRE). Au lieu des variations, cela peut se faire par couplage d'exercices (deux exercices isolés ou un exercice simple avec un exercice qui a eu des variations). **Par couplage** (exercice haut et bas en même temps), on peut augmenter un peu la charge. Si le mouvement est fluide, on peut élever la charge ou modifier des variables. La méthode combinatoire

présente des risques d'expertise (ne peut pas être faite par n'importe qui car le système peut être complexe. Donc il faut être prudent).

MUSCULATION COMBINATOIRE = FORCE + COORDINATION

Durant les séances classiques, il est possible d'effectuer de la musculation combinatoire sur des exercices isolés de façon à ajouter une pointe d'habileté motrice et ainsi perturber les athlètes : on crée de nouvelles adaptations. Si l'on souhaite mettre plusieurs exercices combinatoires bout à bout, on les intègre à un circuit training puisque généralement ce sont des exercices qui s'effectuent à charges légères. Chez des sportifs jeunes de niveau intermédiaire, on place ce type d'exercices régulièrement sur la saison. Néanmoins chez les experts, c'est un travail à privilégier en début de saison. La musculation combinatoire peut être associée à un travail centré sur l'équilibre. De ce fait, on la met en place dans les périodes dédiées au travail de l'équilibre. On mesure le degré d'intensité en fonction du niveau de contrainte de coordination. De cette manière, on se rend compte du nombre de paramètres/contraintes (force + coordination) que l'on met en place dans un même temps. Si jamais l'athlète est en échec, il ne faut pas hésiter à proposer des alternatives, à savoir des options plus simples.

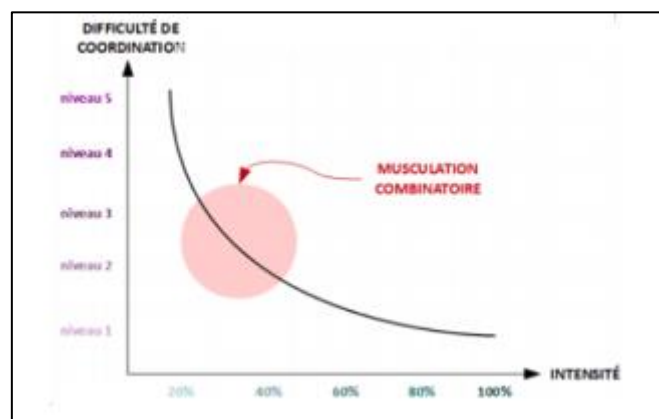


Figure 1. Intensité fournie en fonction de la difficulté de coordination mise en place (Krantz & Morigny, 2017)

1.2. Contrôle moteur

Le contrôle moteur fait partie intégrante de la prophylaxie qui est « l'ensemble des mesures et moyens visant à protéger contre les maladies et traumatismes et leur prolifération. » (Del Moral, 2015) Autrement dit, elle limite ou réduit les risques de blessure « liés aux contraintes de l'entraînement ou de la compétition dans le but de préserver à court, moyen et long termes l'intégrité physique des athlètes. » (Del Moral, 2015). La prophylaxie dans un sport de force est fondamentale. La blessure arrive malheureusement très facilement dans ces sports, notamment lors des entraînements. En effet, les entraînements sont composés de nombreuses répétitions de mouvements, et ce sont ces répétitions que

le corps peut ne pas « apprécier », qui usent, et donc qui engendrent la blessure. « Une blessure survient le plus souvent après une accumulation de facteurs de risques prédisposants. » (*Del Moral, 2015*) Les exercices et les tests proposés sont donc axés sur un point, visant à améliorer la performance, qui est le contrôle moteur. Il s'agit de refaire la position idéale des athlètes afin de les rendre plus forts sur leurs appuis, et plus performants.

Le contrôle moteur « met en jeu des chaînes musculaires étroitement coordonnées dont la fonction est d'assurer le redressement antigravitaire, la mobilité et l'équilibre. » (*Vasseur, 2000*). Effectivement, les chaînes musculaires sont contrôlées par l'axe corporel et présentent trois fonctions : assurer la mobilité, assurer les réactions d'orientation (système sensoriel), lutter contre la pesanteur (la gravité détermine « une large partie de l'architecture squelettique et musculaire », ce qui est essentiel au contrôle moteur/postural) (*Bullinger, 2005*).

Le contrôle de la posture est défini, en anglais, comme ceci : « achieving a desired body position [...] and maintaining this position in any static (maintaining a posture) or dynamic (performing a motor skill) situation. » (*Verbecque et al., 2015*). Cela mentionne deux notions du contrôle postural : celle d'atteindre une position et celle de maintenir une position (de façon statique ou dynamique) (*Filleul, 2017*).

Le système nerveux collabore avec le système musculaire dans le maintien de la position grâce à la propriété contractile des muscles agissants sur les segments osseux pour l'élaboration d'une position spécifique (d'où la notion de tonus postural qui signifie « la composante du tonus musculaire, qui est responsable de la position des segments corporels et des mouvements segmentaires ou globaux dans le maintien et le rétablissement des attitudes contre l'action de pesanteur » (*Thinès-Lemp. 1975*) (<https://www.cnrtl.fr/>)).

De plus, le système vestibulaire (oreille interne) aide le cerveau à percevoir la position du corps dans l'espace ainsi que les mouvements du corps dans l'espace. Le maintien de la position est permis grâce à deux mécanismes : les afférences périphériques et proprioceptives (il s'agit de « voies de traitement redondantes et convergentes, autorisant, en cas de défaillance de l'une d'entre elles, une reprogrammation plus ou moins efficace » (*Lamy, 2006*)) qui permettent de réajuster la représentation que l'on se fait du mouvement ; la représentation interne (c'est l'esprit humain qui « construit la réalité, en conçoit des alternatives, et vérifie des hypothèses, lorsqu'il est engagé dans un processus de simulation mentale » (*Ehrlich & al., 1993*)) pour effectuer un mouvement spécifique d'un segment (système nerveux de la commande musculaire).

Le contrôle postural est une tâche neuronale complexe activant de nombreux muscles. Deux niveaux de contrôle moteur peuvent être distingués : le premier niveau est la spécificité de direction (si l'équilibre est instable (corps qui se balance) alors les muscles dorsaux sont principalement activés) ; le deuxième niveau est le réglage d'ajustements spécifiques à la direction (permis grâce aux systèmes somato-sensoriel, visuel et vestibulaire) (*Hadders-Algra* 2010).

Lorsqu'on réalise un mouvement, la force provient systématiquement du sol puis ce sont les jambes qui transmettent l'énergie aux hanches. Par la suite, la rotation des hanches crée une tension entre hanches – épaules. « C'est à ce moment-là que les muscles stabilisateurs [muscles profonds,] entrent en jeu, pour aligner les épaules dans la direction des hanches. » (*Del Moral*, 2015). Dans le cas où il y aurait un élément de faiblesse, cela entraînerait une « perte de technique, timing, énergie et donc de force et des risques de blessures à court, moyen ou long terme » (*Del Moral*, 2015).

D'après Drake et Crawford (2017), « le contrôle moteur est l'intersection entre une bonne coordination des schémas de mouvement et la force d'exécuter ces mouvements. » Le contrôle efficace des articulations lors de l'arraché « affectera directement le succès des différentes positions et phases » de l'arraché (*Drake et Crawford*, 2017).

Le contrôle moteur regroupe plusieurs éléments d'après Starrett (2017), comme la stabilité des appuis ainsi que l'équilibre, les muscles profonds, la mobilité articulaire et la respiration.

1.2.1. Stabilité/Equilibre

La stabilité est la base du contrôle moteur qui précède le développement de la force car si l'athlète n'est pas stable, en aucun cas la posture peut être efficace. La souplesse et la stabilité de la colonne vertébrale devront être maintenues pour une bonne coordination et récupération. La souplesse des articulations est importante (scapulo-huméral et coxo-fémoral), elle permet d'exploiter le mieux possible la colonne vertébrale (qui doit être neutre et gainée afin d'être optimale et d'augmenter de 30 à 40% l'amplitude du mouvement) (*Starrett*, 2017) et le bassin dans la technique de l'arraché. C'est un point clé pour une bonne réalisation technique car c'est le dos qui transmet la force entre les deux ceintures : scapulaire et pelvienne. La souplesse de la cheville est la garante d'une bonne stabilité et d'une bonne transmission des forces et surtout d'une bonne posture comme vu précédemment. Ce travail est donc essentiel pour obtenir un bon contrôle moteur car c'est ce dernier qui fera la force du sportif : la stabilité des appuis est génératrice de force et permet un meilleur équilibre ; la stabilité du dos et du rachis est génératrice de force entre les ceintures pelvienne et scapulaire, et évite les douleurs, de ce fait les blessures dues à une mauvaise posture (quand une ou deux vertèbres expriment un plus grand degré de

mouvement par rapport au reste de la colonne vertébrale, la production de force est limitée et la capacité à stabiliser hanches/épaules est compromise) (Starrett, 2017) ce qui permet d'éviter les douleurs et ainsi la blessure.

L'équilibre postural « renvoie au maintien en équilibre d'une position particulière des segments corporels ou de l'ensemble du corps, c'est-à-dire d'une posture. » (Anne-Claire N., 2018). Le corps est soumis à l'action de diverses forces externes (comme la pesanteur, le poids du corps, charge extérieure surajoutée, ...) et le maintien de l'équilibre sous-entend « que les lois de la mécanique qui définissent l'équilibre soient respectées, c'est-à-dire que la somme des forces et que la somme des moments soient égales à zéro ; que les processus neurophysiologiques qui règlent l'activité des forces musculaires s'opposant à la résultante d'action des forces externes agissant sur le corps puissent s'adapter aux modifications de ces forces. » (Anne-Claire N., 2018). Ainsi, un maintien postural a donc un aspect dynamique dépendant d'une activité neuromusculaire adaptée. Un travail d'équilibre permet donc d'améliorer l'aspect proprioceptif du sportif pour stabiliser davantage ses appuis, ses articulations, et ainsi pour maintenir une bonne posture, éviter les chutes et lutter contre les contraintes externes en haltérophilie (une barre, des poids, etc.).

1.2.2. Gainage

Un travail de gainage pour renforcer les muscles profonds et ainsi la sangle abdominale (transverse), surtout les muscles situés au niveau du dos (amélioration de la posture), est important pour garder une bonne posture. Cela vient ainsi consolider la posture. Ce sont des muscles posturaux, antigravitaires (Del Moral, 2015). Ils sont essentiels au maintien de la posture. C'est avec le gainage qu'on les renforce. Le gainage est « l'action de renforcement de la musculature destinée à la stabilisation du tronc, à l'équilibre du bassin et au maintien de la posture » (Del Moral, 2015). Ce renforcement situe « la jonction entre haut et bas du corps, jonction permettant la transmission des forces entre ces deux entités. » (Del Moral, 2015).

D'après Chéry (2019), « l'un des principaux enjeux d'un gainage du centre du corps efficace est d'accroître la pression interne de la cavité abdominale, afin d'augmenter la stabilité du rachis lombaire. » Il est important de créer une pression intra-abdominale (PIA) durant les mouvements destinés à renforcer le bas du dos. Durant un effort qui a besoin de la stabilisation de la zone lombo-pelvienne, « la coordination synergique des différents muscles de l'abdomen pour créer une PIA s'organise de façon à ce que le diaphragme (cloison musculo-aponévrotique séparant la cavité thoracique de la cavité abdominale), en se contractant, agisse en véritable piston capable de créer une PIA. » (Chéry, 2019). En

effet, même si le diaphragme est un muscle servant à l'inspiration, il est actif lorsque la stabilité de la colonne est perturbée, « son niveau d'activation est modulé en fonction des demandes de la tâche motrice, en termes de production de force, de vitesse et d'équilibre. » (Chéry, 2019).

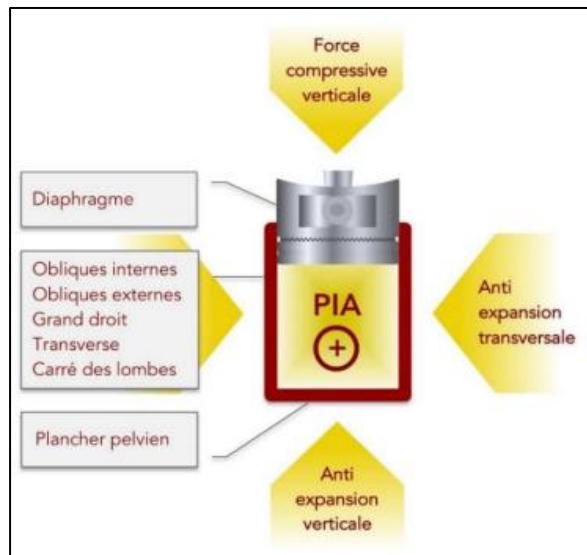


Figure 2. « Modélisation du rôle et de l'interaction des différents muscles du centre du corps dans la stabilisation et le gainage du centre du corps. » (Chéry, 2019)

Le blocage respiratoire entraîne une diminution momentanée du débit cardiaque qui peut entraîner une sensation de vertige ou d'éblouissement temporaire si la personne n'est pas accoutumée à cette manœuvre, ce qui peut mener à une perte d'équilibre. « Cependant, cette sensation de vertige disparaît rapidement lors de la reprise d'une respiration normale. » (Chéry, 2019). Cela dit, « sur une série de huit répétitions à 80% de 1RM (répétition maximale), il se peut donc que les premières répétitions soient effectuées en respiration libre avec une expiration dite forcée, pour bénéficier à la fois des fonctions respiratoire et stabilisatrice du diaphragme ; et sur les dernières répétitions de la série, là où les niveaux de fatigue sont élevés, passer le thermostat diaphragmatique en mode "full stabilisation", c'est-à-dire en blocage respiratoire complet. » (Chéry, 2019). Le gainage se réalise donc grâce à cette respiration diaphragmatique et permet de stabiliser le tronc en protégeant la colonne vertébrale.

1.2.3. Mobilité articulaire

La mobilité articulaire a pour principe d'assouplir les articulations, afin d'éviter la blessure et de pouvoir continuer à préserver voire améliorer cette souplesse (important en haltérophilie afin d'éviter de déclencher une douleur ; exemple : épaules systématiquement en rotation interne, le fait d'avoir du poids

continuellement sur l'avant de l'épaule en cas de manque de mobilité de cette dernière quand la barre se trouve au-dessus de la tête, cela peut engendrer des inflammations. Dans ce cas, préconiser un renforcement des deltoïdes postérieurs ainsi que des exercices d'assouplissement pour ouvrir davantage les épaules vers l'arrière). La mobilité articulaire concerne l'amplitude du mouvement. En effet, « l'étirement statique à amplitude maximale ne fonctionne pas. Pour maximiser la performance physique et réduire le risque de blessure, le sujet doit envisager une approche systématique en abordant chaque aspect du système physiologique. Cela inclut les muscles courts et tendus, la restriction des tissus mous de la capsule articulaire, la dysfonction du contrôle moteur et les limitations d'amplitudes du mouvement articulaire. » (Starrett, 2017). La mobilité articulaire est le point primordial qui vient après le contrôle moteur car « la mobilisation est une approche du corps entier basée sur le mouvement qui prend en compte tous les éléments qui limitent le mouvement et la performance. » (Starrett, 2017). Les « techniques de mobilisation » sont des « outils » permettant d'améliorer le contrôle moteur ainsi que l'amplitude du mouvement afin de maintenir la santé articulaire et tissulaire. Trois aspects sont à prendre en compte : la mécanique articulaire (aide à rétablir la fonction d'une articulation), les surfaces de glissement (améliorent l'interaction entre la peau, les nerfs et les muscles), la dynamique musculaire (allonge les tissus en fin d'amplitude).

Il existe deux façons d'approcher le travail de mobilité : identifier position/zone de restriction et mobiliser dans le contexte de la position que l'on souhaite améliorer ; mobiliser en amont/aval de la zone douloureuse.

Le travail de mobilité dépend de chacun, il ne convient pas à tout le monde. C'est pour cela que lorsque l'on souhaite réaliser un programme de mobilité personnalisé, il faut respecter trois règles : la résolution des problèmes d'articulations/tissus douloureux, puis concentration sur les positions restreintes ; pas moins de deux minutes par position ; choisir trois à quatre techniques de mobilité (ou positions à mobiliser). La mobilité articulaire des épaules – hanches – chevilles peut aider quant à l'amélioration de la performance car en cas de déficit de mobilité, « il peut y avoir un risque de frictions au niveau du cartilage, qui peut alors s'assécher et provoquer des douleurs, voire des problèmes articulaires » (Werner, 2019), obligeant le sportif à restreindre dans son mouvement, freiner ce dernier et potentiellement créer une chute.

1.2.4. Conclusion

Le contrôle moteur englobe de nombreux éléments (muscles profonds, mobilité, segments...) qui peuvent améliorer la performance tout en préservant l'intégrité physique de l'athlète. Il doit être correct

et efficient pour l'arraché, avec les fessiers contractés ce qui provoque une tension omniprésente au niveau abdominal (20% de tension minimum), mais d'autres paramètres sont à prendre en compte (**Annexe 1**) (Starrett, 2017).

La mobilité articulaire vient après l'obtention du contrôle moteur mais est complémentaire à celui-ci car ils appartiennent tous deux aux techniques de mobilisation pour améliorer l'intégrité physique chez le sportif. Le travail de contrôle moteur dispense de travailler ces paramètres en protégeant le sportif tout en améliorant sa performance ce qui accorde de limiter, prévenir, éviter les blessures.

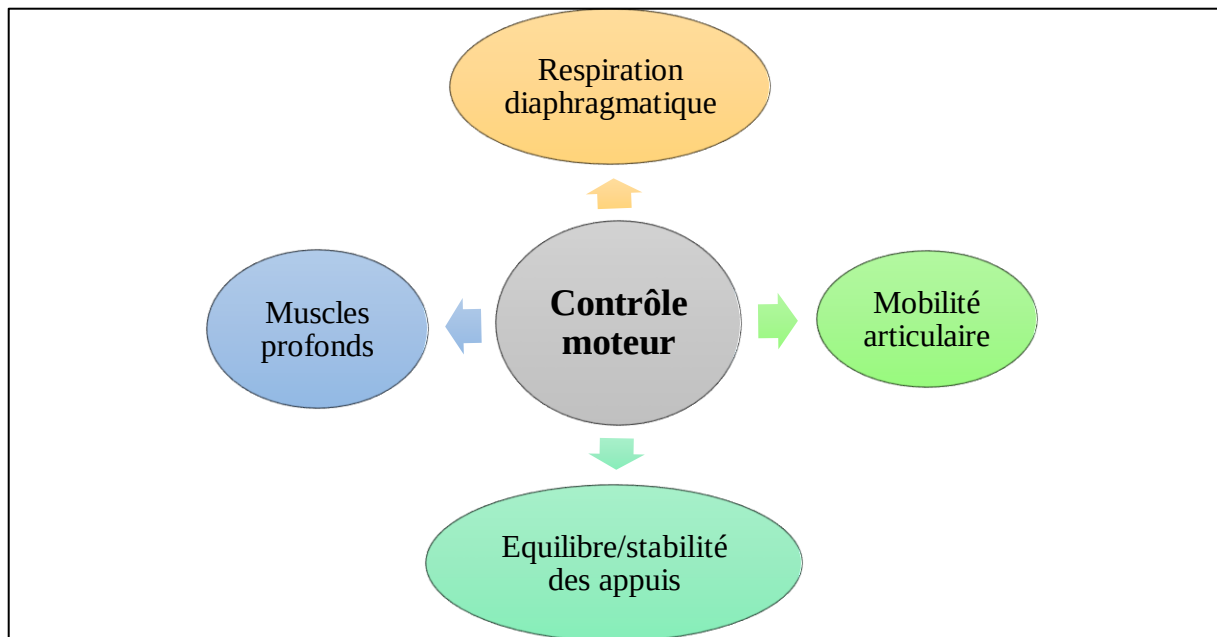


Figure 3. Schéma des éléments importants qui composent le Contrôle Moteur.

Le contrôle moteur est donc un élément essentiel de la performance sportive en haltérophilie. La mise en place de son travail nécessite donc une compréhension globale de ses mécanismes d'actions (respiration, mobilité articulaire, stabilité/équilibre, muscles profonds, posture efficiente d'après Starrett) mais également d'adopter une démarche de conscientisation du rôle et de l'implication des différents muscles dans le mouvement. On peut constater qu'un mauvais contrôle moteur entraîne rapidement des échecs pouvant entraîner des blessures notamment au niveau des articulations et du dos.

Comme le montre ci-dessous Pauly (2017), pour établir le « geste parfait », il y a plusieurs échelons à respecter : si un échelon n'est pas maîtrisé, tous les échelons qui arrivent ensuite ne peuvent être maîtrisés et conduire au « mouvement parfait ». Le contrôle moteur se trouve après la proprioception et la respiration, ce qui induit que ces deux éléments doivent être maîtrisés afin de posséder un bon contrôle moteur. Le contrôle moteur, décrit de la tête aux pieds par Starrett (**Annexe 1**) n'est aussi qu'un palier avant d'atteindre le « mouvement parfait ». Ainsi, pour conscientiser cette posture idéale, il faut

travailler sur des mouvements de stabilité, de gainage, d'équilibre ainsi que sur de la conscientisation de la respiration, afin de posséder tous les éléments essentiels au contrôle moteur et ainsi d'en améliorer la performance. Il est aussi intéressant d'utiliser l'outil vidéo (feedback) pour conscientiser la posture ainsi que l'imagerie motrice (représentation mentale d'une action).

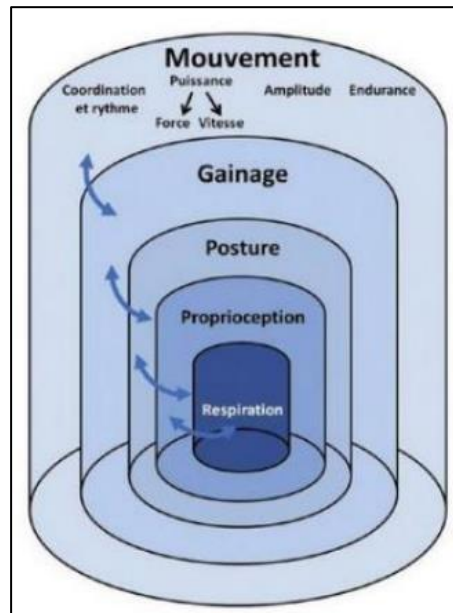


Figure 4. Le mouvement (Pauly, 2017)

1.3. Arraché

D'après Schilling et al. (2002), l'arraché est un des deux mouvements olympiques de l'haltérophilie et consiste à tirer la barre du sol jusqu'à la position au-dessus de la tête en six phases. D'après Broussal-Derval (2020), ces six phases sont :

La position de départ (prise de barre très large en pronation, bras tendus. Conserver les tibias en contact avec la barre, les genoux, les orteils et les épaules doivent la dépasser en avant. Pieds à plats, largeur de bassin, ouverts vers l'extérieur, le poids est légèrement sur l'arrière. Enfin, dos aligné en respectant les courbures naturelles) ;

Le premier tirage (première accélération de la barre pour l'amener du sol aux genoux. Bras tendus et dos tenu. « En passant les appuis sur la pointe des pieds, générer l'impulsion par les jambes et effacer les genoux pour laisser passer la barre. » (Broussal-Derval, 2020) ;

La transition (phase de ralentissement, la plus courte possible. Le dos se redresse légèrement pour réengager les genoux sous la barre afin qu'elle arrive au milieu des cuisses. L'appui se transfère depuis les orteils vers les talons et enfin vers la plante des pieds, mais les pieds restent intégralement en contact avec le sol) ;

Le second tirage (« impulsion menant à une triple extension simultanée des hanches, des genoux, et des chevilles, jusqu'à leur alignement vertical en fin de mouvement. Cette impulsion propulse la barre vers le haut, et aide au tirage des bras (haussement d'épaules puis de coudes) qui précède la chute sous la barre. » (Broussal-Derval, 2020) ;

La chute sous la barre (cette extension complète du corps permet de réaliser un saut et de se glisser sous la barre. La barre alors en suspension, sert d'appui pour propulser le corps vers le sol, et ainsi rapidement glisser sous la barre en flexion de jambe. Durant ce saut pour passer sous la barre, déplacer latéralement les pieds pour améliorer la stabilité, réceptionner la barre à bouts de bras tendus, légèrement en arrière de la tête. Le rebond lors de l'impact au sol est utilisé pour remonter la charge. Terminer le mouvement par un retour des pieds en position initiale, avec une légère antéversion du bassin, en ouvrant bien la poitrine et en avançant les coudes) ;

Redressement et stabilisation du corps (phase finale du mouvement, se redresser jambes tendues et repositionner les pieds sur leur placement d'origine, en conservant les bras tendus, la barre légèrement en arrière de l'axe de la tête. Le dos reste droit, le regard haut, fixé sur un point juste au-dessus de l'horizontale. Il ne faut ni relâcher le gainage du tronc ni le gainage scapulaire. Ce n'est qu'une fois totalement debout et équilibré, que la charge est libérée).

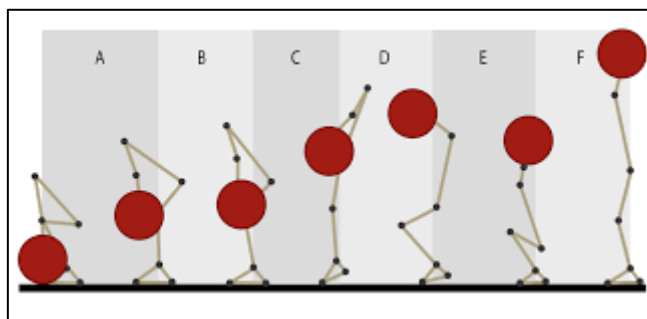


Figure 5. Les six phases de l'arraché.

Quant à la trajectoire de la barre lors de l'arraché, elle est généralement en forme de S. (Souissi & al., 2021). En effet, la barre doit être déplacée vers le sportif pendant la première phase de tirage/transition, puis elle est repoussée loin du corps de ce dernier par des flexions simultanées de la hanche et de l'épaule, et des extensions de l'articulation du genou. (Souissi & al., 2021). D'après Debraux (2012), la trajectoire de la barre « est un bon indicateur de l'efficacité mécanique du tirage vertical de la barre. » De plus, il semble que la performance ne dépend pas uniquement d'une trajectoire optimale car « des paramètres cinétiques comme la production de puissance sont tout aussi importants voire plus. » (Debraux, 2012) Les mesures anthropométriques des athlètes peuvent aussi influencer la trajectoire de

la barre en arraché, il s'agit donc d'un point intéressant à analyser cependant cela reste trop peu étudié. (Debraux, 2012). D'après Drake et Crawford (2017), « l'application correcte des principes de contrôle moteur permettra une trajectoire de barre plus reproductible et une hauteur relative de la barre grâce à une production de puissance constante. »

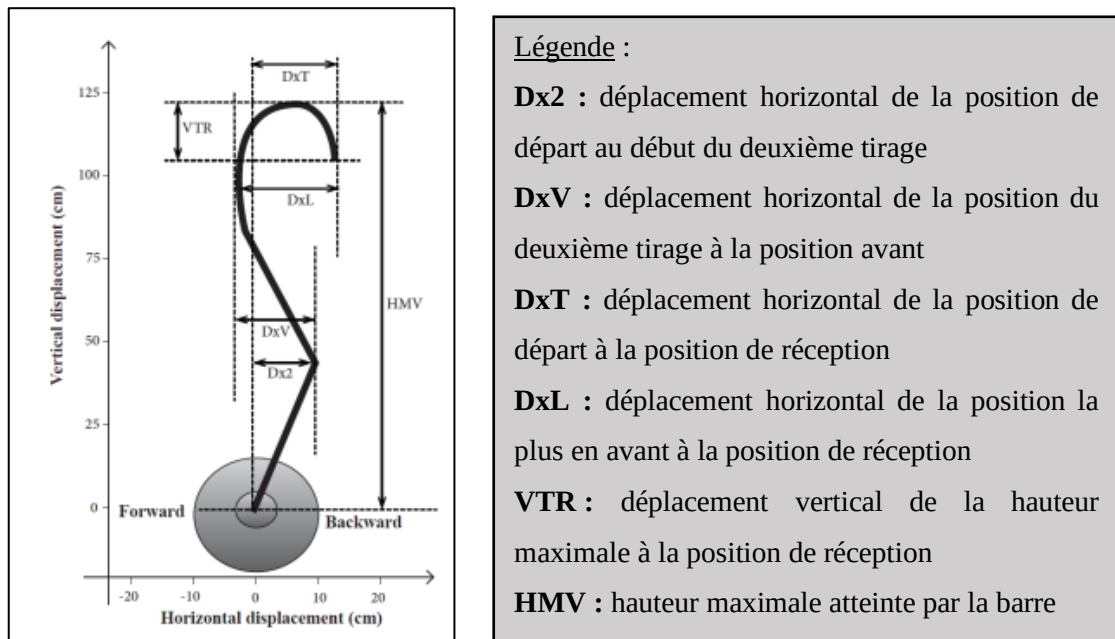


Figure 6. Description des variables cinématiques de la trajectoire de la barre utilisées pour évaluer les changements quantitatifs des positions de la barre (Souissi & al., 2021)

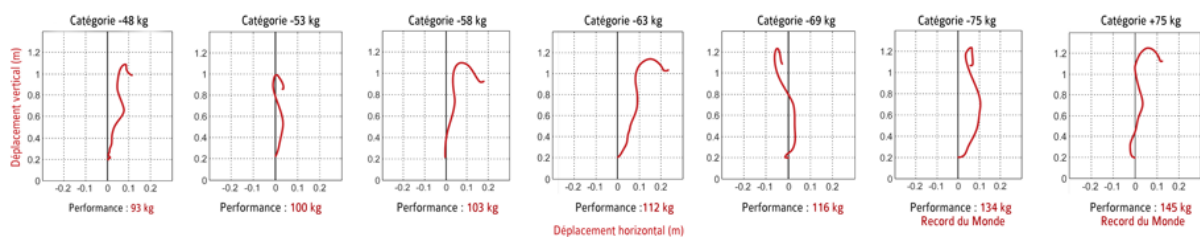


Figure 7. Trajectoires des barres dans le plan sagittal pour les 7 championnes du monde 2010. (Debraux, 2012)

2. Problématique, Objectif, Hypothèses

Nous traiterons le thème « **Contrôle moteur lors de l'exécution de l'arraché en haltérophilie** » et on s'intéressera plus particulièrement à la question suivante :

« **La musculation combinatoire peut-elle impacter le contrôle moteur et ainsi la performance d'un arraché en haltérophilie ?** »

C'est ainsi que l'on peut se demander si un cycle de huit semaines en musculation combinatoire ainsi qu'une prise de conscience posturale vont pouvoir améliorer le contrôle moteur et la performance (vitesse/trajectoire) des athlètes lors de la réalisation d'un arraché en haltérophilie ?

L'objectif de l'étude étant de constater une amélioration sur la performance des athlètes pour cause de travail en musculation combinatoire. On pourra ainsi remarquer quel groupe progresse le plus en termes de posture et de performance.

On peut d'abord émettre comme première hypothèse H1 que la musculation combinatoire améliore le contrôle moteur grâce à ses différents principes d'Orientation, Réactivité, Dissociation, Rythmicité et d'Equilibration et notamment la notion de couplage ; en 2^{ème} hypothèse H2 que le contrôle moteur améliore la performance en haltérophilie suite à son amélioration en mobilité articulaire, gainage, stabilité et équilibre au niveau des appuis ; en 3^{ème} hypothèse H3 que la musculation combinatoire améliore la performance en haltérophilie de par le travail de couplage et de variation des conditions (ORDRE).

3. Stage

3.1. Structure

La structure qui m'a accueilli pour la réalisation de ce mémoire est CrossFit Vauban à Lille (59), structure qui a ouvert il y a trois ans. Elle compte actuellement pratiquement quatre cents adhérents comprenant des débutants comme des compétiteurs.

La structure a plusieurs objectifs, notamment de proposer un panel d'activités de plus en plus varié, avec de la nouveauté aussi bien en termes de cours que d'événements internes à la structure (stages, séminaires, ...). De plus, l'objectif principal est de se focaliser sur la santé des adhérents et donc de promouvoir cette notion en proposant désormais un coaching en nutrition ainsi que des séminaires dans ce domaine.

Concernant mon statut et mes missions au sein de CrossFit Vauban, je suis apprentie coach en CrossFit ainsi que la référente des cours de Bodybuilding (musculation à visée hypertrophique), d'Aérobic (endurance cardio-respiratoire) et des Kids/Teens (développement moteur et renforcement

postural/musculaire chez les 6-10 ans et les 11-16 ans : nouveauté 2022). En dehors de la partie coaching, je m'occupe également de la partie vente (gestion des abonnements, de la boutique, ...). Mon rôle dans la structure est également d'apporter mon savoir STAPS à la structure et ainsi d'utiliser mon expertise de mémoire de Licence 3 en termes de contrôle moteur sur les adhérents pour promouvoir leur santé mais également de venir optimiser leur performance sportive.

Dans le cadre de mon apprentissage, je réalise également de la préparation mentale sur deux athlètes de la structure.

L'intégralité de mes missions est effectuée sous l'œil attentif de mon maître d'apprentissage, Julien Baradel qui est coach de CrossFit mais également le gérant de la salle. L'ensemble des autres coachs me supervise également.

3.2. Méthode expérimentale

3.2.1. Sujets

Mon protocole se réalise sur deux groupes hétérogènes distincts crossfiteurs de sept athlètes pour le Ge (groupe expérimental) et huit athlètes pour le Gt (groupe témoin) afin de prévoir une petite marge d'erreur (âge : $28,6 \pm 5$ ans, taille : $174,6 \pm 7,7$ cm, masse : $71,9 \pm 14,2$ kg, IMC : $23,3 \pm 3$ kg/m²).

Tableau 1. Caractéristiques des sujets

Sujets	Groupes	Sexe	Age (années)	Taille (cm)	Masse (kg)	IMC (kg/m ²)
Boris	Ge	H	35	182	81	24,45
Martin	Ge	H	27	178	88	27,77
Rudy	Ge	H	34	188	95	26,88
Thibault	Ge	H	30	185	88	25,71
Maéva	Ge	F	23	162	50	19,05
Flora	Ge	F	34	168	63	22,32
Vincent	Ge	H	36	165	64	23,51
Guillaume	Gt	H	24	179	60	18,73
Luiza	Gt	F	24	170	66	22,84
Mathieu	Gt	H	32	173	62	20,72
Anna	Gt	F	26	175	65	21,22
Alice	Gt	F	21	164	57	21,19
Valentin	Gt	H	24	175	70	22,86
Audric	Gt	H	33	181	94,5	29
Adrien	Gt	H	26	175	75	24,49
Moyenne			28,6	174,6	71,9	23,3
Ecart-type			5	7,7	14,2	3

3.2.2. Protocole

Nous élaborons une méthode expérimentale, c'est-à-dire que nous allons comparer un groupe d'athlètes (sept personnes) effectuant un cycle de musculation combinatoire durant deux mois et qui réalisera des tests à T0 (Test d'avant cycle) puis à T1 (test de fin de cycle) ; un groupe d'athlètes (huit personnes) effectuant leurs entraînements habituels et qui réalisera les mêmes tests à T0 puis à T1.

Un pré-test a été réalisé deux heures avant le début des tests afin de pouvoir trouver le bon angle de caméra. Chaque caméra a ainsi été placée à quatre mètres des plateformes d'haltérophilie.

Je vais ainsi réaliser un travail basé sur des exercices combinant plusieurs tâches motrices en même temps tel qu'en haltérophilie afin d'améliorer les qualités physiques et les habiletés ; d'éviter les blessures ; et d'augmenter la performance avec Ge durant tout un macrocycle de deux mois. Le Gt effectue uniquement les entraînements habituels avec l'entraîneur et réalise également les tests au même moment que Ge. A la fin de ce macrocycle, je comparerai les résultats obtenus par les deux groupes à T0 (tests effectués lors de la première séance) et T1 (tests effectués lors de la dernière séance) de façon individuelle.

Chaque test d'arraché sera filmé et analysé à partir du logiciel Kinovéa pour examiner la posture et analyser la vitesse/trajectoire de la barre lors de la réalisation du mouvement.

3.2.2.1. Tests

T0 et T1 se sont déroulés de la même manière. Les quinze athlètes devaient se rendre à la salle de CrossFit trente minutes avant le début des tests afin de s'échauffer. Par la suite, les explications de chaque test ont été communiquées et ont permis aux sportifs d'être autonomes sur la réalisation de ces derniers. En effet, par petits groupes de deux ou trois sportifs, ils ont réalisé les tests dans l'ordre qu'ils souhaitaient.

L'intégralité des athlètes étaient présents à T0. Or, à T1, quatre sportifs du Gt n'ont pas pu être présents soit pour cause de blessure, soit pour motifs personnels.

3.2.2.1.1. Overhead Squat

J'ai décidé de réaliser un exercice du test FMS (Functional Movement Screen de Cook, 2006), il s'agit d'un exercice de mobilité et d'intégrité physique. Il « permet d'évaluer et de contrôler instantanément la qualité des schémas moteurs d'un sujet et d'identifier des douleurs, des anomalies, des asymétries et des limitations articulaires ou musculaires à l'origine de mouvements compensatoires. » (Del Moral, 2015). J'ai sélectionné ce dernier que j'explique prochainement car il se rapproche de l'arraché en haltérophilie rendant l'exercice le plus spécifique possible. Il permet d'évaluer au mieux les

éléments primordiaux en haltérophilie (mobilité de hanche + muscles profonds). Mais il ne suffit pas à lui seul pour évaluer correctement le contrôle moteur en haltérophilie.

3.2.2.1.2. Sharpened Romberg Test (*Romberg, 1944*)

Il s'agit d'un test permettant d'évaluer l'équilibre et la stabilité des membres inférieurs. Il peut se réaliser les yeux ouverts ou fermés, le but étant de garder l'équilibre de façon statique minimum 30 secondes (il peut être trop simple, pour cette raison il peut se réaliser en appui unipodal sur la plante de pied avec l'autre pied situé dans le creux poplité de la jambe d'appui).

3.2.2.1.3. Star Excursion Balance Test (SEBT, *Gray et al. 1995*)

Pour évaluer également le contrôle moteur, on rajoute un test dynamique. Il s'agit de dessiner une étoile au sol, et d'aller chercher la plus grande longueur possible en appui unipodal dans les huit directions espacées de 45° chacune (*Sourice, 2017*).

Le maintien de l'équilibre statique et dynamique suppose l'absence de tout désordre ou pathologie sinon posture et équilibre sont coûteux en énergie, donc fatigants pour le sujet, paramètre à ne pas négliger.

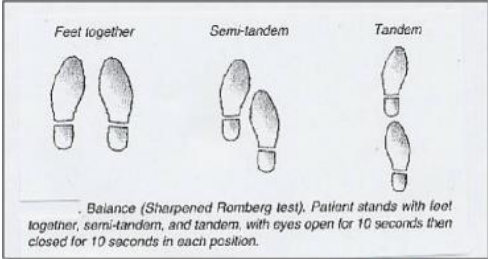
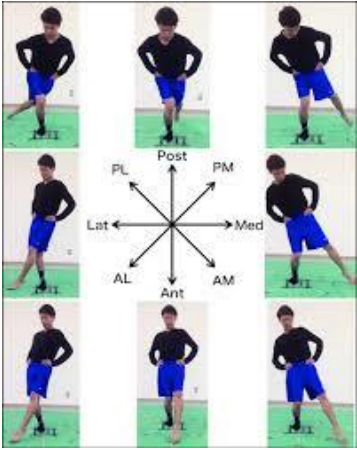
3.2.2.1.4. Quatre répétitions à 70% / 80% / 90% / Echec

Pour savoir si la performance est impactée ou non par le travail de renforcement musculaire, un test de quatre barres différentes : à 70, 80, 90% du RM et une répétition à l'échec est à réaliser à l'arraché.

L'ensemble des tests est à effectuer par les deux groupes afin de voir une comparaison entre Ge durant le macrocycle et Gt. Une grille d'évaluation est inscrite au tableau afin que chaque athlète puisse s'évaluer (**Annexe 2 et 3**).

3.2.2.2. Signification des tests

Tableau 2. Signification des Tests

Tests	Ce que permet l'exercice
Overhead Squat  ① Maintain lumbar core ② Arms and gaze point forward ③ Active shoulders ④ Perform squat ⑤ Balance PVC/bar overhead	- Mobilité et stabilité des hanches et des épaules + rachis thoracique - Contrôle postural, stabilité pelvienne et abdominale - Stabilité bilatérale des chevilles, genoux et hanches Au bâton PVC, se placer pieds largeur de hanches, le PVC au-dessus de la tête bras bien tendus puis réaliser une flexion complète (trois essais autorisés).
Sharpened Romberg Test 	- Si lésion vestibulaire chronique, ce test ne montre pas de déficit - Montre les problèmes proprioceptifs - Indique des déficiences vestibulaires - Déficit de stabilité En équilibre sur la pointe de pied et sur une jambe, placer le pied de l'autre jambe dans le creux poplité. Fermer les yeux et tenir le plus longtemps possible (trois essais autorisés).
Star Excursion Balance Test 	- Evaluer les performances physiques - Dépister les déficits de contrôle postural dynamique dus à des blessures musculosquelettiques (par exemple, instabilité chronique de la cheville) - Assure une symétrie fonctionnelle dynamique - Atteindre des distances de plus en plus se traduit par une augmentation du contrôle postural actif En appui unipodal au centre de toutes les directions, aller chercher la longueur la plus longue avec la pointe de l'autre pied sans que le pied de terre ne se décolle (trois essais autorisés). A réaliser par chaque jambe.

Des études sur le Star Excursion Balance Test (SEBT) ont établi la fiabilité et la validité de ce dernier. D'après *Hertel et al. (2000)*, la fiabilité de ce test varie entre $r = 0,85-0,96$. D'après *Plisky et al. (2006)*, la fiabilité varie entre $r = 0,82-0,87$. Dans une autre étude d'*Hardy et al. (2008)*, la fiabilité a été déterminée comme ayant des coefficients de corrélation intra-classe entre $r = 0,67-0,87$. *Chaiwanichsiri*

et al. (2005) ont conclu sur ce test qu'il était plus efficace qu'un programme de thérapie conventionnelle pour améliorer la stabilité fonctionnelle d'une entorse de la cheville. Ce test semble être un moyen efficace pour déterminer les déficits d'atteintes des sujets avec l'instabilité chronique unilatérale de cheville. Il peut également être utilisé pour déterminer les déficits et les asymétries chez les individus. En ce qui concerne la validité du test, d'autres recherches seraient recommandées (*Olmsted et al., 2002*).

Concernant le Sharpened Romberg Test, une étude de Gras et al. (2017) montre que ce test est valide et fiable concernant la mesure clinique de l'équilibre. Pour ceux qui ne réussissent pas le test plus de 30 secondes, il serait judicieux de leur faire bénéficier de tests d'équilibre ainsi que de mobilité plus approfondis.

3.2.2.3. Programmation

PLANIFICATION DES SEANCES (Durée du cycle : 8 semaines)							
Samedi 08/01	Mercredi 12/01	Samedi 15/01	Mercredi 19/01	Samedi 22/01	Mercredi 26/01	Samedi 29/01	Mercredi 02/02
Evaluations Diagnostiques	• Explications musculation combinatoire • Travail vélo + Tirages Horizontaux	• Prise de conscience contraction abdominaux • Travail vélo + tirage overhead • Travail chute d'arraché barre chargée unilatéral • Travail sur un complexe haltéro avec barre chargée en unilatérale	• Travail de dissociation haut et bas du corps (ski + fentes ; fentes déficit en overhead) • Travail en déséquilibre sur un complexe avec des mouvements d'haltéro • Travail de gainage	• Travail de dissociation + équilibre sur un complexe et sur un circuit avec gainage + mouvements haltéro	• Travail complexe haltéro + complexe gainage	• Travail complexe haltéro + complexe gainage • Travail du grip	• Travail vélo + Tirages Horizontaux • Travail équilibre en fentes en overhead • Travail déséquilibre avec barre chargée en unilatéral
Samedi 05/03	Evaluations Sommatives						
	• Travail overhead avec barre + élastique + dumbbell • Travail shoulders press avec barre + élastique + dumbbell						
Samedi 05/02	Mercredi 09/02	Samedi 12/02	Mercredi 16/02	Samedi 19/02	Mercredi 23/02	Samedi 26/02	Mercredi 02/03
• Travail complet avec position haltéro sur un format crossfit	• Travail de tirage d'arraché en dissociation (vélo) • Travail de déséquilibre en lourd sur semi technique haltéro • Complex haltéro	• Travail de dissociation haut et bas du corps (ski + fentes ; fentes déficit en overhead) en lourd • Travail en déséquilibre sur un	• Travail de dissociation + équilibre sur un complexe et sur un circuit avec gainage + mouvements haltéro en lourd	• Travail complexe haltéro en lourd + complexe gainage	• Travail vélo + Tirages Horizontaux • Travail équilibre en fentes en overhead en lourd • Travail déséquilibre avec barre chargée	• Travail complet avec position haltéro sur un format crossfit en lourd	• Travail technique arraché • Montée en charge et travail sur du lourd en arraché

Ci-dessus, la planification de l'intégralité des séances réalisées avec le Ge sur huit semaines. La séance une ainsi que la séance trois sont détaillées en annexes (**Annexe 4**).

4. Analyses statistiques

Les résultats des tests sont analysés entre tests posturaux et tests arrachés ainsi qu'entre Ge et Gt à T0 et T1.

L'ensemble des tests posturaux ainsi que des arrachés seront retranscrits dans un tableau à l'aide du logiciel Excel (Version 2011) qui permet de réaliser des statistiques descriptives notamment pour exprimer les résultats par leur moyenne et écart-type. La taille de l'effet est également calculée par ce

logiciel. De part ce dernier, les résultats sont également fournis sous forme de graphiques et figures de synthèse.

Par la suite, le logiciel Statistica (Version 10) permet de tester la normalité de la distribution des variables. Pour l'ensemble des variables étudiées, la normalité est testée par Shapiro-Wilks. La réalisation du Test Shapiro-Wilks sur l'ensemble des variables montre par sa significativité que la majorité des variables ne suit pas une distribution normale. Des statistiques non-paramétriques seront appliquées. En raison du nombre important de variables étudiées, nous n'avons pas jugé pertinent de renseigner ces résultats.

De plus, afin d'identifier s'il existe une différence significative entre les deux groupes Ge et Gt concernant les mesures anthropométriques, d'âges ainsi que les tests posturaux et les mouvements d'arrachés, nous utilisons le test non-paramétrique Mann-Whitney U Test pour les échantillons indépendants.

Aussi, concernant la recherche de différences significatives avant et après le cycle de préparation physique, le test de Wilcoxon est réalisé pour groupes appariés (mais aussi pour la totalité de la population, pour observation). La taille de l'effet sera effectuée pour les mouvements d'arraché.

On peut également observer s'il y a des corrélations entre les variables grâce à une matrice de corrélation de Spearman concernant l'arraché. Il est de ce fait intéressant d'effectuer une régression linéaire pour ces derniers.

Pour terminer, le logiciel Kinovéa nous permet de mesurer la vitesse de la barre ainsi que de déterminer un profil global de sa trajectoire. (**Annexe 5**)

5. Analyses des résultats

Aucune différence significative n'a été observée concernant les mesures anthropométriques des athlètes, leur âge, ainsi que les mesures établies à l'arraché. Cependant, quelques mesures se sont avérées être significatives sur les tests posturaux. (**Annexe 6**) En effet, nous avons remarqué une différence significative initiale entre les deux groupes sur la variable « T0 Overhead Squat. Position du PVC. » De plus, il existe des différences significatives pour les variables « T0. Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antérieure et T0. Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-médiale. » De même pour la jambe gauche, il existe une différence significative initiale sur la variable « T0. Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antéro-médiale. » De ce fait, nous en relevons donc qu'il n'y avait que très peu de différences significatives entre les deux groupes lors du lancement du cycle (T0).

Le test de Wilcoxon montre un nombre conséquent de différences significatives avant et après le cycle de formation. (**Annexe 7**) L'ensemble des tests statistiques est réalisé, pour aller plus rapidement, par groupes de variables dont certaines sont comparées inutilement, mais l'essentiel transparaît. En effet, nous constatons des différences significatives à T1 pour le SEBT chez le Ge. Cela indique un impact du cycle sur ce groupe. De plus, nous remarquons des différences significatives sur l'arraché, mais majoritairement sur le Gt. En effet, les charges du Ge ont augmenté significativement, mais celles du Gt aussi. Le Gt a même significativement amélioré la hauteur maximale de la barre (HMV) lors du dernier tirage ainsi que la durée d'extension de l'arraché. Il semblerait donc que les deux groupes aient progressé, mais le Gt davantage en termes de HMV sur le dernier tirage et de durée sur la phase d'extension de l'arraché.

Tableau 3. Moyennes et écarts-types de chaque variable à T0 et T1 ainsi que la significativité des tests.

Variables	T0			T1				
	Ge	Gt	Mann Whitney	Ge		Gt		All Groups
				Valeurs	Wilcoxon	Valeurs	Wilcoxon	Wilcoxon
Overhead Squat. Haut du torse	2,3 ± 0,9	3 ± 0		2,8 ± 0,4		2,5 ± 1		
Overhead Squat. Orientation du fémur	2,7 ± 0,7	3 ± 0		2,7 ± 0,7		2,7 ± 0,5		
Overhead Squat. Alignement genoux	2,8 ± 0,4	3 ± 0		3 ± 0		2,7 ± 0,5		
Overhead Squat. Position du PVC	2 ± 0,8	3 ± 0	*	3 ± 0	*	2,2 ± 0,9		
Overhead Squat. Autres	3 ± 0	3 ± 0		2,7 ± 0,5		3 ± 0		
Sharpened Romberg Test Jambe D	3,2 ± 1,3	3,4 ± 1,2		3,4 ± 1,1		3,4 ± 1,7		
Sharpened Romberg Test Jambe G	3,5 ± 0,9	4,4 ± 1,7		2,9 ± 0,4		3,6 ± 2,2		*
SEBT Jambe D antérieure	85,6 ± 12,5	99,8 ± 6,6	*	89,7 ± 11,8	**	99,7 ± 10,1		**
SEBT Jambe D antéro-médiale	73,1 ± 8,8	88,7 ± 11,4	*	76,3 ± 9,3	**	84,7 ± 14,5		**
SEBT Jambe D médiale	73,3 ± 15,2	85 ± 12,5		77,1 ± 15,6	**	83,25 ± 6		**
SEBT Jambe D postéro-médiale	84,9 ± 16,8	93 ± 10,2		88,6 ± 15,5	**	85,5 ± 6		**
SEBT Jambe D postérieure	93,1 ± 19,6	97,2 ± 8,1		97,4 ± 18	**	92,5 ± 7,8		**
SEBT Jambe D postéro-latérale	91,6 ± 20,5	102,5 ± 6		99,3 ± 19,3	**	101 ± 6,3		**
SEBT Jambe D latérale	96,7 ± 22	104,6 ± 7,9		99,9 ± 21	**	103,7 ± 4,1		**
SEBT Jambe D antéro-latérale	93,1 ± 15,4	101,9 ± 10,1		98 ± 17	**	100 ± 11,5		**
SEBT Jambe G antérieure	93,4 ± 15,1	98,7 ± 8,7		98 ± 17,2	**	96,7 ± 8		**
SEBT Jambe G antéro-médiale	75 ± 7,4	90,4 ± 10,5	*	78,3 ± 6,9	**	83,7 ± 6,1		**
SEBT Jambe G médiale	75,6 ± 15,1	83,5 ± 12,7		77 ± 16,8		74 ± 6,4		
SEBT Jambe G postéro-médiale	97 ± 15,1	92,9 ± 9,3		101,4 ± 15,4	**	85,5 ± 4,4		**
SEBT Jambe G postérieure	98,4 ± 11,6	99 ± 7,6		101,5 ± 11,7	**	94,2 ± 4,7		**
SEBT Jambe G postéro-latérale	103,9 ± 14,6	106,2 ± 9,8		108,1 ± 14,3	**	110 ± 7,5		**
SEBT Jambe G latérale	106 ± 21,7	231,5 ± 356,6		109,7 ± 23,3	**	105 ± 7,1		
SEBT Jambe G antéro-latérale	103,4 ± 17,7	107,7 ± 8,9		106,3 ± 17,8		106,2 ± 11,8		**
Barre (kg) 70%	36,8 ± 13,6	33,3 ± 9,4		41,6 ± 13,6		34 ± 6		
Barre (kg) 80%	42,3 ± 14,9	37,6 ± 10,9		47,1 ± 15,5		38,5 ± 6,8		
Barre (kg) 90%	47,5 ± 16,9	42 ± 12,1		52,7 ± 17,1		41,7 ± 6,4		
Barre (kg) Ehec	55,1 ± 19	48,7 ± 12,7		57,8 ± 18,4	*	49,5 ± 4,2	*	***
Hauteur max de la barre sur le dernier tirage (cm) 70%	177,6 ± 22,8	174,1 ± 9,8		170,1 ± 23,4		163 ± 21,7		
Hauteur max de la barre sur le dernier tirage (cm) 80%	175,9 ± 21,5	177,9 ± 14		173,9 ± 15,8		168,5 ± 18,7		
Hauteur max de la barre sur le dernier tirage (cm) 90%	175,1 ± 20,2	1+Q41+P54		169,4 ± 17,7		163,5 ± 24,2		
Hauteur max de la barre sur le dernier tirage (cm) ECHEC	165,7 ± 14,4	164,4 ± 17,8		152,6 ± 7,3		151,2 ± 16,6	*	***
Durée d'exécution de cette phase (sec) 70%	1,4 ± 0,2	1,3 ± 0,2		1,2 ± 0,1		1,3 ± 0,2		
Durée d'exécution de cette phase (sec) 80%	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,2		1,2 ± 0,1		1,2 ± 0,2		
Durée d'exécution de cette phase (sec) 90%	1,2 ± 0,1	1,2 ± 0,2		1,3 ± 0,2		1,2 ± 0,2		
Durée d'exécution de cette phase (sec) ECHEC	1,3 ± 0,2	1,3 ± 0,2		1,2 ± 0,1		1,2 ± 0,2		**
Vitesse d'exécution de la barre (cm/sec) 70%	131,6 ± 19,4	132,7 ± 21,6		146 ± 7,7		129,3 ± 29,2		
Vitesse d'exécution de la barre (cm/sec) 80%	146,2 ± 20,7	156,9 ± 30		146,3 ± 13,8		145 ± 29,2		
Vitesse d'exécution de la barre (cm/sec) 90%	142,4 ± 13,5	147,1 ± 31		130,2 ± 11,7		135,1 ± 28,9		
Vitesse d'exécution de la barre (cm/sec) ECHEC	124,8 ± 17,8	126,9 ± 23,7		130,7 ± 17,4		128,7 ± 26,1		

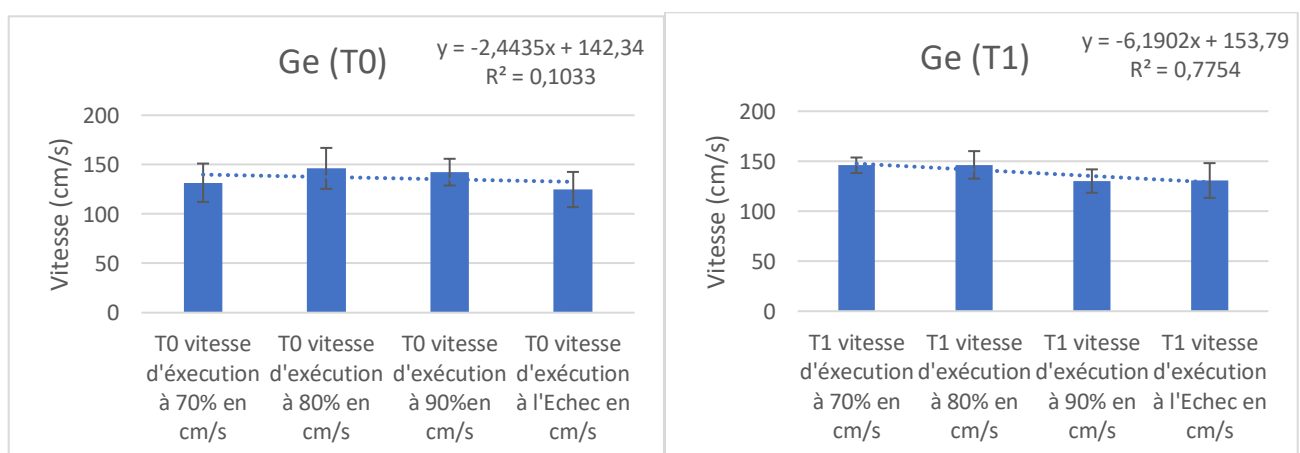
Les valeurs des tests sont considérées comme significatives pour $p < 0.05$ avec un astérisque (*), très significatives pour $p < 0.01$ avec deux astérisques (**), d'autant plus significatives pour $p < 0,001$ avec trois astérisques (***)

Tableau 4. Taille de l'effet de l'arraché à T1

Taille de l'effet	T1
Barres	1,68
Hauteur max de la barre sur le dernier tirage	0,91
Durée d'exécution de cette phase	7,82
Vitesse d'exécution de la barre	0,58

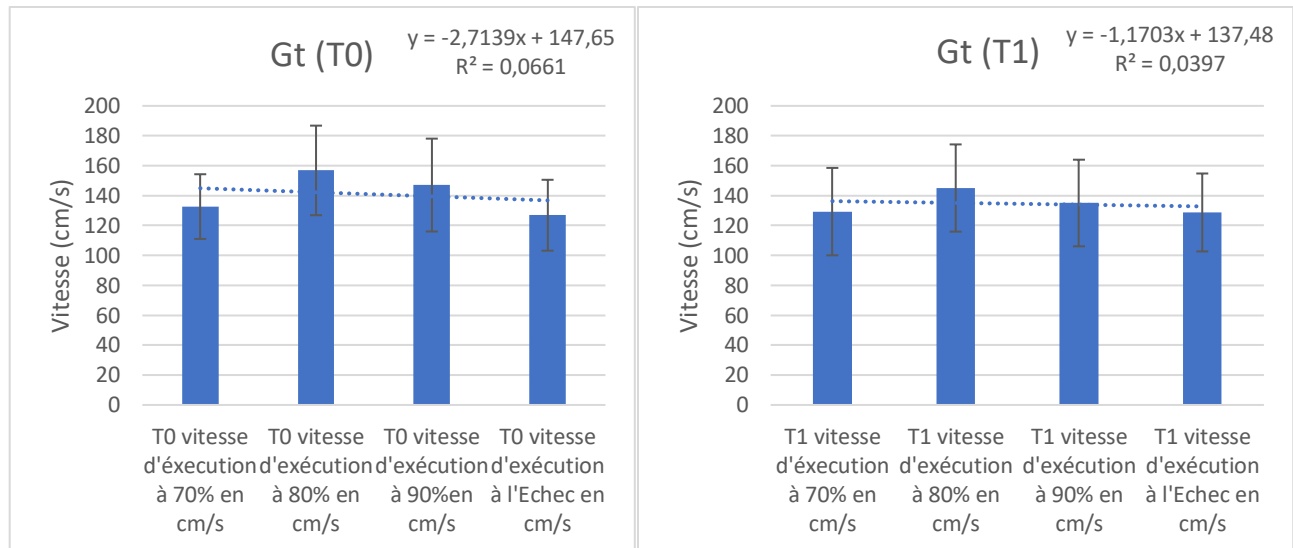
La taille de l'effet est intéressante concernant l'arraché à T1. En effet, la barre possède une taille de l'effet très élevée ($ES > 1,2$). Concernant la hauteur maximale de la barre sur le dernier tirage de l'arraché, nous avons une taille de l'effet très élevée ($ES < 1,2$). La taille de l'effet de la durée d'exécution du dernier tirage est d'autant plus élevée ($ES > 2$). Pour finir, la taille de l'effet de la vitesse d'exécution de la barre est moyenne. Ainsi, le cycle a globalement eu un effet élevé dans l'ensemble.

La matrice de corrélation de Spearman pour l'arraché a indiqué une corrélation entre la hauteur maximale de la barre sur le dernier tirage et la durée d'exécution de l'extension sur l'arraché ; entre la hauteur maximale de la barre sur le dernier tirage et la vitesse d'exécution de la barre. Aussi, pour le SEBT, chaque direction est en corrélation les unes avec les autres. De plus, les mesures sont également en corrélation d'une jambe à une autre. Il en est de même pour le Sharpened Romberg Test, on a pu constater une corrélation entre les deux jambes.



Graphique 1. Résultats de la régression linéaire sur l'arraché à T0 et à T1 chez le Ge.

Nous constatons une vitesse d'exécution plus importante à 80% du 1RM à T0 qu'à 70%. Or à T1, nous constatons une réelle régression linéaire de la vitesse d'exécution entre la barre à 70% et celle à l'échec.



Graphique 2. Résultats de la régression linéaire sur l'arraché à T0 et à T1 chez le Gt.

Nous ne pouvons pas constater de réelles régressions linéaires chez le Gt que ce soit à T0 ou à T1. En revanche, si l'on compare les graphiques entre Ge et Gt, nous remarquons tout de même que Ge à T1 possède de meilleures performances que Gt.

Les trajectoires de barre sont différentes de T0 à T1 et également sur les différentes barres. Cela indique donc que la trajectoire de barre semble personnelle.

6. Discussion

L'objectif de l'étude était de comparer les deux groupes de crossfiteurs sur leurs tests posturaux et d'arrachés afin d'identifier une potentielle amélioration sur ces deux paramètres chez le Ge. Cette amélioration devait être la conséquence du cycle portant sur la musculation combinatoire. Cela se traduirait par une amélioration du contrôle moteur et de la performance en arraché.

Or, l'étude mise en place possède quelques limites. En effet, la première limite est d'ordre humaine : ayant effectué mon stage au sein d'une entreprise, je n'ai pas pu obtenir un nombre de sportifs suffisant pouvant me permettre de poser un bilan significatif sur le projet. De plus, ne pouvant pas contrôler ce facteur « humain », mon Gt a été divisé par deux en fin de cycle pour causes diverses : blessures, opération, motif personnel. Cela a donc grandement impacté mes résultats de fin de cycle et ainsi l'évolution du Ge. Aussi, nous avons constaté que le Gt possédait des résultats plus significatifs en arraché pour certains paramètres : cela est dû au maintien de l'entraînement quotidien pour ces sportifs. Il aurait été plus judicieux de leur demander un arrêt de CrossFit de huit semaines afin d'avoir des résultats le plus juste possible, mais encore une fois, c'est une chose difficile à faire en entreprise. Pour finir sur le facteur « humain », il aurait été peut-être plus judicieux d'avoir un nombre d'hommes et de femmes égal dans chaque groupe pour une équité des sexes parfaite afin de ne pas biaiser les résultats davantage (le sexe pouvant impacter les performances car elles auront tendance à être plus importantes chez les hommes sur l'arraché que chez les femmes).

Autre limite constatée, la précision des mesures reste à redire : en effet, le matériel utilisé n'a pas été le plus approprié, par faute de moyens. L'outil vidéo a permis un retour en image rapide pour le sportif, or, l'analyse de la trajectoire de chaque barre a dû être approximative (la vitesse du mouvement étant trop importante, la qualité du point de repère sur l'image était souvent floue : le pointage de la barre a donc dû se réaliser image par image et à la main). Aussi, l'outil Kinovéo est donc sûrement limité en termes de précision, c'est la raison pour laquelle l'outil Dartfish aurait sûrement été plus intéressant. Ce travail d'analyse ayant été de ce fait très long, il aurait été plus avantageux et pertinent d'utiliser un accéléromètre pour un gain de temps et une précision plus importants.

Rappelons nos hypothèses :

H1 = la musculation combinatoire améliore le contrôle moteur

H2 = le contrôle moteur améliore la performance en haltérophilie

H3 = la musculation combinatoire améliore la performance en haltérophilie

L'hypothèse H1 est validée uniquement pour le SEBT et l'overhead squat. L'hypothèse H2 et H3 sont validées que pour la charge des barres à l'arraché.

En effet, le test de l'overhead squat montre une différence significative sur le Ge en comparaison avec le Gt. D'après Langdown et al. (2022), l'overhead squat est un « outil d'évaluation utile de la force et de l'amplitude des mouvements, à condition que tous les problèmes d'apprentissage moteur soient résolus avant que les résultats n'influencent les programmes de conditionnement. »

Barzegari et al. (2019) ont réalisé une étude sur l'effet d'un entraînement en suspension de 4 semaines avec des exercices de résistance totale sur la performance et l'équilibre. Cette étude montre que le Sharpened Romberg Test permet de mesurer l'équilibre statique et que ce dernier a été amélioré grâce à un entraînement en résistance. Or, avec notre protocole, Ge ne montre aucune différence significative à ce test, ce qui indique que les efforts combinés à dominante force n'améliorent pas grandement l'équilibre sur huit semaines.

Le protocole a également engendré un test de performance sur 4 barres : 70, 80, 90% du 1RM et une barre à l'échec. Les deux groupes ont significativement progressé en termes de charges, or le Gt reste le groupe qui a le plus progressé en termes de hauteur de barre maximale sur le dernier tirage. Cela dit, aucun des deux groupes n'a significativement progressé. En effet, Sandau et al. (2020) a fait une étude sur les effets de la charge sur la phase d'accélération durant l'arraché chez des haltérophiles élites qui montre que « l'augmentation de la charge de la barre a entraîné une diminution de l'impulsion d'accélération et, par conséquent, une différence de vitesse négative. Des charges accrues ont entraîné une perte de vitesse plus élevée lors du 1^{er} tirage par rapport à la transition ou au 2^{ème} tirage. » Dans notre protocole, nous avons pu constater qu'à 70% du 1RM, les sportifs avaient une vitesse d'exécution sur le deuxième tirage plus faible qu'à 80% (élément qui détermine encore une limite sur le public : les crossfiteurs n'ont aucune connaissance de leur véritable 1RM). Aussi, d'après Kipp et Harris (2015), l'accélération de la barre en arraché est en corrélation avec le poids de levage normalisé par la masse corporelle. De ce fait, il aurait été intéressant dans notre protocole de prendre en compte la masse

corporelle des sportifs afin d'analyser leur phase d'accélération en arraché. De plus, d'après Harbili et Alptekin (2014), « dans la technique de l'arraché, le déplacement horizontal de la barre, la hauteur maximale et la vitesse verticale sont des facteurs cinématiques importants qui ont un impact sur les performances. » Il aurait donc été également intéressant de rajouter le facteur « déplacement horizontal de la barre » à l'analyse vidéo effectuée à partir de Kinovéa. Quant à la trajectoire de la barre, elle est individuelle et propre à chaque sportif. Les études évoquent différents modèles, mais celle-ci doit globalement être verticale.

Les résultats du SEBT ont montré une différence très significative pour le Ge. En effet, ce test d'équilibre « améliore la stabilité postural et dynamique. » (Tudpor, 2021) Nous en revenons à un élément fondamental du contrôle moteur (Starret, 2017) qui signifie donc que le cycle en musculation combinatoire a permis une amélioration du contrôle moteur.

D'après Drake et Crawford (2017), « une application correcte des principes de contrôle moteur permet une trajectoire de barre plus reproductible et une hauteur relative de la barre via une puissance de sortie constante. » Comme nous avons pu constater avec la taille de l'effet dans notre protocole, le cycle de musculation combinatoire a eu un effet élevé, dans l'ensemble, sur la performance. Cela suggère un travail sur le contrôle moteur décrit précisément par Starrett (2017) centré sur la mobilité articulaire, la stabilité/l'équilibre, l'engagement des muscles profonds et la respiration diaphragmatique. De plus, « pour créer une position plus stable, les entraîneurs de force et de conditionnement doivent se concentrer sur la stabilisation de la colonne lombaire et des omoplates avant le levage et doivent être conscients des défauts de ces deux articulations principales. » (Drake et Crawford, 2017). Dans notre étude, les deux groupes rencontraient des difficultés sur ces points qui ont été intégralement travaillés et de ce fait, rectifiés pour le Ge. Il ne faut pas oublier que « le contrôle musculaire au niveau de ces articulations peut aider à orienter la programmation vers un travail plus technique et le développement de la force, en fonction des besoins de l'athlète. L'orientation de la programmation doit tenir compte des facteurs limitants, et il est important de déterminer les facteurs limitants de l'arraché : tirage d'arraché, force au-dessus de la tête, stabilité dans la prise de l'arraché, force des jambes et maîtrise technique de l'arraché. » (Drake et Crawford, 2017)

Du fait de notre protocole de recherche, aucune étude n'a été faite sur la musculation combinatoire, ce qui rend les résultats du cycle peu discutables. De plus, peu d'études sur les barres à l'échec permettent de discuter la performance en arraché.

Conclusion

L'objectif de notre étude était d'identifier les effets de la musculation combinatoire sur le contrôle moteur ainsi que sur la performance lors d'un arraché en haltérophilie. De ce fait, nous avons émis les hypothèses que :

H1 = la musculation combinatoire améliore le contrôle moteur

H2 = le contrôle moteur améliore la performance en haltérophilie

H3 = la musculation combinatoire améliore la performance en haltérophilie

Notre étude montre une différence significative sur l'overhead squat, sur le SEBT ainsi que sur la charge de la barre à l'arraché. Cependant, aucune différence significative sur le Sharpened Romberg Test ainsi que sur la hauteur maximale de la barre sur le dernier tirage, la durée de cette phase ainsi que la vitesse de la barre lors de la phase d'extension à l'arraché.

La musculation combinatoire ainsi que l'analyse des charges de la barre à l'échec, étant trop peu étudiées, ne permettent pas de discuter les résultats et de les comparer avec la littérature. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la musculation combinatoire ne s'utilise que sur un public déjà bien entraîné. De plus, cela commence à se développer en préparation physique, mais ces derniers ne nomment pas ce type d'entraînement. Pour la barre à l'échec, une unique étude de Liu et al. (2022) sortie en mai dernier indique qu'il existe de nombreuses limitations quant à l'évaluation de l'échec : le multicaméra, les différents facteurs d'échecs (qui sont nombreux, l'avant du sportif est étudié dans l'étude mais pas l'arrière), le nombre d'échantillons...

En revanche, les arrachés ont montré une évolution qui paraît légèrement plus importante avec une meilleure maîtrise technique après avoir réalisé le cycle en musculation combinatoire. Le protocole a ainsi été efficace, mais il l'aurait été davantage si le groupe témoin n'avait rien pratiqué durant huit semaines et s'il était resté complet aux post-tests (limites).

Par la suite, il serait intéressant d'intégrer des tests de force afin de mesurer l'efficacité de ce type d'entraînement sur la force des sportifs. Un accéléromètre serait utilisé pour mesurer le profil force-vitesse. Aussi, le groupe contrôle devrait en revanche effectuer une interruption d'entraînements durant le temps du cycle. Pour finir, le cycle passerait de huit semaines à 4 mois afin de laisser le temps au cycle d'impacter significativement la force des sportifs.

Bibliographie

- Barzegari, M., Shojaedin, S., et Zahra K. (2019) « The Effect of a 4-Week Suspension Training With Total Resistance Exercises on Performance and Balance in Healthy Children ». *USWR* 9, 4, 235-42. <https://doi.org/10.32598/ptj.9.4.235>.
- Broussal-Derval, A. (2020, 15 octobre). L'arraché - mouvement haltérophilie – toutes les phases. ABD Formations. <https://www.broussal-derval.com/2020/10/15/arrache-mouvement-halterophilie/>.
- Bullinger, A., (2005). Le développement sensori-moteur de l'enfant et ses avatars. Un parcours de recherche. Erès, ed.
- Causse, F. (2015). *Le Functional Movement Screen : un outil fiable dans la prédiction d'un risque de blessures ?* [mémoire, Université de Strasbourg]. Institut de Formation en Masso-Kinésithérapies d'Alsace. <https://www.sci-sport.com/memoires/download/011.pdf>.
- Chaiwanichsiri, D., Lorprayoon, E., et Noomanoch, L. (2005, septembre). Star Excursion Balance Training : Effects on Ankle Functional Stability after Ankle Sprain. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmai het Thangphaet*, 88 Suppl 4, 90-94. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.ressources-electroniques.univ-lille.fr/16623010/>.
- Chéry, C. (2019). Comprendre, travailler et maîtriser son gainage. Sci-Sport. <https://www.sci-sport.com/dossiers/Comprendre-travailler-et-maitriser-son-gainage-009.php>.
- Debraux, P. (2012). Description cinématique de l'arraché chez des athlètes féminines de haut-niveau. Sci-Sport. <https://www.sci-sport.com/articles/Description-cinematique-de-l-arrache-chez-des-athletes-feminines-de-haut-niveau-044.php>.
- Del Moral, B. (2015). *Préparation physique : prophylaxie et performance des qualités athlétiques*. Physiques Performance Editions.
- Drake, N., Crawford, D. (2017). Motor Control for the Snatch : An Integrative Approach. *NSCA Coach* 4, 14-20. https://www.researchgate.net/publication/319043827_Motor_Control_for_the_Snatch_An_Integrative_Approach.

Ehrlich, M., Tardieu, H., et Cavazza, M. (1993). *Les Modèles mentaux : Approche cognitive des représentations*. FeniXX.

Filleul, M. (2017). *Influence du contrôle postural du tronc sur la préhension de l'enfant atteint de Paralyse Cérébrale* [mémoire, Université de Rennes]. Institut de Formation en Masso-kinésithérapies. https://ifpek.centredoc.org/doc_num.php?explnum_id=1632.

Gras, L., Ganley, K. J., Bosch, P. R., Mayer, J. E. et Pohl, P. S. (2017). Convergent Validity of the Sharpened Romberg. *Physical & Occupational Therapy in Geriatrics*, 35(2), 99-108. <https://doi.org/10.1080/02703181.2017.1307897>.

Hadders-Algra, M. (2010). Variation and Variability: Key Words in Human Motor Development. *PHYS THER*, 90, 1823-1837. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100006>.

Harbili, E., & Alptekin, A. (2014). Comparative kinematic analysis of the snatch lifts in elite male adolescent weightlifters. *Journal of sports science & medicine*, 13(2), 417-422. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/ressources-electroniques.univ-lille.fr/24790499/>.

Hardy, L., Huxel, K., Brucker, J. et Nesser, T. (2008) Prophylactic Ankle Braces and Star Excursion Balance Measures in Healthy Volunteers. *Journal of Athletic Training* 43, 4, 347-51. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-43.4.347>.

Hertel, J., Miller, S. J. et Denegar, C. (2000). Intratester and Intertester Reliability during the Star Excursion Balance Tests. <https://doi.org/10.1123/JSR.9.2.104>.

Kipp, K. & Harris, C. (2015). Patterns of barbell acceleration during the snatch in weightlifting competition, *Journal of Sports Sciences*. 33(14), 1467-1471. <https://doi.org/10.1080/02640414.2014.992035>.

Krantz, N., Morigny, A. L. INSEP. (2017, 21 mars). *Rencontres Thématiques #7 - La musculation combinatoire* [Vidéo]. Youtube. <https://www.youtube.com/watch?v=PQmErq-IiRw>.

Lamy, J.C. (2006). Bases neurophysiologiques de la proprioception. 472, 15-23. <https://www.ks-mag.com/article/7066-bases-neurophysiologiques-de-la-proprioception>.

Langdown, B., Bridge, M., Li, F. (2022). The Influence of an 8-Week Strength and Corrective Exercise Intervention on the Overhead Deep Squat and Golf Swing Kinematics, *Journal of Strength and Conditioning research*. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000004254>.

Liu, G., Houwei, Z., Jing, M., Huiju, P., Xu, P., Yingyue, Z., Ting, H., Gusztáv, F., Haiying, G. et Minjun, L. (2022). A Biomechanical Study on Failed Snatch Based on the Human and Bar Combination Barycenter. Édité par Justin Fernandez. *Applied bionics and biomechanics*. <https://doi.org/10.1155/2022/9279638>.

N, A. C. (2018). Posture et équilibre : deux notions différentes. Elsevier Connect. <https://www.elsevier.com/fr-fr/connect/kine-osteo/posture-et-equilibre-deux-notions-differentes>.

Pauly, O. (2017). *Posture et Musculation – Initiation, rééducation, prévention, performance*. Deboeck supérieur.

Olmsted, L. C., Carcia, C., Hartel, J. et Shultz, S. (2002). Efficacy of the Star Excursion Balance Tests in Detecting Reach Deficits in Subjects With Chronic Ankle Instability. *Journal of Athletic Training* 37(4), 501-6. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.ressources-electroniques.univ-lille.fr/12937574/>.

Plisky, P. J., Rauh, M., Kaminski, T. et Underwood, F. (2006). Star Excursion Balance Test as a Predictor of Lower Extremity Injury in High School Basketball Players. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*. 36(12), 911-19. <https://doi.org/10.2519/jospt.2006.2244>.

Plisky, P. J., Gorman, P., Butler, R., Kiesel, K., Underwood, F. et Elkins, B. (2009) The Reliability of an Instrumented Device for Measuring Components of the Star Excursion Balance Test. *North American Journal of Sports Physical Therapy : NAJSPT*. 4(2), 92-99. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.ressources-electroniques.univ-lille.fr/21509114/>.

Rochcongar, P., (2004). [Isokinetic thigh muscle strength in sports : a review]. *Annales de réadaptation et de médecine physique : revue scientifique de la Société française de rééducation fonctionnelle de réadaptation et de médecine physique*. 47(6), 274-81. <https://doi-org.ressources-electroniques.univ-lille.fr/10.1016/j.annrmp.2004.05.013>.

Sandau, I., Granacher, U. (2020). Effects of the Barbell Load on the Acceleration Phase during the Snatch in Elite Olympic Weightlifting. *Sports*. 8(5), 59. <https://doi.org/10.3390/sports8050059>

- Schilling, B., Stone, M., O'Bryant, H., Fry, A., Coglianese, R. et Pierce, K. (2002). Snatch Technique of Collegiate National Level Weightlifters. 16(4), 551-5. <https://pubmed-ncbi-nlm-nih-gov.ressources-electroniques.univ-lille.fr/12423184/>.
- Souissi, M., Ammar, A., Trabelsi, O., Glenn, J., Boukhris, O., Trabelsi, K., Bouaziz, B. et al. (2021). Distance Motor Learning during the COVID-19 Induced Confinement : Video Feedback with a Pedagogical Activity Improves the Snatch Technique in Young Athletes. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18, 6, 3069. <https://doi.org/10.3390/ijerph18063069>.
- Sourice, M. (2017). *Intérêt d'un test clinique dans le diagnostic de l'instabilité de cheville* [mémoire, Université de Bretagne]. Institut de formation en Masso-Kinésithérapies. https://ifpek.centredoc.org/doc_num.
- Starrett, K. (2017). *Becoming a supple leopard : le guide ultime pour diminuer les douleurs, prévenir les blessures et optimiser la performance sportive*. 4Trainer éditions.
- Tudpor, K. (2021). Star excursion balance test as an exercise to improve static and dynamic balance in community-dwelling persons with unilateral osteoarthritis of knee. *Indian Journal of Physiotherapy and Occupational Therapy*. 15(2), 30-36. <https://doi.org/10.37506/ijpot.v15i2.14509>.
- Vasseur, R. (2000). Importance des aspects biomécaniques et des points d'appui posturaux dans la genèse de l'axe corporel. *Enfance*, 53(3), 221-233. <https://doi.org/10.3406/enfan.2000.3179>.
- Verbecque, E. et al. (2015). Psychometric properties of functional balance tests in children : A literature review. *Developmental Medicine and Child Neurology*.
- Werner, D. (2019). La mobilité : son importance pour de bonnes performances – foodspring Magazine France. <https://www.foodspring.fr/magazine/mobilite-entrainement-sport>.

Webographie

<https://www.cnrtl.fr/lexicographie/tonus>.

Annexes

Annexe 1 : Récapitulatif du maintien de la bonne posture d'après Starrett (2017)

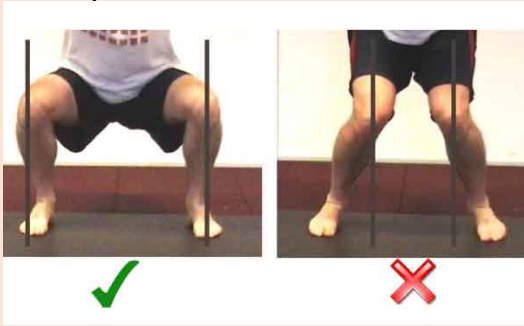
Récapitulatif des consignes posturales données aux athlètes	
Etape 1	
Pieds	Placer les pieds directement sous les hanches, parallèles l'un à l'autre. Les enfoncer dans le sol pour stabiliser les hanches en vissant le pied gauche dans le sens inverse des aiguilles d'une montre et le pied droit dans le sens des aiguilles d'une montre mais sans tourner les pieds vers l'extérieur (réaliser une simple pression, moment de force). → <u>Pour donner du sens</u> : de cette manière, la partie forte du pied va permettre le maintien de la posture. On va faire un test pour comprendre cela, si je réalise un squat en n'ayant pas vissé les pieds sur l'arche de ces derniers, je vais avoir tendance à créer le valgus, et donc à perdre l'équilibre.  Figure 1. Conséquences du squat avec pieds en rotation externe puis en rotation interne de Starrett (2017)
Genoux	Les genoux sont architecturalement instables. Il est important de les stabiliser afin de ne pas tomber car sans stabilité, nous ne pourrions pas nous tenir debout (et donc même pas marcher, courir...). On va donc placer les genoux en rotation externe afin de préserver les ligaments croisés antérieurs et d'éviter le Valgus. Les hanches vont permettre la rotation externe des genoux. → <u>Pour donner du sens</u> : avec l'exemple du test de stabilité du Ligament Croisé Antérieur (LCA) de Starrett, il s'agit de croiser le majeur droit sur l'index droit pour représenter de façon grossière le LCA au niveau de l'articulation du genou. Avec la main gauche, on va venir saisir les doigts croisés et tourner la main droite vers l'extérieur ce qui va créer une force qui va resserrer les doigts. Si on réalise une rotation interne avec la main droite, les doigts vont se décroiser et ainsi se séparer. Ainsi, on peut voir que la première position (rotation externe) est stable contrairement à la deuxième position (rotation interne) qui est instable et peut créer une rupture du LCA.

	 Figure 2. LCA Test de <i>Starrett</i> (2017)
Hanches	Créer une rotation externe des hanches pour plus de stabilité en suivant les points ci-dessus. En effet, ce sont les hanches qui vont provoquer la rotation externe des genoux lorsque les pieds sont vissés dans le sol. Cette rotation de hanches permet une mise en tension de l'arche du pied et ainsi créer un maximum de stabilité. En créant un moment de force dans les hanches, on va automatiquement positionner les genoux en rotation externe. Qui dit stabilité, dit gain de force. → <u>Pour donner du sens</u> : utiliser un club de golf ou un micro pour schématiser le test de Starrett. Ce dernier représente le fémur. On va placer un chiffon autour de la tête du micro et tenir le tissu lâche avec l'autre main. Quand le chiffon enveloppe la tête du micro, on constate qu'il y a encore de l'espace autour de la tête ce qui veut dire qu'elle peut être tirée et manipulée dans plusieurs directions diverses et variées (donc pas de moment de force). Si on imagine que le micro est la tête du fémur et que le chiffon est la capsule articulaire, les hanches et les articulations en-dessous ne seront jamais dans des positions stables et tendues (ce qui provoque un risque de blessure ainsi qu'une perte de puissance). Ajouter une rotation externe retire tout relâchement de la capsule ce qui va rendre l'articulation stable et tendue.  Figure 3. Stabilité articulation de <i>Starrett</i> (2017)
Etape 2	
Fessiers	Contracter les fessiers pour placer le bassin en position neutre. Cette étape peut se réaliser en même temps que les étapes précédentes (hanches, genoux, pieds) car les fessiers vont permettre de stabiliser le bassin et vont protéger les genoux ainsi que les chevilles, tout comme la colonne vertébrale. C'est ce qui va permettre de protéger la posture. Plus ils sont forts et plus on va transmettre un appui solide au sol. Cela impactera également le valgus (évite l'accentuation), ce qui engendre encore une amélioration de force dans les appuis. Comme on peut le voir, les fessiers sont en lien direct avec les hanches, les genoux et les pieds. Le bassin neutre va faciliter la mise en place correcte de ces derniers. La contraction des fessiers n'est pas obligatoirement maximale, le simple fait de les activer va réduire la tension pour maintenir un bassin en position neutre. On va venir fixer le bassin, établir la position.

	➔ <u>Pour donner du sens</u> : le test du lever de jambe tendu actif de Starrett permet de comprendre le rôle des fessiers dans le maintien de la posture neutre. Après s'être couché sur le dos, il faut décoller les jambes du sol avec les fessiers déconnectés ce qui engendrera une hyperextension. Lever ensuite une jambe à la fois, puis les deux. A chaque étape, il faut augmenter le niveau de tension dans les abdominaux pour maintenir une position vertébrale neutre. 1. Serrer les fesses et amener les jambes l'une contre l'autre puis tendre les pointes de pied. Prendre une grande respiration et contracter les abdominaux en expirant. Le secret est de serrer les fessiers et ensuite d'engager les abdominaux pour verrouiller la colonne en position neutre. 2. En gardant les pointes de pied tendues, jambe droite et bas du dos éloigné du sol, lever la jambe gauche (tendre la pointe de pied pour que l'activation des fessiers soit plus facile) 3. Abaisser la jambe gauche et lever la jambe droite du sol sans qu'il n'y ait aucun changement dans la position vertébrale. 4. Pour augmenter la recherche de stabilisation, lever les 2 jambes du sol.  Figure 4. Test lever de jambe tendue actif de <i>Starrett</i> (2017)
Position vertébrale	La position vertébrale doit être gainée et neutre. Si la colonne vertébrale est dans une mauvaise position, il n'est pas possible de créer une position sûre, fonctionnelle et stable de hanche, de genou, de cheville ou même d'épaule. C'est pourquoi les problèmes de positionnement spinaux se règlent en premier. La colonne est le premier élément dont on doit s'occuper avant de se charger de potentiels problèmes de mobilité ou autre. Quand elle se trouve en position neutre, avec les segments spinaux alignés parfaitement, la force va pouvoir se transmettre de façon efficiente sans aucune interruption à travers la chaîne cinétique. La position sera alors optimale. Si on dévie de cette position neutre vertébrale, on va perdre en stabilité et donc un potentiel de force.

→ Pour donner du sens : le test des deux mains de Starrett est un excellent modèle. Il s'agit de prendre son pouce et de la placer sur le processus xiphoïde (pointe du sternum) en gardant les doigts alignés et les paumes orientées vers le sol. Ensuite, il faut placer l'autre pouce sur le pubis ce qui va créer 2 plans parallèle. Le but est de garder les deux mains sur les mêmes plans horizontaux que la cage thoracique et que le pelvis pour que n'importe quel changement dans la position neutre soit reflété par la position des mains. Si les mains s'éloignent alors on se trouve en hyperextension. A l'inverse, si elles se rapprochent, on se trouve à fléchir le tronc.

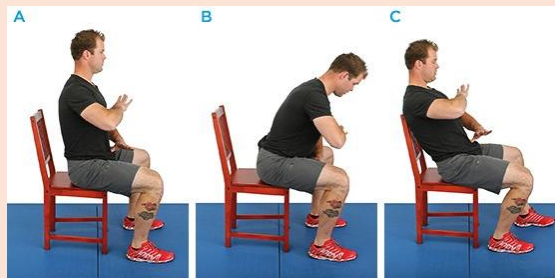


Figure 5. Test des deux mains de Starrett (2017)

Etape 3

Respiration

Prendre une inspiration profonde avec le diaphragme en verrouillant le bassin et la cage thoracique grâce aux abdominaux (les abdominaux gagnent la position). Etablir au moins 20% de tension dans les abdominaux pour établir et maintenir une colonne gainée et neutre pour des positions basiques (s'asseoir, marcher...). Cette tension peut augmenter en fonction des mouvements effectués.

→ Pour donner du sens : s'allonger sur le dos en plaçant les mains sur l'estomac. Sentir le ventre s'élever et descendre lorsque de l'inspiration et de l'expiration. C'est ce que l'on appelle la respiration diaphragmatique. Quand on gaine correctement, on place automatiquement ce pattern de respiration. Si on conserve le ventre tendu sans respiration diaphragmatique, la respiration sera bloquée dans la poitrine ainsi que dans le cou ce qui va impacter négativement la performance, la récupération etc.

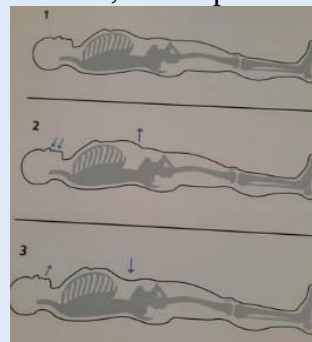
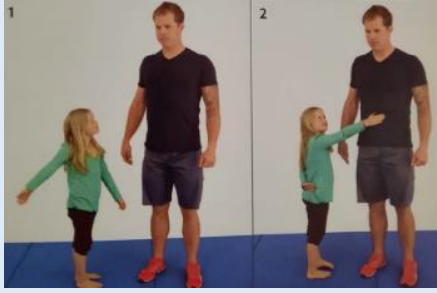


Figure 6. Respiration diaphragmatique de Starrett (2017)

Etape 4	
Cage thoracique	Equilibrer la cage thoracique sur le bassin tout en contractant les abdominaux (l'abdomen) pendant l'expiration. On va venir tirer la cage thoracique vers le bas en créant une pression intra-abdominale autour de la colonne vertébrale pour résulter un levier plus rigide. Cela va permettre de ventiler cet espace tendu (comme si on mettait de l'air comprimé dans un réservoir en acier : on ne comprime pas le réservoir autour de l'air, on place l'air dans le réservoir rigide). → <u>Pour donner du sens</u> : comme le test des deux mains, le test de la baffe de Starrett va permettre de prendre conscience de la position neutre et gainée, notamment avec la tension abdominale (20%). Il suffit simplement de maintenir quotidiennement un tonus abdominal suffisant pour supporter une baffe sur le ventre. Dans le cas où le ventre serait mou, cela se verrait de suite. 
Figure 7. Test de la baffe de Starrett (2017)	
Etape 5	
Epaules	Ramener les épaules vers l'arrière en écartant les clavicules, en créant une rotation externe des épaules tout en tournant les paumes de main vers le ciel. Il faut ainsi placer les épaules en position neutre. → <u>Pour donner du sens</u> : utiliser un club de golf ou un micro pour schématiser le test de Starrett. Ce dernier représente le l'humérus. On va placer un chiffon autour de la tête du micro et tenir le tissu lâche avec l'autre main. Quand le chiffon enveloppe la tête du micro, on constate qu'il y a encore de l'espace autour de la tête ce qui veut dire qu'elle peut être tirée et manipulée dans plusieurs directions diverses et variées (donc pas de moment de force). Si on imagine que le micro est la tête de l'humérus et que le chiffon est la capsule articulaire, les épaules et les articulations en-dessous ne seront jamais dans des positions stables et tendues (ce qui va provoquer un risque de blessure ainsi qu'une perte de puissance). Ajouter une rotation externe retire tout relâchement de la capsule ce qui va rendre l'articulation stable et tendue.
Tête	Placer la tête en position neutre en réalisant une légère rétraction. Elle doit être centrée au-dessus des épaules en gardant le regard face à l'horizon. → <u>Pour donner du sens</u> : le test Tony Blauer de Starrett exemplarise parfaitement l'importance de la tête dans la posture. Par 2,

quelqu'un va effectuer une clé de bras à l'autre sur le bras droit. Avec son bras droit, la colonne vertébrale en position neutre, les doigts écartés et les épaules en rotation externes, on ne peut pas plier son bras. Cependant, dès l'instant où il regarde vers le bas ou vers le haut (ou du moins qu'il quitte la position neutre), son bras va se plier. Cet exercice permet de mettre l'accent sur le fait que quand on quitte la position neutre de la tête, cela va déstabiliser le système entier et donc cela va rendre impossible le maintien de la posture idéale. C'est pareil en Haltérophilie pendant une flexion complète par exemple, si on place la tête vers l'arrière, alors on bascule en hyperextension.



Figure 8. Tony Blauer Test de Starrett (2017)

Posture idéale

Les bras sont positionnés sur le côté le long du corps avec les pouces pointés vers l'avant et les épaules en rotation externe. Il faut aligner les oreilles avec les épaules ainsi que la cage thoracique sur le bassin et les hanches sur les genoux et les chevilles. Comme ceci, avec le respect de chacune des étapes ci-dessus, la posture est donc optimale et protège des blessures tout en apportant un gain de force et ainsi une stabilité permettant de garder une position (sans chute, blessure...). Avec cette posture, on peut améliorer sa performance sportive.

Annexe 2. Grille d'évaluation des tests

Overhead Squat	3 (Très bien)	2 (Moyen)	1 (Mauvais)
Le haut du torse	Parallèle au tibia ou vertical	Parallèle au tibia ou vertical	Non parallèle au tibia, tendant vers l'horizontal
Orientation du fémur	Sous l'horizontale	Sous l'horizontale	Au-dessus de l'horizontale
Alignement des genoux	Avec les pieds	Avec les pieds	Perte de l'alignement avec les pieds (intérieur ou extérieur)
Position du bâton	Aligné au-dessus des pieds	Aligné au-dessus des pieds	Possible perte de l'alignement
Autre	Talons au sol	Talons élevés	Flexion thoracique
Sharpened Romberg Test	Jambe droite devant	Jambe gauche devant	
Sur la plante/pointe de pied, l'autre pied étant dans le creux poplité de la jambe de terre.	Nombre de secondes tenues =	Nombre de secondes tenues =	
Star Excursion Balance Test	Mesures de la jambe droite en cm	Mesures de la jambe gauche en cm	
En appui unipodal, aller chercher le plus loin possible avec le pied opposé dans les 8 directions.	1. Antérieur = cm 2. Antéro-médial = cm 3. Médial = cm 4. Postéro-médial = cm 5. Postérieur = cm 6. Postérolatéral = cm 7. Latéral = cm 8. Antérolatéral = cm	1. Antérieur = cm 2. Antéro-médial = cm 3. Médial = cm 4. Postéro-médial = cm 5. Postérieur = cm 6. Postérolatéral = cm 7. Latéral = cm 8. Antérolatéral = cm	
Différenciations de mesures entre	1. Antérieur = 3. Médial =	2. Antéro-médial = 4. Postéro-médial =	

jambe droite et jambe gauche	5. Postérieur = 7. Latéral =	6. Postérolatéral = 8. Antérolatéral =	
---	---------------------------------	---	--

Annexe 3. Test 70-80-90% du 1RM et échec

	Tests de performance
Arraché	70% = kg 1. Kinovéa = (vitesse/trajectoire) 80% = kg 2. Kinovéa = (vitesse/trajectoire) 90% = kg 3. Kinovéa = (vitesse/trajectoire) Echec = kg 4. Kinovéa = (vitesse/trajectoire)

Annexe 4. Séances 1 et 3 :

Séance 1		<u>Impact de la musculation combinatoire sur le contrôle moteur lors d'un arraché en haltérophilie</u>				
Public : crossfiteurs						
Echauffement						
Exercices	Temps de travail			Variables		
Mobilité poignets/épaules	3 minutes			V -/+ : gérer son amplitude		
Mobilité chevilles/hanches	3 minutes			V -/+ : gérer son amplitude		
Activation musculaire : squats	10 répétitions en 5310			V -/+ : gérer son amplitude		
Activation musculaire : stricts press	10 répétitions barre à vide			/		
Activation cardio-vasculaire : vélo	5 minutes			V-/+ : à son rythme, gérer son effort		
Corps de Séance						
Exercices	Séries	Répétitions	Tempo	Récupération	Variables	C. Réalisation
EMOM de 10 min : 1 ^{ère} minute : Vélo + tirage horizontal 2 ^{ème} minute : Fentes en position overhead avec double dumbell	5	15	/	Le reste de la minute	Gérer son effort, ses charges	Assis sur le vélo, pédaler en même temps d'effectuer le tirage horizontal. Placer les mains largeur épaules, pronation, sur le PVC qui est inséré au préalable dans un élastique. Ramener les coudes derrière, toujours le long du corps, tout en maintenant un auto-grandissement. Souffler sur le tirage.
		10 mètres				Double dumbells, posées sur les épaules, réaliser une fente. Descendre le genou au sol en simultané (les bras réalisent un strict press pendant cette phase). Inspirer le nombril pour contracter le transverse, fixer un point devant soi, se grandir, toucher le genou au sol sur la descente, verrouiller les bras au-

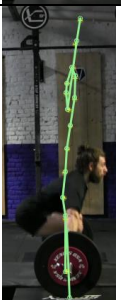
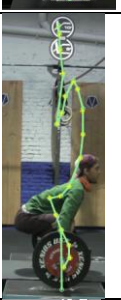
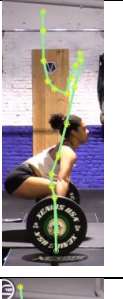
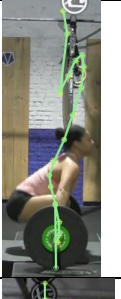
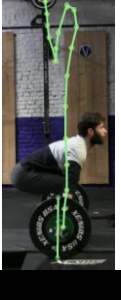
2 ^{ème} minute : Spanish squat isométrique avec shoulder press à la barre		10				Elastique positionné en position basse d'un rack, le placer derrière les genoux. Effectuer un squat de sorte à avoir les genoux au-dessus des chevilles. Rester en squat, et en même temps effectuer des shoulders press (prise large, barre sur les épaules, développer cette dernière au-dessus de la tête). Souffler sur la montée.
Etirements						
Exercices		Temps de travail			Variables	
Quadriceps		15''			Gérer l'amplitude d'étirement	
Ischios		15''			Gérer l'amplitude d'étirement	
Dorsaux		15''			Gérer l'amplitude d'étirement	
Séance 3	<u>Impact de la musculation combinatoire sur le contrôle moteur lors d'un arraché en haltérophilie</u> Public : crossfiteurs					
Echauffement						
Exercices	Temps de travail			Variables		
Mobilité poignets/épaules	3 minutes			V -/+ : gérer son amplitude		
Mobilité chevilles/hanches	3 minutes			V -/+ : gérer son amplitude		
Activation musculaire : squats + fentes	10 répétitions en 5310 + 10 alternés			V -/+ : gérer son amplitude		
Activation musculaire : arraché puissance debout	8 répétitions barre à vide			/		
Activation cardio- vasculaire : skierg	5 minutes			V-/+ : à son rythme, gérer son effort		

Corps de Séance						
Exercices	Séries	Répétitions	Tempo	Récupération	Variables	C. Réalisation
Biset : 1^{er} exercice : Skierg + fentes alternées 2^{ème} exercice : Fentes en déficit (deux plates) en position overhead à la barre avec double dumbell de chaque côté	2	20 10 par jambe	/	2 minutes	Gérer son effort, ses charges	Sur le skierg, enrouler le dos tout en fléchissant les jambes pour que ce soit la sangle abdominale qui travaille. Tirer simultanément sur les poignées. A chaque tirage, poser un genou au sol de sorte à réaliser une fente. Alternier. Respirer en soufflant sur la montée. Placer le pied de la jambe avant sur deux plates. Effectuer une fente en fixant un point devant soi, en se grandissant. Aspirer le nombril. Dans ce même temps, rester en overhead (bras tendus en prise large au-dessus de la tête, engager épaules, coudes). Souffler sur la montée.
Complex : 5 fentes enchaîné d'un saut avec genou qui monte à la poitrine avec barre chargée en overhead et une dumbell de chaque côté + 5 arrachés puissance debout + 10 tirages verticaux en position de squat isométrique	2	4	/	3 minutes		Position overhead (comme ci-dessus), effectuer des fentes en touchant le genou au sol. Dès que le genou du sol va remonter, effectuer un saut et amener ce même genou à la poitrine. Regarder droit devant soi et souffler sur la remontée. Départ du sol, prise large, fixer les omoplates, sortir le torse, barre en contact avec les tibias, effectuer la phase de premier tirage lentement, engager les genoux, puis arrivée mi-cuisse, mettre de la vitesse, envoyer les hanches, les coudes vers le ciel, passer en-dessous sa barre pour réceptionner en ¼ de squat, puis extension de hanche complète pour finir le mouvement. Les fesses à hauteur des genoux, allonger le dos, effectuer des tirages verticaux en prise large en ramenant le PVC à la poitrine (être le plus en dessous de la barre possible). Souffler sur chaque tirage.
Gainage : 1'30 : de face 1'30 : profil 1 1'30 : profil 2 1'30 : de dos	2	/	/	30 sec entre les deux séries		Position de planche, contracter les fessiers, les abdominaux. Aligner tête – épaules – hanches – genoux – talons.

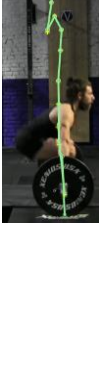
Etirements		
<i>Exercices sur</i>	<i>Temps de travail</i>	<i>Variables</i>
Quadriceps	15''	Gérer l'amplitude d'étirement
Ischios	15''	Gérer l'amplitude d'étirement
Dorsaux	15''	Gérer l'amplitude d'étirement
Lombaires	15''	Gérer l'amplitude d'étirement
Transverse	15''	Gérer l'amplitude d'étirement

Annexe 5. Trajectoires de la barre à 70,80,90% du 1RM ainsi qu'à l'échec à T0 et à T1.

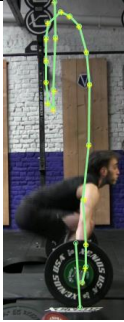
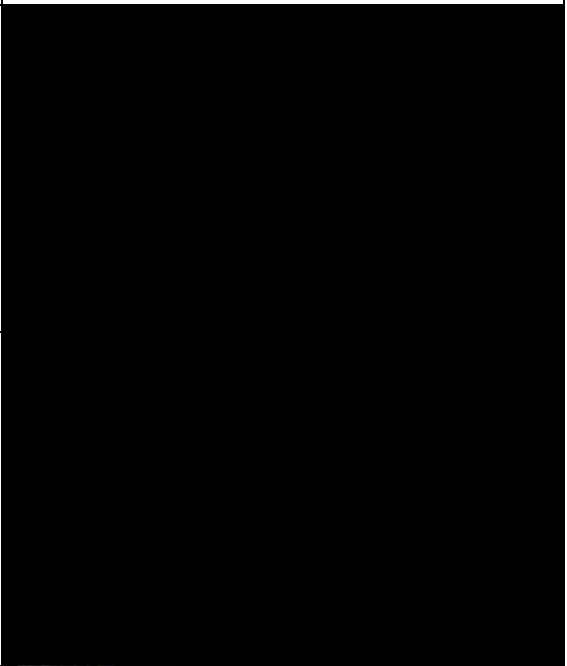
Barres (%)	Groupe	T0	T1
70%	Ge		
			
			
			
			

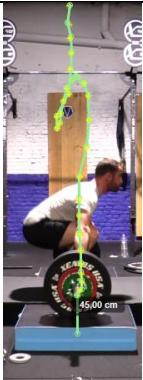
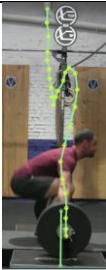
					
					
	Gt				
					
					
					

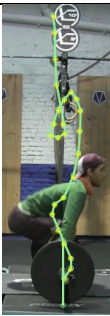
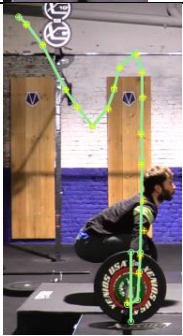
				
				
				
				
80%	Ge			
				

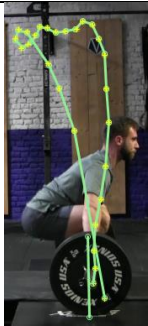
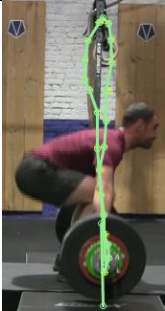
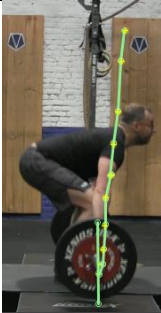
	Gt				
					
					
					
					

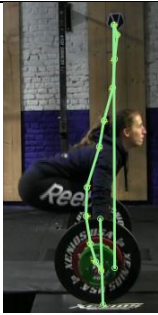
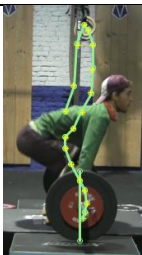
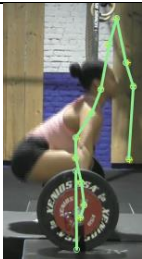
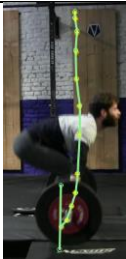
					
					
					
90%	Ge				
					

					
	Gt				
					
					
					

				
				
				
				
Echec	Ge			

					
					
	Gt				
					
					

Annexe 6. Différences significatives sur le Mann-Whitney U Test entre les deux groupes.

Variables	Mann-Whitney U Test by variable Groupes Marked tests are significant at p<.05000									
	Rank Sum Ge	Rank Sum Gt	U	Z	p-value	Z adjusted	p-value	Valid N Ge	Valid N Gt	2*1sided exact p
T0 Overhead Squat. Position du PVC	36	84	8	-2,26	0,024	-2,7	0,007	7	8	0,021
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antérieure	38	82	10	-2,03	0,043	-2,06	0,039	7	8	0,04
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-médiale	34,5	85,5	6,5	-2,43	0,015	-2,43	0,015	7	8	0,009
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche Antéro-médiale	34,5	85,5	6,5	-2,43	0,015	-2,43	0,015	7	8	0,009

Annexe 7. Différences significatives sur le test Wilcoxon entre T0 et T1.

Pair of Variables	Groupe Ge Wilcoxon Matched Pairs Test Marked Tests are significant at p<.0,5000			
	Valid N	T	Z	p-value
T0 Overhead Squat. Position PVC & T1 Overhead Squat. Position PVC	5	0	2	0,04
All Groups Wilcoxon Matched Pairs Test Marked Tests are significant at p<.0,5000				
T0 Sharpened Romberg Test. Jambe gauche & T1 Sharpened Romberg Test. Jambe gauche	11	6,5	2,36	0,02
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antérieure & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antérieure	11	2	2,76	0,006
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-médiale	10	2	2,6	0,009
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Médiale	11	3	2,7	0,008
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postéro-médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postéro-médiale	9	1	2,5	0,011
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postérieure & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postérieure	10	1,5	2,65	0,008
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postéro-latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postéro-latérale	10	0	2,8	0,005
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Latérale	9	2	2,4	0,015
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-latérale	11	0	2,9	0,003
Groupe Ge Wilcoxon Matched Pairs Test Marked Tests are significant at p<.0,5000				
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antérieure & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antérieure	7	0	2,4	0,018
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-médiale	6	0	2,2	0,028

T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Médiale	7	0	2,4	0,018
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postéro-médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postéro-médiale	7	1	2,2	0,028
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postérieure & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postérieure	7	1	2,2	0,028
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postéro-latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Postéro-latérale	7	0	2,4	0,018
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Latérale	6	0	2,2	0,028
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe droite. Antéro-latérale	7	0	2,4	0,018
	All Groups Wilcoxon Matched Pairs Test Marked Tests are significant at $p < 0,5000$			
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antérieure & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antérieure	10	0	2,8	0,005
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antéro-médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antéro-médiale	10	0	2,8	0,005
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postéro-médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postéro-médiale	10	4	2,4	0,016
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postérieure & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postérieure	9	0	2,7	0,007
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postéro-latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postéro-latérale	9	0	2,7	0,008
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antéro-latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antéro-latérale	11	6,5	2,4	0,018
	Groupe Ge Wilcoxon Matched Pairs Test Marked Tests are significant at $p < 0,5000$			
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antérieure & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antérieure	6	0	2,2	0,027
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antéro-médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Antéro-médiale	7	0	2,4	0,018
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postéro-médiale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postéro-médiale	7	1	2,2	0,027
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postérieure & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postérieure	6	0	2,2	0,027

T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postéro-latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Postéro-latérale	6	0	2,2	0,027
T0 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Latérale & T1 Star Excursion Balance Test. Jambe gauche. Latérale	7	0	2,4	0,018
	All Groups Wilcoxon Matched Pairs Test Marked Tests are significant at $p < 0,5000$			
T0 barres (kg) & T1 barres (kg)	38	73,5	4,3	0,000017
T0 hauteur max de la barre sur le dernier tirage (cm) & T1 hauteur max de la barre sur le dernier tirage (cm)	44	131,5	4,2	0,000022
T0 durée d'exécution de cette phase (sec) & T1 durée d'exécution de cette phase (sec)	42	236	2,7	0,007
	Groupe Ge Wilcoxon Matched Pairs Test Marked Tests are significant at $p < 0,5000$			
T0 barres (kg) & T1 barres (kg)	7	0	2,4	0,018
	Groupe Gt Wilcoxon Matched Pairs Test Marked Tests are significant at $p < 0,5000$			
T0 barres (kg) & T1 barres (kg)	8	0	2,5	0,012
T0 hauteur max de la barre sur le dernier tirage (cm) & T1 hauteur max de la barre sur le dernier tirage (cm)	8	1	2,4	0,017

Résumé et mots-clés

Objectifs : L'objectif est de mesurer l'impact de la musculation combinatoire sur le contrôle moteur lors d'un arraché en haltérophilie. Un total de quatre tests physiques a été effectué : un mesurant la mobilité, un nécessitant de la stabilité/équilibre, un évaluant les deux de façon dynamique puis un test de performance en arraché.

Méthode : 15 crossfiteurs répartis en deux groupes. Le protocole est le suivant : pré-test T0 (Overhead Squat, Sharpened Romberg Test, Star excursion Balance Test, arraché à 70-80-90% du 1RM et un à l'échec), huit semaines de cycle de préparation physique à raison de deux séances par semaine en musculation combinatoire pour Ge pendant que Gt conserve ses entraînements quotidiens, post-test T1 identiques.

Résultats : Les données ne suivant pas une distribution normale (Shapiro-Wilks), le Mann-Whitney Test a été réalisé afin de trouver des différences significatives entre Ge et Gt à T0. Les résultats démontrent peu de différences significatives entre les deux. Un test de Wilcoxon a été effectué afin d'identifier les différences significatives avant/après le cycle de préparation physique. Il en résulte une différence très significative pour Ge à T1 sur le SEBT. De plus, les deux groupes ont progressé significativement à l'arraché. La taille de l'effet a révélé un effet élevé du cycle sur l'arraché. Quant à la matrice de corrélation de Spearman, la HMV est corrélée avec la durée d'extension à l'arraché et avec la vitesse d'exécution de la barre. Aussi, chaque direction du SEBT est en corrélation les unes avec les autres. Une corrélation entre les deux jambes sur le Sharpened Romberg Test est aussi évoquée. Pour les régressions linéaires sur les barres d'arraché, on les constate uniquement à T1 pour Ge. Enfin, les trajectoires de barre d'arraché sont propres à chacun (Kinovéa).

Conclusion : Ces résultats montrent qu'en huit semaines de préparation physique à partir de la musculation combinatoire, il est possible de constater des progrès significatifs sur le contrôle moteur des athlètes (mesuré par le SEBT, le Sharpened Romberg Test et l'overhead squat). De plus, ces huit semaines ont permis d'améliorer les charges des athlètes mais n'ont pas suffi à améliorer significativement les autres paramètres à l'arraché. Aussi, Gt ne devrait pratiquer aucune activité durant le cycle pour ne pas biaiser les résultats de Ge.

Mots-clés : contrôle moteur – arraché – musculation combinatoire – trajectoire – vitesse.

Abstract and Keywords

Objectives : The main goal is to measure the impact of combinatorial strength training on motor control during a weightlifting snatch. A total of four physical tests were performed: one measuring mobility, one requiring stability/balance, one evaluating both dynamically and then a snatch performance test.

Method : 15 crossfitters divided into two groups. The protocol is as follows : pre-test T0 (Overhead Squat, Sharpened Romberg Test, Star Excursion Balance Test, snatch at 70-80-90% of 1RM and one failure), eight weeks of physical preparation cycle with two sessions per week in combinatorial weight training for Experimental group while Reference group keeps his daily training, post-test T1 identical.

Results : As the data did not follow a normal distribution (Shapiro-Wilks), the Mann-Whitney test was performed to find significant differences between Experimental group and Reference group at T0. The results show few significant differences between them. A Wilcoxon test was performed to identify significant differences before/after the physical preparation cycle. There was a highly significant difference for the Experimental group at T1 on the SEBT. As well, both groups made significant progress in the snatch. The effect size revealed a high effect of the cycle on the snatch. As for Spearman's correlation matrix, the HMV correlated with the duration of extension in the snatch and with the speed of barbell execution. Also, each direction of the SEBT correlates with each other. A correlation between the two legs on the Sharpened Romberg Test is also mentioned. For the linear regressions on the barebell snatch, they are seen only at T1 for Experimental group. Finally, the barbell trajectories of the snatch are specific to each person (Kinovea).

Conclusion : These results show that in eight weeks of physical preparation using combinatorial weight training, it is possible to observe significant progress on the motor control of the athletes (measured by the SEBT, the Sharpened Romberg Test and the overhead squat). Also, these period of time improved the athletes' loads but were not enough to significantly improve other parameters in the snatch. Finally, reference group should not perform any activity during the cycle to avoid the biasing of experimental group's results.

Keywords : motor control - snatch - combinatorial strength training - trajectory - velocity.

Compétences acquises entre le début de la mise en stage et la soutenance

Ce stage m'a permis d'enrichir mes compétences au sein de la performance sportive ainsi qu'en CrossFit (activité que je ne connaissais pas). En effet, j'ai supervisé un travail de groupe spécifique, durant toute la durée du stage, en petit collectif, nouvel élément pour moi.

De plus, j'ai pu concevoir et établir une programmation adaptée à la musculation combinatoire en haltérophilie. J'ai donc élaboré des séances spécifiques orientées sur ce type d'entraînement ainsi que sur cette discipline. C'est donc moi qui avais la charge de cette programmation, j'ai ainsi appris à piloter ce projet qui s'est avéré être au service de la performance.

La compétence qui m'a semblé être la plus gratifiante a été celle d'analyser des vidéos sur le geste sportif relatif à mon étude.

Pour conclure, ce mémoire m'a permis d'acquérir une expertise dans la discipline que j'étudie depuis deux ans, à savoir l'haltérophilie, notamment dans le domaine de l'entraînement et de l'optimisation de la performance sportive.