

Sommaire

Résumé.....	iii
Liste des tableaux.....	vii
Liste des figures.....	ix
Liste des abréviations.....	xi
Remerciements.....	xiii
Chapitre I : Recension des écrits.....	1
1.1 Introduction : La dynamophilie.....	1
1.2 Historique.....	2
1.3 Les charges variables et leur apparition.....	2
1.4 La flexion de jambes.....	3
1.4.1 La flexion de jambes standard.....	3
1.4.2 La flexion de jambes en dynamophilie.....	6
1.4.3 La distance entre les pieds.....	7
1.4.4 L'angle d'ouverture des pieds.....	9
1.4.5 La technique.....	9
1.5 Le développé couché.....	10
1.5.1 Le développé couché standard.....	10
1.5.2 Le développé couché en compétition.....	10
1.5.3 La technique.....	11
1.6 Le soulevé de terre.....	14
1.6.1 Le soulevé de terre standard.....	14
1.6.2 Le soulevé de terre en dynamophilie.....	14
1.6.3 La technique.....	14
1.6.4 La différence entre le soulevé de terre et la flexion de jambes.....	16
1.7 Méthode d'entraînement : Bandes élastiques.....	17
1.8 L'effet des bandes élastiques.....	18
1.9 Les bandes élastiques et les gains en forces.....	19
1.10 Méthode d'entraînement : les chaînes.....	20
1.11 L'effet des chaînes.....	22
1.12 L'avantage des charges variables.....	23
1.13 Le ratio des études antérieures portant sur la biomécanique lors de l'utilisation des charges variables.....	24

1.14 Le ratio des études antérieures portant sur l'application d'un protocole d'entraînement.....	26
1.15 Les blessures	26
1.16 Le Wilks	28
Chapitre II : Matériel et méthodes	29
2.1 Hypothèse de recherche	29
2.2 Description des participants	29
2.3 Recrutement des participants	30
2.4 Procédure et évaluations initiales.....	30
2.4.1 Division des deux groupes	31
2.4.2 Programme d'entraînement.....	32
2.4.3 Ratio de charges variables utilisé.....	33
2.4.4 Entraînement avec charges variables	33
2.4.4.1 Bandes élastiques	33
2.4.4.2 Chaînes.....	39
2.4.4.3 Programme d'entraînement.....	39
Chapitre III : Résultats	41
3.1 Statistiques descriptives	41
3.2 Comparaison de moyennes entre les deux groupes.....	46
3.3 Analyse discriminante (validation croisée).....	49
3.4 Comparaison de moyenne entre les tests initiaux et finaux	50
3.4.1 Groupe expérimental.....	50
3.4.2 Groupe contrôle.....	51
Chapitre IV : Discussion	53
4.1 Flexion de jambes	53
4.2 Flexion de jambes	53
4.3 Développé couché.....	55
4.4 Soulevé de terre.....	58
4.5 Total	60
Conclusion	61
Bibliographie.....	63
Annexe A	67
Annexe B.....	76
Annexe C.....	78
Annexe D	79

Liste des tableaux

Tableau 1 : Angles des principales articulations à la flexion de jambes et soulevées de terre

Tableau 2 : Vitesse en m/s au développé couché

Tableau 3 : Études biomécaniques et les analyses dans la littérature scientifique à la flexion de jambes, développé couché et soulevé de terre

Tableau 4 : Études portant sur l'application d'un protocole d'entraînement avec charges variables à la flexion de jambes, développé couché et soulevé de terre

Tableau 5 : Fiche d'entraînement adaptée et calculée pour chaque sportif

Tableau 6 : Statistiques descriptives du 1RM à la flexion de jambes, au développé couché, au soulevé de terre et les Wilks associés à chacun des mouvements et le total lors de la semaine 1 et 9 chez le groupe expérimental et contrôle

Tableau 7: Pourcentage d'amélioration entre la semaine 1 et 9 et la taille d'effet

Tableau 8 : Test de Student et taille d'effet entre le groupe expérimental et contrôle à la semaine 1

Tableau 9 : Test de Student et taille d'effet entre le groupe expérimental et contrôle à la semaine 9

Tableau 10 : Test de validation croisée à la semaine 1

Tableau 11 : Test de validation croisée à la semaine 9

Tableau 12 : Résultats du test t pour échantillons appariés des deltas du groupe expérimental

Tableau 13 : Résultats du test t pour échantillons appariés des deltas du groupe contrôle

Liste des figures

Figure 1 : Profondeur nécessaire à la flexion de jambes selon l'IPF

Figure 2 : La flexion de jambes exécutée en compétition

Figure 3 : Le développé couché exécuté en compétition

Figure 4 : Phase d'accélération au développé couché à la première répétition, dernière répétition et au 1rm en fonction de la phase du mouvement

Figure 5 : Le soulevé de terre exécuté en compétition

Figure 6 : Méthode « double-looped » à gauche et attache directe à droite

Figure 7 : Moment du quadriceps en contraction concentrique

Figure 8 : Localisation des blessures dans la carrière sportive

Figure 9 : Fréquence des blessures dans la carrière sportive

Figure 10 : Procédure permettant d'attacher les bandes élastiques à la flexion de jambes

Figure 11 : Procédure permettant d'attacher les bandes élastiques au développé couché

Figure 12 : Procédure permettant d'attacher les bandes élastiques au soulevé de terre

Figure 13 : Prise de données à l'aide d'une balance et d'un stadiomètre.

Figure 14 : Tension des élastiques en fonction de la hauteur de la barre selon les trois mouvements de dynamophilie

Figure 15 : Évolution des différents Wilks du groupe expérimental

Figure 16 : Évolution des charges du groupe expérimental

Figure 17 : Évolution des Wilks du groupe contrôle

Figure 18 : Évolution des charges du groupe contrôle

Liste des abréviations

AMA: Agence Mondiale Antidopage

CCES : Centre Canadien pour l'Éthique dans le Sport

CM: Centimètre

CPU: Canadian Powerlifting Union

EMG: Électromyographie

FQD: Fédération Québécoise de Dynamophile

IPF: International Powerlifting Fédération

KG: Kilogramme

LBS: Livre

N: Newton

REP: Répétitions

RM: Répétition maximale

\bar{x} : Moyenne

Remerciements

Je voudrais remercier les Clubs qui ont participé à mon projet de recherches. Je remercie Joel Boulianne et Steve Dubé pour leur participation. Je remercie particulièrement les sportifs qui ont accepté de fournir tous ces efforts afin d'augmenter leur force maximale.

Je remercie énormément mon directeur de recherche Mario Leone qui a accepté de m'encadrer pour ce projet de recherche très unique. Son ouverture d'esprit et sa grande connaissance envers l'entraînement et la préparation physique m'ont permis d'établir la bonne méthode afin de comparer l'entraînement avec charges variables et la méthode classique.

La dynamophilie est un sport qui est très passionnant et celle-ci qui mérite beaucoup d'attention. Il est parfois difficile de se diriger dans les sports reliés à la force maximale. Encore de nos jours, certains sports ou fédérations de dynamophilie ne sont pas assujettis à des contrôles antidopages par le CCESS. Grâce au travail de Louis Lévesque, il est maintenant possible depuis plus de dix ans de participer à des compétitions permettant aux athlètes d'être éligibles à des tests antidopage. Les décisions prises par le conseil exécutif permettent d'encadrer les athlètes et de promouvoir la santé à travers l'entraînement en force. De plus, la sensibilisation qu'exercent les dirigeants et les membres de la Fédération Québécoise de Dynamophilie (FQD) contre le dopage a un effet très dissuasif envers tous les pratiquants voulant participer aux compétitions fédéré par la FQD. Je voudrais remercier la fédération de mettre beaucoup d'effort à lutter contre le dopage et ainsi me permettre de cheminer en tant qu'athlète et bénévole dans ce sport qui me passionne. Sans cette fédération, ce projet de recherche n'aurait pas pu avoir lieu et je voudrais remercier tous ceux qui comme moi se sont impliqués de loin ou de près dans l'élaboration et le développement de la FQD.

Chapitre I : Recension des écrits

1.1 Introduction : La dynamophilie

La dynamophilie est un nouveau sport qui connaît un élan de popularité incontestable. Dérivé d'un sport plus connu, l'haltérophilie, la dynamophilie est un sport qui mobilise de manière très importante la force musculaire maximale lors de l'exécution de trois mouvements distincts à savoir, la flexion de jambes (squat), le développé-couché (bench-press) et le soulevé de terre (deadlift). Lors des compétitions, chaque athlète doit réaliser chacune des épreuves dans un ordre prédéterminé qui correspond à l'ordre dont ils ont été énumérés.

L'objectif est de tenter de soulever la charge la plus lourde possible au cumulatif des trois mouvements. Chaque participant se voit octroyer trois essais par épreuves. Le gagnant de la compétition est celui qui cumulera le total de charge (kg) le plus élevé pour l'ensemble des trois épreuves. Un facteur de correction appelé formule de Wilks permet de relativiser la charge soulevée par rapport à la masse corporelle des participants. Les athlètes sont regroupés en fonction de l'âge et du genre. La performance pour chaque épreuve permet de constituer un livre des records en fonction de l'âge, de la masse corporelle et du genre. Les résultats sont identifiés et catégorisés selon les types de compétition. Les records provinciaux, nationaux ou internationaux sont enregistrés lorsque les charges sont exécutées et acceptés dans ces niveaux de compétitions (FQD, 2012).

L'International Powerlifting Federation (IPF) est l'organisation qui réunit le plus grand nombre d'athlètes sur le plan international. Cette fédération permet d'unifier l'ensemble des fédérations provinciales et nationales afin de standardiser les règlements, l'équipement et le déroulement des compétitions. La majorité des athlètes participent à des compétitions qui sont prises en charge par des fédérations provinciales ou nationales de dynamophilie. La Fédération Québécoise de Dynamophilie (FQD) sanctionne les compétitions régionales et provinciales au Québec tandis que l'Union Canadienne de Dynamophilie (CPU) sanctionne les compétitions nationales au Canada.

La FQD est la seule fédération reconnue par le Ministère de l'Éducation, du Loisir et du Sport (MELS) au Québec. Certains athlètes participent par contre à des compétitions non sanctionnées. Cette étude a tenu compte uniquement des athlètes membres de la FQD car celle-ci se réserve le droit de procéder à des tests de dépistage antidopage aux compétitions sanctionnées et hors compétition, selon la procédure et les normes utilisées par la CPU et la IPF par un prélèvement d'échantillon d'urine (FQD, 2012).

1.2 Historique

La dynamophilie a subi plusieurs changements quant au choix des exercices avant d'en arriver, en 1968, aux trois mouvements actuels. En 1971, les États-Unis organisèrent les premiers championnats du monde non officiels. L'IPF fut créé en 1973 afin de mettre sur pied des championnats du monde officiels. La création de l'IPF permet alors d'enregistrer les records à l'échelle internationale et de standardiser les compétitions pour toutes les fédérations affiliées (IPF, 2008).

1.3 Les charges variables et leur apparition

Initialement, les athlètes exécutaient les mouvements uniquement avec des barres d'entraînement standards. La préparation physique en dynamophilie a évolué, car plusieurs méthodes d'entraînement ont vu le jour. Louis Simmons est un entraîneur très populaire en dynamophilie. Il propose ses méthodes depuis plus de vingt ans sur internet (Simmons, 1996). Les méthodes de Simmons étaient très différentes, car il proposait des programmes d'entraînement plus diversifiés. En effet, il suggérait une gamme d'exercices beaucoup plus variée afin d'augmenter la force maximale lors des différents mouvements de dynamophilie. Ces nouveaux exercices ressemblaient beaucoup aux mouvements de compétitions, mais ceux-ci étaient exécutés de manières différentes à l'aide de matériel ou d'équipements variés. Il proposait par exemple de contrôler l'amplitude des mouvements à l'aide de certains auxiliaires d'entraînement comme une planche de bois situé à la hauteur du sternum lors du développé couché ou d'un banc lors de la flexion de jambes (Simmons, 1996).

Simmons suggérait aux athlètes d'utiliser des méthodes avec des charges variables. Les charges variables sont obtenues en utilisant des chaînes ou des élastiques fixés sur la barre d'entraînement. Ces méthodes permettent d'augmenter progressivement la charge tout au long du mouvement. Lorsque le leveur utilise des bandes élastiques fixées à la barre et au sol, la charge augmente pendant le mouvement. L'étirement de la bande élastique produit une augmentation de la charge d'entraînement. Lorsque le leveur utilise des chaînes, l'addition de la charge est provoquée par le déploiement des maillons qui quittent le sol un à un lorsque l'athlète exécute le mouvement. Cette façon de faire a l'avantage de favoriser la diversité lors des séances d'entraînement. Ces méthodes d'entraînement sont principalement utilisées à la flexion de jambes, au développé couché et au soulevé de terre, ce qui permet de respecter le principe de spécificité (Simmons, 1996).

1.4 La flexion de jambes

1.4.1 La flexion de jambes standard

La flexion de jambes est utilisée lors de la préparation physique dans de nombreux sports nécessitant des sprints ou des sauts (Escamilla et al., 2001a). Par exemple, Comfort a établi une relation positive entre l'entraînement de la flexion de jambes et l'amélioration de la vitesse de course au sprint chez des athlètes masculins au football (Comfort, 2012).

Toutes les articulations des membres inférieures sont sollicitées lors de ce mouvement. L'exercice s'effectue lors de la flexion simultanée de trois articulations; hanche, genoux et cheville (Fry, 2003). Il nécessite une qualité d'exécution très développée, car plusieurs points techniques sont à surveiller lors de la réalisation du mouvement. L'angle des pieds, le positionnement de la barre et la position de la tête sont des exemples de points techniques qui affectent le mouvement. Ces points techniques ont un impact important sur le mouvement, car ceux-ci affecteront directement l'orientation des différents segments corporels (Bryanton et al., 2012).

Généralement, la barre est déposée à la hauteur de la nuque sur les muscles trapèzes. Le dynamophile est en position debout et ses genoux sont tendus (Figure 2A). Lorsque le leveur amorce la descente (figure 2B), il exécute la portion excentrique du mouvement. La descente est obtenue lors de la flexion de la hanche et des genoux. La cheville exécute un mouvement de dorsiflexion (Nisell, 1985). De manière générale, la flexion de jambes peut être exécutée à différents degrés selon l'angle de flexion de l'articulation du genou (Schoenfeld, 2010). Le niveau d'angulation se divise en trois catégories : la flexion de jambes partielle (40°), la demi-flexion de jambes (70° à 100°) et la flexion de jambes complète (plus de 100°) (Schoenfeld, 2010).

En dynamophilie, les leveurs doivent exécuter des flexions complètes. Par contre, l'IPF n'a pas la même définition de la flexion complète lors des compétitions que Schoenfeld. Selon les règlements de l'IPF, les leveurs doivent abaisser leur corps jusqu'à ce que la surface supérieure des cuisses à l'articulation de la hanche soit plus basse que le sommet des genoux. Le cercle de la figure 1 représente la surface supérieure des cuisses à l'articulation de la hanche.

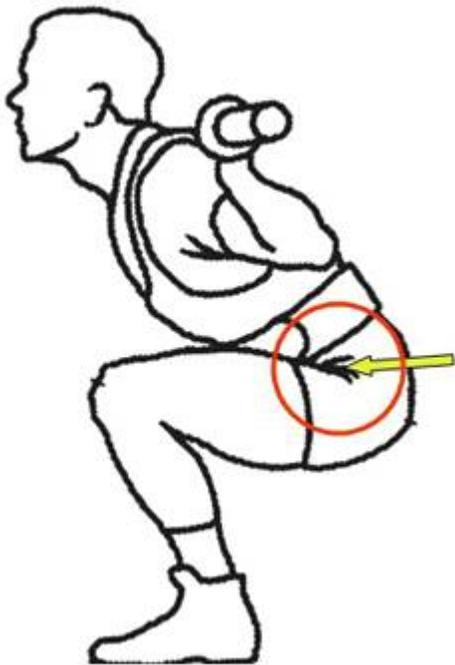


Figure 1 : Profondeur nécessaire à la flexion de jambes selon l'IPF (USA Powerlifting, 2013).

Les groupes musculaires utilisés sont principalement les quadriceps, les extenseurs du tronc, les fessiers et les ischiojambiers (Nisell, 1985). D'autres groupes musculaires sont sollicités en contraction isométrique afin de stabiliser le tronc du leveur (Nisell, 1985).



Figure 2 : La flexion de jambes exécutée en compétition. Début de la phase excentrique (A). Mi-parcours de la phase excentrique (B). Début de la phase concentrique (C). Mi-parcours de la phase concentrique (D). Photo prise par l'auteur au championnat provincial classique de dynamophilie 2013 de la FQD.

1.4.2 La flexion de jambes en dynamophilie

Les athlètes utilisent des techniques lors des mouvements leur permettant de lever la charge la plus lourde possible en fonction des règlements de l'IPF. La flexion de jambes pratiquée par les dynamophiles est différente par rapport à la méthode standard. Les sportifs utilisent divers points techniques lors du mouvement afin d'augmenter son efficacité. Ces différences s'expriment au niveau du positionnement du leveur, des points techniques, l'orientation des segments et des chaînes musculaires utilisés. Swinton et ses collègues ont publié en 2012 une étude afin de comparer la flexion de jambes standard et la flexion de jambes exécutée par des dynamophiles (Swinton, 2012). Cette étude a démontré que la barre est positionnée plus basse chez les dynamophiles, juste au-dessus des deltoïdes postérieurs. Cela a pour effet de diminuer la distance entre la charge de la barre d'entraînement et la hanche qui sert de pivot. Les muscles extenseurs du dos et fléchisseurs du genou seront davantage sollicités lors d'une flexion de jambes réalisée par un dynamophile contrairement à un autre sportif. L'orientation du tronc davantage horizontale chez un dynamophile augmente la sollicitation des muscles de la chaîne postérieure (Escamilla et al., 2001a)

L'emplacement de la barre influence l'orientation des segments corporels lors de l'exécution de la flexion de jambes. Fry et ses collègues (2003) étaient les premiers chercheurs à s'intéresser au positionnement du tronc et des genoux. Ils ont conclu que le tronc était dans un axe plus horizontal si les sujets avaient une planche qui empêchait le déplacement antérieur des genoux (Fry et al., 2003). Le déplacement antérieur des genoux permet de déplacer le centre de gravité par l'avant. Lorsque l'avancement des genoux est limité, le corps doit trouver un moyen afin de redistribuer le centre de gravité en ajustant l'orientation du tronc.

D'après Escamilla et ses collègues (2001b), l'athlète doit répartir adéquatement son centre de masse afin de trouver un équilibre lors de l'exécution du mouvement. La flexion de jambes standard permet au leveur d'orienter son tronc plus verticalement. Le déplacement antérieur des genoux est accentué lors d'une flexion de jambes standard

afin de replonger le centre de gravité vers l'avant. Cette position est obtenue afin de conserver le centre de pression sous les pieds du leveur (Escamilla et al., 2001b).

Les dynamophiles utilisent davantage les muscles extenseurs du dos afin de réussir à lever des charges plus lourdes. Les leveurs utilisent une technique qui permet d'orienter le tronc dans une position plus horizontale. Ce point technique diminue considérablement le déplacement antérieur des genoux. La force maximale des muscles extenseurs du dos est favorisée par l'amélioration du bras levier créé par le positionnement de la barre (Escamilla et al., 2001b). Le déplacement antérieur trop prononcé des genoux peut provoquer des contraintes au niveau de l'articulation (Chandler, 1992). Selon Swinton et ses collègues, un dynamophile préférera davantage disposer la barre d'entraînement au-dessus des deltoïdes postérieurs, car ceci prévient certaines blessures à l'articulation du genou (Swinton, 2012). L'articulation des genoux est sollicitée dans un angle de travail moins prononcé, car le déplacement antérieur est réduit. Ceci contribue à réduire le stress causé par le mouvement complet comme exigé en dynamophilie (Swinton, 2012). Par contre, cette technique augmente l'angulation au niveau de l'articulation de la hanche lors du mouvement. Ceci a pour conséquence d'augmenter le stress au niveau des vertèbres lombaires (Swinton, 2012).

1.4.3 La distance entre les pieds

La flexion de jambes sur banc est une flexion de jambes de type dynamophile exécutée en disposant un banc entre les jambes du leveur afin de contrôler l'amplitude du mouvement. Les dynamophiles s'assoient sur le banc en exécutant le mouvement lors de la phase excentrique et se lèvent lors de la phase concentrique. Swinton et ses collègues (2012) ont évalué l'impact du positionnement des pieds lors de la flexion de jambes. Treize dynamophiles ont été filmés pendant l'exécution de la flexion de jambes traditionnelle, flexion de jambes de type dynamophile et flexion de jambes sur banc. Les athlètes ont utilisé des charges représentant 30%, 50% et 70% de leur charge maximale. La charge maximale se définit par le 1RM. Divers marqueurs ont été placés sur les athlètes afin de mesurer la distance entre les pieds et évaluer l'impact sur le

mouvement. La largeur moyenne des pieds était de $89.6\text{cm} \pm 4.9\text{cm}$ pour la flexion de jambes de type dynamophile, $92.1\text{cm} \pm 5.1\text{cm}$ pour la flexion de jambes sur banc et $48.3\text{cm} \pm 3.8\text{cm}$ pour la flexion de jambes de type traditionnelle. La distance entre les pieds est significativement plus grande pour le sportif utilisant une flexion de jambes de type dynamophile. Il y a davantage de déplacements antérieurs de l'articulation du genou lors d'une flexion de jambes traditionnelle au cours de la phase excentrique. La flexion de jambes de type dynamophile et la flexion de jambes sur banc provoquent un déplacement horizontal supérieur du marqueur positionné sur la hanche (Swinton, 2012). Cette différence entre la flexion de jambes traditionnelle et les deux autres formes est due au déplacement du centre de masse qui est plus antérieur lors de la flexion de jambes standard. Le déplacement du centre de masse lors de la flexion de jambes de type dynamophile est davantage postérieur (Escamilla et al., 2001b; Fry et al., 2003).

D'après Swinton, l'espace entre les pieds modifie considérablement le mouvement. La position plus large des pieds lors de ce type de flexion de jambes favorise un moment de force supérieure à l'extension de la hanche et elle diminue celle de la flexion plantaire. La flexion de jambes de type dynamophile se caractérise aussi par une flexion de hanche et une rotation interne de la cuisse beaucoup plus marquée (Swinton et al., 2012).

D'après une étude d'Escamilla et ses collègues (2001a), les segments sont positionnés différemment lors d'une flexion de jambes de type dynamophile avec un positionnement des pieds larges. Escamilla et ses collègues ont filmé 39 dynamophiles exécutant la flexion de jambes lors d'un championnat national. Il a classé les individus dans trois catégories : flexion de jambes avec pieds rapprochés ($\sim 107\text{cm}$), flexion de jambes avec pieds largeur moyenne ($\sim 142\text{cm}$) et flexion de jambes pieds larges ($\sim 169\text{cm}$). Il y a des différences significatives au niveau de l'articulation des genoux à la flexion de jambes avec les pieds rapprochés ($106^\circ \pm 8^\circ$) versus la flexion de jambes avec pieds larges ($99^\circ \pm 10^\circ$) au point le plus bas.

1.4.4 L'angle d'ouverture des pieds

Une étude menée au « Human Performance Laboratory » à Sacramento a pratiqué une analyse biomécanique tridimensionnelle afin d'analyser l'effet de la distance entre les pieds et leur angle d'ouverture à la flexion de jambes. Ils ont étudié 39 dynamophiles à l'aide de deux caméras. Ils ont placé quinze repères anatomiques et pris des mesures pour différents degrés de flexion. L'étude met en évidence que l'articulation de la hanche à un degré de flexion significativement plus élevé lors de l'exécution d'une flexion des genoux avec un positionnement des pieds larges versus normale. Ils ont trouvé une corrélation positive entre la distance entre les pieds et leur degré d'ouverture. Escamilla et ses collègues ont déterminé que les pieds des participants étaient ouverts de huit degrés de plus en moyenne lors d'une flexion de jambes avec positionnement des pieds larges. Il y a des différences mesurables entre la position étroite et large, mais peu entre la position moyenne et large (Escamilla et al., 2001b).

1.4.5 La technique

Plusieurs techniques sont utilisées lors des compétitions et la forme n'est pas toujours la même d'un athlète à l'autre (Escamilla et al., 2001b). Une analyse du mouvement a été pratiquée par Mitello et collègues (2009) sur plusieurs dynamophiles dans le but de déterminer les différences techniques entre les divers niveaux d'athlètes. Lors du protocole d'évaluation, les dynamophiles ont exécuté trois flexions de jambes et la dernière répétition était le 1RM des sportifs. Ils ont détecté une différence significative entre les athlètes novices et ceux de niveau moyen. Ils ont remarqué que les plus expérimentés maintenaient un contrôle accru lors de la phase excentrique. L'accélération chez l'élite augmente légèrement tout au long de cette phase. Les athlètes les plus expérimentés étaient capables d'accélérer suffisamment la charge lors de la phase concentrique avant d'atteindre le point critique. Ceci permet à ces athlètes de plus haut niveau d'outrepasser cet angle de mouvement plus difficile pour le sportif. Pour plusieurs raisons physiologiques et biomécaniques, les athlètes possèdent une force et une puissance inférieure au point critique. De plus, les plus expérimentés

atteignaient le bon degré de flexion lors du mouvement. Il est crucial de contrôler la phase excentrique afin d'éviter une flexion de jambes excessive créant des tensions trop importantes dans les genoux et une perte d'efficacité (Miletello et al., 2009).

1.5 Le développé couché

1.5.1 Le développé couché standard

Le développé couché est utilisé dans la préparation physique afin d'entraîner les pectoraux, les triceps brachiaux et les deltoïdes antérieurs. La phase concentrique résulte de plusieurs actions. Les pectoraux et les deltoïdes travaillent ensemble afin de créer une abduction et d'une flexion du bras. Les triceps brachiaux sont principalement responsables de l'extension des avant-bras (Duffey et Challis, 2007).

1.5.2 Le développé couché en compétition

Le développé couché est la deuxième épreuve en dynamophilie. Celle-ci est utilisée afin de mesurer la force des membres supérieurs. L'athlète doit s'allonger sur le dos de façon à ce que sa tête, ses épaules et l'ensemble des muscles glutéaux soient en contact avec la surface du banc. Le sportif amène ensuite la barre à la hauteur de sa poitrine tout en gardant ses bras en extension complète (figure 3A). Lorsqu'il reçoit le signal, l'athlète descend la barre jusqu'au contact de la poitrine et il la maintient immobile (figure 3B). L'arbitre donne ensuite l'ordre de pousser, l'athlète pousse la barre jusqu'à la pleine extension des bras et il verrouille les deux coudes afin de maintenir la charge dans cette position (figure 3A) (FQD, 2012).



Figure 3 : Développé couché exécuté en compétition. Début de la phase excentrique (A) et début de la phase concentrique (B). L'image a été captée par l'auteur au championnat provincial classique de dynamophilie 2013 de la FQD.

1.5.3 La technique

D'après Madsen et McLaughlin (1984,) la portion concentrique de ce mouvement est exécutée d'une manière différente en dynamophilie. Le sportif descend la barre à la hauteur des pectoraux lors de la descente. La barre sera positionnée plus basse que l'articulation glénohumérale à la fin de la phase excentrique. Lorsque l'on regarde les courbes d'accélération de l'étude de Madsen et McLaughlin (1984), on s'aperçoit qu'il y a deux phases d'accélération distinctes lors d'un effort maximal. Le sportif amorce la première phase lors du début de la portion concentrique du mouvement. Il pousse la barre en remontant celle-ci graduellement à la hauteur de l'articulation glénohumérale. La deuxième phase d'accélération du développé couché est exécutée à la fin de la phase concentrique du mouvement. La barre est alors à la même hauteur que l'articulation glénohumérale, car celle-ci remonte tout au long du mouvement. Certains muscles sont davantage utilisés lors de la deuxième phase. Les deltoïdes, les triceps brachiaux et les grands dorsaux permettent de verrouiller les bras à la fin de la phase concentrique (Madsen et McLaughlin, 1984).

Les méthodes d'entraînements classiques prescrivent l'utilisation de charge plus basse plutôt que la charge maximale afin de développer la force et la vitesse (Thomas et al., 2007; Wilson et al., 1993). Une étude s'est intéressée à la biomécanique d'une

série de plusieurs répétitions exécutée jusqu'à ce que la barre ne puisse plus remonter avec une charge en dessous du 1RM. En effet, Duffey et Challis (2007) ont observé plusieurs différences entre la première et la dernière répétition avec des charges correspondant au 75% du 1RM, alors que la dernière répétition était deux fois plus lente. Les chercheurs ont analysé la vitesse de déplacement de la barre afin de déterminer une différence entre la première et la dernière répétition. Les analyses démontrent que la dernière répétition possède deux pointes d'accélération tandis que les premières répétitions de la série ont seulement une accélération (Duffey et Challis, 2007).

La barre se déplace à la hauteur des épaules du leveur lors de la phase concentrique de la dernière répétition. Les points techniques reportés lors de l'analyse de Madsen et McLaughlin se retrouvent lors de la dernière répétition de l'étude de Duffey et Challis. (Duffey et Challis, 2007). Les deux phases du développé couché initialement observées par Madsen et McLaughlin sont présentes lors de l'analyse de Duffey et Challis. En effet, les deux pointes de vitesses se retrouvant à la figure 4 font référence aux débuts de chacune des phases observées par Madsen et McLaughlin (Madsen et McLaughlin, 1984).

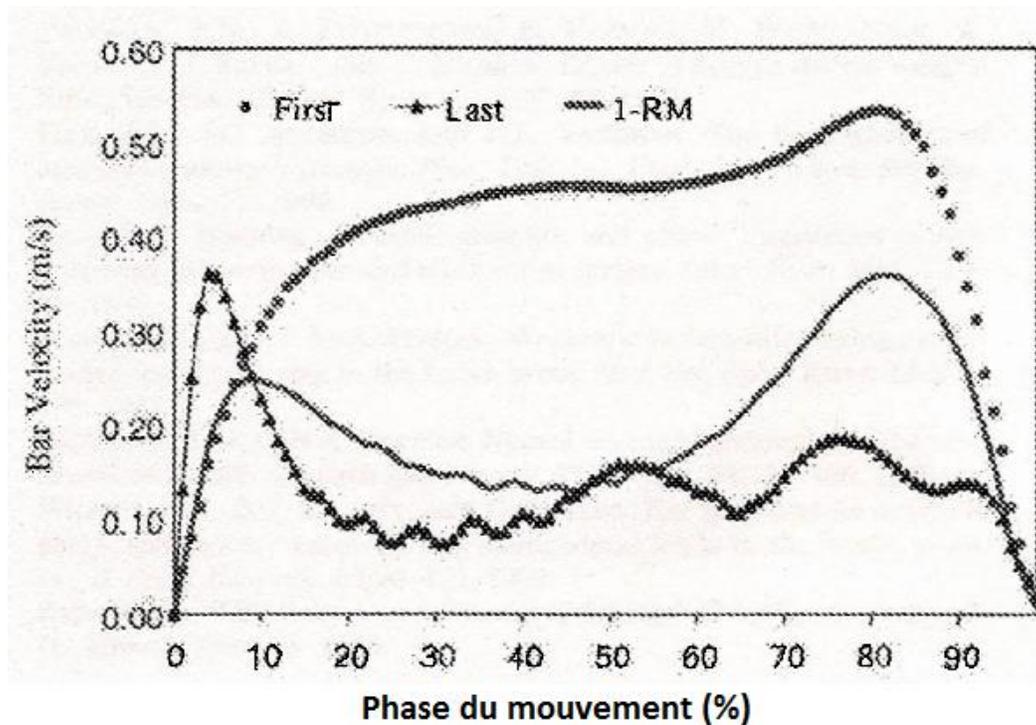


Figure 4 : Phase d'accélération au développé couché à la première répétition, dernière répétition et au 1rm en fonction de la phase du mouvement (Duffey et Challis, 2007, p559).

Lors d'un effort sous-maximal, on observe selon Duffey et Challis une seule augmentation de la vitesse au début de la phase concentrique. La barre ne remonte pas vers l'articulation de l'épaule. Les analyses démontrent qu'il y a un point critique situé au milieu du mouvement, car il y a une perte de vitesse. Le sportif est plus faible lors de cette portion du mouvement, car la force exercée par les pectoraux varie selon l'angle de mouvement. Ce point critique est situé à la fin de la première phase. Les athlètes remontent la barre progressivement vers l'articulation de l'épaule lors d'un effort maximal afin de favoriser l'utilisation des deltoïdes, des triceps brachiaux et des grands dorsaux lors de la poussée pour outrepasser le point critique (Duffey et Challis, 2007).

1.6 Le soulevé de terre

1.6.1 Le soulevé de terre standard

Lors de l'exécution du soulevé de terre, plusieurs groupes musculaires importants sont utilisés. L'exercice est obtenu par l'extension du bas du dos, de la hanche, des genoux et des chevilles (Hales et al., 2009).

1.6.2 Le soulevé de terre en dynamophilie

Le soulevé de terre est le dernier des trois mouvements de compétition de la dynamophilie. L'athlète saisit la barre qui est placée au sol avec ses deux mains en utilisant la prise qu'il désire. L'exercice consiste à se redresser complètement jusqu'à ce que les genoux soient verrouillés et que les épaules soient positionnées vers l'arrière (FQD, 2012).

1.6.3 La technique

Le leveur peut choisir entre le style conventionnel et le style sumo (Escamilla et al., 2001c). Ceux qui utilisent la technique traditionnelle placent les mains à l'extérieure des cuisses (Hales et al., 2009). Les leveurs qui utilisent la technique de soulevé de terre de type sumo placent leurs mains à l'intérieur des cuisses. Les pieds sont disposés plus large comparativement au style conventionnel. La figure 5A illustre la technique de soulevé de terre de type traditionnel et la figure 5B illustre la technique de soulevé de terre de type sumo. Lorsque le soulevé de terre traditionnel est exécuté avec une charge maximale, il peut y avoir une exagération de la courbure au niveau des vertèbres thoraciques. Cette courbure exagérée porte le nom de cyphose thoracique. Elle permettra à l'athlète de rapprocher la barre le plus près possible de ses hanches et de l'articulation lombo-sacrée (Hales et al., 2009). Cette cyphose est davantage présente au soulevé de terre traditionnel et elle augmente le potentiel de blessure. Le stress est davantage localisé sur les ligaments de la colonne vertébrale si cette courbure est présente (Hukins et al., 1990).

Le soulevé de terre sumo permet au sportif de positionner sa barre plus près de son corps pendant toute la phase concentrique du mouvement. Ce style de soulevé de terre aura pour effet d'améliorer l'efficacité de trois articulations importantes lors du soulevé de terre. Les genoux, l'articulation lombosacrée et l'articulation de la hanche ont une meilleure efficacité, car la barre est plus près du centre de masse (Escamilla et al., 2000; Schipplein et al., 1990).



Figure 5 : Soulevé de terre exécuté en compétition. Le début de la phase concentrique au soulevé de terre de forme traditionnelle correspond à l'image (A) et sumo (B). Photo prise par l'auteur au championnat provincial classique de dynamophilie 2013 de la FQD.

Lors du championnat international de 1999, des mesures ont été recueillies sur des dynamophiles (Escamilla et al., 2001c). Ils ont choisi au hasard 20 compétiteurs qui utilisaient un style de soulevé de terre sumo et 20 autres qui se positionnaient de manière conventionnelle. Lorsque les athlètes se positionnaient de manière sumo, ils avaient une prise 20% plus étroite sur la barre causée par le conflit entre les genoux et les bras. La barre parcourait de 10 à 15% moins de distance avec la technique de soulevée de terre sumo. Le tronc des leveurs sumos était plus vertical et les cuisses plus horizontales au départ. Un élément intéressant observé lors de cette étude est que les leveurs sumos n'étaient pas capables d'appliquer la même vitesse à leur barre que les leveurs conventionnels, possiblement à cause de la position des pieds et des bras qui sont nettement différents. Les deux groupes ont généré une extension du genou dès le

départ, mais celle des levés sumos était supérieure. Ceux pratiquant la technique de soulevé de terre de type sumo ont utilisé d'une manière plus importante les muscles extenseurs du genou. Les athlètes utilisant une technique de soulevé de terre traditionnelle utilisent davantage les muscles responsables de la flexion du genou (Escamilla et al., 2001c).

1.6.4 La différence entre le soulevé de terre et la flexion de jambes

L'étude d'Hales et al. (2009) compare le soulevé de terre et la flexion de jambes afin de trouver les différences entre les deux mouvements. Hales et ses collègues ont utilisé les points critiques afin de déterminer une différence. Les points critiques apparaissent lorsque la vélocité de la barre diminue. Les levés échouent la phase excentrique du mouvement lorsqu'ils n'atteignent pas une vélocité suffisante qui permettrait d'outrepasser cette portion plus difficile. Comme le montre le tableau 1, les articulations n'ont pas le même degré de flexion à P3 qui représente le point critique pour chacun des mouvements. Il y a donc des différences évidentes entre les deux exercices. C'est pour cette raison qu'ils ne peuvent pas être substitués l'un à l'autre d'après Hales et ses collègues (2009). Les auteurs de l'article mettent en garde les entraîneurs, car il est très difficile d'entraîner la zone critique au soulevé de terre. Ces zones sont présentes chez les athlètes de tous niveaux, car ils sont causés par plusieurs facteurs physiologiques. Les deux principaux facteurs expliquant les points critiques sont que la force de chaque articulation varie selon l'angulation et les transitions musculaires affectent la force du levé lors du mouvement. En conclusion, les auteurs stipulent que sur la base de leurs travaux, la meilleure façon d'améliorer le soulevé de terre est d'entraîner ce mouvement selon le principe de spécificité (Hales et al., 2009).

Tableau 1 : angles des principales articulations à la flexion de jambes et au soulevé de terre au P1, P2 et P3 (Hales et al., 2009, p. 2576).

Relative angles.			
Lift type	Relative joint angle (deg)		
Hip			
Squat	57.85 ± 7.88*	67.32 ± 9.89*	81.77 ± 6.03*
Deadlift	69.07 ± 8.41*	85.38 ± 7.29*	95.63 ± 8.14*
Knee			
Squat	66.23 ± 7.39	82.95 ± 8.00*	101.21 ± 6.41*
Deadlift	125.72 ± 8.04*	142.43 ± 9.09	149.85 ± 7.21*
Ankle			
Squat	55.10 ± 6.38*	67.41 ± 7.56*	75.86 ± 7.34*
Deadlift	46.34 ± 7.51*	63.59 ± 6.95*	70.74 ± 7.15*
	P1 (begin ascent)	P2 (peak bar velocity)	P3 (sticking point)

*Significance ($p < 0.01$).

1.7 Méthode d'entraînement : Bandes élastiques

Les athlètes qui pratiquent des sports qui mettent en jeu l'utilisation de la force musculaire maximale sont sans cesse exposés à trouver de nouvelles variantes d'entraînement permettant de briser les plateaux, d'éviter les blessures et de solliciter des angles de mouvement différents (Simmons, 2006). De plus, ces variations aux entraînements permettent de briser la routine et de rendre les entraînements plus motivants et stimulants (Cormie et al., 2011). L'utilisation de bandes élastiques est très populaire dans la préparation physique des athlètes. Certaines études se sont intéressées à l'utilisation de ces bandes élastiques dans le but d'augmenter la force maximale ou la force-vitesse des athlètes (Ebben et Jensen, 2002; Stevenson et al., 2010b; Wallace et al., 2006). Les bandes élastiques sont fixées au sol et sur les barres d'entraînement, ce qui permet de jumeler ou non la charge de la barre et la tension graduelle causée par la résistance de l'élastique. Plusieurs de ces élastiques se retrouvent sur le marché et ils ont l'aspect d'une courroie. Différents modèles sont vendus et certains offrent de très grosses résistances (Simmons, 1996). Théoriquement, cette méthode permet à l'athlète de maximiser ses charges d'entraînement, car la résistance de la bande élastique ajoute une résistance supplémentaire particulièrement à la fin du mouvement (Ebben et Jensen, 2002). Les bandes élastiques peuvent être utilisées de différentes manières.

Elles sont utilisées dans une vaste gamme d'exercices. De plus, elles peuvent même ajouter ou diminuer en fonction de leur point d'attache. Dans ce document, nous nous sommes uniquement consacrés aux méthodes illustrées aux figures 10,11 et 12 afin de suivre les études antérieures ayant appliqué un protocole d'entraînement (tableau 4).

1.8 L'effet des bandes élastiques.

Un exercice avec ou sans l'utilisation de bandes élastiques possède des caractéristiques différentes (Stevenson et al., 2010b; Wallace et al., 2006). Tout récemment, une étude a comparé la flexion de jambes avec bande élastique offrant 20kg de tension et la flexion de jambes sans bandes élastiques (Israel, 2010). L'analyse de l'électromyographie (EMG) indique que le vaste latéral du quadriceps est davantage sollicité avec l'utilisation de bandes élastiques. Celui-ci est recruté d'une manière plus intense au début de la phase excentrique et à la fin de la phase concentrique. Ainsi, les leveurs déploient plus de force en abduction de la hanche lors d'une flexion de jambes avec des bandes élastiques (Israel, 2010). Il est plus facile pour un leveur d'ouvrir ainsi les genoux pour faciliter la dernière partie du mouvement qui est plus difficile (Marcora et al, 2000).

D'après Ebben et Jensen (2002), une flexion de jambes exécutées avec des bandes élastiques ajoutant une faible résistance n'apporterait pas de modifications techniques notables au mouvement lorsqu'il est comparé avec une flexion de jambes standard. Les chercheurs ont mesuré l'intensité de la contraction musculaire à l'EMG au niveau des muscles du quadriceps fémoraux et les ischiojambiers. Cette étude avait comme principal objectif d'analyser l'influence de l'utilisation de charges variables. Les analyses ont été recueillies lors de l'exécution de trois mouvements: une flexion de jambes sans charges variables standard, une flexion de jambes avec élastiques représentant 10 % de la charge totale et une flexion de jambes avec chaînes représentant 10 % de la charge totale. Selon les analyses de cette étude, lorsque la charge variable représente 10 % de la charge totale, il n'y a pas de différence significative à l'EMG au niveau des muscles des quadriceps fémoraux et des ischiojambiers entre le mouvement standard et le mouvement avec charges variables.

Compte tenu du peu de différences entre les deux méthodes, Ebben et Jensen doutent de l'efficacité des entraînements avec charges variables (Ebben et Jensen, 2002).

Wallace et ses collègues (2006) ont analysé la production de force et de puissance chez 10 sujets qui ont utilisé une « Smith machine ». Cet appareil est utilisé afin d'exécuter un mouvement de flexion de jambes. La barre est positionnée dans un support qui limite les mouvements. La barre monte ou descend dans un axe fixe avec cet appareil. Le diamètre de la barre correspond à une barre d'entraînement standard. Les données ont été recueillies à trois conditions différentes. À chaque étape, deux séries de trois répétitions ont été analysées. Les premières séries ne possédaient pas de charges variables, les deuxièmes séries étaient exécutées avec des bandes élastiques qui représentaient 20% de la charge totale et les troisièmes étaient exécutées avec des bandes élastiques qui représentaient 35% de la charge totale. Aucune différence significative ne fut remarquée lors de l'utilisation de 20% de charges variables. Par contre, il y a une augmentation significative de la force et de la puissance déployées chez le groupe ayant utilisé une charge variable représentant 35% de la charge totale (Wallace et al., 2006).

1.9 Les bandes élastiques et les gains en forces

Une étude réalisée à New York a comparé l'évolution de deux groupes d'athlètes à la flexion de jambes et au développé couché (Anderson et al., 2008). Quarante-quatre athlètes de différents sports ont été recrutés et divisés en deux groupes. Les participants ont testé leur 1RM à la flexion de jambes et au développé couché à la première et à la septième semaine de l'étude. Les séances d'entraînement comprenaient des exercices de tirage à un bras, des extensions de coudes, des tirages verticaux à la poulie, des exercices de flexion de genoux avec ou sans bandes élastiques et des développés couchés avec ou sans bandes élastiques. Ceux ayant utilisé une résistance combinée à l'aide d'élastiques et de poids libres se sont significativement ($P < 0.05$) améliorés à la flexion de jambes ($16.47\text{kg} \pm 5.67\text{kg}$ versus $6.84\text{kg} \pm 4.42\text{kg}$) et au développé couché ($6.68\text{kg} \pm 3.41\text{kg}$ versus $3.34\text{kg} \pm 2.67\text{kg}$). Les gains à la flexion de jambes étaient

trois fois supérieurs et ceux au développé couché étaient deux fois supérieurs avec l'utilisation de charges variables (Anderson et al., 2008).

Les récits anecdotiques de certains entraîneurs connus comme Louis Simmons font l'état d'amélioration rapide des performances. Dans son livre écrit en 1996, Simmons valide la pertinence de ses méthodes d'entraînements avec des sportifs de son association. Il n'hésite pas à énumérer des résultats de compétitions. « Après seulement quelques années, nous avons déjà huit athlètes ayant la capacité d'exécuter un développé couché de 272 kg et six autres en haut de 294 kg, » (Simmons, 1996). Par contre, les mécanismes d'adaptation chez les sportifs lors des entraînements avec charges variables ne sont pas clairs et détaillés (Wallace et al., 2006). D'après Ebben et Jensen, les utilisateurs doivent aussi être mis au courant que les entraînements avec des bandes élastiques engendrent un changement important lors de l'exécution technique du mouvement. Il est primordial de procéder d'une manière sécuritaire lors des entraînements afin d'éviter des accidents ou des blessures dues à la déformation de l'exercice (Ebben et Jensen, 2002).

Certains éléments supplémentaires doivent être considérés. Il faut porter une attention particulière à la flexion de jambes au moment de sortir la barre du support. L'élastique tire inévitablement toujours dans un vecteur combiné d'une force horizontale et verticale à moins d'être exactement à la hauteur dont il est fixé au sol. Il doit y avoir des personnes qui assurent la sécurité du sportif lors de la sortie et de l'entrée de la barre dans le support (Wallace et al., 2006). Il n'y a pas de ratio établi entre la charge de la barre et la tension que devraient exercer les bandes élastiques (Ebben et Jensen, 2002). Il y a un manque d'information sur ce sujet. D'après Wallace et collègues, il y a peu d'évidence scientifique pour affirmer avec certitude que ces méthodes apportent plus de bénéfice (Wallace et al., 2006).

1.10 Méthode d'entraînement : les chaînes

Deux méthodes afin d'attacher les chaînes sur les barres d'entraînement ont été comparées lors d'une étude. La première méthode est la méthode « double-looped ». Elle consiste à ajuster la hauteur des chaînes ayant une masse plus élevée avec une

autre chaîne enroulée autour de la barre. L'autre technique consiste à attacher directement les chaînes sur la barre. La figure 6 illustre les deux manières d'attacher les chaînes sur la barre. Des appareils mesurant la charge lors du mouvement et des caméras ont été utilisés afin de comparer les résistances avec ces deux méthodes (Neelly et al., 2010). Cette étude conclut qu'il y a une résistance variable plus importante avec la méthode « double-looped » lors de la flexion de jambes. Les chaînes exerçaient une force de 301.1 N dans le haut du mouvement et de 33.8 N dans le bas du mouvement lorsqu'elles étaient utilisées avec la méthode « double-looped ». Lorsqu'elles étaient attachées directement sur la barre d'entraînement, l'appareil de mesure enregistrait des forces de 312.3 N dans le haut du mouvement et de 200.2 N dans le bas du mouvement (Neelly et al., 2010).

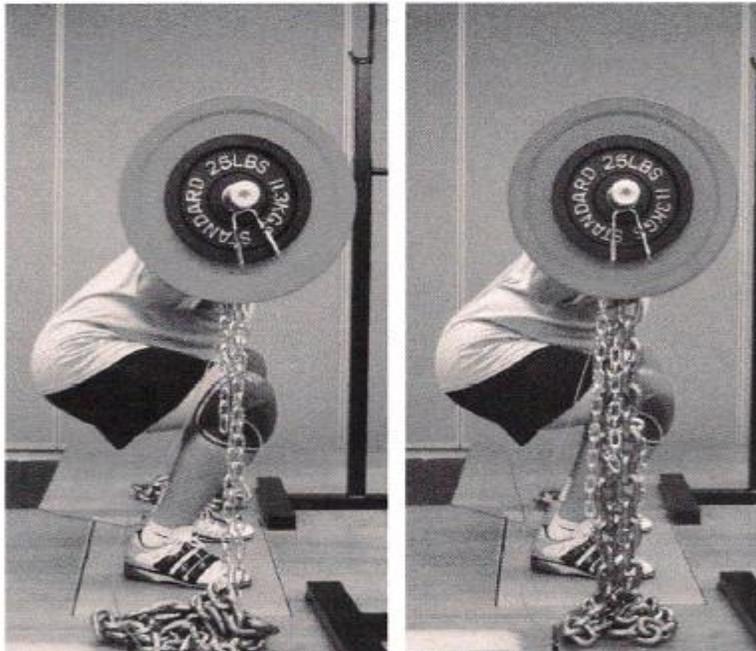


Figure 6 : Méthode « double-looped » à gauche et attache directe à droite (Neelly et al., 2010, p. 280).

L'opinion de Simmons envers les charges variables est très positive. « Les bandes et les chaînes ont permis d'augmenter notre nombre d'athlètes capable d'exécuter un développé couché de 250 kg à 17 personnes. Goerge Halbert a récemment exécuté un développé couché de 303 kg avec une masse corporelle de 106 kg. Ce développé

couché lui a permis d'obtenir le record du monde. » (Simmons, 1996). Les résultats présentés par cet entraîneur connu mondialement sont très optimistes.

1.11 L'effet des chaînes

Une étude réalisée par Baker et Newton en 2006 s'est intéressée à la vitesse de la barre au développé couché lorsque des chaînes sont utilisées dans le but de créer une charge variable. Baker et Newton ont enregistré la vitesse de la barre lors de l'exécution du développé couché en comparant la méthode classique et la méthode avec charges variables. Un appareil de mesure optique a été utilisé afin d'enregistrer la vitesse de la barre au développé couché chez 33 joueurs de rugby professionnel. La charge de la barre représentait 60% du 1RM additionné de 17.5kg de chaînes pour la méthode avec charges variables et 75% du 1RM pour la méthode standard. D'après l'auteur, les séries avec charges variables et ceux sans charges variables s'égalent en terme intensité chez la majorité des participants. Les résultats de cette étude sont illustrés dans le tableau 2. Les chaînes ont permis aux athlètes d'appliquer une vitesse supérieure lors de la dernière portion de la phase concentrique par rapport aux séries sans charges variables. Il y a une différence significative au niveau des moyennes de vitesse entre les deux séries exécutées avec une charge variable (0.59 m/s et 0.59 m/s) et les deux autres séries sans charges variables (0.53 m/s et 0.51 m/s) (Baker et Newton, 2006).

Tableau 2 : vitesse en m/s au développé couché (Baker et Newton, 2009 p.1943).

	Set 1 BP+CH 1	Set 2 BP+CH 2	Set 1 BP 1	Set 2 BP 2
Best repetition	0.63 (0.06)*	0.62 (0.09)*	0.57 (0.07)	0.56 (0.08)
Set average	0.59 (0.06)*	0.59 (0.09)*	0.53 (0.07)	0.51 (0.1)

*Both BP+CH sets different to both BP sets but not to each other.

Simmons recommande aux dynamophiles d'exécuter des exercices de puissance. Celui-ci propose aux athlètes de faire une séance de puissance par semaine pour chacun des mouvements de base en dynamophilie et il recommande l'utilisation de charges variables lors de ces entraînements afin d'augmenter la puissance musculaire (Simmons, 2012). Ces entraînements ont pour objectif d'augmenter la capacité des muscles de développer la tension la plus grande possible dans un laps de temps le plus court (relation force-vitesse).

D'autres variables doivent être prises en compte lors d'entraînements avec charges variables. La grandeur des leviers, le type de matériel utilisé et le type de mouvement exécuté sont tous des facteurs qui peuvent modifier l'effet des charges variable sur la barre (Neelly et al., 2010).

1.12 L'avantage des charges variables

Les entraînements avec charges variables permettent, selon Ghigiarelli et collègues (2009), d'optimiser le travail musculaire. Lorsque l'athlète exécute une flexion de jambes ou un développé couché, le moment généré par les muscles est associé directement à l'angle de flexion de l'articulation (Ghigiarelli et al., 2009). La flexion de jambes est un exemple intéressant, car le moment créé par le quadriceps est optimal lorsque l'articulation est à un angle de 60° de flexion (figure 7) (Coombs et al, 2002). Ainsi, les charges variables permettent de diminuer la résistance à des angles de mouvements plus difficiles, car le muscle est mécaniquement désavantagé (Ghigiarelli et al., 2009).

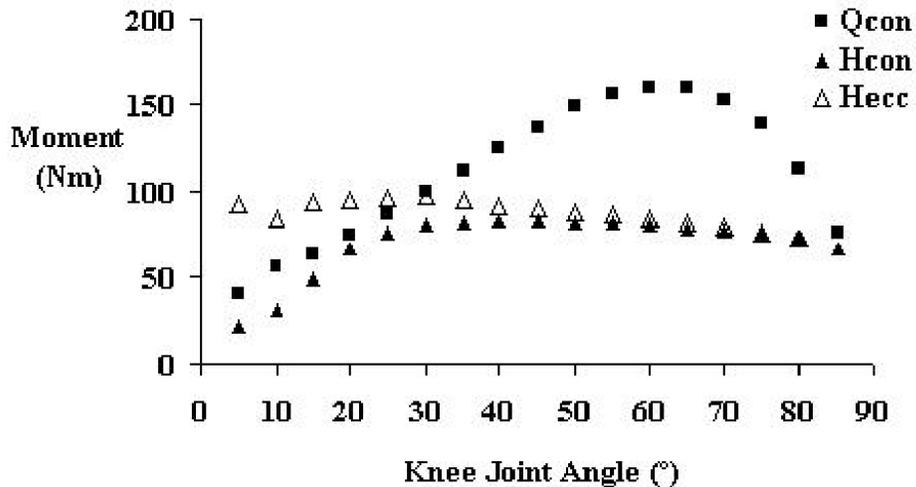


Figure 7 : Moment du quadriceps en contraction concentrique (Qcon), force des ischiojambiers en contraction excentrique (Hecc) et force des ischiojambiers en contraction concentrique (Hcon) en fonction de l'angle de flexion du genou (Coomb et al., 2002, p. 58).

1.13 Le ratio des études antérieures portant sur la biomécanique lors de l'utilisation des charges variables

Selon trois études, les entraînements avec charges variables sont efficaces dans le but d'augmenter la puissance maximale, car les sujets ont réussi à déplacer des charges équivalentes ou supérieures plus rapidement que ceux n'utilisant pas cette méthode (Baker et Newton, 2009; Stevenson et al., 2010b; Wallace et al., 2006). La puissance est une qualité athlétique importante afin de prédire les performances d'un athlète (Cronin et Sleivert, 2005). Le tableau 3 présente les études qui comparent la flexion de jambes, le développé couché et le soulevé de terre avec et sans charges variables. Ces études se sont intéressées à la vitesse de la barre ou de la force développée lors du mouvement. Celle de Ebben et Jensen (2002) est à considérer, car il n'y avait pas de différence à l'EMG lorsque les chaînes ou les bandes élastiques représentent un faible pourcentage de la masse total (Ebben et Jensen, 2002). Les charges variables ont provoqué des différences significatives lors des mesures de la force maximale développée et de la force vitesse lorsqu'elles représentent 20% et plus de la charge totale (Stevenson et al., 2010a; Swinton et al., 2011).

Tableau 3 : Études biomécaniques et les analyses dans la littérature scientifique à la flexion de jambes, développé couché et soulevé de terre.

Études	Exercice	Chaînes	Élastiques	Résultats
(Ebben et Jensen, 2002)	Flexion de jambes	10%	10%	Aucune différence significative à l'EMG
(Wallace et al., 2006)	squat (smith machine)	20% et 35%	20% et 35%	Aucune différence à 20% versus standard Différence significative 35% versus standard : Augmentation de la valeur de puissance et de force
(Baker et Newton, 2009)	Développé couché	60% du 1RM et 17.5kg de chaînes versus 75% du 1rm		Plus de vélocité lors de l'utilisation de charges variables (chaînes)
(Stevenson et al., 2010b)	squat		20%	Augmentation significative de la force déployée dans un minimum de temps du groupe utilisant des élastiques contre le groupe témoin
(Swinton et al., 2011)	Soulevé de terre	20% et 40%		Une valeur plus haute de force a été développée par ceux utilisant les chaînes à 20% et 40%

1.14 Le ratio des études antérieures portant sur l'application d'un protocole d'entraînement

Baker et Simmons recommandent un ratio de charges variables représentant plus de 20% de la charge totale (Baker, 2006; Simmons, 1996). Les études ayant appliqué un protocole d'entraînement avec charges variables ont presque toutes obtenu un gain de force maximale significatif. Ces adaptations sont présentes à tous les pourcentages de charges variables dans le tableau 4.

Tableau 4 : Études portant sur l'application d'un protocole d'entraînement avec charges variables à la flexion de jambes, développé couché et soulevé de terre.

Études	Exercice	semaines	Chaîne	Élastique	Résultats
(Ghigiarelli et al., 2009)	Développé couché	7	85-90lbs		↑ Contrôle ↑ Expérimental
(Bellar et al., 2011)	Développé couché	13		15%	↑(*) Contrôle ↑ Expérimental
(McCurdy, et al, 2009)	Développé couché	9 semaines	variable		Aucune différence significative
(Anderson et al., 2008)	Squat et développé couché	7 semaines			Flexion de jambes ↑(*) Contrôle ↑ Expérimental Développé couché Aucune différence significative

1.15 Les blessures

Chaque sport comporte son lot de risques et de blessures. La dynamophilie n'en fait pas exception. Certaines blessures chroniques selon Siewe et ses collègues (2011) sont récurrentes. Celle-ci a été recensée chez les dynamophiles et les haltérophiles. Ces pathologies sont nombreuses : Élongations et déchirure ligamentaire, élongation tendineuse, déchirure musculaire, claquage musculaire et syndrome des loges. D'autres

blessures peuvent subvenir spécifiquement à la coiffe des rotateurs, stress excessif aux vertèbres et au niveau des articulations de l'épaule ou du coude (Siewe et al., 2011).

Deux-cent-quarante-cinq dynamophiles élitaires répartis dans 97 regroupements ont répondu à un questionnaire lors de l'étude de Siewe et ses collègues (2011). Ces questionnaires évaluaient les blessures à l'entraînement et en compétition. Sur les 245 répondants, 106 disent avoir de la douleur à certains endroits spécifiques lors des entraînements. Soixante pour cent d'entre eux ont rapporté des douleurs au dos causé par des blessures musculaires (15.1%) et par des hernies discales (4.5%). La figure 8 illustre les régions douloureuses lors des entraînements. Seulement 67 des sportifs sur 245 n'ont jamais souffert de blessure au courant de leur carrière sportive. Certains ont eu plus d'une blessure comme le démontre la figure 9. Un athlète se blesse en moyenne une fois par 1000 heures d'entraînement en dynamophilie. De plus, chaque mouvement possède son lot de douleurs et de blessures qui peuvent parfois être récidivantes. Les blessures à l'articulation du genou et du dos affectent principalement la flexion des genoux. Celles situées à la région lombaire et à la chaîne postérieure ont un impact au soulevé de terre. Finalement, les blessures au niveau des épaules et à l'articulation des coudes affectent le développé couché. La plupart des blessures ne nécessitent pas un arrêt complet des entraînements. Lorsque les auteurs de l'article comparent la dynamophilie aux autres sports, ils arrivent à la conclusion que le ratio de blessure causé par la pratique de la dynamophilie est faible (Siewe et al., 2011).

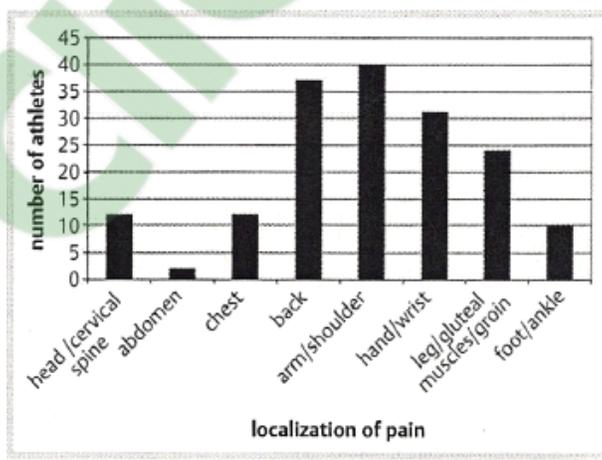


Figure 8 : Localisation de la douleur à l'entraînement (Siewe et al., 2011, p. 705).

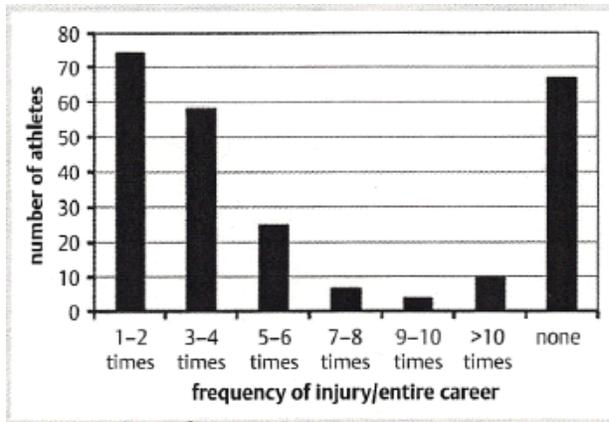


Figure 9 : Fréquence des blessures dans la carrière sportive (Siewe et al., 2011, p. 706).

1.16 Le Wilks

Lors des compétitions en dynamophilie, la performance des athlètes est évaluée avec la formule du Wilks. Cette formule est utilisée afin de comparer les athlètes entre eux même s'ils ne sont pas dans la même catégorie de poids. Le simple ratio standard entre la charge soulevée et la masse corporelle du leveur ne peut pas être utilisé. La force relative diminue exponentiellement lorsque la masse corporelle des leveurs augmente. Vanderburh et Batterham (1999) concluent que cette méthode est valide afin d'évaluer et déterminer les meilleurs leveurs lors des compétitions. Cette formule permet de calculer un coefficient de 1.3354 (homme de 40kg) à 0.5318 (homme de 205.9kg) qui est multiplié par le total de la charge soulevée par l'athlète (USA Powerlifting, 2013). D'après le modèle allométrique utilisé lors de l'étude de Vanderburg et Battenham (1999), les écarts sont considérés acceptables et cette formule est valide.

Chapitre II : Matériel et méthodes

2.1 Hypothèse de recherche

Certaines études antérieures montrent que les gains de force maximale sont supérieurs lors de l'utilisation des charges variables à la flexion de jambes, au développé couché et au soulevé de terre (Anderson et al., 2008; Bellar et al., 2011; Ghigiarelli, 2009). Il faut cependant noter que ce domaine est peu documenté et que les résultats quant à la supériorité de cette méthode sont encore controversés. Ainsi, notre hypothèse de recherche est la suivante : Les mouvements exécutés avec bandes élastiques ou chaînes procureront des adaptations supérieures à la flexion de jambe, au développé couché et au soulevé de terre. Dans ce cas, les gains avec charges variables pourront être identiques aux autres études antérieures. Je suspecte une amélioration supérieure aux trois mouvements de dynamophilie pour le groupe expérimental. Cette amélioration supérieure est possible, car les leveurs du groupe expérimental s'entraîneront avec une résistance supérieure. Lors de la fin de la phase concentrique, la sommation de la charge de la barre et de la résistance provoquées par les charges variables sera supérieure à la charge de la barre du groupe contrôle.

2.2 Description des participants

Tous les participants de cette étude étaient des athlètes pratiquant la dynamophilie. Ceux-ci devaient avoir planifié de participer ou avoir participé à des compétitions de dynamophilie au courant de l'année 2013. Seuls les participants membres de la FQD ont été recrutés pour cette étude, car cette fédération possède une réglementation stricte en matière de contrôle antidopage. De plus, les tests antidopage peuvent être appliqués à tous les niveaux de compétitions et hors compétition. Lors de l'adhésion, les membres s'engagent à être éligibles à des tests antidopages jusqu'à 18 mois après l'expiration de leur carte de membre.

Cette fédération possède des règlements précis en ce qui concerne l'exécution des mouvements lors des journées de compétitions. Ainsi, la fiabilité des résultats est

davantage assurée. Les participants ont été en mesure d'exécuter les mouvements étudiés selon les critères stricts de cette fédération sportive. Tous les athlètes participaient déjà à des programmes d'entraînement en dynamophilie et ils avaient tous une expérience dans l'exécution de ces mouvements. Dix-neuf (19) sportifs masculins ont été recrutés. Lors des premières semaines, deux participants ont été contraints à l'abandon. Un athlète dans le groupe contrôle et l'autre dans le groupe expérimental. Ils étaient âgés de 17 à 42 ans. Ainsi, 17 dynamophiles ont complété l'étude. Le groupe expérimental était composé de 9 sportifs. Ceux-ci devaient exécuter un programme d'entraînement qui contenait des exercices avec charges variables à la flexion de jambes, développé couché et soulevé de terre. Le groupe contrôle était composé de 8 sportifs. Ils ont exécuté le même programme d'entraînement, mais sans charges variables (entraînement conventionnel). Ce groupe a été évalué selon les mêmes modalités que le groupe expérimental de manière à pouvoir comparer les résultats.

2.3 Recrutement des participants

Les participants ont été recrutés directement dans les clubs où ils s'entraînaient. Le programme d'entraînement de neuf semaines s'est déroulé dans deux clubs différents, car les clubs ne sont généralement formés que d'une dizaine d'individus.

2.4 Procédure et évaluations initiales

Afin d'obtenir des résultats cohérents, nous devons nous assurer que les participants soient physiquement prêts à être évalués. Les athlètes ont donc bénéficié de deux jours de repos avant l'évaluation initiale afin d'exécuter leurs charges maximales aux trois mouvements de dynamophilie. Les évaluations ont été effectuées dans les clubs respectifs la semaine précédant le protocole d'entraînement. Les levés ont été pesés une à deux heures avant le premier test. Les athlètes ont eu la possibilité de s'échauffer convenablement afin de prévenir les blessures. Cet échauffement est d'une durée de 20 à 30 minutes à chacun des mouvements. Les participants ont exécuté entre 10 et 15 séries de 1 à 3 répétitions lors de l'échauffement. Les charges effectuées lors de ces échauffements augmentent graduellement de 10% à 80% du 1RM. Par la suite,

ils ont déterminé leur 1RM à la flexion de jambes à l'aide de trois essais en choisissant des charges de plus en plus lourdes. Lorsque l'athlète pouvait exécuter facilement une répétition, nous ajoutions entre 5 et 10 kilos et l'athlète prenait un temps de repos de 3 à 5 minutes. L'athlète exécutait ensuite une répétition jusqu'à ce que le mouvement devienne très difficile à exécuter. Lors des tests, les athlètes connaissaient bien leur 1RM et toutes les charges maximales ont été obtenues en deux ou trois essais. Les athlètes se sont échauffés de la même manière afin d'exécuter le développé couché et le soulevé de terre. L'équipement utilisé par les leveurs répond au critère de la FQD afin de respecter les règles appliquées lors des compétitions (FQD, 2012).

2.4.1 Division des deux groupes

Les sportifs ont été divisés afin de former deux groupes de même calibre. Pour ce faire, la formule du Wilks a été utilisée, car elle a été jugée efficace afin de comparer la force maximale des athlètes en dynamophilie même s'ils ne sont pas dans la même classe de poids (Vanderburgh et Batterham, 1999). Les deux groupes avaient une moyenne de Wilks comparable au test de Student au tableau 8. Ceci a permis aux athlètes de diminuer ou augmenter leur masse corporelle lors de ce protocole sans fausser les données et relativiser leur performance. En effet, la dynamophilie contient 8 classes de poids et certains sportifs peuvent augmenter ou perdre de la masse corporelle afin d'atteindre certaines catégories. La masse corporelle des sportifs peut ainsi fluctuer au cours de l'année de compétition. Certains sportifs augmentent ou diminuent leur masse corporelle uniquement lors des compétitions importantes ou en fonction de certains records.

Un protocole d'entraînement de neuf semaines a été appliqué. Les athlètes se sont entraînés 8 heures par semaine à raison de 4 séances (lundi, mercredi, vendredi et samedi) de 120 minutes chacune. Le premier groupe a utilisé des chaînes et des élastiques lors des séances à la flexion de jambes, développé couché et soulevé de terre (groupe expérimental). Le deuxième groupe a utilisé une méthode d'entraînement classique sans charges variables (groupe contrôle).

2.4.2 Programme d'entraînement

Le volume d'entraînement sera différent au fil des semaines afin de créer un schéma d'entraînement de type ondulatoire. Cela permet aux dynamophiles de participer à des semaines contenant un volume d'entraînement variable afin de faciliter la récupération. Cette planification sur 9 semaines est un entraînement populaire et connu mondialement. L'entraîneur Boris Sheiko publie ses nombreux plans d'entraînements depuis plus de dix ans (Sheiko, 2014). Le niveau de difficulté du plan d'entraînement choisi pour cette étude est adapté au niveau provincial et national. Le programme d'entraînement se retrouve à l'annexe A.

2.4.3 Ratio de charges variables utilisé

D'après le ratio établi par Stevenson et ses collègues (2010b), des charges variables totalisant 20% de la charge totale et plus ont été utilisées dans ce protocole d'entraînement.

2.4.4 Entraînement avec charges variables

2.4.4.1 Bandes élastiques

Les bandes élastiques devaient être fixées à la barre et au support de manière standard, et ce, avec une technique différente à chacun des mouvements. Les figures 9, 10 et 11 illustrent les techniques employées par les athlètes à chacun des mouvements de dynamophilie. Tous les sportifs ont utilisé ces méthodes lors du programme d'entraînement.

Il est difficile d'ajuster convenablement la tension exercée par les bandes élastiques afin d'atteindre 20% de la charge totale. Les bandes élastiques n'exerceront pas la même tension chez les sportifs possédant une taille différente. Les bandes disposées chaque côté de la barre d'entraînement exerceront une tension supérieure chez les individus de grande taille. Il n'y a pas de charte établie qui met en relation la tension obtenue par les élastiques avec la taille des individus lors de l'achat de celles-ci.

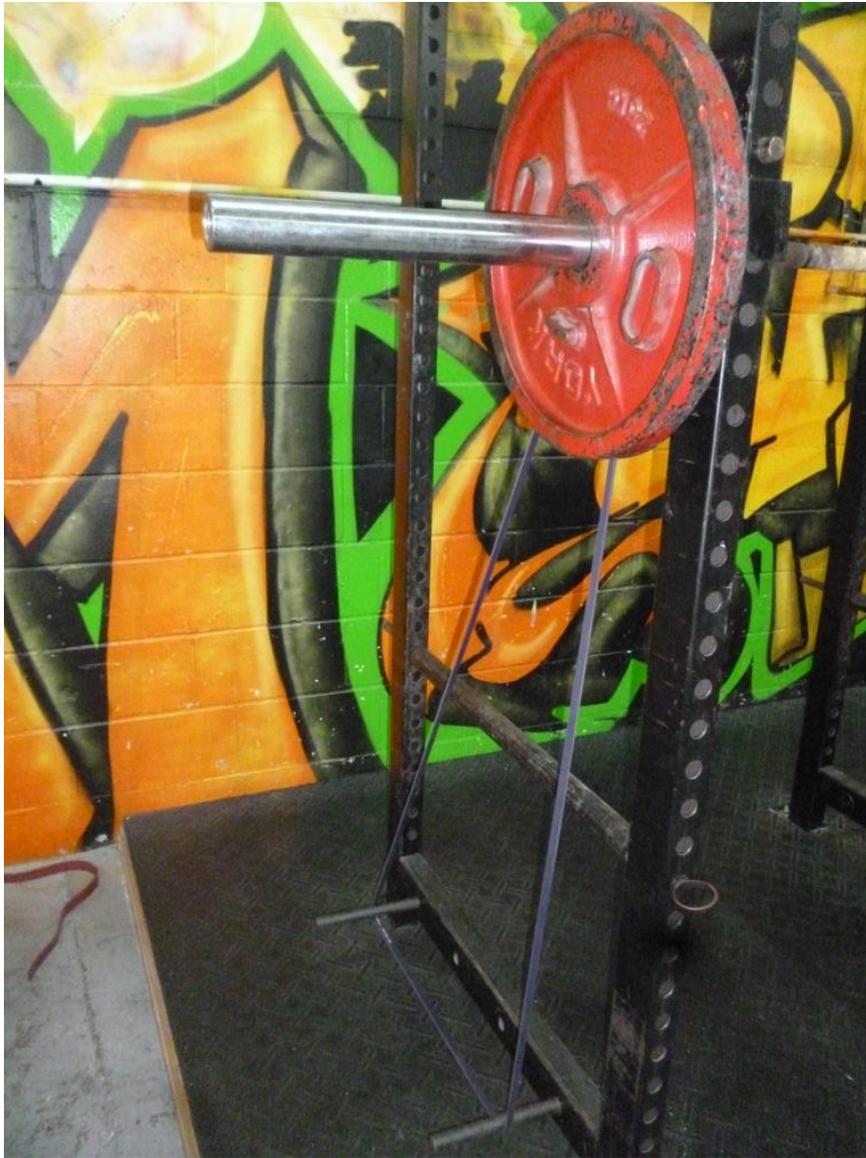


Figure 10 : Procédure permettant d'attacher les bandes élastiques à la flexion de jambes.



Figure 11 : Procédure permettant d'attacher les bandes élastiques au développé couché.

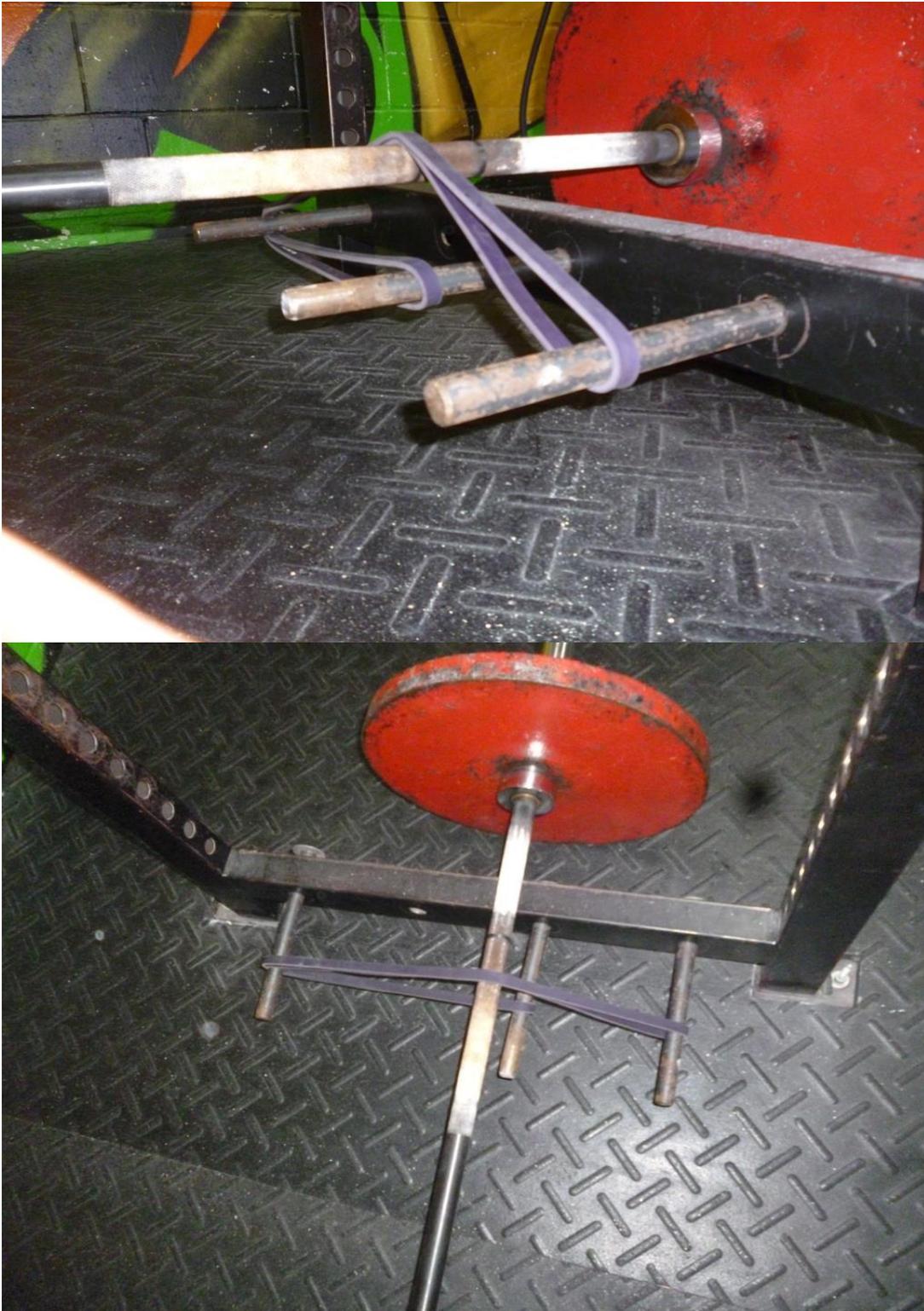


Figure 12 : Procédure permettant d'attacher les bandes élastiques au soulevé de terre.

Plusieurs types de bandes se retrouvent sur le marché. Certaines offrent une grande résistance, car elles possèdent une largeur et une épaisseur supérieure. Afin de faciliter les manipulations et d'augmenter la précision lors des entraînements, plusieurs petits élastiques ont été utilisés dans le but d'obtenir le 20% escompté et ainsi permettre l'ajustement entre chaque athlète. Certains athlètes possédant un 1RM très élevé à la flexion de jambes ont utilisé jusqu'à huit bandes élastiques au total. La méthode devait être rapide, car les dynamophiles s'entraînent la majorité du temps en groupe. Cette méthode a été très rapide, car les sportifs devaient ajuster uniquement le nombre d'élastiques.

Un seul type de bande élastique a donc été utilisé lors de ce protocole. Les mesures ont été prises avec une balance qui est illustrée à la figure 13. Les tensions de l'élastique sont notées selon les trois mouvements, car les bandes élastiques sont fixées de manières différentes. Ces mesures exercées par les bandes élastiques ont été notées à l'annexe B. Les tensions en kilogramme représentent la tension de deux élastiques combinés, car ceux-ci sont fixés à chaque extrémité de la barre d'entraînement.



Figure 13 : Prise de données à l'aide d'une balance et d'un stadiomètre.

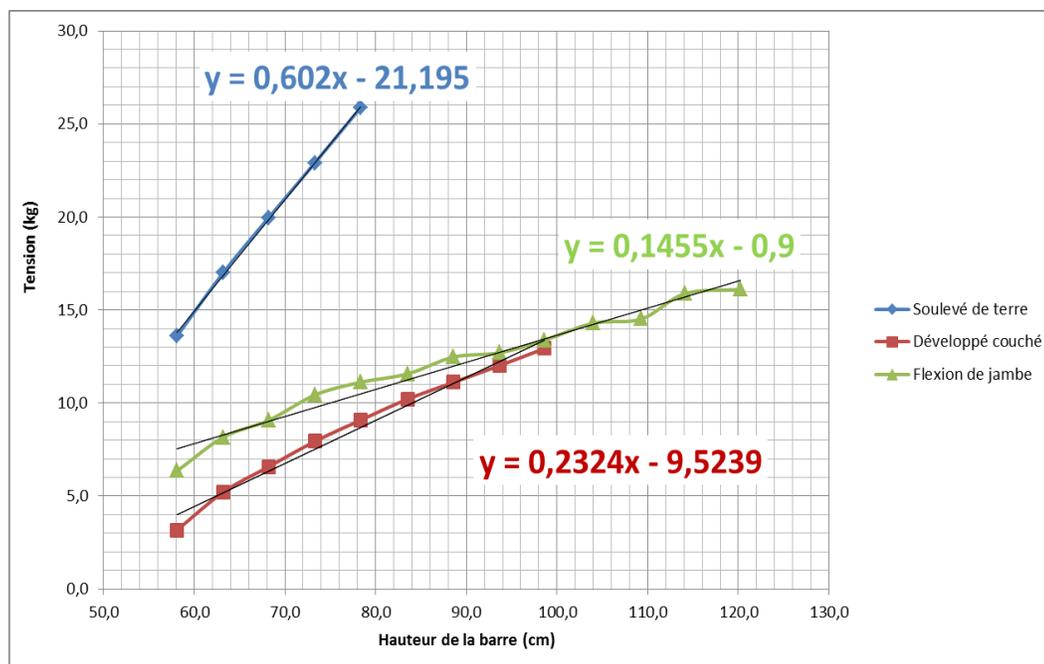


Figure 14 : Tension des élastiques (kg) en fonction de la hauteur (cm) de la barre selon les trois mouvements de dynamophilie. Les valeurs de la variance expliquée (R^2) pour chacune des courbes sont respectivement de 0,999, 0,983 et 0,970 au soulevé de terre, au développé couché et à la flexion de jambes.

Des courbes de tendances linéaires ont été utilisées afin de connaître la tension en fonction de la taille des leveurs. Ces courbes de tendances et leurs équations sont illustrées à la figure 14. La hauteur de la barre a été mesurée à chacun des mouvements de base en dynamophilie chez les athlètes du groupe expérimental. Ces mesures ont été utilisées afin de connaître la tension qu'exercent les bandes élastiques selon la taille des participants. Avec l'aide de ces données, il a été possible d'entraîner le groupe expérimental avec 20% et plus de charges variables lors de l'utilisation des bandes élastiques à la flexion de jambes, au développé couché et au soulevé de terre. À chacun des mouvements, les élastiques exerçaient peu de résistance au point le plus bas. Les procédures des figures 10, 11 et 12 permettaient de diminuer au maximum la tension à ce point. Par contre, vu la différence de taille entre les individus, il a été difficile de quantifier la résistance de l'élastique au point le plus bas. Par contre, ces méthodes ont permis de diminuer au maximum la tension exercée par les bandes élastiques selon le mouvement pratiqué.

2.4.4.2 Chaînes

La méthode à attache directe a été utilisée lors des entraînements avec chaînes. Cette méthode est illustrée à la figure 6. Il fallait ajuster les chaînes afin qu'elles soient déployées presque entièrement du sol à la fin de la phase excentrique. Les chaînes ne devaient pas quitter complètement le sol afin d'éviter toute oscillation qui peut occasionner certains risques pour l'athlète. L'ajustement de la hauteur des chaînes s'est fait en fonction de la taille des leveurs à chacun des trois mouvements.

Lors des entraînements avec chaînes, les sportifs devaient ajuster le nombre de chaînes afin d'atteindre 20% et plus de charges variables. Un mousqueton était disposé sur la chaîne plus haute afin que les sportifs puissent procéder rapidement en ajoutant ou en retirant une ou plusieurs chaînes de chaque côté.

2.4.4.3 Programme d'entraînement

Lors des séances, les athlètes avaient en leur possession un programme d'entraînement contenant toutes les journées du protocole. Chaque athlète recevait un programme personnalisé, car plusieurs calculs étaient nécessaires afin de déterminer les charges utilisées lors de l'entraînement. Un exemple est illustré au tableau 5. Les athlètes devaient exécuter les mouvements de dynamophilie avec une charge calculée. Cette charge était obtenue à l'aide du pourcentage d'intensité multiplié par la charge maximale. Il était plus simple de calculer les charges d'entraînement pour le groupe contrôle.

Le programme d'entraînement du groupe expérimental devait tenir compte des charges variables. Le nombre de bandes élastiques et de chaînes était indiqué pour chacune des séries afin d'atteindre le ratio de charges variables de 20% et plus. Il était indispensable que l'intensité soit similaire entre les deux groupes. Les charges obtenues par les chaînes ou les élastiques représentaient 50% de charge réelle dans les calculs. Ce ratio permettait d'équilibrer l'intensité entre le groupe expérimental et le groupe contrôle.

Tableau 5 : Fiche d'entraînement adaptée et calculée pour chaque sportif.

	Flexion jambe	Développé Couché	Soulevé de terre
1RM	255	195	235
Tension Bandes	31,0	23,0	42,0

week5/lundi/7oct		%	Répétition	Séries	Nombre de bands	chaines	% charge variable	Charge
1	Flexion de	50%	3	1	2	0	20,6	240
	Jambe	60%	3	2	3	0	25,4	270
		70%	3	2	3	0	22,0	330
		75%	2	3	3	0	20,6	355
2	Développé	50%	3	1	2	0	20,1	185
	Couché	60%	3	1	3	0	24,7	210
		70%	3	2	3	0	21,4	255
		75%	2	3	3	0	20,1	275
3	Écarté avec haltère		8	4				
4	Relevé de jambe		10	3				

Chapitre III : Résultats

3.1 Statistiques descriptives

Dans un premier temps, la masse corporelle des leveurs a été notée. Les 1RM à la flexion de jambes, au développé couché et au soulevé de terre ont été mesurés à la première et neuvième semaine. Ces résultats sont présentés dans le tableau 6.

Tableau 6 : Statistique descriptive pour la masse corporelle, le 1RM à la flexion de jambes, le développé couché, le soulevé de terre et les Wilks associés à chacun des mouvements et le total lors de la semaine 1 et 9 chez le groupe expérimental et contrôle.

	Groupe Expérimental (n = 9)				Groupe contrôle (n = 8)			
	Semaine 1		Semaine 9		Semaine 1		Semaine 9	
	\bar{x}	Écart-type	\bar{x}	Écart-type	\bar{x}	Écart-type	\bar{x}	Écart-type
Masse corporelle (kg)	82,1	14,2	79,5	13,9	100,7	18,3	99,6	16,6
Flexion de jambes (kg)	174,7	53,3	182,2	44,5	201,9	47	207,2	45,6
Wilks Flexion de jambes	117,3	25,8	126,1	17,7	124,1	22	127,6	22,4
Développé couché (kg)	124,7	36,6	125,1	39,4	137,5	22,2	143,2	21,4
Wilks développé couché	84,0	17,5	86,0	18,5	84,9	10,4	88,4	9,4
Soulevé de terre (kg)	196,8	38,6	203,2	38,5	222,1	31,6	221,3	27,2
Wilks Soulevé de terre	133,3	13,3	141,4	12,4	137,5	17,0	136,9	12,0
Total (kg)	496,2	125,3	510,5	118,7	561,4	98,1	571,7	91,8
Wilks Total	334,5	53,5	353,5	43,9	346,4	46,2	352,9	41,5

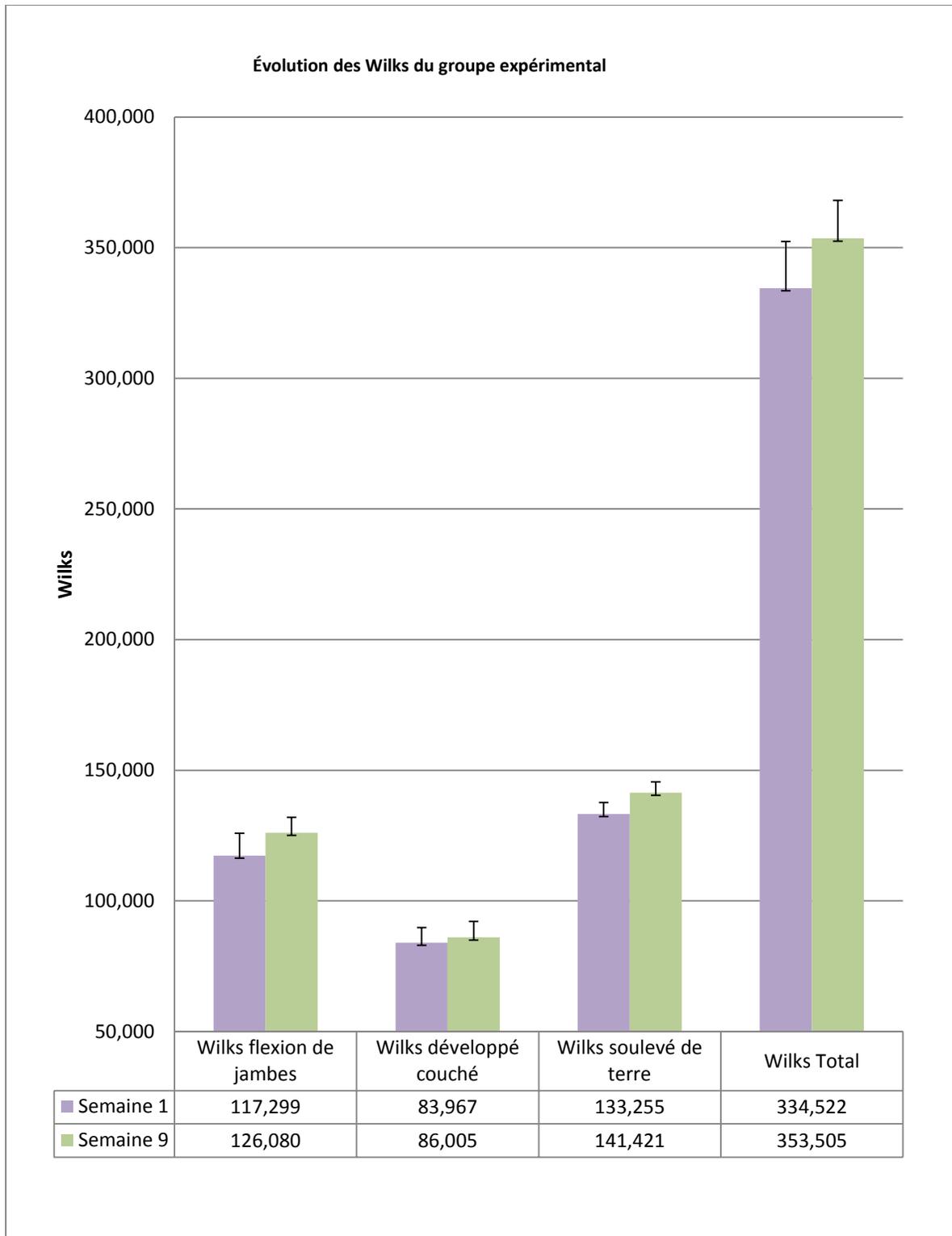


Figure 15 : Évolution des différents Wilks du groupe expérimental. Les erreurs standards sont incluses dans la figure.

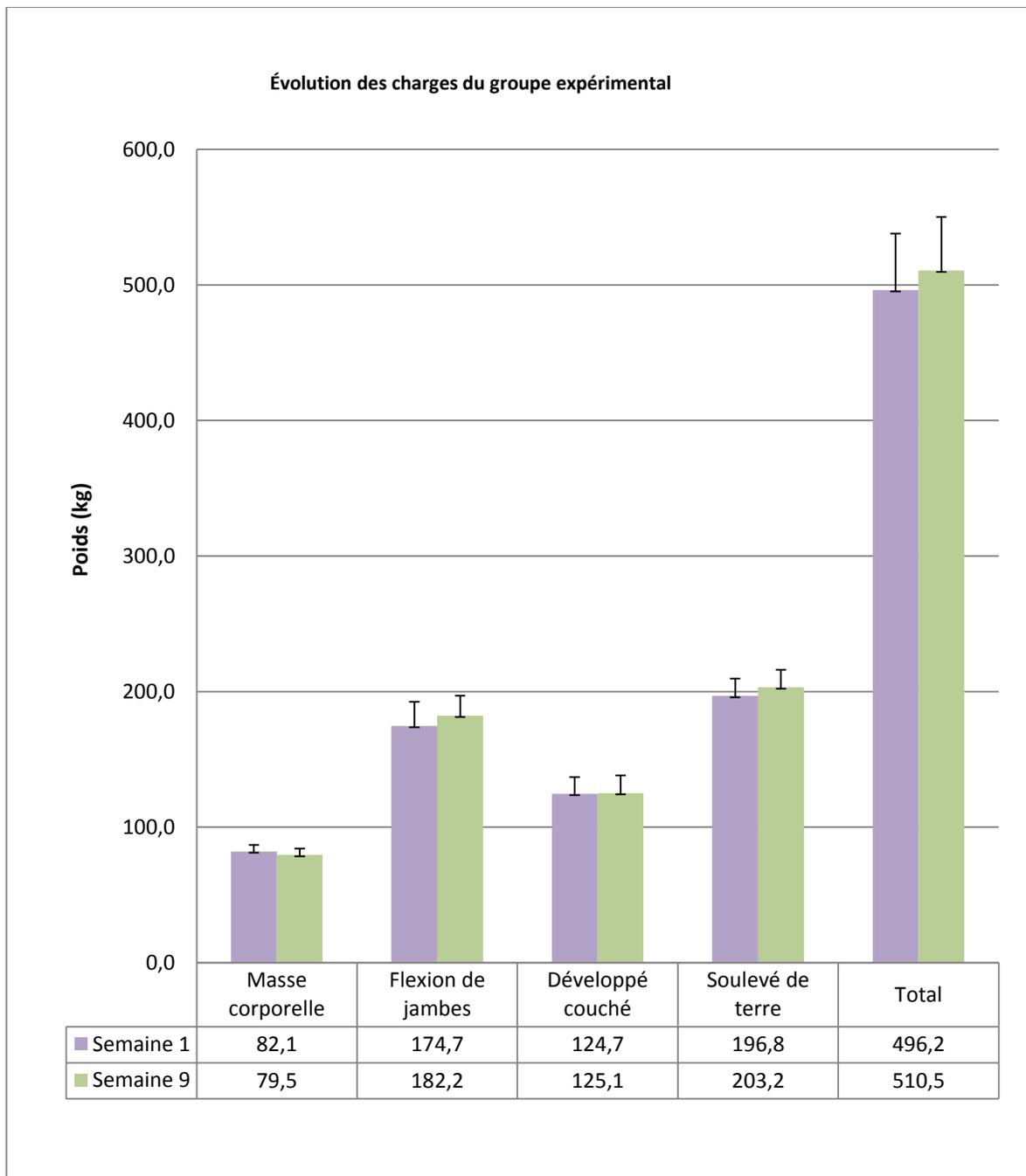


Figure 16 : Évolution des charges du groupe expérimental. Les erreurs standards sont incluses dans la figure.

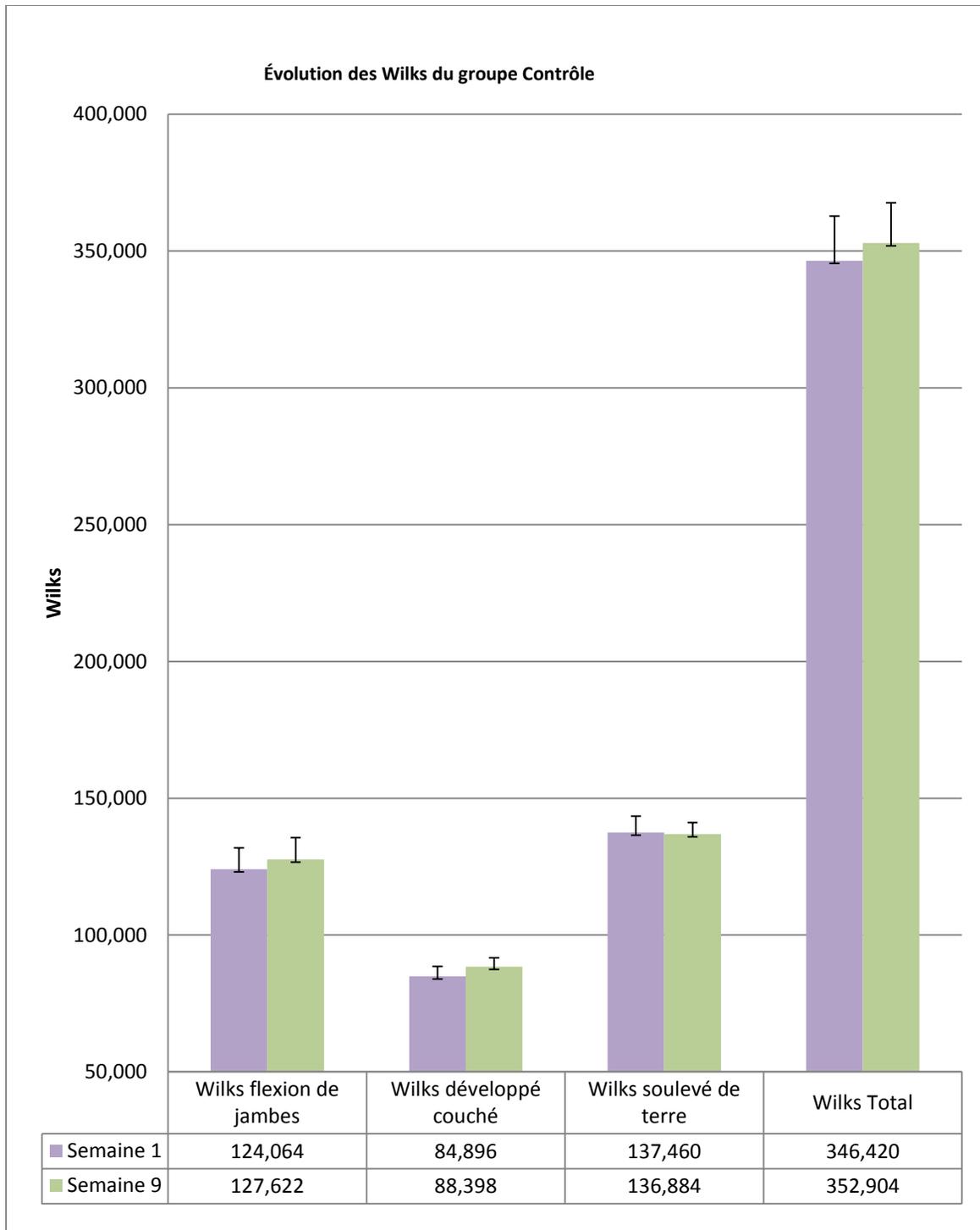


Figure 17 : Évolution des différents Wilks du groupe contrôle. Les erreurs standards sont incluses dans la figure.

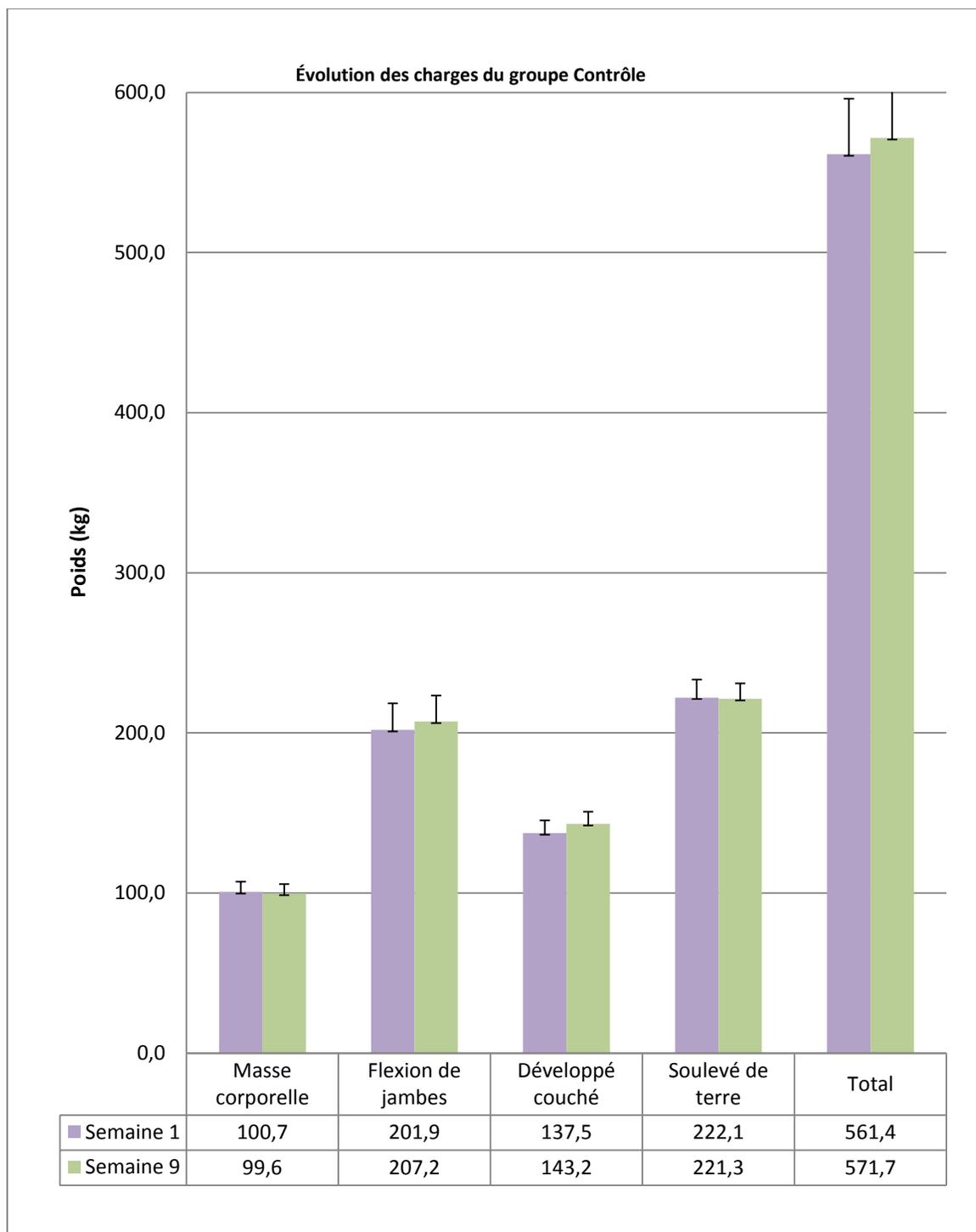


Figure 18 : Évolution des charges du groupe contrôle. Les erreurs standards sont incluses dans la figure.

	Groupe Expérimental (n = 9)		Groupe contrôle (n = 8)		taille d'effet
	Pourcentage d'amélioration		Pourcentage d'amélioration		
	\bar{x}	Écart-type	\bar{x}	Écart-type	
Masse corporelle	-3,11%	2,73%	-1,02%	3,20%	0,99
Flexion de jambes	4,27%	6,91%	2,64%	3,00%	0,43
Wilks flexion de jambes	7,49%	11,62%	2,87%	3,16%	0,77
Développé couché	0,37%	6,91%	4,11%	3,51%	0,96
Wilks développé couché	2,43%	7,55%	4,12%	3,99%	0,40
Soulevé de terre	3,27%	3,71%	-0,34%	5,36%	1,11
Wilks soulevé de terre	6,13%	3,88%	-0,42%	5,95%	1,84
Total	2,90%	3,48%	1,82%	2,44%	0,51
Wilks Total	5,67%	5,08%	1,87%	3,15%	1,27

Tableau 7 : Pourcentage d'amélioration et tailles d'effets entre les deux groupes au terme des 9 semaines d'entraînement.

3.2 Comparaison de moyennes entre les deux groupes

Afin de comparer les deux méthodes d'entraînements d'une manière efficace, les deux groupes devaient être semblables au début du protocole d'entraînement. Les tableaux 7 et 8 comparent les moyennes entre le groupe expérimental et le groupe contrôle au début et à la fin du protocole. Dans la présente étude, la majorité des données brutes n'est pas significativement différente ($p > 0,05$) entre les deux groupes (tableau 8 et 9).

Les données les plus représentatives de la performance des athlètes sont les valeurs de Wilks. Les deux groupes ont été divisés préalablement en fonction de ces valeurs. Par contre, la masse corporelle des athlètes est significativement différente ($p < 0,05$). En effet, le groupe expérimental a une masse corporelle moyenne de 82,08 kg et le groupe contrôle de 100,66 kg. Ces données sont différentes parce que les valeurs de Wilks ont été priorisées lors de la formation des deux groupes. En effet, le

Wilks est un indicateur beaucoup plus efficace en vue de représenter la performance relative par rapport à la masse corporelle.

La taille d'effet (TE) a été utilisée comme méthode statistique afin de fournir un indice quantitatif de l'importance clinique des différences entre les deux méthodes d'entraînement. Lorsque les valeurs sont exprimées en pourcentage du gain entre le début et la fin de l'étude, on remarque que les athlètes s'étant entraînés avec la méthode par charges variables (groupe expérimental) ont obtenu une progression beaucoup plus importante (tableau 7). Ceci est confirmé par des valeurs de la taille d'effet généralement élevées ($TE > 0.5$). Ce résultat est d'autant plus remarquable compte tenu du fait que l'amélioration possible chez des athlètes déjà entraînés est moins marquée.

Tableau 8: Test de Student et taille le groupe expérimental et contrôle à la semaine 1.

Semaine 1		
Test d'échantillons indépendants : Test de Student		
Groupe Expérimental (n = 9) versus contrôle (n = 8)		
	p	Taille d'effet
Masse corporelle (kg)	0,032	
Flexion de jambes (kg)	0,286	0,15
Wilks flexion de jambes	0,572	0,40
Développé couché (kg)	0,403	0,00
Wilks développé couché	0,898	0,11
Soulevé de terre (kg)	0,163	0,17
Wilks soulevé de terre	0,576	0,63
Total (kg)	0,255	0,11
Wilks total	0,633	0,39

Tableau 9 : Test de Student et taille d'effet entre le groupe expérimental et contrôle à la semaine 9.

Semaine 9		
Test d'échantillons indépendants : Test de Student		
Groupe Expérimental (n = 9) versus contrôle (n = 8)		
	p	Taille d'effet
Masse corporelle (kg)	0,016	
Flexion de jambes (kg)	0,271	0,11
Wilks flexion de jambes	0,876	0,16
Développé couché (kg)	0,268	0,26
Wilks développé couché	0,746	0,35
Soulevé de terre (kg)	0,287	0,00
Wilks soulevé de terre	0,458	0,00
Total (kg)	0,258	0,11
Wilks total	0,977	0,15

3.3 Analyse discriminante (validation croisée)

L'analyse discriminante est un test statistique qui permet de tester la précision prédictive d'un modèle. Ce test nous permet de déterminer s'il est possible de classer les individus d'une manière plus précise à la fin du protocole d'entraînement. Ainsi, le programme d'entraînement avec charges variables a procuré des gains en force maximale prévisible et plus ciblé. Les résultats de ces tests correspondants à la semaine 1 et 9 sont présents respectivement dans le tableau 10 et 11. Les résultats des tests initiaux indiquent que 52.9% des observations sont classées correctement, tandis que les tests finaux sont de l'ordre de 76.5%. Ce test est pertinent, car le Wilks associé au total provient de la sommation des charges soulevée à la flexion de jambes, au développé couché et au soulevé de terre. Ceci indique que les groupes n'ont pas une capacité supérieure dans un des mouvements et qu'il n'est pas possible de déterminer si un athlète provient initialement du groupe contrôle ou expérimentale. On peut donc conclure qu'il n'y a pas de prédiction possible ou de classement entre les deux groupes. Par contre, les résultats des tests finaux indiquent qu'il y aurait un classement plus élevé entre le groupe expérimental et contrôle. Certains mouvements se sont améliorés d'une manière plus spécifique dans les groupes. Le résultat des programmes d'entraînement a des répercussions qui permettent de classer plus facilement les individus et de connaître ainsi leur provenance.

Tableau 10 : Test de validation croisée à la semaine 1. Les résultats indiquent que 52.9% des observations sont classés correctement.

		Groupe	Classe(s) d'affectation prévue (s)		total
			1	2	
Original	Effectif	1	7	2	9
		2	2	6	8
	Pourcentage	1	77,8	22,2	100
		2	25	75,5	100
Validé-croisé	Effectif	1	5	4	9
		2	4	4	8
	Pourcentage	1	55,6	44,4	100
		2	50	50	100

Tableau 11 : Test de validation croisée à la semaine 9. Les résultats indiquent que 76.5% des observations sont classés correctement.

		Groupe	Classe(s) d'affectation prévue (s)		total
			1	2	
Original	Effectif	1	8	1	9
		2	2	6	8
	Pourcentage	1	88,9	11,1	100
		2	25	75	100
Validé-croisé	Effectif	1	6	3	9
		2	1	7	8
	Pourcentage	1	55,6	44,4	100
		2	12,5	87,5	100

3.4 Comparaison de moyenne entre les tests initiaux et finaux

3.4.1 Groupe expérimental

Les analyses du test t pour échantillons appariés indiquent que plusieurs deltas du groupe expérimental sont significativement plus élevés à la semaine 9. C'est le cas du delta Wilks de la flexion de jambes ($p=0.033$), au soulevé de terre ($p=0.025$). Wilks du soulevé de terre ($p=0.001$) et au total ($p=0.003$).

Le delta significatif du soulevé de terre ($p=0.025$) indique que les sportifs ont amélioré leur force maximale tout en diminuant d'une manière significative leur masse corporelle ($p=0.012$).

Tableau 12 : Résultats du test t pour échantillons appariés des deltas du groupe expérimental.

	Test t pour échantillons appariés			
	Groupe expérimental	Moyenne	Écart-type	p
Delta masse corporel (kg)		-2,544	2,380	0,012
Delta flexion de jambes (kg)		7,467	4,185	0,112
Delta Wilks flexion de jambes		8,780	3,426	0,033
Delta développé couché (kg)		0,467	2,851	0,872
Delta Wilks développé couché		2,038	2,082	0,356
Delta soulevé de terre (kg)		6,467	2,347	0,025
Delta Wilks soulevé de terre		8,166	1,537	0,001
Delta total (kg)		14,367	4,561	0,014
Delta Wilks Total		18,983	4,409	0,003

3.4.2 Groupe contrôle

Les analyses du test t pour échantillons appariés indiquent que les deltas Wilks associés à la flexion de jambes ($p=0.029$) et au développé couché ($p=0.018$) se sont améliorés d'une manière significative. Les deltas des charges soulevées à la flexion de jambes ($p=0.027$), au développé couché ($p=0.013$) et au total ($p=0.05$) indiquent qu'il y a eu une amélioration significative.

Tableau 13 : Résultats du test t pour échantillons appariés des deltas du groupe contrôle.

Groupe contrôle	Test t pour échantillons appariés		
	Moyenne	Écart-type	p
Delta masse corporelle (kg)	-1,025	3,35	0,415
Delta flexion de jambes (kg)	5,325	5,417	0,027
Delta Wilks flexion de jambes	3,564	3,684	0,029
Delta développé couché (kg)	5,65	4,813	0,013
Delta Wilks développé couché	3,504	3,241	0,018
Delta soulevé de terre (kg)	-0,75	10,475	0,845
Delta Wilks soulevé de terre	-0,578	7,064	0,824
Delta total (kg)	10,225	12,222	0,05
Delta Wilks total	6,484	9,206	0,087

Chapitre IV : Discussion

4.1 Flexion de jambes

Il n'a pas été possible de trouver des différences statistiquement significatives ($p \leq 0.05$) entre le groupe contrôle et le groupe expérimental lors des tests de comparaison des moyennes (charges brutes) entre la semaine 1 et 9. Par contre, l'analyse des deltas et des tailles d'effets nous permettent de déterminer que des améliorations réelles en faveur du groupe expérimental se sont effectivement produites, et ce, pour chacune des variables étudiées. De plus, les résultats de l'analyse discriminante nous indiquent que les améliorations entre la semaine 1 et 9 augmentent la probabilité de classer correctement dans le bon groupe les participants. Les entraînements avec charges variables permettent d'augmenter d'une manière intéressante les différents paramètres qui servent à exprimer la force maximale chez les sportifs.

4.2 Flexion de jambes

Les résultats du test t du delta Wilks associé à la flexion de jambes indiquent qu'il y a eu une amélioration significative dans les deux groupes. Il n'y a pas eu d'amélioration significative de la charge de la flexion de jambe du groupe expérimental. Ceci est probablement causé par une diminution significative ($p=0,012$) de la masse corporelle des leveurs de $2.544\text{kg} \pm 2,380\text{kg}$. Le Wilks est un indicateur qui tient compte de la force relative du sportif. Les résultats de cette étude indiquent que les deux méthodes sont donc efficaces, car elles permettent d'améliorer la force lors de la flexion de jambes.

Simmons (2006) affirme que les charges variables sont efficaces afin d'augmenter la force et la vitesse des athlètes à la flexion de jambes. Les résultats de Wallace et ses collègues (2006) indiquent que la puissance développée par les sujets a été supérieure lors d'une flexion de jambes avec élastique. De plus, la puissance déployée par les leveurs est supérieure lors d'un effort similaire à la flexion de jambes avec élastique

(Wallace et al., 2006). Il n'est pas surprenant que ces valeurs soient supérieures, car la résistance de la barre est inférieure au départ de la phase concentrique (Israetel et al., 2010). Cette différence permet de générer plus de puissance, car celle-ci résulte de la multiplication de la force et de la vitesse (Israetel et al., 2010). Ces valeurs ne permettent pas de valider à elle seule cette méthode d'entraînement ni de montrer que ces méthodes sont plus efficaces. D'après Israetel et ses collègues, la flexion de jambes avec charges variables a des similitudes avec certains mouvements balistiques utilisés lors des entraînements en puissance.

D'autre part, Ebben et Jensen (2002) n'ont pas trouvé de différence significative à l'EMG entre une flexion de jambes standard et une flexion de jambes exécutée avec élastique à un ratio de 10% de charges variables. Certaines études ont appliqué un protocole d'entraînement avec résistance variable afin de comparer l'impact de ces méthodes à la flexion de jambes. Les résultats de l'étude de Shoepe et collègues (2011) indiquent des résultats similaires lors de l'application d'un protocole d'entraînement avec charges variables chez 17 sujets entraînés. L'étude d'Anderson et ses collègues (2008) comprenant 44 sportifs indiquent que ces méthodes sont beaucoup plus efficaces. Ces résultats contradictoires démontrent que ces méthodes sont soit autant ou plus efficaces que la méthode classique. C'est également ce qu'indique notre recherche à la flexion de jambes si on regarde uniquement les deltas.

Les analyses d'Ebbens et Jensen (2002) ont indiqué qu'il n'y avait pas de différence à l'EMG en ce qui concerne les muscles du quadriceps fémoral et ischiojambier avec une charge variable représentant 10% de la charge totale. Israetel et ses collègues (2010) ont démontré qu'une charge variable plus élevée à l'EMG que le vaste latéral du quadriceps a une activité supérieure lors d'une flexion de jambes exécutée avec bandes élastiques. Cette activité musculaire était plus élevée pendant 20% du début de la phase excentrique et 5% lors de la fin de la phase concentrique (Israetel et al., 2010). L'augmentation de l'activité musculaire lors de l'utilisation des charges variables est présente uniquement dans la portion plus haute du mouvement. Cette portion correspond au début de la phase excentrique ainsi qu'à la fin de la phase concentrique. Chez les dynamophiles, nos résultats semblent indiquer que le protocole

avec charges variables ne permet pas d'obtenir de gains supérieurs à la flexion de jambes.

Tous les mouvements de dynamophilie ont des points critiques, ces zones correspondent à des angles de mouvements où l'athlète devient plus faible. Ces points critiques sont plus ou moins situés aux mêmes endroits pour chacun des leveurs (Hales et al., 2009). L'activité musculaire supérieure enregistrée à l'EMG par Israel et ses collègues (2010) est située dans un angle de mouvement différent des points critiques enregistrés dans l'étude d'Hales et ses collègues (2009). Selon Hales, le point critique de l'articulation du genou est situé à un angle de $101.21^{\circ} \pm 6.41^{\circ}$. Les résultats montrent que les points critiques ne sont pas visés par les méthodes à charges variables, puisque l'activité musculaire atteint un pourcentage plus élevé uniquement à la fin de la phase concentrique. Ainsi, la méthode traditionnelle semble permettre d'augmenter la force musculaire à un angle correspondant au point critique, car celui-ci est situé à mi-chemin de la contraction musculaire.

Ces entraînements nécessitent plus de manipulations et un plus grand temps d'exécution lors des entraînements. D'après Wallace et ses collègues (2006), les entraînements avec charges variables comprennent plus de risques pour les moins expérimentés. Ces manipulations supplémentaires apportent plus de gain lorsque l'on regarde les valeurs de la taille d'effet associée à la flexion de jambe. Ces valeurs sont de 0.40 pour le groupe expérimental et de 0.16 pour le groupe contrôle. L'amélioration du Wilks de la flexion de jambes pour le groupe expérimental est donc supérieure selon la taille d'effet (tableau 8 et 9).

4.3 Développé couché

Les résultats de cette étude indiquent qu'il n'y a pas d'amélioration significative ($p=0,356$) du Wilks du groupe expérimental lors du développé couché avec charges variables mais qu'il y a eu une amélioration significative ($p=0.018$) dans le groupe contrôle avec la méthode classique. Ceci indique donc que les charges variables ont été moins efficaces afin d'améliorer la force maximale au développé couché. Les résultats

des autres études ayant appliqué un protocole d'entraînement avec des charges variables ont obtenu des résultats ne correspondant pas à ceux obtenus lors de cette étude.

McCurdy et ses collègues (2009) ont appliqué un protocole d'entraînement avec charges variables à des joueurs de baseball afin de comparer les deux méthodes au développé couché. Le groupe contrôle et le groupe expérimental se sont améliorés significativement sans dénoter de différence entre les deux groupes.

Les études antérieures se sont basées sur des résultats auprès de sportifs ne pratiquant pas la dynamophilie. Ces études concluent que la méthode avec charges variables est plus efficace afin de développer la force maximale au développé couché (Anderson et al., 2008 ; Bellar et al., 2011; Ghigiarelli et al., 2009). Les causes permettant l'augmentation de la force maximale au développé couché lors des entraînements avec charges variables ne sont pas clairement établies par les chercheurs. Les études ayant obtenu des gains de force significatifs lors de l'utilisation des charges variables justifient tous leurs résultats en apportant un élément qui semble commun à chacune des études : les charges variables permettent l'amélioration de la puissance (Anderson et al., 2008 ; Bellar et al., 2011; Ghigiarelli et al., 2009). En effet, la puissance générée lors de l'utilisation de ces méthodes est supérieure lors de la phase concentrique (Wallace et al., 2006). La charge supplémentaire pourrait être un stimulus lors de l'utilisation de charges variables, car il y a une augmentation de l'activité musculaire lors de la descente (Cronin, 2003; Wallace et al., 2006). Des adaptations musculaires sont donc possibles lorsque ces méthodes sont utilisées à long terme (Ghigiarelli et al., 2009). De plus, cette force peut être emmagasinée sous forme d'énergie dans les tendons et les articulations et permettre d'améliorer la puissance lors du début de la phase concentrique (Cronin, 2003). Par contre, les dynamophiles exécutent le développé couché en immobilisant la barre à la fin de la portion excentrique, car ce mouvement est évalué ainsi en compétition (FQD, 2013). L'argument de Cronin (2003) ne s'applique donc pas à notre étude, car la technique utilisée par les participants diffère sur ce point.

En revanche, aucune de ces études n'a utilisé des athlètes pratiquant la dynamophilie. Ces spécialistes du développé couché utilisent plusieurs points

techniques lors de ce mouvement. Ces techniques utilisées lors des compétitions leur permettent de lever des charges plus élevées. Les participants des études antérieures n'utilisaient probablement pas les techniques utilisés par les dynamophiles. Madsen et McLaughlin (1984) ont déterminé plusieurs points techniques lors de l'exécution du mouvement. Les entraînements avec charges variables pourraient altérer le mouvement du développé couché lorsqu'il est pratiqué sans charges variables. Cette étude indique comme premier élément que les dynamophiles abaissent la barre plus lentement lors de la phase excentrique (Madsen et McLaughlin, 1984).

Nous avançons donc l'hypothèse que l'entraînement avec charges variables pourrait précipiter la descente lors de la phase excentrique et dégrader la technique du leueur. Ce changement lors des entraînements pourrait nuire aux différentes techniques du leueur lorsqu'il exécute son développé couché classique en compétition. La dégradation des techniques spécifiques au développé couché de type dynamophile pourrait nuire au leueur et diminuer son efficacité.

La position de la barre est le deuxième point technique identifié par Madsen et McLaughlin (1984). Lors de la dernière partie de phase excentrique, l'athlète place la barre à la hauteur du bas des pectoraux. Tout au long de la phase concentrique, l'athlète remonte la barre à la hauteur de l'articulation de ses épaules. Ce mouvement horizontal permet à l'athlète de solliciter davantage les deltoïdes, les dorsaux et les triceps brachiaux. Ces techniques facilitent le mouvement, car elles aident à outrepasser le point critique (Duffey et Challis, 2007). Ce déplacement horizontal de la barre est nécessaire afin de la positionner correctement (Madsen et McLaughlin, 1984). Ces techniques ont un impact sur la force maximale, car elles permettent d'utiliser un plus grand nombre de groupes musculaires (Duffey et Challis, 2007). Par contre, le positionnement de la barre pourrait être affecté par l'utilisation de charges variables lors des entraînements. Les bandes élastiques tirent inévitablement toujours dans un vecteur combiné d'une force horizontale et verticale à moins d'être exactement à sa hauteur. Les chaînes produisent une résistance lorsqu'elles doivent se déplacer horizontalement. La friction sur le sol peut donc affecter le positionnement de la barre pour l'athlète pratiquant la dynamophilie (Wallace et al., 2006). L'entraînement avec

charges variables pourrait engendrer une déformation du mouvement et possiblement nuire à l'athlète lorsqu'il est soumis à un test du 1RM au développé couché sans chaînes ou sans bandes élastiques.

Les valeurs de l'effet de taille semblent indiquer une amélioration plus marquée chez les individus ayant participé au programme d'entraînement sans charges variables. L'amélioration du groupe contrôle est faible (TE=0.26) et celle du groupe expérimental est nulle (TE=0.00).

4.4 Soulevé de terre

Les résultats de cette étude indiquent que les charges variables sont des méthodes très efficaces afin d'augmenter la force maximale chez un athlète en dynamophilie ($p < 0.01$). Malheureusement, aucune étude n'a pratiqué d'analyse biomécanique afin de déterminer les différences techniques entre un soulevé de terre standard et un soulevé de terre exécuté avec charges variables. Swinton et ses collègues (2011) ont par contre analysé la vitesse de la barre et la force déployée par les leveurs au soulevé de terre avec chaînes. Les capteurs situés sous les pieds des leveurs indiquent qu'il y a une force supérieure appliquée par les leveurs tout en gardant une vitesse supérieure de la barre (Swinton et al., 2011). La flexion de jambes et le développé couché avec charges variables ont subi les mêmes types d'analyses dans plusieurs recherches (Anderson et al., 2008 ; Bellar et al., 2011; Ghigiarelli et al., 2009 ; Wallace et al., 2006). Les résultats de ces recherches permettent d'apporter des éléments communs et similaires à ce que Swinton et ses collègues ont mis en évidence. Selon Hatfield (2006), les exercices exécutés plus rapidement permettent aux sportifs d'appliquer plus de force et d'augmenter le nombre de muscles recruté lors de l'effort (Hatfield, 2006).

Les résultats de notre recherche indiquent une amélioration significative du groupe expérimental au delta Wilks du soulevé de terre ($p=0.001$). Le groupe expérimental s'est amélioré de 8.16 ± 4.61 points de Wilks et le groupe contrôle a eu une diminution moyenne de 0.58 ± 7.06 points de Wilks. Aucune étude n'avait appliqué jusqu'à ce jour un protocole d'entraînement avec charges variables à la flexion de jambes, au soulevé de terre et au développé couché. De tels résultats au soulevé de terre pourraient être dus

à l'utilisation de charges variables à la flexion de jambes et au soulevé de terre. En effet, les dynamophiles utilisent davantage les muscles des extenseurs du dos et des fléchisseurs du genou (Swinton et al., 2012). Les points techniques utilisés par un dynamophile lors de la flexion de jambes permettent donc de cibler beaucoup plus les mêmes groupes musculaires utilisés lors du soulevé de terre. Les charges variables pourraient avoir causé un stress supplémentaire lors de la flexion de jambes avec charges variables au niveau des muscles de la chaîne postérieure. Ces adaptations pourraient ainsi permettre d'augmenter la force maximale au soulevé de terre et ainsi permettre un transfert des acquis.

De plus, le tronc des dynamophiles est plus horizontal lors d'une flexion de jambes (Escamilla et al., 2001b). Cette position permet au leveur d'utiliser davantage les fessiers, les ischiojambiers et les extenseurs du dos (Escamilla et al., 2001b). Lors du soulevé de terre, ces groupes musculaires sont utilisés tout au long du mouvement. Au point critique, l'angle articulaire de la hanche lors soulevé de terre est moins prononcé que celui de la flexion de jambes. Celui-ci est de $95.63^\circ \pm 8.14^\circ$ lors du soulevé de terre et de $81.77^\circ \pm 6.03^\circ$ à la flexion de jambes (Hales et al., 2009). La flexion de jambes avec charges variables permet l'entraînement des muscles de la chaîne postérieure avec une charge supérieure. La valeur du test de student significativement plus élevée du delta Wilks associé au soulevé de terre ($p=0.001$ versus $p=0.824$) pourrait être causée par un gain de force maximale lors de la flexion de jambes avec charges variables. Ces entraînements pourraient causer des adaptations plus marquées aux muscles de la chaîne postérieure. La méthode avec charges variables semble améliorer davantage la force des muscles de la chaîne postérieure à un angle articulaire correspondant au point critique du soulevé de terre.

La taille d'effet indique une amélioration modérée élevée (0.63) de la moyenne du Wilks au soulevé de terre chez les sportifs du groupe expérimental. Il n'y a pas eu d'amélioration dans le groupe contrôle et les valeurs des tailles d'effets sont nulles.

4.5 Total

L'analyse des deltas Wilks dans les deux groupes indique qu'il y a une augmentation supérieure de cette valeur. Cette valeur est primordiale chez les dynamophiles, car elle représente la performance de l'athlète. Il y a eu une amélioration significative ($p=0.03$) du Delta Wilks total uniquement chez les individus du groupe expérimental. L'amélioration du Wilks est de 18,98 points pour le groupe expérimental et de 6,48 points pour le groupe contrôle. La taille d'effet attribut un score plus élevé aux individus du groupe expérimental (0.39 versus 0.15). Les sportifs du groupe expérimental ont obtenu une amélioration modérée entre les semaines 1 et 9. Ces valeurs indiquent que les entraînements avec charges variables procurent davantage de gain au Wilks total. L'amélioration de 18.98 points de Wilks représente une amélioration énorme dans ce sport.

Le groupe contrôle a soulevé au total une charge supérieure de 10.23kg et le groupe expérimental de 14.36kg. Le groupe expérimental s'est davantage amélioré que le groupe contrôle au cumulatif avec une masse corporelle plus petite.

Conclusion

Il n'a pas été possible de trouver des différences statistiquement significatives ($p \leq 0.05$) entre le groupe contrôle et le groupe expérimental lors des tests de comparaison des moyennes pour les valeurs de charges brutes au terme du programme d'entraînement de 9 semaines. Par contre, l'analyse des deltas et des tailles d'effets indique plusieurs différences non dénotées par les tests t de Student. En effet, les dynamophiles ayant participé à ce protocole s'entraînaient déjà en force maximale depuis plusieurs années. Il est difficile de dénoter une grande amélioration des performances avec ce type de sportif sur une période relativement courte avec des tests statistiques traditionnels (9 semaines).

Par contre, les résultats des deltas et des tailles d'effet semblent indiquer que ces deux méthodes peuvent apporter des améliorations de la force maximale. Les deltas associés au Wilks de la flexion de jambes ($p=0.033$), au soulevé de terre ($p=0.025$) et au total ($p=0.003$) se sont améliorés significativement chez le groupe expérimental. Dans le groupe contrôle, les deltas Wilks de la flexion de jambes ($p=0.029$) et du développé couché ($p=0.018$) se sont améliorés significativement. Seule la méthode avec charges variables a permis d'obtenir une différence significative au delta Wilks associé au total. Cette valeur est primordiale, car elle représente la performance globale d'un athlète lors d'une journée de compétition. Ces méthodes semblent apporter des gains très marqués au niveau de la force maximale au soulevé de terre. Un protocole d'entraînement avec charges variables uniquement au soulevé de terre pourrait être pratiqué chez des sportifs, car les gains sont peut-être causés par un transfert d'acquis provenant de la flexion de jambes avec charges variables.

Bibliographie

- Anderson, C. E., Sforzo, G. A. & Sigg, J. A. (2008). The effects of combining elastic and free weight resistance on strength and power in athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22(2), 567-574.
- Baker, D. (2006). Methods to Increase the Effectiveness of Maximal Power Training for the Upper Body. *Journal of Strength Conditioning Research*, 27, 24-32.
- Baker, D. G. & Newton, R. U. (2009). Effect of kinetically altering a repetition via the use of chain resistance on velocity during the bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(7), 1941-1946.
- Bellar, D. M., Muller, M. D., Barkley, J. E., Kim, C. H., Ida, K., Ryan, E. J., ... Glickman, E. L. (2011). The effects of combined elastic- and free-weight tension vs. free-weight tension on one-repetition maximum strength in the bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 459-463.
- Bryanton, M. A., Kennedy, M. D., Carey, J. P. & Chiu, L. Z. (2012). Effect of squat depth and barbell load on relative muscular effort in squatting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2820-2828.
- Chandler, T. J. (1992). The Squat Exercise in Athletic Conditioning: A Position Statement and Review of the Literature.
- Comfort, P., Haigh, A. & Matthews, M. J. (2012). Are changes in maximal squat strength during preseason training reflected in changes in sprint performance in rugby league players? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(3), 772-776.
- Coombs, R., Garbutt, G. & Cramp, M. (2002). Comparison of conventional and functional hamstring-quadriceps moment ratios through a 90° range of leg motion. *Journal of Sports Sciences*, 20(3-4).
- Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: part 2 - training considerations for improving maximal power production. *Sports Medecine*, 41(2), 125-146.
- Cronin, J. & Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Medecine*, 35(3), 213-234.
- Duffey, M. J. & Challis, J. H. (2007). Fatigue effects on bar kinematics during the bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 556-560.
- Ebben, W. P. & Jensen, R. L. (2002). Electromyographic and kinetic analysis of traditional, chain, and elastic band squats. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(4), 547-550.
- Elliott, B. C., Wilson, G. J. & Kerr, G. K. (1989). A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Medicine and Science in Sports and Exercise's*, 21(4), 450-462.

- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Lowry, T. M., Barrentine, S. W. & Andrews, J. R. (2001b). A three-dimensional biomechanical analysis of the squat during varying stance widths. *Medicine and Science in Sports and Exercise's*, 33(6), 984-998.
- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Zheng, N., Lander, J. E., Barrentine, S. W., Andrews, J. R., ... Moorman, C. T., 3rd. (2001a). Effects of technique variations on knee biomechanics during the squat and leg press. *Medicine and Science in Sports and Exercise's*, 33(9), 1552-1566.
- Escamilla, R. F., Francisco, A. C., Kayes, A. V., Speer, K. P. & Moorman, C. T., 3rd. (2000). A three-dimensional biomechanical analysis of sumo and conventional style deadlifts. *Medicine and Science in Sports and Exercise's*, 32(7), 1265-1275.
- Escamilla, R. F., Francisco, A. C., Kayes, A. V., Speer, K. P. & Moorman, C. T., 3rd. (2002). An electromyographic analysis of sumo and conventional style deadlifts. *Medicine and Science in Sports and Exercise's*, 34(4), 682-688.
- Escamilla, R. F., Lowry, T. M., Osbahr, D. C. & Speer, K. P. (2001c). Biomechanical analysis of the deadlift during the 1999 Special Olympics World Games. *Medicine and Science in Sports and Exercise's*, 33(8), 1345-1353.
- FQD. (2012). fédération québécoise de dynamophilie. Page consultée le 3 juin 2012, à <http://www.fqd-quebec.com/>.
- Fry, A. C., Smith, J. C. & Schilling, B. K. (2003). Effect of knee position on hip and knee torques during the barbell squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 629-633.
- Ghigiarelli, J. J., Nagle, E. F., Gross, F. L., Robertson, R. J., Irrgang, J. J. & Myslinski, T. (2009). The effects of a 7-week heavy elastic band and weight chain program on upper-body strength and upper-body power in a sample of division 1-AA football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(3), 756-764.
- Hales, M. E., Johnson, B. F. & Johnson, J. T. (2009). Kinematic analysis of the powerlifting style squat and the conventional deadlift during competition: is there a cross-over effect between lifts? *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(9), 2574-2580.
- Hukins, D. W., Kirby, M. C., Sikoryn, T. A., Aspden, R. M. & Cox, A. J. (1990). Comparison of structure, mechanical properties, and functions of lumbar spinal ligaments. *Spine (Phila Pa 1976)*, 15(8), 787-795.
- Israel. (2010). Kinetic and kinematic differences between squats performed with and without elastic bands. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 190-194.
- Madsen, N. & McLaughlin, T. (1984). Kinematic factors influencing performance and injury risk in the bench press exercise. *Medecine and Science in Sports Exercice's*, 16(4), 376-381.
- Marcora, S. & al. (2000). The effect of knee angle on the external validity of isometric measures of lower body neuromuscular function. *Journal Sports and Science*, 18(5), 313-319.
- McCurdy, K., Langford, G., Ernest, J., Jenkerson, D. & Doscher, M. (2009). Comparison of chain- and plate-loaded bench press training on strength, joint pain, and muscle

- soreness in Division II baseball players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 187-195.
- Miletello, W. M., Beam, J. R. & Cooper, Z. C. (2009). A biomechanical analysis of the squat between competitive collegiate, competitive high school, and novice powerlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(5), 1611-1617.
- Neelly, K. R., Terry, J. G. & Morris, M. J. (2010). A mechanical comparison of linear and double-looped hung supplemental heavy chain resistance to the back squat: a case study. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(1), 278-281.
- Nisell, R. (1985). Mechanics of the knee. A study of joint and muscle load with clinical applications. *Acta Orthop Scand Suppl*, 216, 1-42.
- Sheiko (2014). Boris Sheiko training programs. Page consultée le 4 janvier 2014 à <http://www.sheiko-program.ru/>
- Powerlifting, U. (2013). WILKS Formula for Men (kg). Page consultée 16 février 2013, à <http://www.usapowerlifting.com/lifterscorner/WILKS-kilo-men.shtml>.
- Schipplein, O. D., Trafimow, J. H., Andersson, G. B. & Andriacchi, T. P. (1990). Relationship between moments at the L5/S1 level, hip and knee joint when lifting. *Journal of Biomechanic*, 23(9), 907-912.
- Schoenfeld, B. J. (2010). Squatting kinematics and kinetics and their application to exercise performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(12), 3497-3506.
- Siewe, J., Rudat, J., Rollinghoff, M., Schlegel, U. J., Eysel, P. & Michael, J. W. (2011). Injuries and overuse syndromes in powerlifting. *International Journal of Sports and Medecine*, 32(9), 703-711.
- Simmons, L. (1996). *Chain reactions: accomodating leverages*.
- Simmons, L. (2006) Explosive leg strength. *powerlifting USA* 30: 12
- Simmons, L. (2012). West-side Barbell. Page consultée le 6 juin 2012, à <http://www.westside-barbell.com/>.
- Solomonow, M., Baratta, R., Zhou, B. H., Shoji, H., Bose, W., Beck, C. & D'Ambrosia, R. (1987). The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *The american journal of sports medecine*, 15(3), 207-213.
- Stevenson, M. W., Warpeha, J. M., Dietz, C. C., Giveans, R. M. & Erdman, A. G. (2010a). Acute effects of elastic bands during the free-weight barbell back squat exercise on velocity, power, and force production. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(11), 2944-2954.
- Stevenson, M. W., Warpeha, J. M., Dietz, C. C., Giveans, R. M. & Erdman, A. G. (2010b). Acute effects of elastic bands during the free-weight barbell back squat exercise on velocity, power, and force production. *American Journal of Sports Medecine*, 24(11), 2944-2954.
- Swinton, P. A., Lloyd, R., Keogh, J. W., Agouris, I. & Stewart, A. D. (2012). A biomechanical comparison of the traditional squat, powerlifting squat, and box squat. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(7), 1805-1816.
- Swinton, P. A., Stewart, A. D., Keogh, J. W., Agouris, I. & Lloyd, R. (2011). Kinematic and kinetic analysis of maximal velocity deadlifts performed with and without the

- inclusion of chain resistance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3163-3174.
- Thomas, G. A., Kraemer, W. J., Spiering, B. A., Volek, J. S., Anderson, J. M. & Maresh, C. M. (2007). Maximal power at different percentages of one repetition maximum: influence of resistance and gender. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 336-342.
- Vanderburgh, P. M. & Batterham, A. M. (1999). Validation of the WILKS powerlifting formula. *Medecin and Science in Sports and Exercercice's*, 31(12), 1869-1875.
- Wallace, B. J., Winchester, J. B. & McGuigan, M. R. (2006). Effects of elastic bands on force and power characteristics during the back squat exercise. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 268-272.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J. & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medecine and Science in Sports Exercise's*, 25(11), 1279-1286.

Annexe A

Semaine 1

Lundi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	5	1
	60	4	2
	70	3	2
	80	2	5
Développé couché	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	6
Écarté couché avec haltère		10	5
Flexion de jambes	50	5	1
	60	5	1
	70	4	5
Flexion du tronc au sol		10	3

Mercredi	%	rép.	séries
Soulevé de terre	50	4	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	5
Développé couché	50	6	1
	60	5	1
	70	4	2
	75	3	2
	80	2	2
	75	3	2
	70	4	1
	65	6	1
	60	8	1
	50	10	1
Écarté couché avec haltère		10	5
Soulevé de terre jusqu'aux genoux	50	4	1
	60	4	1
	70	4	5
extension du tronc à la barre assis		5	5

Vendredi	%	rép.	séries
Développé couché	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	5
Flexion de jambes	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	6
Développé couché	55	5	1
	65	4	1
	75	3	5
Écarté couché avec haltère		10	5
Élévation des jambes		10	3

Samedi	%	rép.	séries
Soulevé de terre surélevé de 5cm	50	3	2
	60	2	4
Développé couché incliné		4	6
Répulsion à la barre fixe		6	5
Soulevé de terre (barres surélevé 5cm)	60	4	1
	70	4	2
	80	3	2
	90	2	4
extension du tronc à la barre assis		5	5

Semaine 2

Lundi	%	rép.	séries
Développé couché	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	3
	85	2	3
Flexion de jambes	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	5
Développé couché	55	4	1
	65	4	2
	75	4	4
Écarté couché avec haltère		10	5
Élévation des jambes		10	3

Mercredi	%	rép.	séries
Soulevé de terre surélevé de 5cm	50	3	1
	60	3	2
	65	2	4
Développé couché	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	2	3
	75	3	2
	70	4	1
	60	6	1
	50	8	1
Écarté couché avec haltère		10	5
Soulevé de terre	50	4	1

Vendredi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	5
Développé couché	55	5	1
	65	4	1
	75	3	5
Écarté couché avec haltère		10	5
Flexion de jambes	50	5	1
	60	5	1
	70	4	4
Flexion du tronc au sol		10	3

Samedi	%	rép.	séries
Développé militaire à la barre		5	5
Développé couché incliné		4	6
Répulsion à la barre fixe		8	5
Soulevé de terre jusqu'aux genoux	50	4	1
	60	4	1
	70	3	2
	75	2	5
extension du tronc à la barre assis		5	5

Semaine 3

Lundi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	5
Développé couché	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	6
Écarté couché avec haltère		10	5
Flexion de jambes	50	5	1
	60	5	1
	70	5	5
Redressement assis		10	3

Mercredi	%	rép.	séries
Soulevé de terre	50	4	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	5
Développé couché	50	8	1
	55	7	1
	60	6	1
	65	5	1
	70	4	1
	75	3	2
	80	2	2
	85	1	2
	80	2	2
	75	3	2
	65	6	1
	60	8	1
	55	10	1
	50	12	1
Écarté couché avec haltère		10	5
Soulevé de terre jusqu'aux genoux	50	4	1
	60	4	1
	70	4	5
Flexion du tronc à la barre assis		5	5

Vendredi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	3
	85	2	3
Développé couché	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	6
Écarté couché avec haltère		10	5
Flexion de jambes	50	6	1
	60	6	1
	65	6	4
Répulsion à la barre fixe		6	6
Redressement assis		10	3

Samedi	%	rép.	séries
Soulevé de terre surélevé de 5cm	50	3	1
	60	3	2
	65	3	4
Développé couché	50	6	1
	60	6	1
	65	6	5
extension des coudes à la barre		6	5
Soulevé de terre (barres surélevées 5cm)	60	4	1
	70	4	2
	80	4	2
	85	4	4
Flexion du tronc à la barre assis		5	5

Semaine 4

Lundi

	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	7
Développé couché	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	2
	85	2	3
	80	3	2
Répulsion à la barre		6	5
Écarté couché avec haltère		10	5
Redressement assis		10	3

Mercredi

	%	rép.	séries
Soulevé de terre surélevé de 5cm	50	3	1
	60	3	2
	70	2	4
Développé couché	50	5	1
	60	5	1
	70	5	2
	75	4	5
Écarté couché avec haltère		10	5
Soulevé de terre	50	4	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	3
	85	2	3
Extension du tronc à la barre assis		5	5

Vendredi

		rép.	séries
Flexion de jambes	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	3
	85	2	3
Développé couché	50	5	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	3	6
Répulsion à la barre		6	5
Écarté couché avec haltère		10	5
Flexion de jambes	55	4	1
	65	3	1
	75	3	5
Abdominaux		10	5

Samedi

		rép.	séries
Soulevé de terre jusqu'aux genoux	50	4	1
	60	4	1
	70	3	2
	80	2	4
Développé militaire à la barre		5	5
Développé couché incliné		4	6
Soulevé de terre (barres surélevées 5cm)	60	4	1
	70	4	1
	80	3	2
	90	3	4
Extension du tronc à la barre assis		5	5

Semaine 5

Lundi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	3	1
	60	3	2
	70	3	2
	75	2	3
Développé couché	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	75	2	3
Écarté couché avec haltère		8	4
Abdominaux (élévation des jambes)		10	3

Mercredi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	2
	90	1	1
	95-100	1	2
Développé couché	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	2
	90	1	1
	95-100	1	2
Soulevé de terre	50	3	1
	60	3	1
	70	2	2
	80	2	1
	90	1	1
	95-100	1	2

Vendredi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	6
Développé couché	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	3	6
Écarté couché avec haltère		10	5
Flexion de jambes	55	3	1
	65	3	1
	75	3	4
Extension du tronc à la barre assis		5	5

Samedi	%	rép.	séries
Soulevé de terre jusqu'aux genoux	50	4	1
	60	4	1
	70	4	4
Développé couché incliné		4	6
Répulsion à la barre fixe		6	5
Soulevé de terre (barres surélevées 5cm)	55	3	1
	65	3	1
	75	3	2
	85	3	4
Abdominaux (redressement assis)		10	5

Semaine 6

Lundi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	3	3
	85	2	3
Développé couché	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	2
	90	1	2
	80	2	2
Écarté couché avec haltère		8	4
Flexion de jambes	50	4	1
	60	4	1
	70	4	4
Abdominaux (élévation des jambes)		10	3

Mercredi	%	rép.	séries
Soulevé de terre	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	3	3
	85	2	3
Développé couché	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	3	5
Écarté couché avec haltère		10	5
Soulevé de terre jusqu'aux genoux	55	3	1
	65	3	1
	75	3	4
Extension du tronc à la barre assis		5	5

Vendredi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	3	5
Développé couché	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	2
	85	1	3
Écarté couché avec haltère		10	5
Flexion de jambes	55	3c	1
	65	3	1
	75	2	4
Abdominaux (élévation des jambes)		10	3

Samedi	%	rép.	séries
Développé couché	55	3	1
	65	3	2
	75	3	5
Répulsion à la barre		4	5
Soulevé de terre	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	6
Extension du tronc à la barre assis		5	5

Semaine 7

Lundi	%	rép.	séries
Développé couché	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	2
	85	1	2
Flexion de jambes	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	5
Développé couché	55	3	1
	65	3	1
	75	2	4
Écarté couché avec haltère		8	4
Extension du tronc à la barre assis		4	5

Mercredi	%	rép.	séries
Développé couché	50	3	1
	60	3	2
	70	3	2
	80	3	6
Écarté couché avec haltère		8	4
Soulevé de terre	50	3	1
	60	3	1
	70	2	2
	80	2	5
Abdominaux (redressement assis)		8	3

Vendredi	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	2
	85	1	2
Développé couché	50	3	1
	60	3	1
	70	3	2
	80	2	5
Écarté couché avec haltère		8	4
Flexion de jambes	55	3	1
	65	3	1
	75	3	4
Extension du tronc à la barre assis		4	4

Samedi	%	rép.	séries
Développé couché incliné		3	5
Répulsion à la barre		4	5
Soulevé de terre	50	3	1
	60	3	2
	70	3	2
	75	3	4
Abdominaux (élévation des jambes)		8	4

Semaine 9

Lundi

	%	rép.	séries
Soulevé de terre	50	3	1
	60	3	2
	70	2	3
Développé couché	50	3	1
	60	3	2
	70	2	2
	75	1	2
Abdominaux (élévation des jambes)		8	2

Mercredi

	%	rép.	séries
Flexion de jambes	50	3	1
	60	3	2
	70	2	3
Développé couché	50	3	1
	60	3	2
	70	2	3

Jeudi et vendredi

Évaluations finales

Annexe B

Tableau : Tension de l'élastique à la flexion de jambes.

Hauteur de la barre (cm)	Tension totale (lb)
99,00 ± 0.05	57,5 ± 0.5
104,10 ± 0.05	61,5 ± 0.5
110,50 ± 0.05	63,5 ± 0.5
115,50 ± 0.05	66,5 ± 0.5
120,20 ± 0.05	68,0 ± 0.5
125,40 ± 0.05	69,0 ± 0.5
103,30 ± 0.05	71,0 ± 0.5
136,00 ± 0.05	71,5 ± 0.5
140,70 ± 0.05	73,0 ± 0.5
145,50 ± 0.05	75,0 ± 0.5
150,50 ± 0.05	75,5 ± 0.5
155,40 ± 0.05	78,5 ± 0.5
161,00 ± 0.05	79,0 ± 0.5

Tableau : Tension de l'élastique au développé couché.

Hauteur de la barre (cm)	Tension totale (lb)
58,10 ± 0.05	73,5 ± 0.5
63,20 ± 0.05	81,0 ± 0.5
68,20 ± 0.05	87,5 ± 0.5
73,30 ± 0.05	94,0 ± 0.5
78,30 ± 0.05	100,5 ± 0.5
83,50 ± 0.05	106,0 ± 0.5
88,60 ± 0.05	110,5 ± 0.5
93,70 ± 0.05	115,5 ± 0.5
98,60 ± 0.05	120,5 ± 0.5

Tableau : Tension de l'élastique au développé couché.

Hauteur de la barre (cm)	Tension totale (kg)
73,50 ± 0.05	50,5 ± 0.5
78,60 ± 0.05	55,0 ± 0.5
83,60 ± 0.05	58,0 ± 0.5
88,90 ± 0.05	61,0 ± 0.5
93,90 ± 0.05	63,5 ± 0.5
99,00 ± 0.05	66,0 ± 0.5
104,00 ± 0.05	68,0 ± 0.5
109,30 ± 0.05	70,0 ± 0.5
114,10 ± 0.05	72,0 ± 0.5

Annexe C

Tableau : Prise de données à la semaine 1. Le premier groupe est le groupe expérimental et le deuxième est le groupe contrôle.

		Poids (kg)	Coef_Wilks	Squat (kg)	Squat_Wilks	Bench (kg)	Bench_Wilks	Deadlift (kg)	Deadlift_Wilks	Total (kg)	Total_Wilks
Expérimentale	1	71,5	0,7375	134,0	98,83	93,0	68,59	165,0	121,69	392,0	289,10
	2	66,7	0,7692	100,0	76,92	75,0	57,69	165,0	126,92	340,0	261,53
	3	95,8	0,6197	183,0	113,41	150,0	92,96	215,0	133,24	548,0	339,60
	4	97,3	0,6155	255,0	156,95	185,0	113,87	235,0	144,64	675,0	415,46
	5	86,3	0,6528	225,0	146,88	155,0	101,18	235,0	153,41	615,0	401,47
	6	92,0	0,6315	205,0	129,46	135,0	85,25	215,0	135,77	555,0	350,48
	7	84,8	0,6610	193,0	127,57	134,0	88,57	215,0	142,12	542,0	358,26
	8	87,8	0,6467	175,0	113,17	111,0	71,78	206,0	133,22	492,0	318,18
	9	56,5	0,9025	102,5	92,51	84,0	75,81	120,0	108,30	306,5	276,62
Contrôle	1	96,9	0,6166	190,0	117,15	132,5	81,70	215,0	132,57	537,5	331,42
	2	78,0	0,6939	180,0	124,90	130,0	90,21	225,0	156,13	535,0	371,24
	3	107,9	0,5921	175,0	103,62	120,0	71,05	175,0	103,62	470,0	278,29
	4	116,1	0,5796	200,0	115,92	142,5	82,59	232,5	134,76	575,0	333,27
	5	114,8	0,5813	235,0	136,61	140,0	81,38	240,0	139,51	615,0	357,50
	6	88,5	0,6440	190,0	122,36	140,0	90,16	220,0	141,68	550,0	354,20
	7	77,3	0,6981	145,0	101,22	110,0	76,79	190,0	132,64	445,0	310,65
	8	125,8	0,5691	300,0	170,73	185,0	105,28	279,0	158,78	764,0	434,79

Annexe D

Tableau : Prise de données à la semaine 9. Le premier groupe est le groupe expérimental et le deuxième est le groupe contrôle.

		Poids (kg)	Coef_Wilks	Squat (kg)	Squat_Wilks	Bench (kg)	Bench_Wilks	Deadlift (kg)	Deadlift_Wilks	Total (kg)	Total_Wilks
Expérimentale	1	68,1	0,7656	152,5	116,75	92,5	70,82	167,5	128,24	412,5	315,81
	2	62,9	0,8178	125,0	102,23	75,0	61,34	175,0	143,12	375,0	306,68
	3	92,8	0,6288	202,5	127,33	152,5	95,89	227,5	143,05	582,5	366,28
	4	91,5	0,6331	252,5	159,86	185,0	117,12	235,0	148,78	672,5	425,76
	5	87,8	0,6467	212,5	137,42	155,0	100,24	250,0	161,68	617,5	399,34
	6	87,0	0,6499	202,5	131,60	155,0	100,73	210,0	136,48	567,5	368,82
	7	82,5	0,6699	202,5	135,65	125,0	83,74	227,5	152,40	555,0	371,79
	8	88,2	0,6714	174,7	117,29	111,2	74,66	206,4	138,58	492,3	330,53
	9	55,0	0,9267	115,0	106,57	75,0	69,50	130,0	120,47	320,0	296,54
Contrôle	1	93,5	0,6266	195,1	122,25	145,2	90,98	215,5	135,03	555,8	348,26
	2	79,0	0,6882	195,0	134,20	130,0	89,47	215,0	147,96	540,0	371,63
	3	104,0	0,5996	182,5	109,43	125,0	74,95	195,0	116,92	502,5	301,30
	4	119,0	0,5761	200,0	115,22	155,0	89,30	240,0	138,26	595,0	342,78
	5	110,0	0,5885	240,0	141,24	145,0	85,33	230,0	135,36	615,0	361,93
	6	90,7	0,6359	200,0	127,18	145,0	92,21	210,0	133,54	555,0	352,92
	7	79,4	0,6860	145,0	99,47	115,0	78,89	190,0	130,34	450,0	308,70
	8	121,5	0,5733	300,0	171,99	185,0	106,06	275,0	157,66	760,0	435,71