

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES**

**COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN SCIENCES DE L'ACTIVITÉ PHYSIQUE**

**PAR
MARC SOUBRIER**

**ANALYSE DE LA PUISSANCE MUSCULAIRE DES MEMBRES INFÉRIEURS
POUR PRÉDIRE LA VÉLOCITÉ DU TIR DU COU-DE-PIED AU SOCCER**

AVRIL 1998

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire ou de cette thèse a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire ou de sa thèse.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire ou cette thèse. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire ou de cette thèse requiert son autorisation.

RÉSUMÉ

L'augmentation de la vitesse du tir du cou-de-pied au soccer constitue un des principaux objets de recherche des différents intervenants dans ce domaine. L'un des moyens utilisés pour arriver à cette fin est le raffinement de la technique des joueurs. Ce point étant acquis, il devient alors intéressant de chercher d'autres moyens permettant d'augmenter la vitesse du tir. Parmi ceux-ci, l'augmentation de la puissance musculaire semble être un facteur-clé. Il convient cependant de s'assurer que les masses musculaires impliquées dans ce geste influencent la vitesse du ballon avant de soumettre les athlètes à un programme d'entraînement axé sur la puissance musculaire.

Plusieurs auteurs ont tenté de cerner les variables prédictives de la vitesse du tir. L'étude de De Proft, Cabri, Bollens, Dufour et Clarys (1988-b) explique l'effet possible de la puissance musculaire sur la vitesse du ballon. Elle démontre une corrélation significative entre la puissance musculaire des extenseurs du genou et la vitesse du ballon. Plusieurs autres auteurs ont étudié les groupes musculaires responsables de la flexion de la hanche, et surtout de l'extension du genou, afin de déterminer leur importance par rapport à la vitesse maximale du tir du cou-de-pied. En revanche, de manière générale, les chercheurs ne s'entendent pas sur l'importance relative des différents prédictifs de la vitesse du tir.

La présente étude vise à identifier la puissance musculaire des membres inférieurs comme variable prédictrice significative de la vitesse du tir. L'échantillon retenu se compose de 18 sujets mâles, tous droitiers, âgés de 18 à 26 ans, pesant de 55 à 85 kg, mesurant 164 à 184 cm et possédant un niveau technique avancé. Après un échauffement spécifique aux diverses tâches à accomplir, suivant le protocole défini par Gleeson et Mercer (1996), les sujets se prêtent aux différents tests. Tout d'abord, il s'agit pour les athlètes d'exécuter huit tirs à vitesse maximale (calculée sur une distance de 2 m grâce à un système de cellules photo-électriques qui fait démarrer le chronomètre et d'un micro qui l'arrête à l'arrivée du ballon). L'appareil *LIDO Active Version 1.6 (Loredan Biomedical, Inc.)* sert ensuite à effectuer les trois tests de contraction musculaire. Il s'agit d'abord d'évaluer les articulations de la hanche (flexion à vitesse angulaire de 180 degrés/seconde) et du genou (flexion-extension à vitesse angulaire de 400 degrés/seconde) en travail isocinétique concentrique. Les vitesses angulaires choisies s'approchent du mouvement réel du tir et correspondent à celles déterminées par Naciri, Sirtoti et Mognoni (1988). L'articulation de la cheville est ensuite évaluée en travail isométrique à un angle de 27 degrés en flexion plantaire, tel que l'ont défini Rodano et Tavana (1991).

Les différents prédicteurs sont analysés tant de manière individuelle qu'en combinaison. Les résultats ci-dessous présentent le seuil de signification

et le coefficient de détermination du prédicteur ou des modèles prédictifs, ayant obtenu les meilleurs rapports avec la vitesse du tir. . Voici le prédicteur, ou le modèle prédictif selon le cas, ayant obtenu le meilleur rapport avec la vitesse du tir:

Hanche: $P = 0,0085$ $R^2 = 0,36$

Hanche, Gen.-flex.: $P = 0,010$ $R^2 = 0,461$

Hanche, Gen.-ext., Cheville: $P = 0,012$ $R^2 = 0,529$

Hanche, Gen.-ratio, Gen.-flex., Cheville: $P = 0,020$ $R^2 = 0,567$

Hanche, Gen.-ext., Gen.-ratio, Gen.-flex., Cheville: $P = 0,048$ $R^2 = 0,568$

Les résultats obtenus démontrent l'importance de la puissance des différentes masses musculaires des membres inférieurs. Les prédicteurs analysés expliquent une partie considérable de la variabilité de la vitesse du tir, ce qui permet de conclure que l'augmentation de la puissance musculaire des membres inférieurs pourrait s'avérer un moyen efficace pour augmenter la vitesse du tir.

REMERCIEMENTS

Je tiens à témoigner ma reconnaissance à MM. Louis Laurencelle, Jacques Dessureault, Claude Dugas, Pierre Black et Claude Brouillette pour leur patience et leur soutien au cours des différentes étapes de l'élaboration de ce mémoire.

Je remercie également mes parents, Diane Leclerc et Robert Soubrier, pour leur encouragement indéfectible.

Mes remerciements s'adressent aussi à tous les joueurs de soccer qui ont prêté leur concours à la réalisation de mon projet.

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	ii
REMERCIEMENTS	v
LISTE DES TABLEAUX	ix
CHAPITRE	
I. INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE	1
Puissance musculaire	6
Variables à l'étude	8
Hypothèse	11
II. MÉTHODOLOGIE	13
Sujets	13
Tâche	14
Appareillage	16
Mesures retenues	17
Procédures et instructions données aux sujets	19
III. RÉSULTATS	23
Anthropométrie	23
Vélocité du tir	24
Puissance musculaire	26

Élaboration des modèles prédictifs de la vitesse du ballon	27
Hanche	29
Genou	30
Cheville	32
Poids	32
Autres variables	32
Modèles comportant un prédicteur	33
Modèles comportant deux prédicteurs	34
Modèles comportant trois prédicteurs	36
Modèles comportant quatre prédicteurs	37
Modèles comportant cinq prédicteurs	38
IV. DISCUSSION ET CONCLUSION	40
Influence de l'articulation de la hanche	41
Influence de l'articulation du genou en extension	41
Influence du ratio extension-flexion du genou	42
Influence de l'articulation du genou en flexion.....	43
Influence du poids	43
Influence de l'articulation de la cheville	43
Examen des modèles prédictifs à plusieurs variables	44
Conclusion	49

RÉFÉRENCES	52
ANNEXE A: Protocole d'échauffement sur appareil LIDO	58
ANNEXE B: Feuille d'invitation remise aux joueurs sélectionnés	60
ANNEXE C: Fichier de statistiques brutes	62
ANNEXE D: Anthropométrie	64
ANNEXE E: Déroulement détaillé de l'expérimentation	66
ANNEXE F: Vue de la salle d'expérimentation	70

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1. Ordre d'administration des tests par groupe selon les variables mesurées	20
2. Caractéristiques physiques des joueurs élites de l'équipe junior de Hong Kong et de l'équipe nationale de Chine, en comparaison des caractéristiques physiques des sujets de la présente étude	25
3. Vitesse du tir des joueurs élites de l'équipe junior d'Italie, et des équipes de 4e division en France, en comparaison avec les sujets de la présente étude	26
4. Moyenne, écart-type et coefficients de corrélation des variables prédictives	29
5. Relation des principaux prédictifs par rapport à la vitesse du tir.....	34

CHAPITRE I

INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

Malgré le nombre grandissant de joueurs de soccer au Canada, les recherches traitant de la capacité de performance de ces athlètes sont peu nombreuses. La majeure partie des données recueillies sur le potentiel physiologique des joueurs de soccer provient des États-Unis, de la Colombie-Britannique et surtout de l'Europe de l'Ouest, comme le confirme l'étude de Mognoni, Narici, Sirtori et Lorenzelli (1994).

Dans le monde du soccer, la recherche d'une plus grande puissance de tir constitue une priorité depuis toujours. Le nombre de buts marqués reste en deçà de la demande des spectateurs. Au Québec et en Mauricie plus particulièrement, les observateurs tels que les spectateurs, les dirigeants des différentes associations fédérées et les entraîneurs se plaignent depuis plusieurs années, du manque de vitesse des tirs effectués par les joueurs. Les intervenants aimeraient bien pouvoir connaître les causes et les solutions possibles qui peuvent être offertes afin d'améliorer cet aspect du jeu. Depuis les premières études recensées au soccer, les chercheurs tentent de trouver des parties de solutions à ce problème complexe qu'est l'analyse des composantes d'un tir à grande vitesse. Ils souhaitent, par des recherches approfondies sur le sujet, rendre les méthodes d'entraînement efficaces et accessibles aux participants.

Une revue de la littérature permet de distinguer quatre grands secteurs d'étude ayant fait l'objet d'une attention particulière en ce domaine. Ces champs sont brièvement détaillés ci-dessous afin de mettre en évidence les différentes démarches des chercheurs.

Le premier secteur comprend les travaux effectués sur les matériaux entrant dans la composition du ballon de soccer. Ces recherches ont toutes pour objectif d'améliorer les propriétés mécaniques du ballon, telles la durabilité, la capacité d'atténuer les chocs, etc., afin qu'il soit plus sécuritaire et plus performant. Les études de Levendusky, Armstrong, Eck, Jeziorowski et Kugler (1988) et d'Armstrong, Levendusky, Eck, Spyropoulos et Kugler (1988) démontrent les risques de blessures associés à la qualité du ballon.

Le deuxième secteur a trait à l'amélioration de la technique du tir ou de la coordination motrice des athlètes. Les chercheurs s'entendent pour affirmer que la technique constitue le premier élément qu'un entraîneur devrait développer chez ses jeunes joueurs pour améliorer leur tir.

D'après Plagenhoef (1971), puis aussi repris par Rodano et Tavana (1991), il semble que le respect de la séquence chronologique d'intervention des segments dans le mouvement joue un rôle majeur dans le résultat de la performance, soit la vitesse de projection du ballon. Plus la séquence s'approche du patron optimal de mouvement, en termes mécaniques, mieux l'enchaînement des mouvements est cadencé et meilleur est le transfert

d'énergie. Un transfert de momentum linéaire efficace permet au ballon d'atteindre une vitesse supérieure. Togari, Ohashi et Ohgushi (1988) évoquent toutefois que chez les professionnels ou même chez les adultes expérimentés, le geste effectué satisfait presque toujours aux critères techniques reconnus par les experts, et pourtant, le tir varie considérablement d'un athlète à l'autre, fait également observé par Phillips (1984).

De plus, Bloomfield, Elliot et Davies (1979) affirment que les enfants de sept ans sont capables de faire la course d'appel précédant le tir. Ils réussissent également à maîtriser l'élan arrière de la jambe dominante, la flexion du genou de la jambe non dominante, une bonne synchronisation de la jambe et de la hanche, ainsi qu'un bon mouvement d'accompagnement dès l'âge de huit ans. La synchronisation quasi parfaite du mouvement global d'un tir de haute performance a été détectée chez des enfants de 11 ans. L'étude de Luhtanen (1991) confirme que la synchronisation des phases maximales de vélocité angulaire ne présente pas de différences significatives selon les groupes d'âge observés, soit 9-11, 12-14, 15-18 ans. En admettant que les entraîneurs soient compétents et que les enfants commencent assez tôt à jouer au soccer, il est donc normal que ceux-ci aient acquis un patron mature du mouvement du tir dès leur jeune âge. Les entraîneurs deviennent impuissants, une fois la technique de tir enseignée et acquise, à améliorer la puissance du tir de leurs athlètes.

Le troisième secteur de recherche concerne les forces de friction enregistrées sous le pied d'appel (ou pied d'appui) de l'athlète lors du tir. La jambe d'appui doit s'approcher de l'angle optimal au genou afin de maximiser le transfert d'énergie (selon la morphologie des sujets), selon Togari (1972). De plus, Kermond et Konz (1978) rapportent que les forces qui sont appliquées sur le pied d'appui ou pied d'appel, transmettent des coordonnées verticales et horizontales qui peuvent être analysées à l'aide d'une plate-forme de force. Ces données peuvent indiquer la quantité et la qualité de l'effort fourni par l'athlète lors du tir bien qu'elles ne prédisent pas directement la vitesse du ballon, d'après Saggini, Calligaris, Montanari, Tjouroudis et Vecchiet (1991), ainsi que Rodano et Tavana (1991).

Enfin, le dernier secteur d'étude porte sur l'augmentation de la puissance des principales masses musculaires du tireur. Plus une personne est forte et rapide à exécuter un mouvement (botter un ballon), plus grande est l'influence qu'elle exerce sur les segments impliqués dans le geste (déplacement, vitesse et accélération des segments par rapport à la vitesse du ballon), comme l'indique l'étude de De Proft, Cabri, Bollens, Dufour et Clarys (1988-a).

Compte tenu des inconvénients financiers et matériels associés à la modification des propriétés mécaniques du ballon ainsi qu'à la construction d'une plate-forme de force adéquate, et vu la similitude de la technique du tir utilisée par les joueurs de haut niveau, la présente recherche portera plus

spécifiquement sur le dernier secteur d'étude: la puissance musculaire des membres inférieurs.

Les entraîneurs de soccer veulent connaître les masses musculaires qui peuvent être entraînées afin d'améliorer le rendement des joueurs. Ils cherchent depuis plusieurs années une façon de faire travailler les athlètes de manière spécifique par rapport aux exigences du jeu, et notamment une façon d'améliorer la vitesse du tir grâce à l'entraînement des différentes masses musculaires.

Certains intervenants (entraîneurs et directeurs techniques) prétendent que la puissance musculaire des membres inférieurs du tireur influence la vitesse du ballon lors d'un tir frontal. En effet, leur expérience pratique acquise au fil des ans leur permet de prétendre que les athlètes manquent de puissance musculaire. Toutefois, peu d'entre eux se sont aventurés à écrire sur le sujet. Par conséquent, il existe peu de documents qui confirment qu'un entraînement spécifique des masses musculaires sur le terrain engendre une augmentation de la vitesse du tir. Il convient donc d'examiner de plus près cette dernière variable.

Puissance musculaire

Précisons tout d'abord que le terme "tir", tel qu'il est utilisé tout au long de la présente recherche, ne s'applique qu'au tir spécifique du "cou-de-pied", c'est-à-dire celui qui est effectué du cou-de-pied.

Si l'on accepte que la puissance musculaire du joueur exerce une influence déterminante sur la vitesse du tir, peut-on identifier le ou les principaux groupes musculaires impliqués dans cette action et tenter d'évaluer, à l'aide de corrélations (entre les données recueillies sur la puissance des tireurs et la vitesse du ballon), le rôle et l'influence de ces masses musculaires sur la vitesse du ballon frappé?

Il s'agit alors de déterminer quels groupes musculaires sont plus sollicités lors de l'exécution d'un tir. Selon l'étude faite par Robertson et Mosher (1983), plus de 90% du travail musculaire nécessaire pour effectuer un tir de grande vitesse provient des fléchisseurs de la hanche. Par ailleurs, les recherches effectuées par Assami et Togari (1968) et par Cabri, DeProft, Dufour et Clarys (1988) montrent que le groupe des extenseurs du genou joue un rôle important et statistiquement significatif dans la prédiction du tir à vitesse maximale. Par contre, l'étude de Mogroni, Narici, Sirtori et Lorenzelli (1994) démontre que les moments (enregistrés en condition isocinétique) des fléchisseurs de la hanche et ceux des extenseurs du genou sont de piètres prédicteurs de la vitesse du ballon. Ces études révèlent des contradictions importantes. Les chercheurs ne

s'entendent pas sur l'importance relative des différents prédicteurs possibles de la vitesse du tir.

Par ailleurs, il est important de souligner que Huang, Roberts et Youm (1982) ont démontré, à l'aide de l'analyse balistique, que la contribution de la cheville à la vitesse du tir est négligeable. Cette observation est corroborée par Robertson et Mosher (1983), qui démontrent que l'énergie déployée par la cheville lors du mouvement complet du tir est de l'ordre de 3 joules. Selon les auteurs, ces données constituent une raison valable pour ne pas pousser l'analyse davantage. En revanche, le manque d'amplitude angulaire de l'articulation de la cheville lors du tir n'implique pas nécessairement que celle-ci n'est pas utile à un tir à vitesse maximale. Plus la surface de contact est solide, meilleur est le transfert de momentum (Rodano et Tavana, 1991). Donc, en admettant que la cheville est assez puissante pour prévenir le possible mouvement de recul lors de la frappe du pied sur le ballon, elle est susceptible de jouer un rôle important dans l'action d'un tir à vitesse maximale.

Compte tenu des observations précédentes, il est pertinent de se demander si la puissance musculaire des membres inférieurs peut effectivement servir de prédicteur efficace de la vitesse du tir au soccer.

Variables à l'étude

Quoique la puissance musculaire et la coordination motrice demeurent intimement liées, aux fins de la présente recherche, nous essaierons d'isoler le plus possible la puissance musculaire afin d'évaluer l'importance de son rôle lors d'un tir à vitesse maximale.

Pour arriver à restreindre les possibilités d'erreurs, nous examinerons quelques études et manipulerons certains paramètres méthodologiques. De plus, nous tenterons d'évaluer la capacité de prédiction de la vitesse du tir à l'aide de trois principaux prédicteurs, puissance musculaire de la hanche en flexion, du genou en extension et en flexion ainsi que de la cheville en flexion plantaire, tout en tenant compte des données anthropométriques de chaque sujet.

Les crêtes maximales des moments de force isocinétiques des extenseurs du genou ont été mesurées par plusieurs chercheurs. Cependant, un peu moins d'attention a été portée sur les moments des fléchisseurs de la hanche dans des conditions similaires. De plus, aucun auteur, à notre connaissance, ne s'est penché sur le travail isométrique de la cheville à l'angle correspondant à son ouverture au moment de la frappe, soit 27 degrés, angle observé par Rodanno et Tavana (1991).

La recension des recherches sur le tir au soccer permet de déceler quelques lacunes méthodologiques qu'il serait souhaitable de corriger.

Premièrement, la procédure de tir standardisée selon De Proft, Clarys, Bollens, Cabri et Dufour (1988) semble un peu déroutante pour les tireurs. En effet, les tirs sont effectués à une distance de dix mètres, ce qui exige une certaine concentration de la part du tireur, la cible ne mesurant qu'un mètre carré. De plus, l'attention du tireur risque d'être détournée sur des facteurs autres que la puissance maximale du tir, telle la précision.

Par ailleurs, l'évaluation de la puissance des fléchisseurs de la hanche en position debout, telle que réalisée par Mognoni, Narici, Sirtori et Lorenzelli (1994), avait pour but d'augmenter le réalisme par rapport au jeu du soccer. Bien que ce procédé soit valable, il ne permet pas de mesurer uniquement la puissance de la hanche, mais également d'autres variables connexes telles que l'équilibre ou la vitesse linéaire d'approche du tireur sur le ballon, par exemple. Nous nous proposons d'évaluer le plus possible la puissance pure des fléchisseurs de la hanche.

Enfin, les bases méthodologiques liées à l'utilisation d'un dynamomètre ne semblent pas être respectées dans plusieurs recherches. La période d'échauffement ou de familiarisation avec les différents dynamomètres n'est souvent pas assez longue ou complète. Les sujets devraient à priori exécuter quelques répétitions sous-maximales afin de sécuriser la prise de données et de diminuer les risques de blessures associées à ce type de test. De plus, le nombre de répétitions en contraction maximale des différents muscles analysés

est nettement insuffisant. Il est prouvé qu'un minimum de 2 à 5 répétitions est nécessaire, étant donné que la performance peut augmenter durant les premières contractions et tout particulièrement lors de contractions à grande vitesse (Sale, 1991). Il faut aussi noter que le nombre de tirs recueillis lors de la collecte de données (un seul dans l'étude de 1988 effectuée par De Proft, Cabri, Bollens, Dufour et Clarys), ainsi que le nombre de sujets utilisés (sept) par Stoner et Ben-Sira (1980) sont inférieurs aux exigences requises pour une analyse de données représentative.

Compte tenu de ces différentes lacunes méthodologiques, il semble opportun d'évaluer la vitesse du tir en réduisant au minimum la distance (2 mètres) séparant la cible de l'endroit d'impact du ballon. De plus, la position couchée (recommandée dans le protocole des procédures LIDO) pour évaluer la puissance de flexion de la hanche devrait être adoptée pour isoler davantage la force de ce groupe musculaire spécifique.

Il convient également d'évaluer la puissance de la cheville. Une faiblesse de cette articulation lors de l'impact avec le ballon peut diminuer la qualité du transfert d'énergie (vitesse linéaire du pied-ballon), en amortissant l'impact. La grande force appliquée sur le pied, lors de l'exécution d'un tir puissant, produit une flexion plantaire jusqu'à ce que la cheville ait atteint sa capacité maximale de mouvement. Assami et Nolte (1983) ont découvert qu'à ce stade, le pied subit une déformation lors de l'impact sur la surface dorsale du pied à

l'intersection des phalanges et des métatarses. Aucun chercheur n'a trouvé de solution définitive afin de diminuer l'amplitude de cette déformation qui semble quasi inévitable. Par ailleurs, il importe de rappeler que parmi les différents auteurs cités, tous tentent de prouver qu'une ou l'autre des articulations analysées individuellement peut prédire avec plus ou moins de fidélité la vitesse du tir. Aucun, cependant, ne s'est attardé aux combinaisons de variables à l'aide de modèles multivariés de prédiction statistique.

Hypothèse

La présente étude vise à déterminer l'importance relative de la puissance musculaire lors d'un tir effectué au soccer à l'aide de trois prédicteurs principaux.

La prémisse sur laquelle repose l'expérimentation est la suivante: La séquence de mouvement utilisée par la majorité des tireurs de niveau supérieur est semblable et les critères techniques sont suffisamment respectés. En effet, les recherches ont révélé que les différences intra-sujets entre le meilleur tir et la moyenne des résultats calculés ne sont pas importantes, allant de 5 à 10% en valeur relative. De plus, il est pratiquement impossible d'élaborer des critères généraux susceptibles d'expliquer les différences inter-sujets (Rodano et Tavana, 1991).

L'hypothèse principale de cette recherche est la suivante: La puissance musculaire liée aux articulations des membres inférieurs (hanche, genou,

cheville) constitue globalement un prédicteur significatif de la vitesse du tir au soccer.

Si cette hypothèse est confirmée par la présente étude, on pourra alors conclure à l'importance d'entraîner de façon spécifique les muscles responsables de cette augmentation de vitesse.

CHAPITRE II

MÉTHODOLOGIE

Sujets

L'échantillon se compose de dix-huit joueurs masculins droitiers âgés de 16 à 26 ans ($m = 20,9$; $É-T = 3,1$) pesant 55 à 85 kg ($m = 71,6$; $É-T = 7,3$), mesurant entre 164 et 184 cm ($m = 175,75$; $É-T = 5,16$) et ayant des membres inférieurs d'une longueur allant de 83 à 102 cm ($m = 93,28$; $É-T = 5,01$). Les sujets ont accepté volontairement de participer gratuitement à l'expérimentation. Toutes les mesures portent sur la jambe dominante des sujets, c'est-à-dire la droite, afin de faciliter les manipulations. Cette décision repose sur les constats de recherches, notamment celles de Ming-Kai, Raymond, So, Yuan, Raymond, Alison, et Wong (1994), de Oberg, Ekstrand, Moller et Gillquist (1984), de Rhodes, Mosher, Mckenzie, Franks, Potts et Wenger (1986), et de Rochcongar, Morran, Jan, Dasonville et Bellot (1988). Selon ces auteurs, les différences bilatérales entre la puissance musculaire des membres inférieurs (côtés dominant et non dominant) sont négligeables au niveau statistique. La capacité de production de puissance musculaire chez les joueurs de soccer semble être comparable pour les deux jambes.

Les sujets font tous partie des équipes d'élite de soccer en Mauricie. Comptant 10 ans d'expérience ou plus, ils possèdent une bonne technique de tir et leur processus pubertaire est pratiquement terminé. Cette sélection

permet d'éviter les erreurs d'ordre technique et physique que pourrait engendrer un échantillon de joueurs moins accomplis, risquant ainsi de fausser les conclusions de la recherche. Enfin, il est important de calculer la longueur des segments des membres inférieurs, vu l'influence possible de ces segments sur la vitesse linéaire relative du pied au contact du ballon.

Tâche

Tous les tests sont effectués durant la même journée afin de respecter la disponibilité des athlètes. De plus, la procédure intra-journée permet de diminuer le taux de variabilité des mesures prises avec un appareil isocinétique. Selon Johnson et Siegel (1978), ce taux est de 5 à 10% pour les tests inter-journées et n'est que de 2,05% pour les tests intra-journée. L'heure de la journée à laquelle les joueurs s'exécutent n'influence pratiquement pas les résultats de la recherche, puisque les comparaisons de groupes ne sont pas effectuées. De plus, les mesures mises en relation les unes avec les autres sont toutes prises à quelques minutes d'intervalle pour un sujet donné.

Les sujets sont répartis en quatre groupes de quatre ou cinq sujets. Les sujets du premier groupe sont mesurés et testés individuellement, à tour de rôle, pour chacune des phases de l'expérimentation, et ainsi de suite pour les autres groupes.

Dès leur arrivée, les sujets procèdent à un léger échauffement au cours duquel ils doivent exécuter huit tirs à puissance maximale en direction d'une

cible (voir Annexe E). Approximativement 15 secondes de repos sont accordées entre chaque tir.

Par la suite, les sujets se familiarisent avec l'appareil LIDO Active version 1.6 (Loredan Biomedical, Inc.) en exécutant trois répétitions sous-maximales et une à deux répétitions à puissance quasi maximale. Cette procédure permet d'obtenir les résultats les plus représentatifs possibles, selon Gleeson et Mercer (1996). Les sujets sont alors prêts à se soumettre aux tests de puissance musculaire. Ils exécutent huit flexions de la hanche à vitesse et force maximales en deux minutes. Ce travail isocinétique s'applique de façon concentrique. Treize secondes de repos sont obligatoires entre chaque répétition. Une fois réalisées les manipulations sur l'appareil LIDO à la suite de l'expérimentation, les sujets sont soumis au protocole d'échauffement. Ils réalisent alors huit flexions-extensions du genou à puissance maximale en deux minutes de manière concentrique/concentrique. Treize secondes de repos sont obligatoires après chaque répétition. Finalement, dans le respect du même protocole, les sujets accomplissent trois flexions plantaires maximales de la cheville à 27 degrés par rapport à la jambe. Ce travail s'effectue durant deux minutes et comprend 45 secondes de repos entre chaque répétition. De cette position articulaire à 27 degrés de la cheville, la force isométrique maximale est enregistrée. Le choix de cet angle repose sur les données cinématographiques de Rodano et Tavana (1991).

Appareillage

Tout d'abord, il importe de souligner que dans la présente étude, l'évaluation de la puissance musculaire des sujets s'effectue à l'aide d'un appareil isocinétique, lequel confère un réalisme supérieur à celui de la plupart des tous les autres systèmes d'acquisition de données connus quant à la mesure des angles, des forces, et des vitesses de mouvement analysé. La recherche de Gleeson et Mercer (1996) permet d'analyser les avantages et les inconvénients découlant de l'utilisation d'un dynamomètre lors d'études reliées aux fonctions et capacités musculaires des humains:

La dynamométrie isocinétique, avec l'utilisation d'un dynamomètre, est devenue une méthode fortement appréciée pour l'analyse des muscles en mode dynamique, tant en recherche clinique qu'en recherche sportive. Plusieurs indices, telle la crête maximale du moment de force, sont utilisés dans la littérature afin de caractériser la performance d'un individu ou d'un groupe d'individus au moyen de ce type de système d'acquisition sophistiqué.¹

Toutefois, plus la vitesse angulaire augmente, plus la précision de l'enregistrement des mesures des moments isocinétiques diminue, selon cette même recherche.

Dans la présente étude, l'appareil LIDO permet d'évaluer la puissance des divers groupes musculaires utilisés lors du tir. L'analyse porte plus particulièrement sur la flexion et l'extension de la hanche (psoas iliaque,

¹ Traduction libre de l'auteur

couturier, tenseur du fascia lata, droit antérieur), sur la flexion-extension du genou (quadriceps) et sur la flexion plantaire de la cheville (soléaire et gartrocnémien), et ce uniquement sur la jambe dominante.

Mesures retenues

Selon Gleeson et Mercer (1996), l'utilisation des crêtes maximales comme paramètre d'analyse permet d'obtenir un taux d'erreurs de mesure inférieur aux autres paramètres. Ces données sont également plus précises et plus largement utilisées dans la littérature traitant des systèmes isocinétiques. Aussi, les huit crêtes maximales de chaque sujet pour la flexion de la hanche, l'extension du genou et le ratio flexion-extension du genou ainsi que le meilleur essai de la flexion de la cheville sont retenus aux fins d'analyse. Pour chacun des sujets, la médiane des crêtes maximales des huit essais, l'essai maximal, la moyenne tronquée (d'ordre 1) et l'essai équivalent au sous-maximal sont examinés.

Tous les tests sur le LIDO sont effectués à des vitesses se rapprochant le plus possible de la situation réelle du tir au soccer. L'appareil est réglé à 180 degrés/s pour la flexion de la hanche, ce qui représente la vitesse de cette articulation sous des conditions balistiques, et à 400 degrés/s pour l'extension du genou ce qui est légèrement inférieur aux conditions balistiques (450 degrés/s). La raison en est simple: le système LIDO (qui permet d'obtenir une vitesse angulaire supérieure aux autres systèmes connus) est plafonné, pour

raison de sécurité, à 400 degrés/s. Il convient de noter que plusieurs chercheurs, notamment Ming-Kai et al. (1994), évaluent cependant les athlètes à différentes vitesses angulaires (par exemple à 60 et 240 degrés/s). Les comparaisons entre ces études deviennent ardues, car les raisons qui motivent le choix de certaines vitesses sont floues et imprécises. À notre connaissance, un seul groupe de chercheurs a évoqué une raison valable justifiant la sélection des vitesses angulaires, à savoir Narici, Sirtori et Mogroni (1988). Selon eux, les vitesses angulaires choisies doivent se rapprocher des vitesses réelles retrouvées lors de l'exécution du tir (conditions balistiques) afin de reproduire les conditions les plus réalistes possibles.

Pour la mesure de la cheville, l'appareil LIDO est réglé pour une contraction isométrique. Ce choix est justifié par le fait que le mouvement angulaire de cette articulation est limité.

Par ailleurs, la vitesse du ballon est mesurée à l'aide d'un système de cellules photo-électriques reliées à un chronomètre. Le ballon est placé à 10 cm de la ligne de départ imaginaire située à 2,10 m de la cible. L'écart de 10 cm entre le ballon et la ligne de départ du chronomètre est justifié par le fait que le pied d'appui couperait le faisceau lumineux s'il était déposé à l'intérieur de cette limite. Toutefois, il importe de noter que la vitesse est mesurée à partir de la ligne imaginaire délimitée par les cellules photo-électriques. La distance est donc de 2 mètres entre ces dernières et la cible. Le ballon est ensuite

projeté sur la cible constituée d'une plaque de bois de 40 cm² au centre de laquelle est apposé un micro. Cette planche est fixée sur un matelas de protection de 70 cm de largeur sur 80cm de longueur et de 2cm d'épaisseur. Le micro capte les vibrations émises par le ballon au contact du matelas et arrête le chronomètre.

Le même ballon est utilisé pour toute l'expérience (masse = 450 g, pression = 98 000 Pa ou 9 lbs). Il s'agit d'un ballon officialisé F.I.F.A. qui est doté d'un coefficient de restitution de 0,65. La pression interne du ballon est vérifiée après chaque séquence de tirs (8 essais par tireur).

Enfin, une caméra conventionnelle, de marque Sony, permet de filmer l'exécution des tirs et de confirmer que l'expérience s'est déroulée comme prévue. Cet enregistrement vidéo permet d'assurer que certains éléments ne biaisent pas les résultats de la recherche et confirme la prise de données du chronomètre.

Procédures et instructions données aux sujets

Les 18 sujets sont répartis de façon aléatoire en quatre groupes selon la disponibilité de chacun, et chaque groupe est testé séparément. Cependant, il faut noter que les sujets conservent le même ordre durant toute l'expérimentation afin de limiter les effets possibles liés à la fatigue musculaire. Afin d'équilibrer les effets de séquence, l'ordre d'administration

des tests varie à chaque groupe, comme suit: la séquence de tirs est toujours testée en premier lieu puisqu'il s'agit de la variable dépendante de l'expérience.

Tableau 1

Ordre d'administration des tests par groupe selon les variables mesurées.

Tests	Test # 1	Test # 2	Test # 3	Test # 4
Groupe 1	TIR	HANCHE	GENOU	CHEVILLE
Groupe 2	TIR	CHEVILLE	HANCHE	GENOU
Groupe 3	TIR	GENOU	CHEVILLE	HANCHE
Groupe 4	TIR	HANCHE	CHEVILLE	GENOU

En arrivant dans la salle d'expérimentation, les sujets reçoivent la poignée de main traditionnelle. Ils prennent connaissance des principales tâches à accomplir en écoutant le chercheur donner ses instructions:

«Vous devez exécuter huit tirs du cou-de-pied consécutifs à vitesse maximale sur cette cible. Par la suite, vous allez travailler sur cet appareil (LIDO) au niveau de la flexion de la hanche, de la flexion-extension du genou et de la flexion de la cheville. Vous connaîtrez la suite en temps et lieu.»

L'expérience commence par la prise des mesures anthropométriques: taille, longueur des membres inférieurs (à partir du grand trochanter), poids et

âge des sujets. Ensuite, les quatre ou cinq sujets d'un groupe donné sont invités à s'échauffer pendant sept minutes en joggant autour d'une pièce de 60 mètres² de superficie et en exécutant quelques petits sauts pour conserver la chaleur de leur corps. Par la suite une séance d'étirements supervisée prend place. Les sujets doivent étirer les muscles des membres inférieurs pendant 30 secondes, et ce, pour chaque groupe musculaire. D'autres étirements supplémentaires sont bien sûr permis afin de respecter les préférences (voir Annexe E).

Une fois la prise des données anthropométriques terminée et l'échauffement complété, les tireurs réalisent huit tirs consécutifs du cou-de-pied en respectant les pas d'approche et les temps de repos: Les sujets (tous droitiers) doivent effectuer deux pas d'approche en direction du ballon. Le premier constitue le pas d'ajustement (pied droit); le second permet de déposer le pied d'appui à côté du ballon (pied gauche). Ensuite, ils frappent le ballon au moyen d'un soulier de soccer intérieur conventionnel. Le tir doit être effectué du cou-de-pied, c'est-à-dire sur les lacets du soulier. Chaque tir est exécuté à puissance maximale et avec la technique conventionnelle. Le ballon est propulsé en direction d'une cible située à 2,10 m du point de départ du ballon. Un but de hockey protège les pièces d'équipement servant à l'expérimentation.

Les sujets du groupe reçoivent alors l'information sur les points suivants: l'appareil LIDO, l'échauffement, le nombre de répétitions à exécuter, le temps de repos accordé après chaque répétition et la façon de travailler afin de ne pas biaiser les résultats de la recherche (1 minute d'échauffement et 8 essais, un essai à toutes les 15 sec). Ils sont dirigés dans le temps afin de savoir quand exécuter le travail requis (l'expérimentateur compte «3, 2, 1, vas-y» pour chaque répétition). Le premier sujet s'installe alors sur l'appareil LIDO selon les procédures décrites à l'Annexe A. Il procède à l'échauffement et au test proprement dit. Le deuxième athlète s'installe à son tour, et ainsi de suite jusqu'au dernier sujet. La même séquence d'explications se répète pour les autres tâches demandées. Une fois toutes les mesures enregistrées, les sujets peuvent avoir accès aux données recueillies afin de prendre connaissance de leurs performances.

CHAPITRE III

RÉSULTATS

Les résultats des mesures effectuées sur la puissance des masses musculaires étudiées sont présentés en Newtons-mètre (Nm) alors que ceux de la vitesse maximale du tir du cou-de-pied sont en mètres/seconde (m/s).

Dans un premier temps, les caractéristiques et performances des sujets sont présentées en fonction des recherches antérieures. Ceci permet de comparer les données recueillies aux critères de sélection ainsi qu'aux résultats des études recensées provenant de joueurs de niveau professionnel.

Aussi, il est nécessaire de dévoiler les effets des différentes variables prédictives lorsque corrélées individuellement avec la vitesse du tir du cou-de-pied. Par la suite, pour mieux percevoir l'implication des combinaisons de prédictifs, différents modèles de prédiction sont élaborés et jugés en fonction de la variable dépendante. Tout au long, nous appliquerons un seuil de signification de 0,05.

Anthropométrie

Les caractéristiques physiques des sujets de la présente étude sont comparées à celles des athlètes de l'équipe junior de Hong Kong et de l'équipe nationale Junior de la Chine, au Tableau 2. La moyenne d'âge de l'équipe chinoise est de 19 ans, la grandeur moyenne de 177,2 cm et le poids de 71,0 kg. Il est intéressant de comparer avec d'autres équipes comme l'équipe

nationale junior de Hong Kong étudiée par Ming-Kai (1994). Les sélectionneurs de ce pays choisissent principalement des athlètes plus jeunes (17,3 ans), plus petits (172,0 cm) et plus légers (62,8 kg), caractéristiques générales de la population lorsque comparées à celles de l'équipe des États-Unis (178,3 cm et 72,3 kg), comme rapporte Kirkendall (1985). Ces études comportent de grandes similitudes et peuvent se comparer équitablement, nonobstant des différences d'âge, d'époque et de race des athlètes ayant participé aux diverses recherches.

De plus, il faut noter que les données anthropométriques recueillies sont comparables d'une étude à l'autre et permettent de conclure que le même processus de sélection des athlètes est respecté.

Enfin, soulignons que la taille et la longueur des jambes des sujets n'ont pas semblé influencer significativement la vitesse du tir, dans la présente étude.

Vélocité du tir

Les sujets analysés peuvent exécuter un tir avec une technique correcte en atteignant des vitesses relativement élevées (voir Tableau 3). Les différences d'âge des sujets et, par ricochet, leurs différences de capacité physique peuvent peut-être influencer les résultats finaux. De plus, les différentes méthodes employées pour calculer la vitesse du tir peuvent, elles

aussi, influencer légèrement les données analysées. Il importe donc de comparer les données recueillies aux études antérieures.

Tableau 2

Caractéristiques physiques des joueurs élités de l'équipe junior de Hong Kong (n = 21) et de l'équipe nationale de Chine (n = 17), en comparaison des caractéristiques physiques des sujets de la présente étude (n = 18).

	Hong Kong (1994)	Chine (1988)	Québec (1996)
Variables	Moy. (É-T)	Moy. (É-T)	Moy. (É-T)
Age (années)	17,3 (1,1)	19,0 (1,2)	20,8 (3,1)
Grandeur (cm)	172,0 (6,2)	177,2 (4,0)	175,6 (5,48)
Poids (kg)	62,8 (7,0)	71,0 (6,0)	71,6 (7,78)

C'est pourquoi le Tableau 3 présente la vitesse des tirs obtenue des études de Mognoni, Narici, Sirtori, et Lorenzelli (1994), de Taïana, Grehaigne et Cometti (1993) ainsi que celles des joueurs retenus dans la présente étude.

Nous constatons que l'écart-type de l'âge des athlètes de la présente étude est un peu plus élevé que dans les autres recherches, la vitesse du tir étant cependant comparable. De plus, l'écart-type de la vitesse des tirs

demeure bas, ce qui permet de croire que le choix et la qualité des athlètes sélectionnés sont valables.

Tableau 3

Vélocité du tir (m/s) des joueurs élités de l'équipe junior d'Italie (n = 24), et des équipes de 4e division en France (n = 15), en comparaison avec les sujets de la présente étude (n = 18).

	Italie (1994)	France (1993)	Québec (1996)
Variables	Moy. (É-T)	Moy. (É-T)	Moy. (É-T)
Âge (années)	17,3 (0,9)	18,1 (0,3)	20,8 (3,1)
Vélocité (m/s)	23,6 (2,5)	26,67 (2,52)	24,58 (1,19)

Puissance musculaire

La moyenne et l'écart-type des essais enregistrés en isocinétique pour les articulations de la hanche et du genou, ainsi que l'isolement de l'articulation de la cheville en contraction isométrique, sont présentés à l'Annexe C en relation avec la vélocité maximale du tir. Les résultats des autres variables sont aussi présentés et peuvent maintenant être comparés avec d'autres études.

L'analyse des variables prédictrices laisse voir l'implication des masses musculaires et des articulations reliées à la puissance de ces muscles comme déterminants de la vitesse du tir de chaque sujet. Les médianes des essais maximaux des articulations de la hanche et du genou ainsi que la meilleure crête maximale de la flexion dorsale de la cheville des 18 athlètes sont comparées aux crêtes maximales de vitesse développées lors du tir du cou-de-pied.

Élaboration des modèles prédictifs de la vitesse du ballon

Une fois toutes nos variables calculées et disponibles, nous avons d'abord procédé à un tri des opérationnalisations de chaque variable afin de retenir celle qui semblait la plus intéressante pour l'élaboration d'un modèle prédictif. C'est ainsi que, pour fin d'étude, nous avons retenu:

- la flexion de la hanche (dénotée HAN), soit la médiane des huit mesures maximales obtenues chez les 18 sujets, la vitesse angulaire de ce mouvement étant de 180 degrés/s.

- l'extension du genou (dénotée GEN.EXT), soit la médiane des huit essais à puissance maximale développée par les quadriceps lors de l'extension du genou, la vitesse angulaire imposée par l'appareil isocinétique LIDO étant de 400 degrés/s.

- la flexion du genou (dénotée GEN.FL), soit la médiane des huit essais à puissance maximale développée par les ischio-jambiers lors de la flexion

concentrique du genou, la vélocité angulaire imposée par l'appareil LIDO étant de 400 degrés/s.

- le ratio des quadriceps sur les ischio-jambiers (dénomé RAT), soit la relation entre les médianes de la puissance des extenseurs du genou par rapport au groupe musculaire responsable de la flexion du genou.

- la cheville en flexion plantaire (dénomé CHE), soit la meilleure crête maximale obtenue au cours des trois essais effectués à la cheville. Cette dernière étant positionnée à un angle de 27 degrés en flexion plantaire lors des contractions isométriques.

- le poids des sujets (dénomé POI), soit le poids de chaque sujet en kilogramme (kg) enregistré juste avant le début de la séance de tests.

- la vélocité du ballon (dénomé V), soit la meilleure crête maximale obtenue au cours des huit essais de chaque tireur. Le temps mis par le ballon pour parcourir la distance séparant le point d'impact jusqu'à la cible a permis de calculer la vitesse des tirs.

Ces données, découlant des mesures des 18 sujets, sont résumées au Tableau 4, lequel présente la moyenne arithmétique, l'écart-type et les intercorrélations entre ces sept variables.

Maintenant, il faut observer l'application que peuvent avoir ces différents prédicteurs lorsqu'analysés de manière individuelle.

Tableau 4

Moyenne, écart-type et coefficient de corrélation des différentes variables prédictrices⁺

	Moy. (Nm)	(É-T)	G.EX	G.FL	RAT	CHE	POI	V
HAN	155,3	(27,7)	382	420 [*]	-027	496 [*]	292	600 ^{**}
G.EXT	125,6	(21,9)		532 [*]	558 ^{**}	637 ^{**}	704 ^{**}	514 [*]
G.FL	97,3	(15,7)			-377	293	267	541 [*]
RAT	56,5	(3,5)				378	555 ^{**}	054
CHE	45,1	(8,3)					478 [*]	251
POI (kg)	72,4	(8,0)						415 [*]
V (m/s)	24,6	(1,2)						

⁺ La virgule décimale précédant chaque valeur dans le tableau a été omise.

* $P \leq 0,05$ ** $P \leq 0,01$

Hanche

La force de la hanche a été étudiée par quelques auteurs dont Narici, Sirtori et Mognoni (1988) ainsi que Poulmedis (1985). Ces auteurs rapportent l'existence d'une relation prédictive entre la vitesse du tir d'une part et la puissance développée en flexion de la hanche d'autre part. Les coefficients de corrélation de Pearson sont de l'ordre de 0,60, ce qui dépasse le seuil de 0,05

pour ces deux études. Il semble donc important de vérifier si les résultats statistiques de la présente étude révèlent des conclusions similaires.

Genou

L'analyse de l'articulation du genou est plus complexe. Tout d'abord, l'extension du genou, grâce au travail concentrique des quadriceps, permet au sujet de poursuivre le travail débuté par la hanche dans la séquence de mouvement optimal du tir décrit par Plagenhoff, (1971). La relation $r = 0,51$ entre les variables GEN.EXT et V retrouvée dans l'analyse actuelle, semble appuyer la recherche de Cabri, DeProft, Dufour et Clarys (1988) qui évoque la significativité des données recueillies sur l'extension du genou en fonction de comparaison avec la vitesse maximale du tir.

Maintenant, observons les effets de la variable «ratio du genou» sur la variable prédictive. Tout d'abord, il faut noter que les ratios sont calculés de manière concentrique-concentrique dans les autres recherches. Il est donc primordial de se conformer aux méthodes d'évaluation déjà utilisées par les scientifiques reconnus afin de pouvoir comparer les données recueillies dans les mêmes conditions sur les ratios quadriceps/ischio-jambiers.

Un problème demeure: le mouvement de flexion du genou devrait être évalué de façon excentrique afin que ce test respecte l'activation musculaire lors du tir du cou-de-pied. Il importe alors de souligner que les données sur la flexion du genou peuvent ne pas être entièrement représentatives de la

puissance musculaire des ischio-jambiers de l'athlète lors de l'exécution du tir. Néanmoins, il faut observer que cette variable semble être un prédicteur valable malgré que le travail des ischio-jambiers est calculé de façon concentrique au lieu d'excentrique.

Afin de voir si les athlètes sont entraînés correctement, le ratio quadriceps/ischio-jambiers (les quadriceps étant plus puissants que les ischio-jambiers) est calculé pour chaque sujet. Un ratio variant entre approximativement 50% et 60% de la puissance développée par la jambe d'un sujet normal est recommandé afin de réduire les risques de blessures associés à un déséquilibre musculaire de la jambe. Certaines études antérieures révèlent qu'une différence de force controlatérale supérieure à 10% suppose une prédisposition aux blessures selon Wyatt et Edwards (1981), ainsi que Grace, Sweeter, Nelson, et Yders (1984). Dans la présente étude, comme dans l'étude de Ming-Kai et al. (1994), le pourcentage de sujets qui atteignent un équilibre musculaire est assez élevé, soit 56% de moyenne (Annexe C). Il faut noter que la vitesse de contraction des masses musculaires diffère d'une étude à l'autre, soit 240 degrés/s. dans l'étude de Chin et al. contre 400 degrés/s. pour la recherche actuelle. Si l'on fait abstraction de ces différences, la proportion demeurant pratiquement la même, les études peuvent être comparées sous toutes réserves; les ratios tendent à augmenter avec une vitesse angulaire amplifiée (Poulmedis, 1985).

Chevilles

Normalement, l'état de rigidité du bas de la jambe lors de l'impact influence directement le transfert de momentum, donc la vitesse du tir. La cheville à elle seule ne peut être garante d'un tir puissant, mais cette articulation est la dernière qui entre en jeu avant l'impact du pied sur le ballon. La cheville est bloquée au maximum possible en extension dorsale lors de la frappe, soit à 27 degrés selon Rodano et Tavana (1991). Elle ne semble pas reculer outre mesure.

Poids

Le poids des sujets peut influencer la vitesse du tir puisque la quantité de transfert de momentum risque d'augmenter. En admettant que les autres variables soient contrôlées, il est évident qu'un muscle possédant une plus grande masse et développant une grande vitesse angulaire provoquera certainement un impact violent.

Autres variables

Malgré le fait que, à vitesse angulaire constante, un bras de levier, (rayon de rotation), plus long développe plus de vitesse linéaire à l'extrémité distale, la taille des sujets et la longueur des membres inférieurs sont des variables qui n'influencent pas significativement la vitesse du tir.

Modèles comportant un prédicteur

Les modèles à un seul prédicteur (P) ont la forme: « $V = a + b \times P$ » et correspondent ici à une régression linéaire simple. Pour chaque variable prédictrice, sa corrélation avec la vitesse V , au Tableau 4, indique sa capacité individuelle de prédiction. Ainsi, seules les variables HAN et GEN.EXT atteignent la significativité, la première ayant un coefficient de détermination ($R^2 = r^2$) de 0,36, la seconde de 0,265, représentant donc moins de 50% de la variabilité dans les données de vitesse (voir Tableau 5).

Voici deux exemples de modèles de prédiction de la vitesse du tir, l'un basé sur la variable HAN en relation avec la vitesse du tir et l'autre sur la variable GEN.EXT pour le second:

$$V = 1,028 + 0,0013 \times \text{HAN} \quad R^2 = 0,360 \quad F = 8,99 \quad P \leq 0,0085$$

$$V = 1,053 + 0,0014 \times \text{GEN.EXT} \quad R^2 = 0,265 \quad F = 5,76 \quad P \leq 0,0289$$

Cette première relation linéaire correspond à un r de 0,60, soit la racine carrée de 0,36 (R^2). De plus, la seconde relation linéaire correspond à un r de 0,52, soit la racine carrée du R^2 qui est égal à 0,26.

Tableau 5
Relation des principaux prédicteurs
par rapport à la vitesse du tir (n = 18)

Variable	R ²	P
HAN	0,360	0,0085
GEN.EXT	0,265	0,0289
GEN.FL	0,292	0,0205
RAT	0,291	0,8321
POI	0,173	0,0864
CHE	0,063	0,3145

Modèles comportant deux prédicteurs

Il s'agit ici de déterminer le meilleur modèle prédictif afin de doter les entraîneurs soucieux de voir la puissance de tir de leurs athlètes s'améliorer. Le modèle peut alors servir d'outil et permettre, après une brève évaluation de la puissance des membres inférieurs, de connaître les qualités et les faiblesses des joueurs ainsi que le potentiel de chacun. Cette étude doit permettre de combiner certaines variables et forger un modèle prédictif valable qui puisse

aider les entraîneurs à évaluer rapidement leurs joueurs. S'ils possèdent la formation requise, ils seront alors aptes à prescrire un plan d'entraînement précis selon les besoins spécifiques des athlètes. Si, par exemple, un joueur est très puissant au niveau des articulations évaluées mais ne tire pas très fort, c'est qu'il doit nécessairement accuser des lacunes techniques. Il sera donc pertinent et important de filmer les différents tirs des athlètes.

Les combinaisons de variables incorporées dans les modèles de régressions linéaires multiples ont été explorées au moyen du progiciel SAS (1990), en appliquant la procédure «MAXR». Seules cinq combinaisons de modèles offrant les meilleurs taux de significativité à deux variables seront signalées. Ces modèles sont, symboliquement:

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.FL}), \quad R^2 = 0,461 \quad F(2,15) = 6,41 \quad P \leq 0,010$$

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.EXT}), \quad R^2 = 0,455 \quad F(2,15) = 6,27 \quad P \leq 0,011$$

$$V = f(\text{HAN} + P), \quad R^2 = 0,423 \quad F(2,15) = 5,50 \quad P \leq 0,016$$

$$V = f(P + \text{GEN.FL}), \quad R^2 = 0,369 \quad F(2,15) = 4,43 \quad P \leq 0,031$$

$$V = f(\text{RAT} + \text{GEN.FL}), \quad R^2 = 0,369 \quad F(2,15) = 4,40 \quad P \leq 0,031$$

Comme nous pouvons le constater, certains coefficients de détermination ont augmenté, cela grâce à l'adjonction d'une seconde variable au modèle. Toutefois, cet ajout ne permet pas d'atteindre, par exemple, un coefficient R^2 de 0,500 ou davantage, ce qui indiquerait que le modèle prédit au moins la moitié des variations de vitesse observées.

Voici un exemple de modèle qui se compose de la variable HAN et de la variable GEN.EXT en relation avec la vitesse du tir:

$$V = 0,956 + 0,0010 \times \text{HAN} + 0,0009 \times \text{GEN.EXT}$$

$$R^2 = 0,460; F = 6,27; P \leq 0,0105$$

Cette relation linéaire correspond à un coefficient de corrélation de 0,68, soit la racine carrée de 0,460 (R^2).

Modèles comportant trois prédicteurs

L'ajout d'une troisième variable aux différents modèles prédictifs doit permettre d'augmenter l'apport qu'ont ces modèles sur la qualité de prédiction de la vitesse du tir. Nous conserverons cinq combinaisons de modèles à trois variables. Elles permettent d'atteindre un R^2 d'approximativement 50%, représentant la moitié de la variabilité de la vitesse du tir. De plus, ces modèles sont significatifs au seuil requis de 5%. Ces modèles sont, symboliquement:

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.EXT} + \text{CHE}), \quad R^2 = 0,529; F(3,14) = 5,24; P \leq 0,012$$

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.FL} + \text{RAT}), \quad R^2 = 0,508; F(3,14) = 4,81; P \leq 0,017$$

$$V = f(\text{HAN} + P + \text{GEN.FL}), \quad R^2 = 0,501; F(3,14) = 4,69; P \leq 0,018$$

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.EXT} + \text{GEN.FL}), \quad R^2 = 0,496; F(3,14) = 4,59; P \leq 0,019$$

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.EXT} + \text{RAT}), \quad R^2 = 0,479; F(3,14) = 4,28; P \leq 0,024$$

Voici un exemple de modèle qui se compose des variables HAN, GEN.EXT et GEN.FL en relation avec la vitesse du tir:

$$V = 0,919 + 0,00089 \times \text{HAN} + 0,00062 \times \text{GEN.EXT} + 0,00098 \times \text{GEN.FL}$$

$$R^2 = 0,496; F = 4,59; P \leq 0,0194$$

Cette relation linéaire correspond à un r de 0,704, soit la racine carrée de 0,496 (R^2).

Modèles comportant quatre prédicteurs

Une quatrième variable est ajoutée au modèle prédictif, ce qui permet une synthèse des quatre prédicteurs principaux. Il est important de noter que la combinaison de variables doit demeurer significative et permettre d'atteindre un R^2 supérieur aux précédents afin que ce modèle soit retenu aux fins d'analyse.

Voici les statistiques des modèles à quatre variables:

$$V = f(\text{HAN} + \text{RAT} + \text{GEN.FL} + \text{CHE}),$$

$$R^2 = 0,567; F(4,13) = 4,26; P \leq 0,020$$

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.EXT} + \text{GEN.FL} + \text{CHE}),$$

$$R^2 = 0,553; F(4,13) = 4,02; P \leq 0,025$$

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.EXT} + \text{RAT} + \text{CHE}),$$

$$R^2 = 0,541; F(4,13) = 3,83; P \leq 0,029$$

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.EXT} + \text{P} + \text{CHE}),$$

$$R^2 = 0,534; F(4,13) = 3,73; P \leq 0,031$$

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.FL} + P + \text{CHE}),$$

$$R^2 = 0,534; F(4,13) = 3,73; P \leq 0,031$$

Le modèle complet composé des variables HAN, GEN.EXT, GEN.FL et CHE en relation avec la vitesse du tir, est:

$$V = 0,944 + 0,0013 (\text{HAN}) + 0,0012 (\text{GEN.EXT}) + 0,00076 (\text{GEN.FL}) - 0,00244 (\text{CHE})$$

Cette dernière relation linéaire correspond à un r de 0,744, soit la racine carrée de 0,553 (R^2). De plus, il faut noter que, dans le modèle, l'articulation de la cheville, dont la contribution est minimale, apporte une correction négative dans la prédiction de la vitesse du tir.

Modèle comportant cinq prédicteurs

Une cinquième variable est ajoutée au modèle prédictif, ce qui permet une compilation presque complète des principaux prédicteurs étudiés. L'ajout d'une variable au premier modèle à quatre variables présenté plus haut engendre une légère augmentation du coefficient R^2 qui passe de 0,567 à 0,568 pour la première combinaison, puis à 0,571 pour le second modèle. Ces modèles sont:

$$V = f(\text{HAN} + \text{GEN.EXT} + \text{RAT} + \text{GEN.FL} + \text{CHE}),$$

$$R^2 = 0,568; F(5,12) = 3,16; P \leq 0,048$$

$$V = f(\text{HAN} + P + \text{RAT} + \text{GEN.FL} + \text{CHE}),$$

$$R^2 = 0,571; F(5,12) = 3,20; P \leq 0,046$$

Les coefficients r correspondants sont respectivement de 0,754 et de 0,756. Ces combinaisons de variables sont les dernières qui soient valables et significatives au seuil requis de $p \leq 0,05$. L'amélioration du système prédictif étant négligeable, il ne sera donc pas conservé pour fins de discussion.

Il est important de noter que toutes les combinaisons des variables disponibles furent étudiées. Nous n'avons retenu pour présentation que celles qui amélioreraient sensiblement la significativité des systèmes de prédiction.

CHAPITRE IV

DISCUSSION ET CONCLUSION

Gleeson et Mercer (1996) présentent une étude qui porte sur l'utilisation d'un dynamomètre comme outil d'évaluation des capacités musculaires chez l'homme. Ils évoquent les différents principes à respecter lors de l'expérimentation. La présente recherche, selon leur étude, se compare avantageusement aux autres travaux effectués dans le domaine en ce qui a trait à l'analyse des masses musculaires analysées. Huit répétitions maximales de façon concentrique, avec un repos de 13 secondes entre les répétitions, permettent vraiment d'obtenir des résultats représentatifs des capacités de l'athlète lors de l'expérimentation.

De plus, la vitesse de mouvement, en degrés par seconde, imposée aux sujets par le biais du système LIDO lors de l'expérimentation se rapproche des vitesses angulaires réelles obtenues durant l'exécution d'un tir à puissance maximale. Les différentes modifications apportées aux systèmes d'acquisition de données permettent alors de croire que la méthodologie employée demeure fiable.

Par ailleurs, la sélection des sujets d'une aussi grande qualité permet la comparaison des données recueillies aux résultats des recherches antérieures.

Récapitulons donc l'influence des principaux prédicteurs retenus sur la capacité de générer un tir de grande vitesse.

Influence de l'articulation de la hanche

Les différentes manipulations effectuées durant cette expérience apportent une précision plus grande et permettent de définir avec plus de justesse le rôle de l'articulation de la hanche sur la vitesse du tir. L'étude de Mognoni, Narici, Sirtori et Lorenzelli (1994) ne démontre pas de relations significatives entre cette articulation et la vitesse du tir. Pourtant, l'implication de l'articulation de la hanche comme prédicteur d'un tir à grande vitesse apparaît relativement stable. En effet, pour tous les muscles étudiés, la relation entre la hanche et la variable dépendante est plutôt constante si l'on se réfère aux analyses de régression qui donnent des coefficients de corrélation de 0,60, avec un niveau de probabilité dépassant le seuil requis, soit 5%. Ces résultats corroborent ceux observés par le groupe de chercheurs formé de De Proft, Cabri, Bollens, Dufour et Clarys (1987), qui indiquent que la flexion de la hanche de manière concentrique obtient un coefficient de corrélation de 0,60.

Influence de l'articulation du genou en extension

L'articulation du genou lors de l'extension semble un assez bon prédicteur de la vitesse du tir, avec un coefficient de corrélation de près de 0,52. Selon Rodano et Tavana (1991), l'extension du genou ne peut être utilisée comme prédicteur de la vitesse d'un tir du cou-de-pied au soccer. La prédiction parfaite de la vitesse du ballon étant utopique, il ne faut pas espérer plus qu'une contribution partielle de la puissance du genou parmi les prédicteurs

de la vélocité. Cependant, comme le confirme l'étude d'Assami et Togari (1968), la puissance des quadriceps influence la variabilité du tir et permet d'établir une corrélation significative, quoique modeste, entre la puissance de l'extension du genou et la vélocité du ballon.

Influence du ratio extension-flexion du genou

Les données obtenues sur les sujets de la présente expérience reflètent l'homogénéité de l'échantillon d'athlètes retenus. Ceux-ci en effet ne présentent pas de déséquilibres marqués de force au genou si l'on tient compte de la distribution restreinte des ratios flexion-extension; tous se situent entre 50% et 63%.

Lorsque l'analyse du ratio quadriceps/ischio-jambiers s'effectue, la flexion et l'extension des muscles du genou se calculent de manière concentrique-concentrique, comme dans la présente étude; nos données de ratios peuvent donc se comparer avec celles émanant des autres recherches.

Lors d'apparition de ratios anormaux, l'entraîneur doit rectifier le déséquilibre en offrant une série d'exercices correcteurs qui peuvent aider à établir une relation équilibrée entre les quadriceps et les ischio-jambiers. Un ratio correct pour une personne en santé varie entre 50% et 62%, selon Knapik et Ramos (1980). Une autre étude publiée par Li, Chen, et Zhang (1986) propose un ratio se situant entre 51,7% et 60% pour un athlète qui veut éviter les

blessures. Poulmedis (1985) suggère que le ratio soit d'au moins 60% entre les muscles agonistes et antagonistes.

Influence de l'articulation du genou en flexion

Il faut noter que la flexion du genou analysée de manière concentrique ne représente pas nécessairement le mouvement d'un tir conventionnel, ce qui peut influencer les résultats. Il semble important de prendre en considération qu'un muscle qui s'active de façon concentrique est moins efficace à haute vitesse qu'un muscle qui travaille de manière excentrique. Cette affirmation représente une partie des observations recueillies sur cette articulation en fonction de la vitesse du tir. Il serait donc intéressant de vérifier si la puissance de flexion du genou mesurée de façon excentrique se révélerait un prédicteur efficace de la vitesse du tir.

Influence du poids

Il semble que le poids des sujets peut influencer la vitesse du tir. Il est normal qu'une masse plus lourde, transportée à la même vitesse angulaire qu'une masse légère, aura un impact linéaire plus percutant. Le poids des sujets semble un assez bon prédicteur de la vitesse du tir, avec un coefficient de corrélation dépassant 0,40, et atteignant le seuil requis $p \leq 0,05$.

Influence de l'articulation de la cheville

Cette articulation joue un rôle stabilisateur par rapport aux autres prédicteurs majeurs de la vitesse du tir. Une cheville forte implique qu'elle

n'est pas sujette à reculer ou à amortir l'impact du ballon. Pourtant, lorsqu'utilisée seule, elle ne semble pas être un prédicteur valable de la vitesse du tir. Huang, Roberts, et Youm (1982) rapportent que la contribution de la cheville est très négligeable. Une des explications possibles est que, lors d'un impact puissant entre le ballon et le pied, la cheville supporte assez bien le coup mais le pied se déforme au niveau de la tête du cinquième métatarse. Rodano et Tavana (1991), démontrent une relation positive ($r = 0,69$) entre leur observation sur la déformation du pied et la vitesse maximale du tir.

Il semble donc important que les chercheurs tentent de trouver un moyen de prévenir ou contrer cette flexion involontaire du pied. Une fois cette faiblesse réduite, les chances de voir augmenter la vitesse du tir s'améliorent de façon substantielle.

Examen des modèles prédictifs à plusieurs variables

Dans l'ensemble, les résultats des différents modèles de prédiction statistique analysés révèlent l'importance des masses musculaires des membres inférieurs dans la recherche de l'amélioration de la vitesse du tir. Des pourcentages relativement éloquentes de variabilité de la variable dépendante permettent d'affirmer que la puissance musculaire des joueurs influence directement la capacité de chacun à obtenir un tir de grande vitesse.

De plus, les coefficients de corrélation utilisés comme ingrédients dans l'évaluation des modèles prédictifs, ont été évalués à l'aide d'athlètes de fort

calibre. Ce fait a pour conséquence que la prédictivité des modèles est certainement sous-estimée, en raison de l'étendue de variation réduite à la fois dans les prédicteurs et dans la variable dépendante. C'est-à-dire qu'à technique de tir comparable, des athlètes musculairement moins développés ou de masses moindres produiraient des vitesses réduites et que les corrélations évaluées dans ce contexte, seraient accrues, permettant d'atteindre peut-être des coefficients de détermination (R^2) de 0,80, voire 0,90.

Modèle HAN-GEN.FI

Il semble que ce modèle permet d'envisager que l'articulation du genou joue un rôle relativement important dans l'explication de la variabilité de la vitesse du tir. La combinaison de ces deux variables génère un coefficient de détermination de $R^2 = 0,46$, relation linéaire correspondant à un r de 0,68.

Modèle HAN-GEN.EXT

L'analyse de régression multiple impliquant les variables de la hanche et du genou en relation avec la vitesse du tir demeure l'indice le plus étudié par les chercheurs jusqu'à présent. Dès lors, il est important de souligner l'apport qu'ont ces variables sur l'augmentation (supposément proportionnelle) de la vitesse du tir. La recherche actuelle abonde dans le sens de l'étude de Narici, Sirtori et Mogroni (1988), qui supposent qu'une flexion puissante de la hanche ainsi qu'une extension rapide du genou ont un impact conjoint et significatif sur la vitesse du tir. Ces combinaisons prédictives démontrent aussi l'importance

qu'ont ces variables sur le résultat final, avec 0,46 comme coefficient de détermination (R^2). Ce résultat permet de prétendre qu'environ la moitié de la variabilité de la vitesse du tir peut s'expliquer par la combinaison de ces deux articulations. De plus, ces modèles prédictifs permettent d'accéder au seuil requis de 5%.

Modèle HAN-POI

Il faut rappeler la bonne corrélation, $r = 0,650$, observée entre la flexion de la hanche et le poids des sujets. Dans ce modèle à deux prédicteurs, l'information importante à retenir est que la hanche demeure fortement liée à la vitesse du tir malgré l'ajout de la nouvelle variable POI. Ce modèle significatif ne permet toutefois de prédire que 42% de la variabilité de la vitesse.

Notons que tous les autres modèles significatifs n'atteignent pas 40% de la variabilité de la vitesse avec des coefficients de détermination (R^2) inférieurs à 0,40. Ces combinaisons ne feront pas l'objet de discussion puisqu'elles n'augmentent pas suffisamment la capacité de prédiction des modèles à deux prédicteurs.

Modèle HAN-GEN.EXT-CHE

La combinaison des articulations principales des membres inférieurs semble indiquer la réciprocité des variables impliquées. De plus, elle explique environ 53% de la variabilité de la vitesse du tir ($R^2 = 0,529$). Il est intéressant

de souligner que la cheville, lorsqu'analysée seule, ne semble pas apte à devenir un facteur important pour les modèles de prédiction. Pourtant, elle joue un rôle stabilisateur et permet au genou et à la hanche de devenir significatifs individuellement à l'intérieur de ce modèle.

Modèle HAN-GEN.FL-RAT

Ce modèle offre une qualité de prédiction satisfaisante avec un coefficient de détermination de $R^2 = 0,51$. Ce modèle permet d'obtenir, en extrayant la racine carrée du coefficient de détermination, une relation linéaire de $r = 0,71$. Cette deuxième combinaison se veut particulièrement intéressante puisque le ratio semble être le dénominateur commun des différents prédicteurs. Il s'avère que plusieurs des différents modèles prédictifs significatifs comptent le ratio comme variable prédictive; les coefficients de corrélation semblent révéler d'étroites liaisons inter-variables (Voir tableau 4).

Par ailleurs, plusieurs autres modèles de prédiction à trois variables sont significatifs sans toutefois augmenter la qualité de prédiction de la variable dépendante. Ils ne seront donc pas retenus pour fins de discussion.

Modèle HAN-GEN.EXT-GEN.FL-CHE

Plus il y a de variables impliquées, plus il devient difficile de définir un modèle qui atteigne le seuil de probabilité requis. L'ajout de la flexion du genou au modèle à trois variables semble permettre d'expliquer plus de 55% de la

variabilité de la vitesse du tir. De plus, cette combinaison est significative au seuil requis et correspond à une relation linéaire de $r = 0,744$.

Modèle HAN-RAT-GEN.FL-CHE

La substitution de la variable RAT à la variable GEN.EXT permet d'augmenter légèrement la qualité de la prédiction. Nous observons une relation linéaire de plus de 0,75. De plus, ce modèle prédictif est significatif à 2% ce qui dépasse largement le seuil requis.

Les autres modèles prédictifs à quatre prédicteurs ne permettent pas d'augmentation sérieuse de la qualité de prédiction. Ils ne seront donc pas conservés pour fins de discussion plus élaborée.

Conclusion

En général, l'analyse de la puissance musculaire des membres inférieurs semble être un moyen relativement efficace pour prédire la capacité du joueur de soccer à effectuer un tir à grande vitesse.

Lorsqu'analysés selon les paramètres de la recherche actuelle, le poids de sujets, les muscles responsables de l'extension/flexion du genou, de la flexion plantaire de la cheville et surtout de la flexion de la hanche offrent une possibilité d'intervention certaine à l'entraîneur en vue d'améliorer la vitesse du tir des athlètes. À notre connaissance, aucune étude n'a offert aux entraîneurs la possibilité d'utiliser des modèles prédictifs afin de diagnostiquer les performances et d'améliorer la qualité des interventions sur le terrain.

L'entraîneur doit tout d'abord évaluer la technique des athlètes en filmant et en corrigeant les erreurs perceptibles. Cette étape devrait améliorer la vitesse du tir des joueurs moins expérimentés. Par la suite, il faut évaluer la puissance musculaire des membres inférieurs selon le protocole de la présente étude, en incluant aussi l'évaluation des ischio-jambiers de façon excentrique, afin de recenser les limites ponctuelles des joueurs. Une fois la comparaison faite entre la puissance des membres inférieurs et la vitesse développée par les tireurs, l'entraîneur pourra constater les lacunes des athlètes et tenter d'améliorer les faiblesses musculaires apparentes.

Il va de soi qu'un programme d'entraînement bien administré augmente sensiblement la qualité de la réponse de l'athlète à l'effort. Auparavant, il serait souhaitable d'évaluer le potentiel d'amélioration de la puissance musculaire et les effets subséquents sur la vitesse du ballon. Une fois la technique acquise et les faiblesses musculaires individuelles analysées, l'entraîneur doit préparer un plan d'entraînement adéquat, en ayant l'œil particulièrement attentif à la puissance musculaire du genou et de la hanche.

Ajoutons qu'en définissant d'éventuelles normes, par rapport au calibre, à l'âge et au sexe des joueurs, il serait possible pour un entraîneur de comparer les performances d'un athlète à la moyenne d'un groupe équivalent au sien. Par exemple, en établissant l'importance relative des différents prédicteurs au sein du modèle choisi, il serait possible d'appliquer de manière individuelle un modèle prédictif à quatre variables (ex: HAN-CHE-GEN.FL-RAT) selon les forces et faiblesses spécifiques d'un joueur.

S'il ne peut exécuter l'analyse complète, il doit trouver une façon d'augmenter la puissance des muscles du genou et de la hanche qui jouent un rôle important dans la variabilité de la vitesse du tir.

Une autre intervention possible pour améliorer la vitesse du tir serait de construire un soulier qui empêche le pied de plier au niveau du cinquième métatarsien, tel que stipulé par Rodano et Tavana (1991). Il s'agit d'un système de couture qui fonctionnerait comme l'articulation de l'épaule; le pied

et le soulier pourraient plier dans un sens mais pas dans l'autre. Après avoir dépassé 20 degrés, le soulier bloque le mouvement de flexion plantaire. Donc, il réduit les pertes d'énergie sans trop limiter le mouvement du pied et de la cheville. Le défi des ingénieurs serait d'inventer ce nouveau soulier sans que la sensation kinesthésique ballon-pied ne soit trop altérée.

Une telle chaussure pourrait permettre d'augmenter la qualité du transfert du momentum développé et simultanément raffermir globalement la relation mesurable entre la vitesse du ballon et la puissance musculaire appliquée par les membres inférieurs. Avec des joueurs d'élite, cette combinaison serait «meurtrière» pour les gardiens de but.

RÉFÉRENCES

- Alexander, MJL. (1990). Peak torque values for antagonist muscles groups and concentric and excentric contraction types for elite sprinters. *Archives of Physical and Medical Rehabilitation* (71), 334-339.
- Armstrong, C.W., Levendusky, T.A., Eck, J.S., Spyropoulos, P., et Kugler, L. (1988). Influence of inflation pressure and ball wetness on the impact characteristics of two types of soccer balls. (pp. 394-398). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Assami, T., et Nolte, V., (1983). Analysis of powerful ball kicking. (pp.695-699). In: *Biomechanics VIII-B*.
- Assami, T. et Togari, J. (1968). Studies on the kicking abilities in soccer. *Journal of Recreation and Physical Education* (12), 267-272.
- Bloomfield, J., Elliot, B.C., et Davies, C.M., (1979). Developpement of the soccer kick: a cinematographical analysis. *Journal of Human Movement Studies*. (5), 152-159.
- Cabri, J., DeProft, E., Dufour, W., et Clarys, J.P. (1988). The relation between muscular strenght and kick performance. (pp. 186-192). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- De Proft, E., Cabri, J. Bollens, E., Dufour, W. and Clarys, J.P. (1988, a). Strength training and kick performance in soccer players. (pp. 108-113). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- De Proft, E., Cabri, J. Bollens, E., Dufour, W. and Clarys, J.P. (1988, b). Muscle activity in the soccer kick. (pp. 434-440). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Enoka, Roger.M. (1994). *Neuromechanical basis of kinesiology (2e éd.)*, (pp. 21-22, 44, 96). Cleveland; Ohio.
- Gleeson, N.P. et Mercer, T.H. (1996). The utility of isokinetic dynamometry in the assessment of human muscle function. *Journal of Sports Medecine, (21-1)*, 19-33. Strafford University, Angleterre.

- Grace, T.G., Sweeter, E.R., Nelson, M.A., et Yders, L.R., (1984). Isokinetic muscle imbalance and knee joint injuries. *Journal of Bone and Joint Surgery* (66), 734-740.
- Huang, T.C., Roberts, E.M., et Youm, Y. (1982). The biomechanics of kicking. (pp. 409-443). *Human Body Dynamics: Oxford Medical Engineering Series*.
- Johnson, J., Siegel, D. (1978). Reliability of an isokinetic movement of the knee extensors. *Res. Quart.* 49 (1), 88-90.
- Kermond, J., et Konz, S., (1978). Support leg loading in punt kicking. *Res. Quart.* (1), 71-79.
- Kirkendall, D., (1985). The applied sports science of soccer. *Physical and Sports Medicine* (13), 53-59.
- Knapik, J. et Ramos, M. (1980). Isokinetic and isometric torque relationship in the human body. *Archives of Physical and Medical Rehabilitation* (61) 64-67.
- Lees, A. (1993). The Biomechanics of football. (pp. 327-332). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Levendusky, T.A., Armstrong, C.W., Eck, J.S., Jeziorowski, L., et Kugler, L. (1988). Impact characteristics of two types of soccer balls. (pp.385-393). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Levendusky, T.A., Armstrong, C.W., Eck, J.S., Spyropoulos, P., et Kugler, L. (1988). Influence of inflation pressure and ball wetness on the impact characteristics of two types of soccer balls. (pp. 394-398). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Li, G., Chen, X., et Zhang, W., (1986). Isokinetic strength and endurance of quadriceps and hamstring muscles in elite Chinese athletes. *Chinese Journal of Sports and Medicine* (6), 44-48.
- Livre des règlements: Lois du jeu et Guide Universel à l'Usage des Arbitres. p.10.

- Luthanen, P. (1991). Kinematics and kinetics of maximal instep kicking in junior soccer players. (pp. 441-443). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Ming-Kai, C., Raymond, C.H., So, Y., Yuan, W.Y., Raymond, C.T., Alison, Li., et Wong, S.K. (1994). Cardiorespiratory fitness and isokinetic muscle strength of elite Asian junior soccer players. *The Journal of Sports Medecine and Physical Fitness* (34-3), 250-257.
- Mognoni, P., Narici, M.V., Sirtori, M.D. et Lorenzelli, F. (1994). Isokinetic torques and kicking maximal ball velocity in young soccer players. *The Journal of Sports Medecine and Physical Fitness* (34-4), 357-361.
- Narici, M.V., Sirtori, M.D. et Mognoni, P. (1988). Maximal ball velocity and peak torques of hip flexors and knee extensor muscles. (pp. 429-433). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Oberg, B., Ekstrand, J., Moller, M., et Gillquist, J. (1984). Muscle strength and flexibility in different positions of soccer players. *International Journal of Sports Medecine* (5), 213-216.
- Perrin, D.H., (1993). Isokinetic exercise and assessments. Champaign, IL: *Human Kinetics*.
- Phillips, S.J. (1984). *Invariance of elite kicking performance*. (pp. 539-542). M. Sc. Thesis, University of Maryland.
- Plagenhoef, S. (1971). *Patterns of human motion*. Toronto: Prentice-Hall.
- Poulmedis, P. (1985). Isokinetic maximal torque power of Greek elite soccer players. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 293-295.
- Rhodes, EC., Mosher, RE., McKenzie, DC., Franks, IM., Potts, JE., et Wenger, H., (1986). Physiological profiles of the Canadian Olympic soccer team. *Canadian Journal of Applied Sports and Science*, (11), 31-36.

- Rochcongar, P., Morran, R., Jan, J., Dassonville, J., et Bellot, J., (1988). Isokinetic investigation of knee extensors and knee flexors in young French soccer players, *International Journal of Sports Medecine*, (9), 448-450).
- Roberts, E. M., Metcalfe, A. (1967). Mechanical Analysis of Kicking. *Biomechanics I* (pp. 315-319), University of Wisconsin.
- Roberts, E. M., Zernicke, R. F., Youm, Y., Huang, T. C. (1975). *Kinetic parameters of kicking*, 158-162. University of Wisconsin.
- Robertson, D.G.E., Mosher, R.E. (1983). *Work and power of the leg muscles in soccer kicking*, 533-536. Vancouver.
- Rodano, R. Tavana R. (1991). Three dimensional analysis of instep kick in professional soccer players. (pp. 357-361). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Saggini, R., Calligaris, A., Montanari, G., Tjouroudis, N. et Vecchiet, L. (1991). The foot-Ground reaction in the soccer player, (pp. 341-344). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Sale, D.G. (1991). Testing strength and power. In MacDougall J.D., Wenger H.A., Gre H.J. Physiological testing of the high performance athlete (2e éd.). Champaign (IL): *Human Kinetics*. 21-106.
- Stoner, S.J., Ben-sira, D. (1980). *Variation in mouvement patterns of professional soccer players when executing a long range and medium range in-step soccer kick*, (pp. 337-342). University of Minnesota.
- Taïana, F., Grehaigne, J.F., et Cometti, G. (1993). The influence of maximal strength training of lower limbs of soccer players on their physical and kick performances, (pp. 98-103). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and Football*. London.
- Togari, H. (1972). Kinesiological study of soccer (1). *Japenese Journal of Physical Education*. (16-5), 259-264.
- Togari, H., Ohashi, J., et Ohgushi, T. (1988). Isokinetic muscle strength of soccer players. (pp. 180-185). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.

- Wyatt, MP., et Edwards, AM., (1981). Comparaison of quadriceps and hamstring torque values during isokinetic exercise. *Journal of Orthopedic, Sports and Physical Therapy* (3), 48-56.
- 1990. SAS/STAT User's Guide, Version 6 2 tones (4e éd.). Cary (nc), SAS institute.

RÉFÉRENCES COMPLÉMENTAIRES (non citées)

- Aagaard, P., Trolle, M., Simonsen, E.B., Bangsbo, J., et Klausen, K. (1991). High speed knee extension capacity of soccer players after different kinds of strength training. (pp. 92-94). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Cabri, J., DeProft, E., Dufour, W., et Clarys, J.P. (1988). The relation between muscular strenght and kick performance. (pp. 186-192). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Caldwell, G.E., Adams, W.B., et Whetstone, M.R. (1993). Torque\velocity properties of human knee muscles: Peak and angle specific estimates. *Canadian Journal of Applied Physiology*, (18-3), 274-290.
- Capranica, L., Gama, G., Fanton, F., Figura, F., et Tessitore, A. (1992). Force and power of preferred and non-preferred leg in young soccer players. *The Journal of Sports Medecine and Physical Fitness*, (32-4), 358-363. Université dell'Aquila, Italy.
- Ekstrand, J. (1982). Prevention of injuries in soccer. Linkoping University *Medical Dissertation* No. 130, Linkoping, Sweden.
- Isokawa, M., et Lees, A. (1988). Biomenachanical analysis of the instep kick motion in soccer. (pp. 449-455). In T. Reilly E & F.N. Spon, *Science and football*. London.
- Kellis, E. et Baltzopoulos, V. (1995). Isokinetic eccentric exercise. *Journal of Sports Medecine*, (19-3), 202-222. Liverpool University, Angleterre.

- Kramer, JF., et Balsor, BE. (1990). Lower extremity preference and knee extensor torques in intercollegiate soccer players. *Canadian Journal of Sports and Science*, (15), 180-184.
- Kreibghbaum, E. Barthels, K,M. (1985). *Biomechanics: A qualitative approach for studying human mouvement (2e éd.)*. California: Burgess. pp. 285-288, 597-600, 627-628.
- Logan, G,A., McKinney, W,C,. (1982). *Anatomic kinesiology (3e éd.)*. Iowa: WM.C. Brown Compagny. pp. 49-50, 158-159, 299-300.
- Miller, I,D., Nelson, R,C,. (1973). *Biomechanics of sport: A research approach*. Philadelphia: Library of Congress. pp. 43-48.

ANNEXE A

PROCOCOLE D'ÉCHAUFFEMENT SUR APPAREIL LIDO

Il existe une grande variété de tests pour évaluer le travail, les torques et la puissance isocinétique. Toutefois, il faut s'assurer d'appliquer certains éléments essentiels au bon déroulement du test afin d'obtenir des données fiables et relativement stables.

Chaque session du test doit commencer par un échauffement qui inclut des répétitions sous-maximales et maximales nécessaires à l'obtention de données stables sur les torques (crêtes maximales) lors de l'extension du genou. Perrin (1993) a souligné la grande fiabilité des données recueillies (travail, puissance et torque) lors de l'expérience sur la rotation interne et externe de l'épaule ainsi que la flexion-extension de l'épaule et du genou.²

² Interprétation libre de l'auteur

ANNEXE B

FEUILLE D'INVITATION REMISE AUX JOUEURS SÉLECTIONNÉS

PARTICIPATION VOLONTAIRE AU PROJET DE MAÎTRISE INTITULÉ: ANALYSE DE CERTAINS PRÉDICTEURS DE LA VÉLOCITÉ D'UN TIR FRONTAL AU SOCCER BASÉS SUR LA PUISSANCE MUSCULAIRE DES MEMBRES INFÉRIEURS

Après discussion avec votre entraîneur, M. Pierre Clermont, nous souhaitons que tous les joueurs de l'équipe des Patriotes de l'Université du Québec à Trois-Rivières participent à l'expérience sur le tir au soccer. Pour que le projet soit valide, il faut des joueurs d'élite possédant un tir de qualité supérieure à la moyenne. Vous faites partie de la meilleure équipe de la Mauricie. Il est donc normal que vous soyez choisis pour participer à cette étude.

Par ailleurs, après cette expérience vous serez en mesure d'évaluer vos forces et faiblesses au niveau de la puissance des membres inférieurs et de la vélocité de votre tir. De manière détaillée vous allez:

- 1- Connaître la puissance de votre cheville;
- 2- Connaître la puissance de votre genou (quadriceps);
- 3- Connaître la puissance de votre hanche;
- 4- Connaître la vélocité maximale de votre tir;
- 5- Aider un étudiant de l'U.Q.T.R. et ancien entraîneur des Patriotes Féminin à compléter ses études de maîtrise.

L'expérience comporte les éléments suivants:

- Vous devez faire un échauffement individuel de 5 à 10 minutes.
- Vous devez, sur l'appareil LIDO (machine de musculation), faire huit (8) flexion-extension de la cheville, du genou, et de la hanche.
- Vous devez exécuter huit tirs à puissance maximale dans un filet de hockey placé à 2 mètres du point de départ du ballon.

L'expérience se déroule au laboratoire de chiropratique le vendredi 20 septembre 1996 de 8h00 à 17h00. J'ai besoin de 4 groupes de 5 athlètes selon les heures suivantes: A) 8h00 à 10h00 B) 10h00 à 12h00 C) 13h00 à 15h00 D) 15h00 à 17h00.

Normalement, tous ces efforts ne devraient prendre qu'une petite heure de votre journée (il y a une heure tampon par groupe). J'apprécie beaucoup votre collaboration. Merci!

ANNEXE C
FICHER DE STATISTIQUES BRUTES

- 1 = médiane
- 2 = crête maximale
- 3 = crête sous-maximale
- 4 = moyenne tronquée

VARIABLE (n = 18)	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
HAN 1 (Nm) =	155,31	27,70	99,0	193,5
HAN 2 =	169,33	31,13	106,0	210,0
HAN 3 =	164,0	28,71	106,0	203,0
HAN 4 =	154,77	27,03	100,7	192,5
GEN-EXT 1 (Nm) =	125,58	21,99	94,5	163,0
GEN-EXT 2 =	138,56	24,02	104,0	182,0
GEN-EXT 3 =	134,22	23,71	100,0	175,0
GEN-EXT 4 =	125,21	21,15	94,5	162,2
RATIO =	56,5	3,5	50,1	62,5
GEN-FL 1 (Nm) =	97,31	15,26	75,0	126,5
GEN-FL 2 =	104,44	16,89	77,0	133,0
GEN-FL 3 =	102,00	15,72	77,0	130,0
GEN-FL 4 =	96,92	14,62	75,5	121,8
CHE (Nm) =	45,11	8,26	31,0	61,00
TAILLE (cm) =	175,64	5,48	164,0	184,00
LONG. JAMBE (cm) =	93,28	5,15	83,0	102,00
POIDS = (kg) =	72,38	8,00	53,6	84,09

ANNEXE D

ANTHROPOMÉTRIE

Organisation des segments corporels par Chandler et al. (1975).

APPENDIX D

Body Segment Parameters

Body segment organization is used in many biomechanical studies. Chandler et al. (1975) used 14 body segments: head, trunk, upper arms, forearms, hands, thighs, shanks (or legs), and feet (see Figure D.1). In contrast, Zatsiorsky and Seluyanov (1983) separated the body into 16 segments: head, upper torso, middle torso, lower torso, upper arms, forearms, hands, thighs, shanks, and feet (see Figure D.2).

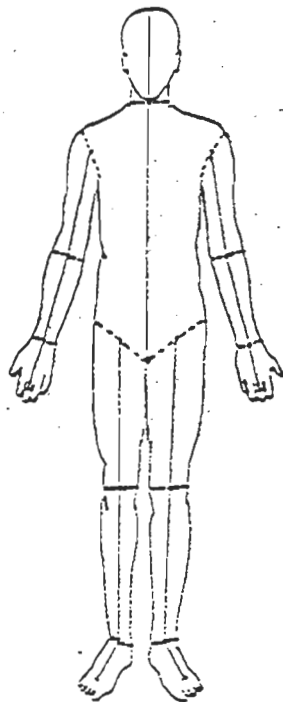


Figure D.1 The body segment organization used by Chandler et al. (1975).

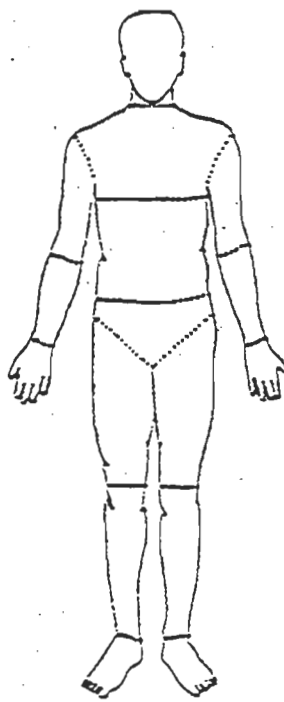


Figure D.2 The body segment organization used by Zatsiorsky and Seluyanov (1983).

ANNEXE E
DÉROULEMENT DÉTAILLÉ DE L'EXPÉRIMENTATION

- 1- ACCUEIL: MOT DE BIENVENUE (DIRE TITRE DES 4 TESTS).
 - 2- EXPLIQUER ET VÉRIFIER LA PRISE DES MESURES CORPORELLES (POIDS, GRANDEUR, GRANDEUR ASSISE, ÂGE).
 - 3- NOTER LES COORDONNÉES SUR FEUILLE DE TIR AVEC NOM ET NUMÉRO.
 - 4- ÉCHAUFFEMENT PUIS EXPLIQUER COMMENT FAIRE LES 8 TIRS. (PUISSANCE MAX., MÊME TECHNIQUE, PAS AJUSTEMENT, PIED APPUI, TIR SUR LA CIBLE.
 - 5- PRENDRE EN NOTE LA VÉLOCITÉ DES HUIT TIRS AVEC LA TABLE DE CONVERSION (TOUJOURS EN ORDRE DE NUMÉRO).
 - 6- INSTALLER LE SUJET # 1 SUR LA MACHINE POUR LE TEST APPROPRIÉ.
 - 7- EXPLIQUER À TOUS LES SUJETS COMMENT FAIRE LES 3 FLEXIONS MAXIMALES DE LA CHEVILLE EN ISOMÉTRIQUE À 27 DEGRÉS.
 - 8- ENTRER LES COORDONNÉES DU 1^{er} SUJET.
 - 9- CHARGER TEST APPROPRIÉ.
 - 10- ÉCHAUFFEMENT DE 1 MIN. AVEC TROIS CONTRACTIONS SOUS-MAXIMALES ET UNE CONTRACTION MAXIMALE.
 - 11- TEST: PESER SUR ESPACE-RETOUR, **LAISSER PASSER 10 S.** PUIS 'A LA **10E S.** CONTRACTION MAXIMALE PENDANT 10 S., REPOS DE 30 S. À LA **50E S.** CONTRACTION MAXIMALE PENDANT 10 S. REPOS 30 S. À LA **90E S.** CONTRACTION MAXIMALE PENDANT 10 S. REPOS 20 S.
 - 12- SAUVER SOUS LE BON NOM.
 - 13- ENTRER LES COORDONNÉES DU 2^e SUJET.
 - 14- CHARGER TEST APPROPRIÉ...
- IDEM POUR LES 5 SUJETS. ENSUITE SAUVEGARDER.
- 15- INSTALLER LE SUJET # 1 SUR LA MACHINE POUR LE TEST APPROPRIÉ.

16- EXPLIQUER À TOUS LES SUJETS COMMENT FAIRE LES 8 FLEXIONS-EXTENSIONS MAXIMALES CONSÉCUTIVES DU GENOU EN ISOCINÉTIQUE CON\CON À 400\400 DEGRÉ\S. DE VÉLOCITÉ SUR UNE PLAGE DE 105 À 5 DEGRÉS.

17- ENTRER LES COORDONNÉES DU 1^{er} SUJET.

18- CHARGER TEST APPROPRIÉ.

19- ÉCHAUFFEMENT DE 1 MIN. AVEC TROIS CONTRACTIONS SOUS-MAXIMALES ET TROIS CONTRACTIONS MAXIMALES.

20- TEST: PESER SUR ESPACE-RETOUR, **LAISSER PASSER 10 S.** PUIS 'A LA **10E S.** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION ET TOUT DE SUITE APRÈS EXTENSION, REPOS DE 12 S. À LA **25E S.** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION ET TOUT DE SUITE APRÈS EXTENSION, REPOS DE 12 S. À LA **40E S.** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION ET TOUT DE SUITE APRÈS EXTENSION, REPOS DE 12 S. À LA **55E S.** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION ET TOUT DE SUITE APRÈS EXTENSION, REPOS DE 12 S. À LA **70E S. (1:10)** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION ET TOUT DE SUITE APRÈS EXTENSION, REPOS DE 12 S. À LA **85E S. (1:25)** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION ET TOUT DE SUITE APRÈS EXTENSION, REPOS DE 12 S. À LA **100E S. (1:40)** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION ET TOUT DE SUITE APRÈS EXTENSION, REPOS DE 12 S. À LA **115E S. (1:55).**

21- APPUYER SUR ENTER POUR ARRÊTER LE TEST.

22- SAUVER SOUS LE BON NOM.

23- ENTRER LES COORDONNÉES DU 2^e SUJET.

24- CHARGER TEST APPROPRIÉ.

IDEM POUR LES 5 SUJETS. ENSUITE SAUVEGARDER.

25- INSTALLER LE SUJET # 1 SUR LA MACHINE POUR LE TEST APPROPRIÉ.

26- EXPLIQUER À TOUS LES SUJETS COMMENT FAIRE LES 8 FLEXIONS MAXIMALES CONSÉCUTIVES DE LA HANCHE EN ISOCINÉTIQUE CON\CON À 180\400 DEGRÉ\S. DE VÉLOCITÉ SUR UNE PLAGE DE 15 À 75 DEGRÉS.

27- ENTRER LES COORDONNÉES DU 1^{er} SUJET.

28- CHARGER TEST APPROPRIÉ.

29- ÉCHAUFFEMENT DE 1 MIN. AVEC TROIS CONTRACTIONS SOUS-MAXIMALE ET TROIS CONTRACTION MAXIMALES.

30- TEST: PESER SUR ESPACE-RETOUR, **LAISSER PASSER 10 S.** PUIS 'A LA **10E S.** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION, REPOS DE 13 S. À LA **25E S.** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION , REPOS DE 13 S. À LA **40E S.** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION, REPOS DE 13 S. À LA **55E S.** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION, REPOS DE 13 S. À LA **70E S. (1:10)** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION, REPOS DE 13 S. À LA **85E S. (1:25)** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION, REPOS DE 13 S. À LA **100E S. (1:40)** CONTRACTION MAXIMALE EN FLEXION, REPOS DE 13 S. À LA **115E S. (1:55).**

31- APPUYER SUR ENTER POUR ARRÊTER LE TEST.

32- SAUVER SOUS LE BON NOM.

33- ENTRER LES COORDONNÉES DU 2^e SUJET.

34- SAUVER TOUS LES TESTS (DOWNLOAD).

35- MERCI AUX PARTICIPANTS

ANNEXE F
VUE DE LA SALLE D'EXPÉRIMENTATION



