

**UNIVERSITE MONTPELLIER 1**

**Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Master 2 Professionnel**

**Spécialité : Sciences et Techniques du Coaching Sportif (STCS)**

**Parcours : Préparation Physique et Réathlétisation (PPR)**

**Effets d'un renforcement musculaire unipodal sur les déséquilibres musculaires chez des jeunes Rugbymen (-17ans)**

**Présenté par**

**Salim AOUCHE**

**Sous la direction de**

**M. François FAVIER, Maître de conférences**

*Année universitaire 2012-2013*

**UNIVERSITE MONTPELLIER 1**

**Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives**

**Mémoire présenté en vue de l'obtention du Master 2 Professionnel**

**Spécialité : Sciences et Techniques du Coaching Sportif (STCS)**

**Parcours : Préparation Physique et Réathlétisation (PPR)**

**Effets d'un renforcement musculaire unipodal sur les déséquilibres musculaires chez des jeunes Rugbymen (-17ans)**

**Présenté par**

**Salim AOUCHE**

**Sous la direction de**

**M. François FAVIER, Maître de conférences**

*Année universitaire 2012-2013*

## Sommaire

I.	Introduction .....	4
1.	Analyse de l'activité Rugby .....	4
2.	Prévention des blessures des membres inférieurs.....	6
3.	Protocole d'entraînement musculaire unipodal visant à corriger les déséquilibres musculaires .....	8
II.	Matériels et méthodes.....	9
1.	Les sujets .....	9
2.	Les tests réalisés .....	10
a.	Les tests isocinétiques.....	10
b.	Les tests fonctionnels.....	11
3.	Analyse statistique .....	12
III.	Résultats.....	13
1.	Tests de terrain.....	13
2.	Tests isocinétiques sur Biodex System 2.....	15
IV.	Discussions .....	18
1.	Choix du rapport mixte et des vitesses angulaires.....	18
2.	Co-contraction et stabilité du genou .....	19
3.	Evaluation des déséquilibres musculaires et prévention des blessures .....	21
V.	Conclusion et perspectives .....	22
VI.	Points clefs et applications pratiques.....	23
VII.	Références bibliographiques.....	24

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier l'ensemble des joueurs qui ont participé à l'étude pour leur application, leur sérieux, leur investissement et leur bonne humeur.

Un grand merci également à la structure de l'Association Sportive Montferrandaise (ASM) pour m'avoir accueilli et permis de réaliser un stage riche en enseignements et d'avoir mis à ma disposition l'ensemble du matériel nécessaire pour la réalisation de mon protocole de mémoire.

Ensuite, un remerciement à l'UFR STAPS de l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand pour la mise à disposition de leur ergomètre isocinétique Biodex System 2.

Enfin, je souhaite remercier tout particulièrement :

M. FAVIER François, maître de conférences à l'UFR STAPS de Montpellier 1 et mon maître de stage, pour son implication, son soutien, mais aussi ses précieux conseils, et la confiance qu'il m'a accordé tout au long de l'année.

M. CHESY Romuald, préparateur physique au centre de formation de l'ASM, pour son professionnalisme, son aide et ses apports techniques lors de l'élaboration du protocole de musculation unipodal.

M. MASO Freddy, directeur sportif du centre de formation de l'ASM, pour la confiance qu'il m'a accordé et son intervention dans l'organisation des tests isocinétiques.

M. RATEL Sébastien, maître de conférences et enseignements chercheurs HDR à l'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, pour la mise à disposition du Biodex System 2, ses conseils de qualité et son aide concernant l'utilisation et l'analyse du dynamomètre.

Aux autres personnes, ayant apportées leurs regards critiques et leurs observations pertinentes au protocole, que j'aurai pu oublier.

# I. Introduction

## 1. Analyse de l'activité Rugby

Le rugby à XV (rugby union), qui oppose durant 80 minutes deux équipes de 15 joueurs, connaît un grand essor avec environ 3,5 millions de licenciés à travers le monde. Lors de la saison 2011-12, le nombre de licenciés FFR (Fédération Française de Rugby) a atteint un record en franchissant la barre des 450000 pratiquants (contre 266000 en 2007).

L'arrivée du professionnalisme (1995) a conduit à une transformation de la pratique du rugby de haut-niveau avec notamment :

- une diminution des phases statiques (touches et mêlées)
- une augmentation des phases dynamiques et de défense avec percussions, placages, regroupements actifs
- un temps de jeu collectif et individuel plus long et plus intense
- des joueurs plus athlétiques (morphologiquement), plus explosifs, plus rapides et plus puissants (haut et bas du corps), conduisant à des impacts d'autant plus violents
- un rythme de jeu très élevé nécessitant une résistance aux percussions répétées et une récupération rapide.

Ces évolutions ont conduit à une majoration du risque traumatique dont témoignent plusieurs études épidémiologiques. Les populations concernées sont diverses, tant par l'origine géographique des équipes que par le niveau des compétitions. La surveillance épidémiologique des accidents traumatologiques lors des matchs de rugby pose également le problème de la définition (non harmonieuse entre les études) de la blessure et des indicateurs sélectionnés. Cette carence méthodologique devrait être évitée dans les études futures grâce aux récentes recommandations émises par l'International Rugby Board (IRB) sur ce thème (Fuller et al., 2007) qui définit la blessure comme étant « *la survenue d'une lésion acquise durant un match en compétition ayant empêché le joueur de s'entraîner ou de jouer jusqu'à la guérison de celle-ci ; également toute lésion ayant fait l'objet d'un avis médical (suture, examen complémentaire, avis spécialisé...)* ». De ce fait, seules les études concernant les lésions ayant empêché le joueur de jouer en match(s) ou à (aux) l'entraînement(s) suivant seront sélectionnées.

Les taux d'incidence des blessures s'expriment dans la plupart des études en nombre de blessures pour 1 000 heures de pratique. Les taux d'incidence pouvaient s'élever à 30/1 000 heures de match (Garraway et al., 2000), 45/1 000 heures de match (Targett et al., 1998), 74/1 000 heures de match (Bathgate et al., 2002) chez des joueurs professionnels. Pillard et

*al.* (2008) retrouvaient des taux d'incidence chez des joueurs amateurs (Fédéral 1) du Championnat de France égaux à 42/1 000 heures.

La localisation des blessures est elle aussi très variable. En plus de la définition qui a été donnée à la blessure précédemment, seront également exclus toutes les lésions dont la gravité est jugée mineure (inférieur à 7 jours d'arrêt) telles que les hématomes, les contusions et les sutures. Chez les professionnels, les lésions au niveau de la tête (30%) et du cou (10 à 30%) représentent les principales parties lésées (Targett et *al.*, 1998). Viennent ensuite les lésions du membre inférieur avec la cuisse et le mollet (18%), le genou (10%) puis le thorax et l'abdomen (9%). Chez les semi-professionnels, les lésions sont plus fréquentes au niveau du membre inférieur, notamment au niveau de la cuisse et du mollet (20%), et les lésions au niveau de la tête et du cou représentent 10% (Gabett et *al.*, 2003). Chez les jeunes, la partie lésée la plus souvent atteinte est le genou (14%), suivi de la cheville (13%), puis de la tête et du cou (11%) (Raftery et *al.*, 1999). Malgré leur moindre fréquence, les lésions musculo-ligamentaires des membres inférieurs, du genou et de la cheville sont celles entraînant la plus grande période d'indisponibilité, de 8 à 21 jours (gravité modérée) à plus de 21 jours (gravité sévère) (Bathgate et *al.*, 2002 ;Targett et *al.*, 1998 ). A noter que ces parties du corps sont également le plus sujette à récides (respectivement 11% ; 33% et 26 % des lésions correspondantes) (Pillard et *al.*, 2008). Ces longues périodes d'indisponibilités entraînent la non utilisation de la jambe lésée et une sur-utilisation de la jambe saine, ce qui aggrave les phénomènes compensatoires et les déséquilibres musculaires. Ces observations aboutissent à plus de contraintes au niveau ligamentaire (*e.g.* le ligament croisé antérieur) pouvant expliquées le taux élevé de récides.

L'ensemble des observations montrent que la survenue d'accidents traumatologiques en rugby à XV est fréquente, y compris à un niveau non professionnel. La gravité des blessures des membres inférieurs entraînant la plus grande période d'indisponibilité implique une réhabilitation et une réathlétisation encadrée et planifiée afin de favoriser le retour à l'état fonctionnel du membre lésé et de diminuer le risque de récide important de ces lésions. Une approche préventive serait alors intéressante puisqu'elle interviendrait avant la blessure et permettrait de limiter sa survenue.

## **2. Prévention des blessures des membres inférieurs**

Dans la plupart des sports collectifs et nécessitant des mouvements rapides et des changements de trajectoire brutaux, les blessures des membres inférieurs (notamment le genou) sont courantes avec souvent une lésion au niveau du ligament croisé antérieur (LCA). Le LCA se situe à l'intérieur de l'articulation du genou. Il assure le maintien de l'articulation et il s'oppose au déplacement du tibia vers l'avant (« tiroir antérieur ») et limite les rotations externes du genou excessives. La gravité sévère de ce type de blessure (indisponibilité allant de 6 à 8 mois) justifie l'importance d'une approche préventive.

Nombreuses sont les études scientifiques qui s'intéressent à mettre en place des protocoles de prévention et de rééducation pour limiter le risque de blessures au niveau du LCA. Ces protocoles sont principalement effectués en guise d'échauffement pré-séance. Ainsi, Olsen et *al.* (2005) ont étudié l'effet d'un programme d'échauffement neuromusculaire sur la réduction des blessures de la cheville et du genou chez de jeunes handballeuses (15-17 ans) au cours d'une saison entière. Ils ont montré que leur intervention avait entraîné une diminution significative de la gravité des blessures du genou et de la cheville. Soligard et *al.* (2008), Waldén et *al.* (2012) ont montré que leur protocole d'échauffement, avec une partie d'échauffement général, de travail proprioceptif et renforcement musculaire, a réduit de manière significative la gravité des blessures du membre inférieur, avec une réduction significative du taux de blessures du LCA chez des jeunes footballeuses (12-17 ans). La revue de littérature d'Hübscher et *al.* (2010) ainsi que la méta-analyse réalisée par Herman et *al.* (2012) ont recensé plusieurs études montrant l'efficacité de différents protocoles d'échauffements dans le but de prévenir les blessures des membres inférieurs au cours de sport avec mouvements rapides et changements de direction brutaux (handball, football, basketball). De manière générale, ils ont réduits significativement les blessures du membre inférieur rencontrées dans ce type de sport.

Ces protocoles impliquent le plus souvent des exercices d'équilibre, d'étirements, de coordination, de pliométrie et de renforcement musculaire (à poids de corps). Une autre caractéristique est que ces études concernent principalement des sujets sportifs féminins. Il a été montré que le taux de blessures du LCA des athlètes féminines était trois fois plus grand que celui des athlètes masculins (Prodromos et *al.*, 2007). La racine de ces problèmes pourrait provenir de la structure anatomique des hanches chez la femme par rapport à l'homme. Les articulations de la hanche sont plus petites et plus orientées vers l'avant avec une augmentation du basculement pelvien antérieur (inclinaison vers l'avant de la partie supérieur du bassin). Cette particularité entraîne, chez les femmes athlètes, une rotation interne du

genou plus marquée et une augmentation de la laxité ligamentaire, ce qui peut être une source de douleur chronique au niveau du genou antérieur. Partant de ce constat, si les muscles de la hanche et de la cuisse ne sont pas assez puissants pour compenser ces différences, l'athlète féminine peut être prédisposée à des ruptures LCA.

Il est reconnu que le rôle du groupe musculaire des ischio-jambiers est important dans la prévention des blessures du genou (Hewett et *al.*, 2005). Il est situé dans la loge postérieure de la cuisse. C'est un groupe antagoniste au quadriceps, sa principale action est la flexion de la jambe sur la cuisse et l'extension de la cuisse. Sa co-activation permet une stabilisation dynamique du genou et diminue les forces de cisaillement qui peuvent agir sur le LCA. Ce groupe musculaire est constitué de 3 chefs : le semi-membraneux, le semi-tendineux et le biceps fémoral. Lorsque le genou est fléchi, le semi-membraneux et le semi-tendineux sont rotateurs internes du genou, tandis que le biceps fémoral est rotateur externe. Ces différentes fonctions impliquent un traitement différent dans la prévention des blessures du LCA. Le semi-tendineux semble d'autant plus important que sa contraction a le potentiel de comprimer la partie médiale de l'articulation du genou et donc de limiter les rotations externes trop importantes et par conséquent de réduire les blessures du LCA. Il a d'ailleurs été montré qu'une faible activation du semi-tendineux couplée à une forte activation du vaste latéral du quadriceps augmentent les risques de blessure du LCA (Zebis et *al.*, 2009).

Le choix des exercices de musculation apparaît alors prépondérant. Il est tout d'abord important de ne pas négliger les ischio-jambiers qui jouent un rôle agoniste à celui du LCA. Il est également important de renforcer les muscles extenseurs du genou, les quadriceps. Cependant, une trop forte activation des quadriceps comparée à celle des ischio-jambiers entraîne une augmentation des forces de cisaillement au niveau du LCA. L'étude de la co-activation ischio-jambiers/quadriceps (ratio d'activation entre les groupes musculaires ischio-jambiers et quadriceps) lors de différents exercices est alors indispensable pour une optimisation de la prévention des blessures du LCA.

Ce ratio a principalement été étudié à l'aide de dynamomètre isocinétique (Biodex®, CYBEX®, KINcom®,...) à partir de modes de contractions similaires des groupes musculaires agonistes/antagonistes (concentrique ou excentrique) en chaîne ouverte. Les limites normales inférieures du rapport fléchisseur/extenseur (mode de contraction et vitesse identique) se situent à 0,47 et 0,46 en concentrique et 0,38 et 0,36 en excentrique (Croiser et *al.*, 1999). Cependant, ce rapport théorique reste éloigné de la réalité fonctionnelle. En effet, basé sur la biomécanique, lors d'un mouvement isolé en chaîne ouverte, un groupe musculaire agoniste se contracte de manière concentrique afin de générer un mouvement autour de l'articulation, alors que le groupe musculaire antagoniste développe simultanément une contraction

excentrique visant à freiner et protéger l'articulation concernée. Quelle que soit l'action musculaire réalisée autour d'une articulation, l'agoniste et l'antagoniste exercent des contractions opposées. Cette considération justifie l'introduction d'un rapport mixte : fléchisseurs excentrique ( $Fl_{exc}$ )/extenseurs concentrique ( $Ext_{cc}$ ) (Croisier et *al.*, 1996). Le choix des vitesses angulaires sera à adapter en fonction des spécificités de l'activité sportive. La limite normale inférieure serait alors de 0.80 pour le rapport  $Fl_{exc}/Ext_{cc}$ . Plusieurs auteurs suggèrent qu'un déséquilibre  $Fl_{exc}/Ext_{cc}$  favorise la survenue des blessures musculaires et ligamentaires (Solomonow et *al.*, 1987 ; Yamamoto 1993)

Il a également été montré qu'un déséquilibre musculaire entre les membres inférieurs gauche/droite pouvait potentiellement rendre le sujet sensible aux blessures. Une asymétrie seuil de 10-15% ou plus est considérée comme une contrainte supplémentaire sur la jambe faible, compromettant les performances du joueur et prédisposant l'athlète à de diverses blessures (Hewit et *al.*, 2012 ; Knapik et *al.*, 1991)

Partant de ce constat, ne serait-il pas intéressant de travailler les membres inférieurs de manière distincte afin de solliciter de façon optimale chaque membre ainsi que ses groupes musculaires ? En d'autres termes, ne faudrait-il pas opter pour un renforcement musculaire unipodal dans le but de réduire le déficit gauche/droite du membre inférieur et d'améliorer le ratio  $Fl_{exc} / Ext_{cc}$  ?

### **3. Protocole d'entraînement musculaire unipodal visant à corriger les déséquilibres musculaires**

Plusieurs études ont montré que les exercices réalisés en chaîne cinétique ouverte du membre inférieur (*e.g.* extension de genou) augmentaient les contraintes au niveau du LCA. C'est pour cela que seuls les exercices de musculation unipodal en chaîne cinétique fermée seront utilisés dans notre protocole. Les avantages d'un entraînement unipodal sont multiples :

- c'est un mouvement beaucoup plus spécifique aux fonctions de la vie quotidienne et à une grande majorité de sports. En effet, marcher et courir implique l'alternance d'appuis unipodaux.

- c'est le mouvement qui est utilisé dans tous les protocoles de réhabilitation. Après une blessure, le membre lésé est fréquemment plus faible que le membre sain. Lorsque cela arrive, l'utilisation d'un protocole unipodal est nécessaire afin de rétablir cet équilibre. Alors,

pourquoi attendre la blessure pour utiliser ce type de protocole, sachant que des déséquilibres musculaires peuvent être rencontrés ?

- la station unipodale crée naturellement une situation de déséquilibre ce qui entraîne, lors d'exercices de musculation unipodal, le recrutement des muscles stabilisateurs du corps (qui ne sont pas recrutés lors d'exercices bipodaux). Du coup, l'exercice unipodal entraînerait le recrutement d'un plus grand nombre de groupes musculaires (coordination intermusculaire) et donc une production de force plus importante.

- l'unipodal permet un travail proprioceptif du fait de l'instabilité créée

- les charges utilisées (poids des haltères) sont plus légères ce qui permet de décharger la colonne vertébrale, déjà très sollicitée par la pratique du Rugby

En définitive, au vu des contraintes musculaires importantes imposées par l'activité physique du rugby et de la gravité des blessures du membre inférieur, un tel protocole pourrait s'avérer intéressant sur le terrain puisqu'il permettrait de travailler de manière optimale chaque membre sans entraîner une charge d'entraînement supplémentaire excessive et d'agir sur certaines causes de blessure du membre inférieur.

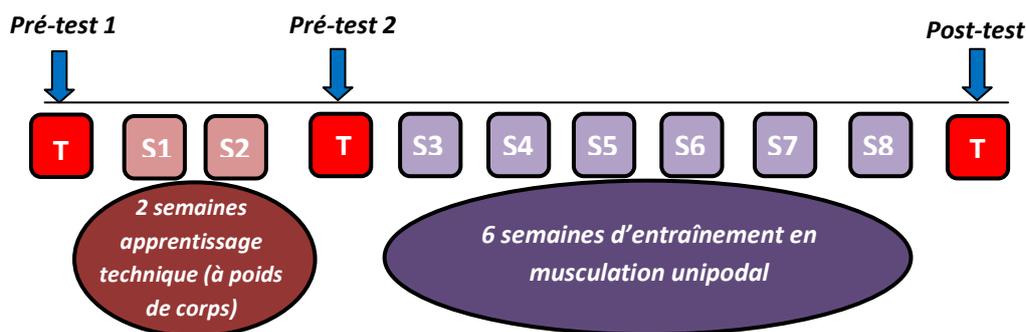
Dans ce sens, l'objectif du travail a été de proposer un protocole de renforcement musculaire unipodal afin de corriger les déséquilibres musculaires pouvant être rencontrés chez des jeunes rugbymen (-17 ans) et de voir ses effets sur les facteurs de la force et de la puissance. Ces paramètres seront mesurés à partir de tests isocinétiques, ce qui permettra d'avoir une mesure précise, fiable et validée sur la qualité musculaire des extenseurs et fléchisseurs du genou, et de tests fonctionnels en chaîne cinétique fermée, donc proche de l'activité, afin d'avoir des mesures sur les déséquilibres musculaires jambe droite/jambe gauche et de voir si l'entraînement unipodal est transférable à la pratique.

## **II. Matériels et méthodes**

### **1. Les sujets**

Quatorze joueurs de rugby évoluant au championnat de France Cadets (de  $16,2 \pm 1$  an,  $80,7 \pm 11$  kg,  $177,8 \pm 6,5$  cm, VMA =  $18,5 \pm 1,3$  km/h, ratio  $Fl_{exc}/Ext_{cc}$  à  $60^\circ/s$  jambe forte =  $0,65 \pm 0,17$  ; jambe faible =  $0,56 \pm 0,14$  et à  $120^\circ/s$ , jambe forte =  $0,64 \pm 0,16$  ; jambe faible =  $0,58 \pm 0,14$ ) ont participé à cette étude. Le protocole s'étalera sur 8 semaines et commencera la première semaine de Février 2013. La séance de musculation unipodale durera en moyenne

45 minutes à une heure et sera effectuée une fois par semaine. Le déroulement de l'étude est illustré sur la figure ci-dessous :



**Figure 1 : Schématisation du protocole d'entraînement unipodal**

Les pré-tests 1 et 2 permettent de s'affranchir d'un éventuel biais méthodologique lié à l'apprentissage de l'entraînement unipodal. De cette façon, les gains qui pourront être rencontrés en post-test témoigneront d'une adaptation liée à l'entraînement musculaire unipodal et non à l'apprentissage de la technique car plusieurs évaluations seront réalisées en unipodal.

La séance de musculation ciblera principalement les ischios-jambiers et les quadriceps. Du fait que les mouvements réalisés étant fonctionnels et sur une jambe, un grand nombre d'autres muscles seront sollicités (adducteurs/abducteurs, muscles stabilisateurs du corps, fessiers, triceps sural, ...). Chaque exercice sera réalisé en respectant une bonne posture et le tempo imposé. Après un échauffement spécifique standardisé, la séance comportera 6 exercices, répartis sous forme de 3 blocs de 2 exercices. Les exercices sont constitués de 3 séries de 8 répétitions par jambe. La récupération est prise à la fin des 2 exercices. Le temps de récupération a été fixé à au moins 2 minutes et 30 secondes car comme nous serons sur l'apprentissage d'un nouvel exercice, nous impacterons d'avantage sur les facteurs nerveux. La récupération pourra être adaptée au cours de la séance afin de conserver la rigueur technique demandée (phase excentrique lente lors de la descente et phase concentrique explosive lors de la montée) tout au long de la séance.

## **2. Les tests réalisés**

### **a. Les tests isocinétiques**

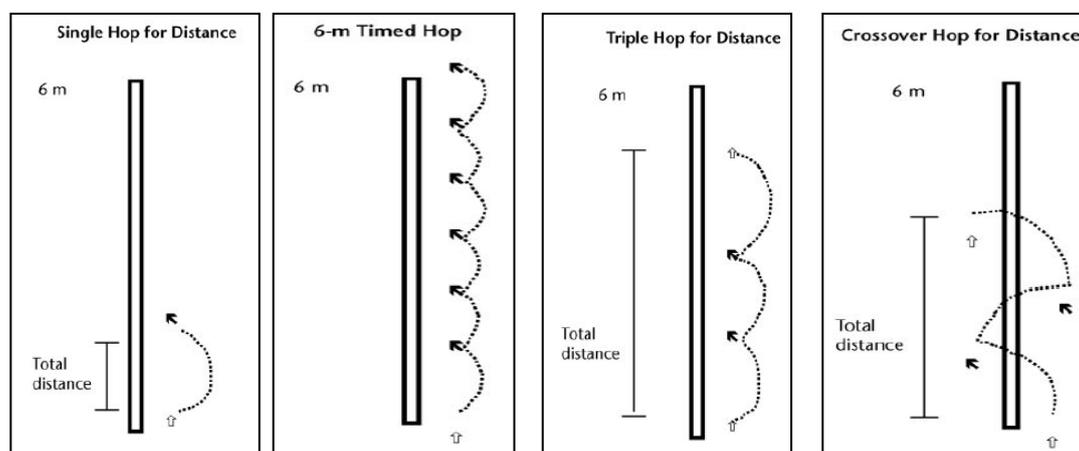
Pour la réalisation de ces tests, un ergomètre isocinétique Biodex System 2 a été utilisé. Avant chaque test, les joueurs réalisent un échauffement standardisé sur cycle-ergomètre Monark à intensité modérée pendant 3 minutes, suivi d'étirements dynamiques sur

les quadriceps et ischio-jambiers et enfin des flexions dynamiques. Une fois le joueur positionné, la procédure de correction de gravité a été appliquée à chaque jambe (pour tenir compte du poids de la jambe lors de l'enregistrement du couple de force). Afin que les couples de force (N.m) des fléchisseurs et des extenseurs du genou en concentrique et excentrique puissent être comparés, il a été choisi deux vitesses angulaires identiques pour les groupes musculaires : 60°/s et 120°/s. L'utilisation d'un ratio mixte  $Fl_{exc} / Ext_{cc}$ , plus proche de la réalité fonctionnelle, a été étudié aux vitesses cités précédemment, pour chaque jambe.

### **b. Les tests fonctionnels**

Plusieurs tests ont été utilisés afin d'apprécier les déséquilibres musculaires gauche/droite du membre inférieur. Compte tenu des caractéristiques de l'activité rugby (saut vertical, course avec changement de direction rapide, accélération sur courte distance, etc) les tests suivants ont été sélectionnés :

- Counter Movement Jump (CMJ) 1 jambe ; utilisation du MYOTEST®
- « Hop testing » : constitué de 4 tests qui sont le « single hop for distance », le « 6-m time hop », le « triple hop for distance » et « cross-over hop for distance » (figure 2)



**Figure 2 : Représentation des 4 hop tests (Reid et al., 2007)**

- Single hop for distance : L'athlète se tient sur une jambe, son pied au niveau de la ligne de départ et les mains sur les hanches. Il doit effectuer un saut maximal horizontal en ré-atterrissant sur la même jambe. La position doit être maintenue 2 secondes pour être valide. La performance correspond à la distance de saut (en cm).
- 6-m time hop : L'athlète se tient sur une jambe, son pied au niveau de la ligne de départ et les mains sur les hanches. Il doit effectuer des sauts horizontaux le plus rapidement possible, sur la même jambe, sur une distance de 6 mètres. La performance correspond au temps de mis en œuvre (en secondes). Pour ce test, des cellules de mesure BROWER® seront utilisées afin de mesurer avec précision (1/100e) le temps effectué.

▪ Triple hop for distance : L'athlète se tient sur une jambe, son pied au niveau de la ligne de départ et les mains sur les hanches. Il doit effectuer trois sauts horizontaux maximaux (sans temps d'arrêt), le long de la ligne graduée, sur la même jambe. La performance sera la distance (en cm) effectuée à l'issue des trois sauts.

▪ Cross-over hop for distance : L'athlète se tient sur une jambe, son pied au niveau de la ligne de départ et les mains sur les hanches. Il doit effectuer trois sauts horizontaux (sans temps d'arrêt), de part et d'autre de la ligne graduée (15cm de large), sur la même jambe. La distance maximum effectuée correspondra à la performance des sauts.

A l'issue des quatre tests, un indice de symétrie du membre inférieur sera calculé (LSI pour Limb Symmetry Index) :

*Single, triple et cross-over hop LSI = (distance moyenne sur une jambe/distance moyenne sur l'autre jambe) x 100*

*Timed hop LSI = (temps moyen sur une jambe/temps moyen sur l'autre jambe) x 100*

- Test de vitesse : temps au 10m (secondes), départ arrêté, jambe alternée (jambe forte devant puis jambe faible). Les cellules de mesure BROWER® seront également utilisées. Le couloir de course mesure 1,22m de large. Quatre cellules seront placées de part et d'autre du couloir, deux au niveau de la malléole à la ligne départ et deux autres cellules au niveau du bassin à la ligne d'arrivée.

- Test d'agilité : Agility T-test modifié, départ arrêté, jambe alternée. Le choix de la jambe de départ est libre.

Les deux derniers tests permettront de voir si les effets de l'entraînement musculaire unipodal ont été transférés sur le terrain ou non.

L'ensemble de ces tests sera réalisé sur deux jours : les tests de vitesse et d'agilité seront faits le premier jour et les tests de sauts verticaux et « hop testing » le deuxième jour.

### **3. Analyse statistique**

La mesure de la tendance centrale a été calculée à partir de la moyenne et la dispersion à partir de l'écart-type.

La comparaison du résultat des différents tests énumérés plus haut a été effectuée. Les variables dépendantes (moment force ; hauteur de saut ; longueur de saut ; temps au 10m ; temps au test-T) sont des variables métriques. Après avoir vérifié la normalité de la distribution par le calcul de l'indice d'asymétrie (coefficient de Skewness) et d'aplatissement

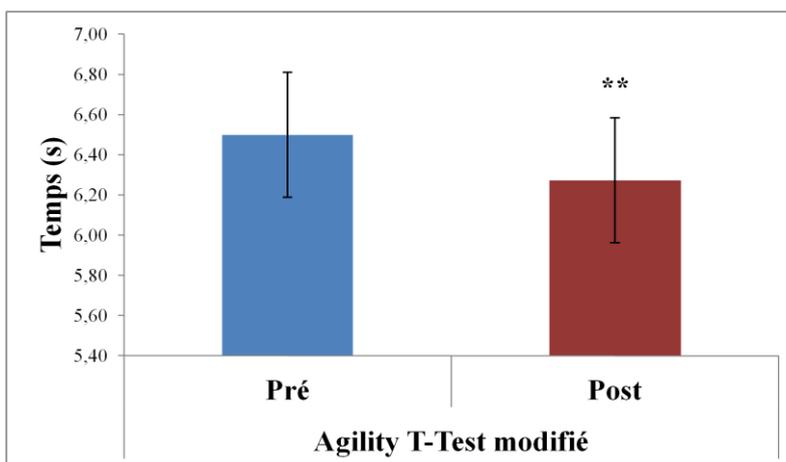
(coefficient de Kurtosis), les données ont été comparées en utilisant l'analyse de variance à deux facteurs (ANOVA à 2 facteurs) sur échantillons appariés. Le test post-hoc LSD de Fisher a été utilisé après confirmation par l'ANOVA 2. Les deux facteurs sont l'effet de l'entraînement unipodal et l'effet de la latéralité (jambe forte *versus* jambe faible). Le niveau de significativité a été fixé à  $P < 0,05$ .

En ce qui concerne la comparaison des déficits musculaires calculés à partir des « HopTesting » et du CMJ, la normalité de la distribution des variables n'étant pas validée, la comparaison des deux échantillons appariés a été réalisée à partir du test des rangs signés de Wilcoxon. Le niveau de significativité a été fixé à  $P < 0,05$ .

### III. Résultats

#### 1. Tests de terrain

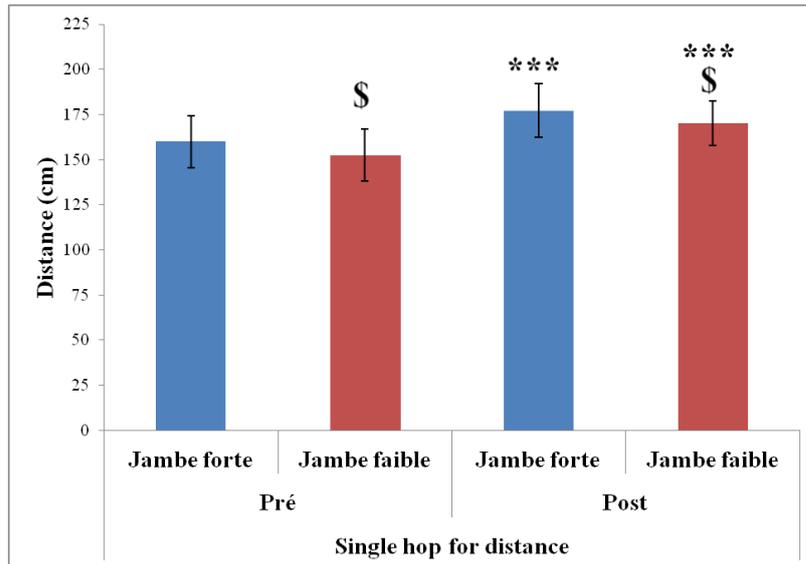
L'analyse des tests de terrain a permis de montrer que l'entraînement unipodal n'avait eu aucun effet sur l'amélioration du temps au 10m, aussi bien pour la jambe forte que pour la jambe faible. Concernant l'Agility T-test modifié, il est noté une amélioration significative ( $P = 0,004$ ) de la performance suite au protocole de musculation (figure 3).



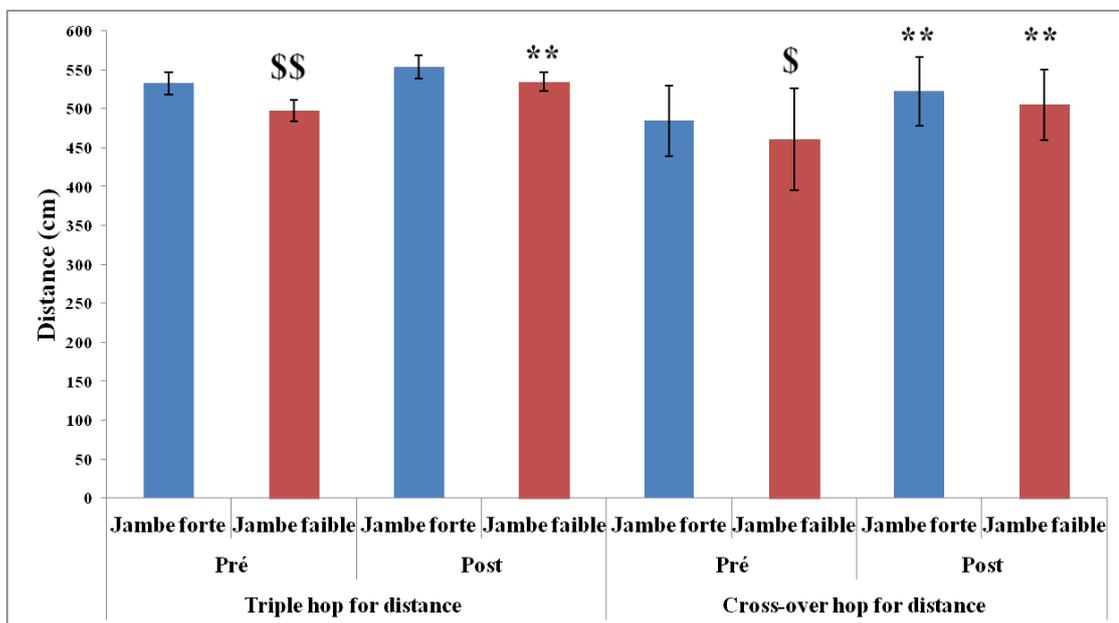
**Figure 3 : Agility T-Test modifié (temps en secondes)**

\*\* = différent de la valeur PRE correspondante ( $P < 0,01$ )

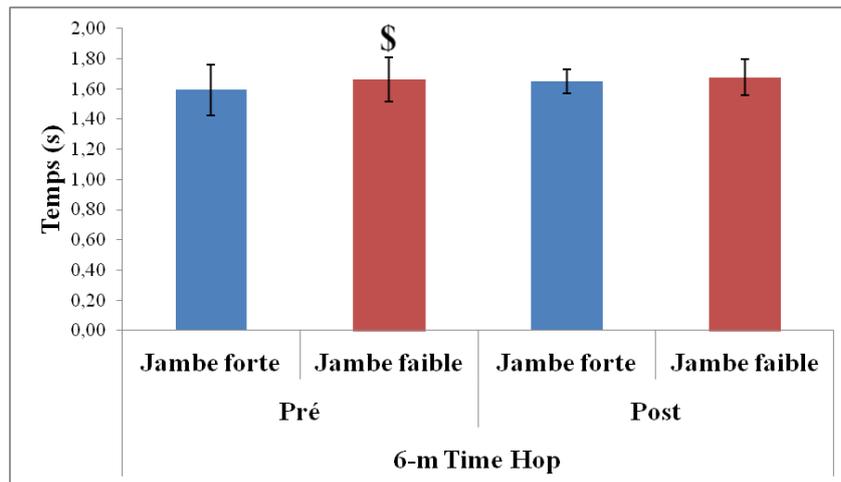
Les résultats des « Hop testing » vont dans ce sens également (figure 4 à 6). A noter que les tests « triple hop for distance », « cross-over hop for distance » et « 6-m time hop » ont permis de mettre en évidence une diminution de la différence (significative en prè-test,  $P = 0,006$ ) entre la jambe forte et la jambe faible en post-test (figure 5 et 6). L'entraînement unipodal a permis de gommer la différence entre les deux jambes.



**Figure 4 : Single hop for distance pré et post entraînement (distance en centimètres)**  
 \*\*\* = différent de la valeur PRE correspondante ( $P < 0.001$ ) et \$ = différent de la jambe forte correspondante ( $P < 0.05$ )



**Figure 5 : Triple et cross-over hop for distance pré et post entraînement (distance en centimètres)**  
 \*\* = différent de la valeur PRE correspondante ( $P < 0.01$ ) ; \$ et \$\$ = différent de la jambe forte correspondante (respectivement  $P < 0.05$  et  $P < 0,01$ )



**Figure 6 : 6-m Time hop pré et post entraînement (temps en secondes)**  
 \$ = différent de la jambe forte correspondante ( $P < 0.05$ )

L'analyse des déficits musculaires calculés à partir des « HopTesting » et du CMJ est représentée dans le tableau 1. Concernant les paramètres obtenus à partir du Myotest®, seule la hauteur (performance en centimètres) a été retenue compte tenu du fait que les autres paramètres (vitesse, force et puissance) présentaient une faible reproductibilité entre les essais ( $R^2 < 0,50$ ). De plus, les paramètres de puissance et force sont obtenus à partir du Biodex System 2 (mesure beaucoup plus précise, reproductible et validée scientifiquement).

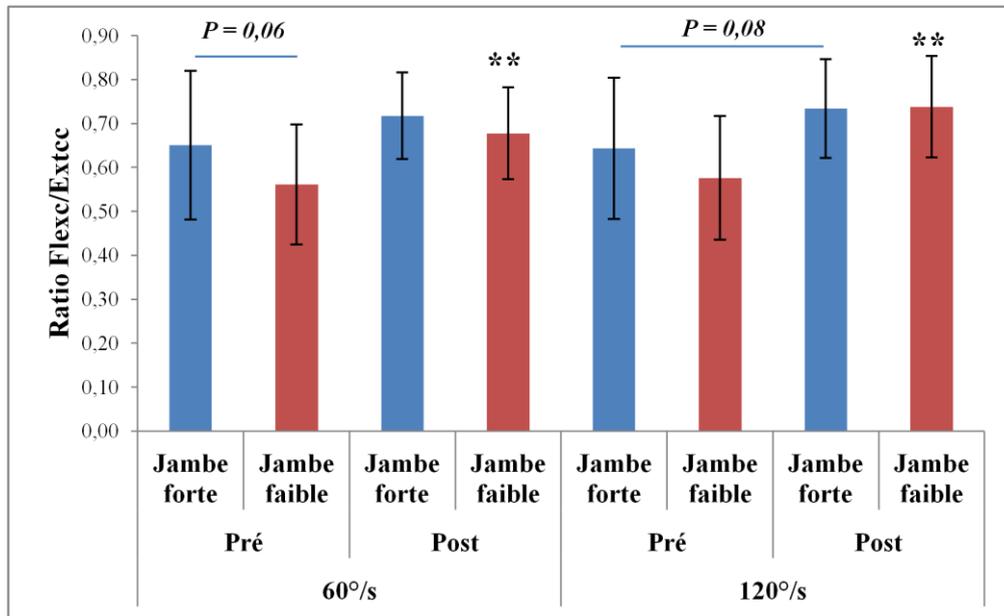
	Pré-test		Post-Test		Test des rangs signés de Wilcoxon
	Moyenne	Ecart-type	Moyenne	Ecart-type	
<b>Single hop for distance (cm)</b>	6,8%	5%	5,5%	4%	<b><math>P = 0,363</math></b>
<b>Triple hop for distance (cm)</b>	6,9%	8%	5,3%	3%	<b><math>P = 0,975</math></b>
<b>Cross-over hop for distance (cm)</b>	5,9%	8%	4,4%	3%	<b><math>P = 0,925</math></b>
<b>6-m Timed hop (s)</b>	4,9%	4%	3,8%	3%	<b><math>P = 0,551</math></b>
<b>CMJ (Hauteur en cm)</b>	16,6%	12%	8,6%	5%	<b><math>P = 0,013^*</math></b>

**Tableau 1 : Synthèse des déséquilibres musculaires entre la jambe forte et la jambe faible en pré et post-test**

## **2. Tests isocinétiques sur Biodex System 2**

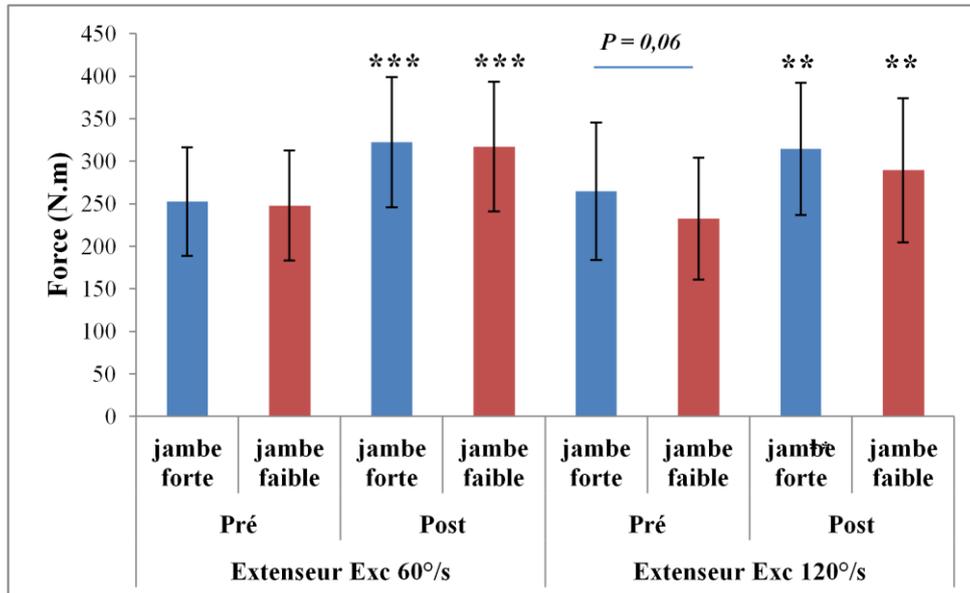
La mesure des couples de force entre fléchisseurs et extenseurs du genou pour chaque jambe a permis d'établir des ratios mixtes  $Fl_{exc} / Ext_{cc}$  à  $60^\circ/s$  et  $120^\circ/s$ . L'analyse des résultats montre un effet significatif de l'entraînement unipodal. A  $60^\circ/s$ , le test post-hoc

montre une tendance vers une différence jambe forte/jambe faible en pré ( $P=0.0552$ ) mais pas en post ( $P=0.365$ ), ce qui suggère que l'entraînement aurait permis de gommer la différence initiale entre les deux jambes. Ainsi, on note une progression significative de la jambe faible ( $P=0,014$ ) à l'issue du protocole. Cette dernière évolution est également retrouvée à  $120^\circ/s$  (figure 7).

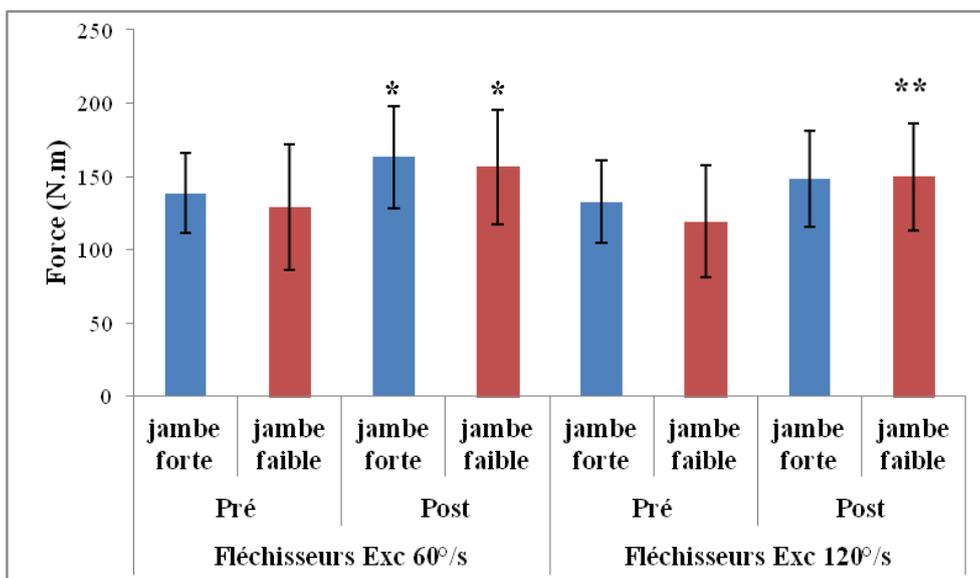


**Figure 7 : Ratio  $Fl_{exc} / Ext_{cc}$  jambe forte et jambe faible à  $60^\circ/s$  puis  $120^\circ/s$**   
 \*\* = différent de la valeur PRE correspondante ( $P<0.01$ )

L'amélioration des ratios mixtes entre la jambe forte et la jambe faible s'explique par une progression significative des couples de force des extenseurs et des fléchisseurs lors d'une contraction excentrique (figure 8 et 9). Pour les extenseurs, à  $120^\circ/s$ , le test post-hoc montre une tendance vers une différence jambe forte/jambe faible en pré ( $P=0.06$ ) mais pas en post ( $P=0.18$ ), ce qui suggère que l'entraînement aurait permis de gommer la différence initiale entre les deux jambes. Aucune amélioration significative n'a cependant été constatée pour les moments de force des extenseurs et fléchisseurs enregistrés lors d'une contraction concentrique.



**Figure 8 :** Couple de force des extenseurs (jambe forte et faible) à 60°/s et 120°/s  
 \*\*\* = différent de la valeur PRE correspondante ( $P < 0.001$ ) et \*\* = différent de la valeur PRE correspondante ( $P < 0.01$ )



**Figure 9 :** Couple de force des fléchisseurs (jambe forte et faible) à 60°/s et 120°/s  
 \* = différent de la valeur PRE correspondante ( $P < 0.05$ ) et \*\* = différent de la valeur PRE correspondante ( $P < 0.01$ )

Le paramètre de puissance des groupes musculaires n'est pas présenté car la puissance étant intimement liée à la force (Puissance = Force x Vitesse) et car la vitesse est par définition constante (isocinétique). Les améliorations significatives enregistrées pour la force se répercuteront logiquement pour la puissance.

## IV. Discussions

Le but du travail a été de proposer un protocole de renforcement musculaire unipodal afin de corriger les déséquilibres musculaires (forte/faible et fléchisseurs/extenseurs) pouvant être rencontrés chez des jeunes rugbymans (-17 ans) et de voir ses effets sur les facteurs de la force et de la puissance.

Les tests de terrain (« Hop testing » et CMJ) ont permis de mettre en évidence ces déséquilibres musculaires. Il a ainsi pu être montré que la réalisation du protocole unipodal pendant 6 semaines, a permis d'une part d'améliorer significativement les performances des tests et d'autre part de réduire les déséquilibres musculaires (forte/faible) qui pouvaient être rencontrés au début du protocole (figure 5, 6 et tableau 1). Malgré le fait que ces améliorations n'aient pas conduit directement à un gain sur le test de vitesse (temps au 10m), l'objectif principal de l'étude a été atteint.

De plus, l'analyse de la qualité musculaire des extenseurs et des fléchisseurs, à l'aide du dynamomètre isocinétique Biodex System 2, appuie ces évolutions. En effet, le ratio mixte  $Fl_{exc} / Ext_{cc}$  pour les deux jambes a été significativement amélioré et la différence entre la jambe forte et la jambe faible a diminué (figure 7).

### 1. Choix du rapport mixte et des vitesses angulaires

L'utilisation du ratio mixte s'appuie sur plusieurs études isocinétiques qui ont jugées que ce ratio était plus proche de la réalité fonctionnelle (Aagaard et *al.*, 1998 ; Croisier et *al.*, 1996). En effet, le caractère discriminant de l'évaluation isocinétique excentrique a été exploré par de nombreux auteurs (Croisier et *al.*, 2002 ; 2008). Les auteurs ont ainsi pu observer, sur une cohorte de 462 joueurs de football professionnels évalués en début de saison, que 30% des joueurs identifiés comme « déséquilibrés » se caractérisaient par une anomalie exclusivement excentrique. Ces joueurs présentant un déséquilibre de force identifié par isocinétisme en début de saison et non traités spécifiquement, se caractérisaient au cours de la saison suivante par un risque lésionnel ischio-jambier multiplié par 4 à 5 en comparaison aux joueurs non « déséquilibrés » musculairement (Croisier et *al.*, 2008).

Le choix des vitesses angulaires apparaît difficile et le respect d'exécution du geste sportive devrait être pris en compte et motiver la sélection de vitesse élevés et identiques. Les lésions ischio-jambières survenant généralement lors de mouvements articulaires à vitesse élevée, il semble intéressant de choisir une vitesse isocinétique rapide, identique pour les

ischio-jambiers en excentrique et pour le quadriceps en concentrique. Croisier et *al.* (1999) ont établi des valeurs extrêmes pour les paramètres isocinétiques. Ainsi, pour un mode de contraction concentrique, les limites de vitesse se situaient de 60°/s à 240°/s et pour un mode de contraction excentrique, de 30°/s à 120°/s. Ces observations justifient le choix de l'utilisation, pour notre protocole, d'un ratio mixte  $Fl_{exc} / Ext_{cc}$  et de vitesses angulaires identiques, pour les deux groupes musculaires, de 60°/s (vitesse lente) et 120°/s (vitesse plus élevée). De cette manière, l'intégrité du sportif n'était pas remise en cause et l'exploration isocinétique du profil musculaire pouvait se faire en accord avec l'activité rugby.

Néanmoins, l'utilisation de vitesses isocinétiques identiques pour les deux groupes musculaires a été peu documentée dans la littérature. En effet, la plupart des études citées (Croisier et *al.*, 1996 ; 1998 ; 2002 et 2008) ont étudié le ratio mixte  $Fl_{exc} 30^\circ/s$  sur  $Ext_{cc} 240^\circ/s$ . Dans ce contexte précis, la limite inférieure établie du ratio mixte dans une population de référence sur des bases statistiques est fixée à 0.80 (dans le cadre de l'utilisation d'un Cybex Norm™). Il est important de rappeler la difficulté de transposer les valeurs de référence obtenues pour un dynamomètre isocinétique à un appareil d'une autre marque ou d'une génération différente, en raison du manque de compatibilité. De plus, il est important de noter que, pour l'isocinétisme, les vitesses lentes correspondent au moment de force et aux sollicitations musculaires les plus élevés. La compréhension de ce paramètre est immédiate, les couples de force générés par les fléchisseurs en excentrique à 30°/s seront plus importants que ceux générés à 60°/s et 120°/s, de même que ceux des extenseurs en concentrique à 240°/s seront plus faibles qu'à 60°/s et 120°/s. Ainsi, la comparaison de notre ratio mixte par rapport aux ratios mixtes recensés dans la littérature est erronée. Malgré tout, à l'issue de notre protocole, on note une amélioration du ratio mixte à 60°/s et à 120°/s pour les deux jambes (significative pour la jambe faible) (figure 7). Les ratios à 60°/s passent respectivement de 0,65 (jambe forte) et 0,56 (jambe faible) en pré-test à 0,72 et 0,68 en post-test. De même à 120°/s, les ratios passent respectivement de 0,64 (jambe forte) et 0,57 (jambe faible) en pré-test à 0,73 et 0,74 en post-test. Ceci témoigne d'un rééquilibrage entre les extenseurs (souvent très puissants) et fléchisseurs du genou chez ces sujets.

## **2. Co-contraction et stabilité du genou**

Il est reconnu que le rôle de co-contraction de muscles agonistes et antagonistes est important pour la stabilisation d'une articulation au cours de mouvements dynamiques (Hewett et *al.*, 2005 ; Nyland et *al.*, 1997 ). Dans ce sens, le groupe musculaire des ischio-jambiers est important dans la prévention des blessures du genou (Hewett et *al.*, 2005). Sa co-

activation permet une stabilisation dynamique du genou et diminue les forces de cisaillement qui peuvent agir sur le LCA. Une trop forte activation des quadriceps comparée à celle des ischio-jambiers entraîne une augmentation des forces de cisaillement au niveau du LCA. Ainsi, les chercheurs ont constamment proposé que l'équilibre de ces muscles opposés est impératif dans le maintien de l'articulation. Cet équilibre est donc un facteur critique pour éviter les blessures pendant les mouvements athlétiques dynamiques telles que sauter, pivoter, ... (Solomonow et *al.*, 2001). Bien que les blessures au niveau du genou soient souvent d'origine multifactorielle, les données épidémiologiques suggèrent qu'une faible force musculaire excentrique et un déséquilibre musculaire jouent un rôle central dans la prévention de ces blessures (Croisier et *al.*, 2008).

Nos résultats étaient ces observations. En effet, le protocole unipodal a permis d'améliorer le ratio  $Fl_{exc} / Ext_{cc}$  avec notamment une progression significative des couples de force des groupes musculaires lors de contractions excentriques (figure 8 et 9).

Toutefois, le temps de latence (50-250 ms) des mouvements explosifs (saut, sprint en cours d'exécution) ne permet pas l'atteinte d'un niveau de force musculaire maximale (Aagaard et *al.*, 2002). En outre, seulement un court laps de temps (<50 ms) existe pour stabiliser l'articulation du genou lors de situations de jeu de match rapide (Krosshaug et *al.*, 2007). Cette remarque soulève une question importante : est-ce que l'exploration isocinétique, permettant de mesurer des moments de force lors de contractions maximales volontaires et de détecter un déséquilibre agoniste-antagoniste, suffit-elle à elle seule pour déterminer un déséquilibre musculaire ?

La réponse à cette question semble être « non ». L'analyse isocinétique est certes indispensable pour rendre compte de la qualité musculaire lors d'un mouvement isolé mais essayer de trouver un lien de causalité entre une amélioration du ratio des couples de force générés lors des tests isocinétiques et la survenue des blessures du genou, est illusoire. De plus, ces tests sont réalisés lors de mouvements en chaîne cinétique ouverte alors que la plupart des blessures intervenant sur le membre inférieur se produisent lors de mouvements réalisés en chaîne cinétique fermée. Il est bien connu que les forces agissant sur une articulation affectent inévitablement les forces s'exerçant sur les autres articulations d'une même chaîne musculaire au cours d'un mouvement cinétique fermée (Winter et *al.*, 1984). Van Rysseghem (2009) a constaté qu'une instabilité au niveau de l'articulation du genou se répercute à l'ensemble des maillons de la même chaîne musculaire provoquant un dysfonctionnement à la cheville, la hanche, et éventuellement au niveau supérieur du corps puisque la personne aurait recours à des stratégies de mouvements compensatoires afin d'éviter la douleur et les blessures.

On comprend ainsi l'importance de coupler les tests isocinétiques à d'autres tests permettant ainsi d'apprécier l'ensemble de la chaîne musculaire en cinétique fermée afin de déceler de possibles déséquilibres musculaires dans des conditions proches de l'activité sportive.

### **3. Evaluation des déséquilibres musculaires et prévention des blessures**

La possibilité d'utiliser un dynamomètre isocinétique n'est pas accessible à toutes les structures sportives. De ce fait, le recours à d'autres tests, plus simples et moins coûteux dans la mise en place, est possible.

L'estimation de la puissance musculaire du membre inférieur est fréquemment évaluée lors d'un saut vertical (une ou deux jambes). De nombreux tests, nécessitant peu de matériel peuvent ainsi permettre d'évaluer cette puissance (*e.g.* test d'Albalakov, test de Sargent, etc).

Dans notre cas, nous avons eu recours au CMJ et la mesure des paramètres de performance (hauteur de saut en centimètres), force, puissance et vitesse a été réalisée à partir d'un dynamomètre inertiel basé sur l'accélérométrie (Myotest®). La validité et la reproductibilité de cet appareil a été vérifié dans plusieurs conditions. Cependant, en lien avec notre protocole, plusieurs études ont montré que le Myotest® sur-estimait la mesure de la production de force (Bampouras et *al.*, 2010), que la mesure de la vitesse n'était ni valide ni reproductible et que seul le paramètre de performance était correct (Casartelli et *al.*, 2010). Ces observations vont dans le sens de nos observations ( $R^2 < 0,50$  et  $CV > 10\%$  pour les paramètres de vitesse, force et puissance) et seul le paramètre de performance (hauteur en cm) a été conservé. Les résultats obtenus lors du CMJ (tableau 1) montrent une diminution significative du déséquilibre musculaire suite au protocole unipodal ( $P=0,0013$ ). Ces résultats laissent présager un rôle préventif de l'entraînement sur la survenue des blessures, dans le sens où une asymétrie seuil de 10-15% ou plus (16,6% en pré, tableau 1) est considérée comme une contrainte supplémentaire sur la jambe faible, compromettant les performances du joueur et prédisposant l'athlète à de diverses blessures (Hewit et *al.* 2012 ; Knapik et *al.*, 1991 ).

Cependant, lors de la pratique de l'activité, beaucoup de mouvements (*e.g.* courir, sauter, pivoter, esquiver, etc) se produisent non seulement dans un plan vertical, mais également dans un plan horizontal et/ou latéral. L'estimation du profil d'un joueur en n'évaluant que le plan vertical est donc insuffisante (Cronin et *al.*, 2005). L'hypothèse selon laquelle la puissance des jambes est la même dans les 3 directions (vertical, horizontal et latéral) est également incorrecte (Maulder et *al.*, 2005). Dans ce sens, il a été utilisé au cours

du protocole des sauts et/ou répétitions de sauts horizontaux, pour compléter les résultats obtenus au CMJ. Les « hop testing » utilisés ont permis de déceler des déséquilibres musculaires, notamment le « triple hop for distance », le « cross-over hop for distance » et le « 6-m time hop » (figure 5 et 6). Ces résultats sont en accord avec l'étude de Maulder et *al.* (2005) qui ont montré que les tests de sauts horizontaux étaient une méthode valide et reproductible pour évaluer une asymétrie musculaire entre les membres inférieurs.

L'amélioration significative des performances lors des tests unipodaux n'a pas été transférée à la course sur 10 mètres. Dans la littérature, la capacité de différents tests à prédire une performance de terrain (sprint, changement de direction, etc) a été étudiée. Ainsi Cronin et *al.* (2005), Maulder et *al.* (2005) contredisent nos résultats et trouvent que l'amélioration de la force et de la puissance musculaire (évalué par des sauts verticaux, des squats à 3 RM ou des sauts horizontaux) étaient de bons prédicateurs de la performance en sprint sur 10, 20 et 30 m. Une étude plus récente de Meylan et *al.* (2009) confirment nos résultats et montrent que la capacité des sauts verticaux et horizontaux à prédire une performance au 10m était limitée.

Etant donné la lourdeur des tests utilisés et la redondance de certains résultats, il serait intéressant à l'avenir de conserver le « triple hop for distance » et/ou le « cross-over for distance » pour évaluer un déséquilibre musculaire et le « single hop for distance » pour estimer la puissance musculaire d'une jambe. Concernant la puissance verticale, le CMJ devrait être conservé pour également mettre en évidence un déséquilibre musculaire. Cependant l'utilisation du Myotest® devra se limiter à la mesure de la hauteur en centimètres (valide et reproductible). D'autres outils de mesure valide, reproductible et permettant de mesurer les paramètres de vitesse, de puissance, de force, de raideur musculaire lors de sauts verticaux existent (*e.g.* OptoJump®, plate-forme de force), même si leur coût financier peut représenter un frein.

## **V. Conclusion et perspectives**

La mise en évidence de déséquilibres musculaires des membres inférieurs à partir des tests de terrain (« Hop testing » et CMJ) et de tests isocinétiques (Biodex System 2) a pu être corrigée de manière significative suite à la mise en place d'un protocole de renforcement musculaire unipodal de 6 semaines. Cet entraînement, ne nécessitant que peu de matériel, peut être applicable à un grand nombre d'activité sportive.

Compte tenu de la longue période d'indisponibilité qu'entraînent les lésions au niveau des membres inférieurs, il serait intéressant d'intégrer en début de saison les tests de terrain et

l'évaluation isocinétique (si possible) afin d'identifier les joueurs présentant un déséquilibre musculaire et de réduire ainsi le risque lésionnel au cours de la saison. Les décisions concernant le choix des tests devront être prises par le préparateur physique afin de correspondre aux mieux aux spécificités de leur sport, de leur position et/ou de leur activité.

Par la suite, il serait utile de faire un suivi longitudinal des joueurs, qui ont participé au protocole, sur plusieurs saisons sportives afin de voir si la diminution des déséquilibres musculaires et le rééquilibrage des muscles agonistes/antagonistes a permis de prévenir la survenue des blessures du membre inférieur. De plus, il serait intéressant d'approfondir le protocole en regardant les gains potentiels de l'entraînement unipodal sur l'aspect proprioceptif du genou quand on sait qu'un court laps de temps (<50 ms) existe pour stabiliser l'articulation du genou lors de situations de jeu de match rapide. La station unipodale entraînant une situation de déséquilibre, l'utilisation d'une plate-forme de force pour constater ou non d'une amélioration de la stabilité posturale pourrait être intéressante et à mettre en corrélation avec les résultats précédents.

## **VI. Points clefs et applications pratiques**

- ❖ Renforcement musculaire nécessitant peu de matériel
- ❖ Amélioration des déséquilibres musculaires du membre inférieur
- ❖ Entraînement applicable à la pratique d'un grand nombre d'activités sportives
- ❖ Rôle préventif sur certaines causes de blessure du membre inférieur en agissant sur l'équilibre, la proprioception et le renforcement de la musculature intervenant dans la stabilité du genou
- ❖ Charge de travail faible et entraînant peu de contrainte au niveau du rachis (déjà beaucoup sollicité dans la pratique du rugby)

## VII. Références bibliographiques

- Aagaard, P., Simonsen, E.B., Andersen, J.L., Magnusson, P. and Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *Journal of Applied Physiology*, 93(4), 1318-1326.
- Aagaard, P., Simonsen, E.B., Magnusson, S.P., Larsson, B., Dyhre-Poulsen, P. (1998). A new concept for isokinetic hamstring quadriceps muscle strength ratio. *Am J Sports Med*, 26, 231-237.
- Bampouras, N., Relph, D., Orme, J., Esformes I. (2010). Validity and reliability of the Myotest Pro wireless accelerometer. *Br J Sports Med*, 44
- Bathgate A, Best JP, Craig G, Jamieson M. (2002). A prospective study of injuries to elite Australian rugby union players. *Br J Sports Med* ;36:265-9.
- Casartelli, N., Müller, R., Maffiuletti, N.A. (2010). Validity and reliability of the Myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height. *J Strength Cond Res.* , 24(11):3186-93
- Cronin, J. and Hansen, K. (2005). Strength and power predictors of sports speed. *J Strength Cond Res.*, 19: 349–357
- Croisier, J.L., Crielaard, J.M. (1996). Mise au point d'un rapport isocinétique fléchisseurs du genou/quadriceps original. Application à une pathologie musculaire. *Journal de Traumatologie du Sport*, 13, 2, 115-119
- Croisier, J.L., Crielaard, J.M. (1999). Exploration isocinétique: analyse des paramètres chiffrés. *Ann Réadaptation Med Physique*, 42, 9, 538–545
- Croisier, J.L., Crielaard, J.M. (2000). Hamstring muscle tear with recurrent complaints: an isokinetic profile. *Isokinet Exerc Sci.*, 8:175-180.
- Croisier, J.L., Forthomme, B., Namurois, M., Vanderthommen, M., Crielaard, J.M. (2002). Hamstring muscle strain recurrence and strength performance disorders. *Am J Sports Med*, 30, 199-203.
- Croisier, J.L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., Ferret, J.M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players : a prospective study, *Am J Sports Med*, 36, 1469-1475.
- Fuller, C.W., Molloy, M.G., Bagate, C., Bahr, R., Brooks, J.H., Donson, H. (2007). Consensus statement on injury definitions and data collection procedures for studies of injuries in rugby union. *Clin J Sport Med.* ; 17(3):177-81

- Gabbett, T.J. (2003). Incidence of injury in semi-professional rugby league players. *Br J Sports Med*, 37(1), 36-43
- Garraway, W.M., Lee, A.J., Hutton, S.J., Russell, E.B., Macleod, D.A. (2000). Impact of professionalism on injuries in rugby union. *Br J Sports Med*, 34(5), 348-51.
- Herman, K., Barton, C., Malliaras, P. and Morrissey, D. (2012). The effectiveness of neuromuscular warm-up strategies, that require no additional equipment, for preventing lower limb injuries during sports participation: a systematic review. *BMC Medicine*, 10:75
- Hewett, T.E., Myer, G.D., Ford, K.R., Heidt, R.S., Colosimo, A.J., Mclean, S.G., Bogert, A.J.V., Paterno, M.V. and Succop, P. (2005). Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes, *Am J Sports Med*, 33, 492–501.
- Hewett, T.E., Zazulak, B.T, Myer, G.D. (2005) A review of electromyographic activation levels, timing differences, and increased anterior cruciate ligament injury incidence in female athletes. *Br J Sports Med*, 39, 347–50.
- Hewitt, J., Cronin, J., Hume, P. (2012) Multidirectional Leg Asymmetry Assessment in Sport. *Strength & Conditioning Journal*, 34, 1, 82-86
- Hühner, M., Zech, A., Pfeifer, K., Hänsel, F., Vogt, L. and Banzer, W. (2011). Neuromuscular Training for Sports Injury Prevention: A Systematic Review. *Med Sci Sports Exerc* , 42(3), 413-21.
- Knapik, J.J., Bauman, C.L., Jones, B.H., Harris, J.M., Vaughan, L. (1991). Preseason strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med*, 19, 76-81
- Krosshaug, T., Nakamae, A., Boden, B.P., Engebretsen, L., Smith, G., Slauterbeck, J.R., Hewett, T.E. and Bahr, R. (2007). Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball: video analysis of 39 cases. *American Journal of Sports Medicine*, 35(3), 359-367.
- Maulder, P. and Cronin, J. (2005). Horizontal and vertical jump assessment: Reliability, symmetry, discriminative and predictive ability. *Phys Ther Sport*, 6, 74–82
- Meylan, C., McMaster, T., Cronin, J., Mohammad, N., Rogers, C., and Deklerk, M. (2009). Single-leg lateral, horizontal, and vertical jump assessment: Reliability, interrelationships, and ability to predict sprint and change-of-direction performance. *J Strength Cond Res*, 23, 1140–1147
- Nyland, R., Shapiro, D., Caborn N.M., Nitz A.J., and Malone, T.R. (1997). The effect of quadriceps femoris, hamstring, and placebo eccentric fatigue on knee and ankle dynamics during crossover cutting, *J Orthop Sports Phys Ther*, 25(3), 171–184.

- Olsen, O.E., Myklebust, G., Engebretsen, L., Holme, I., Bahr, R. (2005). Exercises to prevent lower limb injuries in youth sports : cluster randomised controlled trial. *BMJ.*, 330,(7489):449
- Pillard, F., Garet, G., Cristini, C., Mansat, C., Rivire, D. (2008). Étude prospective des accidents traumatologiques dans le Championnat de France de rugby de 1re division amateurs (Division fédérale IA). *Bull Epidemiol Hebd.*, 12:80-4.
- Prodromos, CC, Han, Y., Rogowski, J., Joyce, B., Shi, K. (2007). A meta-analysis of the incidence of anterior cruciate ligament tears as a function of gender, sport, and a knee injury-reduction regimen. *Arthroscopy*, 23:1320-5.
- Raftery, M., Parker, R., Stacey, E. (1999). Incidence of injury in junior rugby league in the Penrith and District junior rugby league area: *Children's Hospital Institute of Sports Medicine, Research and Development Office, The New Children's Hospital*, 1-22.
- Reid, A., Birmingham, T.B., Stratford, P.W., Alcock, G.K., Giffin, J.R. (2007). Hop Testing Provides a Reliable and Valid Outcome Measure During Rehabilitation After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Phys Ther.*, 87, 337–349.
- Soligard, T., Myklebust, G., Steffen, K., Holme, I., Silvers, H., Bizzini, M., Junge, A., Dvorak, J., Bahr, R., Anderson, T.E. (2008). Comprehensive warm-up programme to prevent injuries in young female footballers: cluster randomised controlled trial. *BMJ*, 337:2469.
- 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. *Am J Sports Med.*, 15, 3, 207-213
- Solomonow, and Krogsgaard,. (2001) Sensorimotor control of knee stability. A review, *Scand J Med Sci Sports*, 11, 64–80.
- Targett SGR. (1998) Injuries in Professional Rugby Union. *Clin Journal of Sport Medicine* , 8:280-5.
- Van Ryssegem,.. (2009) *Kinetic Integrations*. Safe Recovery LLC
- Waldén, M., Atroshi, I., Magnusson, H., Wagner, P., Häggglund, M. (2012). Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial. *BMJ*, 344, 3042
- Winter. (1984). Kinematic and kinetic patterns in human gait: variability and compensating effects, *Human Movement Science*, 3, 51–76.
- Yamamoto, T. (1993). Relationship between hamstring strains and leg muscle strength. A follow-up study of collegiate track and field athletes. *J Sports Med Phys Fitness*, 33(2), 194-9.
- Zebis, M.K., Andersen, L.L., Bencke, J. (2009). Identification of athletes at future risk of anterior cruciate ligament ruptures by neuromuscular screening. *Am J Sports Med*, 37, 1967–73.

## Résumé

La survenue d'accidents traumatologiques en rugby à XV est fréquente, y compris à un niveau non professionnel. La gravité des blessures des membres inférieurs entraînant la plus grande période d'indisponibilité (plus de 21 jours) implique une approche préventive en agissant sur les facteurs de risques tels que le déséquilibre musculaire agoniste/antagoniste et jambe forte/jambe faible afin de permettre de limiter leurs survenues.

L'objectif du travail a été de proposer un protocole de renforcement musculaire unipodal afin de corriger les déséquilibres musculaires pouvant être rencontrés chez des jeunes rugbymen (-17 ans).

Nos résultats montrent un effet significatif de l'entraînement unipodal sur la mesure des ratios de couples de force entre fléchisseurs et extenseurs du genou pour chaque jambe. L'entraînement a permis de diminuer la différence initiale entre les 2 jambes et d'améliorer significativement la jambe faible. De plus, les déséquilibres musculaires observés lors du CMJ ont été significativement diminués ( $P=0,013$ ) passant de 16,6% en pré-test à 8,6% en post-test.

En conclusion, le renforcement musculaire unipodal a permis de corriger les déséquilibres musculaires en agissant sur certains facteurs de risques. Il serait intéressant de voir si l'amélioration de ces paramètres s'accompagne d'une réduction des blessures chez ces joueurs.

**Mots clefs :** blessures ; déséquilibre musculaire ; agoniste/antagoniste ; renforcement unipodal ; prévention

## Abstract

The occurrence of trauma injuries in rugby union is common, including at a non-professional level. The seriousness of lower limb injuries causing the greatest number of days absence (over 21 days) implies a preventive approach by acting on risk factors such as strength of agonist to antagonist knee muscles and leg asymmetry in order to limit their occurrence.

The aim of this work was to propose a single-leg training program to correct leg asymmetry that may be encountered in young rugby players (U17).

Our results show a significant effect of single-leg training on measuring hamstrings-to-quadriceps peak torque ratio (H/Q ratio) for each leg. Program has reduced the initial leg asymmetry and significantly improved the lower leg. Moreover, muscle imbalances observed during CMJ were significantly decreased ( $P = 0.013$ ) from 16.6% in pre-test to 8.6% in post-test.

To conclude, the single-leg training has to correct leg asymmetry and acting on certain risk factors. It would be interesting to see whether the improvement in these parameters was accompanied by a reduction of injuries in these players.

**Key words:** injuries; leg asymmetry; agonist to antagonist knee muscles; single-leg training; prevention