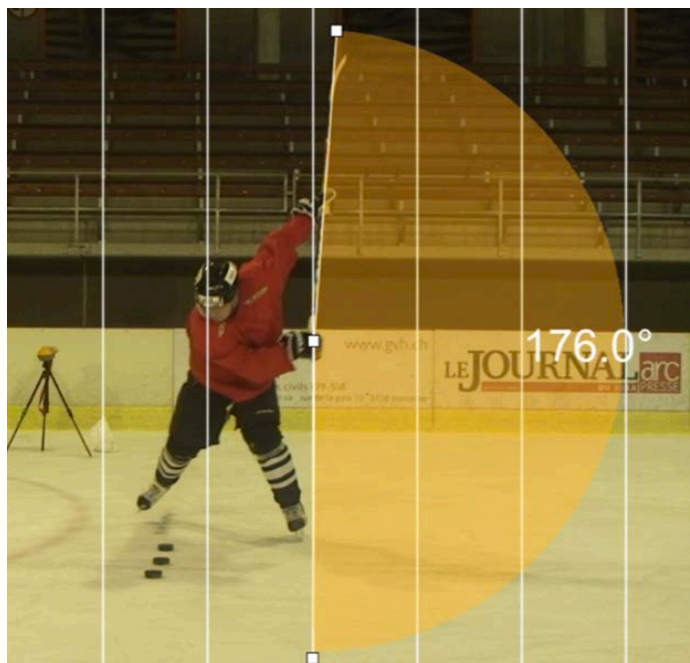


Travail de Master
Pour l'obtention du titre Master of Science
Unité « Sciences du Mouvement et du Sport »
Université de Fribourg

**Effets d'un entraînement spécifique de
force-vitesse et de renforcement musculaire sur
la vitesse du slapshot en hockey sur glace**



Travail réalisé par
Fabian Rüfli

Sous la direction de
Wolfgang Taube

Et de
Alain Rouvenaz

Juillet 2012

Sommaire

1. Résumé.....	4
2. Introduction	5
3. Cadre théorique	7
3.1. Tir frappé et tir du poignet.....	7
3.2. Muscles impliqués dans le mouvement du slapshot	9
3.3. Propriétés de la canne.....	10
3.4. Temps de contact canne-puck.....	13
4. But et hypothèses	15
5. Méthodes	17
5.1. Généralités	17
5.2. Sujets, lieu et durée du programme d'entraînement.....	24
5.2.1. Sujets.....	24
5.2.2. Lieu, durée et planification des entraînements.....	26
5.3. Programme d'entraînement	28
5.3.1. Détermination d'une répétition maximale et pourcentage de charge.....	28
5.3.2. 1 ^{er} bloc d'entraînement : force maximale et hypertrophie.....	29
5.3.3. 2 ^{ème} bloc d'entraînement : théra-bands et méthode bulgare.....	34
5.4. Protocole et mesure de la vitesse des slapshots.....	40
5.5. Mesure des paramètres de force et de vitesse dans les exercices.....	44
5.6. Analyse des données.....	45
5.6.1. Vitesse moyenne des slapshots.....	45
5.6.2. Paramètres de force et de vitesse dans les exercices.....	46
5.6.3. Gestuelle du slapshot.....	52
5.6.4. Données statistiques.....	55
6. Résultats	56
6.1. Vitesse moyenne du slapshot.....	56
6.1.1. Groupe contrôle.....	56
6.1.2. Groupe d'entraînement	59
6.1.3. Comparaison groupe contrôle & groupe d'entraînement.....	61
6.2. Salle de musculation	62
6.2.1. Résultats	62

6.2.2. Corrélations évolutions en salle musculation & vitesse moyenne de tir	85
6.3. Régression	88
6.4. Analyse des mouvements	91
6.4.1. Angle de tir.....	91
6.4.2. Vitesse angulaire	92
7. Discussion	95
7.1. Limites et perspectives	96
8. Conclusion	99
9. Bibliographie	101
10. Remerciements	104
11. Annexes	105

1. Résumé

Le slapshot représente le tir le plus puissant en hockey sur glace. Son utilisation permet fréquemment la concrétisation d'occasion de but. La présente étude a eu pour objectif le développement d'un processus d'entraînement menant à une augmentation de la vitesse moyenne du slapshot.

Celui-ci a été composé de deux blocs de 3 semaines chacun. Le premier avait pour but d'augmenter la force et le second la vitesse d'exécution. Un renforcement de la musculature de la ceinture abdominale et des 3 chaînes musculaires du corps (ventrale, dorsale et latérale) a également fait partie intégrante de ce processus.

8 hockeyeurs chevronnés du Hockey Club Tramelan ont suivi l'entraînement en salle de musculation tandis que 7 autres coéquipiers ont fait office de groupe contrôle.

Suite aux 6 semaines d'entraînement, la vitesse moyenne de slapshot, calculée à l'aide d'une caméra lors de séries de 7 exécutions consécutives et à intervalle de 7 secondes, a augmenté de manière significative chez les sujets entraînés (+3.28%). D'après les résultats de deux tests réalisés en salle de musculation avant et après la période d'entraînement, les 8 joueurs ont amélioré leur capacité à recruter et à synchroniser leurs unités motrices dans le temps. Un accroissement des valeurs moyennes et maximales de force et de vitesse en résulte. Toutefois, cette évolution n'est pas directement liée à celle de la vitesse moyenne de slapshot.

Le processus d'entraînement n'a pas mené à une plus faible régression de la vitesse moyenne de slapshot initialement observée au cours des séries de tirs. Par contre, il a conduit à une légère modification de la gestuelle du slapshot. En effet, l'angle de tir et la vitesse angulaire se sont accrus.

2. Introduction

Dans le sport de compétition, la recherche de la performance a toujours été au centre de nos actions. Les athlètes et entraîneurs n'ont jamais cessé de chercher des moyens menant à une amélioration de leurs résultats, tant au niveau amateur que professionnel. D'ailleurs, de nos jours, les méthodes nous permettant de progresser se sont bien diversifiées. Les interventions des experts en psychologie, en physiologie et en nutrition sont désormais courantes dans le sport de haut niveau. La recherche de nouveaux matériaux plus légers, plus résistants et plus efficaces fait aussi partie intégrante du monde sportif.

Pratiquant l'inline-hockey en ligue nationale depuis plusieurs années et le hockey sur glace en 1^{ère} ligue depuis peu, le choix du thème de mon travail de Master s'est rapidement orienté vers le domaine du hockey. Après avoir décidé de porter mon intérêt sur le hockey sur glace, il convenait toutefois de préciser la nature de mon étude. Au cours des nombreuses rencontres jouées, j'ai fréquemment constaté un manque d'efficacité devant le but adverse. Les performances de mon équipe n'échappaient pas à ce constat. Les occasions de buts étaient présentes mais la concrétisation de ces dernières faisait souvent défaut. Je me suis alors demandé de quelle manière un tel phénomène pouvait être amélioré. Le tir étant le moyen le plus direct et le plus rapide d'envoyer le puck en direction du but adverse, j'ai choisi de m'y intéresser davantage dans le cadre de ce travail.

L'efficacité d'un tir, tant en hockey sur glace que dans divers sports de balle et de renvoi, dépend de trois principaux facteurs. Premièrement, la rapidité de la phase d'armement permettra de surprendre dans des mesures différentes le gardien adverse. Deuxièmement, la précision de la gestuelle du tir déterminera en grande partie la concrétisation ou non d'une occasion de but. Finalement, la vitesse du tir conditionnera le temps à disposition du gardien pour se mouvoir et tenter de stopper le tir. Notons qu'en hockey sur glace la possibilité de donner un quelconque effet au puck est très réduite pour ne pas dire inexistante. Nous admettons ainsi que la trajectoire du puck est quasiment rectiligne, contrairement aux sports de balle et de renvoi dans lesquels les trajectoires des projectiles sont très variables.

Dans le travail à venir, j'ai choisi de me concentrer sur la troisième variable, la vitesse du tir.

L'objectif de mon travail consistera à développer un processus d'entraînement qui conduise à une augmentation significative de la vitesse du slapshot en hockey sur glace. Pour ce faire, je tenterai de mettre en pratique les connaissances acquises au cours de mes études en sciences du sport. Je me référerai également à la littérature existante en la matière.

3. Cadre théorique

Plusieurs études ont été menées sur le slapshot en hockey sur glace. Parmi elles, certaines s'intéressent à la biomécanique de celui-ci, alors que d'autres présentent l'implication des divers muscles et articulations dans le mouvement du slapshot. D'autres recherches encore mettent en évidence les éléments influençant la vitesse du tir, tels que la dureté ou la flexion de la canne, le temps de contact entre la canne et le puck, le niveau des joueurs ou encore les matériaux qui constituent les cannes. Dans le chapitre à venir, je vais brièvement décrire les études me paraissant importantes.

Les joueurs de hockey sur glace utilisent leur canne pour passer, dribbler et tirer. La capacité à tirer le puck à une vitesse importante et avec une précision optimale est un facteur décisif sur les performances d'un joueur (Lariviere & Lavallee, 1972). D'après Pearsall et Turcotte (2000), il existe six différents types de tir : le tir frappé ou « slapshot », le tir du poignet ou « wrist shot », le tir frappé court ou « snap shot », le tir balayé ou « sweep shot », le tir du revers ou « backhand shot » et le tir levé/lobé ou « lob shot ».

Le tir frappé et le tir du poignet sont les deux tirs les plus utilisés en hockey sur glace. Ils présentent chacun des caractéristiques bien spécifiques.

3.1. Tir frappé et tir du poignet

Tir frappé ou « slapshot »

La réalisation du slapshot par un joueur nécessite suffisamment d'espace et de temps à disposition. Ce type de tir représente un danger indéniable pour le gardien de l'équipe adverse. Malgré le fait qu'il soit relativement prévisible par sa longue phase d'armement, il reste néanmoins très efficace grâce à sa vitesse importante, d'une valeur moyenne de 30 m/s chez des joueurs chevronnés (Pearsall, Montgomery, Rothsching & Turcotte, 1999). Pearsall et al. (2001) définissent six différentes phases dans le mouvement du slapshot en hockey sur glace. Dans l'ordre chronologique, ils les nomment « backswing », « downswing », « pre-loading », « loading », « release » et « follow through » (Fig. 1). D'après les mêmes auteurs,

l'espace entre les deux mains sur la canne du joueur qui effectue un slapshot est de 40 à 60 cm en moyenne.

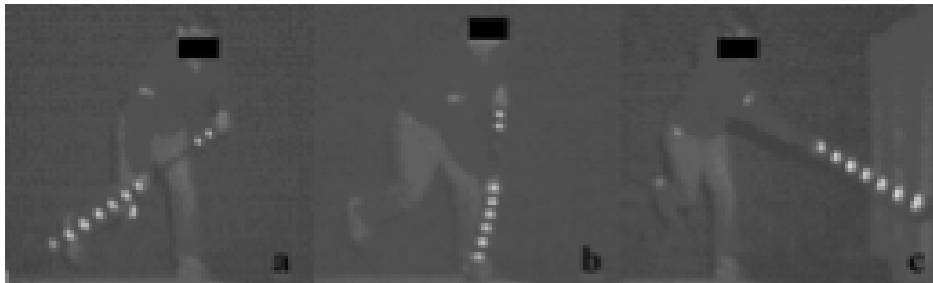


Fig. 1 Les différentes phases du slapshot : « backswing » ; (a) « downswing » ; (b) « pre-loading » ; « loading » ; (c) « release » et « follow through » (Pearsall et al., 2001).

Wells & Luttgens (1976) mettent en évidence l'engagement des différentes parties du corps impliquées dans la performance du slapshot. D'après eux, le tronc contribue à 25% de la vitesse du tir, les épaules de 40% à 45% et les 30% à 35% restant proviennent des coudes et des poignets.

Tir du poignet

Le tir du poignet, en comparaison au slapshot, présente l'avantage d'être armé bien plus rapidement et d'être plus précis (Hoerner, 1989). Par contre, sa vitesse maximale est inférieure. Elle avoisine les 20m/s chez de bons joueurs (Pearsall et al., 1999). Pearsall et al. (2001) décortiquent le tir du poignet en 4 à 5 phases : la phase « draw back » (facultative), « blade positioning », « loading », « pushing » et « follow through » (Fig. 2). L'espace entre les deux mains sur la canne du joueur qui réalise un tir du poignet est de 15 à 30 cm en moyenne.



Fig. 2 Les différentes phases du tir du poignet : (a) « blade positioning » ; loading ; (b) pushing » et (c) « follow through » (Pearsall et al., 2001).

3.2. Muscles impliqués dans le mouvement du slapshot

Emmert (1984) a été un des premiers entraîneurs à s'intéresser à la biomécanique du slapshot en hockey sur glace. Il présente les mouvements effectués par les différentes articulations impliquées lors du tir frappé ainsi que les muscles activés. L'épaule effectue une adduction (muscles pectoralis major, latissimus dorsi, teres major), une flexion (anterior deltoid) et une rotation interne (pectoralis major, subscapularis). Le tronc effectue une rotation (internal/ external obliques), la hanche effectue une flexion (psoas, iliacus, pectineus), l'épaule effectue une extension (triceps brachii), l'avant-bras effectue une pronation (pronator quadratus) et le poignet effectue une flexion (flexor carpi radialis & ulnaris). Ces observations démontrent clairement l'influence des membres supérieurs dans le mouvement du tir frappé.

Lomond & Pearsall (2004) tentent d'observer et de confirmer l'activation des différents muscles impliqués dans le mouvement de slapshot selon Emmert (1984). Dans leur étude, des joueurs exécutent des slapshots lors desquels des électrodes sont placées sur les muscles suivants : pectoralis major, trapezius, anterior deltoid, external obliques, latissimus dorsi, triceps, biceps, ainsi que les extenseurs et les fléchisseurs du poignet. Les muscles cités ci-dessus étant activés, ils obtiennent des résultats qui correspondent à ceux d'Emmert (1984).

Pearsall et al. (2001) observent que dans chacune des six phases du slapshot vues précédemment, différents muscles sont activés. Lors de la phase 1 (backswing), les principaux muscles impliqués sont le biceps brachis, le deltoid anterior et le pectoralis major. Lors des phases 2 à 4 (downswing, pre-loading et loading), les muscles pectoralis major, anterior deltoid, internal/ external obliques, teres major, latissimus dorsi et triceps sont engagés. Finalement, lors des phases 5 et 6 (release et follow through), les muscles latissimus dorsi, teres major, triceps, deltoid et internal/ external obliques sont impliqués.

3.3. Propriétés de la canne

Les cannes de hockey sur glace présentent différentes propriétés. En fonction de celles-ci, la vitesse de tir peut varier.

Flexion de la canne

Une des propriétés déterminantes dans la vitesse d'un tir est sans aucun doute la flexion de la canne (à ne pas confondre avec la flexibilité ou dureté de la canne). Lors d'un slapshot ou d'un wrist shot, la canne peut se fléchir de manière considérable, atteignant parfois les 30 degrés (Hache, 2002)! La flexion de la canne se produit dès le moment où la palette de la canne entre en contact avec la glace. Les experts scientifiques en hockey sur glace estiment que la flexion de la canne est responsable de 40% à 50% de la vitesse du tir (Pearsall & Turcotte, 2000).

Smith & Bigford (2009) présentent le mécanisme de la flexion de la canne comme le phénomène d'un ressort qui se tend et se détend. Durant le tir, la palette de la canne entre en premier en contact avec la glace. Ceci a pour effet de « charger » la canne, c'est-à-dire de la fléchir et d'ainsi lui faire emmagasiner de l'énergie. Une fois la canne chargée, elle peut être considérée comme un arc-de-cercle avec trois points d'impact : la main supérieure du joueur et la glace, qui fournissent les résistances aux extrémités de la canne, et la main inférieure, qui applique la force sur le levier que représente la canne et qui tend ainsi le ressort. Lorsque la canne avance et entre en contact avec le puck, elle restitue l'énergie emmagasinée. Le puck est alors envoyé à une vitesse supérieure à la vitesse initiale de la canne. Le point sur la canne qui se fléchit le plus lors du « chargement » de la canne est appelé « kick point ». Il se trouve à l'endroit où le joueur pose sa main inférieure ou juste en-dessous.

Villasenor, Turcotte & Pearsall (2006) mettent en relation la flexion de la canne et la vitesse du tir. Ils observent que des joueurs chevronnés génèrent la flexion de leur canne avant que la palette ne touche le puck. Cela signifie qu'ils frappent la glace avant de frapper le puck. A l'inverse, les joueurs amateurs frappent la glace après l'entrée en contact avec le puck. La canne ne se fléchit ainsi qu'après être entrée en contact avec le puck. Par conséquent, la flexion de la canne est plus faible, tout comme l'énergie emmagasinée et restituée.

Matériaux

Les cannes utilisées en hockey sur glace sont en bois, en aluminium ou en matériaux composites combinant de la fibre de verre, du kevlar et des fibres de carbone. Les cannes en bois présentent l'avantage d'offrir de bonnes sensations aux joueurs mais sont relativement lourdes et se détériorent rapidement. Les cannes en matériaux composites, souvent appelées cannes en carbone, sont plus légères, plus résistantes et plus uniformes que les cannes en bois (Hache, 2002). Le poids, la dureté et la géométrie des cannes en matériaux composites peuvent être modifiés et manipulés, contrairement aux cannes en bois.

À l'aide de machines, Lessard & Nemes (1994) ont volontairement engendré des déformations linéaires et des torsions à des cannes en bois, en aluminium et en matériaux composites. Les résultats obtenus démontrent que les cannes en aluminium et en fibre de carbone sont plus rigides, c'est-à-dire plus résistantes à la flexion et à la torsion.

Marino (1998) a évalué les propriétés des cannes fabriquées en bois, en aluminium et en matériaux composites. En tenant compte du poids, du centre de masse, de la flexibilité, de la résistance à la torsion et de la résistance jusqu'à la rupture de la canne, il constate que les cannes en aluminium sont les plus dures et celles en matériaux composites les plus légères. Il observe que les cannes en aluminium provoquent d'importantes vibrations lors de l'impact avec le puck et que, par conséquent, les joueurs ont des difficultés à « sentir » ce dernier. Les cannes en matériaux composites, elles, présentent les technologies les plus avancées. Elles fournissent plus de précision aux joueurs mais sont plus onéreuses que les cannes en bois et en aluminium.

Performance de la canne : dureté de la canne et matériaux

Pearsall et al. (1999) ont analysé l'influence de la dureté de la canne sur la vitesse du tir. Six joueurs chevronnés ont testé des cannes de quatre duretés différentes (moyenne, dure, très dure et dureté « professionnelle »). De très faibles différences de vitesse ont été constatées entre les diverses cannes. En moyenne, les tirs effectués avec des cannes de dureté moyenne, dure, très dure et dureté professionnelle ont respectivement été mesurés à des vitesses de 30,1 m/s, 29,7 m/s, 29,4 m/s et 29,5 m/s. La vitesse de tir était donc légèrement plus élevée

avec les cannes moins dures et moins élevée avec les cannes plus dures. Les auteurs ont toutefois noté que la variabilité entre les six joueurs était bien plus importante que celle entre les différentes duretés. L'échantillon étant homogène et faible en nombre, ces résultats ne peuvent être généralisés à tous les niveaux de joueurs.

Smith & Bigford (2009) ont comparé les performances, exprimées en vitesse de tir, de onze cannes fabriquées en matériaux composites et de six cannes fabriquées en bois chez de bons joueurs amateurs. Les cannes testées étaient disponibles sur le marché et étaient fabriquées par quatre marques différentes. De manière globale, la dureté des cannes en bois était 4% plus élevée que celle des cannes en matériaux composites. Smith & Bigford (2009) concluent qu'en moyenne les vitesses de tir des six cannes en bois étaient supérieures de 10% à celles des onze cannes en matériaux composites.

Propriétés de la canne et niveau des joueurs

En 2001, Pearsall, n'étant pas tout à fait satisfait des résultats obtenus dans son étude de 1999, a choisi d'étudier avec ses collègues les relations entre le niveau d'aptitudes des joueurs, leur force et les différentes constructions et duretés des cannes chez vingt sujets (dix sujets chevronnés et dix sujets amateurs). Il a été demandé à chaque sujet d'effectuer trois slapshots avec trois cannes de construction et de dureté différente. Les résultats démontrent que la vitesse du tir dépend du niveau du joueur et de sa force mais, contrairement à ce que beaucoup de personnes s'imaginent, pas du type de canne.

Wu, Pearsall, Hodges, Turcotte & Lefebvre (2003) ont repris l'étude de Pearsall et al. (2001). Ils ont examiné les relations entre le niveau des joueurs, leur force, les différents types de construction et de dureté des cannes, et la vitesse du slapshot et du tir du poignet en hockey sur glace. Ils ont testé quarante sujets au total, vingt hommes et vingt femmes. Dix sujets dans chaque groupe étaient des sujets chevronnés et 10 autres étaient débutants. Ils ont obtenu plusieurs résultats. Premièrement, le slapshot est bien plus rapide que le tir du poignet pour plusieurs raisons : le slapshot est généré avec une force verticale plus importante, la canne subit une flexion plus forte et la distance entre les mains est plus grande. Deuxièmement, la vitesse du tir varie en fonction du niveau et de la force du joueur, mais pas du type de canne. Enfin, les joueurs chevronnés sont capables de générer

plus de force verticale et de flexion de la canne que les joueurs amateurs, notamment par l'ajustement de la position des mains sur la canne.

Woo, Loth, Turcotte & Pearsall (2004) corroborent ces résultats. Ils établissent la comparaison entre les mouvements et la vitesse du slapshot stationnaire en hockey sur glace chez cinq joueurs professionnels et chez cinq joueurs amateurs. De manière significative, les joueurs professionnels tirent plus fort que les joueurs amateurs ($29.14 \text{ m/s} \pm 1.39 \text{ m/s}$ contre $26.46 \text{ m/s} \pm 0.66 \text{ m/s}$). Les mouvements de slapshot sont différents chez les joueurs professionnels et amateurs. Les résultats obtenus suggèrent qu'il y a une différence au niveau de la technique et que celle-ci peut augmenter la vitesse du tir.

3.4. Temps de contact canne-puck

Villasenor et al. (2006) ont observé parmi des joueurs masculins chevronnés et amateurs entre vingt et trente ans que lors d'un slapshot, plus longtemps la palette de la canne reste en contact avec le puck, plus la vitesse du tir sera importante. Ils observent que tous les joueurs chevronnés ont un temps de contact palette-puck plus élevé que les amateurs (en moyenne 38 ms pour les joueurs chevronnés contre 27 ms pour les joueurs amateurs), ce qui correspond à une vitesse de tir plus élevée également (en moyenne $120 \text{ km/h} \pm 18 \text{ km/h}$ pour les joueurs chevronnés contre $80.3 \text{ km/h} \pm 11.6 \text{ km/h}$ pour les joueurs amateurs).

A l'aide de caméra haute-vitesse, Smith & Bigford (2009) ont analysé le mouvement du slapshot chez de bons joueurs amateurs. La figure 3 ci-dessous représente la vitesse du marqueur rouge posé à 10 cm au dessus de la palette de la canne en fonction du temps. Durant le slapshot examiné, le puck et la canne ont été en contact durant 32 ms. Les auteurs constatent que lors des 10 premières ms de contact puck-canne (flèche rouge), la vitesse de la canne décroît fortement. Puis, durant les 22 ms restantes (flèche bleue), la canne se « décharge » et imprime l'augmentation de sa vitesse au puck. Toutefois, Smith & Bigford estiment que l'augmentation de la vitesse de la canne et donc du puck dans la seconde phase n'est pas idéalement représentée en plaçant le marqueur à 10 cm au dessus de la palette.

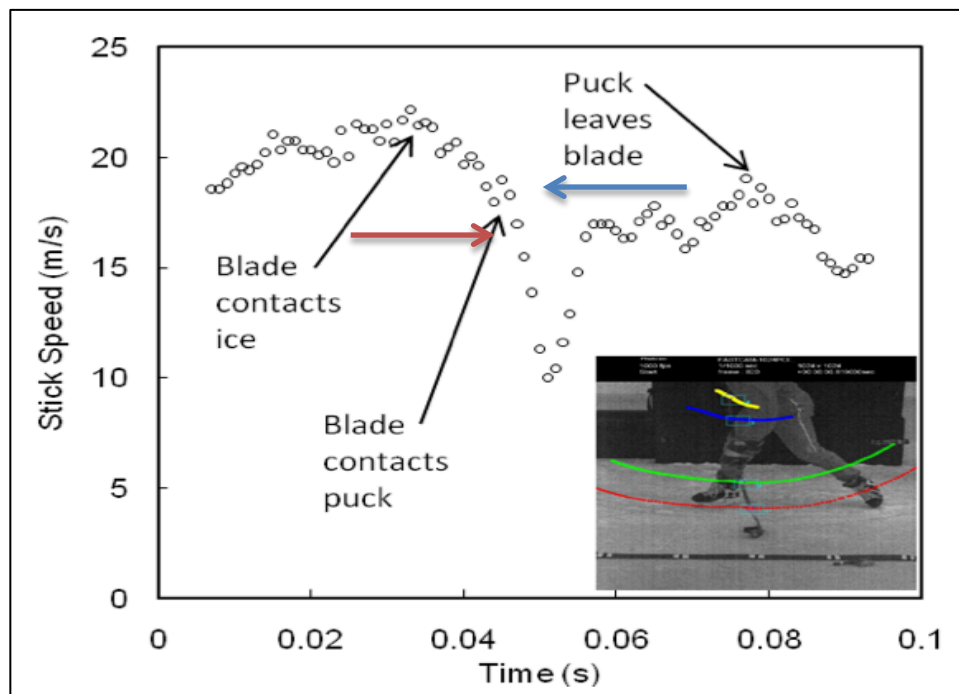


Fig. 3 Vitesse de la canne mesurée à 10 cm au dessus de la palette (marqueur rouge) durant un slapshot (Smith & Bigford, 2009).

4. But et hypothèses

Le but de mon travail sera d'associer les connaissances acquises tout au long de mes études à l'Université en matière d'entraînement physique à celles obtenues dans la littérature. Je m'efforcerai de mener à une augmentation de la vitesse du slapshot chez 8 joueurs de l'équipe dans laquelle je joue. Pour ce faire, mon travail consistera à concevoir un programme d'entraînement sportif efficace, c'est-à-dire menant à des résultats significatifs. Celui-ci se déroulera sur une durée de six semaines. Je tenterai de corroborer les évolutions de la vitesse du slapshot à l'aide de tests lors desquels un accéléromètre¹ sera employé. Un tel appareil est destiné à la mesure de la performance musculaire. Utilisé en salle de musculation, il me permettra d'évaluer l'évolution de la force et de la vitesse lors de deux exercices impliquant les principaux muscles actifs lors du slapshot. J'observerai ensuite les effets qu'engendre le processus d'entraînement sur la variation de la vitesse de tir au cours des séries de slapshots ainsi que sur la gestuelle de tir.

Parmi les recherches effectuées, bon nombre d'études liées à la biomécanique du slapshot et aux facteurs déterminant la puissance du tir sont ressorties. Par contre, aucune d'entre elles ne faisait référence à un entraînement spécifique de force et de vitesse chez des joueurs chevronnés dans le but d'augmenter la vitesse du slapshot. Ce travail constituera en ce sens un projet pilote.

La question de recherche de ce travail sera : « **quels effets a un entraînement d'une durée de 6 semaines de renforcement musculaire, de force et de vitesse du haut du corps sur la vitesse du slapshot ?** »

¹ Un accéléromètre est un petit boîtier mesurant et enregistrant les accélérations et les forces qui lui sont soumises. Il est possible de transférer et d'analyser les données sur un ordinateur. Au cours de chaque exercice impliquant un accéléromètre, les valeurs de force, de vitesse et de puissance développées sont dégagées. Plus d'informations sur : <http://www.myotest.com/>.

Pour tenter de répondre à cette question, je vais émettre les 4 hypothèses suivantes :

- A. Un entraînement de force, de vitesse et de renforcement musculaire durant 6 semaines permet d'augmenter de manière significative la vitesse moyenne du slapshot en hockey sur glace.
- B. Un entraînement de force, de vitesse et de renforcement musculaire durant 6 semaines a pour effet d'accroître les valeurs moyennes de force et de vitesse lors de l'exercice principal A et de développés-couchés. Cette évolution est corrélée de manière significative à l'évolution de la vitesse moyenne du slapshot.
- C. Un entraînement de force, de vitesse et de renforcement musculaire durant 6 semaines a pour effet de réduire la régression de la vitesse de tir lors d'une série de 7 slapshots effectués à intervalle de 7 secondes.
- D. Un entraînement de force, de vitesse et de renforcement musculaire durant 6 semaines mène à des modifications de la gestuelle du slapshot qui sont corrélées de manière significative à l'évolution de la vitesse moyenne du slapshot.

Les résultats seront qualifiés de significatifs dans la mesure où leur coefficient « p » sera inférieur à 0.05. La valeur « p » représente la probabilité que les résultats soient dus au hasard.

Les corrélations seront qualifiées de suffisamment fortes et représentatives lorsque leur coefficient (r) sera supérieur à 0.5 ou inférieur à -0.5 et que leur indice de signification (Sig.) sera inférieur à 0.05.

5. Méthodes

Il existe une multitude de méthodes d'entraînement en force, en vitesse et de renforcement musculaire. Dans cette étude, je me suis principalement basé sur les conseils avisés des spécialistes en la matière Tudor Bompa et Gilles Cometti.

5.1. Généralités

Planification annuelle de l'entraînement

Bompa, dans son livre intitulé « *Périodisation de l'entraînement, programme pour 35 sports* » (2007), présente une planification annuelle de l'entraînement de la force. Celle-ci comprend 4 phases. La première phase constitue une adaptation anatomique. Elle a pour but d'habituer progressivement le corps de l'athlète aux charges plus élevées qui suivront. Le circuit-training représente la méthode la plus simple d'adaptation anatomique de par le fait qu'elle alterne les différents groupes musculaires et fournit une structure organisée. La seconde phase consiste à prendre de la masse musculaire. Autrement dit, il s'agit d'une phase d'hypertrophie. Cette phase n'a donc pas pour objectif l'accroissement de la force du sujet mais plutôt l'augmentation de la section transversale des muscles sollicités. La troisième phase a pour but le développement de la force maximale par l'activation d'un plus grand nombre d'unités motrices². D'après Bompa, lors d'un entraînement de musculation, le plus difficile n'est pas de gagner en force mais plutôt de transposer les gains en force dans un domaine bien précis. Ainsi, la quatrième et dernière phase correspond à la conversion de la force acquise dans les étapes précédentes en puissance³ dans l'exécution de gestuelles spécifiques.

² Unité motrice : Plus petit élément contractile que le système nerveux peut mettre en jeu. Elle est composée d'un motoneurone alpha et des fibres musculaires qu'il innerve.

³ La puissance est le produit de la force par la vitesse.

Caractéristiques biomotrices⁴

La figure 4 ci-dessous, tirée du livre de Bompa (2007), présente les caractéristiques biomotrices dominantes dans les disciplines sportives. Elle examine différentes associations de force (F), de vitesse (V) et d'endurance (E). Tout autour du triangle de base figurent différentes combinaisons. L'analyse fait référence à certaines techniques d'un sport donné mais pas au sport dans son ensemble.

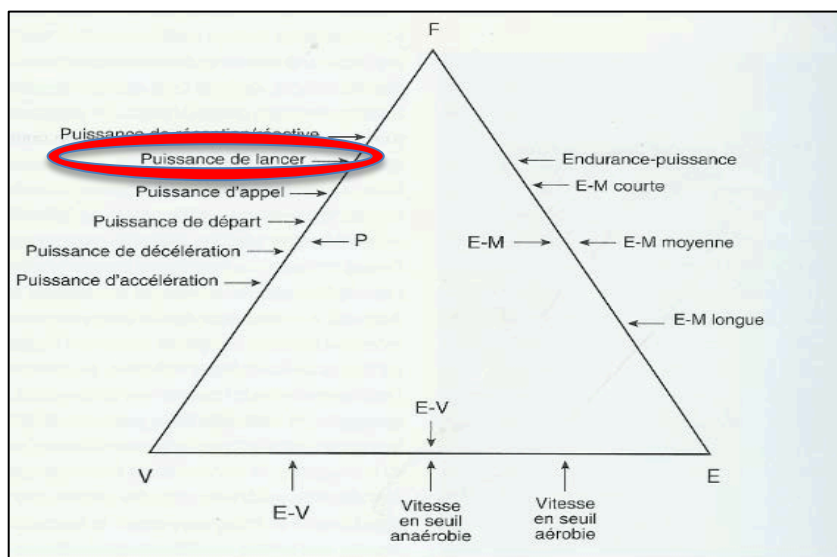


Fig. 4 Combinaisons des caractéristiques biomotrices dominantes dans les sports (Bompa, 2007, p.9).

Nous observons sur cette figure la présence de la puissance de lancer (entourée en rouge). Elle correspond à la force exercée contre un objet, comme pour lancer un ballon de football américain, une balle de baseball ou un javelot (Bompa, 2007). Elle se situe sur l'axe Force-Vitesse, arête gauche du triangle. Le slapshot en hockey sur glace nécessite à peu de chose près les mêmes caractéristiques qu'un quelconque lancer. En effet, le joueur doit vaincre l'inertie de la canne et du puck, qui est proportionnelle à leur masse, comme un joueur de baseball doit vaincre l'inertie de la batte et de la balle. La vitesse du slapshot dépend premièrement de la vitesse de la canne lors de l'exécution du tir, tout comme la vitesse de la balle de baseball dépend de la vitesse de la batte. Le joueur doit ainsi accélérer sur toute l'amplitude du mouvement de préparation (phases de downswing, pre-loading et loading) de sorte à obtenir la vitesse maximale lors de l'impact avec le puck.

⁴ Les caractéristiques biomotrices constituent des combinaisons dans diverses proportions des facteurs de force, de vitesse, d'endurance, de souplesse et de coordination. Elles sont spécifiques aux différentes pratiques sportives.

La force est le deuxième élément déterminant. Comme mentionné précédemment (cf. point 3.3, chapitre *flexion de la canne*), la vitesse du slapshot dépend en grande partie de la flexion de la canne. Or, celle-ci est directement liée à la force exercée par la main inférieure sur la canne lors du contact entre la canne et la glace juste avant de frapper le puck.

Sur la figure 4 représentée ci-dessus, la puissance du lancer (donc celle du slapshot) se situe plus proche du sommet du triangle représentant la force que celui de la vitesse. J'ai ainsi choisi d'axer mon programme d'entraînement en premier sur la force puis, dans un second temps, sur la vitesse.

Adaptations musculaires

Bompa (2007) présente dans son ouvrage les types d'adaptations musculaires lors d'entraînement de force. Deux principaux facteurs permettent d'augmenter la force musculaire d'un individu. Le premier, nommé hypertrophie, consiste à développer le volume des muscles par une augmentation du nombre et de la taille des filaments musculaires (et non des fibres). L'accroissement du nombre de fibres musculaires, appelée hyperplasie, est très controversée actuellement. Comme nous l'apercevons sur la figure 5 ci-après, l'hypertrophie permet des gains en force qu'après une période relativement longue.

Les adaptations neurales représentent le second facteur menant à un accroissement de la force. Les gains de force qui découlent des adaptations neurales peuvent être expliqués par la capacité à mobiliser davantage d'unités motrices pour agir à l'unisson. Les adaptations neurales favorisent la coordination des muscles agonistes et antagonistes. De cette manière, moins de contractions parasites s'effectuent et le mouvement devient plus efficient. Nous observons sur la figure 5 que les adaptations neurales permettent des gains de force bien plus rapidement que l'hypertrophie, expliquant ainsi mon choix d'intégrer plus d'entraînement de force maximale (adaptations neurales) que d'hypertrophie au cours du premier bloc d'entraînement.

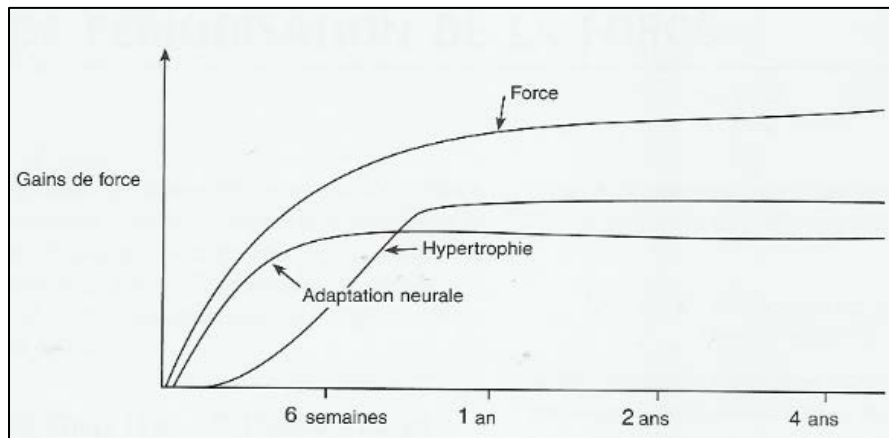


Fig. 5 Gains de force consécutifs à l'adaptation neurale et l'hypertrophie (Bompa, 2007, p. 27).

Courbe force-temps

D'après Bompa, un entraînement de force a pour objectif de décaler la courbe force-temps vers la gauche. Cette courbe est illustrée sur la figure ci-dessous :

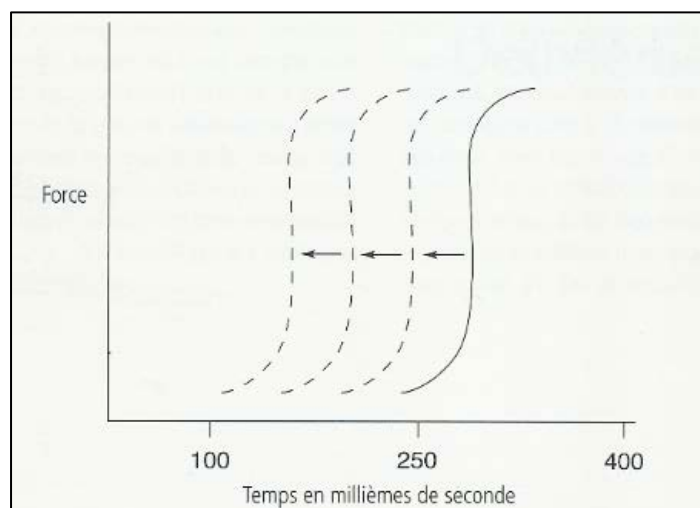


Fig. 6 Le but de l'entraînement de force est de déplacer la courbe force-temps vers la gauche (Bompa, 2007, p.117).

Déplacer la courbe vers la gauche signifie, en d'autres termes, diminuer le temps d'exécution d'un mouvement. Un entraînement en hypertrophie ne favorise pas le déplacement de la courbe vers la gauche car la charge est sous maximale et la réalisation du mouvement ne s'effectue pas de manière explosive. Par contre, le caractère explosif de l'entraînement de conversion de force maximale en puissance, lui, décale la courbe vers la gauche (Bompa, 2007).

Puissance

La puissance est définie comme le produit de la force par la vitesse. La figure 7 représente les courbes de vitesse (en vert), de force (en rouge) et de puissance (en bleu) en fonction de la charge. Nous constatons que lorsque la charge augmente, la vitesse diminue, la force augmente et vice-versa. La courbe de puissance présente la particularité d'atteindre son sommet lorsque la force et la vitesse parviennent à 35%-40% de leur maximum.

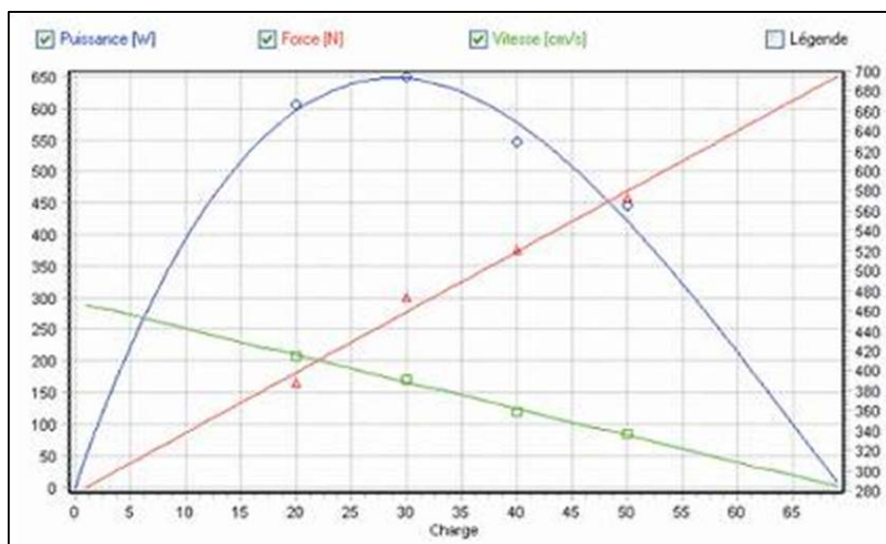


Fig. 7 Courbes de force, de vitesse et de puissance en fonction de la charge.

Retenons que la force et la vitesse sont les deux facteurs qui déterminent la puissance. Il en va de même pour la puissance du slapshot.

Principe de surcompensation et temps de récupération

La surcompensation est une réaction naturelle de notre organisme après un effort. Le principe est le suivant : suite à un entraînement d'une intensité et d'une durée variable, nous sommes fatigués, nos réserves énergétiques sont plus ou moins consommées. Nous nous reposons, retrouvons le niveau initial, puis sommes en mesure d'atteindre un niveau supérieur au niveau initial ; c'est la surcompensation. Ce phénomène est principalement dû à la reconstitution des réserves énergétiques à un niveau supérieur au niveau initial. La phase de surcompensation ne dure pas longtemps. Si lors de cette phase, nous plaçons un nouvel entraînement, le niveau va augmenter. Si par contre nous attendons trop longtemps, il y aura un retour au niveau initial.

Le phénomène de la surcompensation est illustré ci-dessous :

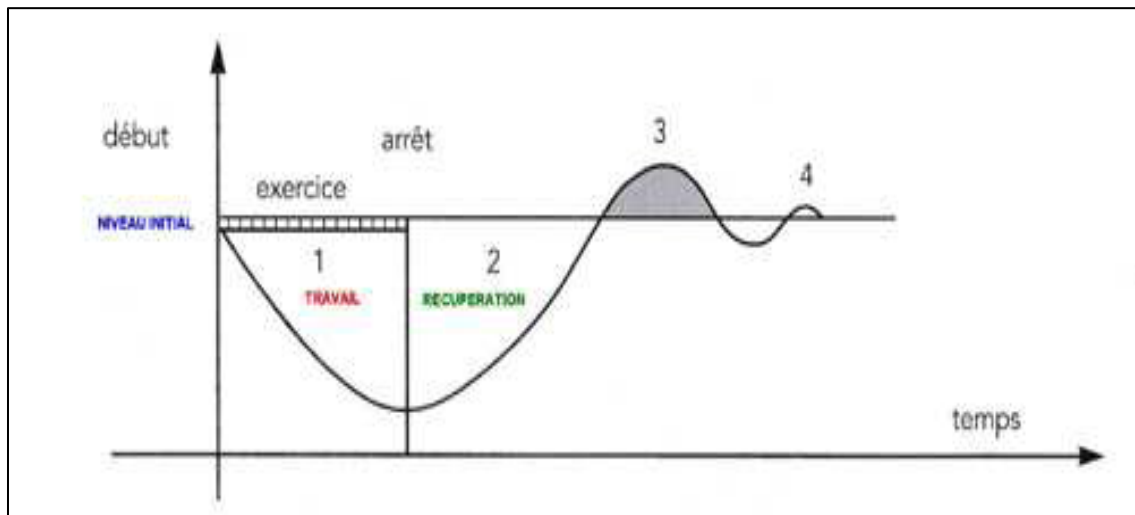


Fig. 8 Principe d'entraînement de la surcompensation (vsprint.com).

Voici les 4 phases du principe de la surcompensation :

1. Phase d'entraînement: le sujet s'épuise.
2. Phase de récupération : le sujet se repose, reconstitue ses ressources énergétiques et retrouve son niveau initial.
3. Phase de surcompensation : le sujet atteint un niveau supérieur au niveau initial. Idéalement, c'est à ce moment-là qu'il faut placer l'entraînement suivant.
4. Retour au niveau initial si aucun nouvel entraînement n'a lieu.

Il est primordial de ne pas placer d'entraînement lors de la phase de récupération, faute de quoi le sujet se surentraîne et s'épuise. Son niveau devient alors inférieur au niveau initial.

Selon ce principe, la difficulté se situe dans la planification de l'entraînement. Pour progresser, il est nécessaire de placer la prochaine charge d'entraînement lors de la troisième phase du principe de la surcompensation, lorsque la récupération est complète et les réserves énergétiques entièrement resynthétisées.

A cet effet, Vaast (2003, reprenant les travaux de Soldatow) présente les temps de récupération selon le type d'effort. Ils sont exposés sur la figure 9.

Qualité physique sollicitée	Influence sur le système nerveux	Influence sur le système musculaire	Charge totale	Temps de récupération
vitesse	faible	élevée	moyenne	24 h
Force explosive	moyenne	moyenne	moyenne	24 à 48 h
Force maximale	élevée	élevée	élevée	48 h
Endurance anaérobie lactique	maximale	moyenne	maximale	48 à 72 h
Endurance générale	maximale	basse	élevée	48 à 72 h
Vitesse de mouvement	minimale	basse	basse	6 h
Habileté	basse	basse	basse	6 h

Fig. 9 Temps de récupération en fonction du type d'entraînement (Soldatow, cité par Vaast, 2003, p. 201).

Dans notre cas, en travaillant principalement la force maximale et la vitesse, nous observons que le temps de récupération varie entre 24 et 48 heures.

Les régimes d'action musculaire

D'après Cometti (*Les méthodes de développement de la force*), il existe quatre principaux régimes d'action musculaire. Chacun de ces régimes correspond à un travail fondamentalement différent du muscle.

- 1) **Le régime concentrique** : Nous parlons d'action concentrique lorsque le muscle se contracte et se raccourcit. Les insertions se rapprochent, le muscle « se concentre ».

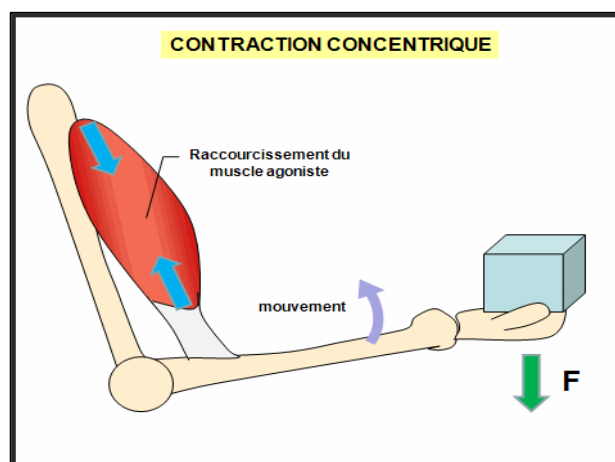


Fig. 10 Lors de la flexion du coude, les insertions du biceps brachii se rapprochent, le muscle se concentre (blogspot.com).

- 2) **Le régime excentrique** : Nous parlons d'action excentrique lorsque le muscle travaille en s'allongeant. Les insertions s'éloignent et s'excentrent. Il s'agit souvent de freiner une charge.

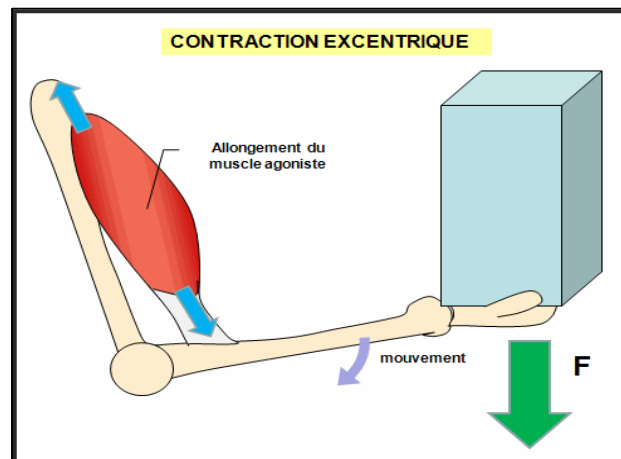


Fig. 11 Lors de l'extension du coude, les insertions du biceps brachii s'éloignent. Le biceps freine une charge et agit de manière excentrique (blogspot.com).

- 3) **Le régime isométrique** : Nous parlons d'action isométrique lorsque le muscle travaille contre une résistance fixe. Les leviers et les insertions musculaires ne se déplacent pas.
- 4) **Le régime pliométrique** : Nous parlons d'action pliométrique lorsque le muscle enchaîne immédiatement une phase d'étirement du muscle (excentrique) avec une phase de contraction (concentrique).

Lors d'un slapshot, quand la canne entre en contact avec la glace, elle est freinée. A cet instant-là, les muscles s'étirent et travaillent en régime excentrique. Le reste du mouvement en avant se réalise de manière concentrique. Par conséquent, les exercices du programme d'entraînement suivi par les sujets ont principalement été réalisés en régime concentrique et excentrique.

5.2. Sujets, lieu et durée du programme d'entraînement

5.2.1. Sujets

8 joueurs motivés de la première équipe du HC Tramelan évoluant en 1^{ère} ligue ont suivi le programme d'entraînement. La première ligue étant la limite entre le hockey professionnel et le hockey amateur, nous considérons que les sujets sont des joueurs chevronnés. Ils ont entre 17 ans et 39 ans. La moyenne d'âge est de

26.75 ans (écart-type : 6.39). Ils ont des morphologies et des masses bien différentes. Le plus lourd pèse 94 kg, le plus léger 68 kg. La moyenne des masses des sujets est de 80.5 kg (écart-type : 9.15). L'échantillon étant hétérogène, il était important d'adapter le programme d'entraînement aux caractéristiques de chacun.

Sur la figure 12 ci-après, tirée du cours intitulé « Théorie des principes de l'entraînement » dispensé par Alain Rouvenaz à l'Université de Fribourg, nous observons la relation entre le niveau de performance et les progrès réalisables. Le principe est que plus le niveau de performance est élevé, plus les progrès sont minimes et difficilement atteignables.

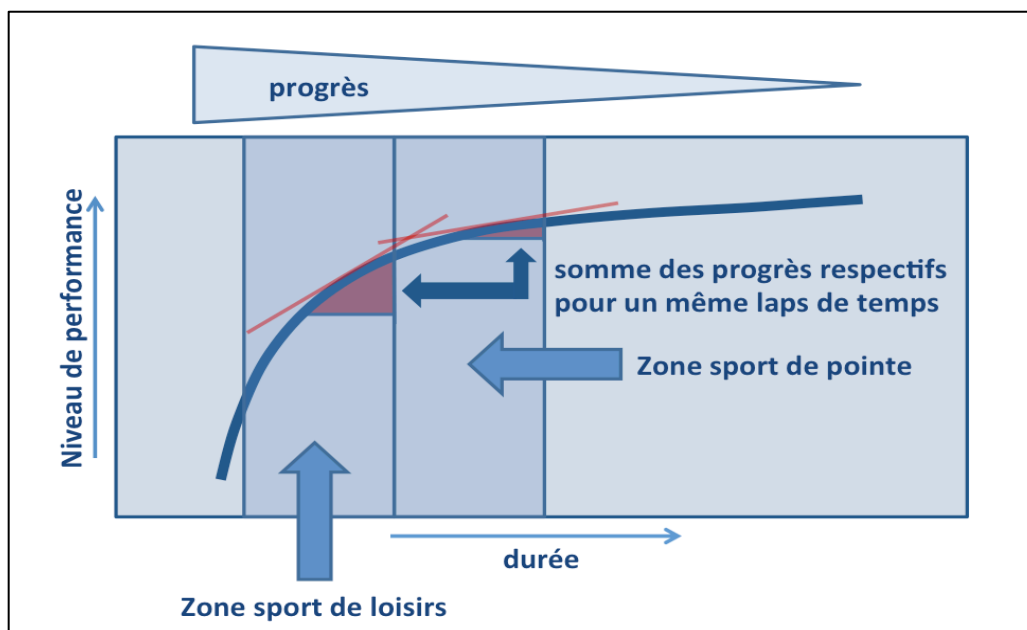


Fig. 12 Mise en relation du niveau de performance sur les progrès réalisables, d'après Alain Rouvenaz, dans le cadre du cours « Théorie des principes de l'entraînement », Université de Fribourg.

Ce modèle s'applique à deux catégories de joueurs. La colonne de gauche, appelée « zone sport de loisirs », représente les sportifs amateurs qui recherchent avant tout le plaisir. Dans cette zone, la pente de la tangente à la courbe est importante. La technique, la tactique, la coordination, la condition physique et le psychisme des sujets ne sont de loin pas optimaux. Ainsi, il est relativement facile pour eux de rapidement progresser à l'aide de conseils et d'entraînement. Les progrès réalisables peuvent être conséquents pour eux. La colonne de droite, appelée « zone sport de pointe », représente les sportifs chevronnés recherchant la performance. Les facteurs qui déterminent leur performance sont bien ancrés. Par conséquent, il est difficile pour eux de progresser. Dans cette seconde zone, la pente de la tangente

à la courbe est plus faible. Plus le niveau de performance est élevé, plus la courbe tend vers l'horizontal. Les éventuelles améliorations se jouent alors sur de petits détails.

Dans mon étude, les joueurs ayant suivi le programme d'entraînement sont considérés comme des joueurs chevronnés et figurent dans la « zone sport de pointe ». Avant de commencer les tests, j'étais ainsi conscient qu'une importante augmentation de la vitesse de tir n'était pas envisageable et que, pour obtenir des résultats significatifs, je devais mettre en place un programme d'entraînement reposant sur un protocole précis.

5.2.2. Lieu, durée et planification des entraînements

Lieu

Le programme d'entraînement a été suivi dans la salle de musculation présente dans les sous-sols de l'« ArteCad Arena », patinoire du HC Tramelan. Bien que vétuste, elle offrait de nombreuses possibilités d'entraînement.

Durée

Le programme s'est déroulé sur une période de 6 semaines. Il s'est étendu de mi-décembre 2011 à début février 2012, le but étant d'avoir terminé ce dernier juste avant le commencement des playouts.

En moyenne, les entraînements en salle de musculation duraient entre 30 et 40 minutes. Ils étaient placés juste avant les entraînements sur glace pour 6 sujets. De cette manière, les effets obtenus étaient directement transposés en situation « réelle » sur la glace. Les 2 autres sujets de groupe d'entraînement, ne pouvant se libérer suffisamment tôt pour des raisons professionnelles, ont suivi les entraînements après les pratiques sur glace. Tout comme les entraînements sur glace, les entraînements en salle de musculation étaient pratiqués les lundis, mercredis et vendredis, exceptés les semaines lors desquelles avaient lieu un match en semaine. Dans ce cas-là, seuls 2 entraînements sur glace et en salle de musculation avaient lieu.

D'après les temps de récupération présentés par Vaast (figure 9, 2003), les entraînements étaient ainsi espacés de manière idéale (au minimum 48 heures) pour favoriser la surcompensation.

Planification

Comme nous l'avons vu précédemment, la puissance du slapshot est dépendante de deux facteurs : la force et la vitesse. Ainsi, la période d'entraînement s'est composée de deux blocs d'entraînement de 3 semaines chacun. Le premier s'est principalement consacré à la force et le second à la vitesse d'exécution.

Au commencement du premier bloc d'entraînement, nous situant approximativement au milieu du championnat régulier, j'ai estimé que suivre la première phase de la planification de l'entraînement de force selon Bompa (adaptation anatomique) n'était pas adapté à la situation. J'ai ainsi choisi de débiter l'entraînement avec les deuxième et troisième phases, à savoir un entraînement d'hypertrophie et de force maximale. Bompa propose une planification annuelle pour les développer. Celle-ci est présentée sur la figure suivante :

Préparation								Compétition	Transition
3 AA	7 Hyp.	6 Fmax	3 H	3 Fmax	3 H	3 Fmax	3 Conv. en P	Maintien : P/Fmax	Compen.

Fig. 13 Variation de périodisation annuelle pour développer l'hypertrophie et la force maximale (Bompa, 2007, p.89).

Suite à l'adaptation anatomique (AA), nous observons l'alternance des phases d'hypertrophie et de force maximale. N'ayant pas eu à disposition suffisamment de temps pour imiter ce modèle de périodisation, j'ai choisi d'intégrer et de mélanger au cours du même bloc d'entraînement les deux différentes méthodes de développement de la force.

Le second bloc d'entraînement a été consacré à la quatrième phase de la planification de l'entraînement de force. Au cours de ces 3 dernières semaines d'entraînement, il s'agissait de convertir la force emmagasinée lors du premier bloc d'entraînement en puissance spécifique dans le mouvement du slapshot. Ce second bloc s'est principalement basé sur la vitesse d'exécution.

5.3. Programme d'entraînement

5.3.1. Détermination d'une répétition maximale et pourcentage de charge

Avant de commencer tout entraînement de force, il est primordial de connaître la charge maximale qu'un athlète peut porter, tirer ou soulever une seule et unique fois pour un exercice donné. C'est ce que nous appelons la répétition maximale (souvent abrégée « 1 RM »). En fonction de cette valeur, généralement exprimée en kg, nous pouvons établir un tableau avec les différents pourcentages de 1 RM. Ainsi, selon le type d'entraînement de force désiré (hypertrophie, force maximale, méthode bulgare, etc.), il est facile d'adapter les charges en conséquence.

Cependant, la répétition maximale n'est pas toujours facile à déterminer. Dans la salle de musculation de l' « ArteCad Arena », les charges sur les machines de musculation et sur les barres de développés-couchés varient de 5 kg en 5 kg. Dans un cas simple, si l'athlète A peut soulever une seule fois 25 kg à un quelconque exercice, mais n'y arrive pas avec 30 kg, sa répétition maximale est de 25 kg. Par contre, si l'athlète B peut soulever quatre fois 25 kg mais n'arrive pas à soulever une fois 30 kg, sa répétition maximale est supérieure à 25 kg.

Pour calculer la répétition maximale de chaque sujet, j'ai utilisé la formule de Nebraska que voici :

$1 \text{ RM} = \text{poids soulevé} \times [1 + (0,0333 \times \text{nombre de répétitions})]$

Dans l'exemple ci-dessus, l'athlète B aurait ainsi une répétition maximale de : $25 \times [1 + (0,0333 \times 2)] = \underline{28.33 \text{ kg}}$.

En me basant sur la répétition maximale, j'ai été amené à calculer les 90%, 70% et 40% de 1 RM, respectivement pour les entraînements de force maximale, d'hypertrophie et de méthode bulgare. J'ai arrondi les valeurs vers la tranche de 5 kg la plus proche. Ainsi, en reprenant l'exemple de l'athlète B, j'obtiens :

- 100 % de 1 RM = 28.33 kg
- 90 % de 1 RM = $28.33 \times 0.9 = 25.497 \text{ kg} \rightarrow$ arrondi à 25 kg
- 70 % de 1 RM = $28.33 \times 0.7 = 19.831 \text{ kg} \rightarrow$ arrondi à 20 kg
- 40 % de 1 RM = $28.33 \times 0.4 = 11.332 \text{ kg} \rightarrow$ arrondi à 10 kg

J'ai calculé et arrondi les valeurs de chaque joueur du groupe d'entraînement. Les sujets avaient leurs valeurs affichées dans la salle de musculation sous forme de fiche personnelle (voir annexe 1).

5.3.2. 1^{er} bloc d'entraînement : force maximale et hypertrophie

Programme d'entraînement

Ci-dessous, voici le programme d'entraînement de force maximale et de renforcement musculaire que j'ai développé. Celui d'hypertrophie et de renforcement musculaire figure en annexe 2.

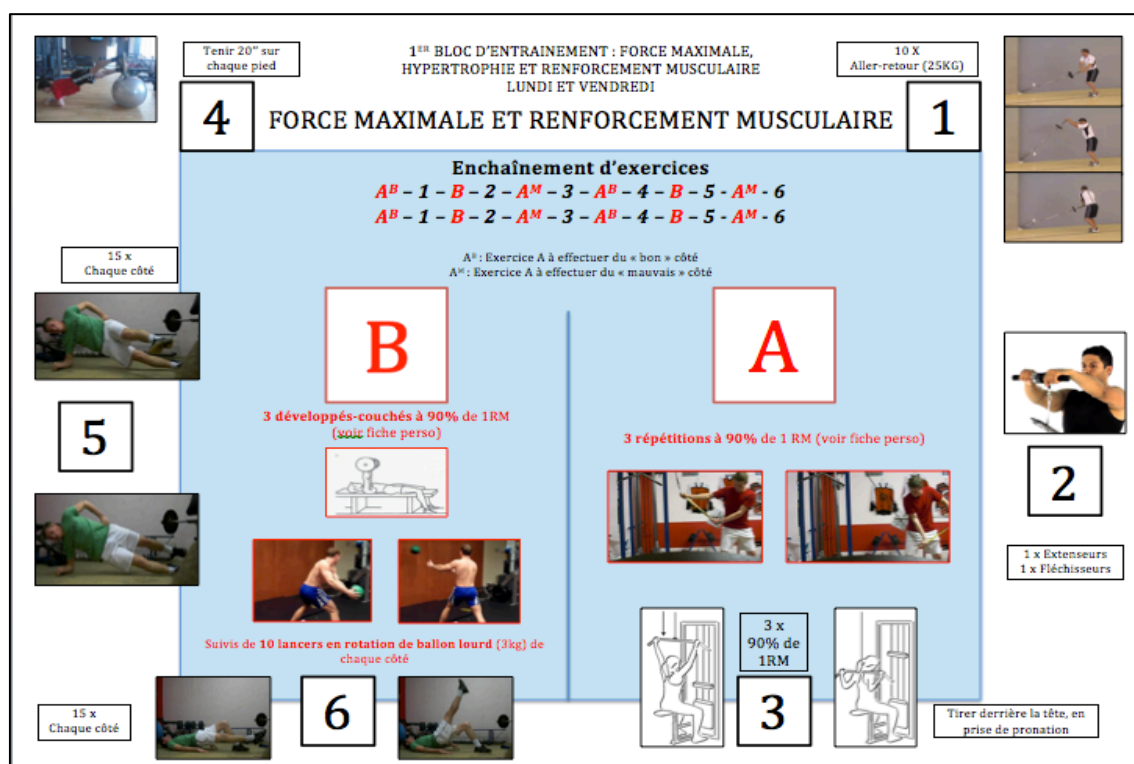


Fig. 14 Programme d'entraînement de force maximale et de renforcement musculaire.

Ordre et séries

Le programme d'entraînement se composait de deux exercices principaux (A et B, au centre de la figure 14) et de six exercices annexes. Le principe était de toujours alterner entre un des deux exercices principaux et un des six exercices annexes.

Dans l'ordre, nous effectuons la suite d'exercices suivante :

Tab. 1 Ordre des exercices lors du premier bloc d'entraînement (force maximale, hypertrophie et renforcement musculaire).

$\rightarrow A^B \rightarrow 1 \rightarrow B \rightarrow 2 \rightarrow A^M \rightarrow 3 \rightarrow A^B \rightarrow 4 \rightarrow B \rightarrow 5 \rightarrow A^M \rightarrow 6$ $\rightarrow A^B \rightarrow 1 \rightarrow B \rightarrow 2 \rightarrow A^M \rightarrow 3 \rightarrow A^B \rightarrow 4 \rightarrow B \rightarrow 5 \rightarrow A^M \rightarrow 6$
--

De cette manière, nous exécutons :

- 4 séries pour l'exercice principal A du « bon côté »
- 4 séries pour l'exercice principal A du « mauvais côté »
- 4 séries pour l'exercice principal B
- 2 séries pour chaque exercice annexe

Exercices

Dans le but d'éviter des déséquilibres musculaires et pour améliorer la performance des joueurs, chaque exercice était réalisé autant du côté dominant que du côté plus faible.

Voici en quoi consistaient les exercices des programmes d'entraînement de **force maximale** et d'**hypertrophie** intégrant tous deux du **renforcement musculaire** :

- **L'exercice principal A**, agrandi en annexe 3, était un exercice semblable à la gestuelle du slapshot. Un segment de canne de 55 cm de longueur (pour rappel, lors d'un slapshot, l'espace entre les deux mains sur la canne est de 40 à 60 cm en moyenne d'après Pearsall et al., 2001) était accroché à la chaîne d'une machine de musculation. La chaîne tractait les charges de la machine et coulissait sur une poulie haute. Les sujets avaient pour tâche d'effectuer les 5 premières phases du mouvement de slapshot (backswing, downswing, pre-loading, loading et release). La position initiale de l'exercice correspondait à la position d'un joueur en début de phase de downswing : le mouvement de préparation étant effectué et le segment de canne étant levé derrière le joueur, il pouvait ainsi amorcer son tir (annexe 3, image de gauche). Dès lors, le sujet simulait directement les phases cruciales dans le slapshot de pre-loading, loading et release. Puis, lors de la phase de backswing, il ramenait la canne à la position initiale. Les phases de downswing, pre-loading, loading et release s'exécutaient de manière

concentrique rapide et le retour à la position initiale (backswing) s'effectuait de manière excentrique lente.

Au cours de cet exercice, les principaux muscles actifs dans le slapshot (pectoralis major, trapezius, anterior deltoid, external obliques, teres major, latissimus dorsi et triceps brachii) étaient mis à contribution.

Lors de cet exercice principal A, la série de répétitions était effectuée d'abord du bon côté (A^B , «^B» signifiant bon côté), c'est-à-dire du même côté que le slapshot sur la glace et la série d'après du mauvais côté (A^M , «^M» signifiant mauvais côté). Ainsi, pour les droitiers, l'exercice A^B s'effectuait avec la main droite sur le bas du segment de la canne et l'exercice A^M s'effectuait avec la main gauche sur le bas du segment de la canne. Pour les gauchers, c'était l'inverse.

- **L'exercice principal B** était un enchaînement de développés-couchés suivis de 10 lancers en rotation d'un ballon lourd (3 kg). Les développés-couchés devaient être réalisés de manière concentrique rapide lorsque les sujets poussaient la barre de squat et de manière excentrique lente lorsqu'ils la freinaient et la redescendaient. Lors des lancers en rotation, les joueurs projetaient le ballon contre un mur à une distance de 2 mètres et devaient rattraper le rebond, l'amortir et répéter ce cycle 10 fois de chaque côté du corps.

De cette manière, parmi les muscles sollicités dans le slapshot, les sujets entraînaient principalement les muscles pectoralis major, anterior deltoid et triceps brachii pour le développé-couché et internal/external obliques pour les lancers en rotation.

A noter encore que lors des séries 1 et 3, les sujets effectuaient des lancers avec un ballon de petit diamètre. Lors des séries 2 et 4, les sujets lançaient un ballon de diamètre plus important, mais toujours de 3 kg, favorisant ainsi le contraste sensoriel.

- **Les exercices annexes 1 à 6**, visibles sur la figure 14, comprenaient un mélange d'exercices mettant à contribution plusieurs des muscles impliqués dans le slapshot. Les exercices 1 et 3 sollicitaient les muscles pectoralis major, latissimus dorsi, internal/external obliques, anterior deltoid et biceps brachii. L'exercice 2 favorisait spécifiquement le travail des extenseurs et

fléchisseurs des avant-bras. Les exercices 4, 5 et 6 différaient lors de l'entraînement de force maximale et d'hypertrophie. Toutefois, leur objectif était le même : ils avaient pour tâche de renforcer les 3 chaînes musculaires du corps (ventrale, dorsale et latérale) ainsi que la musculature de la ceinture abdominale. L'exercice 4 renforçait la chaîne ventrale du corps, l'exercice 5 les chaînes latérales du corps et la ceinture abdominale et enfin, l'exercice 6 la chaîne dorsale du corps. Dans une perspective d'amélioration de performances sportives, ces exercices 4 à 6 étaient pratiqués soit de manière dynamique, c'est-à-dire en mouvement, soit de manière statique mais en situation de déséquilibre.

Charges et nombre de répétitions pour l'entraînement en force maximale

Zatsiorski (1966) affirme que pour développer la force, il est nécessaire de créer dans le muscle des tensions maximales. Celles-ci peuvent être obtenues soit avec des charges maximales, soit sans charges maximales mais jusqu'à l'épuisement ou à vitesse maximale. Pour gagner en force maximale et donc agir sur les facteurs nerveux, il conseille de pratiquer 4 à 7 séries de 1 à 3 répétitions avec des charges très élevées, ceci avec des pauses entre les séries de plusieurs minutes. Bompa (2007) confirme les méthodes conseillées par Zatsiorski plus de 40 ans auparavant. Il affirme que les séries de 1 à 3 répétitions avec des charges allant de 90% à 100% de 1 RM améliorent la force maximale et ne favorisent pas l'hypertrophie (voir la figure 15 ci-dessous).

CONTINU D'ÉVALUATION INDIRECTE			
RM	ZONE	INTENSITÉ	EFFETS
1	Maximal = 1-3 répétitions/série	100 %	L'augmentation de la force en simples, doublés et triplés, est due à l'amélioration de la qualité de l'innervation, l'exercice bref et de très forte intensité agissant sur la coordination intramusculaire sans entraîner d'hypertrophie.
2		95 %	
3		90 %	
4	Sous-maximal haut = 4 - 7 répétitions/série	88 %	L'effort inflige le maximum de dégâts à l'ultrastructure myofibrillaire des fibres blanches de type II à contraction rapide. La force l'emporte néanmoins sur l'hypertrophie.
5		85 %	
6		83 %	
7	Sous-maximal bas = 8 - 10 répétitions/série	80 %	Equilibre entre le gain de force et l'acquisition de masse musculaire.
8		78 %	
9		76 %	
10		74 %	
11		72 %	
12		70 %	Les meilleurs gains de masse musculaire sont enregistrés à ce niveau, ceux-ci culminant pour des séries de 10RM.

Fig. 15 Relation entre nombre de répétitions, zone d'entraînement, intensité et effets sur les muscles lors d'un entraînement de force (Bompa, 2007, p.72).

Par conséquent, lors des entraînements de force maximale, nous avons effectué des séries de **3 répétitions à 90% de 1 RM** pour les exercices A, B et 3.

Les entraînements de force maximale avaient lieu deux fois par semaine, le lundi et le vendredi.

Charges et nombres de répétitions pour le programme d'hypertrophie

Au sujet de l'hypertrophie, Zatsiorski (1966) estime que la meilleure méthode pour développer la masse musculaire est d'effectuer 10 séries de 10 répétitions chacune à 70% de 1 RM avec 3 minutes de pause entre les séries. Legeard (2005), en accord avec Gilles Cometti (*Les méthodes de développement de la force*), corrobore les propos de Zatsiorski.

Dans son livre « *Force : entraînement & musculation. De la théorie à la pratique* », Legeard étaye ses dires avec la figure suivante :

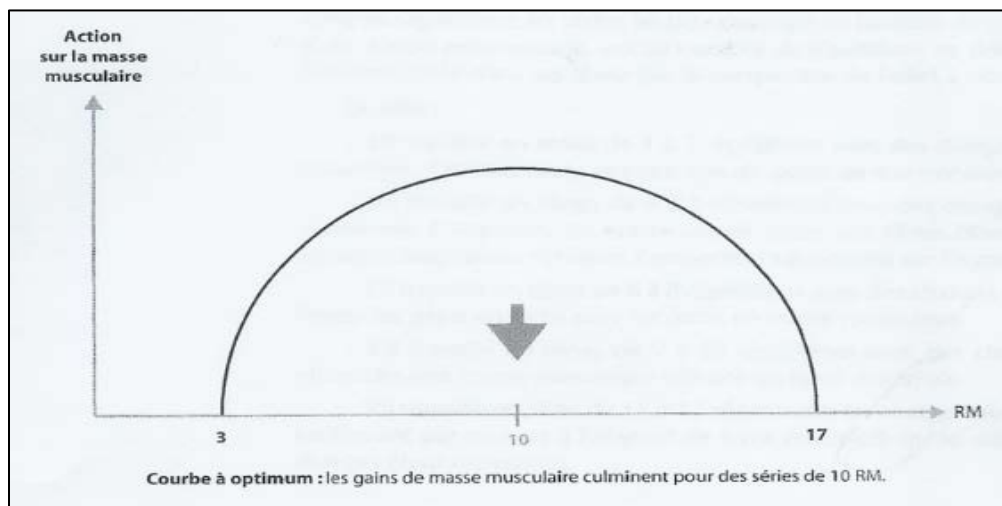


Fig. 16 Relation entre les gains de masse musculaire en fonction du nombre de répétitions (Legeard, 2005, p.117).

Lors des entraînements d'hypertrophie, il semblait donc bénéfique d'effectuer des séries de 10 répétitions à 70% de 1 RM. Toutefois, suite à un entraînement d'essai avec le groupe d'entraînement, j'ai remarqué qu'effectuer 10 répétitions à 70% de 1 RM était trop astreignant. Suite à cela, pour les exercices A, B et 3, j'ai modifié le nombre de répétitions, passant de 10 répétitions à un **maximum de répétitions à 70 %** de 1 RM, c'est-à-dire jusqu'à ce que le sujet n'arrive plus à soulever la charge. En moyenne, les sujets effectuaient entre 6 et 9 répétitions.

Les entraînements d'hypertrophie avaient lieu une fois par semaine, le mercredi.

5.3.3. 2^{ème} bloc d'entraînement : théra-bands et méthode bulgare

Programme d'entraînement

Le second bloc d'entraînement a été consacré à la quatrième et dernière phase de la planification de l'entraînement de force proposée par Bompa (2007). Il s'est étendu sur une période de 3 semaines, de même que le premier bloc d'entraînement. Lors de celles-ci, il s'agissait de convertir la force emmagasinée lors du premier bloc d'entraînement en puissance spécifique dans le mouvement du slapshot. Ce second bloc s'est ainsi principalement basé sur la vitesse d'exécution. Pour ce faire, deux différents programmes d'entraînement ont été suivis.

Le premier consistait à utiliser des « théra-bands », élastiques présentant diverses résistances. Ces bandes élastiques permettaient d'imiter la gestuelle de

mouvements spécifiques tels que les slapshots, ceci avec une résistance progressive. En effet, au début de l'exécution d'un mouvement, l'élastique n'est que peu tendu et donc la résistance est faible. Puis, plus nous avançons dans la réalisation du geste, plus l'élastique se tend et plus la résistance s'accroît. Les charges étant sous maximales, il était possible de travailler la vitesse d'exécution. Chaque répétition d'exercice se faisait de façon la plus explosive et la plus rapide possible. Les pauses entre les répétitions n'étaient pas autorisées. Ainsi, les exercices réalisés à l'aide de théra-bands présentaient l'avantage d'impliquer en continu et à vitesse maximale les muscles spécifiques du slapshot.

Ci-dessous, voici le programme d'entraînement utilisant les théra-bands et intégrant du renforcement musculaire :

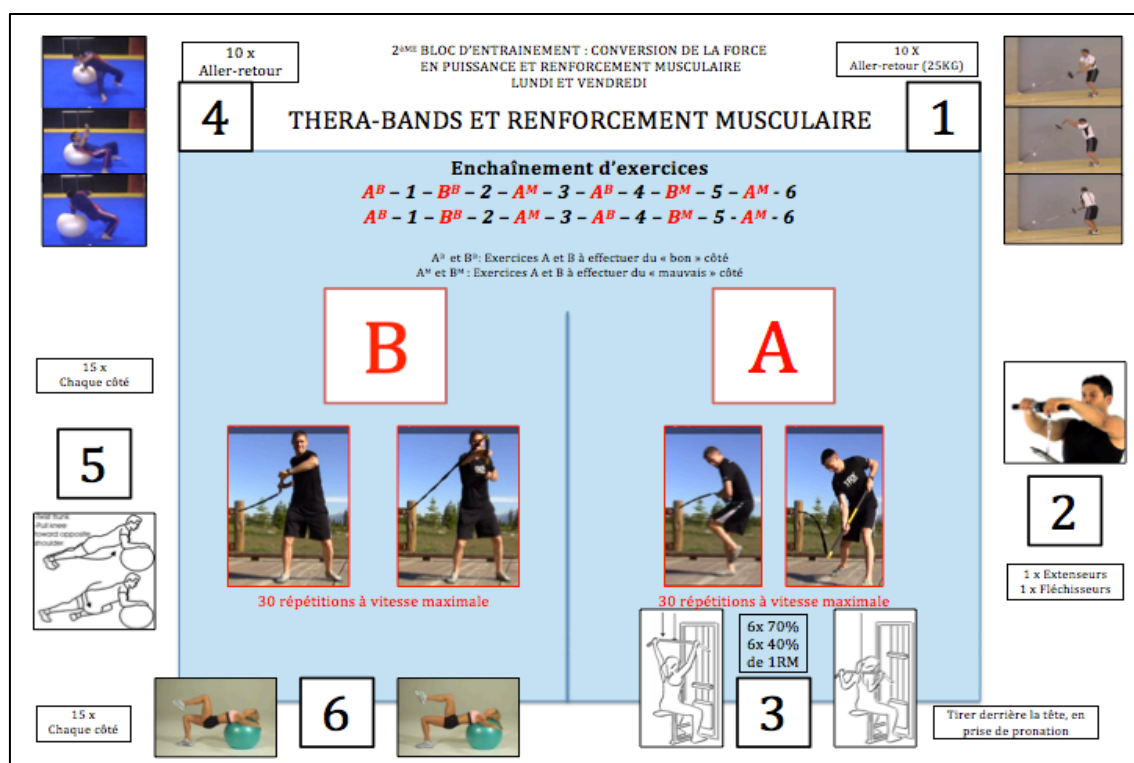


Fig. 17 Programme d'entraînement à l'aide de théra-bands et intégrant du renforcement musculaire.

Le second programme d'entraînement de ce 2^{ème} bloc s'est référé à une méthode d'entraînement dite « bulgare ». Cette méthode, également appelée méthode par contraste, est utilisée pour développer la force explosive. Elle a pour principe d'alterner au cours d'une même série des charges lourdes (environ 70% de 1 RM) et des charges légères (environ 40% à 50% de 1 RM) avec des mouvements exécutés le plus rapidement possible. Cela implique de modifier rapidement les

charges utilisées au cours de la même série. Une organisation adéquate du matériel est donc indispensable.

L'intérêt de cette méthode réside dans le contraste sensoriel induit par les différentes charges. Les exercices effectués avec de lourdes charges favorisent le recrutement des unités motrices, alors que les exercices exécutés avec des charges légères favorisent la synchronisation des unités motrices.

Voici le programme d'entraînement appliquant la méthode bulgare et intégrant du renforcement musculaire :

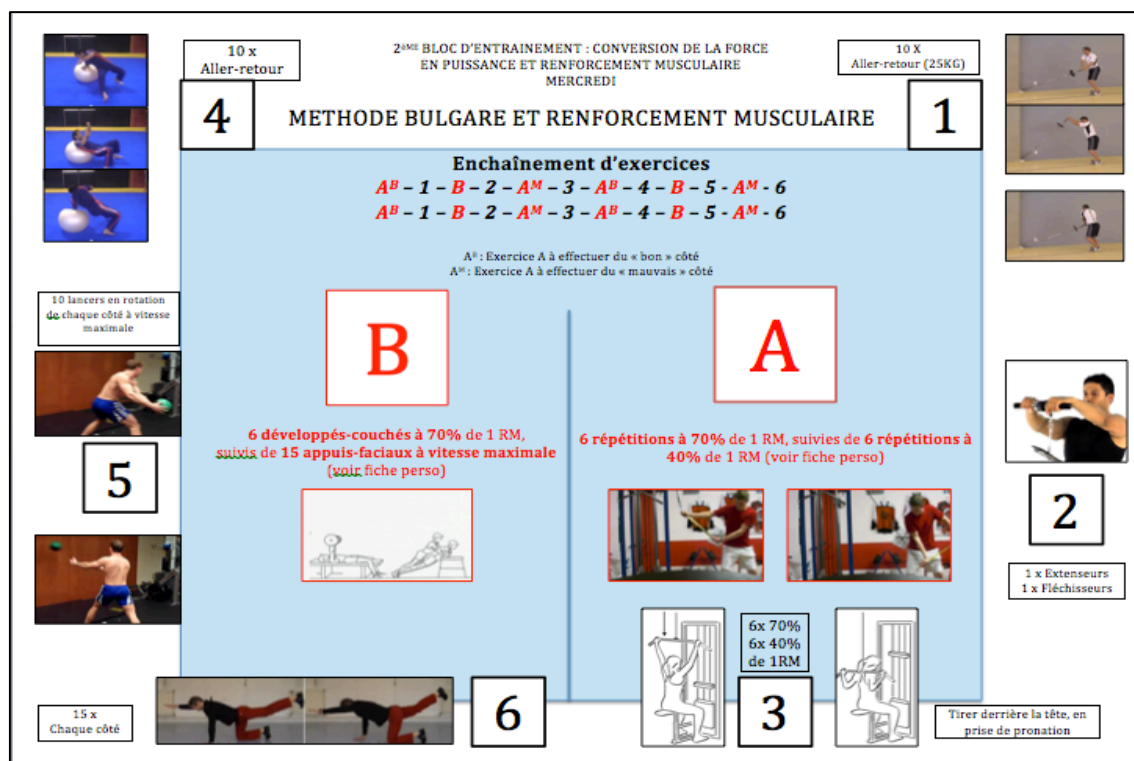


Fig. 18 Programme d'entraînement selon la méthode bulgare et intégrant du renforcement musculaire.

Ordre et séries

Le principe des programmes d'entraînement de ce second bloc était similaire au premier bloc d'entraînement. Les sujets alternaient entre un des deux exercices principaux et un des six exercices annexes. Lors des entraînements à l'aide de théra-bands, nous effectuions la suite d'exercice suivante :

Tab. 2 Ordre des exercices lors du second bloc d'entraînement (théra-bands et renforcement musculaire).

→ A^B → 1 → B^B → 2 → A^M → 3 → A^B → 4 → B^M → 5 → A^M → 6
→ A^B → 1 → B^B → 2 → A^M → 3 → A^B → 4 → B^M → 5 → A^M → 6

Etant limité par le temps, j'ai choisi de faire exécuter 4 séries de chaque côté par entraînement de l'exercice principal A, qui imite davantage la gestuelle du slapshot que l'exercice principal B, contre 2 séries de ce dernier.

De cette manière, nous exécutons :

- 4 séries pour l'exercice principal A du « bon côté »
- 4 séries pour l'exercice principal A du « mauvais côté »
- 2 séries pour l'exercice principal B du « bon côté »
- 2 séries pour l'exercice principal B du « mauvais côté »
- 2 séries pour chaque exercice annexe

Lors du programme d'entraînement appliquant la méthode bulgare, nous effectuons la suite d'exercice suivante :

Tab. 3 Ordre des exercices lors du second bloc d'entraînement (méthode bulgare et renforcement musculaire).

$\rightarrow A^B \rightarrow 1 \rightarrow B \rightarrow 2 \rightarrow A^M \rightarrow 3 \rightarrow A^B \rightarrow 4 \rightarrow B \rightarrow 5 \rightarrow A^M \rightarrow 6$ $\rightarrow A^B \rightarrow 1 \rightarrow B \rightarrow 2 \rightarrow A^M \rightarrow 3 \rightarrow A^B \rightarrow 4 \rightarrow B \rightarrow 5 \rightarrow A^M \rightarrow 6$
--

Nous réalisons ainsi :

- 4 séries pour l'exercice principal A du « bon côté »
- 4 séries pour l'exercice principal A du « mauvais côté »
- 4 séries pour l'exercice principal B
- 2 séries pour chaque exercice annexe

Exercices

Voici en quoi consistaient les exercices du programme d'entraînement basé sur l'utilisation des **théra-bands** et comprenant du **renforcement musculaire** (figure 17):

- **L'exercice principal A** (annexe 4) consistait à reproduire le geste du slapshot avec une résistance croissante. Un segment de canne de 55 cm de longueur était accroché à un théra-band qui était lui-même fixé à une barre métallique immobile. Lorsque le sujet débutait le mouvement (correspondant aux phases de backswing et downswing du slapshot), le théra-band ne fournissait que très peu de résistance, comme lors de la préparation du slapshot sur la glace. Ensuite, lorsque le sujet continuait son mouvement et étirait l'élastique (correspondant aux phases du slapshot de pre-loading, loading, release et follow through), la résistance devenait de

plus en plus importante. Le sujet atteignait la fin du mouvement sans toutefois obtenir une résistance maximale. Il effectuait alors le geste dans le sens inverse en freinant le segment de canne et revenait à la position de départ. Ainsi, lors du mouvement en avant de la canne, l'athlète travaillait de manière concentrique rapide, c'est-à-dire en vainquant une résistance à vitesse maximale. Puis, lors du retour de celle-ci à la position initiale, il travaillait de manière excentrique lente, c'est-à-dire en freinant la résistance que fournissait l'élastique.

Au cours de cet exercice, les principaux muscles actifs dans le slapshot (pectoralis major, trapezius, anterior deltoid, external obliques, teres major, latissimus dorsi et triceps brachii) étaient entraînés.

La série de répétitions était d'abord réalisée du bon côté (A^B), c'est-à-dire du même côté que le slapshot sur la glace, puis, la série suivante, du mauvais côté (A^M).

- **L'exercice principal B** (observable en annexe 5) consistait à effectuer, les bras à hauteur d'épaule, une rotation du tronc. Les sujets tenaient le segment de canne attaché au théra-band avec les mains en pronation, les paumes des mains au-dessus de la canne. Dans la position de départ, l'élastique ne fournissait pas ou très peu de résistance. Puis, plus la rotation du tronc devenait importante, plus la résistance produite par l'élastique augmentait. Le bras avant, situé sur l'extrémité de canne non reliée directement au théra-band, réalisait une traction, alors que le bras arrière (celui étant sur l'extrémité où l'élastique était attaché) effectuait une poussée. L'objectif principal était d'entraîner les muscles internal et external obliques. Les muscles teres major, triceps brachii et pectoralis major, également actifs dans le slapshot, étaient mis à contribution. A noter que, comme pour l'exercice principal A, les joueurs s'entraînaient en concentrique lorsqu'ils poussaient en avant le segment de canne et en excentrique lorsqu'ils en freinaient le retour.
- **Les exercices annexes 1 à 6** étaient un mélange d'exercices mettant à contribution plusieurs des muscles impliqués dans le slapshot. Les exercices 1, 2 et 3 étaient identiques à ceux réalisés lors du premier bloc d'entraînement, bien qu'ici l'exercice 3 était pratiqué selon la méthode

bulgare. Les exercices 4, 5 et 6 avaient également pour tâche le renforcement des chaînes musculaires (ventrale, dorsale et latérale) du corps ainsi que des muscles de la ceinture abdominale.

Les exercices du programme d'entraînement mettant en pratique la **méthode bulgare** et intégrant du **renforcement musculaire** (figure 18) étaient les suivants:

- **L'exercice principal A** était identique à l'exercice principal A (observable en annexe 3) des programmes d'entraînement de force maximale et d'hypertrophie. Toutefois, le nombre de répétitions était différent, les charges variaient au cours de la même série tout comme la vitesse d'exécution.
- La première composante de **l'exercice principal B** était similaire à celle de l'exercice principal B de l'entraînement de force maximale et d'hypertrophie. Le sujet devait effectuer 6 développés-couchés de manière concentrique rapide lorsqu'il soulevait la charge et de manière excentrique lente lorsqu'il freinait et baissait la barre de squat. Puis, en lieu et place des lancers en rotation du ballon de 3 kg, le sujet devait enchaîner les développés-couchés avec 15 appuis-faciaux sur un plan incliné. Cette seconde composante de l'exercice B se focalisait sur la vitesse d'exécution. La poussée se faisait de manière concentrique rapide et la descente de manière excentrique lente. Cet exercice provient de l'ouvrage de Bompa (2007, p. 157).
- **Les exercices annexes 1 à 6** étaient semblables aux exercices 1 à 6 du programme d'entraînement utilisant les théra-bands et intégrant du renforcement musculaire. Ils avaient le même objectif.

Charges et nombres de répétitions pour les théra-bands

Comme mentionné auparavant, les charges fournies par les théra-bands ne s'expriment pas en masse soulevée ou poussée, mais en résistance. La résistance est progressive, ce qui signifie que plus l'élastique se tend, plus elle augmente. En fonction de la force et du niveau de fatigue des joueurs, la résistance pouvait être ajustée. En effet, lors des entraînements, les sujets choisissaient de se placer plus ou moins loin du point d'attache du théra-band. La résistance était ainsi adaptée à chacun.

Avant de débiter le programme d'entraînement à l'aide des théra-bands, je ne connaissais pas le nombre de répétitions à effectuer. Au cours d'un entraînement d'essai, j'ai réalisé une série de 20 répétitions et une série de 40 répétitions. Celle de 20 répétitions ne me fatiguait que très peu, alors que celle de 40 répétitions m'épuisait. J'ai donc opté pour des séries de **30 répétitions par série**, car elles menaient à une fatigue importante sans toutefois conduire à l'épuisement.

Le programme d'entraînement utilisant des théra-bands et intégrant du renforcement musculaire était suivi deux fois par semaine, les lundis et vendredis.

Charges, nombres de répétitions et séries pour la méthode bulgare

Comme Cometti le propose dans *Les méthodes de développement de la force*, lors des exercices appliquant la méthode bulgare, nous avons effectué des séries de **6 répétitions à 70% de 1 RM suivies** directement de **6 répétitions à 40% de 1 RM**, pour ainsi favoriser la vitesse d'exécution.

Le programme d'entraînement selon la méthode bulgare et intégrant du renforcement musculaire était suivi une fois par semaine, le mercredi.

5.4. Protocole et mesure de la vitesse des slapshots

Nombre de tirs

L'exécution d'un quelconque mouvement par un être humain dépend de nombreux facteurs. Les combinaisons réalisables en fonction des angles des différentes articulations impliquées, des forces fournies par les muscles et des vitesses d'exécution sont innombrables. Bernstein (1967), neurophysiologiste soviétique et l'un des pionniers dans le domaine du contrôle et de l'apprentissage moteur, a étudié le mouvement cyclique de frappe d'un marteau sur un clou. Il en conclut qu'il est impossible de réaliser exactement deux fois le même mouvement. Cette théorie, pouvant sans doute s'appliquer aux mouvements sportifs tels qu'un service au tennis ou un slapshot en hockey sur glace, m'a incité à imposer aux joueurs l'exécution de plus d'un slapshot lors des mesures de la vitesse de tir. Par conséquent, de sorte à obtenir des résultats représentatifs, j'ai imposé l'exécution de **7 slapshots consécutifs** aux joueurs desquels j'ai écarté le moins rapide.

Intervalle entre les tirs

Les sports collectifs sont constitués d'actions intenses enchaînées par intermittence. Il faut être rapide « à répétition » (Cometti, *La résistance à la vitesse : Clé de la préparation physique en sports collectifs*). Bishop & Castagna (2002) ont créé la notion de « Repeated Sprint Ability » (RSA), traduite par « aptitude à répéter des sprints ». Ils proposent à des athlètes de sprinter, récupérer, puis sprinter à nouveau, ceci à plusieurs reprises. Ils observent ensuite à quel point les sujets présentent une bonne RSA. Dans le même domaine, Balsöm, Seger, Siodin & Ekblom (1992) examinent l'effet de la durée de récupération sur 15 sprints de 40 mètres. Ils observent clairement que, pour des temps de récupération de 120 secondes entre les sprints, aucune évolution du temps n'est significative. Pour des temps de récupération de 60 secondes, une légère augmentation du temps est détectable dès le onzième sprint. Par contre, pour des temps de récupération de 30 secondes, dès le troisième sprint, les temps augmentent de manière significative. Plus les temps de récupération diminuent, plus la fatigue s'installe rapidement.

Cometti (*La résistance à la vitesse : Clé de la préparation physique en sports collectifs*) a voulu développer les résultats de Balsöm et al. (1992). Des joueurs de football de niveau régional avaient pour tâche l'exécution de 20 sprints de 15 mètres avec soit 20 secondes de récupération, soit 30 secondes. Les résultats obtenus sont présentés sur la figure 19.

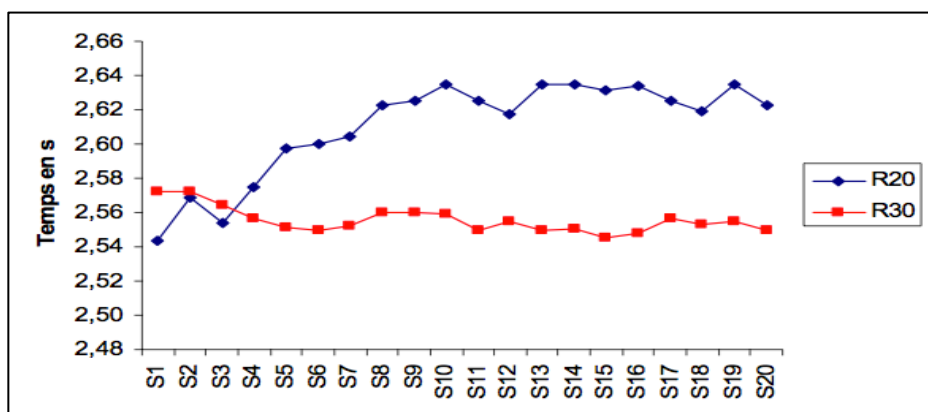


Fig. 19 Comparaison de la performance sur 15 m au cours de 20 répétitions avec des temps de récupération de 20 s (R20) et 30 s (R30) (Bishop & Castagna, 2002, dont les travaux ont été repris par Cometti, *La résistance à la vitesse : Clé de la préparation physique en sports collectifs* et par Méry & Cometti, 2004).

Là aussi, nous observons une nette distinction entre les différents temps de récupération. Les 30 secondes de récupération conduisent à des performances

stables, alors que les 20 secondes de récupération mènent à une détérioration des résultats.

Les sprints de 40 mètres durent 6 secondes en moyenne, les sprints de 15 mètres 2.5 secondes et les phases explosives (pre-loading, loading et release) d'un slapshot moins d'une demi-seconde. Par conséquent, sprinters et hockeyeurs ne puisent pas dans leurs réserves énergétiques de la même manière. Il est évident que les résultats de Balsöm et al. (1992) et de Cometti s'appliquent à des sprints de courtes distances et non à des slapshots. Toutefois, sprints et slapshots correspondent tous deux à des efforts lors desquels une débauche d'énergie maximale est dépensée. Ainsi, par analogie, ce principe s'applique également au slapshot. Plus le temps de récupération est faible, plus les performances se dégradent. La question est alors de savoir jusqu'à quelle durée de récupération les performances sont stables.

Dans mon travail, j'ai défini un temps de récupération pour les séries de slapshots 3 fois inférieur aux 20 secondes autorisées lors des sprints de 15 mètres. De cette manière, en arrondissant à l'unité supérieure, les sujets ont reçu pour instruction d'effectuer **7 slapshots le plus fort possible à intervalle de 7 secondes**.

Mesure de vitesse des slapshots

Afin de mesurer la vitesse des slapshots, l'instrument de mesure idéal aurait été un système radar. Malheureusement, ni la Haute école fédérale des sports de Macolin (HEFSM), ni l'Université de Fribourg n'avait ce genre d'outil à disposition. De plus, la location d'un tel appareil était trop onéreuse. Ainsi, suite à une proposition de mon co-conseiller de travail Alain Rouvenaz, j'ai mis en place un système me permettant de calculer la vitesse moyenne des slapshots à l'aide d'une caméra.

La figure ci-après représente l'installation de mesure mise en place :

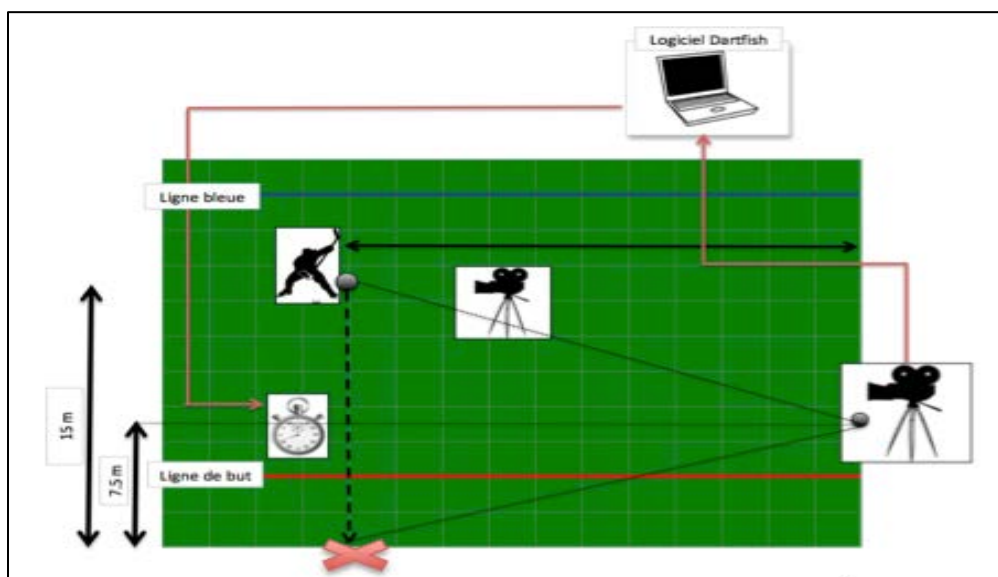


Fig. 20 Installation permettant la mesure de la vitesse moyenne des slapshots.

Les joueurs effectuaient 7 slapshots contre la bande depuis une distance de 15 mètres. Ils devaient viser une marque placée sur la bande (représentée par la croix rouge sur la figure 20), de manière à tirer droit devant eux. Une caméra (à droite sur la figure) filmant les tirs était placée à équidistance du point de départ et d'arrivée du puck. Ainsi, j'avais connaissance de la distance parcourue par le puck (15 mètres), du temps pour effectuer cette distance (cette information était observable à l'aide des séquences vidéos enregistrées et du logiciel Dartfish) et, par conséquent, je pouvais calculer la vitesse moyenne des slapshots de manière relativement précise (marge d'imprécision de ± 2.2 km/h).

Une deuxième caméra (placée proche du joueur sur la figure 20) a filmé les joueurs en gros plan lors des séries de slapshots. L'idée était de pouvoir déterminer si les joueurs du groupe d'entraînement ont modifié ou non leur gestuelle de slapshot suite au processus d'entraînement.

Matériel

Chaque sujet a reçu la consigne d'effectuer les séries de slapshots en décembre 2011 et février 2012 avec la **même canne** ou le même modèle dans un état similaire. Ceci a permis de réduire l'influence du matériel sur l'évolution de la vitesse moyenne de tir.

5.5. Mesure des paramètres de force et de vitesse dans les exercices

Comme la majorité de mon travail se déroulait en salle de musculation, il m'est apparu important d'y mesurer certains paramètres. J'ai effectué les mesures désirées à l'aide d'un accéléromètre de la firme « Myotest SA ». Comme son nom l'indique, l'accéléromètre mesure une accélération. Celle-ci est une variation de vitesse au cours du temps. Sur la base de l'accélération mesurée par le myotest, la vitesse (en cm par seconde, cm/s) est calculée par une intégrale. Puis, en sachant que j'ai défini la masse à déplacer et que j'ai entré cette donnée dans l'accéléromètre, d'après la seconde loi de Newton qui dit que la force est le produit de la masse par l'accélération, le myotest peut déterminer la force développée (en Newton, N). L'accéléromètre dégage ensuite la valeur de puissance (en Watt, W), qui correspond au produit de la force par la vitesse. Ainsi, les valeurs de force, de vitesse et de puissance avant et après les 6 semaines d'entraînement chez chaque joueur du groupe d'entraînement ont été définies au cours de :

- L'exercice principal A des programmes d'entraînement en force maximale, en hypertrophie et en méthode bulgare, avec une charge de 15 kg. 5 répétitions étaient réalisées du « bon » côté et 5 répétitions du « mauvais » côté. Les sujets devaient effectuer le mouvement de canne en avant (et donc la montée des charges) de manière la plus explosive possible. L'accéléromètre était fixé sur les charges.
- Développés-couchés, avec une charge de 30 kg. Là aussi, les sujets devaient exécuter 5 répétitions avec une poussée de la barre de squat la plus explosive possible. L'accéléromètre était fixé au centre de la barre de squat.

Les données enregistrées avant et après les 6 semaines d'entraînement m'ont permis d'observer l'évolution des performances des sujets en salle de musculation. J'ai ensuite établi un lien entre l'évolution en salle de musculation et celle de la vitesse moyenne de slapshot chez les joueurs du groupe d'entraînement.

5.6. Analyse des données

5.6.1. Vitesse moyenne des slapshots

La vitesse moyenne des slapshots a été déterminée à l'aide du logiciel informatique « Dartfish ». Celui-ci permet l'affichage d'une image tous les 2 centièmes de secondes, fournissant ainsi une marge d'imprécision de ± 2.2 km/h.

Dans l'exemple à venir, nous allons procéder à la mesure de la vitesse moyenne d'un slapshot.

Sur l'illustration 1 ci-dessous, au temps 43.520 nous observons que la canne du joueur est presque (mais pas encore) en contact avec le puck. Par contre, au temps 43.540, le puck n'est plus visible. Ainsi, je prends en compte comme temps de départ le juste milieu, soit 43.530, bien qu'aucune image ne soit disponible à ce temps-là.



Illus. 1 Au temps 43.520, la canne du joueur n'est pas encore en contact avec le puck.

Sur la seconde illustration, au temps 44.020, nous remarquons que le puck n'est pas encore entré en contact avec la bande, alors que sur l'illustration 3, au temps 44.040, il est visible et net. J'en conclus qu'il a déjà rebondi sur la bande. A nouveau, le temps pris en compte est le centième de seconde intermédiaire, à savoir 44.030.



Illus. 2 Au temps 44.020, le puck n'est pas encore entré en contact avec la bande.



Illus. 3 Au temps 44.040, le puck a déjà rebondi contre la bande.

Ainsi, la différence de temps entre le départ et l'arrivée correspond à 0.50 seconde (44.030-43.530). Pendant ce temps, le puck parcourt une distance de 15 mètres. De cette manière, selon la formule de la vitesse (vitesse (m/s) = distance (m)/temps (s)), la vitesse de ce tir sera :

$$\text{Vitesse moyenne (en m/s)} = 15 / 0.5 = \underline{30}, \text{ soit } \underline{108 \text{ km/h}}$$

Ce protocole a ainsi été répété pour chaque tir de chaque joueur.

5.6.2. Paramètres de force et de vitesse dans les exercices

Les tests réalisés en salle de musculation à l'aide de l'accéléromètre ont été analysés à l'aide du logiciel informatique « myotest PRO ». Une fois les données importées dans l'ordinateur, le logiciel permet de tracer les courbes de force, de vitesse et de puissance au cours de chaque exercice.

Dans le présent chapitre, je vais faire part de la démarche que j'ai suivie pour présenter les résultats en salle de musculation.

Prenons l'exemple de courbes de puissance, de force et de vitesse non travaillées au cours de 5 développés-couchés consécutifs :

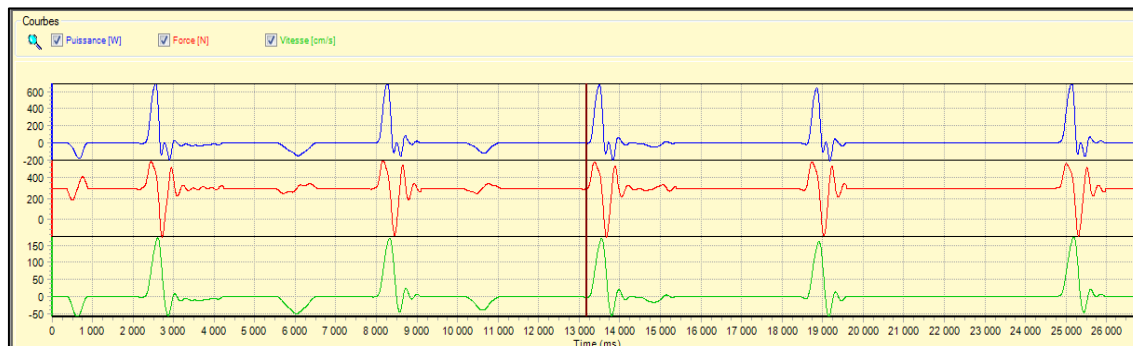


Fig. 21 Exemple de courbes « brutes » de puissance (en bleu), de force (en rouge) et de vitesse (en vert) lors d'une série de 5 développés-couchés.

A partir de là, il est possible d'établir une comparaison entre les courbes de deux différents sujets ou celles d'un même sujet avant et après le processus d'entraînement, comme c'est ici le cas. Les courbes sont en « vue double », elles sont donc séparées :



Fig. 22 Comparaison de courbes de force, vitesse et puissance chez le même sujet avant (à gauche) et après (à droite) le processus d'entraînement en « vue double ».

Les différentes courbes peuvent être sélectionnées ou masquées. Sur la figure suivante, j'ai volontairement choisi de masquer les courbes de vitesse et de puissance.



Fig. 23 Exemple de courbes de force. Les courbes de vitesse et de puissance ont volontairement été masquées.

Puis, ces courbes peuvent être observées en « vue simple », c'est-  dire de manière superposée :

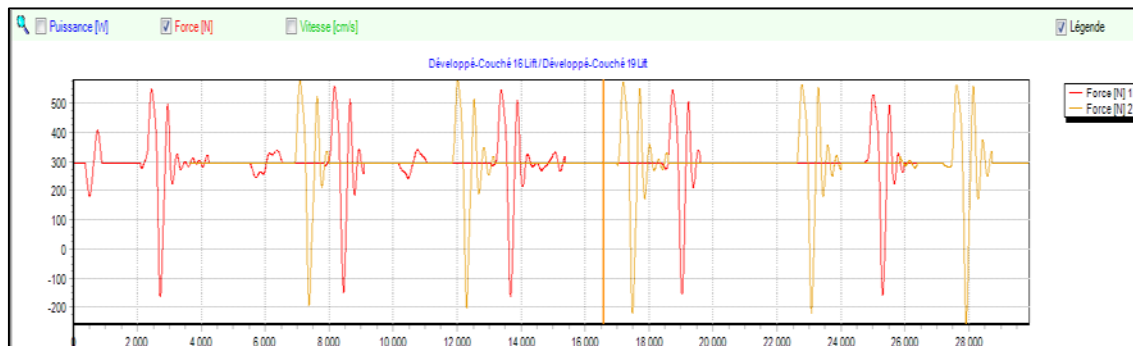


Fig. 24 Comparaison de courbes de force avant et après le processus d'entraînement en « vue simple ».

La démarche présentée jusqu'ici s'applique également à la présentation des résultats sous forme d'histogrammes. Par contre, la suite de la démarche ne s'applique qu'à l'analyse des courbes.

Les deux courbes de force sont ensuite synchronisées (la synchronisation se base ici sur la 3  me répétition du développé-couché, au milieu de la figure 25, à l'endroit où se trouve le curseur orange):

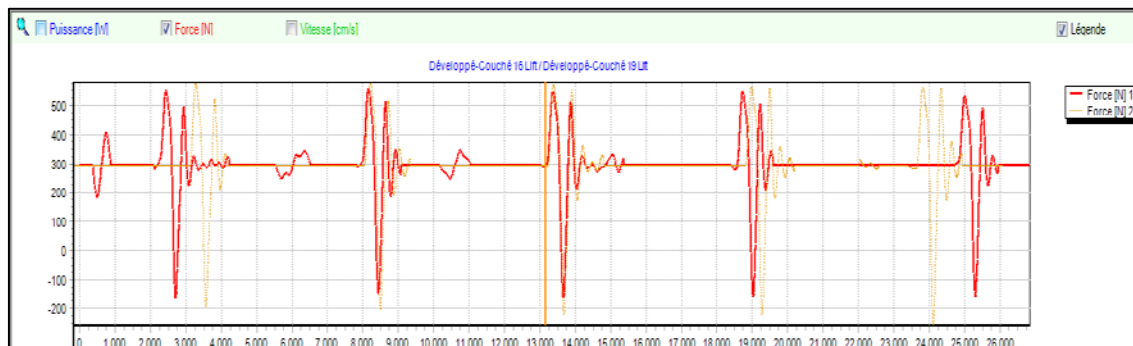


Fig. 25 Les deux différentes courbes de force sont synchronisées (sur la base du 3  me développé-couché).

Enfin, un agrandissement des courbes est réalisé (représentant ici la 3  me répétition). Les courbes de vitesse sont volontairement à nouveau affichées:

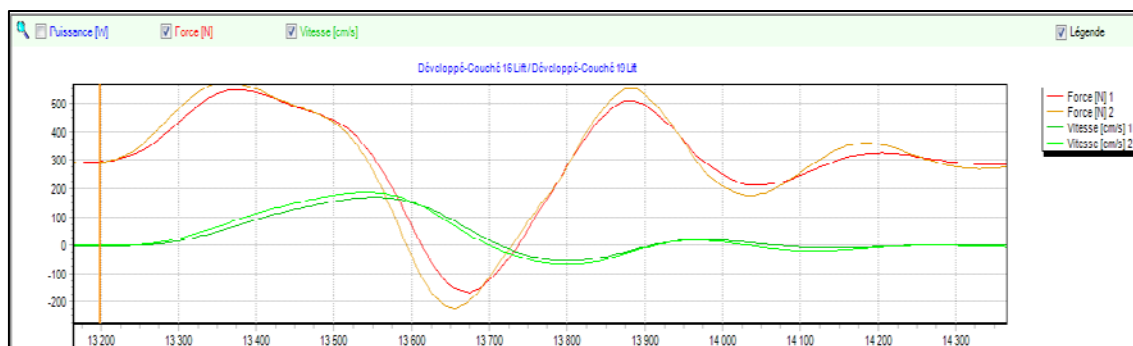


Fig. 26 Comparaison des courbes de force et de vitesse avant et après le processus d'entraînement chez un sujet lors de la 3  me exécution d'un développé-couché.

Nous observons ci-dessus que les différentes courbes sont d'une netteté irréprochable. Le mouvement de développé-couché est précis et sans hésitation. Ainsi, sur la base de telles courbes, une analyse pertinente peut être menée.

D'après les indications fournies lors d'un entretien téléphonique par Monsieur Patrick Flaction, directeur général de la firme « myotest SA », nous allons examiner les différentes phases au cours de ce développé-couché.

La première phase, du temps ≈ 13200 ms au temps ≈ 13360 ms, constitue la montée de force. Elle est générée par le travail concentrique des pectoraux et des triceps principalement. Elle nous renseigne sur la qualité de la coordination intramusculaire et intermusculaire d'un sujet. Elle met en évidence la capacité à recruter et à synchroniser les unités motrices et donc les fibres musculaires dans un certain temps.

La montée de force est dépendante de deux facteurs :

- L'amplitude de la courbe, c'est-à-dire la différence entre la valeur initiale de force et la valeur maximale atteinte.
- Le taux d'accroissement de la force (et donc la pente de la courbe), qui correspond à la différence de force sur la différence de temps.

Au temps ≈ 13360 ms, le pic de force survient. Il correspond à l'angle idéal de force des articulations impliquées dans la poussée. En d'autres termes, il s'agit de la position dans laquelle la musculature travaille de manière la plus efficace et lors de laquelle la force maximale est produite. Une montée de vitesse résulte de la montée de force. Elle est légèrement décalée dans le temps. Dans l'exemple mentionné, elle a lieu approximativement 80 ms après la montée de force.

Dès ≈ 13360 ms, la force diminue, mais le sujet continue de pousser. L'angle formé par les articulations du sujet ne se trouve plus dans la position optimale.

Au temps ≈ 13550 ms, la force vaut environ 294 N. Elle est alors égale au produit de la charge par la gravité ($F = m \times g$, $294 \text{ N} = 30 \text{ (kg)} \times 9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$). La vitesse maximale est atteinte. Sous l'influence de l'inertie de la charge, la force diminue encore. La charge se déleste dans les mains du sujet. A ce moment-là, l'athlète pourrait lâcher un court instant la barre métallique sans qu'elle ne lui retombe dessus.

Au temps ≈ 13600 ms, la force est nulle, signifiant que la charge est en suspension dans l'air.

Entre le temps ≈ 13600 ms et ≈ 13740 ms, le sujet doit freiner et retenir la barre, faute de quoi elle décollerait des mains de ce dernier. La force est alors négative.

Au temps ≈ 13740 ms, le sujet arrête de freiner la charge. La barre est immobilisée. La force et la vitesse sont nulles.

Ensuite, progressivement, le sujet freine la descente de la barre (de ≈ 13700 ms à ≈ 13900 ms). Il travaille alors en régime excentrique. La vitesse est négative.

Finalement, la courbe s'estompe doucement pour se stabiliser à une force équivalente à $m \times g$ (294 N).

Précisons encore que la puissance est dépendante de la montée de force. Plus la pente de celle-ci est raide, plus la puissance est importante. Si une même valeur maximale est obtenue sur deux différentes courbes de force mais que l'une d'entre elles atteint le pic de force plus rapidement que l'autre, la puissance de la courbe parvenant plus rapidement à son sommet sera supérieure.

Intéressons-nous maintenant aux courbes de force et de vitesse lors de l'exercice principal A. Les principes énoncés ci-dessus tout comme la démarche venant d'être présentée s'appliquent de la même manière à l'analyse des courbes lors de l'exercice A.

Sur la figure 27, qui affiche les courbes de force et de vitesse lors de 5 exécutions consécutives de l'exercice principal A, nous constatons que les courbes sont bien moins nettes que celles exposées au cours des développés-couchés vus précédemment. Elles sont qualifiées de « bruitées ».

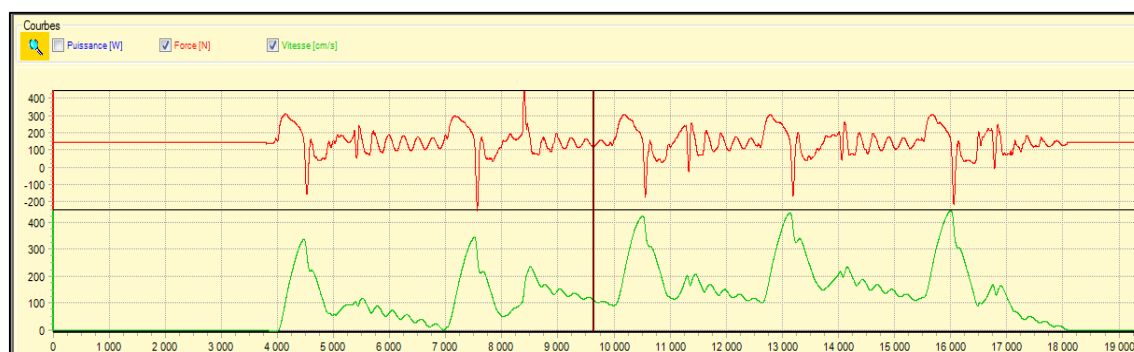


Fig. 27 Courbes de force et de vitesse lors d'une série de 5 répétitions de l'exercice principal A chez un sujet du groupe d'entraînement.

D'après M. Flaction, le bruitage des courbes est dû à la charge élevée (15 kg) appliquée lors de l'exercice principal A. Les courbes présentent beaucoup de « déchets » et sont par conséquent moins représentatives que celles obtenues lors des développés-couchés.

Basé sur la figure 27, l'agrandissement de la première répétition affiche les courbes de force et de vitesse suivantes :

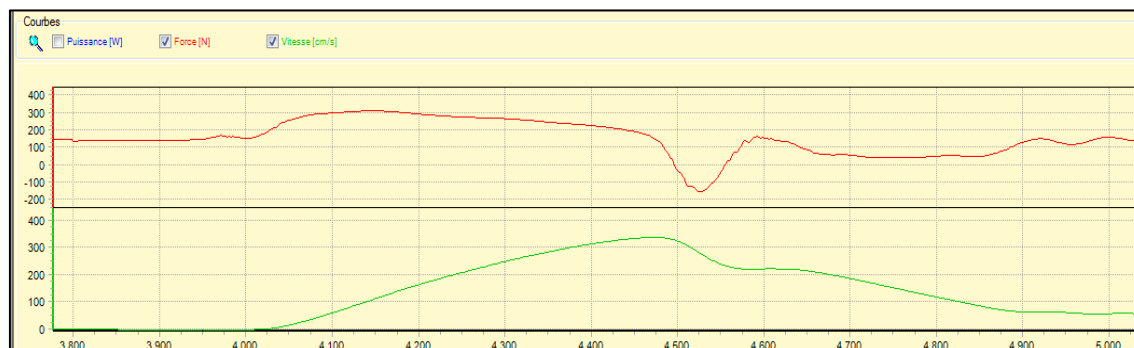


Fig. 28 Courbes de force et de vitesse lors de la 1^{ère} répétition de l'exercice principal A chez un sujet du groupe d'entraînement.

Au temps initial (≈ 3780 ms), la valeur de force affichée vaut environ 147 N, soit le produit de la masse (15 kg cette fois-ci) par la gravité (9.81 m/s^2).

Au temps ≈ 4000 ms, le segment de canne est derrière le joueur, accroché à la machine de musculation à poulie haute. Le sujet débute le mouvement (correspondant aux phases de downswing et de pre-loading). La charge décolle. Une montée de force s'ensuit. Le pic de force survient au temps ≈ 4150 ms. Puis, la valeur de force diminue légèrement jusqu'au temps ≈ 4475 ms, dessinant un plateau légèrement descendant (phase de loading). Si la valeur de ce plateau est proche de la valeur maximale de force et qu'il se prolonge dans le temps, cela signifie que le sujet est capable d'imprimer, sur une longue durée, une force importante à la charge. Plus ce plateau de force est haut et long, plus la vitesse d'exécution s'accroît. Si au contraire la force chute rapidement après le pic, la vitesse ne va pas beaucoup augmenter.

Dès le temps ≈ 4475 ms, la charge subit son inertie, la valeur de force diminue. Au temps ≈ 4500 ms, elle est nulle. Elle est en suspension dans l'air.

Puis, elle devient négative. Dès ≈ 4525 ms, la force s'accroît à nouveau. Il franchit la barre du zéro (à ≈ 4550 ms) puis atteint un second pic (à ≈ 4590 ms).

La période lors de laquelle la force diminue fortement (≈ 4475 ms à ≈ 4525 ms) correspond au passage transitoire du segment de canne de l'arrière du corps à l'avant du corps. Autrement dit, le bras dominant (qui est posé du côté où le segment de canne est attaché à la chaîne de la machine de musculation) passe d'une phase descendante à une phase ascendante. Dès que le cap vertical est franchi, le sujet peut à nouveau développer une force en « poussant » sur le bas du segment de

canne contre l'avant et le haut (phase de release & follow through), expliquant la remontée de la courbe de force (de ≈ 4525 ms à ≈ 4590 ms). Dès le second pic (à ≈ 4590 ms), le sujet termine l'exécution du mouvement contre l'avant.

Finalement, il freine la descente de la charge (cette phase est visible sur la figure 27 entre le temps ≈ 5000 ms et ≈ 7000 ms) de manière excentrique et se retrouve dans la position initiale.

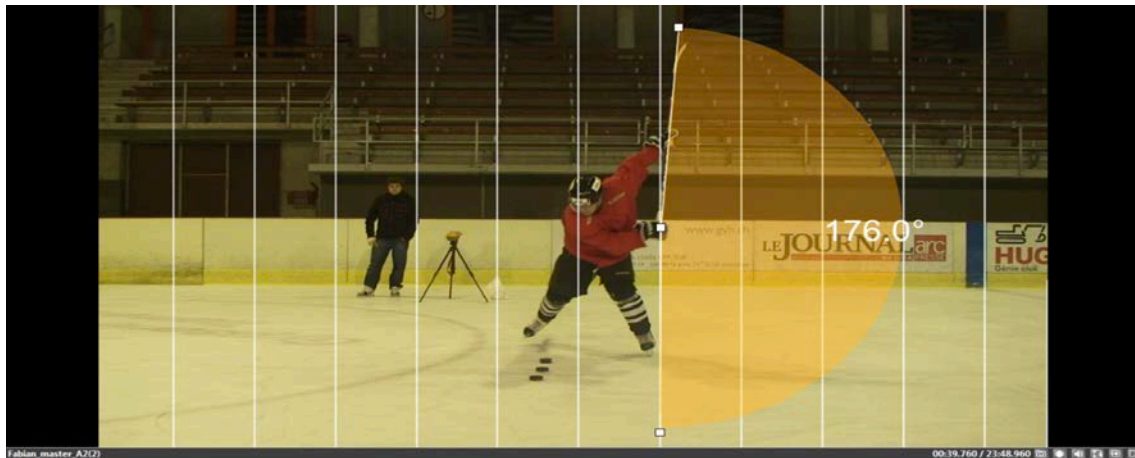
Nous observons que le second pic de force (à ≈ 4590 ms) présente une valeur inférieure à celle du premier pic (à ≈ 4150 ms). Le sujet développe davantage de force derrière lui que devant lui.

5.6.3. Gestuelle du slapshot

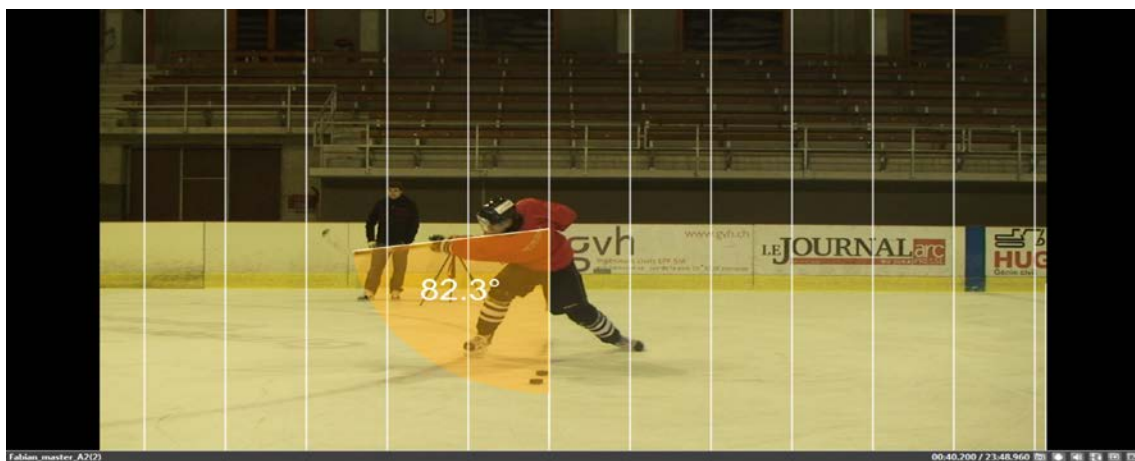
L'analyse des mouvements a consisté à observer et à décrire la gestuelle des slapshots des joueurs. Elle a été réalisée par le biais du logiciel informatique « Dartfish ». A l'aide de celui-ci, j'ai été en mesure d'évaluer l'angle parcouru par la canne au cours du slapshot ainsi que la vitesse angulaire imprimée à la canne. Pour chaque joueur du groupe d'entraînement, j'ai analysé un slapshot de la série effectuée en décembre 2011 et un slapshot de la série effectuée en février 2012, me permettant ainsi d'observer d'éventuelles évolutions du mouvement. La sélection du slapshot pris en compte s'est basée sur la vitesse du tir. Le slapshot choisi correspondait au tir d'une vitesse la plus proche de la vitesse moyenne des 6 essais. De cette manière, le slapshot en question était dans les normes, ni raté, ni extraordinaire.

Angle de slapshot

L'angle de slapshot a été mesuré en deux étapes. La première (illustration 4) consistait à mesurer l'angle α formé entre l'axe vertical et la canne en son point culminant avant le contact avec le puck. La seconde étape (illustration 5) mesurait l'angle β formé entre l'axe vertical et la canne en son point culminant après le contact avec le puck.



Illus. 4 Angle α formé entre l'axe vertical et la canne atteignant son point culminant avant le contact avec le puck.



Illus. 5 Angle β formé entre l'axe vertical et la canne atteignant son point culminant après le contact avec le puck.

Les deux angles étaient ensuite additionnés, formant ce que j'ai nommé « l'angle de slapshot » ou angle de tir. Dans l'exemple ci-dessus, il vaut :

$$\text{Angle de slapshot (en } ^\circ) = 176.0 + 82.3 = \underline{\underline{258.3}}$$

Vitesse angulaire

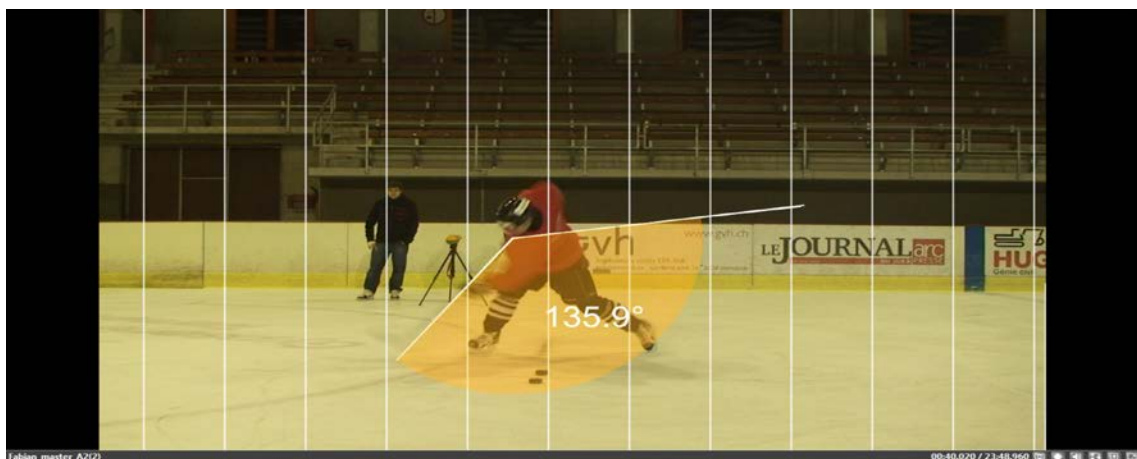
Le second outil d'analyse du mouvement de slapshot a été la vitesse angulaire que le sujet transmettait à sa canne. La mesure de cette dernière s'est faite en 3 étapes. Dans un premier temps, un segment blanc est tracé sur la canne du joueur lorsque celle-ci se trouve plus ou moins en position horizontale (illustration 6). La vitesse de la canne est alors très importante. Deuxièmement, un second segment est tracé sur la canne exactement 120 millisecondes plus tard (illustration 7). Puis, les extrémités les plus proches de chaque segment sont déplacées l'une sur l'autre (illustration 8). Ainsi se forme l'angle qu'effectue la canne en 120 ms.



Illus. 6 Un segment est tracé sur la canne lorsque celle-ci se trouve approximativement en position horizontale.



Illus. 7 Un deuxième segment est tracé sur la canne 120 ms plus tard.



Illus. 8 Les extrémités les plus proches de chaque segment sont placées l'une sur l'autre, permettant de mesurer l'angle effectué par la canne en 120 ms.

La vitesse angulaire, exprimée ici en degrés par seconde, est ainsi calculable. Dans l'exemple ci-dessus, elle vaut :

$$\text{Vitesse angulaire (en } ^\circ/\text{s)} = 135.9 / 0.120 = \underline{\underline{1132.5}}$$

Je précise que cette valeur est indicative et n'est pas d'une précision infaillible, les cannes en mouvement étant légèrement floues sur les images. De plus, elle ne prend pas en compte la longueur de la canne.

5.6.4. Données statistiques

Les mesures d'angle, de vitesse moyenne de tir et de vitesse angulaire ont été traitées avec un tableur de type Microsoft Excel.

Les données statistiques ont été traitées avec le logiciel informatique « SPSS »⁵.

⁵ SPSS : « *Statistical Package for the Social Sciences* », disponible sous : <http://www-01.ibm.com/software/analytics/spss/>

6. Résultats

6.1. Vitesse moyenne du slapshot

Hypothèse A : Un entraînement de force, de vitesse et de renforcement musculaire durant 6 semaines permet d'augmenter de manière significative la vitesse moyenne du slapshot en hockey sur glace.

Pour rappel, les sujets du groupe contrôle et d'entraînement avaient pour tâche d'effectuer une série de 7 slapshots à intervalle de 7 secondes avant et après le processus d'entraînement en salle de musculation. Les 6 slapshots les plus rapides ont été pris en compte.

6.1.1. Groupe contrôle

Ci-dessous, voici les évolutions de la vitesse moyenne chez les 7 sujets du groupe contrôle :

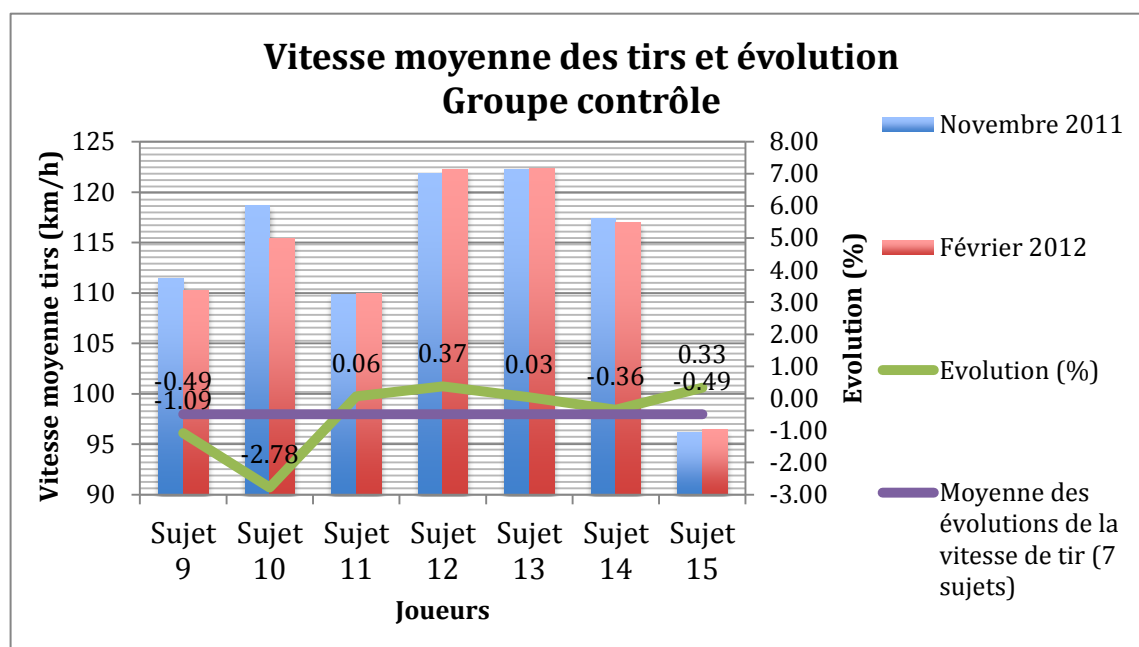


Fig. 29 Vitesse moyenne des tirs et évolution de celle-ci chez les 7 sujets du groupe contrôle en décembre 2011 et en février 2012.

Sur le graphique ci-dessus, je ne distingue aucune forte progression dans la vitesse moyenne du slapshot entre décembre 2011 et février 2012 chez les sujets du groupe contrôle. 4 sujets ont augmenté la vitesse moyenne de leur série de tirs mais cet accroissement ne dépasse pas 0.4% (évolution maximale de 0.37% chez le sujet 12). Par contre, 2 sujets ont diminué la vitesse moyenne de leur série de plus de 1%

(- 1.09% chez le sujet 9 et -2.78% chez le sujet 10). La moyenne des évolutions de la vitesse de tir est négative, d'une valeur de -0.49%.

Vérifions maintenant si ces résultats sont significatifs. Pour ce faire, je pose dans un premier temps :

- la valeur $p < 0.05$ (0.05%),

où p représente la probabilité que la différence observée soit due uniquement au hasard. Si la valeur p est inférieure à 0.05, alors les résultats sont significatifs.

Je cherche ensuite à observer si les données de départ suivent une loi normale. Je pose comme hypothèse nulle (H_0):

- H_0 = nos données sont distribuées selon une loi normale.

J'effectue ensuite le test Kolmogorov-Smirnov, dont la règle de décision est de :

- rejeter H_0 si la valeur de la signification asymptotique bilatérale $< \alpha$ ($= 0.05$).

Si, au contraire, la valeur de la signification asymptotique bilatérale est supérieure à α ($= 0.05$), alors nous pouvons valider l'hypothèse nulle.

Voici les résultats du test (les statistiques descriptives du test se trouvent en annexe 6) :

Tab. 4 Résultats du test de Kolmogorov-Smirnov pour le groupe contrôle.

Test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon		Après	Avant
N		7	7
Paramètres normaux ^{a,b}	Moyenne	113,3800	113,9586
	Ecart-type	8,98118	9,18125
	Absolue	,208	,218
Différences les plus extrêmes	Positive	,159	,182
	Négative	-,208	-,218
Z de Kolmogorov-Smirnov		,550	,577
Signification asymptotique (bilatérale)		,923	,894

a. La distribution à tester est gaussienne.

Les résultats fournissent une signification asymptotique bilatérale d'une valeur de 0.89 (série de tirs en décembre 2011) et de 0.92 (série de tirs de février 2012). Ces valeurs étant supérieures à α (qui vaut 0.05), nous validons notre hypothèse nulle (H_0), signifiant que la distribution des données suit une loi normale (=gaussienne). Par conséquent, il est possible d'analyser les résultats de la vitesse moyenne de tir

avec le « Paired sample t-test ». Celui-ci détermine si la différence des mesures avant et après une action en question est significative ou pas.

Dans SPSS, j'effectue donc une analyse de comparaison de moyennes avec un test-T pour échantillons appariés. Je pose comme hypothèse nulle (H_0) :

- H_0 = les résultats avant le processus d'entraînement sont égaux aux résultats après le processus d'entraînement.

Si cette hypothèse nulle est vérifiée, cela signifie qu'il n'y a aucune modification entre décembre 2011 et février 2012 chez les sujets du groupe contrôle.

La règle de décision de ce test est de:

- rejeter H_0 si la valeur de la signification bilatérale (Sig.) est inférieure à α ($= 0.05$).

Voici les résultats :

Tab. 5 Résultats du « Paired sample t-test » pour le groupe contrôle.

Test échantillons appariés										
		Différences appariées					t	ddl	Sig. bilatérale	
		Moyenne	Ecart- type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence					
					Inférieure	Supérieure				
Paire 1	Après - Avant	-,57857	1,32279	,49997	-1,80195	,64481	-1,157	6	,291	

Comme la signification bilatérale (0.291) est supérieure à α ($= 0.05$), je valide l'hypothèse nulle, témoignant que, chez les sujets du groupe contrôle, aucune modification significative entre décembre 2011 et février 2012 n'a eu lieu. Les 7 sujets du groupe contrôle n'ont pas augmenté la vitesse moyenne de leur série de tirs pendant cette période.

Observons ce qu'il en est chez les sujets du groupe d'entraînement.

6.1.2. Groupe d'entraînement

Ci-dessous, voici les évolutions de la vitesse moyenne chez les 8 sujets du groupe d'entraînement :

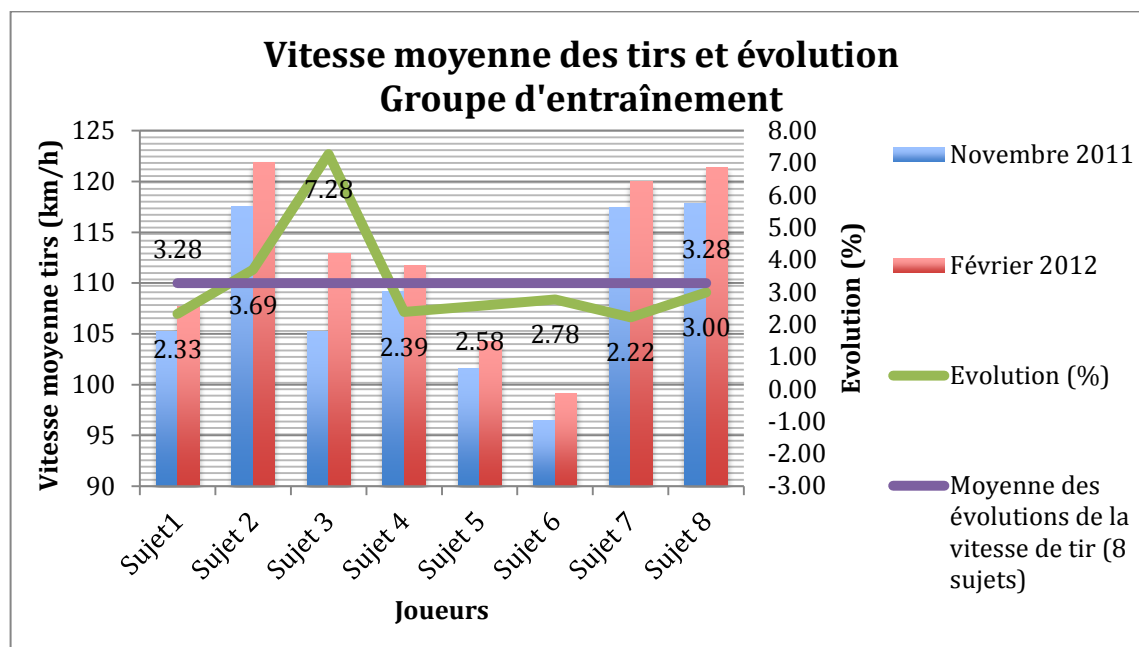


Fig. 30 Vitesse moyenne des tirs et évolution de celle-ci chez les 8 sujets du groupe d'entraînement avant et après le processus d'entraînement.

Suite aux 6 semaines d'entraînement, j'observe que chaque sujet a augmenté la vitesse moyenne de sa série de tirs. Les augmentations vont d'un peu plus de 2% chez les sujets 1, 4, 5, 6 et 7 à 7% chez le sujet 3, en passant par 3% et plus chez les sujets 2 et 8. En terme de vitesse, les progressions chez les sujets 1, 4, 5, 6 et 7 sont de l'ordre de 2-3km/h, chez les sujets 2 et 8 de 3-4 km/h et enfin de 7km/h chez le sujet 3. Une augmentation de la vitesse de tir est donc clairement remarquée.

Vérifions si ces résultats sont significatifs. Pour ce faire, je procède de la même manière que pour le groupe contrôle.

Voici les résultats du test de Kolmogorov-Smirnov (les statistiques descriptives du test se trouvent en annexe 7) :

Tab. 6 Résultats du test de Kolmogorov-Smirnov pour le groupe d'entraînement.

Test de Kolmogorov-Smirnov à un échantillon			Après	Avant
N			8	8
Paramètres normaux ^{a,b}	Moyenne		112,3600	108,7975
	Ecart-type		8,39252	8,11284
	Absolue		,194	,231
Différences les plus extrêmes	Positive		,130	,169
	Négative		-,194	-,231
Z de Kolmogorov-Smirnov			,550	,653
Signification asymptotique (bilatérale)			,923	,788

a. La distribution à tester est gaussienne.

Nous obtenons à ce test une signification asymptotique bilatérale d'une valeur de 0.79 (série de tirs en décembre 2011) et de 0.92 (série de tirs en février 2012). Ces deux valeurs étant supérieures à α (qui vaut 0.05), nous confirmons notre hypothèse nulle. Ainsi, notre distribution suit une loi normale (gaussienne). Par conséquent, j'effectue l'analyse des résultats de la vitesse moyenne de tir avec le « Paired sample t-test », dont voici les résultats :

Tab. 7 Résultats du « Paired sample t-test » pour le groupe d'entraînement.

Test échantillons appariés									
		Différences appariées					t	ddl	Sig. bilatérale
		Moyenne	Ecart- type	Erreur standard moyenne	Intervalle de confiance 95% de la différence				
					Inférieure	Supérieure			
Paire 1	Après - Avant	3,56250	1,77741	,62841	2,07655	5,04845	5,669	7	,001

Comme la signification bilatérale est inférieure à α ($= 0.05$), je rejette l'hypothèse nulle. Les résultats avant le processus d'entraînement ne sont pas égaux aux résultats après le processus d'entraînement. Ainsi, l'hypothèse « *Un entraînement de force, de vitesse et de renforcement musculaire durant 6 semaines permet d'augmenter de manière significative la vitesse moyenne du slapshot en hockey sur glace* » est vérifiée. Il y a bel et bien des modifications significatives suite au

processus d'entraînement. Il est peu probable que la différence observée soit due au hasard. Le processus d'entraînement a porté ses fruits. En moyenne, les sujets du groupe d'entraînement ont augmenté de manière significative la vitesse moyenne de leur tir de 3.28%.

6.1.3. Comparaison groupe contrôle & groupe d'entraînement

Ci-dessous, voici une figure qui compare les évolutions de la vitesse moyenne des sujets du groupe contrôle et du groupe d'entraînement :

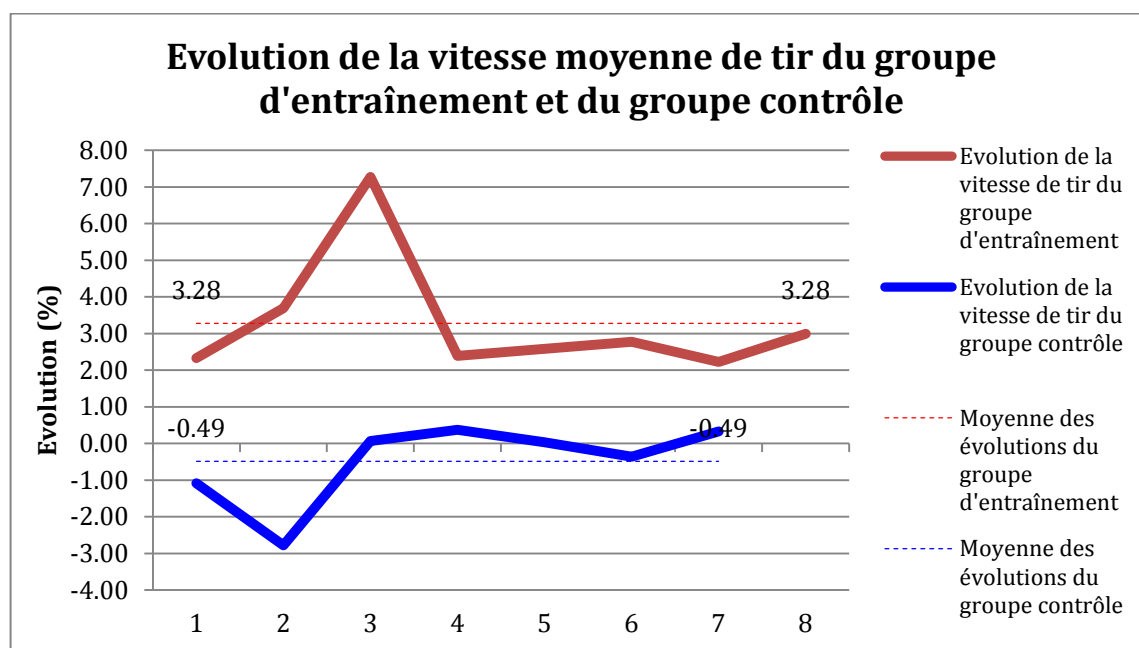


Fig. 31 Evolution de la vitesse moyenne de tir et moyenne de l'évolution entre décembre 2011 et février 2012 chez les 8 sujets du groupe d'entraînement et chez les 7 sujets du groupe contrôle.

Nous constatons sur la figure 31 une nette distinction entre les deux groupes. Aucun sujet du groupe contrôle n'atteint une évolution positive de plus de 1%, tandis que personne parmi les sujets du groupe d'entraînement ne présente une évolution de moins de 2%. L'écart entre les moyennes des évolutions des deux différents groupes s'approche des 4% (-0.49 pour le groupe contrôle et 3.28 pour le groupe d'entraînement).

6.2. Salle de musculation

Hypothèse B : Un entraînement de force, de vitesse et de renforcement musculaire durant 6 semaines a pour effet d'accroître les valeurs moyennes de force et de vitesse lors de l'exercice principal A et de développés-couchés. Cette évolution est corrélée de manière significative à l'évolution de la vitesse moyenne du slapshot.

6.2.1. Résultats

Les résultats présentés dans le chapitre à venir correspondent à ceux des 8 sujets du groupe d'entraînement. Comme ces 8 joueurs possèdent des morphologies bien différentes, établir des comparaisons entre eux en terme de valeurs absolues n'a que peu de sens. Je me focaliserai davantage sur les évolutions observées suite au processus d'entraînement.

6.2.1.1 Développés-couchés

Valeurs moyennes

Voici les résultats obtenus lors des développés-couchés chez les sujets du groupe d'entraînement:

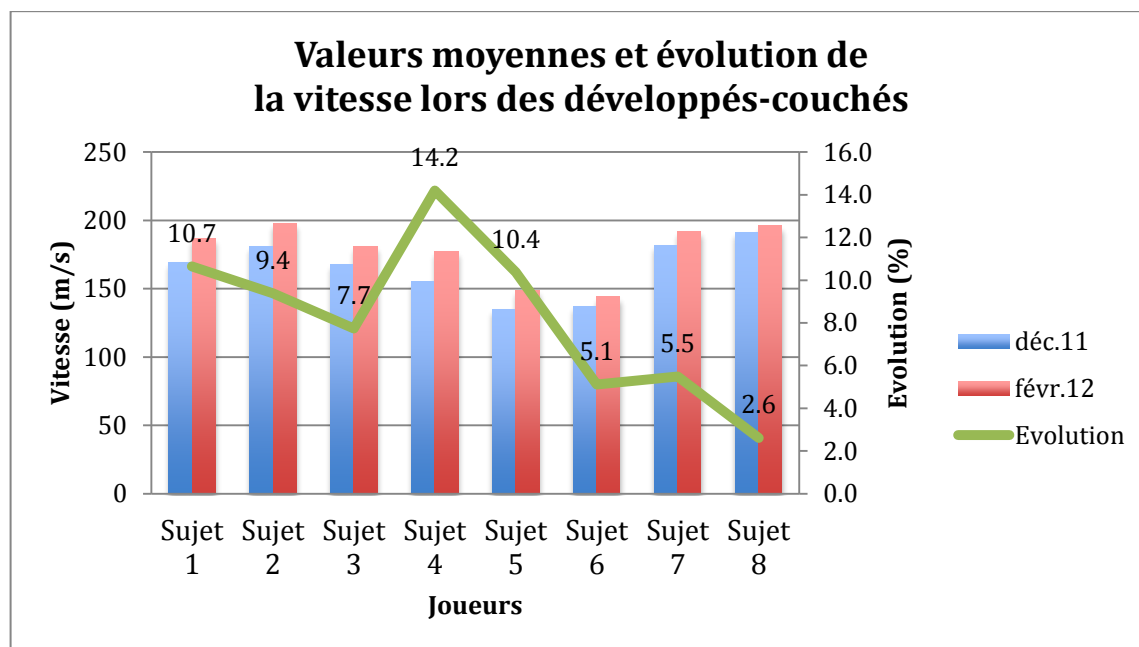


Fig. 32 Valeurs moyennes de la vitesse développée et évolution de celles-ci lors des développés-couchés chez les 8 sujets avant et après le processus d'entraînement.

Les valeurs moyennes de vitesse (en m/s) sont relativement homogènes au sein du groupe. Elles varient entre 135 m/s (sujet 5, avant le processus d'entraînement) et

198 m/s (sujet 2, après le processus d'entraînement). Nous observons que chaque sujet, suite au processus d'entraînement, a augmenté sa vitesse moyenne. Ces évolutions vont de 2.6% chez le sujet 8 à plus de 14% chez le sujet 4. La moyenne des évolutions des 8 sujets est de 8.2% (écart-type : 3,7%).

Intéressons-nous aux valeurs moyennes de force développées lors des développés-couchés :

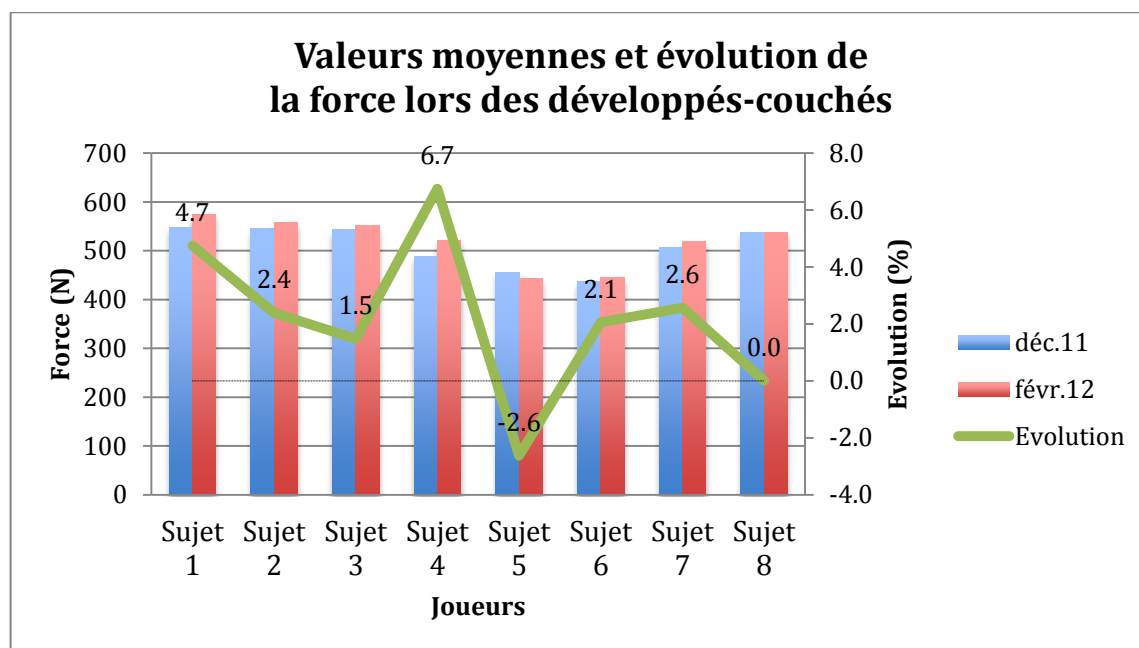


Fig. 33 Valeurs moyennes de la force développée et évolution de celles-ci lors des développés-couchés chez les 8 sujets avant et après le processus d'entraînement.

Les valeurs moyennes de force produites lors des développés-couchés varient entre 437 N (sujet 5) et 574 N (sujet 1). La moyenne des évolutions du groupe est de 2.2% (écart-type : 2.8%). Le sujet 5, dont les histogrammes de puissance, de force et de vitesse sont exposés en annexe 8, est le seul à présenter une régression de la force moyenne suite au processus d'entraînement (-2.6%). Le sujet 8 stagne (0%) tandis que le sujet 4, de même que pour ses valeurs de vitesse, présente la plus forte augmentation (6.7%).

Ci-dessous, voici les courbes de tendance et les histogrammes de puissance, de force et de vitesse que le sujet 4 a présentés lors des 5 exécutions des développés-couchés avant et après le processus d'entraînement :

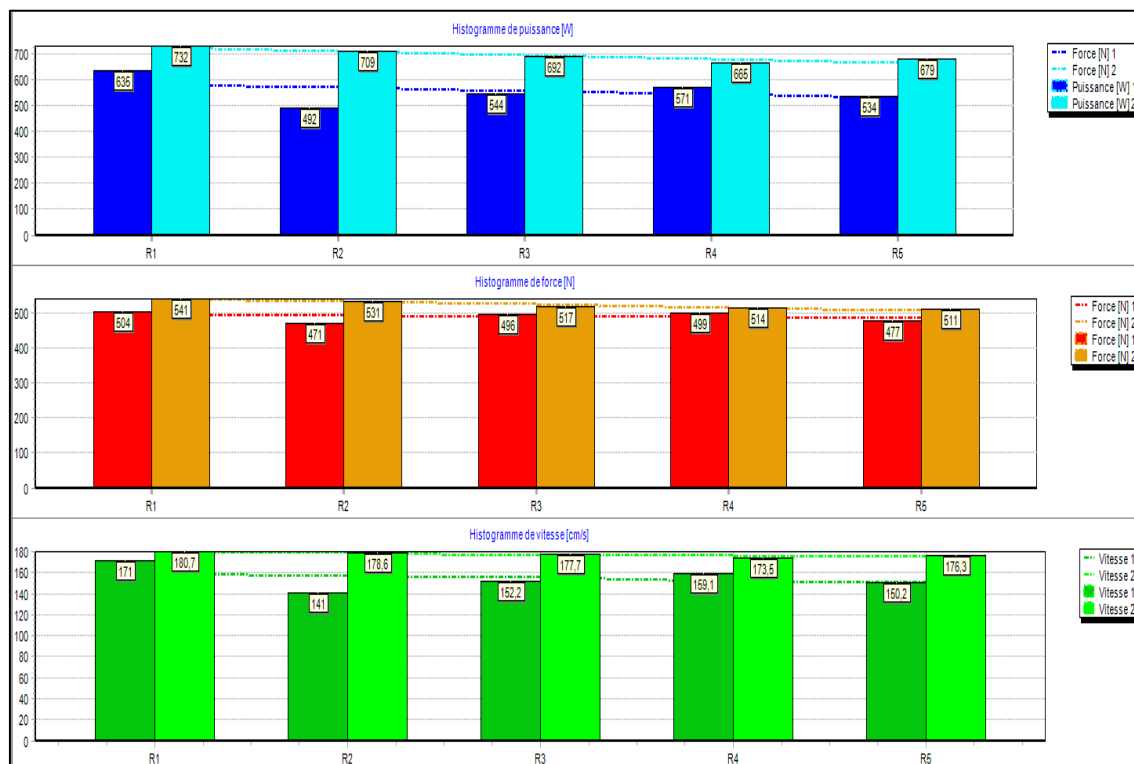


Fig. 34 Courbes de tendance (lignes pointillées) et histogrammes de puissance (bleu), de force (rouge-orange) et de vitesse (vert) lors des développés-couchés chez le sujet 4 avant (colonnes de gauche) et après (colonnes de droite) le processus d'entraînement.

Le sujet 4, qui présente les plus fortes progressions de force et de vitesse du groupe d'entraînement lors des développés-couchés, affiche des courbes de tendance relativement similaires avant et après le processus d'entraînement. La tendance générale de la puissance est légèrement à la baisse, démontrant que ce sujet gère bien son effort et reste constant sur les 5 répétitions.

Aussi, j'observe que l'augmentation de la puissance (25%) est davantage liée à la progression de la vitesse (14%) que celle de la force (7%). Et cette propension ne s'applique pas uniquement au sujet 4, comme nous l'expose la figure 35 ci-après.

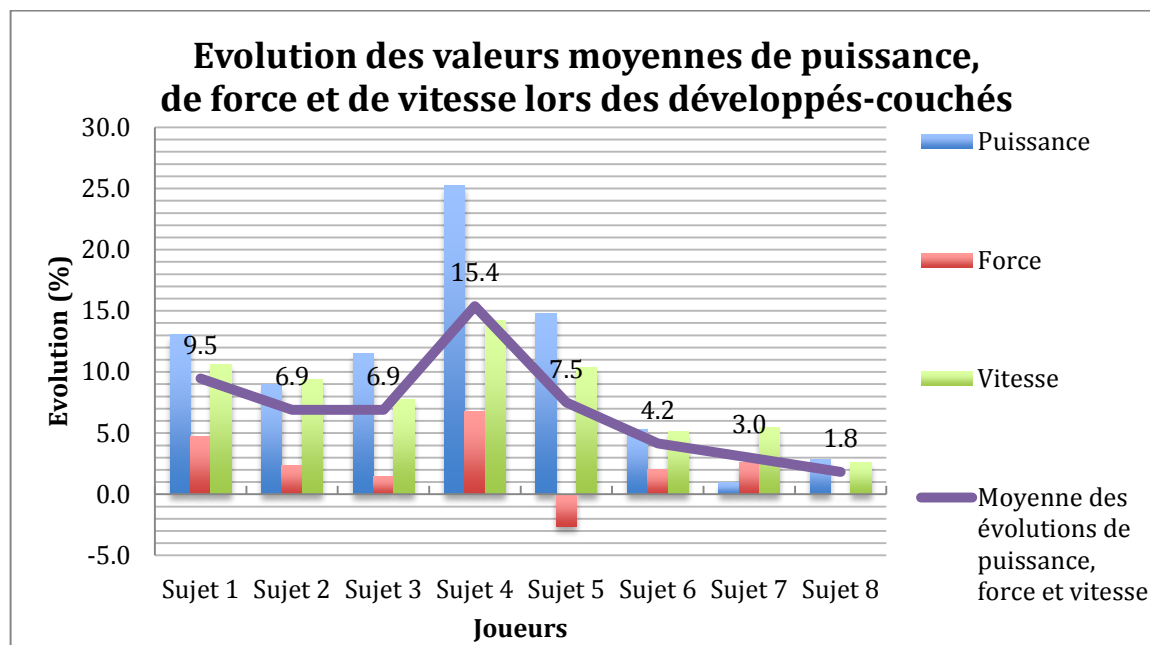


Fig. 35 Evolution des valeurs moyennes de puissance, de force et de vitesse suite au processus d'entraînement lors des développés-couchés chez les 8 sujets et moyenne de ces 3 variables.

Nous observons chez tous les sujets sans exception que la vitesse a davantage augmenté que la force, ceci dans d'importantes proportions.

La moyenne des évolutions de puissance, de force et de vitesse varie passablement chez les sujets. Elle va de moins de 2% (sujet 8) à plus de 15% (sujet 4).

Un tableau récapitulatif des évolutions des valeurs de chaque sujet lors des développés-couchés figure en annexe 9.

Comparaison valeurs moyennes & valeurs maximales

Nous nous sommes intéressés jusqu'ici aux évolutions des valeurs moyennes de puissance, de force et de vitesse. Comparons ces évolutions aux évolutions des valeurs maximales (les évolutions des valeurs maximales sont détaillées en annexe 10) lors des développés-couchés:

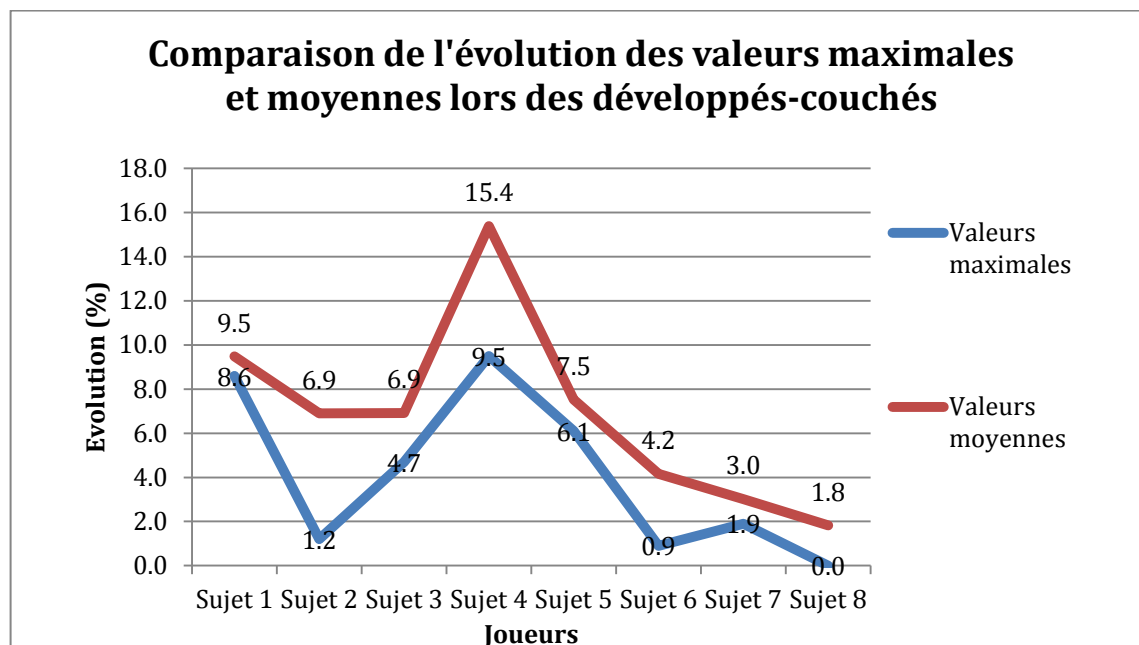


Fig. 36 Comparaison des évolutions des valeurs moyennes et maximales de la moyenne des variables de puissance, de force et de vitesse lors des développés-couchés chez les 8 sujets suite au processus d'entraînement.

Nous constatons que la tendance entre l'évolution des valeurs moyennes et maximales lors des développés-couchés est semblable. L'évolution des valeurs maximales suite au processus d'entraînement est chez chacun des 8 sujets légèrement inférieure. Les différences les plus marquées sont décelées chez les sujets 2 (5.7%) et 4 (5.9%). A l'opposé, les sujets 1 (0.9%), 5 (1.4%) et 7 (1.1%) présentent des écarts très réduits entre les évolutions des valeurs moyennes et maximales.

Comparaison de courbes

Nous allons nous intéresser aux courbes de force et de vitesse que présentent les sujets 1 et 4.

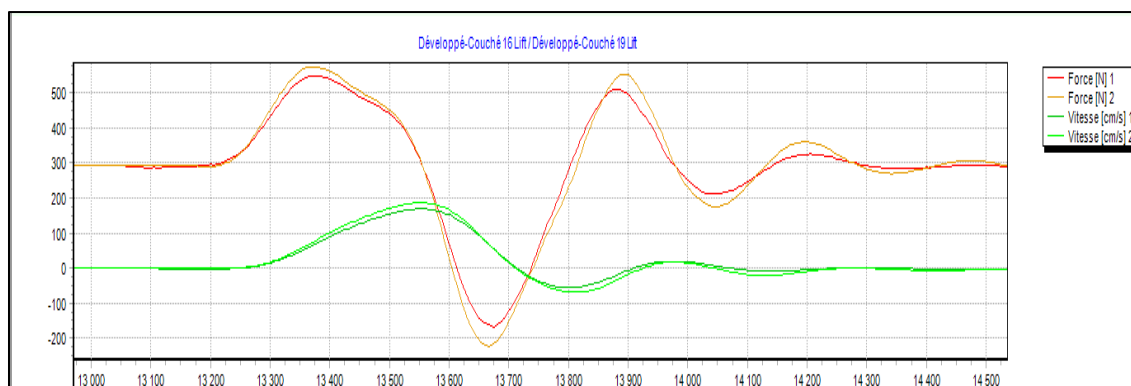


Fig. 37 Comparaison des courbes de force et de vitesse chez le sujet 1 lors d'un développé-couchés avant (en rouge et en vert foncé) et après (en orange et en vert clair) le processus d'entraînement.

Suite aux 6 semaines d'entraînement, le sujet 1 a augmenté sa valeur moyenne de puissance de 13%, de force de 5% et de vitesse de 11%. Ses courbes de force et de vitesse, présentées sur la figure 37, ne sont pas fondamentalement différentes. Chaque courbe est nette, régulière et ne présente pas de saccades. Toutefois, de légers changements surviennent. Le taux d'accroissement de la force ($\Delta F/\Delta T$), du temps ≈ 13200 ms à ≈ 13350 ms, est supérieur après le processus d'entraînement. La pente de la montée de force est légèrement plus importante, tout comme la valeur maximale de force. La chute de force (de ≈ 13500 ms à ≈ 13650 ms) présente une plus grande amplitude également. Le second pic de force, au temps ≈ 13880 ms, affiche une valeur accrue. Ces petites différences de force mènent à une augmentation de la vitesse d'exécution. Je déduis de ces résultats que la coordination intermusculaire et intramusculaire de ce sujet au cours des développés-couchés étaient déjà bonnes avant le programme d'entraînement. Elles se sont améliorées dans de faibles mesures.

Observons les courbes du sujet 4 qui, lui, exprime une forte progression suite au processus d'entraînement :

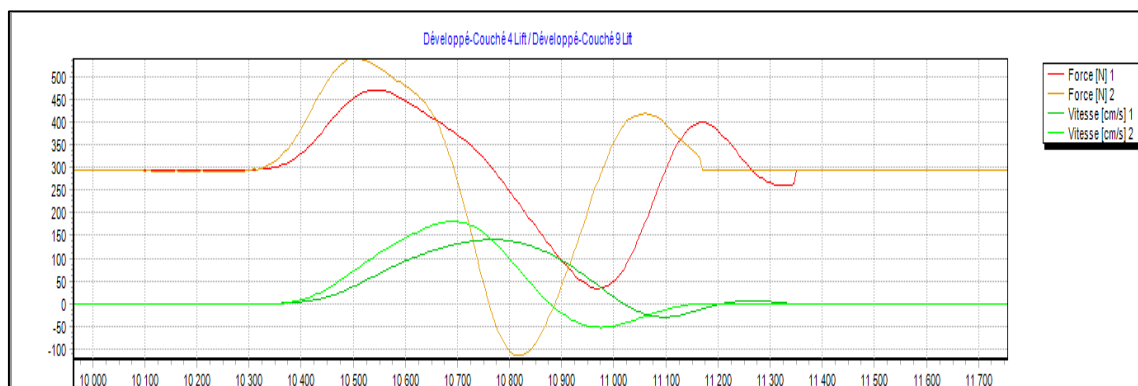


Fig. 38 Comparaison des courbes de force et de vitesse chez le sujet 4 lors d'un développé-couché avant (en rouge et en vert foncé) et après (en orange et en vert clair) le processus d'entraînement.

La courbe orange, qui représente la force développée après le processus d'entraînement, démontre une montée de force (temps de ≈ 10340 ms à ≈ 10500 ms) bien supérieure à celle de la courbe rouge, qui correspond à la force développée avant le processus d'entraînement. En effet, le taux d'accroissement de la force de cette courbe orange est plus important ($\Delta F (256)/\Delta T (\approx 160) \cong 1.6$) que celle de la courbe rouge ($\Delta F (169)/\Delta T (\approx 200) \cong 0.85$). Le sujet est capable d'atteindre sa valeur maximale de force plus tôt dans le temps. La valeur maximale de force est d'ailleurs bien plus forte après les 6 semaines d'entraînement (550 N

contre 463 N). Le pic de vitesse d'exécution est lui aussi accru (147 cm/s en décembre 2011 contre 185 cm/s en février 2012).

Ensuite, dès le temps ≈ 10650 ms, la chute de la force affichée est bien plus conséquente sur la courbe orange. Le sujet fait plus vite subir à la charge son inertie et dans de plus fortes proportions, la courbe de force orange atteignant son minimum au temps ≈ 10820 ms (-109 N) et la courbe rouge ne l'atteignant qu'au temps ≈ 10975 ms (41 N). Puis, la seconde montée de force est quasiment identique avant et après le processus d'entraînement.

Au final, le sujet 4 exprime la plus forte progression des valeurs moyennes parmi les 8 sujets du groupe d'entraînement avec une augmentation de 25% en puissance, de 7% en force et de 14% en vitesse. Il a sans aucun doute amélioré sa capacité à mobiliser et à synchroniser ses unités motrices dans un certain temps. La coordination intermusculaire et intramusculaire de ce sujet se sont bonifiées.

6.2.1.2 Exercice principal A du bon côté

Valeurs moyennes

Lors de l'exercice principal A du bon côté, c'est-à-dire du côté du slapshot, les 8 sujets du groupe d'entraînement présentent les vitesses moyennes suivantes :

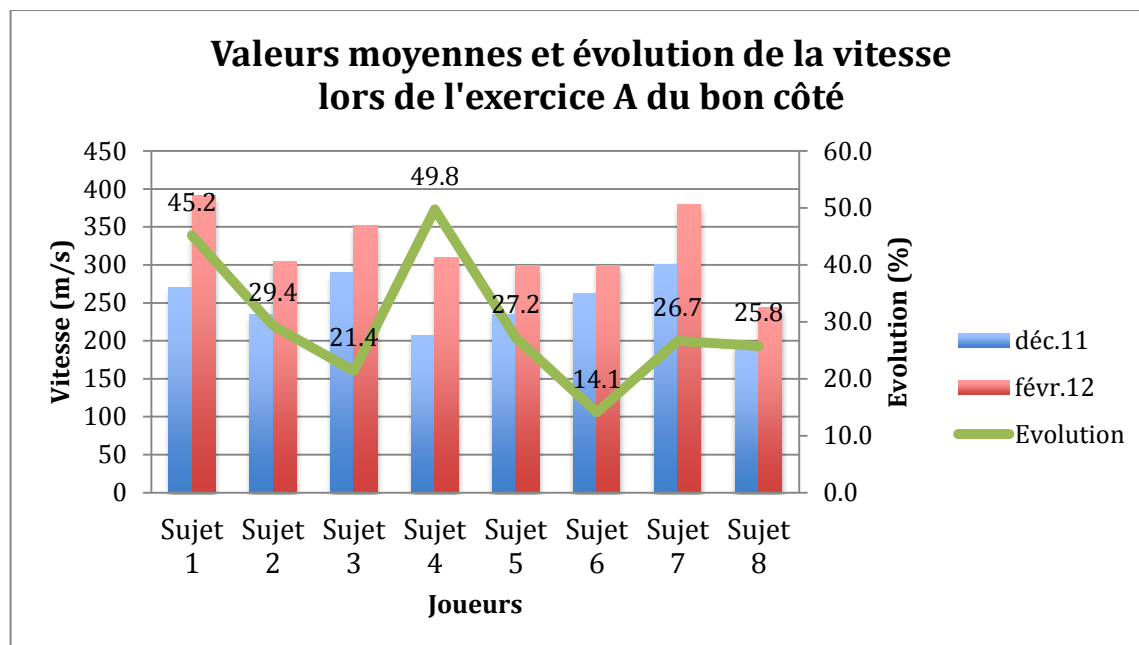


Fig. 39 Valeurs moyennes de la vitesse développée et évolution de celles-ci lors de l'exercice A du bon côté chez les 8 sujets avant et après le processus d'entraînement.

Les vitesses moyennes développées lors de l'exercice A du bon côté sont plus hétérogènes que les vitesses moyennes produites lors des développés-couchés. Elles passent du simple (194 m/s chez le sujet 8 avant le processus d'entraînement) au double (392 m/s chez le sujet 1 après le processus d'entraînement). Chacun des 8 sujets a augmenté de manière considérable sa valeur moyenne de vitesse. Les évolutions vont de 14.1% chez le sujet 6 à près de 50% chez le sujet 4. La moyenne des évolutions des 8 sujets est de grande envergure avec une valeur de 29.9% (écart-type : 11.9%).

Observons si ces évolutions sont aussi importantes pour les valeurs moyennes de force :

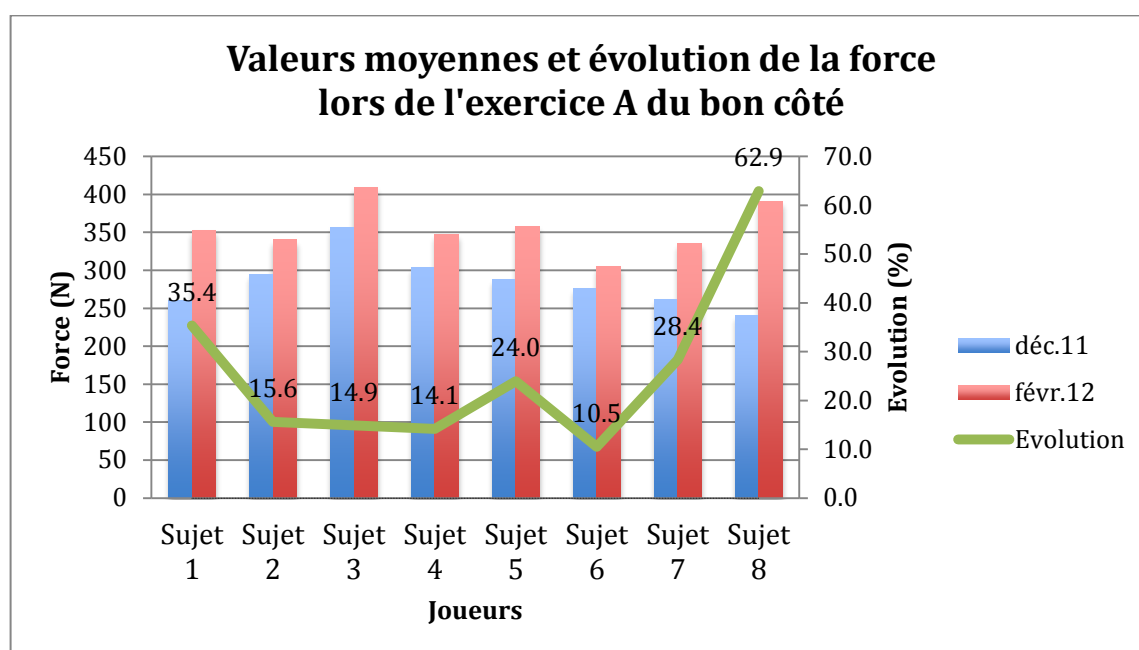


Fig. 40 Valeurs moyennes de la force développée et évolution de celles-ci lors de l'exercice A du bon côté chez les 8 sujets avant et après le processus d'entraînement.

La tendance est ici aussi clairement à la hausse. Le premier élément qui tape à l'œil sur la figure 40 est l'augmentation que présente le sujet 8, faisant passer sa valeur moyenne de force de 240 N à 391 N. Cette évolution influence fortement la moyenne des évolutions du groupe, d'une valeur de 25.7%. A l'exception de ce sujet, les évolutions des valeurs se situent entre 10.5% et 35.4%. L'important écart-type de cette moyenne (17.2%) illustre bien la répartition inégale de ces évolutions.

Le sujet 2, dont les résultats de l'exercice A du bon côté sont illustrés sur la figure ci-dessous, ne présente pas uniquement la caractéristique d'avoir amélioré sa valeur moyenne de puissance (28%), de force (16%) et de vitesse (29%) suite au processus d'entraînement. Aussi, ses courbes de tendance se redressent, et même s'élèvent.

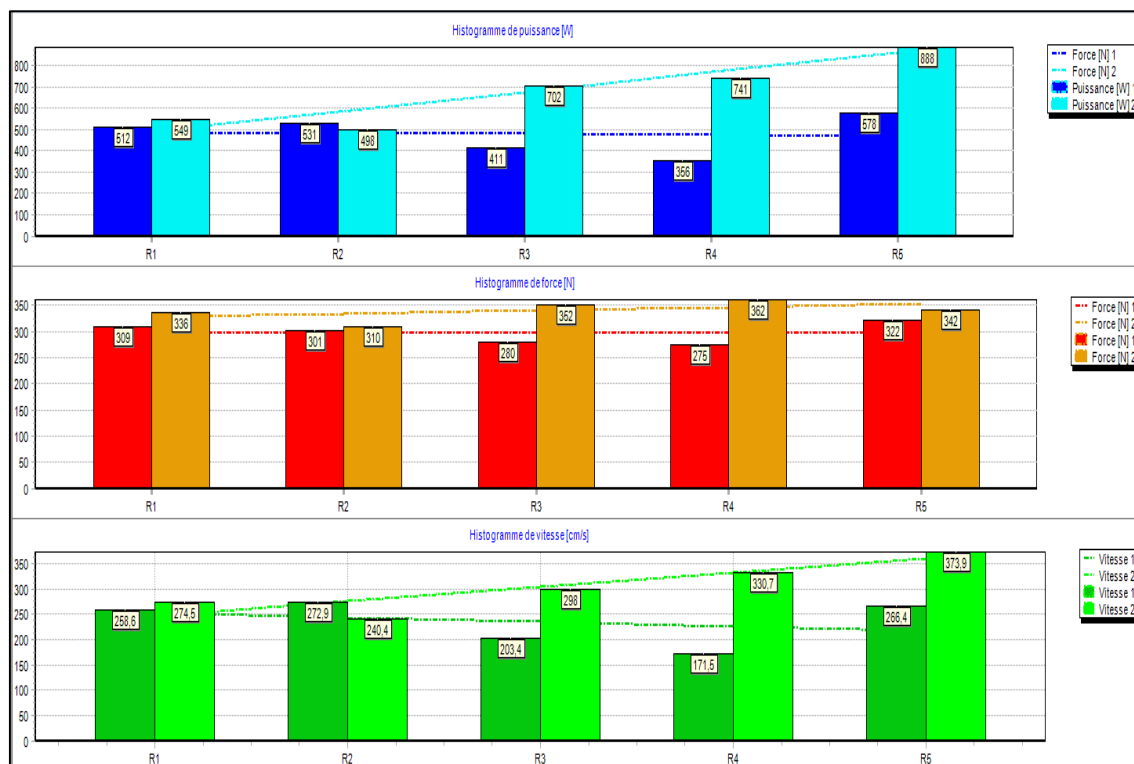


Fig. 41 Courbes de tendance (lignes pointillées) et histogrammes de puissance (bleu), de force (rouge-orange) et de vitesse (vert) lors de l'exercice A du bon côté chez le sujet 2 avant (colonnes de gauche) et après (colonnes de droite) le processus d'entraînement.

En décembre 2011, les pentes des courbes de tendance de puissance sont négatives. Le sujet perd en puissance et en vitesse au fil des 5 exécutions de l'exercice A. La pente de la courbe de tendance de la force, elle, est quasi nulle. Le sujet est stable à ce niveau-là. Par contre, suite au processus d'entraînement, nous remarquons que toutes les pentes des courbes de tendance sont devenues positives. Le sujet gagne ainsi en puissance, en force et en vitesse au cours de la série. Ce phénomène est aussi observable chez le sujet 5 entre autres (cf. voir annexe 11).

Examinons dès à présent l'évolution des valeurs moyennes de puissance, de force et de vitesse pour l'exercice A du bon côté.

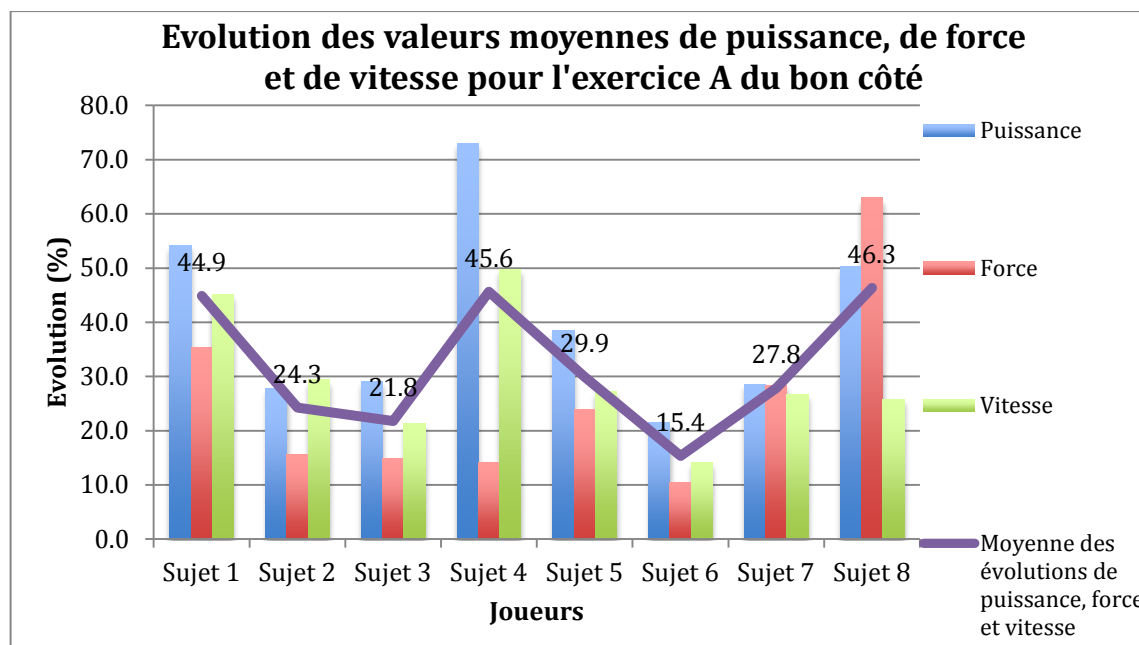


Fig. 42 Evolution des valeurs moyennes de puissance, de force et de vitesse suite au processus d'entraînement lors de l'exercice A du bon côté chez les 8 sujets et moyenne de ces 3 variables.

L'évolution moyenne de la puissance pour l'exercice A du bon côté est de 40.3%, celle de la force de 25.7% et celle de la vitesse de 29.9%. Rappelons-nous que l'évolution moyenne chez les 8 sujets de la puissance lors des développés-couchés (10.3%) était davantage liée à une évolution de la vitesse (8.2) plutôt que de la force (2.2). Ici, la différence entre les évolutions moyennes de force et de vitesse se trouve réduite. Deux sujets (no 7 et 8) présentent des progressions des valeurs moyennes de force plus élevées que celles de vitesse.

La moyenne des évolutions de puissance, de force et de vitesse (tracée en violet sur la figure 42) présente de grandes variabilités. La plus faible évolution est de 15.4% chez le sujet 6 (15.4% correspondant à la plus forte évolution lors des développés-couchés !). La plus forte évolution moyenne se situe à 46.3% chez le sujet 8.

Les évolutions moyennes de chaque sujet sont remarquablement supérieures lors de l'exercice A du bon côté que lors des développés-couchés.

Un tableau récapitule les évolutions de puissance, de force et de vitesse chez les 8 sujets lors de l'exercice A du bon côté en annexe 12.

Comparaison valeurs moyennes & valeurs maximales

Comparons les résultats des valeurs moyennes présentées ci-dessus aux valeurs maximales (cf. détaillées en annexe 13) lors de l'exercice A du bon côté :

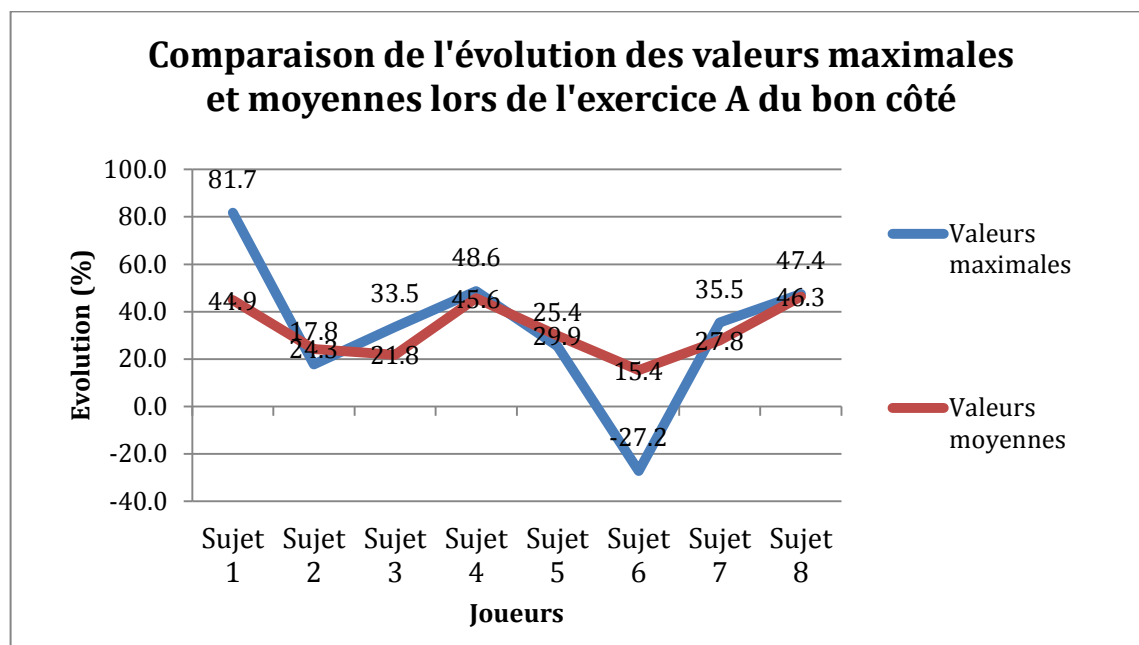


Fig. 43 Comparaison des évolutions des valeurs moyennes et maximales de la moyenne des variables de puissance, de force et de vitesse lors de l'exercice principal A du bon côté chez les 8 sujets suite au processus d'entraînement.

De la même manière que lors des développés-couchés, la tendance entre l'évolution des valeurs moyennes et maximales lors de l'exercice A du bon côté est relativement semblable, à l'exception des sujets 1 et 6. Les différences sont fortement marquées chez ces deux sujets (36.8% chez le sujet 1 et 42.6% chez le sujet 6). La différence observée chez le sujet 1 s'explique par un pic de puissance hors normes (1353 W, valeur maximale tous tests et tous sujets confondus !) lors de la 3^{ème} répétition de l'exercice A en février 2012 (visible en annexe 14). Les résultats du sujet 6, présentés sur les figures 44 et 45 ci-après, peuvent eux aussi s'expliquer par un pic de puissance bien en dessus de tous les autres. En effet, en décembre 2011 la puissance de la 1^{ère} exécution du mouvement atteint une valeur de 1048 W. Suite au processus d'entraînement, aucune répétition n'a approché cette valeur-là. Ainsi, l'évolution de la puissance a chuté de 27.2%.

Chez les autres sujets, les évolutions des valeurs maximales et des valeurs moyennes sont proches.

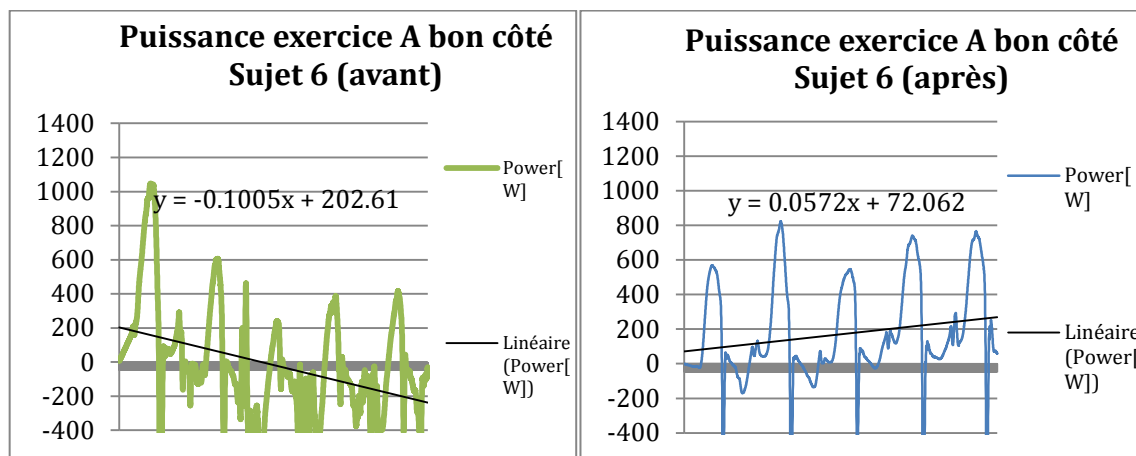


Fig. 44 et Fig. 45 Courbe de la puissance développée par le sujet 6 et droite de tendance lors de l'exercice A du bon côté avant (à gauche) et après (à droite) le processus d'entraînement.

Comparaison de courbes

Le sujet 1, dont les valeurs de puissance (54%), de force (35%) et de vitesse (45%) évoluent de manière conséquente, présente des courbes de force et de vitesse fort différentes avant et après le processus d'entraînement. Elles sont visibles sur la figure ci-dessous :

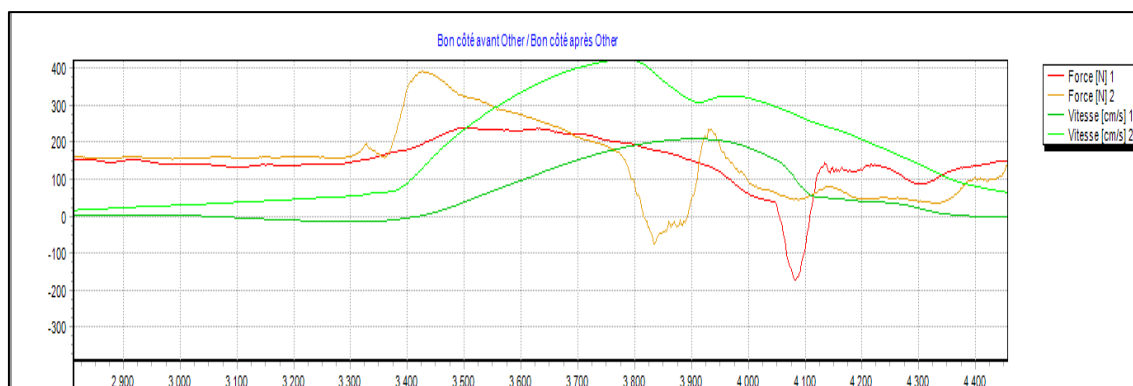


Fig. 46 Comparaison des courbes de force et de vitesse chez le sujet 1 lors de l'exercice A du bon côté avant (en rouge et en vert foncé) et après (en orange et en vert clair) le processus d'entraînement.

Nous observons chez le sujet 1 qu'aucune des deux courbes de force tracées ne sont nettes, ceci étant principalement dû, d'après M. Flaction, à la charge trop élevée.

La courbe rouge, représentant la force lors d'une exécution de l'exercice A du bon côté avant le processus d'entraînement, n'affiche aucun pic de force lors de la phase de descente du segment de canne. Un faible accroissement de la pente est toutefois perceptible dès le temps ≈ 3300 ms (taux d'accroissement $\Delta F (\approx 80) / \Delta T (\approx 200) \approx 0.4$). La vitesse d'exécution résultante est restreinte. Elle atteint une valeur maximale de 207 cm/s au temps ≈ 3900 ms. Au temps ≈ 4125 ms, le sujet 1 présente cette fois-ci un pic de force qui atteint 140 N. Il correspond à la poussée de la charge

après que le joueur ait franchi l'axe vertical avec le segment de canne. Cette étape semble être la plus dynamique du mouvement. En décembre 2011, le sujet 1 n'était par conséquent pas apte à accélérer une charge de manière importante sur une courte durée. Par contre, après le processus d'entraînement, ce même sujet a considérablement amélioré ses résultats. La courbe de force orange affiche clairement une montée de force dès le temps ≈ 3360 ms. Cette dernière atteint presque 400 N, soit presque le double de la valeur maximale obtenue en décembre 2011. La pente de cette montée de force est bien plus raide, tout comme la pente de la courbe lors de n'importe quelle étape. Le taux d'accroissement de la force lors de cette montée de force vaut approximativement $3.91 (\Delta F (235)/\Delta T (\approx 60))$. La valeur maximale de force survient bien plus tôt dans le temps (environ 60 ms après le début de la montée de force) que sur la courbe rouge (environ 200 ms après le début de l'accroissement de force). La vitesse d'exécution du mouvement atteint une valeur maximale de 421 cm/s contre 207 cm/s 6 semaines plus tôt. Aussi, le mouvement dans son intégralité se réalise plus rapidement.

Le sujet a ainsi optimisé sa capacité à mobiliser et à synchroniser ses unités motrices. Il recrute ainsi plus de fibres musculaires et plus tôt dans le temps. Les principaux muscles impliqués travaillent davantage en synergie qu'auparavant. Une amélioration de la coordination intermusculaire et intramusculaire est à l'origine des progrès réalisés.

Les courbes affichées sur la figure 47 ci-après présentent plusieurs similarités à celles tracées sur la figure 46. Le sujet 4, qui affiche la plus forte évolution de la valeur moyenne de puissance (73%) et de vitesse (50%) parmi les sujets du groupe d'entraînement, voit également ses courbes de force et de vitesse gagner en amplitude suite aux 6 semaines d'entraînement. La pente de la montée de force est comparable sur les deux courbes de force (taux d'accroissement $\cong 2.6$), mais la courbe orange (février 2012) atteint une valeur maximale supérieure (414 N) à celle de la courbe rouge (décembre 2011, 298 N). La durée depuis le début de la montée de force jusqu'à la chute de force (≈ 400 ms) et jusqu'au second pic de force (≈ 540 ms) est moindre sur la courbe orange que sur la rouge (≈ 700 ms et ≈ 820 ms). L'exécution entière du mouvement se réalise ainsi sur une plus courte durée après le processus d'entraînement. Aussi, sur la courbe rouge, la chute de force dès le

temps ≈ 1800 ms est bien moins importante, signifiant que la charge subit moins son inertie.

Les courbes de vitesse étayent ces propos. Avant le processus d'entraînement, la vitesse maximale vaut 202 cm/s. Une vitesse positive est produite sur une longue durée (de ≈ 1175 ms à ≈ 1860 ms). Après le processus d'entraînement, la vitesse maximale atteint 340 cm/s. Une vitesse positive est développée sur une durée réduite (de ≈ 1100 ms à ≈ 1600 ms).

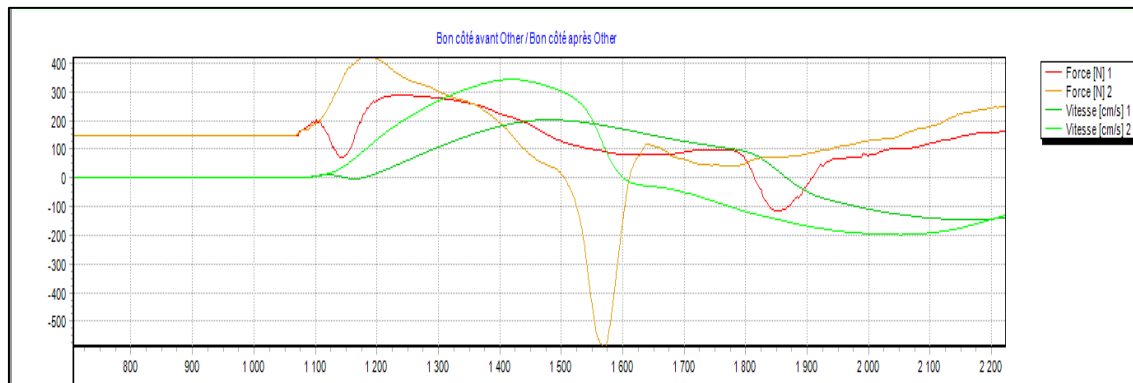


Fig. 47 Comparaison de courbes de force et de vitesse chez le sujet 4 lors de l'exercice A du bon côté avant (en rouge et en vert foncé) et après (en orange et en vert clair) le processus d'entraînement.

Suite aux 6 semaines d'entraînement, le sujet 4 est lui aussi parvenu à recruter davantage ses fibres musculaires et ceci plus tôt dans le temps. Il a été capable d'imprimer une accélération supérieure à la charge. Sa coordination intermusculaire et intramusculaire se sont améliorées.

6.2.1.3 Exercice principal A du mauvais côté

Valeurs moyennes

Les 8 sujets du groupe d'entraînement ont présenté les valeurs de vitesse suivantes lors de l'exercice A du mauvais côté :

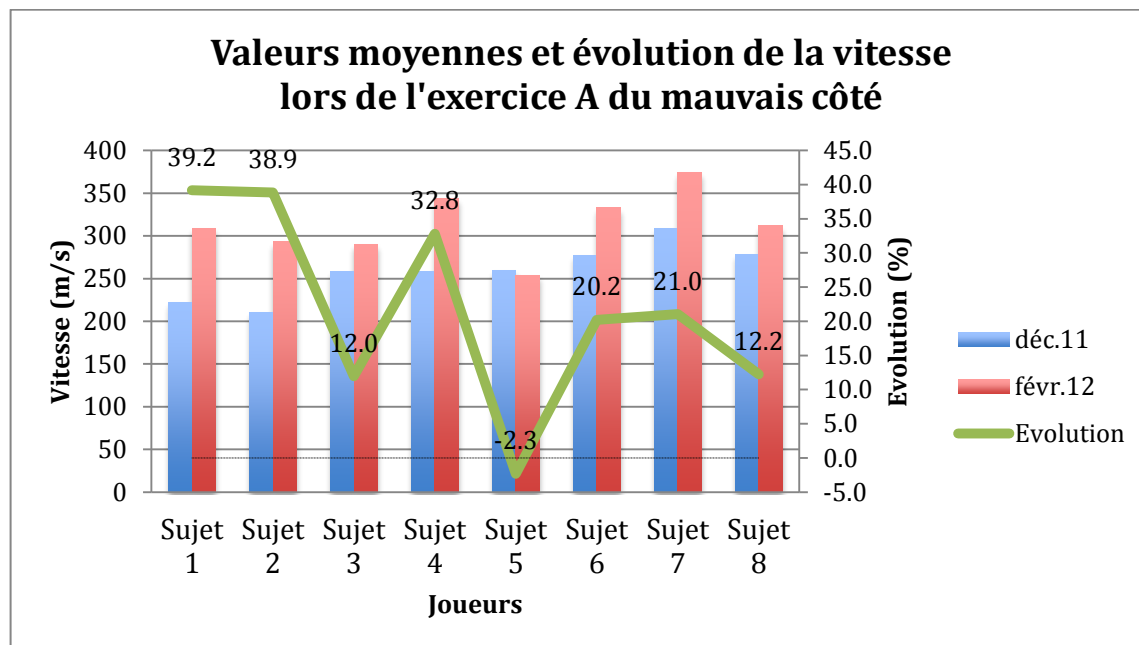


Fig. 48 Valeurs moyennes de la vitesse développée et évolution de celles-ci lors de l'exercice A du mauvais côté chez les 8 sujets avant et après le processus d'entraînement.

Les vitesses moyennes développées lors de l'exercice A du mauvais côté sont tout aussi hétérogènes que celles de l'exercice de A du bon côté. Elles varient entre 211 m/s (sujet 2 avant le processus d'entraînement) et 374 m/s (sujet 7 après le processus d'entraînement). 7 sujets sur 8 ont augmenté leur vitesse moyenne suite aux 6 semaines d'entraînement. Les évolutions sont de l'ordre de 12% chez les sujets 3 et 8, de 20% chez les sujets 6 et 7, et de 30% à 40% chez les sujets 1, 2 et 4. Le sujet 5, lui, présente une régression de 2.3%. Parmi les résultats des 3 exercices principaux, il s'agit d'une des deux seules évolutions négatives des valeurs moyennes.

L'évolution moyenne des 8 sujets est de 21.8% (écart-type : 14.6%).

Dès à présent, examinons les valeurs moyennes de force :

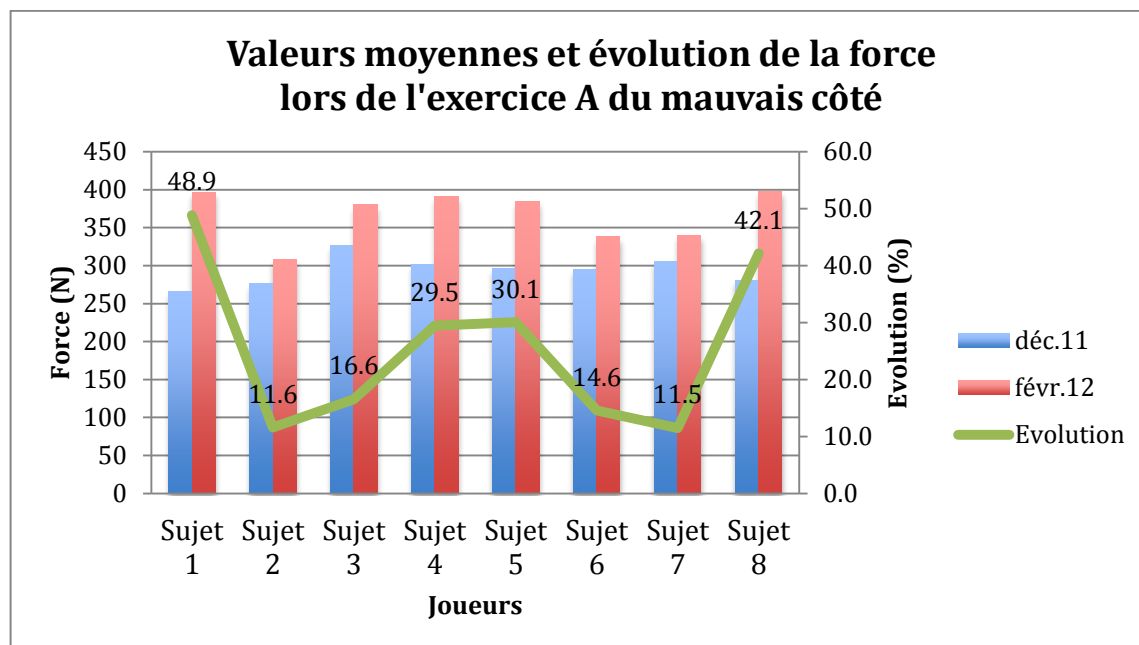


Fig. 49 Valeurs moyennes de la vitesse développée et évolution de celles-ci lors de l'exercice A du mauvais côté chez les 8 sujets avant et après le programme d'entraînement.

Les valeurs moyennes de force se situent entre 266 N (sujet 1 en décembre 2011) et 398 N (sujet 8 en février 2012). Les évolutions vont de 11.5% (sujet 7) à presque 50% (48.9%, sujet 1). La moyenne des évolutions du groupe est de 25.6% (écart-type : 14.4%). L'exercice principal A du mauvais côté constitue le seul exercice qui affiche une moyenne des évolutions des valeurs de force plus importante que la moyenne des évolutions des valeurs de vitesse (21.8%).

Les résultats détaillés du sujet 4 lors de l'exercice principal A du mauvais côté sont exposés sur la figure 50.

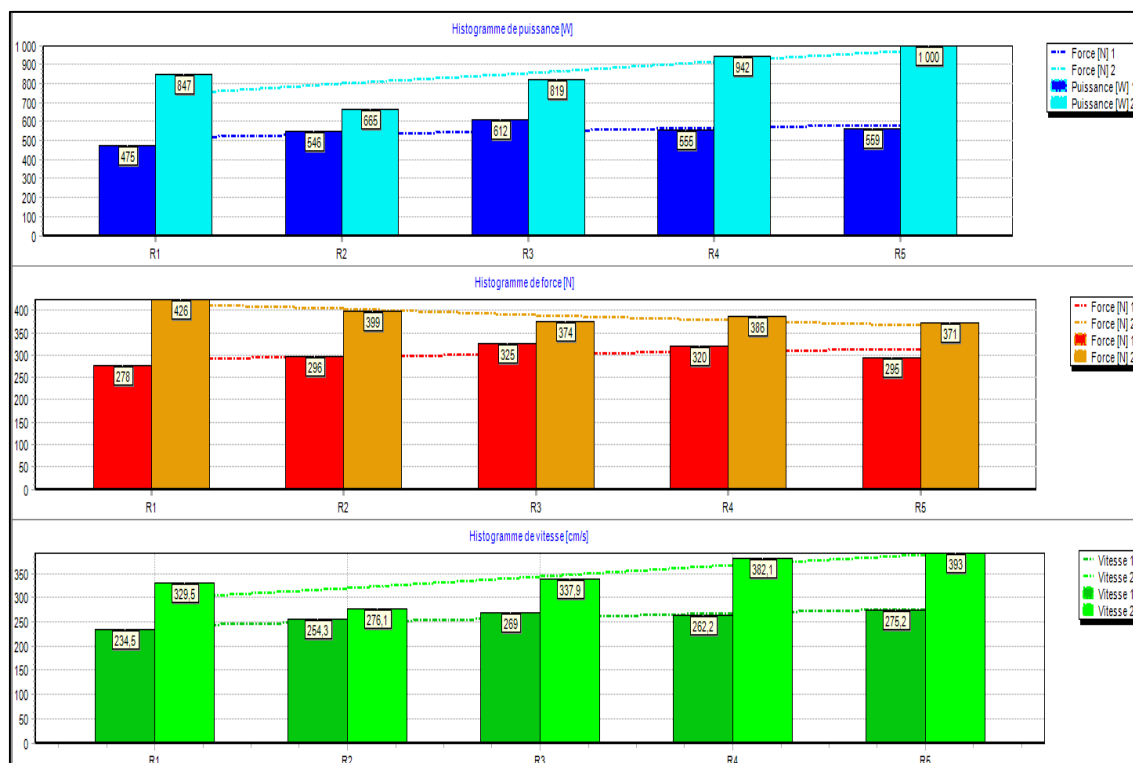


Fig. 50 Courbes de tendance et histogrammes de puissance (bleu), de force (rouge-orange) et de vitesse (vert) lors de l'exercice A du mauvais côté chez le sujet 4 avant (colonnes de gauche) et après (colonnes de droite) le processus d'entraînement.

Le sujet 4, qui présente des augmentations des valeurs moyennes de puissance, de force et de vitesse respectivement de 55%, 29% et 33%, améliore également ses courbes de tendance. En effet, sur la figure ci-dessus, nous remarquons que suite au processus d'entraînement la pente de la droite de tendance de la puissance et de la vitesse s'accroît. Au contraire, la pente de la droite de tendance de la force diminue. Toutefois, n'oublions pas que les valeurs de force sont toutes supérieures à celles fournies avant le processus d'entraînement.

La figure 51 ci-dessous met en évidence les évolutions des moyennes de puissance, de force et de vitesse pour l'exercice A du mauvais côté.

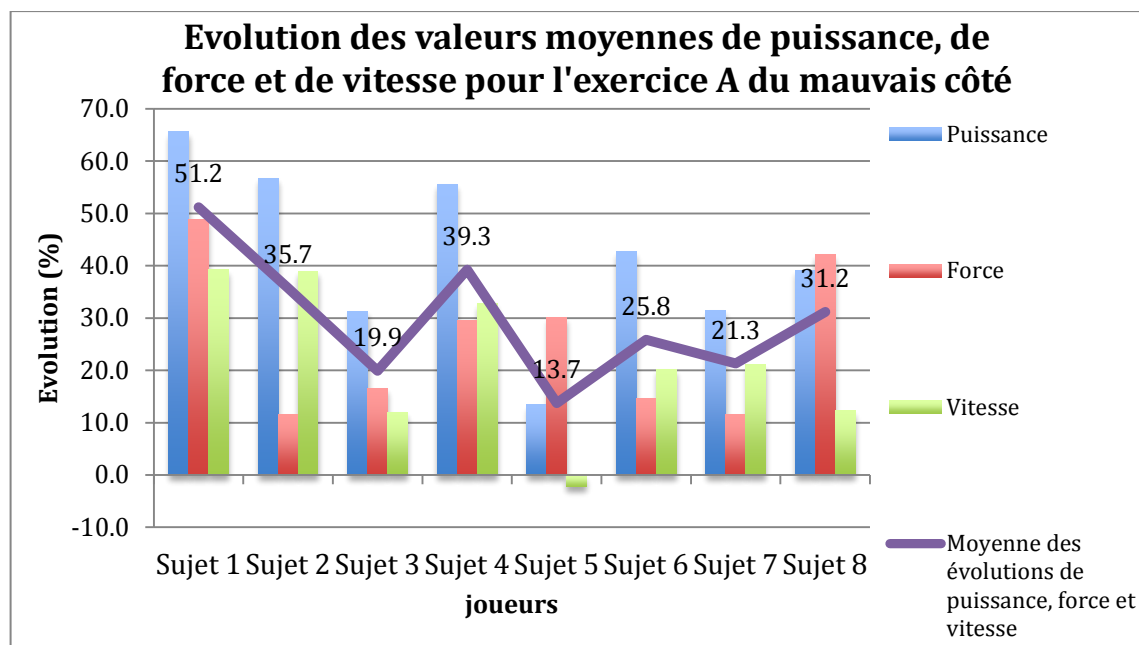


Fig. 51 Evolution des valeurs moyennes de puissance, de force et de vitesse suite au programme d'entraînement lors des développés-couchés chez les 8 sujets et moyenne de ces 3 variables.

Sur cette figure, nous constatons que, contrairement aux deux autres exercices présentés auparavant, les valeurs moyennes de vitesse (21.8% en moyenne) n'évoluent pas plus que celles de force (25.6% en moyenne).

La moyenne des évolutions de puissance, de force et de vitesse varie entre 13.7% (sujet 5) et 51.2% (sujet 1). Un tableau récapitule les évolutions des valeurs lors de cet exercice en annexe 15.

Comparaison valeurs moyennes & valeurs maximales

Les évolutions des valeurs maximales de puissance, de force et de vitesse lors de l'exercice A du mauvais côté (détaillées en annexe 16) ressemblent fortement aux valeurs moyennes, comme en atteste la figure 52 ci-dessous :

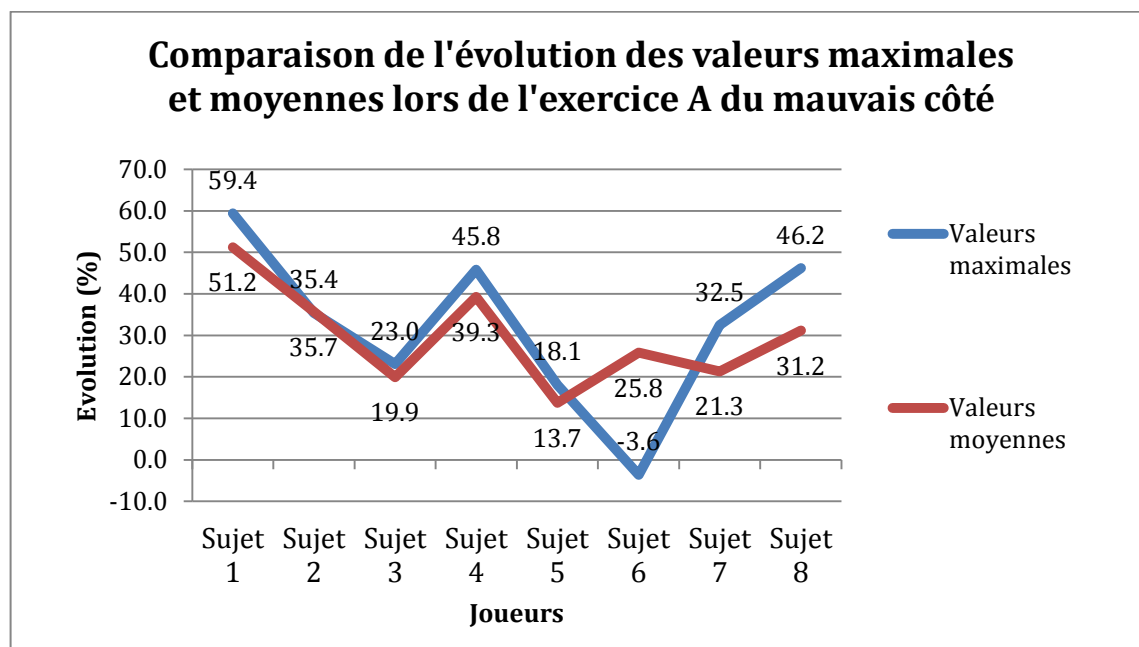


Fig. 52 Comparaison des évolutions des valeurs moyennes et maximales de la moyenne des variables de puissance, de force et de vitesse lors de l'exercice A du mauvais côté chez les 8 sujets suite au processus d'entraînement.

La courbe dressant l'évolution des valeurs moyennes suit quasiment à la trace la courbe de l'évolution des valeurs maximales (ou vice-versa). Chez 5 sujets, elle se situe légèrement plus bas sur le graphique que celle des valeurs maximales. La seule différence notable entre les valeurs moyennes et maximales provient à nouveau du sujet 6 (29.4%). Cela peut s'expliquer par un pic de force maximale très élevé par ce joueur en décembre 2011 (513 N). Il a réalisé une répétition hors normes ce jour-là. En février par contre, ce sujet n'est pas parvenu à fournir une force maximale supérieure à 346 N, baissant ainsi fortement l'évolution de ses valeurs maximales.

Comparaison de courbes

Chez ce même sujet, les valeurs moyennes de puissance augmentent de 43%, celles de force de 15% et celles de vitesse de 20%. Comparons chez lui une bonne répétition avant le processus d'entraînement (courbes rouge et vert foncé) et une

moins bonne répétition après le processus d'entraînement (courbes orange et vert clair) :

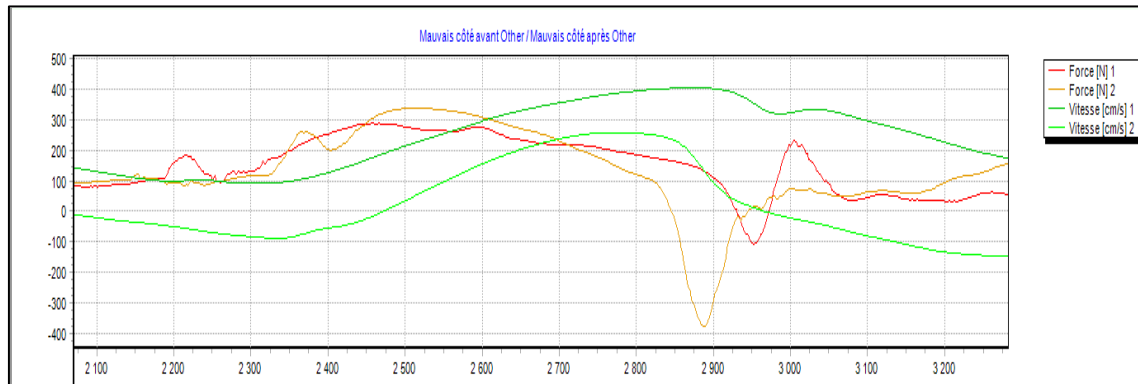


Fig. 53 Comparaison des courbes de force et de vitesse chez le sujet 6 lors de l'exercice A du mauvais côté avant (en rouge et en vert foncé) et après (en orange et en vert clair) le processus d'entraînement.

La courbe rouge affiche une valeur maximale de force de 297 N au temps ≈ 2450 ms. Elle présente un taux d'accroissement de la force dès le temps ≈ 2260 ms relativement comparable ($\Delta F (195)/\Delta T (\approx 200) \cong 0.98$) à celui de la courbe orange dès le temps ≈ 2330 ms ($\Delta F (220)/\Delta T (\approx 170) \cong 1.29$). La courbe orange exprime une force maximale de 331 N peu après 2500 ms. La montée de force de cette courbe orange n'est pas optimale. Nous observons en effet qu'au cours de celle-ci, au temps ≈ 2375 ms, une chute de force s'est produite ! Il n'est donc pas étonnant que la courbe de vitesse d'exécution (vert clair) correspondante à cette réalisation de l'exercice A en février 2012 n'atteigne pas une valeur maximale importante (265 cm/s). En comparaison, malgré un moindre taux d'accroissement de la force, la répétition effectuée en décembre 2011 affiche une vitesse d'exécution (courbe vert foncé) nettement supérieure (402 cm/s).

La chute de force est bien plus conséquente sur la courbe orange. Elle atteint -389 N, contre -104 N sur la courbe rouge. L'inertie imprimée à la charge par le sujet 6 est bien plus importante en février 2012.

L'amplitude de la courbe de force orange est quasiment deux fois supérieure à celle de la courbe rouge. Par contre, la vitesse d'exécution qui correspond à la courbe rouge est plus conséquente sur celle qui correspond la courbe orange.

Il semble donc intéressant de comparer les courbes résultantes de puissance.

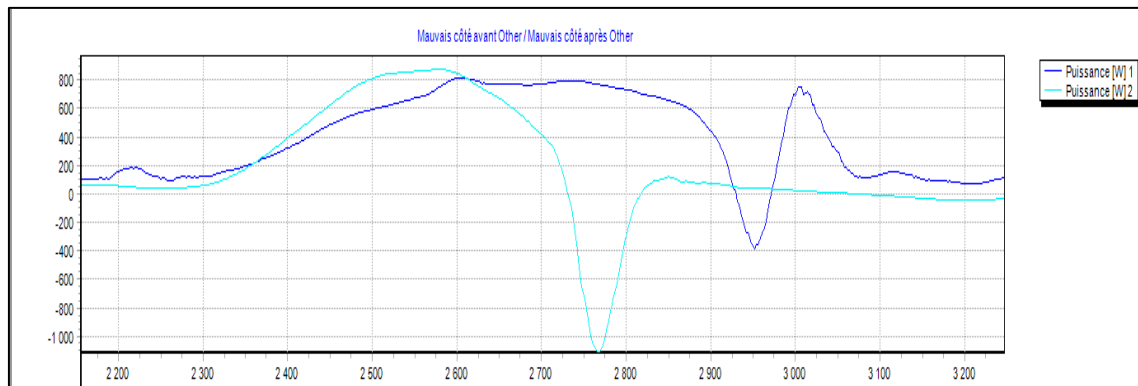


Fig. 54 Comparaison des courbes de puissance chez le sujet 6 lors de l'exercice A du mauvais côté avant (en bleu foncé) et après (en bleu clair) le processus d'entraînement.

Les valeurs maximales de puissance de ces deux courbes sont proches. La courbe bleu foncé, qui correspond à l'exécution de l'exercice A avant le processus d'entraînement, affiche un maximum de 802 W au temps ≈ 2600 ms. L'amplitude totale de cette courbe est d'environ 1200 W. La montée de puissance, dès le temps ≈ 2300 ms, vaut environ $2.17 (\Delta P (\approx 650)/\Delta T (\approx 300))$. La courbe bleu clair, qui représente l'exécution de l'exercice A après le processus d'entraînement, atteint un sommet de 851 W au temps ≈ 2580 ms. La montée en puissance est plus rapide et plus importante $(\Delta P (\approx 800)/\Delta T (\approx 290) \approx 2.75)$. L'amplitude totale de cette courbe s'élève à presque 2000 W ! D'après ces résultats et en me référant aux résultats de la figure 53, je constate que les courbes de puissance ci-dessus illustrent davantage la montée de force et l'amplitude de force que la valeur maximale de vitesse d'exécution.

Sur les deux répétitions analysées, suite aux 6 semaines d'entraînement, le sujet 6 semble être capable de fournir dans de faibles mesures plus de force et sur une plus courte durée. La puissance qu'il développe est supérieure. Les courbes exposées ci-dessus sous-entendent une faible amélioration, suite au processus d'entraînement, de la capacité du sujet à recruter ses fibres musculaires en nombre et sur une plus courte durée.

Une comparaison des courbes de force et de vitesse chez les sujets 2 et 7, développant respectivement les valeurs les plus faibles et les plus élevées de l'exercice A du mauvais côté, se trouve en annexe 17.

Comparaison bon-mauvais côté

Suite à l'analyse des résultats des tests en salle de musculation, il m'est paru important de présenter les valeurs moyennes de puissance développées lors de l'exercice A du bon et du mauvais côté.

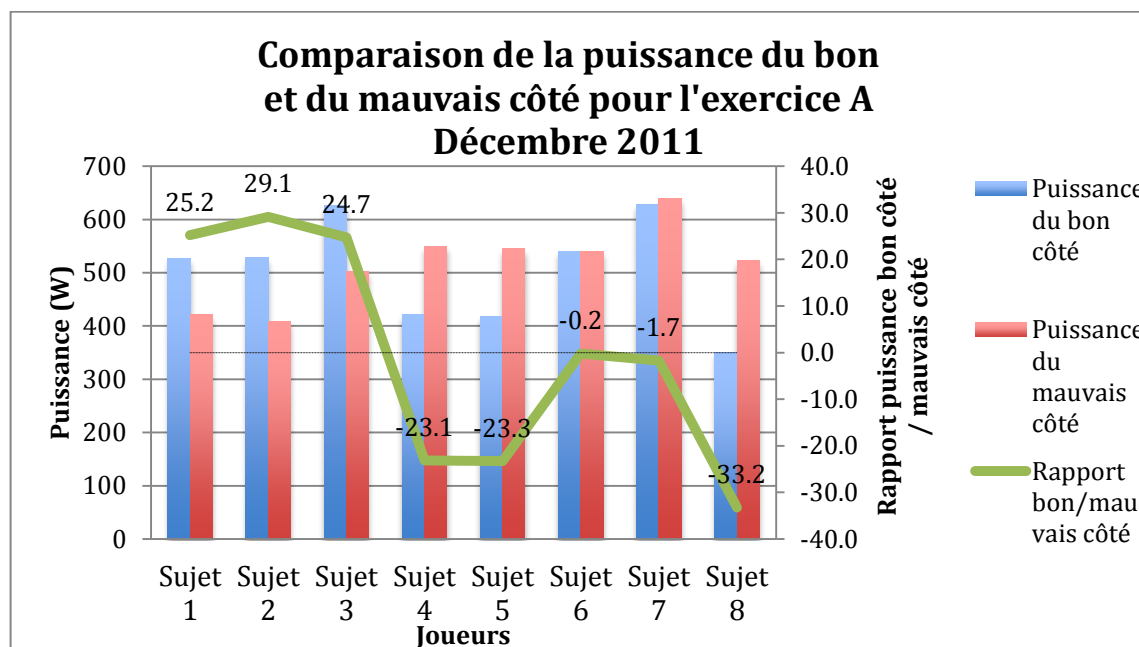


Fig. 55 Comparaison des valeurs moyennes de la puissance développée lors de l'exercice A du bon et du mauvais côté chez les 8 sujets avant le processus d'entraînement et rapport entre elles.

La figure 55 ci-dessus, en plus de présenter les valeurs moyennes de puissance obtenues en décembre 2011, affiche le rapport entre la puissance développée du bon côté sur celle du mauvais côté. A mon grand étonnement, nous découvrons que parmi les 8 sujets du groupe d'entraînement, 5 sujets affichent un rapport négatif. Ils ont développé ainsi davantage de puissance du mauvais côté que du bon ! Et les différences ne sont pas toutes minimales : -23.1% chez le sujet 4, -23.3% chez le sujet 5 et -33.2% chez le sujet 8. Cette tendance est également constatée sur les résultats de février 2012 (cf. annexe 18). Les sujets 4, 5, 6, 7 et 8 affichent là encore un rapport négatif, respectivement de -14.5%, -6.3%, -15%, -3.9% et -27.8%.

En tenant compte du fait que l'exercice A en salle de musculation consiste à reproduire à peu de chose près le mouvement de slapshot, les résultats ci-dessus ont pour signification que ces 5 joueurs chevronnés auraient, en terme de puissance de tir uniquement, avantage à changer leur côté de tir.

En me référant aux résultats observés jusqu'ici et en réponse à la première partie de mon hypothèse B, je confirme que le processus d'entraînement a clairement permis d'améliorer les valeurs moyennes de force et de vitesse lors de l'exercice principal A et de développés-couchés. Seul le sujet 5 a présenté une régression d'une valeur moyenne de force (-3% lors des développés-couchés) et de vitesse (-2% lors de l'exercice A du mauvais côté).

D'une manière générale, les sujets ont amélioré leur coordination intramusculaire et intermusculaire. Suite aux 6 semaines d'entraînement, ils ont davantage été en mesure de recruter et de synchroniser leurs unités motrices et donc leurs fibres musculaires au cours du temps.

Toutefois, dans le but d'obtenir des résultats plus représentatifs lors de l'exercice A, il aurait été préférable d'utiliser une charge plus faible. En effet, d'après M. Flaction, la masse relativement élevée (15 kg) a conduit à des courbes de force, de vitesse et de puissance fortement bruitées, rendant l'analyse moins fiable. De plus, une telle charge n'est pas spécifique au mouvement du slapshot.

Toutes les valeurs moyennes et maximales de force, de vitesse et de puissance ainsi que leur évolution suite au processus d'entraînement chez chaque sujet et pour chaque exercice figurent en annexe 19 et 20.

6.2.2. Corrélations évolutions en salle musculation & vitesse moyenne de tir

6.2.2.1 Développés-couchés et vitesse moyenne de tir

Le tableau 8 ci-dessous met en corrélation l'évolution suite au processus d'entraînement des variables de puissance, de force et de vitesse pour les développés-couchés avec celle de la vitesse moyenne de tir. Il nous indique que l'évolution de la vitesse moyenne de tir n'est absolument pas liée à l'évolution des valeurs des développés-couchés en salle de musculation. L'évolution de la vitesse de tir présente une corrélation $r = -0,04$ avec l'évolution des valeurs de puissance, $r = -0,166$ avec l'évolution des valeurs de force et $r = -0,109$ avec l'évolution des valeurs de vitesse. Ces corrélations ne sont pas significatives ($\text{Sig.} > 0,05$).

Tab. 8 Tableau mettant en corrélation l'évolution de la puissance, de la force et de la vitesse lors des développés-couchés et l'évolution de la vitesse moyenne de tir.

Corrélations					
		Vitesse_tirs	Puissance_dc	Force_dc	Vitesse_dc
Vitesse_tirs	Corrélation de Pearson	1	-,004	-,166	-,109
	Sig. (bilatérale)		,993	,694	,797
	N	8	8	8	8
Puissance_dc	Corrélation de Pearson	-,004	1	,422	,921**
	Sig. (bilatérale)	,993		,297	,001
	N	8	8	8	8
Force_dc	Corrélation de Pearson	-,166	,422	1	,476
	Sig. (bilatérale)	,694	,297		,233
	N	8	8	8	8
Vitesse_dc	Corrélation de Pearson	-,109	,921**	,476	1
	Sig. (bilatérale)	,797	,001	,233	
	N	8	8	8	8

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Nous observons également sur le tableau 8 que lors des développés-couchés, l'évolution des valeurs de puissance est très fortement liée à l'évolution des valeurs de vitesse ($r = 0,921$), ceci de manière significative ($\text{Sig.} < 0,01$). L'évolution des valeurs de puissance est elle aussi liée à l'évolution des valeurs de force mais dans une moindre mesure ($r = 0,422$, $\text{Sig.} > 0,05$).

6.2.2.2 Exercice A bon côté

Les corrélations observées précédemment lors des développés-couchés semblent similaires à celles présentes ici (tableau 9). En effet, l'évolution de la vitesse moyenne de tir n'est que peu corrélée (et négativement) à l'évolution des valeurs de puissance ($r = -0.349$), de force ($r = -0.250$) et de vitesse ($r = -0.373$) lors de l'exercice principal A du bon côté. Là aussi, les corrélations ne sont pas significatives.

Tab. 9 Tableau mettant en corrélation l'évolution de la puissance, de la force et de la vitesse lors de l'exercice principal A du bon côté et l'évolution de la vitesse moyenne de tir.

		Corrélations			
		Vitesse_tirs	Puissance_A_bc	Force_A_bc	Vitesse_A_bc
Vitesse_tirs	Corrélation de Pearson	1	-,349	-,250	-,373
	Sig. (bilatérale)		,397	,550	,363
	N	8	8	8	8
Puissance_A_bc	Corrélation de Pearson	-,349	1	,300	,869**
	Sig. (bilatérale)	,397		,471	,005
	N	8	8	8	8
Force_A_bc	Corrélation de Pearson	-,250	,300	1	,069
	Sig. (bilatérale)	,550	,471		,872
	N	8	8	8	8
Vitesse_A_bc	Corrélation de Pearson	-,373	,869**	,069	1
	Sig. (bilatérale)	,363	,005	,872	
	N	8	8	8	8

**. La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

L'évolution des valeurs de puissance est une fois encore très fortement liée à l'évolution des valeurs de vitesse ($r = 0.869$), ceci de manière significative (Sig. < 0.05), tandis que l'évolution des valeurs de force l'est moins ($r = 0.300$, Sig. > 0.05).

6.2.2.3 Exercice A mauvais côté

Le tableau 10 nous indique que les corrélations observées lors des deux autres exercices sont presque identiques à celles rencontrées ici. L'évolution de la vitesse moyenne de tir n'est que peu corrélée (et négativement) à l'évolution des valeurs de puissance ($r = -0.199$), de force ($r = -0.323$) et de vitesse ($r = -0.217$) lors de l'exercice principal A du mauvais côté, ceci sans caractère significatif.

L'évolution des valeurs de puissance est toujours très fortement liée à l'évolution des valeurs de vitesse ($r = 0.949$, Sig. = 0.000). L'évolution des valeurs de force n'est que faiblement corrélée ($r = 0.268$, Sig. > 0.05).

Tab. 10 Tableau mettant en corrélation les variables de puissance, de force et de vitesse avec la vitesse moyenne de tir pour l'exercice principal A du mauvais côté.

Corrélations					
		Vitesse_tirs	Puissance_A_mc	Force_A_mc	Vitesse_A_mc
Vitesse_tirs	Corrélation de Pearson	1	-,199	-,323	-,217
	Sig. (bilatérale)		,637	,435	,605
	N	8	8	8	8
Puissance_A_mc	Corrélation de Pearson	-,199	1	,268	,949**
	Sig. (bilatérale)	,637		,521	,000
	N	8	8	8	8
Force_A_mc	Corrélation de Pearson	-,323	,268	1	,040
	Sig. (bilatérale)	,435	,521		,925
	N	8	8	8	8
Vitesse_A_mc	Corrélation de Pearson	-,217	,949**	,040	1
	Sig. (bilatérale)	,605	,000	,925	
	N	8	8	8	8

** . La corrélation est significative au niveau 0.01 (bilatéral).

Suite à ces résultats, je réfute la seconde partie de mon hypothèse B, qui énonce que les évolutions des valeurs moyennes de force et de vitesse suite au processus d'entraînement sont corrélées de manière significative à l'évolution de la vitesse moyenne du slapshot. Aucune corrélation importante ($r > 0.5$) et significative (Sig. < 0.05) n'est décelée. Les seules corrélations conséquentes et significatives sont celles établies, pour chacun des trois exercices, entre les évolutions des valeurs de puissance et les évolutions des valeurs de vitesse.

6.3. Régression

Hypothèse C : Un entraînement de force, de vitesse et de renforcement musculaire durant 6 semaines a pour effet de réduire la régression de la vitesse de tir lors d'une série de 7 slapshots effectués à intervalle de 7 secondes.

Au cours des séries de 7 slapshots consécutifs, il semble évident que la vitesse de tir ne puisse rester stable. Les droites de tendance du chapitre à venir ont ainsi pour objectif de démontrer comment, au cours d'une même série, la vitesse de tir varie.

Une droite de tendance, suite au processus d'entraînement peut soit s'élever (s'améliorer), signifiant que la pente de la courbe s'accroît, soit s'affaisser (régresser), signifiant que la pente de la courbe diminue.

Les évolutions des pentes sont mesurées en valeur absolue. Si une droite présente la fonction « $y = -0.55x + b$ » et qu'une autre droite présente la fonction « $y = 0.25x + b$ », alors l'évolution entre les pentes des deux droites sera de 0.8 ($0.25 - (-0.55)$).

Groupe contrôle

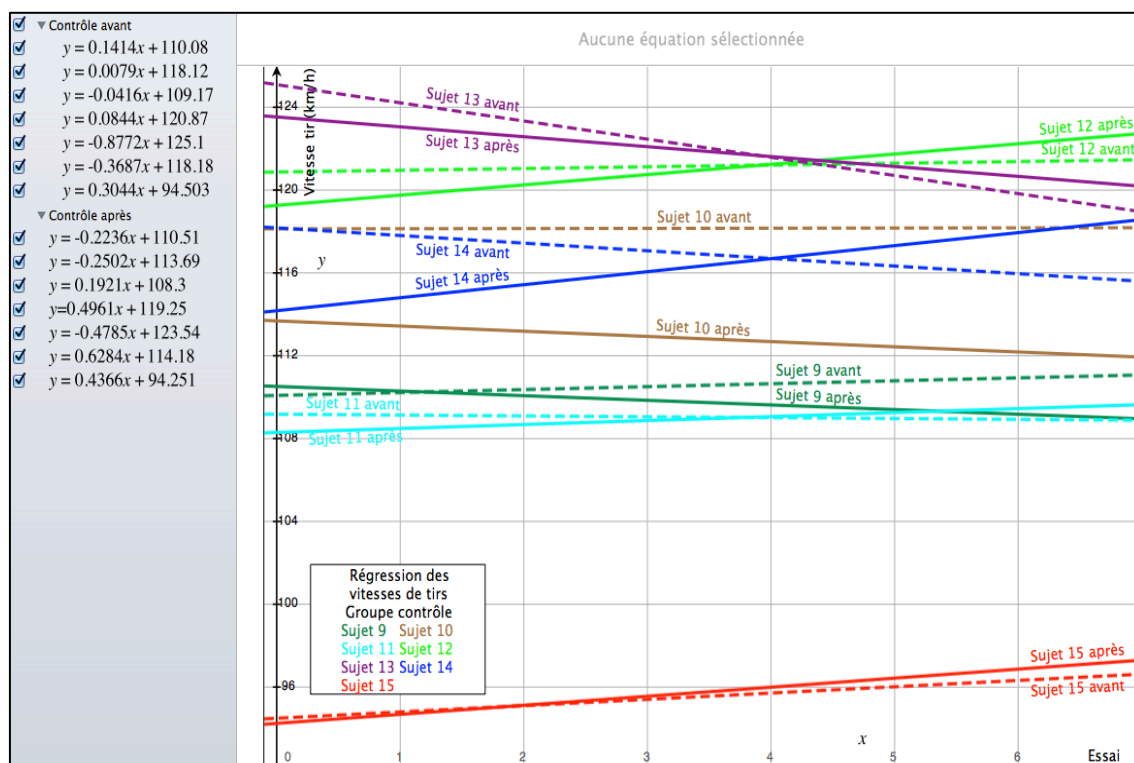


Fig. 56 Droites de tendance de la vitesse de tir lors des séries de 7 slapshots consécutifs chez les sujets du groupe contrôle en décembre 2011 (droites pointillées) et février 2012 (droites « pleines »).

Parmi les 7 sujets du groupe contrôle, 5 d'entre eux ont augmenté la pente de leur droite de tendance suite au processus d'entraînement. Il s'agit des sujets 11, 12, 13,

14 et 15. Les plus fortes évolutions des pentes sont constatées chez les sujets 12 (0.41) et 14 (1.00). Les sujets 9 et 10 présentent respectivement des régressions des pentes de 0.37 et de 0.26. L'évolution moyenne des pentes des droites de tendance des 7 sujets du groupe contrôle est de 0.221.

Groupe d'entraînement

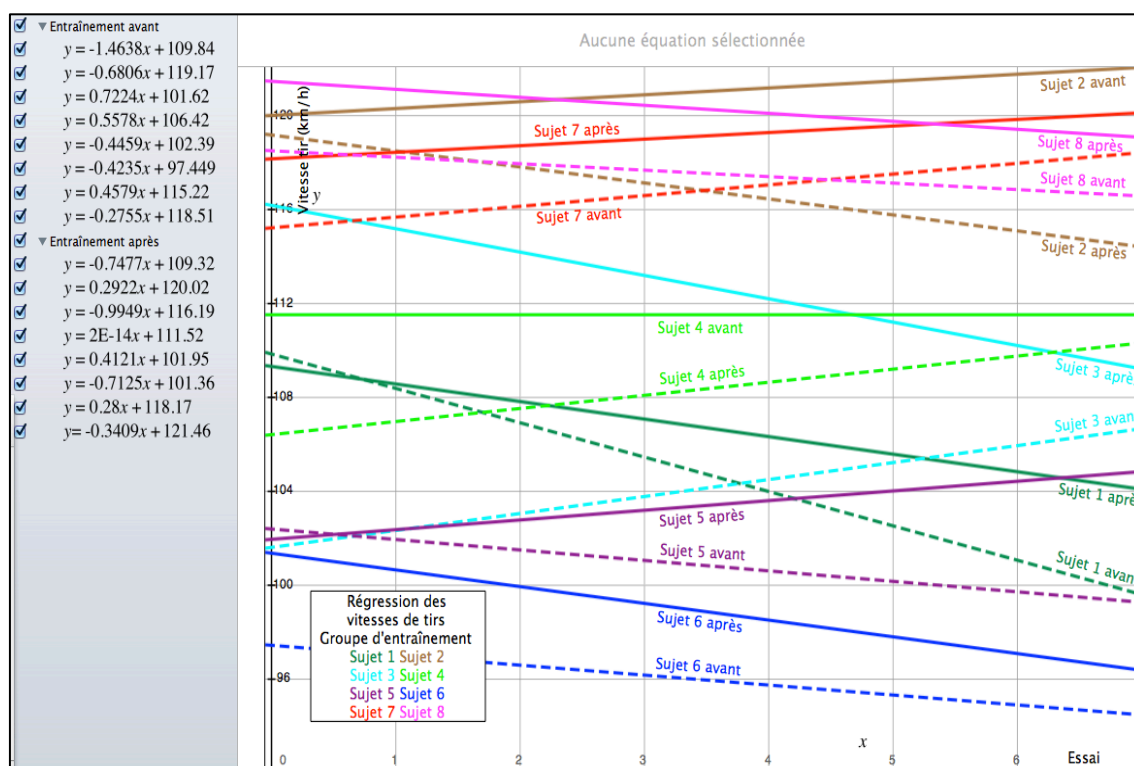


Fig. 57 Droites de tendance de la vitesse de tir lors des séries de 7 slapshots consécutifs chez les sujets du groupe d'entraînement avant (droites pointillées) et après (droites « pleines ») le processus d'entraînement.

Sur la figure ci-dessus, seules les pentes des droites de 3 sujets sur 8 s'améliorent. Il s'agit des sujets 1 (augmentation de la pente de 0.72), 2 (0.97) et 5 (0.86). Le sujet 3 présente une forte diminution de la pente de la droite de tendance (-1.72), alors que les sujets 4 (-0.56), 6 (-0.29), 7 (-0.18) et 8 (-0.07) ne démontrent qu'une faible régression. L'évolution moyenne des pentes des droites de tendance des 8 sujets du groupe d'entraînement est de -0.03.

Mon hypothèse C n'est pas vérifiée. Les sujets du groupe d'entraînement présentent une régression moyenne de 0.03 des pentes des droites de tendance. Seuls 3 sujets parmi eux améliorent leurs valeurs suite au processus d'entraînement. Chez les 7 sujets du groupe contrôle, les pentes des droites de tendance progressent chez 5 d'entre eux. Une augmentation moyenne de 0.22 y est constatée.

Notons encore que les droites de tendance de l'exercice principal A du bon côté sont illustrées en annexe 21 et 22. Elles sont construites sur la base de la puissance développée lors des 5 répétitions réalisées avant et après le processus d'entraînement chez les 8 sujets du groupe d'entraînement. 6 sujets sur 8 augmentent considérablement la pente de leur droite de tendance suite au processus d'entraînement. 2 des 3 sujets du groupe d'entraînement ayant fait progresser la pente de leur droite de tendance de la vitesse de tir ont également amélioré la pente de leur droite de tendance lors de l'exercice A.

6.4. Analyse des mouvements

Hypothèse D : Un entraînement de force, de vitesse et de renforcement musculaire durant 6 semaines mène à des modifications de la gestuelle du slapshot qui sont corrélées de manière significative à l'évolution de la vitesse moyenne du slapshot.

Pour confirmer ou rejeter cette hypothèse, un slapshot par série et par joueur a été analysé. Il était sélectionné parmi les 7 de la série en fonction de sa vitesse moyenne. Celui dont la vitesse était la plus proche de la moyenne des vitesses des 6 meilleures répétitions était choisi. L'angle de tir et la vitesse angulaire ont été analysés (cf. voir point 5.6.3. Gestuelle du slapshot).

6.4.1. Angle de tir

De faibles évolutions de l'angle de tir sont observées. D'après la figure 58 ci-après, 5 des 8 sujets ont présenté suite au processus d'entraînement un angle de tir plus élevé. Les évolutions vont de moins de -4% (sujet 1, correspondant à une différence d'angle de plus de 11°) à plus de 6% (sujet 3, environ 15°). La moyenne des évolutions est de 1.8% (écart-type : 3.92).

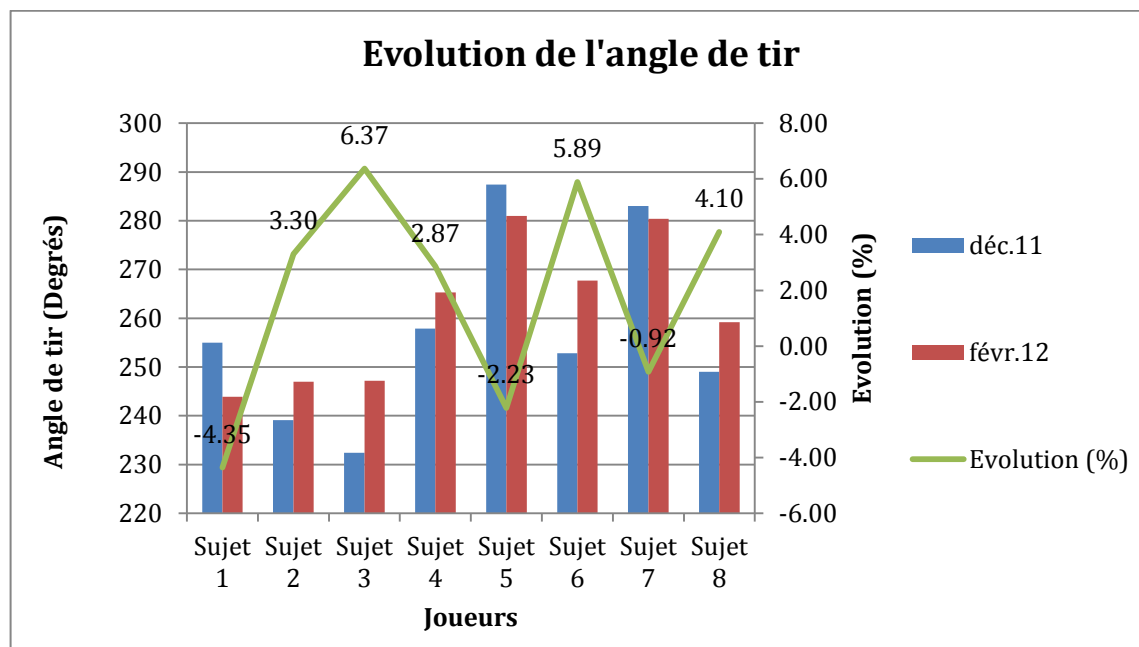


Fig. 58 Valeurs et évolution de l'angle de tir chez les sujets du groupe d'entraînement avant et après le processus d'entraînement.

Comparons maintenant l'évolution de l'angle de tir avec l'évolution de la vitesse moyenne de tir chez les sujets du groupe d'entraînement :

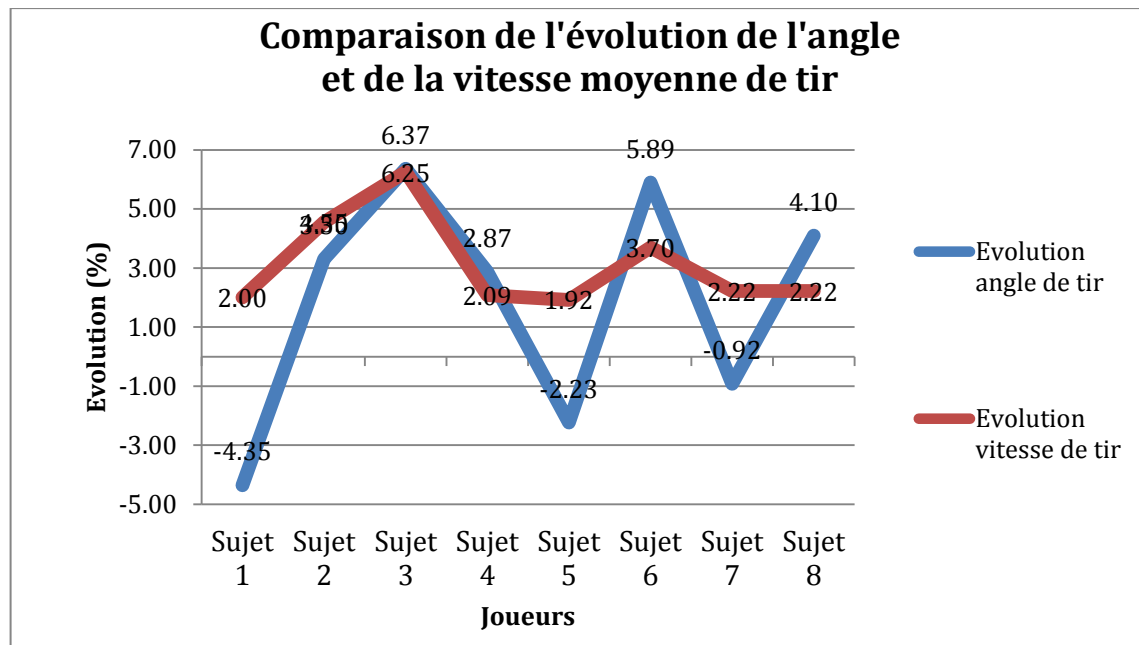


Fig. 59 Comparaison de l'évolution de l'angle de tir et de la vitesse moyenne de tir chez les sujets du groupe d'entraînement avant et après le processus d'entraînement.

Nous constatons que les sujets qui ont le plus augmenté leur vitesse moyenne de tir (sujets 2, 3 et 6) sont également ceux qui ont le plus augmenté leur angle de tir, à l'exception du sujet 8. A l'inverse, les sujets 1, 5 et 7, qui ont diminué leur angle de tir suite au processus d'entraînement, présentent les plus faibles valeurs d'évolution de la vitesse moyenne de tir.

Les deux variables semblent donc être liées. Nous vérifierons ceci plus tard.

6.4.2. Vitesse angulaire

Intéressons-nous désormais à l'évolution de la vitesse angulaire.

Comme l'illustre la figure 60, les sujets du groupe d'entraînement ont tous présenté une augmentation de leur vitesse angulaire. Cette évolution passe de 0.74% chez le sujet 1 (correspondant à 7.5°/s) à plus de 7% chez les sujets 2 (75°/s) et 6 (70°/s). La moyenne des évolutions de la vitesse angulaire des 8 sujets est de 3.27% (écart-type : 3.12).

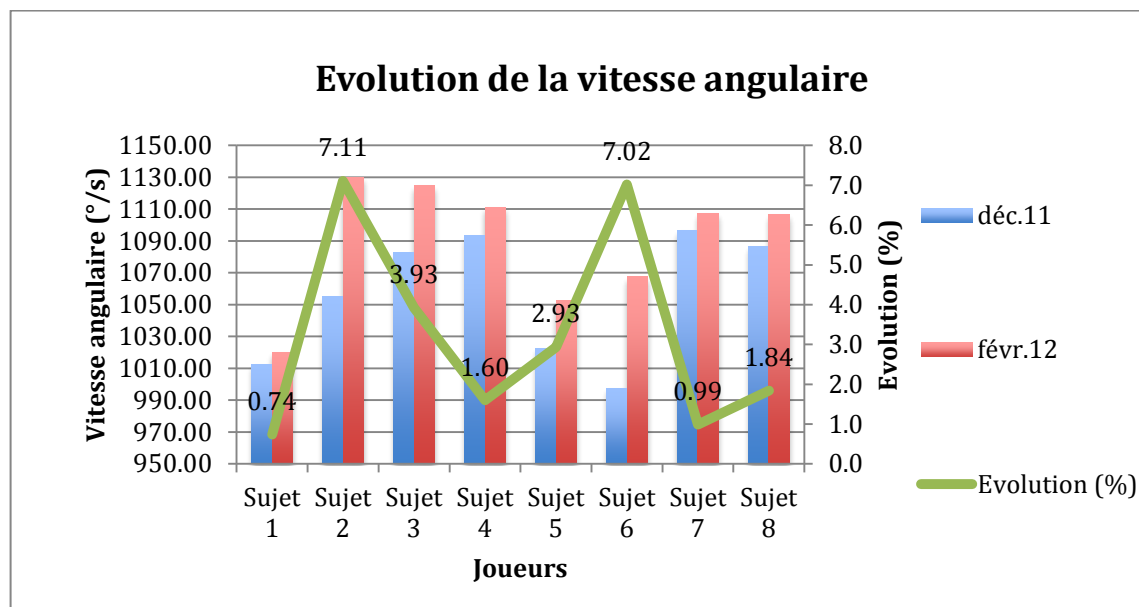


Fig. 60 Valeurs et évolution de la vitesse angulaire chez les sujets du groupe d'entraînement avant et après le processus d'entraînement.

D'après la figure 61, les sujets qui présentent les plus fortes progressions de la vitesse moyenne de tir (sujets 2, 3 et 6) sont, tout comme pour l'évolution de l'angle de tir, ceux qui démontrent les augmentations de la vitesse angulaire les plus conséquentes. Les sujets 1, 4, 7 et 8, qui ne présentent pas plus de 2% d'évolution de leur vitesse angulaire suite au processus d'entraînement, exposent les plus faibles évolutions de la vitesse moyenne de tir.

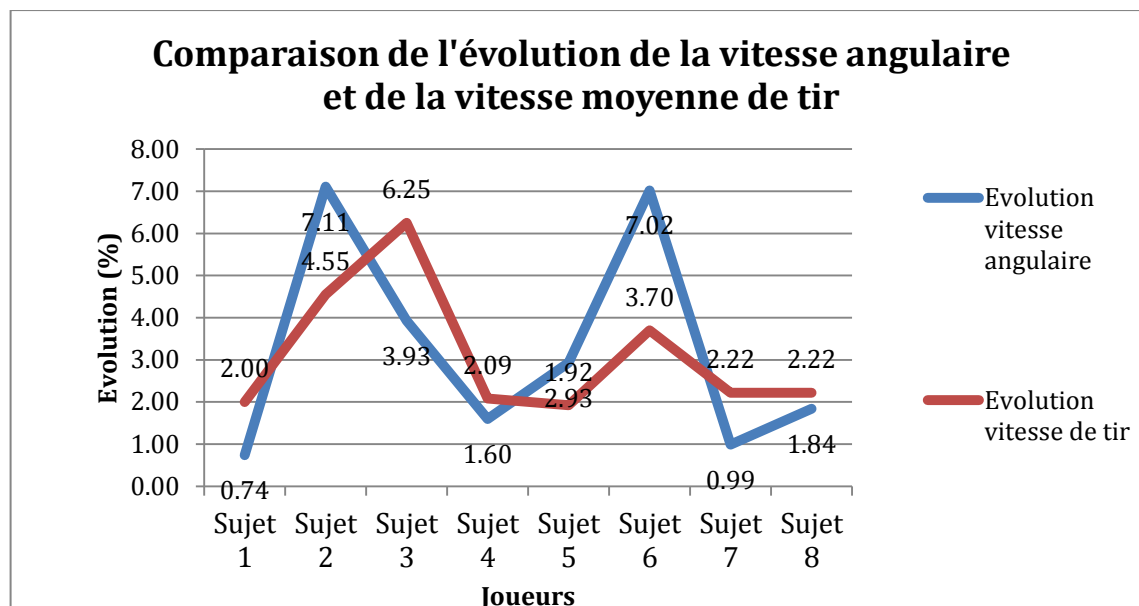


Fig. 61 Comparaison de l'évolution de la vitesse angulaire et de la vitesse moyenne de tir chez les sujets du groupe d'entraînement avant et après le processus d'entraînement.

A nouveau, les variables « évolution de la vitesse angulaire » et « évolution de la vitesse moyenne de tir » semblent fortement corrélées. Nous allons examiner cela

dès à présent, à l'aide du tableau 11 ci-dessous, qui met en corrélation les évolutions de l'angle de tir, de la vitesse angulaire et de la vitesse moyenne de tir :

Tab. 11 Tableau mettant en corrélation les évolutions des variables d'angle de tir, de la vitesse angulaire et de la vitesse moyenne de tir chez les sujets du groupe d'entraînement suite au processus d'entraînement.

Corrélations		Evolution_vitesse_tir	Evolution_angle_shoot	Evolution_vitesse_angulaire
Evolution_vitesse_tir	Corrélation de Pearson	1	,656	,737*
	Sig. (bilatérale)		,077	,037
	N	8	8	8
Evolution_angle_shoot	Corrélation de Pearson	,656	1	,614
	Sig. (bilatérale)	,077		,105
	N	8	8	8
Evolution_vitesse_angulaire	Corrélation de Pearson	,737	,614	1
	Sig. (bilatérale)	,037	,105	
	N	8	8	8

*, La corrélation est significative au niveau 0.05 (bilatéral).

Comme attendu, l'évolution de la vitesse angulaire est fortement corrélée à l'évolution de la vitesse moyenne de tir ($r = 0.737$), ceci de manière significative (Sig. < 0.05).

L'évolution de l'angle de tir est elle aussi bien liée à l'évolution de la vitesse moyenne de tir mais dans de plus faibles proportions ($r = 0.656$). Cette corrélation n'est toutefois pas significative, l'indice Sig. étant légèrement supérieur à 0.05 (0.077).

Les résultats obtenus me permettent d'accepter en partie mon hypothèse D. En effet, suite au processus d'entraînement, les 8 sujets ont légèrement modifié leur gestuelle de slapshot. En moyenne, ils ont présenté une augmentation de 1.8% de leur angle de tir et de 3.27% de leur vitesse angulaire. Aussi, la corrélation entre l'évolution de la vitesse angulaire et l'évolution de la vitesse moyenne de tir est importante ($r = 0.737$) et clairement significative (Sig. = 0.037). Par contre, bien que la corrélation entre l'évolution de l'angle de tir et l'évolution de la vitesse de tir soit relativement importante ($r = 0.656$), cette dernière n'est pas suffisamment significative (Sig. = 0.077) pour vérifier entièrement l'hypothèse.

7. Discussion

L'objectif de ce travail était de concevoir un programme d'entraînement menant à une augmentation de la vitesse moyenne du slapshot en hockey sur glace. Le processus d'entraînement, d'une durée totale de 6 semaines, s'est divisé en deux parties de 3 semaines chacune. Le premier « bloc » consistait principalement à développer la force, tandis que la seconde partie s'est davantage consacrée à développer la vitesse d'exécution. 8 joueurs chevronnés du HC Tramelan ont pris part au processus d'entraînement.

Pour tester l'efficacité du projet, les sujets du groupe d'entraînement ainsi que 7 sujets « contrôles » ont chacun effectué une série de 7 slapshots consécutifs à intervalle de 7 secondes avant et après le processus d'entraînement. Pour que les résultats soient qualifiés de valables, l'évolution de la vitesse moyenne de tir chez les sujets du groupe d'entraînement devait être significative ($p < 0.05$), positive et supérieure à celle du groupe contrôle.

En parallèle, j'ai cherché à déceler les éventuels liens entre les évolutions des résultats en salle de musculation et l'évolution de la vitesse moyenne de tir.

J'ai examiné la régression de la vitesse de tir au cours de la série de slapshot, ceci avant et après le processus d'entraînement. J'ai comparé les régressions des sujets du groupe d'entraînement et à celles des sujets du groupe contrôle.

Pour terminer, j'ai tenté d'observer si, suite au processus d'entraînement, les 8 sujets présentaient des modifications dans leur gestuelle de tir. Dans l'affirmative, étaient-elles corrélées significativement aux évolutions de la vitesse de tir ?

Points forts de mon travail

Mon étude me paraît intéressante de par le fait que le thème sélectionné n'a pas (ou très peu) été traité auparavant. Il s'agit par conséquent d'une étude pilote.

La grande difficulté rencontrée a été de développer un processus d'entraînement concret nécessitant l'incorporation d'une manière bien précise d'un grand nombre de composantes. Le fait que l'expérimentation ait mené à des résultats significatifs prouve que le processus d'entraînement a été conçu de manière sérieuse et rigoureuse.

L'aspect expérimental et pragmatique ressort fortement de cette étude.

Les sujets du groupe d'entraînement ont bien appliqué les consignes liées au protocole, malgré la situation difficile du club. En dépit d'une ou deux séances en salle de musculation laborieuses où la motivation n'était pas à son comble, les sujets ont pris à cœur le fait de suivre les entraînements en salle de musculation. Ils m'ont affirmé avoir eu du plaisir à suivre le protocole d'entraînement.

7.1. Limites et perspectives

Les résultats de l'étude sont positifs dans la mesure où ils ont permis de confirmer en partie mes hypothèses. Toutefois, il est important de mettre en évidence les limites de cette étude et d'en présenter les perspectives.

Nombre de sujets

Le nombre de sujets (8) ayant participé au processus d'entraînement étant relativement faible, il n'est pas possible d'établir des conclusions scientifiquement et statistiquement fiables. Ceci est particulièrement vrai lorsque les résultats diffèrent d'un sujet à un autre (voir les résultats des hypothèses C et D). Plusieurs corrélations ne sont pas significatives en raison de ce faible échantillon de sujets.

« Bruitage » des courbes de force et de vitesse

La charge relativement importante (15 kg) appliquée à l'exercice principal A en salle de musculation lors des mesures à l'aide de l'accéléromètre a mené à des bruitages des courbes de force et de vitesse. Celles-ci ne sont par conséquent pas totalement fiables et significatives. De plus, une pareille charge n'est pas représentative du mouvement du slapshot lors duquel une très faible résistance doit être vaincue. Il aurait été plus judicieux d'imposer une moindre charge (5 kg).

Situation du club

Le Hockey Club Tramelan, au cours de cette étude, évoluait en 1^{ère} ligue. Ayant à disposition un effectif très réduit pour ce niveau de compétition, l'équipe a rapidement occupé la dernière place du classement. Puis, à fin janvier 2012, suite à une saison régulière difficile et avant même le début des playouts, l'annonce de la relégation volontaire en 2^{ème} ligue a été communiquée aux joueurs. Une rumeur évoquant cette relégation sur le tapis vert circulait depuis quelques semaines dans

les vestiaires. Ainsi, la motivation des sujets du groupe d'entraînement vis-à-vis du processus d'entraînement s'est rapidement détériorée. Les dernières séances en salle de musculation ont tout de même eu lieu, mais l'envie n'était plus la même. L'étude a tout de même pu être menée à terme, mais elle n'aurait pu être prolongée.

Infrastructures et matériel

Le processus d'entraînement s'est déroulé dans la vétuste salle de musculation de l'« ArteCad Arena », patinoire du HC Tramelan. Les machines de musculation y sont peu nombreuses, anciennes et détériorées. Les sujets devaient parfois attendre leur tour avant de pouvoir exécuter certains exercices. L'espace à disposition était réduit et aucune aération digne de ce nom n'était disponible. Les conditions de travail n'étaient par conséquent pas optimales.

De plus, programmer et organiser les mesures de vitesse de tir a présenté de nombreuses difficultés. Il était envisagé dans un premier temps d'utiliser un système radar. Ceci aurait facilité les choses. Cette solution étant trop onéreuse, elle a été abandonnée. Il a été dans un deuxième temps question d'utiliser les ondes sonores pour effectuer les mesures. Finalement, elles ont été réalisées à l'aide d'une caméra. Cette méthode présente toutefois le désavantage d'avoir une marge d'imprécision de ± 2.2 km/h.

Perspectives

Comme cette étude est la première en la matière, il n'est pas possible d'établir une quelconque comparaison avec d'autres recherches. Les perspectives, par contre, sont nombreuses.

Premièrement, nous observons que suite à un entraînement d'une durée de 6 semaines, la valeur moyenne de tir a augmenté de manière significative. Que se passerait-il alors si cette période d'entraînement débutait plus tôt dans la saison (ou pré-saison) et se prolongeait ?

Deuxièmement, il serait intéressant d'appliquer cette démarche à différents niveaux de compétition. En effet, d'après la figure 12, le niveau de performance est fortement lié aux progrès réalisables. Ainsi, d'après cette logique, les joueurs amateurs augmenteraient fortement leur vitesse de tir, alors que les hockeyeurs

professionnels exprimeraient des progressions moins fortes que les 8 sujets dans mon étude ? Si tel était le cas, je conseillerais vivement aux entraîneurs des équipes amateur de mener à terme un tel processus d'entraînement.

Troisièmement, dans le cadre théorique de mon étude, j'ai comparé la biomécanique et d'autres propriétés du slapshot à celles du tir du poignet. Sachant que le tir du poignet est tout autant utilisé en hockey sur glace que le slapshot, en développer la vitesse de tir présenterait beaucoup d'intérêt. Les résultats seraient-ils comparables à ceux obtenus dans cette étude ?

Finalement, le but de cette recherche était d'augmenter la vitesse moyenne du slapshot, ceci dans le principal intérêt de gagner en efficacité sur la glace. N'y aurait-il pas d'autres moyens d'accroître la réussite d'un quelconque tir ? La précision du tir est-elle, elle aussi, entraînable ?

8. Conclusion

En réponse à ma question de recherche, à savoir « quels effets a un entraînement d'une durée de 6 semaines de renforcement musculaire, de force et de vitesse du haut du corps sur la vitesse du slapshot ? », je peux affirmer que, suite au processus d'entraînement, des modifications significatives de la vitesse moyenne du slapshot sont observées. En moyenne, les sujets du groupe d'entraînement ont augmenté de 3.28% la vitesse moyenne de leur tir frappé. Parmi eux, personne ne présente d'accroissement de la vitesse du slapshot inférieur à 2%. Les sujets du groupe contrôle, eux, présentent une régression moyenne de la vitesse de tir de 0.49%. Aucun sujet contrôle n'a démontré d'évolution de plus de 1%. L'évolution de la vitesse moyenne du slapshot du groupe d'entraînement n'est ni le simple fruit du hasard, ni due à l'état d'avancement dans la saison. Le processus d'entraînement mis en place a été efficient.

En nous référant aux résultats observés en salle de musculation, j'atteste que les 8 joueurs ont développé leur capacité à recruter et à synchroniser leurs unités motrices et donc leurs fibres musculaires. Ils ont amélioré leur coordination intramusculaire et intermusculaire. Ainsi, le processus d'entraînement a permis d'élever les valeurs moyennes et maximales de force et de vitesse lors des trois exercices principaux. Seul un sujet a présenté une régression d'une valeur moyenne de force (-3% lors des développés-couchés) et de vitesse (-2% lors de l'exercice A du mauvais côté). Par contre, aucune des évolutions des valeurs moyennes de force et de vitesse suite au processus d'entraînement ne sont corrélées de manière significative à l'évolution de la vitesse moyenne du slapshot. Par conséquent, les progrès observés en salle de musculation étaient peu représentatifs de ceux observés sur la glace. La seule corrélation conséquente et significative en salle de musculation est celle établie entre l'évolution des valeurs de vitesse et celle des valeurs de puissance. Ceci me pousse à me demander si mon choix d'axer les 3 premières semaines du processus d'entraînement sur la force était judicieux. Peut-être qu'en orientant l'entraînement davantage sur la vitesse d'exécution, l'évolution de la vitesse moyenne du slapshot aurait été plus importante.

5 sujets du groupe d'entraînement ont présenté des valeurs de puissance lors de l'exercice principal A du mauvais côté supérieures à celles développées lors de

l'exercice principal A du bon côté. Ceci suggère, en terme de puissance uniquement, que ces joueurs chevronnés auraient avantage à inverser leur côté de tir !

Concernant la régression de la vitesse moyenne de tir durant les 7 répétitions, les sujets du groupe d'entraînement, suite au processus d'entraînement, ont affiché une diminution moyenne de 0.03 de la pente des droites de tendance. Seuls 3 sujets parmi eux ont amélioré leurs valeurs. En comparaison, les sujets du groupe contrôle ont augmenté la pente des droites de tendance de 0.22 en moyenne. 5 sujets parmi les 7 ont présenté une progression des valeurs. Le processus d'entraînement n'a donc pas permis d'obtenir une plus faible régression de la vitesse moyenne du slapshot au cours des séries.

Le processus d'entraînement a mené à une légère modification de la gestuelle du slapshot chez les sujets du groupe d'entraînement. Ils ont présenté des augmentations de 1.8% de leur angle de tir et de 3.27% de leur vitesse angulaire. La corrélation entre l'évolution de la vitesse angulaire et l'évolution de la vitesse de tir est importante ($r = 0.737$) et significative. La corrélation entre l'évolution de l'angle de tir et l'évolution de la vitesse de tir est elle aussi relativement importante ($r = 0.656$) mais pas significative.

9. Bibliographie

Balsöm, P., Seger J.Y., Sjodin B., & Ekblom B. (1992). Maximal-Intensity Intermittent Exercise: Effect of Recovery Duration. *J. Sports Med*, 13, 528-533.

Bernstein, N. (1967). *The co-ordination and regulation of movements*. Oxford: Pergamon.

Bishop, D. & Castagna, C. (2002). La scienza della « repeated sprint ability ». *Teknosport*, 24.

Bompa, T. (2007). *Périodisation de l'entraînement, programme pour 35 sports*. Paris : Vigot.

Cometti, G. (2005). *Les méthodes de développement de la force*. Dijon : Centre d'Expertise de la performance.

Cometti, G. (s.d). *Les mécanismes de la force*. Dijon : Centre d'Expertise de la performance. Consulté la première fois le 7.2.2012.

Disponible sur : http://expertise-performance.u-bourgogne.fr/pdf/mecanismes_force_fin.pdf

Cometti, G. (s.d). *La résistance à la vitesse : Clé de la préparation physique en sports collectifs ?* Dijon : Centre d'Expertise de la performance. Consulté la première fois le 3.2.2012.

Disponible sur : <http://expertise-performance.u-bourgogne.fr/resistance.pdf>

Emmert, W. (1984). National Strength and Conditioning Association. *Journal*, 4-6, 68, 71, 73.

Hache, A. (2002). *The Physics of Ice Hockey*. Baltimore and London : The Johns Hopkins University Press.

Hoerner E.F. (1989). The dynamic role played by the ice hockey stick. Safety in ice hockey. *ASTM STP 1050*, 1, 154-163.

Lariviere, G. & Lavallee, H. (1972). Evaluation du niveau technique de joueurs de hockey de catégorie moustique. *Mouvement*, 7, 101-111.

Legiard, E. (2005). *Force : entraînement & musculation. De la théorie à la pratique*. Paris : Amphora.

Lessard, L.B. & Nemes, J. (1994). *Analysis and testing of graphite hockey sticks*. Mechanical laboratory II course project. Montreal : McGill University, Department of Mechanical Engineering.

Lomond, K. & Pearsall, D. (2004). *Muscle activation patterns during an ice hockey slapshot*. (pp. 510). Montreal : McGill University.

Marino, G.W. (1998). Biomechanical investigations of performance characteristics of various types of ice hockey sticks. *IS8S'98 Proceedings 1*, 184- 187.

Méry J. & Cometti G., (2004). *La résistance à la vitesse : études de la durée de récupération (20 ou 30 secondes) sur la performance et les paramètres de la foulée*. Dijon: Centre d'expertise de la performance.

Pearsall, D.J., Montgomery, D.L., Rothsching, N. & Turcotte, R.A. (1999). The influence of stick stiffness on the performance of ice hockey slap shots. *Sports Engineering*, 2, 3-11.

Pearsall, D.J. & Turcotte, R.A. (2000). *Exercise & Sport Science ed.* Garrett & Kirkendall, 675-692.

Pearsall, D.J., Hodges, A., Wu, T.-C., Turcotte, R., Lefebvre, R., Montgomery, D. et al. (2001). The performance of the ice hockey slap shot: the effects to stick construction and player skill. *Proceedings of XIX International Symposium on Biomechanics in sports*, 74-77.

Smith, L.V. & Bigford, R.L. (2009). *Laboratory Measurements of Ice Hockey Stick Performance*. 4th Asia-Pacific Congress on Sports Technology, Honolulu, Hawaii.

Vaast, C. (2003). *Les fondamentaux du cyclisme : compétitions, cycloport, cyclotourisme*. Paris : Amphora.

Villasenor, A., Turcotte, R.A. & Pearsall, D.J. (2006). Recoil effect of the ice hockey stick during a slap shot. *Journal of Applied Biomechanics*, 22(5), 202-211.

Wells, K.F. & Luttgens, K. (1976). *Kinesiology, scientific basis of human motion*. Philadelphia: W.B. Saunders Company.

Woo, T., Loth, J., Turcotte R.A. & Pearsall, D. (2004). *The ice hockey slap shot, elite versus recreational*. (pp. 511-514). Montreal : McGill University.

Wu, T.-C., Pearsall, D.J., Hodges, A., Turcotte, R. & Lefebvre, R. (2003). The performance of the ice hockey slap and wrist shots: The effect of stick construction and player skill. *Sports Engineering*, 6(1), 31-39.

Zatsiorski V. M. (1966). *Les qualités physiques du sportif*. In traduction Insep.

Illustrations provenant de l'Internet :

Fig. 8 *Principe d'entraînement de la surcompensation*. Consulté la première fois le 13.4.2012.

Disponible sur : <http://www.vssprint.com/img/photo/surcompensation.png>

Fig. 10 *Flexion du coude en régime concentrique*. Consulté le 14.6.2012. Disponible sur :

<http://3.bp.blogspot.com/->

[F6T1BCPJ7U8/TssLSnmVPQI/AAAAAAAAAXE/0uLY5OUgSao/s1600/concentrique.gif](http://3.bp.blogspot.com/-F6T1BCPJ7U8/TssLSnmVPQI/AAAAAAAAAXE/0uLY5OUgSao/s1600/concentrique.gif)

Fig. 11 *Extension du coude en régime excentrique*. Consulté le 15.6.2012. Disponible sur :

<http://4.bp.blogspot.com/->

[73WBPMzE_b0/TssMjB0_mdI/AAAAAAAAAXM/K6H_5ESo3Qo/s1600/excentrique.gif](http://4.bp.blogspot.com/-73WBPMzE_b0/TssMjB0_mdI/AAAAAAAAAXM/K6H_5ESo3Qo/s1600/excentrique.gif)

Entretien téléphonique :

Flaction, P., directeur général de la firme « myotest SA » (2012). Entretien téléphonique, suivi de l'auteur. Bienne, le 28 juin 2012.

10. Remerciements

Je souhaite adresser mes remerciements :

- Aux 8 sujets du groupe d'entraînement, qui se sont pleinement investis tout au long du processus d'entraînement.
- Au directeur général de la firme « Myotest SA », Monsieur Patrick Flaction, pour ses renseignements ainsi que pour la mise à disposition de la version professionnelle de leur logiciel informatique.
- À Alain Rouvenaz pour m'avoir fourni le matériel nécessaire et m'avoir suivi lors de cette étude.
- Au HC Tramelan, qui nous a donné l'autorisation d'utiliser la salle de musculation de l'« ArteCad Arena ».

Entraînement de puissance slapshot														
Fiche personnelle														
Nom:	Blanchard			Prénom:	Hervé			Poids:	85			Coté:	Left	
	Fmax Exercice A				Fmax Exercice B				Fmax Exercice 3					
	100%	90%	70%	40%	100%	90%	70%	40%	100%	90%	70%	40%		
Bon côté	38	35	25	15	90	80	65	35	80	70	55	30		
Mauvais côté	38	35	25	15										
Date	Type	Etat	Moment											
ME 28.12														
VE 30.12														
LU 02.01														
ME 04.01														
VE 06.01														
LU 09.01														
VE 13.01														
LU 16.01														
ME 18.01														
VE 20.01														
LU 23.01														
ME 25.01														
VE 27.01														
LU 30.01														
ME 01.02														
VE 03.02														
LU 06.02														
ME 08.02														

Légende

Type:	Force maximale	FM
	Hypertrophie	H
	Théra-Bands	TB
	Méthode Bulgare	MB
	Maison	M
Etat:	Effectué	✓
	Pas effectué	X
Moment:	Avant l'entraînement sur glace	AV
	Après l'entraînement sur glace	AP

10 x

4

**1^{ER} BLOC D'ENTRAINEMENT : FORCE MAXIMALE,
HYPERTROPHIE ET RENFORCEMENT MUSCULAIRE
MERCREDI**

HYPERTROPHIE ET RENFORCEMENT MUSCULAIRE

Enchaînement d'exercices

A^B - 1 - B - 2 - A^M - 3 - A^B - 4 - B - 5 - A^M - 6

A^B - 1 - B - 2 - A^M - 3 - A^B - 4 - B - 5 - A^M - 6

A^B : Exercice A à effectuer du « bon » côté
A^M : Exercice A à effectuer du « mauvais » côté

10 x
Aller-retour (25KG)


1

15 x
Chaque côté

5



B


Maximum de développés-couchés à 70% de 1RM
(voir fiche perso)



A

Maximum de répétitions à 70% de 1 RM (voir fiche perso)





2

1 x Extenseurs
1 x Fléchisseurs

15 x

6

Suivis de 10 lancers en rotation de ballon lourd (3kg) de chaque côté

3

Tirer derrière la tête, en prise de pronation

Annexe 2 Programme d'entraînement d'hypertrophie et de renforcement musculaire.



Annexe 3 Exercice A du programme d'entraînement de force maximale et d'hypertrophie.



Annexe 4 et 5 Exercice principal A (à gauche) et B (à droite) du programme d'entraînement théra-bands et renforcement musculaire.

Statistiques descriptives Groupe contrôle

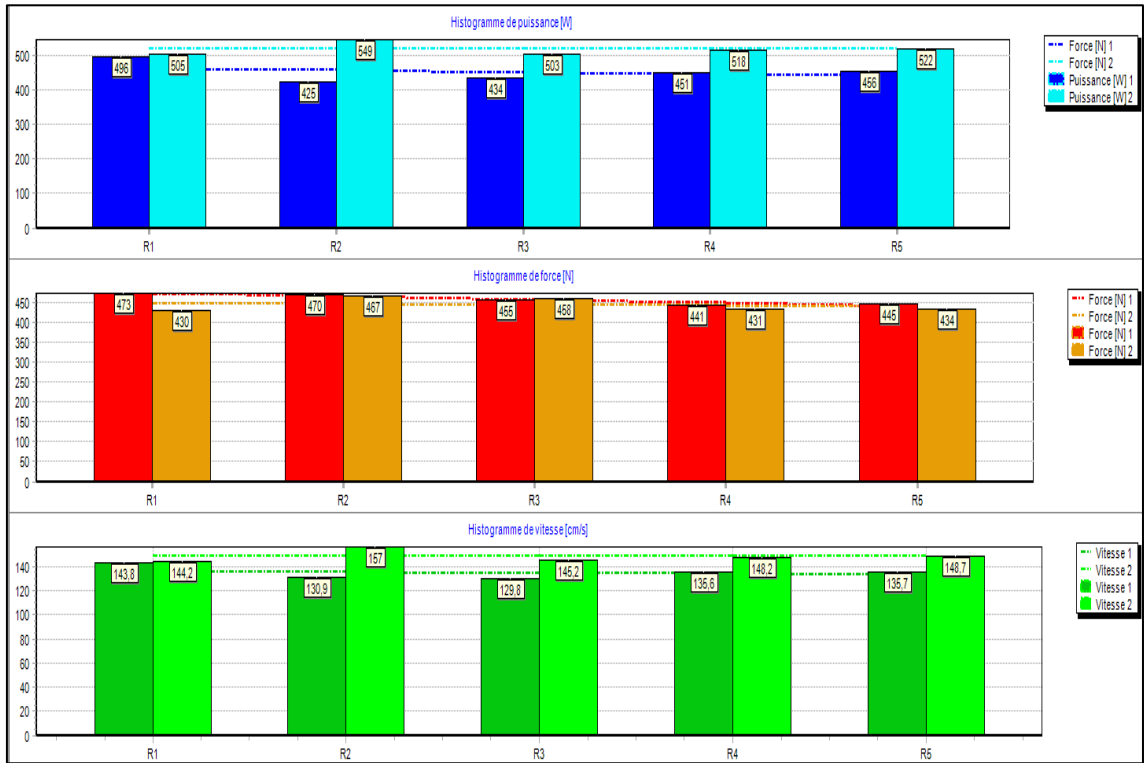
	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Centiles		
						25ème	50ème	75ème
Après	7	113,3800	8,98118	96,48	122,33	109,9400	115,4000	122,2900
Avant	7	113,9586	9,18125	96,16	122,29	109,8700	117,4100	121,8400

Annexe 6 Statistiques descriptives des séries de tirs du groupe contrôle en décembre 2011 et en février 2012.

Statistiques descriptives Groupe d'entraînement

	N	Moyenne	Ecart-type	Minimum	Maximum	Centiles		
						25ème	50ème	75ème
Après	8	112,3600	8,39252	99,14	121,82	105,0725	112,3250	121,0250
Avant	8	108,7975	8,11284	96,46	117,83	102,4950	107,1900	117,4625

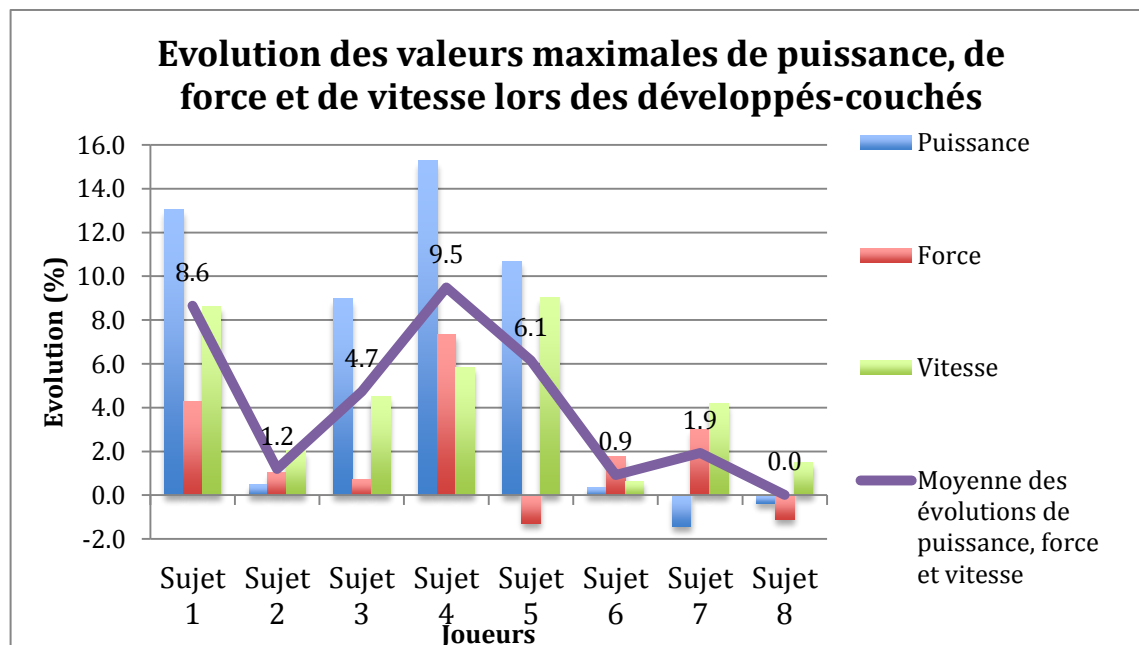
Annexe 7 Statistiques descriptives des séries de tirs du groupe d'entraînement avant et après le processus d'entraînement.



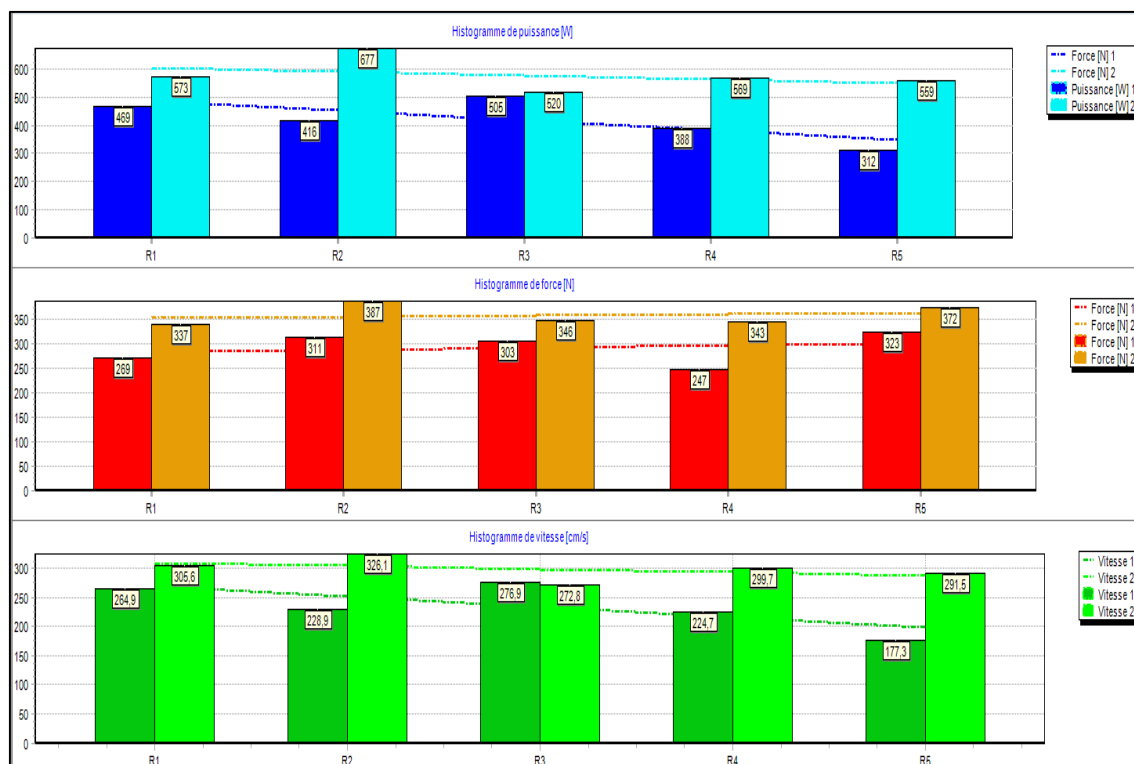
Annexe 8 Courbes de tendance (lignes pointillées) et histogrammes de puissance (bleu), de force (rouge-orange) et de vitesse (vert) lors des développés-couchés chez le sujet 5 avant et après le processus d'entraînement. Le sujet 5 accroit ses valeurs moyennes de puissance (15%) et de vitesse (10%), mais régresse au niveau de la force (-3%). Aucune évolution significative de la pente des courbes de tendance n'est détectable.

	Puissance	Force	Vitesse
Sujet 1	13	5	11
Sujet 2	9	2	9
Sujet 3	12	1	8
Sujet 4	25	7	14
Sujet 5	15	-3	10
Sujet 6	5	2	5
Sujet 7	1	3	5
Sujet 8	3	0	3
Evolution moyenne (8 sujets, en %)	10.3	2.2	8.2
Ecart-type	7.8	2.8	3.7

Annexe 9 Evolution moyenne des variables de puissance, de force et de vitesse (en %) suite au processus d'entraînement lors des développés-couchés chez les 8 sujets du groupe d'entraînement.



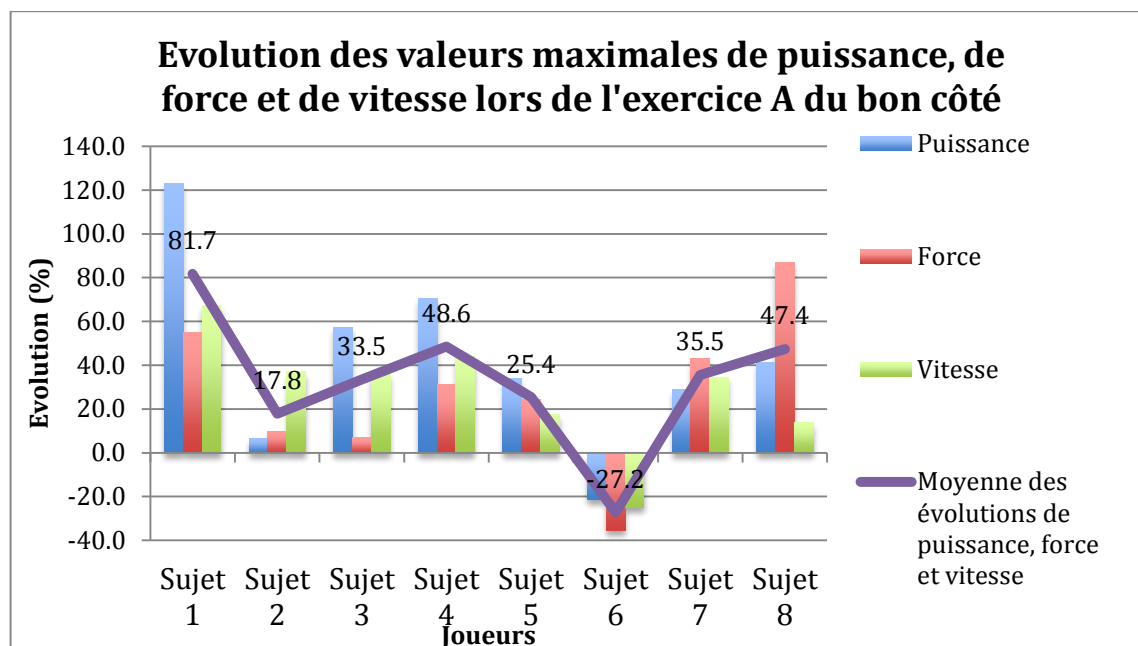
Annexe 10 Evolution des valeurs maximales de puissance, de force et de vitesse suite au processus d'entraînement lors des développés-couchés chez les 8 sujets du groupe d'entraînement et moyenne de ces 3 variables.



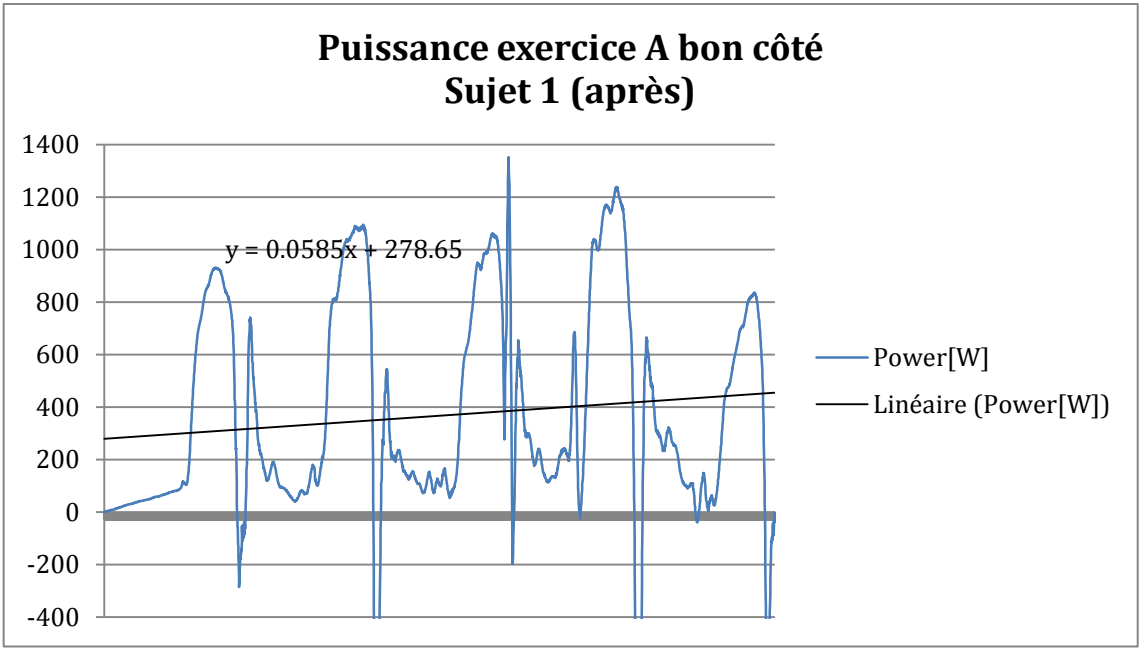
Annexe 11 Courbes de tendance (lignes pointillées) et histogrammes de puissance (bleu), de force (rouge-orange) et de vitesse (vert) lors de l'exercice A du bon côté chez le sujet 5 avant (colonnes de gauche) et après (colonnes de droite) le processus d'entraînement. Suite à celui-ci, le sujet 5 augmente ses valeurs moyennes de puissance (39%), de force (24%) et de vitesse (27%). Aussi, la pente des courbes de tendance correspondantes se redresse.

	Puissance	Force	Vitesse
Sujet 1	54	35	45
Sujet 2	28	16	29
Sujet 3	29	21	21
Sujet 4	73	14	50
Sujet 5	39	24	27
Sujet 6	21	11	14
Sujet 7	29	28	27
Sujet 8	50	63	26
Evolution moyenne (8 sujets, en %)	40.3	25.7	29.9
Ecart-type	17.5	17.2	11.9

Annexe 12 Evolution moyenne des variables de puissance, de force et de vitesse (en %) suite au processus d'entraînement lors de l'exercice A du bon côté chez les 8 sujets du groupe d'entraînement.



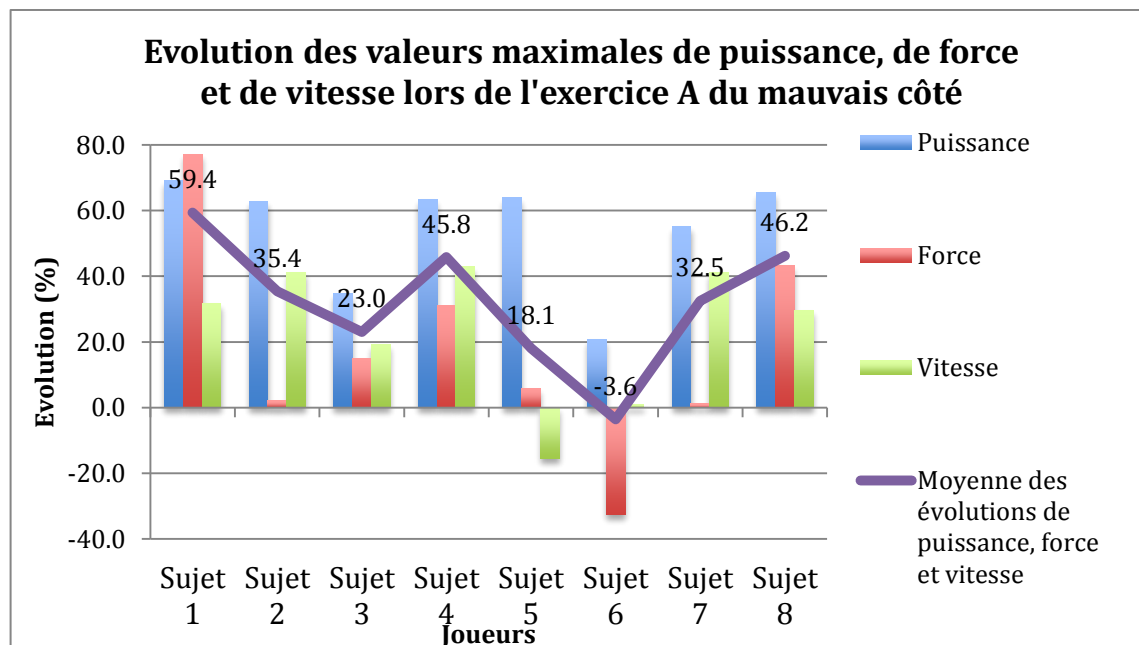
Annexe 13 Evolution des valeurs moyennes de puissance, de force et de vitesse suite au processus d'entraînement lors de l'exercice A du bon côté chez les 8 sujets du groupe d'entraînement et moyenne de ces 3 variables.



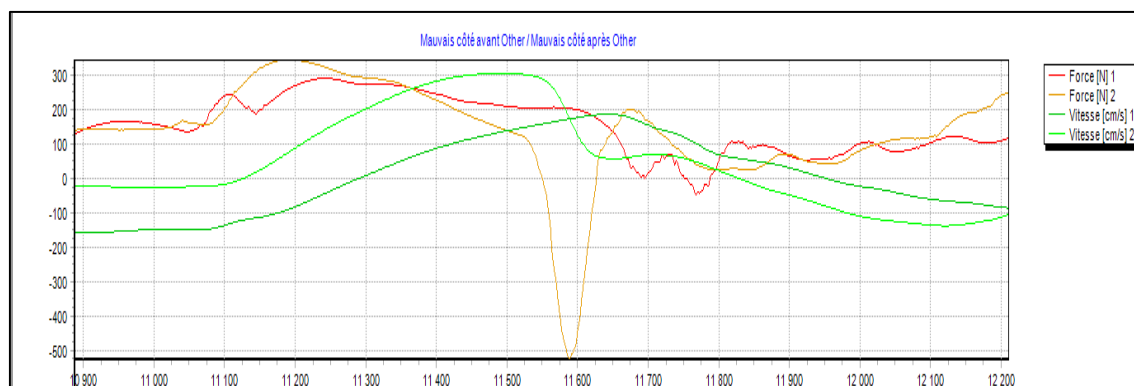
Annexe 14 Courbe de la puissance développée par le sujet 1 et droite de tendance lors de l'exercice A du bon côté après le processus d'entraînement. Lors de la 3^{ème} exécution du mouvement, la courbe de puissance atteint une valeur maximale de 1353 W.

	Puissance	Force	Vitesse
Sujet 1	66	49	39
Sujet 2	57	12	39
Sujet 3	31	17	12
Sujet 4	56	29	33
Sujet 5	13	30	-2
Sujet 6	43	15	20
Sujet 7	31	11	21
Sujet 8	39	42	12
Evolution moyenne (8 sujets, en %)	42.0	25.6	21.8
Ecart-type	16.9	14.4	14.6

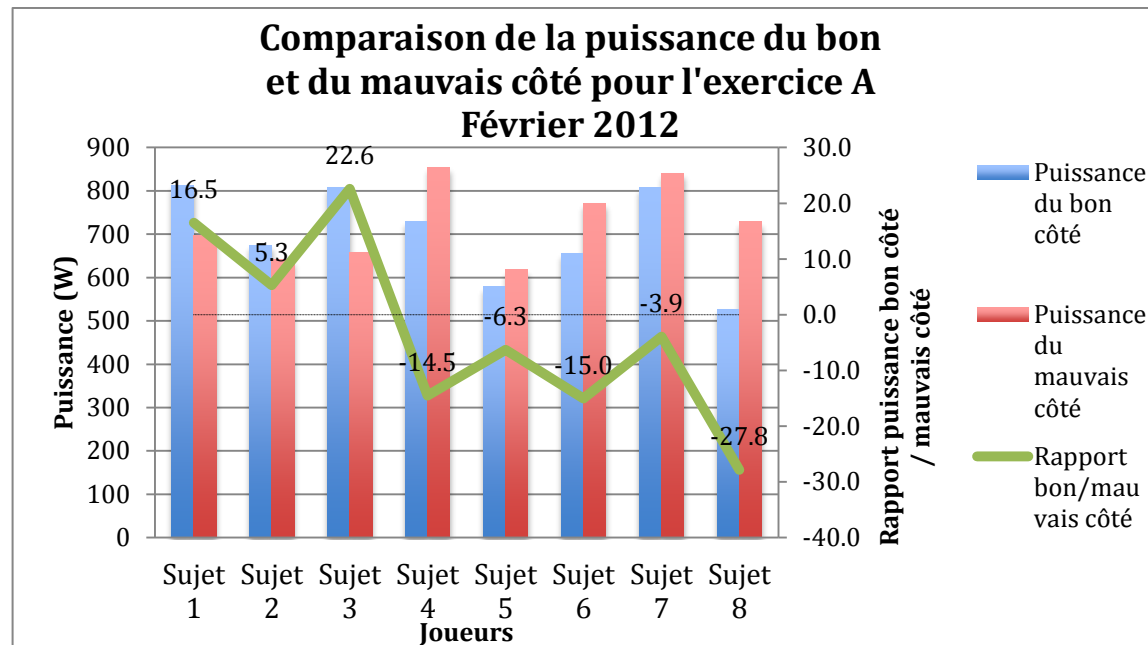
Annexe 15 Evolution moyenne des variables de puissance, de force et de vitesse (en %) suite au processus d'entraînement lors de l'exercice A du mauvais côté chez les 8 sujets du groupe d'entraînement.



Annexe 16 Evolution des valeurs moyennes de puissance, de force et de vitesse suite au processus d'entraînement lors de l'exercice A du mauvais côté chez les 8 sujets du groupe d'entraînement et moyenne de ces 3 variables.



Annexe 17 Comparaison des courbes de force et de vitesse chez les sujets 2 (en rouge et en vert foncé) et 7 (en orange et en vert clair) lors de l'exercice A du mauvais côté. Le sujet 2 présente les plus faibles valeurs moyennes de force (276 N avant le processus d'entraînement et 308 N après) et de vitesse (211 cm/s avant et 293 cm/s après), tandis que le sujet 7 présente une des plus fortes valeurs moyennes de force (305 N avant le processus d'entraînement et 340 N après) et de vitesse (309 cm/s avant et 374 cm/s après). L'importante montée de force chez le sujet 7 (dès le temps ≈ 11080 ms) mène à ces bonnes valeurs moyennes.



Annexe 18 Comparaison des valeurs moyennes de la puissance développée lors de l'exercice A du bon et du mauvais côté chez les 8 sujets de groupe d'entraînement après le processus d'entraînement et rapport entre elles. Les sujets 4, 5, 6, 7 et 8 développent davantage de puissance du mauvais côté que du bon !

Sujet	Développé-couché moy						Ex. A Bon côté moy						Ex. A Mauvais côté moy					
	Puissance	↗↘	Force	↗↘	Vitesse	↗↘	Puissance	↗↘	Force	↗↘	Vitesse	↗↘	Puissance	↗↘	Force	↗↘	Vitesse	↗↘
1	682	13	548	5	169	11	527	54	260	35	270	45	421	66	266	49	222	39
	771		574		187		812		352		392		697		396		309	
2	738	9	545	2	181	9	528	28	294	16	235	29	409	57	276	12	211	39
	804		558		198		675		340		304		641		308		293	
3	641	12	543	1	168	8	626	29	356	15	290	21	502	31	326	17	259	12
	715		551		181		808		409		352		659		380		290	
4	555	25	489	7	155	14	422	73	304	14	207	50	549	56	302	29	259	33
	695		522		177		730		347		310		854		391		344	
5	452	15	456	-3	135	10	418	39	288	24	235	27	545	13	296	30	260	-2
	519		444		149		579		357		299		618		385		254	
6	469	5	437	2	137	5	540	21	276	11	262	14	541	43	295	15	277	20
	494		446		144		656		305		299		772		338		333	
7	719	1	507	3	182	5	628	29	261	28	300	27	639	31	305	11	309	21
	726		520		192		807		335		380		840		340		374	
8	770	3	538	0	191	3	350	50	240	63	194	26	524	39	280	42	278	12
	792		538		196		526		391		244		729		398		312	
Moyenne		10.3		2.2		8.2		40.3		25.7		29.9		42.0		25.6		21.8
Ecart-type		7.8		2.8		3.7		17.5		17.2		11.9		16.9		14.4		14.6

Puissance: W

Force: N

Vitesse: cm/s

Annexe 19 Valeurs moyennes et évolution des 3 exercices principaux en salle de musculation chez les 8 sujets du groupe d'entraînement.

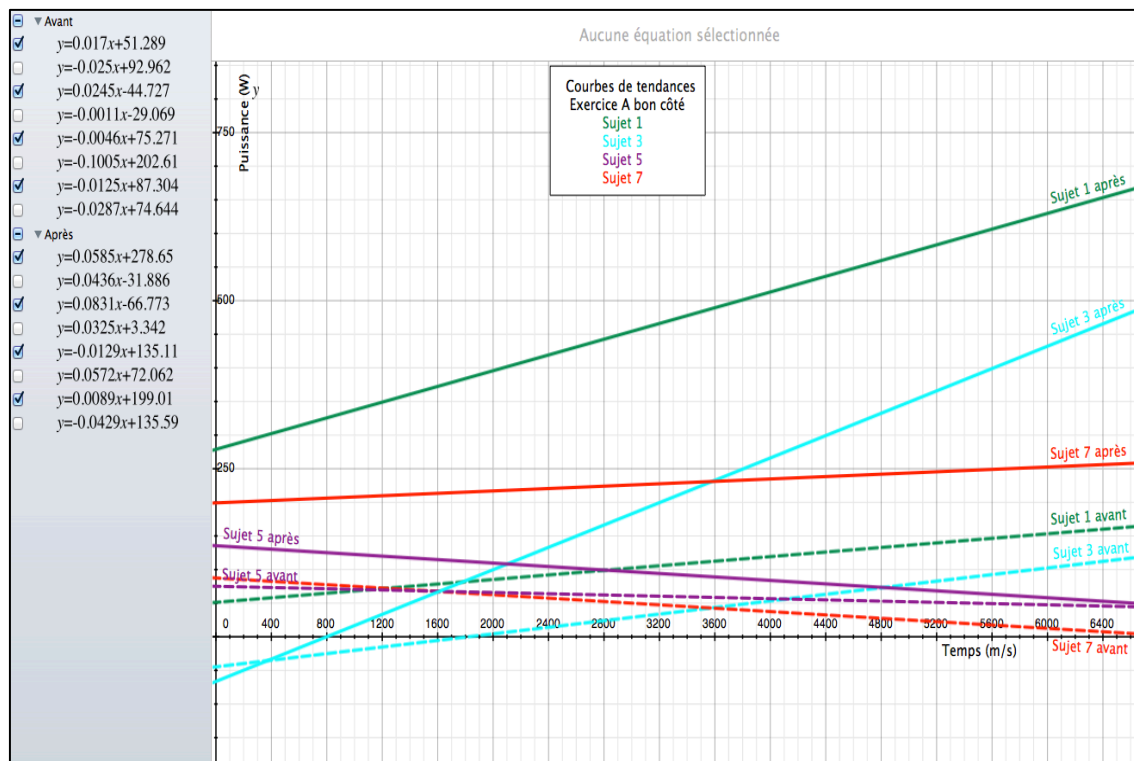
Sujet	Développé-couché max						Ex. A Bon côté max						Ex. A Mauvais côté max					
	Puissance	↗↘	Force	↗↘	Vitesse	↗↘	Puissance	↗↘	Force	↗↘	Vitesse	↗↘	Puissance	↗↘	Force	↗↘	Vitesse	↗↘
1	698	13	560	4	174	9	607	123	274	55	316	67	604	69	290	77	315	32
	789		584		189		1353		424		529		1022		514		415	
2	826	0	564	1	197	2	832	7	330	10	273	37	580	63	333	2	288	41
	830		570		201		888		362		374		944		340		407	
3	691	9	559	1	177	5	729	57	401	7	344	36	599	35	374	15	296	19
	753		563		185		1146		429		469		808		430		353	
4	635	15	504	7	171	6	481	71	322	31	238	44	612	63	325	31	275	43
	732		541		181		821		422		343		1000		426		393	
5	496	11	473	-1	144	9	505	34	311	24	277	18	687	64	383	6	369	-15
	549		467		157		677		387		326		1126		405		312	
6	549	0	452	2	154	1	1048	-21	508	-35	492	-25	816	21	513	-33	405	1
	551		460		155		823		328		370		986		346		409	
7	773	-1	532	3	191	4	730	29	313	43	331	34	851	55	342	1	401	41
	762		548		199		941		448		445		1320		346		566	
8	819	0	552	-1	198	2	500	41	261	87	274	14	690	66	320	43	342	30
	816		546		201		707		488		312		1143		459		443	
Moyenne		5.9		2.0		4.5		42.6		27.7		28.3		54.5		17.9		23.9
Ecart-type		6.8		2.9		3.1		43.3		36.3		27.0		17.3		32.9		21.2

Puissance: W

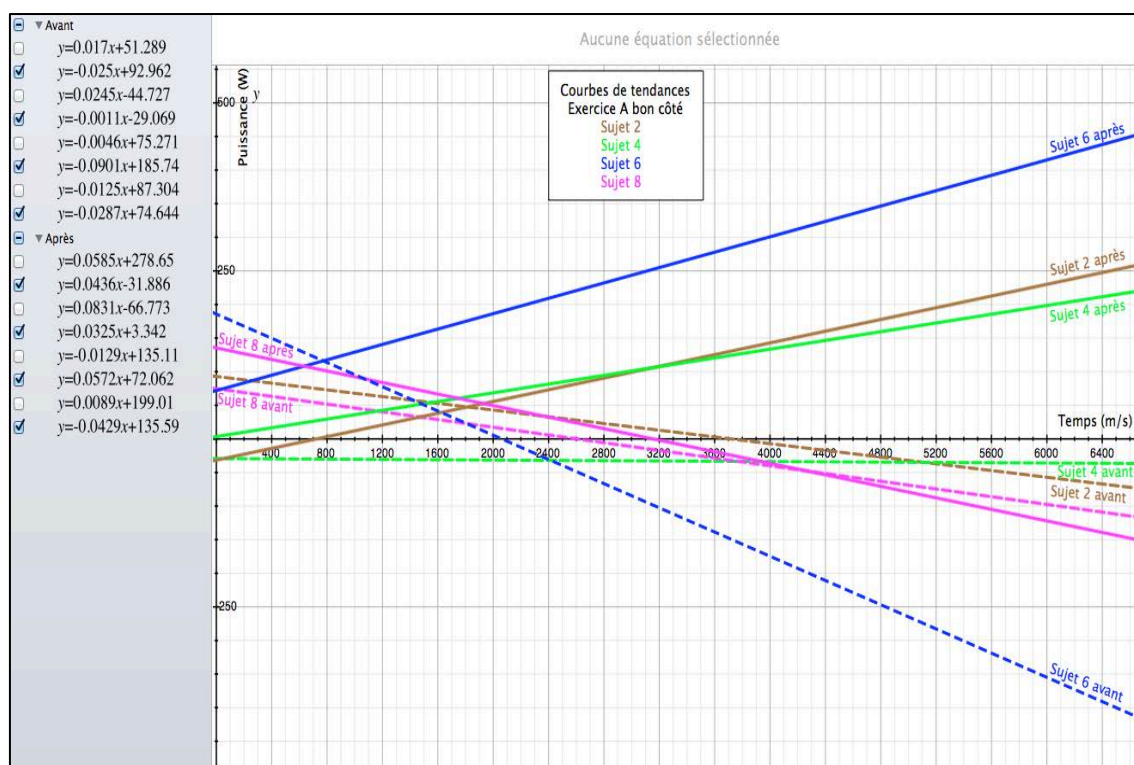
Force: N

Vitesse: cm/s

Annexe 20 Valeurs maximales et évolution des 3 exercices principaux en salle de musculation chez les 8 sujets du groupe d'entraînement.



Annexe 21 Droites de tendance lors de l'exercice A du bon côté chez les sujets 1, 3, 5 et 7 du groupe d'entraînement avant (droites pointillées) et après (droites « pleines ») le processus d'entraînement.



Annexe 22 Droites de tendance lors de l'exercice A du bon côté chez les sujets 2, 4, 6 et 8 du groupe d'entraînement avant (droites « pointillées ») et après (droites « pleines ») le processus d'entraînement.

Déclaration personnelle

"Je sous-signé certifie avoir réalisé le présent travail de façon autonome, sans aide illicite quelconque. Tout élément emprunté littéralement ou mutatis mutandis à des publications ou à des sources inconnues, a été rendu reconnaissable comme tel."

Bienne, le 6 juillet 2012

Signature

Droits d'auteurs

« Je sous-signé reconnaît que le présent travail est une partie constituante de la formation en Sciences du Mouvement et du Sport à l'Université de Fribourg. Je m'engage donc à céder entièrement les droits d'auteur - y compris les droits de publication et autres droits liés à des fins commerciales ou bénévoles - à l'Université de Fribourg.

La cession à tiers des droits d'auteur par l'Université de Fribourg est soumise à l'accord du sous-signé uniquement.

Cet accord ne peut faire l'objet d'aucune rétribution financière. »

Le 6 juillet 2012

Signature