

2m11.2845.9

Université de Montréal

Effet de l'intensité, de la vitesse, du mouvement et du type de contraction sur le nombre de répétitions maximales en musculation

par

Pierre-Mary Toussaint

Département de kinésiologie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maître ès sciences (M.Sc.)
en sciences de l'activité physique

juillet 2000

© Pierre-Mary Toussaint, 2000



3011 2717 P

GV
201
U54
2001
V.004

Université de Montréal

Effect de l'intensité de la vitesse du mouvement et du type de contraction sur le nombre de répétitions maximales en musculation

Dr. Jean-François Tremblay

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures
en vue de l'obtention du grade de
Maîtrise en sciences de la santé
et de l'éducation physique

juin 2000



© 2000 Université de Montréal

Page d'identification du jury

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :

Effet de l'intensité, de la vitesse, du mouvement et du type de contraction sur le nombre de répétitions maximales en musculation

présenté par :

Pierre-Mary Toussaint

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

GARDINER, PHILLIP Président rapporteur

LÉGER, LUC Directeur de recherche

DUCHATEAU, JACQUES Membre du jury

Mémoire accepté le :

SOMMAIRE

L'efficacité d'un programme d'entraînement musculaire passe par la connaissance des différentes approches utilisées pour améliorer les qualités musculaires et plus spécifiquement à la problématique qui nous préoccupe, par la connaissance des différents facteurs qui affectent le nombre de répétitions réalisables à l'entraînement selon les objectifs visés.

Ce mémoire comporte deux parties : une revue de la littérature et une étude expérimentale descriptive. La revue de la littérature aborde les thématiques suivantes : la définition de la force maximale ainsi que des types de contractions, la force maximale et la vitesse de contraction pour les contractions concentriques et excentriques, la mesure de la force maximale concentrique anisocinétique et «isocinétique»¹, les méthodes de développement des qualités musculaires (force maximale, degré d'hypertrophie, endurance et puissance) et les variables d'un programme d'entraînement musculaire (intensité, nombre de séries et de répétitions, fréquence, vitesse d'exécution, type et mode de contraction) en rapport avec l'amélioration des qualités visées.

Quant à l'étude expérimentale, elle avait pour but d'établir les effets de la vitesse d'exécution (30 et 90⁰/s), du type de contraction (isocinétique et anisocinétique), du groupe musculaire ou du mouvement (fléchisseurs et extenseurs du coude et du genou), de l'intensité de la résistance (40, 60 et 80% de la force maximale correspondante) et du niveau de force de l'exécutant (fort et faible) sur le nombre de répétitions maximales (RM) pouvant être exécutées lors d'un exercice musculaire, chez des adultes en santé.

¹ Dans cette étude, les expressions «force isocinétique» ou «contraction isocinétique» font référence à des mouvements réalisés à vitesse constante.

Compte tenu du nombre imposant de tests et de séances, vingt hommes entraînés (âge moyen : 25.1 ± 8.3 ans) furent séparés aléatoirement en deux groupes égaux pour les mouvements du coude et du genou. La force maximale concentrique fut déterminée pour les deux mouvements et les deux types de contraction, et ce, aux deux vitesses en contraction isocinétique et à une seule vitesse librement choisie en contraction anisocinétique. Ensuite, chaque sujet exécutait aléatoirement un nombre maximal de répétitions pour les deux mouvements, les deux types de contraction, les deux vitesses et pour les trois intensités différentes.

En ce qui concerne le nombre de RM, l'analyse de variance pour mesures répétées a révélé un effet significatif ($p < 0.05$) de l'intensité pour les contractions anisocinétiques, au niveau du coude et du genou. Pour les contractions isocinétiques, des coefficients de corrélation variant de -0.43 à -0.67 indiquaient que le nombre de RM diminuait aussi significativement ($p < 0.05$) en fonction de l'augmentation de l'intensité. Le mouvement (ou groupe musculaire) n'a présenté un effet significatif ($p < 0.05$) qu'au niveau du genou (RM en flexion $>$ RM en extension pour les contractions anisocinétiques et l'inverse pour les contractions isocinétiques). La vitesse a présenté un effet significatif ($p < 0.05$) pour les deux types de contraction au niveau du genou et seulement pour les contractions isocinétiques au niveau du coude (RM à $90^{\circ}/s >$ RM à $30^{\circ}/s$). Le niveau de force a eu un effet significatif ($p < 0.05$) seulement au niveau des contractions anisocinétiques du coude (RM des faibles $>$ RM des forts). Enfin, il n'y avait pas de différence entre les deux types de contraction. L'effet de l'intensité (RM intensité faible $>$ RM intensité élevée) et de la vitesse (RM à $90^{\circ}/s >$ RM à $30^{\circ}/s$) est toujours dans le même sens, alors que l'effet des autres variables est difficile à prédire, surtout lorsqu'elles interagissent. Toutes ces variables peuvent influencer le nombre de RM et doivent être considérées à l'entraînement.

Mots clés : anisocinétique, entraînement musculaire, force maximale, isocinétique répétitions maximales, vitesse d'exécution

TABLE DES MATIÈRES

v

PAGE TITRE.....	i
PAGE D'IDENTIFICATION DU JURY	ii
SOMMAIRE.....	iii
TABLE DES MATIÈRES	v
LISTE DES TABLEAUX	ix
LISTE DES FIGURES	x
LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS	xi
INTRODUCTION	1
<u>PARTIE 1</u> : RECENSION DES ÉCRITS. L'ENTRAÎNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT DES QUALITÉS MUSCULAIRES	2
1.0 Introduction	3
2.0 Force maximale	4
2.1 Définition de la force maximale et des types de contraction	4
2.2 Force maximale et vitesse de contraction	5
2.2.1 Contraction concentrique	5
2.2.2 Contraction excentrique	8
2.3 Mesure et détermination de la force maximale	9
2.3.1 Mesure de la force maximale anisocinétique concentrique	9
2.3.2 Mesure de la force maximale isocinétique concentrique.....	11

3.0 Méthodes de développement des qualités musculaires	15
3.1 Variables d'un programme d'entraînement musculaire	15
3.2 Développement de la force maximale	15
3.2.1 Intensité.....	15
3.2.2 Nombre de séries	17
3.2.3 Fréquence.....	18
3.2.4 Vitesse, type et mode de contraction	19
3.3 Développement du degré d'hypertrophie musculaire	21
3.3.1 Intensité.....	21
3.3.2 Nombre de séries	23
3.3.3 Fréquence.....	24
3.3.4 Vitesse, type et mode de contraction	25
3.4 Développement de l'endurance musculaire	26
3.4.1 Intensité.....	26
3.4.2 Nombre de séries	27
3.4.3 Fréquence.....	27
3.4.4 Vitesse, type et mode de contraction	28
3.5 Développement de la puissance musculaire.....	29
3.5.1 Intensité.....	29
3.5.2 Nombre de séries et fréquence.....	30
3.5.3 Vitesse, type et mode de contraction	31
4.0 Conclusion.....	33
RÉFÉRENCES	39

PARTIE II : ÉTUDE EXPÉRIMENTALE. EFFET DE L'INTENSITÉ, DE LA VITESSE, DU MOUVEMENT ET DU TYPE DE CONTRACTION SUR LE NOMBRE DE RÉPÉTITIONS MAXIMALES EN MUSCULATION	49
1.0 Introduction	50
2.0 Méthodologie	52
2.1 Description des sujets et schème expérimental	52
2.2 Tests et mesures	54
2.2.1 Forces maximales concentriques	54
2.2.2 Répétitions maximales	57
2.3 Analyses statistiques	58
3.0 Résultats	59
3.1 Caractéristiques des sujets	59
3.2 Effet des variables étudiées et de leurs interactions sur le nombre de répétitions maximales	59
3.3 Valeurs de répétitions maximales en fonction des variables ayant un effet significatif	63
3.3.1 Contractions anisocinétiques	63
3.3.2 Contractions isocinétiques	64
3.3.3 Comparaison entre les contractions isocinétiques et anisocinétiques	73
4.0 Discussion	73
4.1 Aspects méthodologiques	73
4.2 Effet de l'intensité sur le nombre de RM	77
4.3 Effet du mouvement sur le nombre de RM	78
4.4 Effet de la vitesse sur le nombre de RM	79
4.5 Effet du niveau de force sur le nombre de RM	80
4.6 Effet du type de contraction sur le nombre de RM	81
4.7 Interaction entre l'intensité et les autres variables	81
4.8 Synthèse de l'effet des variables étudiées	82
5.0 Conclusion	82
RÉFÉRENCES	84

ANNEXE I. RÉSULTATS ANISOCINÉTIQUES COMPLETS DE L'ÉTUDE	xii	viii
ANNEXE II. RÉSULTATS ISOCINÉTIQUES COMPLETS DE L'ÉTUDE	xiv	
ANNEXE III. COURBES ISOCINÉTIQUES INDIVIDUELLES	xvii	
REMERCIEMENTS	xxi	

LISTE DES TABLEAUX

PARTIE I : RECENSION DES ÉCRITS

L'ENTRAÎNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT DES QUALITÉS MUSCULAIRES

<u>Tableau I.</u>	Synthèse des principales études sur la force maximale.....	35
<u>Tableau II.</u>	Synthèse des méthodes de développement des qualités musculaires.....	37

PARTIE II. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

EFFET DE L'INTENSITÉ, DE LA VITESSE, DU MOUVEMENT ET DU TYPE DE CONTRACTION SUR LE NOMBRE DE RÉPÉTITIONS MAXIMALES EN MUSCULATION

<u>Tableau I.</u>	Schème expérimental	53
<u>Tableau II.</u>	Résumé des tests et mesures	55
<u>Tableau III.</u>	Caractéristiques biométriques et forces angulaires maximales des sujets	60
Tableau IV.	Effets des variables et de leurs interactions sur le nombre de RM	62
<u>Tableau V.</u>	Coefficients de corrélation entre le nombre de RM isocinétiques et l'intensité au niveau du coude et du genou, en flexion et en extension à 30°/s et 30°/s	68
<u>Tableau VI.</u>	Synthèse du sens de l'effet des variables étudiées sur le nombre de RM	82

LISTE DES FIGURES

PARTIE I. RECENSION DES ÉCRITS

L'ENTRAÎNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT DES QUALITÉS MUSCULAIRES

<u>Figure 1.</u>	Courbe force-vitesse en contractions concentrique et excentrique.....	7
<u>Figure 2.</u>	Particularités de la courbe force-vitesse à vitesse lente	7
<u>Figure 3.</u>	Particularités de la courbe force-vitesse excentrique à vitesse élevée	7
<u>Figure 4.</u>	Courbe de force angulaire en fonction de l'angle du coude	7

PARTIE II. ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

EFFET DE L'INTENSITÉ, DE LA VITESSE, DU MOUVEMENT ET DU TYPE DE CONTRACTION SUR LE NOMBRE DE RÉPÉTITIONS MAXIMALES EN MUSCULATION

<u>Figure 1.</u>	Nombre de RM anisocinétiques pour les mouvements du coude en fonction de l'intensité et du niveau de force	65
<u>Figure 2.</u>	Nombre de RM anisocinétiques pour le genou en fonction de l'intensité, du mouvement et de la vitesse	65
<u>Figure 3.</u>	Courbes individuelles du nombre de RM en fonction de l'intensité en contraction isocinétique lors de l'extension du genou à vitesse lente et rapide.....	67
<u>Figure 4.</u>	Nombre de RM isocinétiques pour le coude en fonction de l'intensité, du mouvement et de la vitesse	70
<u>Figure 5.</u>	Nombre de RM isocinétiques pour le genou en fonction de l'intensité, du mouvement et de la vitesse	71
<u>Figure 6.</u>	Nombre de RM isocinétiques pour le genou en fonction de la vitesse, du mouvement et du niveau de force	72
<u>Figure 7.</u>	Comparaison du nombre de RM en fonction de l'intensité en contractions isocinétiques set anisocinétiques à vitesse lente et rapide, en flexion et extension du coude et du genou	74

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

n	nombre
N	Newton
N·m	newton-mètre
r	coefficient de corrélation
RM	répétition maximale
1-RM	une répétition maximale
°	degré
°/s	degré par seconde

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Ce mémoire comporte deux parties distinctes, soit une recension des écrits portant sur l'état des connaissances actuelles sur les différentes méthodologies utilisées en musculation en fonction des objectifs visés et une étude expérimentale descriptive visant à observer les effets individuels et combinés de plusieurs facteurs sur le nombre de RM pouvant être exécutés lors d'un exercice musculaire.

La recension des écrits comporte deux sections. Dans un premier temps, nous abordons le thème de la mesure et de la détermination de la force maximale concentrique isocinétique et anisocinétique. Par la suite, il est question des différentes méthodes de développement des qualités musculaires en fonction des variables d'un programme d'entraînement.

La deuxième partie de ce mémoire est une étude expérimentale descriptive cherchant à déterminer comment le nombre de RM d'un exercice musculaire est influencé par les effets individuels et combinés des paramètres suivants : groupe musculaire ou mouvement, vitesse d'exécution, type de contraction, intensité de la résistance et niveau de force de l'exécutant. À notre connaissance, aucune étude n'a abordé ces relations. Nous avons examiné ces relations sur quatre groupes musculaires différents à différentes intensités en utilisant des contractions isocinétiques et anisocinétiques à différentes vitesses. La détermination de ces relations, ainsi que la prescription plus précise des charges d'entraînement qu'elles favoriseront, constituent les caractéristiques uniques de cette étude.

PARTIE I : RECENSION DES ÉCRITS

L'ENTRAÎNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT DES QUALITÉS MUSCULAIRES

L'ENTRAÎNEMENT ET LE DÉVELOPPEMENT DES QUALITÉS MUSCULAIRES

1.0 INTRODUCTION

L'entraînement musculaire est une composante importante des programmes de conditionnement physique, de réhabilitation ou d'entraînement sportif (Feigenbaum & Pollock, 1999; Kraemer, Duncan & Volek, 1998). Il peut avoir un effet positif sur plusieurs qualités du muscle tels que: le degré d'hypertrophie, l'endurance, la force et la puissance (Brooks, Fahey & White, 1996; Abernethy, Jürimäe, Logan, Taylor & Thayer, 1994) et fait partie intégrante des programmes de promotion de la santé d'organismes majeurs (American College of Sports Medicine, 1998; American Heart Association, 1995).

Une bonne connaissance des concepts méthodologiques reliés au développement des qualités musculaires et des différents facteurs qui influencent l'exécution des répétitions des mouvements permettra aux spécialistes de l'exercice d'adapter leurs programmes aux particularités de chaque individu et d'optimiser la prescription en fonction des objectifs visés.

2.0 FORCE MAXIMALE

2.1 DÉFINITION DE LA FORCE MAXIMALE ET DES TYPES DE CONTRACTION

La force musculaire maximale est définie comme étant la plus grande tension (ou moment de force pour la force angulaire) produite par le muscle lors d'une contraction volontaire soumise à certaines conditions structurelles et fonctionnelles (Harman, 1993; Sale, 1991). Bien qu'elle soit souvent exprimée en kg, l'unité internationale de base de la force est le newton (N) et celle du moment de force le newton-mètre (N·m). La force maximale peut être produite contre une résistance immobile qui n'amène aucun changement dans l'angle articulaire et la longueur du muscle. Dans cette condition où il y a absence de mouvement externe et donc de vitesse, il est question de force maximale isométrique. Lorsque la force est produite contre une résistance mobile amenant un changement dans l'angle articulaire et la longueur du muscle, il est question de force dynamique ou anisométrique. Si le déplacement du segment (et donc de la résistance) ne se fait pas à vitesse constante, il est question de force dynamique anisocinétique. Par opposition, nous parlons de force dynamique isocinétique si ce déplacement est à vitesse constante et que théoriquement, il présente une accélération nulle et ce, peu importe la quantité de tension produite. La force dynamique peut être produite en mode concentrique, c'est-à-dire avec un raccourcissement du muscle ou en mode excentrique lorsqu'il y a allongement du muscle (Brooks et al., 1996; Knuttgen & Kraemer, 1987). Les principaux facteurs qui influencent la production de la force maximale sont: la posture et l'alignement segmentaire durant le mouvement, la fatigue, la familiarisation du sujet avec le mouvement et la méthode de mesure, le type et le mode de contraction ainsi que l'amplitude, l'angle et la vitesse de mouvement. Il est important de contrôler et de

standardiser ces facteurs afin d'optimiser la validité et la fidélité de tout test de force maximale (Keating & Matyas, 1996; Harman, 1993).

2.2 FORCE MAXIMALE ET VITESSE DE CONTRACTION

2.2.1 CONTRACTION CONCENTRIQUE

Le rapport existant entre la production de force musculaire maximale et la vitesse de contraction est largement documenté et est classiquement nommé la relation force-vitesse (Gülch, 1994; Osternig, 1986; Osternig, Sawhill, Bates & Hamill, 1983; Barnes, 1980; Thorstensson, Grimby & Karlsson, 1976; Moffroid & Whipple, 1970; Wilkie, 1950; Hill, 1938). Les travaux précédemment cités dans cette section relatent que la force ou la tension (ou le moment de force) produite par un muscle, un groupe ou une fibre musculaire, en mode de contraction concentrique, diminue de façon hyperbolique avec l'augmentation de la vitesse de contraction (figure 1). Le moment de force maximal (ou force maximale) se situant à la vitesse nulle (mode de contraction isométrique). Cela fut observé *in vitro* sur une fibre musculaire ou un muscle isolé (Gülch, 1994; Knuttgen & Kraemer, 1987) et *in vivo* chez des humains lors de contractions volontaires (Thorstensson, Grimby & Karlsson, 1976; Wilkie, 1950). Il faut signaler qu'une étude plus récente de Edman (1988) utilisant des fibres isolées démontre que la courbe force-vitesse obtenue était biphasique et donc différente de la courbe classique de Hill (1938). Dans des conditions *in vivo* utilisant des contractions volontaires sur dynamomètre isocinétique, certains auteurs (Gülch, 1994; Perrine & Edgerton, 1978; Osternig, 1975) ont démontré que le taux d'augmentation du moment de force diminue à basse vitesse et que ce taux d'augmentation est presque nul aux vitesses inférieures à 150°/s (figure 2). Toujours dans des conditions *in vivo* isocinétiques, d'autres auteurs (Gülch, 1994;

Barnes, 1980; Coyle, Costill & Lesmess, 1979) ont même démontré une légère diminution du moment de force aux vitesses inférieures (figure 2) obtenant ainsi une courbe qui diverge de la courbe classique de Hill (1938). Il est important de soulever les différences qui existent entre la relation force-vitesse obtenue lors de contractions volontaires et celles induites par stimulation électrique. En effet, Thomas, White, Sagar et Davies (1987) ont démontré que les fléchisseurs plantaires de sujets stimulés électriquement ont produit des courbes de force-vitesse semblables à celles produites par des préparations de muscles isolés. La différence majeure entre la relation force-vitesse obtenue par l'étude de Thomas et al. (1987) et celle produite par des contractions volontaires est l'absence de «diminution de force» aux vitesses inférieures et supérieures (comparativement aux valeurs attendues) lors des contractions induites par stimulation électrique. Les valeurs de force obtenues par stimulation électrique sont ainsi supérieures aux vitesses lentes et rapides comparativement aux valeurs des contractions volontaires et se rapprochent des valeurs attendues selon les courbes classiques de muscles isolés. Ces résultats mettent en évidence l'importance de l'activation, des mécanismes d'inhibition de la force, de la motivation et des limites des dynamomètres isocinétiques (surtout à vitesse élevée) dans l'obtention de telles courbes.

Figure 1 - Courbe force-vitesse en contractions concentrique et excentrique. Adapté de Knuttgen et Kraemer, 1987

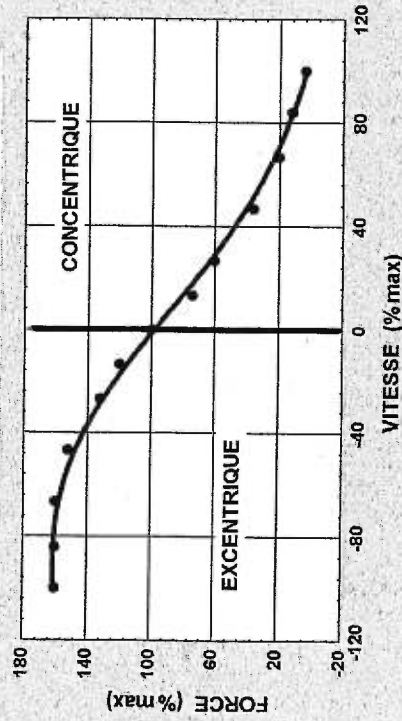


Figure 2 - Particularités de la courbe force-vitesse à vitesse lente ou à force élevée. Adapté de Gülch, 1994

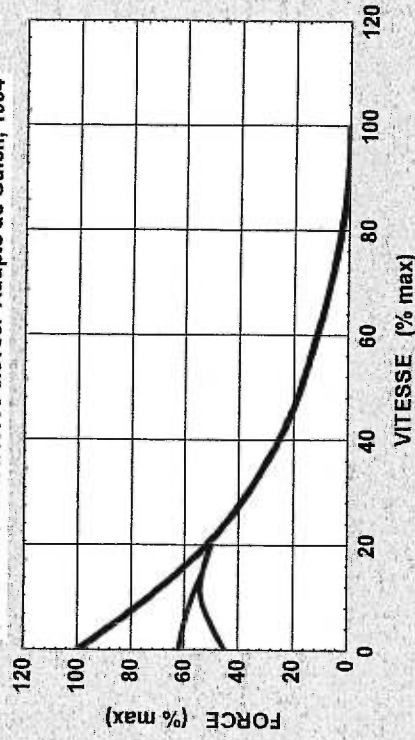


Figure 3 - Particularité de la courbe force-vitesse excentrique à vitesse élevée. Adapté de Gülch, 1994.

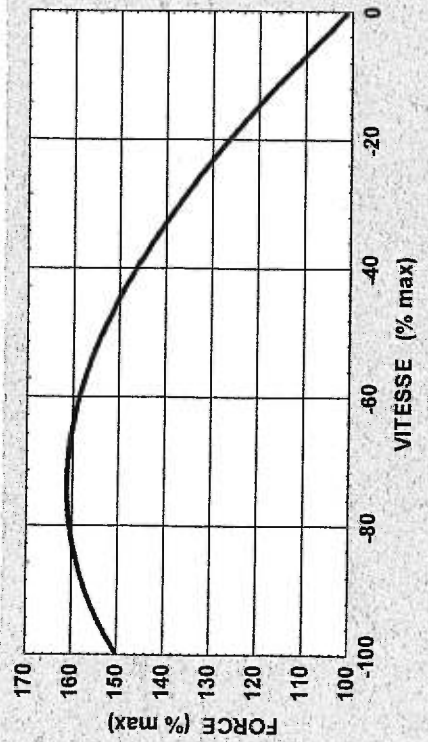
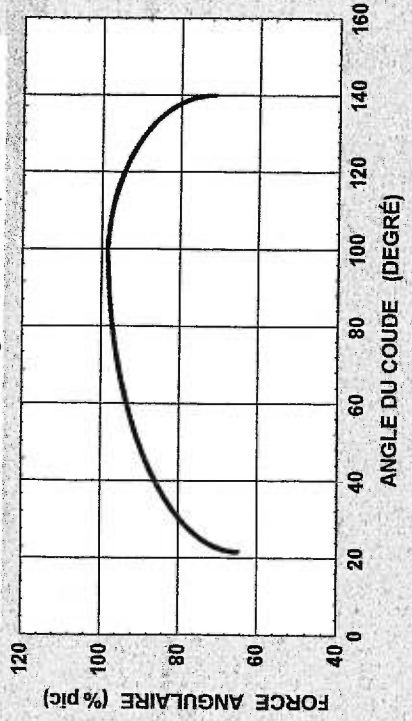


Figure 4 - Courbe de force angulaire en fonction de l'angle du coude. Adapté de Knuttgen et Kraemer, 1987.



2.2.2 CONTRACTION EXCENTRIQUE

En mode de contraction excentrique *in vitro*, les résultats des recherches démontrent que la force (ou le moment de force) produite est supérieure à celles obtenues en modes concentrique et isométrique à toutes les vitesses (figure 1). Dans les conditions *in vitro*, la force augmente avec l'augmentation de la vitesse d'allongement jusqu'à l'obtention d'un plateau (figure 1) (Gülch, 1994; Knuttgen & Kraemer, 1987). Certains résultats *in vivo* suivent cette tendance (Perrin, 1993; Westing, Seger & Karlson, 1988). D'autres auteurs montrent une diminution du moment à des vitesses supérieures à 100⁰/s (figure 3) (Gülch, 1994; Hageman, Gillapsie & Hill, 1988; Walmsley, Pearson & Stymiest, 1986). Toutefois, certaines études *in vivo* ont montré que les forces excentriques pouvaient être inférieures ou comparables aux forces concentriques et isométriques (surtout chez les sédentaires) et que les contractions excentriques sont plus influencées par des mécanismes nerveux d'inhibition de la force que les contractions concentriques et isométriques. Les études comparant les contractions volontaires aux contractions stimulées (ou assistées) électriquement de Amiridis, Martin, Morlon, Martin, Cometti, Pousson et Van Hoecke (1996) et de Westing, Seger et Thorstensson (1990) supportent bien cette affirmation. Les différences entre les courbes force-vitesse *in vivo* et *in vitro* en modes de contraction concentrique et excentrique semblent dues à des mécanismes neuraux d'inhibition qui limitent la production de tension maximale dans les conditions *in vivo*. Ces mécanismes peuvent être influencés par le niveau d'entraînement des sujets ou la modalité d'activation. (Amiridis, Martin, Morlon, Martin, Cometti, Pousson & Van Hoecke, 1996; Kellis & Baltzopoulos, 1995; Westing, Seger & Thorstensson, 1990; Baltzopoulos & Brodie, 1989; Osternig, 1986).

2.3 MESURE ET DÉTERMINATION DE LA FORCE MAXIMALE

La force (ou le moment de force) peut être mesurée dans des conditions isométriques et anisométriques, et dans ce dernier cas, de façon isocinétique et anisocinétique. Étant donné la nature de l'étude expérimentale que comporte ce mémoire et comme le suivi des individus fait de plus en plus appel à des méthodes plus spécifiques, c'est-à-dire en contraction dynamique (Abernethy, Wilson & Logan, 1995), seules les deux dernières conditions (en mode concentrique) seront abordées.

2.3.1 MESURE DE LA FORCE MAXIMALE ANISOCINÉTIQUE CONCENTRIQUE

La mesure de la force maximale anisocinétique concentrique est très utilisée en entraînement à des fins de prescription d'exercices et d'identification du talent sportif (LeSuer, McCormick, Mayhew, Wasserstein & Arnold, 1997; Morales & Sobonya, 1996; Abernethy, Wilson & Logan, 1995; Braith, Graves, Legget & Pollock, 1993). La technique la plus répandue pour mesurer cette force est le test de 1-RM (LeSuer et al., 1997). Cette technique consiste en l'utilisation d'une charge externe d'un certain poids que l'individu doit déplacer sur une amplitude donnée lors d'un mouvement. Suite à une période de repos, le poids de la charge est augmenté graduellement. L'exercice est répété à plusieurs reprises jusqu'à ce que l'exécutant n'arrive plus à déplacer la charge sur toute l'amplitude du mouvement. La dernière charge soulevée sur toute l'amplitude du mouvement étant le 1-RM. En raison de la courbe de force des groupes musculaires où la tension produite varie avec l'angle de l'articulation, il est d'une importance capitale de noter que la charge de 1-RM déplacée sur toute l'amplitude d'un mouvement, représente

en fait la charge maximale pouvant être déplacée à l'angle mécanique le plus défavorable de ce mouvement (Knuttgen & Kraemer, 1987) (figure 4). Le test de 1-RM a été largement utilisé et étudié lors de recherches en rapport à l'évaluation et l'entraînement de la force musculaire et est accepté telle que décrit ci-haut (Abernethy & Jürimäe, 1996; Braith et al., 1993; Hoeger, Barette, Hale & Hopkins, 1987; Knuttgen & Kraemer, 1987).

Selon les études, la fidélité d'un test de 1-RM est élevée ($r = 0,92$ à $0,98$) chez les sujets expérimentés masculins et féminins (Hennessy & Watson, 1994; Sale, 1991; Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990; Hortobagyi, Katch & LaChance, 1989). Sewall et Lander (1991) ont démontré que les valeurs maximales au développé couché et au développé des membres inférieurs («squat») sont les mêmes lors de tests de 1-RM séparés par 2, 6 ou 24 heures. Les périodes de repos et le nombre d'essais nécessaires à l'obtention de la charge maximale sont particulièrement importants dans ce genre d'évaluation puisque nous savons qu'ils peuvent affecter négativement la valeur maximale obtenue (Abernethy et al., 1995). Dans leurs travaux, Anderson et Kearney (1983), rapportent que tous les sujets ont atteint leur charge maximale en six essais et moins et que la majorité (60%) l'ont atteinte en quatre essais et moins. Les sujets de Murphy et Wilson (1996) ont tous obtenu leurs valeurs maximales en quatre essais et moins. Weir, Wagner et Housh (1994) rapportent que les mesures de 1-RM obtenues au développé couché ne sont pas compromises avec des pauses de une, trois, cinq et dix minutes entre les essais. En général, les auteurs accordent des pauses de une à trois minutes entre les essais d'un test de 1-RM (Murphy & Wilson, 1996; Hortobagyi et al., 1989; Hoeger et al., 1987; Knapik, Wright, Mawdsley & Braun, 1983).

Comme les possibilités de mouvements et le nombre d'appareils anisocinétiques sont très nombreux, il est difficile d'en cerner la problématique de la standardisation des mouvements et de trouver des ensembles de données normatives appropriées. Pour le suivi longitudinal ou la comparaison de groupe de sujets, il importe donc de bien normaliser les méthodes utilisées et surtout de choisir des appareils qui permettent de bien stabiliser les segments corporels qui ne participent pas directement au mouvement et aussi d'ajuster les dimensions de l'appareil au gabarit des sujets (Abernethy et al, 1995).

2.3.2 DÉTERMINATION DE LA FORCE MAXIMALE ISOCINÉTIQUE CONCENTRIQUE

L'appareil servant à mesurer le moment de force isocinétique lors d'un mouvement articulaire angulaire est appelé dynamomètre isocinétique. Il est constitué d'un servomoteur électrique ou hydraulique comme mécanisme de contrôle et de maintien de la vitesse qui, théoriquement, ne permet pas d'accélération du segment une fois la vitesse prédéterminée instantanément atteinte. Ce système maintient la vitesse angulaire² constante peu importe la force angulaire appliquée par le sujet et résiste avec une force équivalente. Les différents paramètres de force en fonction de l'angle, de l'amplitude et de la vitesse du mouvement sont ensuite indiqués au moyen d'une interface informatique. L'expérimentateur pourra ainsi utiliser la valeur de force angulaire à un angle donné, la valeur la plus élevée de la courbe de moment de force ou la force angulaire moyenne pour l'amplitude de mouvement utilisée (Brooks et al., 1996; Osternig, 1986).

² Il va de soi que si la vitesse angulaire est constante, la vitesse linéaire ne peut l'être, ce qui n'affecte en rien la possibilité d'exercer une force maximale à chaque angle de mouvement.

Abernethy et al. (1995) rapportent que la fidélité de tests de force maximale isocinétique est généralement élevée ($r > 0.9$) pour des vitesses angulaires de 60 à 300⁰/s. Suite à ses travaux, Osternig (1986) rapporte que la variabilité intra-sujet des mesures de force pour un mouvement donné augmente avec la vitesse angulaire. Il affirme donc que deux essais sont généralement suffisants pour obtenir une valeur de force maximale isocinétique concentrique à des vitesses inférieures (115⁰/s et moins). Mais, il recommande quatre essais pour les vitesses supérieures à 180⁰/s. En général, on accorde de deux à cinq essais pour obtenir une valeur de force angulaire isocinétique maximale en mode concentrique et la plus grande valeur est retenue comme étant la valeur maximale du sujet (Kues, Rothstein & Lamb, 1992; Burdett & Swearingen, 1987; Sawhill, Bates, Osternig & Hamill, 1982; Johnson & Siegel, 1978). Ces essais sont séparés par des périodes de repos variant de 30 secondes à 3 minutes (Murphy & Wilson, 1996; Stratford, Bruulsema & Maxwell, 1990; Mawdsley & Knapik, 1982). Tous les auteurs cités dans cette section, accordent aux sujets une période d'exécution de répétitions sous-maximales précédant les efforts maximaux (isocinétique et anisocinétique). Cependant, le nombre de répétitions sous-maximales à exécuter en pré-test n'est pas standard. Keating et Matyas (1996) rapportent que certains ont utilisé de 2 à 12 répétitions sous-maximales en pré-test. Ils ajoutent que ces répétitions préparatoires présentes dans la plupart des études, sont utilisées comme méthode d'échauffement et de familiarisation du sujet avec l'équipement et la méthode de mesure.

Plusieurs sources d'erreur spécifiques à la mesure de la force angulaire maximale isocinétique sont à considérer. Ainsi, lors d'un mouvement angulaire, la force gravitationnelle s'ajoute ou s'oppose au moment de force musculaire mesuré par le bras

de levier du dynamomètre. Mais comme la force gravitationnelle demeure constante pour des conditions expérimentales données, le pourcentage d'erreur dans le moment de force mesuré dépend de la grandeur de la force angulaire appliquée. Plus cette force est grande, plus le pourcentage d'erreur est faible (Baltzopoulos & Brodie, 1989; Osternig, 1986). Nelson et Duncan (1983) ont proposé une méthode simple pour corriger cette erreur. Cette méthode consiste en la mesure du moment de force généré par le poids du système «segment-bras de levier» à un angle donné de l'amplitude de mouvement étudiée. Ensuite, le moment gravitationnel est enregistré pour tous les angles en laissant le système «segment-bras de levier» tomber passivement. Ce moment de force gravitationnelle est ajouté au moment de force musculaire mesuré des mouvements qui s'opposent à la gravité ou est soustrait du moment de force des mouvements facilités par la gravité. Ce facteur de correction est d'ailleurs intégré et considéré systématiquement par l'interface informatique des dynamomètres récents dans la mesure du moment musculaire (Gleeson & Mercer, 1996).

Une autre source d'erreur à considérer lors de la mesure de la force maximale isocinétique est la durée ou l'amplitude réelle de la phase isocinétique. En effet, il est connu que pour une amplitude de mouvement donnée sur ce genre d'appareil, il existe une brève phase d'accélération au départ, suivie d'une phase isocinétique proprement dite et finalement, une phase de décélération. Les phases d'accélération et de décélération sont inévitables afin de passer d'une vitesse nulle, au départ du mouvement, à la vitesse constante prédéterminée, et pour passer de cette dernière à la vitesse nulle à la fin du mouvement. La durée et l'amplitude de ces phases sont directement reliées à la vitesse sélectionnée par l'utilisateur. Pour une amplitude de mouvement donnée, plus cette vitesse est élevée, plus la portion isocinétique du mouvement diminue, laissant plus

de place aux phases d'accélération et de décélération (Gleeson & Mercer, 1996; Baltzopoulos & Brodie, 1989; Osternig, 1986). À titre d'exemple, Osternig et al. (1983) ont rapporté, , une phase isocinétique réelle de 92 à 80% pour un mouvement d'extension du genou allant de 120^0 à 0^0 à des vitesses de 50 à $150^0/s$ respectivement. Pour éviter les erreurs associées à ce phénomène, ceux-ci suggèrent de ne retenir que valeurs de force angulaire contenues dans la phase isocinétique réelle.

La dernière source d'erreur abordée dans cette section est la présence d'oscillations de moment de force et de vitesse dans la courbe de force enregistrée par le dynamomètre isocinétique. Lors de la phase d'accélération initiale de la courbe de force angulaire, il est possible d'observer une ou des fluctuations de moment de force et de vitesse parce que le segment qui accélère atteint une vitesse supérieure à la vitesse constante sélectionnée et doit être décéléré. La courbe de force indiquée par le dynamomètre présente le moment de force (supérieur) qui a dû être appliqué par l'appareil sur le segment pour le ralentir et le ramener à la vitesse prédéterminée. Il faut donc éviter d'interpréter ces oscillations comme étant des valeurs générées directement par le groupe musculaire étudié (Gleeson & Mercer, 1996; Baltzopoulos & Brodie, 1989; Osternig, 1986). Tel que mentionné précédemment et pour contourner les erreurs d'accélération, de décélération et d'oscillations, certains auteurs (Osternig, Bates & James, 1977; Perrine, 1968) proposent d'utiliser seulement les valeurs contenues dans la portion de l'amplitude de mouvement où il y a absence de ces erreurs (phase isocinétique réelle). Sapega et al. (1982) suggèrent de maximiser l'amplitude de mouvement étudié pour augmenter la portion de la courbe de force où il y a absence de ces erreurs. De plus, Gleeson et Mercer (1996) rapportent que les dynamomètres isocinétiques conçus récemment, comportent des microprocesseurs externes qui offrent un contrôle accru de la

vitesse et de l'accélération. Des écarts moyens de seulement 2 à 3.5% par rapport à la vitesse sélectionnée ont été rapportés dans la littérature pour les appareils utilisant ce genre de microprocesseur (Taylor, Sanders & Howick, 1991; Farrell & Richards, 1986).

3.0 MÉTHODES DE DÉVELOPPEMENT DES QUALITÉS MUSCULAIRES

3.1 VARIABLES D'UN PROGRAMME D'ENTRAÎNEMENT MUSCULAIRE

Plusieurs variables affectent l'efficacité d'un programme de musculation en fonction des objectifs visés et des caractéristiques de l'exécutant. Ainsi, la fréquence, l'intensité de la résistance, la charge de travail (qui est déterminé par le nombre de séries, le nombre de RM et le repos entre les séries), la vitesse d'exécution, le type et le mode de contraction sont de celles-la. Ces variables déterminent les bases de la prescription en entraînement musculaire et le spécialiste de l'exercice doit les utiliser et les faire varier pour obtenir un équilibre optimal entre le développement des qualités musculaires retenues et les capacités actuelles de l'individu (Feigenbaum & Pollock, 1999; Fleck & Kraemer, 1997; Brooks et al., 1996; Garhammer & Takano, 1992). C'est en fonction de ces variables que nous aborderons le développement des qualités musculaires tout en mettant l'accent sur les méthodes dynamiques avec résistances externes.

3.2 DÉVELOPPEMENT DE LA FORCE MAXIMALE

3.2.1 INTENSITÉ

Le développement et l'amélioration de la force maximale (ainsi que toutes les autres qualités musculaires) repose sur le principe de «surcharge». Ce principe fondamental stipule que pour obtenir une augmentation d'une qualité, le stress que l'on

fait subir au groupe musculaire visé, maintenu sur une période de temps donné, doit être supérieur à celui auquel il fait face habituellement (Brooks et al., 1996; Hoeger et al., 1990). En s'appuyant sur ce principe et sur des recherches étudiant les adaptations du muscle à des résistances de différentes intensités, plusieurs auteurs (Allsen, 1987; McArdle, Katch & Katch, 1986; McDonagh & Davies, 1984; Hockey, 1985) ont établi à 60% de 1-RM, l'intensité minimale de la charge permettant une amélioration de la force maximale. Plusieurs années auparavant, Berger (1965) avait établi cette intensité minimum à 67% de 1-RM, toujours en mesurant les gains en force résultant de l'utilisation de charges de différentes intensités. Les auteurs expriment aussi l'intensité de la charge en RM, c'est-à-dire le nombre maximal de répétitions consécutives pouvant être exécuté sur toute l'amplitude du mouvement avant que la fatigue ne permette l'exécution d'une répétition additionnelle. Donc, l'intensité de la résistance diminue avec l'augmentation du nombre de RM (Bompa, 1993; Knuttgen & Kraemer, 1987). Exprimé de cette façon, l'intensité de la résistance amenant les meilleurs gains de force maximale se situe entre 1 et 10 RM et ceci a été démontré en exerçant différents groupes musculaires à différentes intensités et en comparant les gains en force. En utilisant des résistances d'une telle intensité les auteurs rapportent des améliorations maximales en force de 44% pour le développé couché et 71% pour le développé des membres inférieurs (Fleck & Kraemer, 1997; Berger, 1984; McDonagh & Davies, 1984; Anderson & Kearney, 1983; Palmieri, 1983; Allen, Byrd & Smith, 1976; Berger, 1962). À la lumière de ces résultats, il semble que l'intensité de la résistance est la variable de l'entraînement la plus importante pour améliorer la force maximale. Alors que le terme «haute intensité» est utilisé pour qualifier les programmes ou les exercices musculaires utilisant des charges de 1 à 6 RM, une résistance permettant l'exécution de 8 à 15 RM est d'intensité moyenne. Le premier type d'intensité amène des gains plus importants en

force maximale et est généralement réservé à une population athlétique ou sportive. Les charges d'intensité moyenne s'adressent aux populations adultes normales, âgées, ou en réhabilitation physique (Feigenbaum & Pollock, 1999; Kraemer, Duncan & Volek, 1998; McDonagh & Davies, 1984; Bompa, 1983; Atha, 1981).

3.2.2 NOMBRE DE SÉRIES

En s'appuyant sur plusieurs études (Starkey, Pollock & Ishida, 1996; Westcott, 1986; Messier & Dill, 1985), Feigenbaum et Pollock (1999) rapportent que durant les trois à quatre premiers mois d'entraînement, les protocoles d'exercices musculaires utilisant une seule série de répétitions se traduisent par des gains en force maximale équivalents à ceux utilisant plusieurs séries de répétitions. Toutefois, cette conclusion s'applique à une population d'adultes n'ayant jamais suivi de programme d'entraînement musculaire. Aussi, ils rapportent que ces études ont utilisé des périodes d'entraînement relativement courtes de 4 à 20 semaines. Ainsi selon plusieurs auteurs et en s'appuyant sur les recherches qu'ils ont effectuées sur les gains en force résultant de l'entraînement musculaire utilisant une ou plusieurs séries de répétitions (Duncan & Volek, 1998; Fleck & Kraemer, 1997; Willoughby, 1993; McDonagh & Davies, 1984; Bompa, 1983), les programmes musculaires comportant plusieurs séries (trois à six), séparés par des périodes de repos de deux à cinq minutes, sont supérieurs pour induire des gains en force maximale chez une population d'adultes entraînés et d'athlètes s'exerçant depuis plus de six mois.

3.2.3 FRÉQUENCE

La fréquence d'entraînement des groupes musculaires a une influence sur l'amélioration de la force. Tout en étant suffisante pour permettre une récupération et une prévention du surentraînement, la période de repos entre deux séances entraînant le même groupe musculaire ne doit pas être trop longue pour induire une perte des gains. Généralement, la littérature recommande une période de repos de 48 heures entre ces séances, ce qui correspond à une fréquence d'entraînement de trois jours par semaine pour un même groupe musculaire (Fleck & Kraemer, 1997). Cependant, la revue complète de Feigenbaum et Pollock (1999) rapporte que cette recommandation n'est pas valable pour tous les groupes musculaires. Ils font état de l'étude de Gillam (1981) qui est arrivé à la conclusion que, sur une période de sept semaines, cinq jours d'entraînement hebdomadaire au développé couché produisent des gains en force supérieurs aux programmes de un, deux, trois et quatre jours par semaine. Hunter (1985) et Henderson (1970) tirent la même conclusion avec le même exercice, alors que Braith et al. (1989) y arrivent avec les extenseurs du genou. Par contre, Graves et al. (1990) n'ont pas trouvé de différence significative dans la force générée par les extenseurs du dos de groupe de sujets s'exerçant une, deux ou trois fois par semaine. De même, DeMichele et al. (1997) arrivent à la conclusion que des programmes d'entraînement de deux ou de trois jours par semaine mènent à des améliorations en force équivalentes pour les rotateurs du tronc. Ainsi, Feigenbaum et Pollock (1999) recommandent une fréquence d'entraînement de deux jours par semaine pour un groupe musculaire donné chez une population adulte normale. Ceci, en raison des progrès significatifs, de l'économie de temps et de la meilleure récupération associée à cette fréquence. Même pour une population athlétique et s'appuyant sur les données de la littérature, Kraemer et

al. (1998) précisent que la fréquence d'entraînement d'un même groupe musculaire ne doit pas dépasser deux à trois fois par semaine en raison de volumes et d'intensités de travail supérieurs susceptibles de mener au surentraînement. Ils suggèrent un minimum de 48 heures de récupération aux groupes musculaires sollicités. Il semble donc que la fréquence d'entraînement optimale varie en fonction du groupe musculaire entraîné et peut-être du niveau d'entraînement du sujet.

3.2.4 VITESSE, TYPE ET MODE DE CONTRACTION

En accord avec la relation force-vitesse (figure 1), les tensions musculaires supérieures sont générées à des vitesses de contraction inférieures. Ainsi l'entraînement avec les résistances élevées (80 à 90% de 1-RM) qui amène les meilleurs gains en force maximale, ne peut s'exécuter qu'à vitesse relativement lente (inférieure à $100^0/s$) avec des tensions maximales pouvant être atteintes à vitesse nulle, et donc en contraction isométrique (Wilson, Newton, Murphy & Humphries, 1993; Young & Bilby, 1993; Poliquin, 1990; Osternig, 1986; Bompa, 1983). Behm et Sale (1993) précisent cette affirmation en soulignant l'importance de produire un taux élevé de développement de la force, peu importe la vitesse externe du mouvement, afin de maximiser les gains à toutes les vitesses et d'obtenir des forces de contractions supérieures. Ceci s'obtiendrait par une volonté du sujet de commander l'exécution du mouvement le plus rapidement possible. Il faut toutefois noter que les contractions isométriques se traduisent par des améliorations en force supérieures aux angles qui se rapprochent de ceux utilisés à l'entraînement, alors que les contractions dynamiques peuvent mener à des gains aux angles à l'intérieur de l'amplitude de mouvement utilisé (Morrissey, Harman & Johnson, 1995). Plusieurs études ont montré que les gains en force sont plus élevés aux vitesses de mouvement

apparentées à celles utilisées à l'entraînement (Morrissey, Harman & Johnson, 1995; Perrin, 1993; Osternig, 1986). Toutefois, selon Behm et Sale (1993) les gains en force lors de mouvements externes à basse vitesse commandés intrinsèquement le plus rapidement possible, sont comparables aux gains obtenus lors de mouvements externes à haute vitesse. Selon ces auteurs c'est l'intention de la vitesse du mouvement qui est le principal stimulus de ces gains.

Le principe d'entraînement de spécificité appliqué au sujet de la présente étude stipule que le muscle s'adapte spécifiquement à la nature du stress généré par l'exercice. Ainsi l'entraînement utilisant un certain type ou mode de contraction (anisocinétique vs isocinétique, excentrique vs concentrique) mène à des gains en force maximale plus élevés lorsque la méthode de mesure correspond à la nature des contractions utilisées à l'exercice (Brooks et al., 1996; Abernethy et al., 1995). Morrissey, Harman et Johnson (1995), dans leur revue exhaustive sur le sujet, arrivent à la conclusion que l'entraînement utilisant un type ou un mode de contraction (isocinétique, anisocinétique, isométrique, concentrique, excentrique) produit des améliorations supérieures lorsque la méthode de mesure utilise des contractions du même genre. Certaines études démontrent même une absence de gains lorsque les types de contractions de l'entraînement et de la mesure de force diffèrent. Sale, Martin & Moroz (1992) sont arrivés à cette conclusion avec un entraînement anisocinétique qui a amélioré le 1-RM au développé des membres inférieurs, mais pas la force isométrique des quadriceps. Pearson & Costill (1988) eux, n'ont pas obtenu de gains en force anisocinétique du membre inférieur après huit semaines d'entraînement isocinétique qui a amélioré la force de ce dernier type. Donc il est impossible de conclure définitivement sur la supériorité d'un type ou mode de contraction sur un autre quant à son effet sur l'amélioration de la force maximale. Ceci

met en évidence l'importance de choisir à l'entraînement, des types de contractions et des vitesses d'exécution qui s'apparentent aux conditions où l'on recherche une amélioration.

3.3 DÉVELOPPEMENT DU DEGRÉ D'HYPERTROPHIE MUSCULAIRE

3.3.1 INTENSITÉ

L'hypertrophie musculaire est un état du muscle qui peut être développé au moyen d'exercices respectant le principe de surcharge énoncé plus tôt et s'observe par une augmentation de la surface de section, de la circonférence et du volume du muscle. Cette augmentation de surface de section et de volume du muscle proviendrait principalement de l'hypertrophie des fibres musculaires qui elle, est le résultat de l'accroissement en nombre et en volume des filaments d'actine et de myosine et à l'augmentation en parallèle des sarcomères à l'intérieur de celles-ci (Fleck & Kraemer, 1997; Brooks et al., 1996; Bompa, 1993; Alway, MacDougall, Sale, Sutton & McComas, 1988). Les recherches sur le sujet rapportent des gains en masse maigre corporelle (masse musculaire générale) variant de 1 à 6 kg suite à des périodes d'entraînement de 7 à 20 semaines (Fleck & Kraemer, 1997; Staron, Leonardi, Karapondo, Malicky, Falkel, Hagerman & Hikida, 1991; Hunter, 1985; Coleman, 1977). L'intensité de la charge généralement suggérée pour une hypertrophie musculaire est de 60 à 80% de 1-RM ou 6 à 12 RM (Feigenbaum & Pollock, 1999; Fleck & Kraemer, 1997; Ostrowski, Wilson, Weatherby, Murphy & Lyttle, 1997; Bompa, 1993; Young & Bilby, 1993; Snyder & Wayne, 1987). Ceci correspond à une charge d'intensité moyenne à élevée. Le gain en masse maigre le plus important rapporté dans la littérature scientifique (6 kg) a été obtenu au cours d'une étude de 20 semaines de Staron et al. (1991) en utilisant des

résistances de 6 à 8 RM et de 10 à 12 RM chez des femmes. Notons que si de telles charges d'entraînement se sont avérées efficaces pour hypertrophier le muscle, on n'a pas démontré rigoureusement qu'elles sont plus efficaces que d'autres charges.

En ce qui concerne les mécanismes susceptibles d'expliquer l'hypertrophie, Bompa (1993) souligne de façon particulière que pour obtenir une hypertrophie marquée, les répétitions d'une même série doivent être exécutées jusqu'à un épuisement ne permettant pas l'accomplissement de répétitions additionnelles. Il relate que l'entraînement musculaire à haut volume mené jusqu'à l'épuisement musculaire, méthode chère aux culturistes selon lui, favoriserait le métabolisme protéique. A l'opposé, Ostrowski, Wilson, Weatherby, Murphy & Lyttle (1997) et MacDougall (1986) pensent que l'hypertrophie du muscle serait davantage le résultat de contractions musculaires très intenses qui entraînent des dommages aux tendons et myofibrilles du muscle. Les travaux de McDonagh et Davies (1984) supporteraient cette hypothèse tout en n'éliminant pas l'autre pour autant. Brooks et al. (1996) soulignent l'importance de l'activation des cellules satellites dans l'accroissement du volume musculaire induit par l'exercice. Aussi, ces mêmes auteurs affirment que l'hypertrophie des cellules est responsable de 95 à 100% de l'hypertrophie du muscle et qu'une possible contribution de l'hyperplasie serait minime et reste encore à établir. Kraemer, Fleck et Evans (1996) affirment que l'hypertrophie musculaire peut être le résultat de l'augmentation de la synthèse des protéines contractiles, d'une diminution de leur dégradation ou une combinaison des deux.

3.3.2 NOMBRE DE SÉRIES

Malgré les controverses soulignées à la section précédente, l'opinion la plus répandue et la pratique courante indiquent que l'hypertrophie dépend beaucoup plus du volume de l'entraînement que de l'intensité (Fleck & Kraemer, 1997; Bompa 1993; Messier & Dill, 1985). Les fervents du développement musculaire que sont les athlètes et les entraîneurs en culturisme utilisent fréquemment de 9 à 24 séries par groupe musculaire au cours d'une même séance (Snyder & Wayne, 1987). De façon empirique, il est accepté qu'un volume d'entraînement élevé comportant 3 à 6 séries par exercice (généralement séparées par des périodes de repos de 1 à 3 minutes) pour 3 à 4 exercices par groupe musculaire (donc, 9 à 24 séries pour un groupe musculaire donné) représente une façon d'engendrer une fatigue musculaire excessive, une stimulation accrue du métabolisme protéique et par conséquent, des gains de masse musculaire importants (Fleck & Kraemer, 1997; Ostrowski, Wilson, Weatherby, Murphy & Lyttle, 1997; Bompa, 1993; Snyder & Wayne, 1987). Par contre les études scientifiques sur le sujet citées dans cette section, utilisent des protocoles d'entraînement comportant de une à trois séries et ont obtenu des gains significatifs de la masse musculaire (Fleck & Kraemer, 1997). Ostrowski et al. (1997) ont démontré que, sur une période de 10 semaines, les gains en hypertrophie n'étaient pas différents entre des groupes de sujets entraînés ayant un volume d'entraînement variant de 3 à 12 séries par groupe musculaire. Les évidences scientifiques actuelles ne nous permettent pas de conclure sur la supériorité d'un entraînement à haut volume comparativement à un entraînement comportant moins de séries quant aux gains en hypertrophie qu'ils engendrent et ce, surtout à long terme.

3.3.3 FRÉQUENCE

À l'instar de la fréquence recommandée par les auteurs pour l'amélioration de la force maximale, la fréquence d'entraînement recommandée pour un groupe musculaire pour le développement du degré d'hypertrophie est d'une à trois séances par semaine (Feigenbaum & Pollock, 1999; Kraemer et al., 1998; Fleck & Kraemer, 1997). Cette fréquence permet un maintien adéquat du stimulus d'entraînement et une récupération qui est appropriée au volume élevé et à la fatigue locale excessive généralement associés à ce type de travail (Ostrowski, Wilson, Weatherby, Murphy & Lyttle, 1997). Notons toutefois que les adeptes du culturisme utilisent en général une fréquence d'entraînement globale de cinq à six séances par semaine où il y a alternance entre les nombreux groupes musculaires stimulés pour permettre une récupération suffisante de chacun de ces groupes. (Fleck & Kraemer, 1997; Ostrowski, Wilson, Weatherby, Murphy & Lyttle, 1997; Bompa, 1993; Snyder & Wayne, 1987). Par conséquent, la fréquence effective par groupe musculaire est loin d'être évidente. Il convient de noter que les culturistes visent une hypertrophie de tous les groupes musculaires, ce qui peut aussi expliquer leur stratégie. Dans la recherche scientifique, les auteurs cités précédemment dans cette section ont utilisé des fréquences d'entraînement de une à trois séances par semaine dans leurs études. Crist, Peake, Egan et Waters (1988) ont utilisé une fréquence d'entraînement de cinq séances par semaine et n'ont pas obtenu de gains supérieurs en masse musculaire chez des hommes et des femmes (2 kg) si l'on compare leurs résultats à ceux d'autres études ayant utilisé des fréquences moindres (Fleck & Kraemer, 1997, Tableau 7.6).

3.3.4 VITESSE, TYPE ET MODE DE CONTRACTION

Toujours selon la relation force-vitesse (figure 1), l'intensité de la charge associée à l'amélioration de cette qualité (60 à 80% de la force maximale) ne permet qu'une exécution relativement lente se rapprochant de celle utilisée en entraînement de la force maximale (Bompa, 1993). Il est intéressant ici de relater l'énoncé de MacDougall (1986) qui suggère que le pourcentage de gain en hypertrophie musculaire ne dépende pas seulement de l'intensité de la charge, mais aussi de la durée de la période pendant laquelle le muscle est sous tension. Il suppose donc qu'une vitesse d'exécution lente se traduit par des gains supérieurs en masse musculaire. Cette hypothèse n'est pas supportée par l'étude de Young et Bilby (1993) qui n'ont trouvé aucune différence significative dans les gains en masse musculaire de la cuisse entre deux groupes de sujets qui exécutaient un exercice à vitesse différente (rapide ou lente).

Selon Rasch et Morehouse (1957) et Morrissey et al. (1995), les contractions isométriques et dynamiques permettent, à court terme (6 à 20 semaines d'entraînement), des gains équivalents en hypertrophie musculaire. La comparaison des gains en masse musculaire à court terme résultant d'un entraînement concentrique par opposition à excentrique nous mène à la même conclusion (Duncan, Chandler, Cavanaugh, Johnson & Buehler, 1989; Jones & Rutherford, 1987). Selon Morrissey et al. (1995), il n'existe pas assez d'études nous permettant de conclure de l'efficacité de l'entraînement isocinétique par rapport à l'entraînement anisocinétique face à l'amélioration de cette qualité. Certains auteurs affirment que, de façon équivalente, ces deux types de contraction influencent positivement le gain de masse musculaire (Alway, Stray-Gundersen, Grumbt & Gonyea, 1990; Ewing, Wolfe, Rogers, Amundson & Stull, 1990). D'autres

(Colliander & Tesch, 1990; Côté, Simoneau, Lagasse, Boulay, Thibault, Marcotte & Bouchard, 1988) rapportent que l'entraînement isocinétique concentrique n'a pas engendré de gains significatifs en hypertrophie.

3.4 DÉVELOPPEMENT DE L'ENDURANCE MUSCULAIRE

3.4.1 INTENSITÉ

L'endurance musculaire locale se réfère à la capacité d'un groupe musculaire d'exécuter des contractions répétées sur une longue période de temps (Bompa, 1993). Les auteurs s'accordent en fixant à 20 RM et plus, l'intensité de la résistance permettant les meilleurs gains en endurance musculaire locale. Des charges d'intensité basse à moyenne de 30 à 70 % de 1-RM sont utilisées pour l'atteinte de cet objectif (Feigenbaum & Pollock, 1999; Kraemer et al., 1998; Fleck & Kraemer, 1997; Bompa, 1993; Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990; Pollock, Wilmore & Fox, 1984). L'étendue de l'intensité de la résistance associée au travail de cette qualité s'explique par le fait que l'endurance musculaire peut être recherchée pour une activité de durée relativement courte (30 secondes à 2 minutes) ou une activité à dominante aérobie de plus de 6 minutes. Ainsi, plus l'activité pour laquelle l'individu se prépare est de longue durée, plus l'intensité de la résistance à l'entraînement diminue. De plus, le nombre de répétitions peut être prescrit en fonction de la durée de la série (ex : une série de 60 secondes) et ainsi totaliser 60 ou plus (Weineck, 1997; Bompa, 1993).

3.4.2 NOMBRE DE SÉRIES

L'endurance musculaire locale est aussi une qualité dont le développement dépend en grande partie d'un volume d'entraînement supérieur (Fleck & Kraemer, 1997; Messier & Dill, 1985). Le nombre de séries recommandé pour l'amélioration de celle-ci est donc élevé et se situe entre trois et six. Ces séries sont généralement séparées par de courtes périodes de repos de 30 secondes à deux minutes. Ce sont ces trois variables (nombre de séries, de répétitions et durée du repos) qui contribuent à augmenter le volume d'entraînement tel que recommandé. Ce volume d'entraînement élevé influence positivement certains facteurs bioénergétiques associés à l'endurance musculaire locale, soit : l'activité enzymatique oxydative (Tesch, 1990) le niveau de glycogène musculaire au repos et la densité capillaire (Fleck & Kraemer, 1997). Rappelons que pour l'atteinte de cet objectif, les séries peuvent être prescrites en temps et ainsi comporter un grand nombre de répétitions (Kraemer et al., 1998; Fleck & Kraemer, 1997; Weineck, 1997; Bompa, 1993).

3.4.3 FRÉQUENCE

Même si le travail musculaire visant à développer cette qualité se fait à intensité relativement basse, la fréquence d'entraînement suggérée pour le même groupe musculaire n'est pas supérieure à celles recommandées précédemment pour la force ou l'hypertrophie, soit: de deux à trois séances par semaine. Ceci est dû au fait que ce type d'entraînement est associé à un volume de travail élevé et une importante déplétion en glycogène musculaire (Kraemer et al., 1998; Fleck & Kraemer, 1997; Bompa, 1993; Conlee, 1987).

3.4.4 VITESSE, TYPE ET MODE DE CONTRACTION

Toujours en se référant à la relation force-vitesse, les résistances moindres utilisées lors du développement de cette qualité permettent des vitesses d'exécution supérieures. D'ailleurs, Bompa (1993) suggère d'utiliser une vitesse d'exécution rapide, dynamique et rythmique pour l'amélioration de cette qualité. Ceci en raison du fait que l'endurance musculaire est souvent recherchée pour des activités cycliques et dynamiques (principe de spécificité de la vitesse) et qu'une exécution rapide permet d'augmenter la fréquence cardiaque plus facilement et ainsi ajouter une composante cardio-vasculaire à l'exercice. Cette recommandation est supportée par les résultats de Moffroid et Whipple (1970) qui leur permettent de conclure que les exercices exécutés rapidement (30 répétitions à la minute) amènent des meilleurs gains en endurance musculaire à haute vitesse que les exercices exécutés lentement (10 répétitions à la minute). De plus, les répétitions prescrites dans ce genre de travail, sont souvent données en nombre maximal à faire dans un temps donné, favorisant ainsi une exécution rapide (Fleck & Kraemer, 1997; Weineck, 1997; Bompa, 1993).

L'endurance musculaire locale peut être améliorée dans un angle articulaire donné à l'aide de contractions isométriques (Morrissey, Harman & Johnson, 1995). Le travail utilisant ce type de contraction sera privilégié dans l'entraînement pour les activités nécessitant une position statique pour certains groupes musculaires durant une période relativement longue (ex : descente à ski alpin). Dans leur revue, Morrissey et al. (1995) rapportent que les gains musculaires en entraînement isométrique sont particulièrement évidents aux angles utilisés à l'exercice. Par ailleurs, ils affirment qu'il

n'existe pas suffisamment d'évidences scientifiques nous permettant de conclure de la supériorité d'un type ou d'un mode de contraction pour améliorer cette qualité. Ils soulignent le fait que les améliorations soient spécifiques aux contractions utilisées à l'exercice et lors du test de mesure.

3.5 DÉVELOPPEMENT DE LA PUISSANCE MUSCULAIRE

3.5.1 INTENSITÉ

La puissance musculaire se réfère à la capacité du système neuromusculaire de produire la plus grande force possible dans le temps le plus court. Elle est le produit de la force et de la vitesse et se mesure en watt (W) (Brooks et al., 1996; Knuttgen & Kraemer, 1987). La littérature rapporte des conclusions différentes quant l'intensité de la charge optimale permettant les meilleurs gains en puissance musculaire. À partir des résultats de leurs études, certains auteurs (Wilson, Newton, Murphy & Humphries, 1993; Hakkinen, 1989; Moritani, Muro, Ishida & Taguchi, 1987; Kaneko, Fuchimoto, Toji & Suei, 1983; Berger, 1963) en viennent à la conclusion que la charge optimale pour les meilleurs gains en puissance se situe à l'intensité où la puissance mécanique musculaire est la plus élevée, c'est-à-dire à environ 30% de la force maximale (avec une exécution rapide et explosive de l'exercice). Toutefois, d'autres auteurs (Young, 1989; Schmidtbleicher & Buehrle, 1987; Schmidtbleicher & Haralambie, 1981) arrivent à des résultats favorisant l'utilisation de charges élevées (80 à 90% du maximum) pour le développement de cette qualité. Ils expliquent ces résultats en s'appuyant sur le fait que les unités motrices à contractions rapides qui sont grandement impliquées dans les performances musculaires dynamiques, sont stimulées en plus grand nombre avec des charges élevées (Sale, 1987). Il est intéressant de relater les résultats de Moss et al.

(1997) qui concluent que l'entraînement avec des charges de 15, 35 ou 90% de la force maximale amène des gains équivalents en puissance si une charge de 50% et moins est utilisée lors du test de mesure. L'entraînement avec la charge de 35% du maximum produisait des améliorations en puissance sur un vaste éventail d'intensités (12 à 90% de la force maximale) utilisées lors des tests de mesure. De plus, ils ont trouvé de fortes corrélations entre la force maximale et la puissance maximale à toutes les intensités. Ceci leur permet d'avancer que les charges de basse (15 à 35%) et de haute (90%) intensité contribuent de façon équivalente à l'amélioration de la puissance musculaire. Aussi, Duchateau et Hainaut (1984) ont démontré que la puissance d'un muscle peut être augmentée en utilisant soit, des contractions isométriques maximales ou des contractions dynamiques rapides à 30-40% de la force maximale. Les résultats de cette étude permettaient de conclure que ces deux types de méthodes d'entraînement influencent positivement la puissance en améliorant spécifiquement différentes propriétés mécaniques du muscle. C'est d'ailleurs en s'appuyant sur une conclusion semblable que Bompa (1993) suggère l'utilisation de charges élevées (80 à 100% du maximum) et de charges de faible intensité (30 à 50% du maximum) pour améliorer cette qualité de façon optimale.

3.5.2 NOMBRE DE SÉRIES ET FRÉQUENCE

Par opposition aux études sur la force maximale, très peu d'études ont spécifiquement investigué l'effet de la variation du nombre de séries et du nombre de séances par semaine sur l'amélioration de la puissance musculaire (Ostrowski, Wilson, Weatherby, Murphy & Lyttle, 1997; Verhoshansky, Mironenko, Antonova & Hachatarian, 1991). Ostrowski et al. (1997) ont donc étudié cette relation et leur

recherche leur permet de conclure que, sur une période de dix semaines, un entraînement à bas volume (3 séries par groupe musculaire, 1 fois par semaine) se traduit par des gains en puissance du haut du corps équivalents à ceux engendrés par un entraînement à haut volume (12 séries par groupe musculaire, 1 fois par semaine). Ils suggèrent qu'au moins à court terme, il y ait un volume minimum à respecter à l'entraînement pour optimiser les gains en performance musculaire (incluant la puissance) et qu'au-delà de ce seuil, l'augmentation du volume (nombre de séries) n'apporte pas de gains supplémentaires. Aussi à partir de mesures hormonales (testostérone, cortisol), ils avancent que l'entraînement à haut volume qu'ils ont utilisé peut amener un état de surentraînement chez certains sujets.

3.5.3 VITESSE, TYPE ET MODE DE CONTRACTION

Le fait que l'exécution rapide et explosive des mouvements en musculation se traduise par des gains supérieurs en puissance musculaire comparativement aux exercices exécutés lentement est largement documenté et démontré pour plusieurs intensités et groupes musculaires. Ceci serait dû en grande partie au fait que l'exécution rapide d'un mouvement qu'il soit réalisé contre une résistance élevée (vitesse lente) ou faible (vitesse rapide), est caractérisée par une fréquence de décharge plus élevée des unités motrices utilisées et pourraient impliquer plus (ou une utilisation sélective) d'unités motrices à contractions rapides (Behm & Sale, 1993; Grimby & Hannerz, 1977). Cette exécution rapide est atteinte à l'aide de contractions volontaires à la plus grande vitesse possible de la part du sujet, indépendamment de l'intensité de la résistance. (Morrissey, Harman, Frykman & Han, 1998; Moss, Refsnes, Abilddgaard, Nicolaysen & Jensen, 1997; Sale,

1997; Behm & Sale, 1993; Wilson, Newton, Murphy & Humphries, 1993; Young & Bilby, 1993; Bauer, Thayer & Baras, 1990; Moffroid & Whipple, 1970).

Nous serions tentés de croire en la supériorité des exercices utilisant des contractions dynamiques par opposition aux contractions isométriques pour induire les meilleurs gains en puissance musculaire. Il est surprenant de constater que les études scientifiques disponibles ne permettent pas de tirer une conclusion évidente à ce sujet. Dans leur revue, Morrissey et al. (1995) expliquent que cela est attribuable au fait que les contractions statiques et dynamiques produisent des gains similaires en hypertrophie. Aussi, les deux types de contractions produisent des effets positifs sur la capacité de générer des grandes forces par une stimulation neuromusculaire accrue. De plus, les mouvements de puissance utilisés lors des tests de mesure (ex : saut vertical) sont initiés à partir d'une vitesse nulle où la force à vitesse lente est déterminante pour accélérer le corps dans la phase initiale (O'Shea & O'Shea, 1988; Perrine & Edgerton, 1978; Ball, Rich & Wallis, 1963; Berger, 1963). Behm et Sale (1993) ont même démontré que les exercices isométriques où la force est appliquée aussi rapidement que possible (mouvements à intention rapide) peuvent être aussi efficaces que les exercices dynamiques rapides pour améliorer la performance lors de mouvements de puissance. Cela s'explique par le fait que les mouvements à intention rapide génèrent des forces de contraction supérieures et que ces forces de contraction élevées pourraient causer plus d'hypertrophie et améliorer la puissance (MacDougall, 1986). Ainsi, la fréquence de décharge plus élevée associée aux mouvements à intention rapide est indépendante de la vitesse externe du mouvement (Behm & Sale, 1993). Duchateau et Hainaut (1984) ajoutent que l'entraînement isométrique et dynamique influencent spécifiquement

différentes propriétés du muscle et donc que ces contractions de vitesses différentes peuvent affecter positivement la puissance musculaire.

Toujours grâce à la revue exhaustive de Morrissey et al. (1995) nous pouvons aborder la comparaison entre l'entraînement isocinétique et anisocinétique quant à leur effet sur l'amélioration de la puissance musculaire. Ils prétendent qu'à partir des quelques études disponibles sur le sujet, l'entraînement utilisant les contractions isocinétiques semble supérieur. Toutefois, ils affirment que cette différence pourrait être seulement due au fait que les exercices isocinétiques ont été exécutés à des vitesses supérieures aux vitesses des exercices dynamiques avec poids et haltères (Smith & Melton, 1981). Une conclusion plus définitive pourrait être tirée en utilisant des protocoles utilisant des vitesses de mouvement aussi élevées pour les contractions anisocinétiques. D'autre part, ils affirment qu'à partir des quelques études comparant l'entraînement en mode concentrique à l'entraînement en mode excentrique quant à leur effet sur la puissance musculaire, il est permis de croire en la supériorité des exercices concentriques. Ceci serait supporté par la nature concentrique des mouvements de puissance utilisés lors des tests de mesure (Ellenbecker, Davies & Rowinski, 1988).

4.0 CONCLUSION

Les tableaux I et II qui suivent résument l'information contenue dans la présente recension des écrits. Il y a tellement de combinaisons possibles d'entraînement en musculation et les qualités visées diffèrent aussi beaucoup de sorte qu'il est difficile de résumer en quelques phrases les informations présentées dans les sections précédentes. Il semble cependant que le principe de spécificité soit toujours de mise. Bien sûr un

entraînement en endurance avec des intensités moyennes et beaucoup de répétitions, améliorera la force d'un sujet préalablement sédentaire mais un entraînement en force avec peu de répétitions sera plus efficace surtout pour l'athlète confirmé. Et celui qui fait plus d'efforts isométriques ou quasi-isocinétiques (lutteur, ski alpin) est mieux d'opter pour ce type d'effort à l'entraînement alors que le sprinter ou le sauteur devrait opter pour des contractions anisocinétiques faites le plus vite possible. Plus précisément, celui qui a besoin de puissance avec des charges légères (lanceur au baseball) devrait opter pour des exercices en puissance avec des résistances pertinentes à l'opposé de celles utilisées par l'haltérophile. Enfin on notera que les études portant sur le développement des qualités fonctionnelles sont plus nombreuses et concluantes que celles qui portent sur le développement des qualités esthétiques ou morphologiques.

Tableau I – Synthèse des principales études sur la force maximale

Thèmes abordés	Caractéristiques principales	Références*
Force musculaire maximale	<p>La plus grande tension (ou moment de force) volontaire produite par le muscle soumis à des conditions structurelles et fonctionnelles.</p> <p>Se mesure en newton (N) ou newton-mètre (N·m) et peut être isométrique ou dynamique isocinétique, ou dynamique anisocinétique en mode concentrique ou excentrique.</p>	Harman, 1993 Brooks et al., 1996
Relation force-vitesse en mode concentrique	<p>Tension produite par le muscle en fonction de la vitesse de contraction. Cette tension augmente généralement de façon hyperbolique avec la diminution de la vitesse de contraction.</p> <p><i>In vitro</i> : la tension augmente avec la diminution de la vitesse et atteint sa valeur maximale à vitesse nulle (contraction isométrique).</p> <p><i>In vivo</i> : identique à <i>in vitro</i> ou le taux d'augmentation de la force diminue à basse vitesse ou la force diminue à basse vitesse.</p>	Gülch, 1994 Hill, 1938 Wilkie, 1950 Osternig, 1986
Relation force vitesse en mode excentrique	<p>La tension augmente avec l'augmentation de la vitesse de contraction. La tension produite peut être supérieure aux tensions isométrique et concentrique à toutes les vitesses (<i>in vivo</i> et <i>in vitro</i>).</p> <p><i>In vitro</i> : La tension augmente généralement avec l'augmentation de la vitesse de contraction jusqu'à l'obtention d'un plateau.</p> <p><i>In vivo</i> : identique à <i>in vitro</i> ou il y a diminution de la force à des vitesses supérieures à 100°/s ou tension inférieure à isométrique.</p> <p>Les différences entre les courbes <i>in vivo</i> et <i>in vitro</i> (concentrique et excentrique) seraient dues à des mécanismes neuraux d'inhibition <i>in vivo</i>.</p>	Knuttgen & Kraemer, 1987 Perrin, 1993 Walmsley et al., 1986 Kellis & Baltzopoulos, 1995

Tableau I (suite) – Synthèse des principales études sur la force maximale

Thèmes abordés	Caractéristiques principales	Références*
<p>Mesure de la force maximale anisocinétique concentrique</p>	<p>Par le test de 1-RM. Ce 1-RM représente la charge la plus élevée pouvant être déplacée sur toute l'amplitude de mouvement. Cette charge est la plus élevée pouvant être déplacée à l'angle du mouvement le plus désavantagé mécaniquement.</p> <p>Fidélité : $r > 0.9$</p>	<p>Knuttgen & Kraemer, 1987</p> <p>Abernethy et al., 1995</p>
<p>Mesure de la force maximale isocinétique concentrique</p>	<p>À l'aide d'un dynamomètre isocinétique. L'appareil mesure et indique, suite à un effort maximal volontaire, la courbe de force obtenue lors d'un mouvement angulaire en fonction de la vitesse d'exécution, de l'amplitude et de l'angle.</p> <p>Fidélité : $r > 0.9$</p> <p>Les facteurs d'erreur à considérer lors de cette mesure sont : la force gravitationnelle, la portion isocinétique réelle du mouvement et les oscillations de moment de force et de vitesse.</p> <p>Répétitions sous-maximales accordées au sujet en pré-test (anisocinétique et isocinétique).</p>	<p>Osternig, 1986</p> <p>Abernethy et al., 1995</p> <p>Osternig, 1986</p> <p>Keating & Matyas, 1996</p>

* Une liste de références plus exhaustive est donnée dans le texte.

Tableau II – Synthèse des méthodes de développement des qualités musculaires

Qualités musculaires à développer	Variables d'un programme d'entraînement musculaire				Références*
	Intensité	Nombre de séries / groupe musculaire	Fréquence	Vitesse, type et mode de contraction	
Force maximale	Minimale : 60% de la force maximale		Varie selon le groupe musculaire et le niveau d'entraînement des sujets.	Vitesse lente (moins de 100°/s : relation force-vitesse)	Allsen, 1987 Fleck & Kraemer, 1997 Feigenbaum & Pollock, 1999 Morrissey et al., 1995
	Idéale (entraînés) : 1 à 6 RM	3 à 6 (entraînés)	3 à 5 séances / semaine (entraînés)	Vitesse nulle (type isométrique) : gains importants à l'angle de travail	
Hypertrophie	Idéale (débutants) : 8 à 15 RM	1 à 2 (débutants)	2 séances / semaine (débutants)	Gains spécifiques aux conditions d'entraînement (vitesse, type et mode de contraction)	Bompa, 1993 Snyder & Wayne, 1987 Fleck & Kraemer, 1997 Morrissey et al., 1995
	60 à 80% de la force maximale ou 6 à 12 RM	3 à 6 (en général) 9 à 24 (chez les culturistes) 1 à 3 (études scientifiques) Court terme : aucune différence entre ces nombres de séries Long terme : différence inconnue	1 à 3 séances / semaine Court terme : plus de 3 séances / semaine ne mène pas à plus de gains. Long terme : effets de plus de 3 séances / semaine sont inconnus.	Vitesse lente (relation force-vitesse). Les effets de l'entraînement à différentes vitesses sont équivalents. À court terme : contractions isométriques et dynamiques (concentriques et excentriques) ont des effets équivalents. Différence entre contractions isocinétiques et anisocinétiques : résultats non concluants	

Tableau II (suite) – Synthèse des méthodes de développement des qualités musculaires

qualités musculaires à développer	Variables d'un programme d'entraînement musculaire					Références*
	Intensité	Nombre de séries / groupe musculaire	Fréquence	Vitesse, type et mode de contraction		
Endurance	30 à 75% ou 20 RM et plus L'intensité diminue avec l'augmentation du temps de l'activité pour laquelle les gains sont recherchés (30 s et plus). Nombre de RM élevé si prescrit en fonction du temps (ex : RM en 60 s).	3 à 6 Les séries peuvent être prescrites en temps (ex : série de 60 s).	2 à 3 séances / semaines	Vitesse élevée, répétitions rythmiques et dynamiques (principe de spécificité de la vitesse). Contractions isométriques : amélioration de l'endurance à un angle spécifique. La recherche actuelle ne permet pas de conclure sur la supériorité d'un type ou d'un mode de contraction. Les gains sont spécifiques aux conditions d'entraînement et de mesure.	Hoeger & al., 1990 Bompa, 1993 Moffroid & Whipple, 1970 Morrissey et al., 1995	
Puissance	30 à 35 % ou 80 à 100% de la force maximale	À court terme : entre 3 et 12 séries mènent à des gains équivalents. À long terme : la différence entre différents nombres de séries est inconnue.	1 à 3 séances / semaine (études scientifiques)	Vitesse maximale (peu importe l'intensité) Les effets des contractions isométriques et dynamiques sont équivalents. Les contractions isométriques semblent supérieures aux contractions anisométriques et les concentriques supérieures aux excentriques	Wilson et al., 1993 Young, 1989 Moss et al., 1997 Ostrowski et al., 1997 Morrissey et al., 1995	

* Une liste de références plus exhaustive est donnée dans le texte.

RÉFÉRENCES

- Abernethy, P.J., Jürimäe, J. (1996).** Cross-sectional and longitudinal uses of isoinertial, isometric and isokinetic dynamometry. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28 (9): 1180-1187.
- Abernethy, P.J., Jürimäe, J., Logan, P.A., Taylor, A.W., Thayer, R.E. (1994).** Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Medicine*, 17 (1): 22-38.
- Abernethy, P.J., Wilson, G.J., Logan, P. (1995).** Strength and power assessment: issues controversies and challenges. *Sports Medicine*, 19 (6): 401-417.
- Allen, T.E., Byrd, R.J., Smith, D.P. (1976).** Hemodynamic consequences of circuit weight training. *Research Quarterly*, 47: 299-307.
- Allsen, P.E. (1987).** *Strength Training: Beginners, Bodybuilders, and Athletes*. Glenview, IL: Scott, Foresman and Company: 7.
- Alway, S., MacDougall, J.D., Sale, D.G, Sutton, J.R., McComas, A.J., (1988).** Functional and structural adaptations in skeletal muscle of trained athletes. *Journal of Applied Physiology*, 64: 1114-1120.
- Alway, S., Stray-Gundersen, J., Grumbt, W., Gonyea, W. (1990).** Muscle cross-sectional area and torque in resistance-trained subjects. *European Journal of Applied Physiology*, 60: 86-90.
- American College of Sports Medicine (1998).** The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardio respiratory and muscular fitness and flexibility in healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30: 975-991.
- Amiridis, I.G, Martin, A. Morlon, B., Martin, L. Cometti G., Pousson, M., Van Hoecke, J. (1996).** Co-activation and tension-regulating phenomena during isokinetic knee extension in sedentary and highly skilled humans. *European Journal of Applied Physiology*, 73: 149-156.
- Anderson, T., Kearney J.T. (1983).** Effects of three resistance training programs on muscular strength and absolute and relative endurance. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53: 1-7.
- Atha, J. (1981).** Strengthening muscle. *Exercise and Sport Sciences Review*, 9: 1-73.
- Ball, J.R., Rich, G.Q., Wallis, E.L. (1963).** Effects of isometric training on vertical jumping. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 35: 231-235.
- Baltzopoulos, V., Brodie, D.A. (1989).** Isokinetic dynamometry: applications and limitations. *Sports Medicine*, 8 (2): 101-116.

- Barnes, W.S. (1980).** The relationship of motor unit activation to isokinetic muscular contraction at different contractile velocities. *Physical Therapy*, 60: 1152-1158.
- Bauer, T., Thayer, R.E., Baras, G. (1990).** Comparison of training modalities for power development in the lower extremity. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (4): 115-121.
- Behm, D.G., Sale, D.G. (1993).** Intended rather than actual movement velocity determines velocity specific training response. *Journal of Applied Physiology*, 74: 359-368.
- Berger, R.A. (1965).** Comparison of the effects of various weight training loads on strength. *Research Quarterly*, 36 (2): 141-146.
- Berger, R.A. (1963).** Effect of dynamic and static training on vertical jumping. *Research Quarterly*, 34: 419-424.
- Berger, R.A. (1962).** Effect of varied weight training programs on strength. *Research Quarterly*, 33 (2): 168-181.
- Berger, R.A. (1984).** *Introduction to Weight Training*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall Inc. : 41-44.
- Bompa, T.O. (1993).** *Periodization of Strength*. Chandler, AZ: Progenex.
- Bompa, T.O. (1983).** *Theory and Methodology of Training*. Dubuque, IA: Kendall, Hunt.
- Braith, R.W., Graves, J.E., Leggett, S.H., Pollock, M.L. (1993).** Effect on training on the relationship between maximal and sub maximal strength. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25 (1): 132-138.
- Braith, R.W., Graves, J.E., Pollock, M.L., Leggett, S.H., Carpenter, D.M., Colvin, A.B. (1989).** Comparison of two versus three days per week of variable resistance training during 10 and 18 week programs. *International Journal of Sports Medicine*, 10: 450-454.
- Brooks, G.A., Fahey, T.D., White, T.P. (1996).** *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications, second edition*. Mountain View, CA: Mayfield Publishing Company.
- Burdett, R., Swearingen, J.V. (1987).** Reliability of isokinetic muscle endurance tests. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 8: 484-488.
- Coleman, A.E. (1977).** Nautilus vs. Universal gym strength training in adult males. *American Corrective Therapy Journal*, 31: 103-107.
- Colliander, E.B, Tesch, P.A. (1990).** Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta physiologica Scandinavica*, 140: 31-39.

- Conlee, R.K. (1987). Muscle glycogen and exercise endurance: a twenty year perspective. *Exercise and Sport Sciences Review*, 15: 1-28.
- Côté, C., Simoneau, J.-A., Lagasse, P., Boulay, M., Thibault, M.-C., Marcotte, M., Bouchard, C. (1988). Isokinetic strength training protocols: Do they induce skeletal muscle fiber hypertrophy? *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 69: 281-285.
- Coyle, E.F., Costill, D.L., Lesmess, G.R. (1979). Leg extension power and muscle fiber composition. *Medicine & Science in Sports* 11: 12-15.
- Crist, D.M., Peake, G.T., Egan, P.A., Waters, D.L. (1988). Body composition response to exogenous GH during training in highly conditioned adults. *Journal of Applied Physiology*, 65: 579-584.
- DeMichele, P.D., Pollock, M.L., Graves, J.E. (1997). Effect of training frequency on the development of isometric torso rotation strength. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 27: 64-69.
- Duchateau, J., Hainaut, K. (1984). Isometric or dynamic training: differential effects on mechanical properties of a human muscle. *Journal of Applied Physiology*, 56 (2): 296-301.
- Duncan, P.W., Chandler, J.M., Cavanaugh, D.K., Johnson, K.R., Buehler, A.G. (1989). Mode and speed specificity of eccentric and concentric exercise training. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 11: 70-75.
- Edman, K.A.P (1988). Double hyperbolic force-velocity relation in frog muscle fibres. *Journal of Physiology*, 404: 301-321.
- Ellenbecker, T.S., Davies, G.J., Rowinski, M.J. (1988). Concentric versus eccentric isokinetic strengthening of the rotator cuff: objective data versus functional test. *American Journal of Sports Medicine*, 16: 64-69.
- Ewing, J.L., Wolfe, D.R., Rogers, M.A., Amundson, M.L., Stull, G.A. (1990). Effects of velocity of isokinetic training on strength, power, and quadriceps muscle fibre characteristics. *European Journal of Applied Physiology*, 61: 159-162.
- Farrell, M., Richards, J.G. (1986). Analysis of the reliability and validity of the Kinetic-Communicator exercise device. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 18: 44-49.
- Feigenbaum, M.S., Pollock, M.L. (1999). Prescription of resistance training for health and disease. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31 (1): 38-45.
- Fleck, S.J., Kraemer, W.J. (1997). *Designing Resistance Training Programs*, second edition. Champaign, IL: Human Kinetic Books: 1-115.

- Fletcher, G.F., Balady, G., Froelicher, V.F., Hartley, L.H., Haskell, W.L., Pollock, M.L. (1995).** Exercise standards : a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation*, 91: 580-615.
- Garhammer, J., Takano, B. (1992).** Training for weightlifting. In: *Strength and Power in Sport*. Komi, P.V. (Ed).. Oxford: Blackwell Scientific: 357-369.
- Gillam, G.M. (1981).** Effects of frequency of weight training on muscle strength enhancement. *Journal of Sports Medicine*, 21: 432-436.
- Gleeson, N.P., Mercer, T.H. (1996).** The utility of isokinetic dynamometry in the assessment of human muscle function. *Sports Medicine*, 21 (1): 18-34.
- Graves, J.E., Pollock, M.L., Foster, D.N. (1990).** Effect of training frequency and specificity on isometric lumbar extension strength. *Spine*, 15:504-509.
- Grimby, L., Hannerz, J. (1977).** Firing rate and recruitment order of toe extensor motor units in different modes of voluntary contractions. *Journal of Physiology*, 264: 865-875.
- Gülch, R.W. (1994).** Force-velocity relations in human skeletal muscle. *International Journal of Sports Medicine*, 15, suppl.1: S2-S10.
- Hageman, P.A., Gillaspie, D.M., Hill, L.D. (1988).** Effects of speed and limb dominance on eccentric and concentric isokinetic training. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 10: 59-65.
- Hakkinen, K. (1989).** Neuromuscular and hormonal adaptations during strength and power training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 29 (1): 9-26.
- Harman, E. (1993).** Strength and power: a definition of terms. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 15 (6): 18-20.
- Henderson, J.M. (1970).** *The Effect of Weight Load and Repetitions, Frequency of Exercise, and Knowledge of Theoretical Principles of Weight Training on Changes in Muscular Strength*. Thèse non publiée, Denton, TX: North Texas State University: 47-74.
- Hennessy, L.C., Watson, A.W.S. (1994).** The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8 (1): 12-19.
- Hill, A.V. (1938).** The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proceedings of the Royal Society of London, B* 126: 136-195.
- Hockey, R.V. (1985).** *Physical Fitness: The Pathway to Healthful Living*. St. Louis, MO: Times Mirror, Mosby College Publishing: 71.

- Hoeger, W.W.K., Barette, S.L., Hale, D.F., Hopkins, D.R. (1987).** Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1 (1): 11-13.
- Hoeger, W.W.K., Hopkins, D.R., Barette, S.L., Hale, D.F., (1990).** Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (2): 47-54.
- Hortobagyi, T., Katch, F.I., LaChance, P.F. (1989).** Interrelationships among various measures of upper body strength assessed by different contraction modes: evidence for a general strength component. *European Journal of Applied Physiology*, 58: 749-755.
- Hunter, G.R. (1985).** Changes in body composition, body build, and performance associated with different weight training frequencies in males and females. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 7: 26-28.
- Johnson, J., Siegel, D. (1978).** Reliability of an isokinetic movement of the knee extensors. *Research Quarterly*, 49: 88-90.
- Jones, D.A., Rutherford, O.M. (1987).** Human muscle strength training: the effects of three different regimes and the nature of the resultant changes. *Journal of Physiology*, 391: 1-11.
- Kaneko, M., Fuchimoto, T., Toji, H., Suei, K. (1983).** Training effect of differing loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscle. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 5 (2): 50-55.
- Keating, J.L., Matyas, T.A. (1996).** The influence of subject and test design on dynamometric measurements of extremity muscles. *Physical Therapy*, 76 (8): 866-889.
- Kellis, E., Baltzopoulos, V. (1995).** Isokinetic eccentric exercise. *Sports Medicine*, 19 (3): 202-222.
- Knapik, J.J., Wright, J.E., Mawdsley, R.H., Braun, J.M. (1983).** Isokinetic, isometric and isotonic strength relationships. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 64: 77-80.
- Knuttgen, H.G., Kraemer, W.J. (1987).** Terminology and measurement in exercise performance. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1 (1): 1-10.

- Kraemer, W.J., Duncan, N.D., Volek, J.S. (1998).** Resistance training and elite athletes: adaptations and program considerations. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 28 (2): 110-119.
- Kues, J.M., Rothstein, J.M., Lamb, R.L. (1992).** Obtaining reliable measurements of knee extensor torque produced during maximal voluntary contractions: an experimental investigation. *Physical Therapy*, 72: 492-504.
- LeSuer, D.A., McCormick, J.H., Mayhew, J.L. Wasserstein, R.L., Arnold, M.D. (1997).** The accuracy of predictions equations for estimating 1-RM performance in the bench press, squat and dead lift. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (4): 211-213.
- MacDougall, D.J. (1986).** Adaptability of muscle to strength training. A cellular approach. In: *International Series on Sport Sciences*. Saltin, B. (Ed.). *Biochemistry of Exercise VI, 16*: Champaign, IL: Human Kinetics: 501-513.
- Mawdsley, R.H., Knapik, J.J. (1982).** Comparison of isokinetic measurements with test repetitions. *Physical Therapy*, 62: 169-172.
- McArdle, A.C., Katch, F.I., Katch, V.L. (1986).** *Exercise Physiology: Energy, Nutrition and Human Performance*. Philadelphia, PA: Lea and Febiger CO: 3371-379.
- McDonagh, M.N., Davies, C.M. (1984).** Adaptative response of mammalian skeletal muscle to exercise with high loads. *European Journal of Applied Physiology*, 52: 139-155.
- Messier, S.P., Dill, M.E. (1985).** Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to Nautilus circuit weight training. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 56: 345-351.
- Moffroid, M., Whipple, R.H. (1970).** Specificity of speed exercise. *Physical Therapy*, 50: 1692-1700.
- Morales, J., Sobonya, S. (1996).** Use of submaximal repetitions tests for predicting 1-RM strength in class athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10 (3): 186-189.
- Moritani, T., Muro, M., Ishida, K., Taguchi, S. (1987).** Electrophysiological analyses of the effects of muscle power training. *Research Journal of Physical Education*, 1: 23-32.
- Morrissey, M.C., Harman, E.A., Frykman, P.N., Han, K.H. (1998).** Early phase differential effects of slow and fast barbell squat training. *American Journal of Sports Medicine*, 26 (2): 221-230.

- Morrissey, M.C., Harman, E.A., Johnson, M.J. (1995).** Resistance training modes: specificity and effectiveness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27 (5): 648-660.
- Moss, B.M., Refsnes, P.E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., Jensen, J. (1997).** Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power, and load-velocity relationships. *European Journal of Applied Physiology*, 75: 193-199.
- Murphy, A.J., Wilson, G.J. (1996).** The assessment of human dynamic muscular function: a comparison of isoinertial and isokinetic tests. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 36 (3): 169-177.
- Nelson, S., Duncan, P. (1983).** Correction of isokinetic torque recordings for the effect of gravity. *Physical Therapy*, 62: 674-676.
- O' Shea, K.L., O' Shea, J.P. (1988).** Functional isometric weight training: its effects on dynamic and static strength. *Journal of Applied Sport Science Research*, 2: 39-41.
- Osternig, L.R. (1975).** Optimal isokinetic loading and velocities producing muscular power in human subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 50: 152-155.
- Osternig, L.R. (1986).** Isokinetic dynamometry : implications for muscle testing and rehabilitation. *Exercise & Sport Sciences Reviews*, 14 : 45-80.
- Osternig, L.R., Bates, B.T., James S.L. (1977).** Isokinetic and isometric torque force relationships. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 58: 254-257.
- Osternig, L.R., Sawhill, J.A., Bates, B.T., Hamill, J. (1983).** Function of limb speed on torque patterns of antagonists muscles. In: *Biomechanics VIII-A*. Matsui & Kobayashi (Eds). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers: 251-257.
- Ostrowski, K.J., Wilson, G.J., Weatherby, R., Murphy, P.W., Lyttle, A.D. (1997).** The effect of weight training volume on hormonal output and muscular size and function. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 11 (1): 148-154.
- Palmieri, G.A. (1983).** The principles of muscle fiber recruitment applied to strength training. *National Strength and Conditioning Association Journal*, 5 (5): 22-24.
- Pearson, D.R., Costill, D.L. (1988).** The effects of constant external resistance exercise and isokinetic exercise training on work-induced hypertrophy. *Journal of Applied Sport Science Research*, 2: 39-41.
- Perrin, D.H. (1993).** *Isokinetic Exercise and Assessment*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Perrine, J.J. (1968).** Isokinetic exercise and mechanical energy potentials of muscle. *Journal of Health and Physical Education*, 39: 40-44.

- Perrine, J.J., Edgerton, V.R. (1978).** Isokinetic anaerobic ergometry. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 10: 78.
- Perrine, J.J., Edgerton, V.R. (1978).** Muscle force-velocity and power-velocity relationships under isokinetic loading. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 10: 159-166.
- Poliquin, C. (1990).** Theory and methodology of strength training. Part 3. *Sports Coach*, 13 (2): 35-38.
- Pollock, M.L., Wilmore, J.H., Fox, S.M. (1984).** *Exercise in Health and Disease*. Philadelphia, PA: W.B. Saunders Co.
- Rasch, P.J., Morehouse, L.E. (1957).** Effect of static and dynamic exercises on muscular strength and hypertrophy. *Journal of Applied Physiology*, 2: 20-34.
- Sale, D.G. (1997).** Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exercise and Sports Sciences Review*, 15: 95-151.
- Sale, D.G. (1991).** Testing strength and power. In: *Physiological Testing of the High Performance Athlete*. MacDougall, J.D., Wenger H.A., Green, H.J. (Eds). Champaign, IL: Human Kinetics: 21-103.
- Sale, D.G., Martin, J.E., Moroz D.E. (1992).** Hypertrophy without increased isometric after weight training. *European Journal of Applied Physiology*, 64: 51-55.
- Sapega, A.A., Nicholas, J.A., Sokolow, D., Saraniti, A. (1982).** The nature of torque overshoot in Cybex isokinetic dynamometry. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14: 368-375.
- Sawhill, J.A., Bates, B.T., Osternig, L.R., Hamill, J. (1982).** Variability of isokinetic measures. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14: 177.
- Schmidtbleicher, D., Buehrle, M. (1987).** Neuronal adaptation and increase of cross-sectional area studying different strength training methods. In: *Biomechanics X-B*. Jonsson, B (Ed.). Champaign, IL: Human Kinetics: 615-620.
- Schmidtbleicher, D., Haralambie, G. (1981).** Changes in contractile properties of muscle after strength training in man. *European Journal of Applied Physiology*, 46: 221-228.
- Sewall, L.P., Lander, J.E. (1991).** The effects of rest on maximal efforts in squat and bench press. *Journal of Applied Sport Science Research*, 5: 96-99.
- Smith, M.J., Melton, P. (1981).** Isokinetic versus isotonic variable-resistance training. *American Journal of Sports Medicine*, 9: 275-279.
- Snyder, G., Wayne, R. (1987).** *Posedown: Muscletalk With the Champs*. New York, NY: Sterling Publishing.

- Starkey, D.B., Pollock, M.L., Ishida, Y. (1996).** Effect of resistance training volume on strength and muscle thickness. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28: 1311-1320.
- Staron, R.S., Leonardi, M.J., Karapondo, D.L., Malicky, E.S., Falkel, J.E., Hagerman, F.C., Hikida, R.S. (1991).** Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *Journal of Applied Physiology*, 70: 631-640.
- Stratford, P.W., Bruulsema, A., Maxwell, B. (1990).** The effect of inter-trial rest interval in the assessment of isokinetic thigh muscle torque. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 11: 362-366.
- Taylor, N.A.S., Sanders, R.H., Howick, E.I. (1991).** Static and dynamic assessment of the Biodex dynamometer. *European Journal of Applied Physiology*, 62: 180-188.
- Teach, P.A. (1992).** Training for bodybuilding. In: *Strength and Power in Sport*. Komi, P.V. (Ed.). Oxford: Blackwell Scientific: 370-380.
- Thomas, D.O., White, M.J., Sagar, G., Davies, C.T.M (1987).** Electrically evoked isokinetic plantar flexor torque in males. *Journal of Applied Physiology*, 63 (4): 1499-1503.
- Thorstensson, A., Grimby, G., Karlsson, J. (1976).** Force-velocity relations and fiber composition in human knee extensor muscles. *Journal of Applied Physiology*, 40: 12-16.
- Verhoshansky, Y.V., Mironenko, I.N., Antonova, T.M., Hachatarian, O.V. (1991).** Some principles of constructing the yearly training cycle in speed-strength sports. *Sovietic Sports Review, december*: 189-194.
- Walmsley, R.P., Pearson, N., Stymiest, P. (1986).** Eccentric wrist extensor contractions and the force velocity relationship in muscle. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 8: 288-293.
- Weineck, J. (1997).** *Manuel d'Entraînement (quatrième édition)*. Paris : Éditions Vigot.
- Weir, J.P., Wagner, L.L., Housh, T.J. (1994).** The effect of rest interval length on repeated maximal bench press. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 8: 58-60.
- Westcott, W.L. (1986).** Four key factors in building a strength program. *Scholastic Coach*, 55: 104-105.
- Westing, S.H., Seger, J.Y., Karlson, E. (1988).** Eccentric and concentric torque-velocity characteristics in man. *European Journal of Applied Physiology*, 58: 100-104.

- Westing, S.H., Seger, J.Y., Thorstensson, A. (1990).** Effects of electrical stimulation on eccentric and concentric torque-velocity relationships during knee extension in man. *Acta physiologica Scandinavica*, 140: 17-22.
- Wilkie, D.R. (1950).** The relation between force and velocity in human muscle. *Journal of Physiology*, 110: 249-280.
- Willoughby, D.S. (1993).** The effects of mesocycle-length weight training programs involving periodization and partially equated volumes on upper and lower body strength. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7: 2-8.
- Wilson, G.J, Newton, R.U., Murphy, A.J., Humphries, B.J. (1993).** The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25 (11): 1279-1286.
- Young, W.B. (1989).** A comparison of power development methods. *Track Technique*, 109: 3484-3486.
- Young, W.B., Bilby, G.E. (1993).** The effect of voluntary effort to influence speed of contraction on strength, muscular power, and hypertrophy development. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 7 (3): 172-178.

PARTIE II: ÉTUDE EXPÉRIMENTALE

EFFET DE L'INTENSITÉ, DE LA VITESSE, DU MOUVEMENT ET DU TYPE DE CONTRACTION SUR LE NOMBRE DE RÉPÉTITIONS MAXIMALES EN MUSCULATION

EFFET DE L'INTENSITÉ, DE LA VITESSE, DU MOUVEMENT ET DU TYPE DE CONTRACTION SUR LE NOMBRE DE RÉPÉTITIONS MAXIMALES EN MUSCULATION

1.0 INTRODUCTION

L'entraînement musculaire est une composante importante des programmes de conditionnement physique, de réhabilitation ou d'entraînement sportif (Feigenbaum & Pollock, 1999; Kraemer, Duncan & Volek, 1998). Il peut avoir un effet positif sur plusieurs qualités du muscle tels que: le degré d'hypertrophie, l'endurance, la force et la puissance (Brooks, Fahey & White, 1996; Abernethy, Jürimäe, Logan, Taylor & Thayer, 1994) et fait partie intégrante des programmes de promotion de la santé d'organismes majeurs (American College of Sports Medicine, 1998; American Heart Association, 1995). L'amélioration des qualités musculaires peut se faire au moyen d'exercices à différentes intensités, à des vitesses d'exécution variées et en utilisant différents types de contraction (Fleck & Kraemer, 1997; Bompa, 1993). Une prescription d'exercices musculaires ajustée aux particularités de chaque individu et optimisant l'atteinte des objectifs visés, passe par une bonne connaissance et une compréhension des différents facteurs qui influencent le nombre de RM pouvant être exécutées à différents pourcentages de 1-RM.

Il a déjà été démontré que lors de l'exécution d'un exercice musculaire avec résistance, le nombre de RM augmente avec la diminution du pourcentage d'intensité de la résistance (ou % de la force maximale) dans une relation hyperbolique (Bompa, 1993; Knuttgen & Kraemer, 1987). Certaines évidences scientifiques laissent croire que plusieurs facteurs peuvent influencer cette fonction qui est à la base de la prescription en

entraînement musculaire. Ainsi, un groupe de chercheurs (Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990) a démontré que cette relation pouvait être significativement différente selon l'exercice et le groupe musculaire impliqué, non pas dans son caractère hyperbolique, mais dans le nombre de répétitions associé à un pourcentage d'intensité donné. Aussi, trois études nous mènent à la conclusion que le niveau d'entraînement et le niveau de force des sujets influencent grandement les valeurs associées de cette relation (Braith, Graves, Legget & Pollock, 1993; Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990; Heyward, 1975). La vitesse d'exécution pourrait être un autre facteur influençant cette relation. En effet, le temps pendant lequel le muscle est sous tension affecte son endurance (Kellis & Baltzopoulos, 1995; Baltzopoulos & Brodie, 1989). Donc, une vitesse d'exécution rapide se traduisant par un temps total de contraction inférieur pourrait favoriser l'exécution d'un plus grand nombre de RM malgré la demande énergétique accrue due à une plus grande fréquence d'activation des unités motrices. Le type de contraction utilisé pourrait lui aussi, modifier cette relation. Il est permis de se questionner sur l'effet de l'utilisation de contractions isocinétiques, comparativement à des contractions anisocinétiques, sur la relation entre la force maximale et le nombre de RM pouvant être exécutées à divers pourcentages de cette force en raison de différences fondamentales entre ces contractions. En effet, Murphy et Wilson (1996) ont démontré que les mesures électromyographiques d'un groupe musculaire donné sont plus élevées lors de contractions maximales anisocinétiques comparativement aux mesures de contractions isocinétiques. De plus lors de contractions isocinétiques, nous savons que la résistance est toujours égale à la force angulaire appliquée par le groupe musculaire étudié tout au long de l'amplitude de mouvement. Ce phénomène est bien sûr impossible lors de contractions anisocinétiques utilisant une charge externe donnée en raison de la courbe de force du groupe musculaire impliqué (Knuttgén & Kraemer, 1987). Étant donné que le groupe musculaire impliqué

n'est pas sollicité à son plein potentiel tout au long de l'amplitude d'un mouvement anisocinétique, il est possible que ce type de contraction permette un plus grand nombre de RM.

L'objectif de cette étude était donc d'établir l'effet individuel et combiné de la vitesse d'exécution (30 et 90⁰/s), du type de contraction (isocinétique et anisocinétique), du groupe musculaire ou du mouvement (flexion et extension), de l'intensité de la résistance (40, 60 et 80% de la force maximale) et du niveau de force de l'exécutant (fort et faible) sur le nombre de RM pouvant être exécutées lors d'un exercice musculaire, chez des adultes en santé.

2.0 MÉTHODOLOGIE

2.1 DESCRIPTION DES SUJETS ET SCHÈME EXPÉRIMENTAL

Deux groupes de dix hommes droitiers (manuellement) ont volontairement participé et complété l'étude. Nous avons obtenu le consentement écrit et éclairé de tous les sujets et les procédures expérimentales ont été approuvées par le comité d'éthique de l'université. Les sujets étaient tous des adultes en santé et entraînés, c'est-à-dire pratiquant la musculation à raison d'un minimum de trois séances par semaine durant les deux derniers mois précédant l'étude. Le premier groupe exécutait les mouvements (flexion et extension) de l'articulation du coude (groupe 1) et le second, les mêmes mouvements au niveau de l'articulation du genou (groupe 2). Nous avons demandé aux participants de ne pas changer la nature, l'intensité et le volume de leurs activités physiques durant l'étude et de ne pas pratiquer de musculation 24 heures avant les tests.

Chaque sujet devait se présenter à cinq reprises au laboratoire à raison d'une fois par semaine. La première séance servait à informer le sujet, à prendre les mesures biométriques (poids et taille) ainsi que les mesures individuelles de standardisation sur les appareils et le familiariser avec l'utilisation de ceux-ci. La deuxième séance servait à la détermination des forces maximales concentriques. Les trois autres séances servaient à la détermination du nombre de répétitions maximales pouvant être exécutées à trois différents pourcentages de la force maximale concentrique (40, 60 et 80%), à deux vitesses d'exécution différentes (30 et 90⁰/s) et en utilisant deux types de contractions (isocinétique et anisocinétique) (tableau I).

Tableau I – Schème expérimental

Semaine 1	Information, familiarisation sur les appareils, mesures biométriques, mesures individuelles de standardisation sur les appareils
Semaine 2	Tests de forces maximales isocinétique et anisocinétique
Semaine 3	Test de RM à 40, 60 ou 80% (aléatoire)
Semaine 4	Test de RM à 40, 60 ou 80% (aléatoire)
Semaine 5	Test de RM à 40, 60 ou 80% (aléatoire)

2.2 TESTS ET MESURES

Nous avons recueilli les données sur les mouvements de flexion et d'extension du coude et du genou sur le membre dominant seulement. Ainsi, chaque sujet devait exécuter les mouvements de flexion et d'extension de l'articulation testée (coude ou genou) dans des contractions isocinétiques et anisocinétiques et ce, à deux vitesses différentes (30 et 90⁰/s) et à différents pourcentages de la force maximale (40, 60 et 80%). L'ordre d'exécution des mouvements, des vitesses et du pourcentage de la force maximale concentrique a été déterminé aléatoirement pour chaque sujet. Chaque séance de test était précédée d'une période d'échauffement de cinq minutes sur vélo, d'une période d'étirement et d'une exécution de dix répétitions sous-maximales du mouvement à être testé (tableau II). Tous les mouvements étaient exécutés en position assise. Tous les appareils utilisés étaient ajustés aux dimensions physiques de chacun des participants de façon à ce que l'axe de rotation de l'articulation testé soit parfaitement aligné avec celui de l'appareil. De plus, les sujets étaient stabilisés à l'aide de courroies de velcro. Les sujets étaient encouragés verbalement par l'expérimentateur.

2.2.1 FORCES MAXIMALES CONCENTRIQUES

La force maximale concentrique a été déterminée pour les deux types de contraction. Pour la force maximale anisocinétique, nous avons utilisé le test de 1-RM tel que décrit par Hoeger et al. (1990) sur des appareils à résistance variable tel qu'utilisé par ce groupe de chercheurs (appareils à cames de marque Trotter, 1995) correspondant au mouvement étudié. Une période de repos de une à deux minutes était allouée entre

Tableau II – Résumé des tests et mesures

<p>Force angulaire maximale sur dynamomètre isocinétique (semaine 2)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Échauffement et étirements 2. 10 répétitions sous-maximales 3. 3 à 5 essais de moment de force maximale en flexion à 30⁰/s (pauses de 1 à 2 minutes entre les essais) 4. 3 à 5 essais de moment de force maximale en extension à 30⁰/s 5. 3 à 5 essais de moment de force maximale en flexion à 90⁰/s 6. 3 à 5 essais de moment de force maximale en extension à 90⁰/s 7. Pause de 10 minutes
<p>Test de 1-RM sur appareil anisocinétique à résistance variable (semaine 2)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 8. 10 répétitions sous-maximales 9. essais en flexion avec augmentation graduelle de la charge (pause de 1 à 2 minutes entre les essais) 10. essais en extension avec augmentation graduelle de la charge
<p>Tests de RM sur dynamomètre isocinétique à intensité minimale de 40, 60 ou 80% (semaines 3, 4 et 5)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Échauffement et étirements 2. 10 répétitions sous-maximales 3. RM en flexion à 30⁰/s 4. RM en extension à 30⁰/s 5. RM en flexion à 90⁰/s 6. RM en extension à 90⁰/s 7. Pause de 10 minutes
<p>Tests de RM sur appareil anisocinétique à résistance variable à intensité de 40, 60 ou 80% (semaines 3, 4 et 5)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 8. 10 répétitions sous-maximales 9. RM en flexion à 30⁰/s 10. RM en extension à 30⁰/s 11. RM en flexion à 90⁰/s 12. RM en extension à 90⁰/s

chaque essai. Nous avons retenu comme charge maximale, la dernière résistance soulevée sur toute l'amplitude de mouvement. L'amplitude de mouvement exigée était de 90° . Les mouvements de flexion (coude et genou) débutaient à un angle de 10° pour se terminer à un angle de 100° . Les mouvements d'extension débutaient à un angle de 100° pour se terminer à un angle de 10° (l'angle de 0° de référence étant l'angle de l'articulation à la position anatomique) Ces angles ont été mesurés à l'aide d'un goniomètre et des repères visuels placés sur les appareils anisocinétiques permettaient aux sujets d'exécuter les mouvements aux amplitudes exigées. La vitesse d'exécution était autodéterminée par le sujet.

Pour la force maximale isocinétique, nous avons mesuré le moment de force maximal du mouvement étudié à l'aide d'un dynamomètre isocinétique (Kin-Com, 1993). Afin de rendre la force angulaire maximale isocinétique comparable à la force maximale anisocinétique (en terme de critère mécanique), nous avons retenu comme force angulaire maximale, la plus haute valeur à l'angle le plus faible du mouvement. Ceci, en raison du fait que la charge maximale anisocinétique est en réalité la charge maximale pouvant être soulevée à l'angle mécanique le plus défavorable au mouvement (Knuttgen & Kraemer, 1987). La courbe de force obtenue sur le dynamomètre nous permettait de déterminer l'angle le plus faible du mouvement (dans cette étude, nous nous appuyons sur ce critère à chaque fois qu'il est question de force angulaire maximale isocinétique). Les sujets devaient exécuter des contractions maximales sur toute l'amplitude du mouvement et ils disposaient de trois à cinq essais séparés de une à deux minutes de repos. Les amplitudes de mouvement et les positions étaient les mêmes que sur les appareils anisocinétiques. Les angles de départ et d'arrivée ainsi que les vitesses

étaient contrôlés par le dynamomètre. Nous avons déterminé les forces angulaires maximales aux deux vitesses. Toutes les valeurs de force maximale ont été obtenues lors d'une même séance. Une période de repos d'un minimum de dix minutes était allouée entre les tests de force maximale isocinétique et anisocinétique. L'ordre d'exécution des vitesses et des mouvements a été déterminé aléatoirement pour chaque sujet (tableau II).

2.2.2 RÉPÉTITIONS MAXIMALES

Les valeurs de RM pouvant être accomplies à 40, 60 et 80% de la force maximale (pour les RM isocinétiques, le pourcentage d'intensité est déterminé à partir de la force angulaire maximale de la vitesse correspondante) ont été recueillies en trois séances différentes avec un minimum d'une semaine entre les séances. Ces intervalles ont été utilisés pour minimiser les effets d'entraînement possibles attribuables à des séances trop rapprochées. Les sujets ont exécuté les 2 mouvements avec les deux types de contractions et les deux vitesses à un seul pourcentage donné de la force maximale, dans une même séance. Les répétitions pour chaque mouvement ont été exécutées de façon continue (sans pause entre les répétitions) à la vitesse donnée. Cette vitesse était réglée au moyen d'un métronome pour les contractions anisocinétiques et par le dynamomètre lors des contractions isocinétiques. Une pause de cinq à dix minutes était allouée entre chaque série de répétitions d'un même mouvement. Ceci était réalisé en alternant les mouvements de flexion et d'extension. Notons que pour les contractions isocinétiques, le pourcentage moyen de la force angulaire maximale auquel les sujets exécutaient leurs répétitions nous était transmis directement par l'appareil. Nous avons seulement réglé ce dernier aux

pourcentages minimums sélectionnés (40, 60 et 80% de la force angulaire maximale) afin que le mouvement soit arrêté automatiquement lorsque les sujets n'appliquaient plus cette force minimum pendant plus de deux secondes. Nous avons donné comme directive aux sujets d'appliquer seulement la force nécessaire pour garder le levier en mouvement. Pour les contractions anisocinétiques, le test se terminait lorsque le sujet n'arrivait plus à soulever la charge sur toute l'amplitude de mouvement ou qu'il n'arrivait plus à suivre la vitesse imposée par le métronome (tableau II). Pour deux sujets (coude à 40%), le test s'est terminé lorsque le nombre de répétitions atteignait facilement 100 puisque ceci laisse supposer que l'intensité réelle de la contraction était plus faible que prévue probablement à cause d'une sous-estimation de la force maximale. Les amplitudes de mouvement et les positions étaient les mêmes que lors des tests de forces maximales. Toutes les RM comportaient une portion concentrique et excentrique.

2.3 ANALYSES STATISTIQUES

Les analyses statistiques ont été réalisées au moyen des logiciels SPSS et STATISTICA. Les valeurs rapportées sont les moyennes et écarts types et le seuil de signification retenu est de 5% ($p < 0.05$). Les effets de l'intensité de la contraction (% de la force maximale), de la vitesse (30 et 90⁰/s), du mouvement (flexion et extension) et du niveau de force des sujets (faible et fort) sur le nombre de RM ont été analysés séparément pour le genou et le coude en contractions isocinétique et anisocinétique au moyen de l'analyse de variance pour mesures répétées. Lorsque les analyses de variance se sont avérées significatives, des tests t furent utilisés comme post-test (Service de consultation en recherche quantitative de l'université) afin de préciser les effets principaux et de comparer deux moyennes entre elles (ex : Comparer le nombre moyen de

RM entre les forts et les faibles à 40, 60 et 80% de la force maximale). Des analyses de régression simple et multiple furent aussi utilisées pour établir la relation entre ces variables (coefficients de régression, corrélation et erreur type de l'estimé). Enfin des courbes et diagrammes de dispersion ont permis d'illustrer l'effet des variables étudiées sur le nombre de RM à différentes intensités.

3.0 RÉSULTATS

3.1 CARACTÉRISTIQUES DES SUJETS

Les valeurs moyennes des caractéristiques biométriques (âge, poids et taille) et de force maximale des deux groupes de sujets sont présentées dans le tableau III. Nous avons divisé chaque groupe de dix sujets en deux groupes égaux de niveau de force (faible et fort). Nous avons utilisé la mesure de force angulaire maximale isocinétique à l'extension et à vitesse de 30⁰/s pour classer les sujets selon leur niveau de force. À l'intérieur de chaque groupe, les cinq sujets ayant les plus hautes valeurs étaient classés dans le groupe «fort» et les cinq autres dans le groupe «faible». Cette classification est confirmée par des différences significatives ($p < 0.05$) entre les forces maximales des sujets des niveaux fort et faible pour le coude (231.6 ± 47.7 et 153.4 ± 11.0 respectivement) et le genou (416.0 ± 12.4 et 350.8 ± 28.3 respectivement).

3.2 EFFET DES VARIABLES ETUDIÉES ET DE LEURS INTERACTIONS SUR LE NOMBRE DE RÉPÉTITIONS MAXIMALES

Les effets de l'intensité de la résistance (% de la force maximale), du mouvement (flexion et extension), de la vitesse d'exécution (30 et 90⁰/s) et du niveau de force (faible

et fort), ainsi que leurs interactions sur le nombre de RM en contractions anisocinétique et isocinétique pour le coude et pour le genou sont présentés au tableau IV.

Tableau III- Caractéristiques biométriques et forces angulaires maximales des sujets*

Groupe 1 (coude)	Âge (an)	Poids (kg)	Taille (cm)	Force max. (N•m)**
Fort (n = 5)	20.0±1.2	89.8±8.5	181.0±6.4	231.6±47.7
Faible (n = 5)	30.0±7.1	66.8±5.8	175.2±8.1	153.4±11.0
Total groupe 1	25.0±7.1	78.3±13.9	178.1±7.5	192.5±52.6

Groupe 2 (genou)				
Fort (n = 5)	26.6±14.0	75.4±13.7	172.4±5.9	416.0±12.4
Faible (n = 5)	23.6±3.7	71.5±10.4	175.0±4.5	350.8±28.3
Total groupe 2	25.1±9.8	73.5±11.7	173.7±5.1	383.4±40.1

Total groupes 1 et 2	25.1±8.3	75.9±12.8	175.9±6.7	
-----------------------------	-----------------	------------------	------------------	--

* Les valeurs présentées sont les moyennes et écarts types.

** Force angulaire maximale isocinétique à l'extension à une vitesse de 30°/s.

Il existe des différences significatives entre les forces maximales des sujets des deux niveaux de force (fort et faible) pour le coude et le genou ($p < 0.05$).

Pour les contractions anisocinétiques, en prenant le nombre de RM exécutées comme variable dépendante, l'analyse de variance pour mesures répétées a révélé des différences significatives ($p < 0.05$), entre les trois intensités au niveau du coude comme du genou. Nous avons aussi obtenu des différences significatives ($p < 0.05$) entre les fléchisseurs et extenseurs et entre les deux vitesses d'exécution au niveau du genou seulement. Et enfin, une différence significative a été trouvée ($p < 0.05$), entre les individus forts et faibles au niveau du coude seulement. Pour le genou, on a aussi noté des effets interactifs intensité-mouvement, intensité-vitesse d'exécution et mouvement-vitesse d'exécution alors que

pour le coude, une interaction n'était présente que pour le couple intensité-niveau de force ($p < 0.05$).

Tableau IV- Effets des variables et de leurs interactions sur le nombre de RM

Variables	Articulation du coude (n = 10)		Articulation du genou (n = 10)	
	Contractions isocinétiques	Contractions anisocinétiques	Contractions isocinétiques	Contractions anisocinétiques
Effets simples				
1-Intensité de la résistance		*		*
2-Groupe musculaire ou mouvement			*	*
3-Vitesse d'exécution	*		*	*
4-Niveau de force de l'exécutant		*		
Interactions				
Variables 1 et 2	*			*
Variables 1 et 3				*
Variables 1 et 4		*		
Variables 2 et 3				*
Variables 2 et 4			*	

* p<0.05

Pour les contractions isocinétiques, ce même test statistique a révélé une différence significative ($p < 0.05$) entre les vitesses au niveau du coude comme du genou. Il a aussi révélé une différence significative ($p < 0.05$) entre les fléchisseurs et les extenseurs au niveau du genou seulement. Pour le genou, on a aussi noté un effet interactif mouvement-

niveau de force alors que pour le coude, une interaction était présente pour le couple intensité-mouvement ($p < 0.05$).

3.3 VALEURS DE RÉPÉTITIONS MAXIMALES EN FONCTION DES VARIABLES AYANT UN EFFET SIGNIFICATIF

3.3.1 CONTRACTIONS ANISOCINÉTIQUES

Compte tenu du nombre imposant de données, nous ne présentons ici que les résultats des variables ayant un lien significatif avec le nombre de RM (tableau IV). L'intégralité des résultats anisocinétiques est disponible à l'annexe I (tableau AI).

Puisqu'il n'y avait pas de différence significative ($p > 0.05$) entre le nombre de RM exécutées à vitesse lente et rapide (30 et 90⁰/s) et en flexion et extension lors des contractions anisocinétiques au niveau du coude (tableau IV), les résultats de ces conditions furent combinés (figure 1). Nous avons noté alors des différences significatives ($p < 0.05$) entre le nombre de RM à 40, 60 et 80% de la force maximale des sujets forts seulement (50.3±13.5, 18.4±3.7 et 9.3±1.5 respectivement). Chez les sujets faibles, il n'existait pas de différence significative ($p > 0.05$) entre le nombre de RM à 60 et 80% de la force maximale (36.4±24.9 et 15.3±7.2 respectivement), alors qu'il y avait des différences significatives ($p < 0.05$) entre 40 et 60% (88.0±17.3 et 36.4±24.9 respectivement). Nous avons aussi obtenu une différence significative ($p < 0.05$) entre le nombre de RM des sujets forts et faibles à 40% de la force maximale seulement.

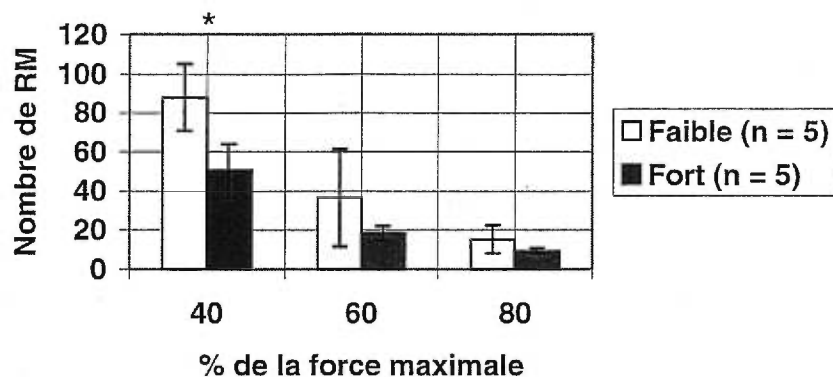
Au niveau du genou cependant, il n'y avait pas de différence ($p > 0.05$) entre le nombre de RM des faibles et des forts (tableau IV). Leurs valeurs ont été regroupées pour

illustrer les différences significatives des autres variables (figure 2). Pour les trois intensités utilisées (40, 60 et 80% de la force maximale) les valeurs de RM pour les flexions à 30⁰/s étaient de 21.1±11.8, 11.0±1.9 et 5.2±1.1 respectivement alors que pour les flexions à 90⁰/s, ces valeurs étaient de 41.1±19.7, 21.9±4.3 et 10.8±2.8 respectivement. Pour les extensions à 30⁰/s, nous avons obtenu des valeurs de 9.5±2.0, 7.9±1.6 et 5.4±1.6 respectivement. Finalement pour les extensions à 90⁰/s, ces valeurs étaient de 18.3±4.1, 12.6±1.9 et 9.7±3.6 respectivement. Le nombre de RM était différent ($p<0.05$) selon l'intensité (40%>60%>80%), le mouvement (flexion>extension) et la vitesse (90⁰/s>30⁰/s). Des interactions significatives ($p<0.05$) entre ces variables indiquaient que le nombre de RM en fonction de l'intensité diminuaient plus rapidement à 90⁰/s qu'à 30⁰/s et en flexion qu'en extension et que les différences dues au mouvement étaient plus prononcées à 90⁰/s qu'à 30⁰/s.

3.3.2 CONTRACTIONS ISOCINÉTIQUES

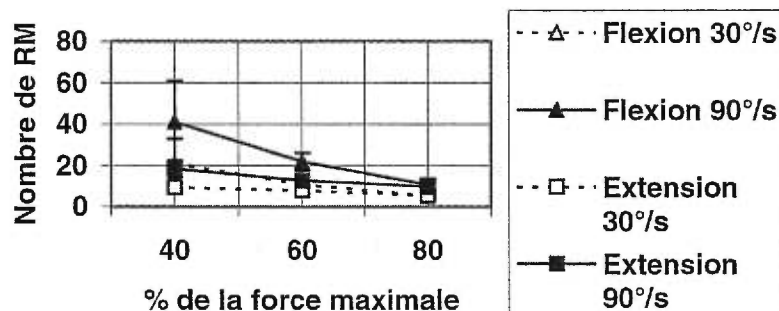
L'intégralité des résultats isocinétiques est aussi disponible à l'annexe II (tableaux AII et AIII). Nous ne présentons ici que les résultats des variables ayant un lien significatif avec le nombre de RM (tableau IV).

Figure 1 - Nombre de RM anisokinétiques pour les mouvements du coude en fonction de l'intensité et du niveau de force



- * à 40%, RM faible > RM fort ($p < 0.05$)
- RM faible à 40% > RM faible (60 et 80%) ($p < 0.05$)
RM fort à 40% > RM fort à 60% > RM fort à 80% ($p < 0.05$)
- Les valeurs illustrées sont les moyennes et écarts types pour les deux vitesses (30 et 90°/s) et les deux mouvements (flexion et extension) combinés.

Figure 2 - Nombre de RM anisokinétiques pour le genou en fonction de l'intensité, du mouvement et de la vitesse

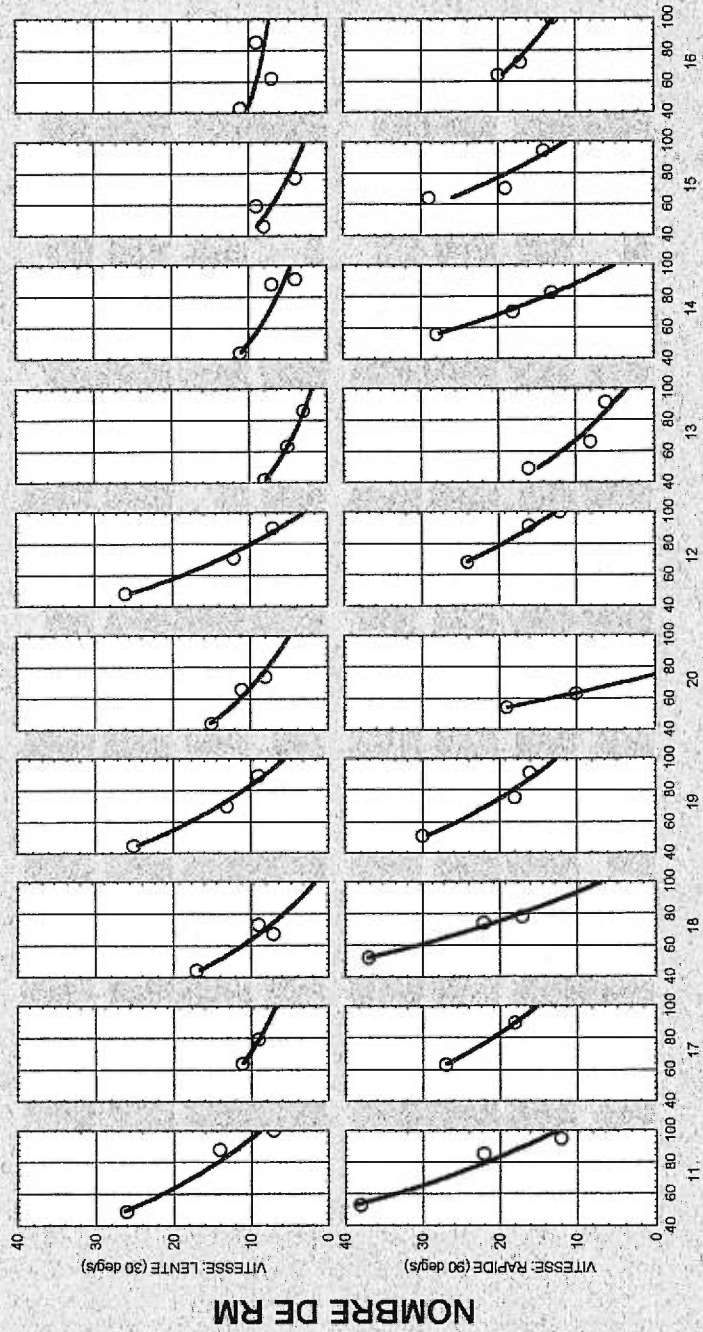


- Les valeurs illustrées sont les moyennes et écarts types des sujets des niveaux fort et faible combinés ($n = 10$).
- Le nombre de RM diffère ($p < 0.05$) selon l'intensité (40% > 60% > 80%), le mouvement (flexion > extension) et la vitesse (90°/s > 30°/s).
Des interactions significatives ($p < 0.05$) entre ces variables indiquent que le nombre de RM en fonction de l'intensité baisse plus rapidement à 90°/s qu'à 30°/s et en flexion qu'en extension et que les différences dues au mouvement sont plus prononcées à 90°/s qu'à 30°/s.

Puisqu'il n'y avait pas de différence significative ($p > 0.05$) entre le nombre de RM exécutées par les sujets forts et faibles lors des contractions isocinétiques au niveau du coude et du genou (tableau IV), les résultats de ceux-ci furent combinés pour toutes les analyses concernant les contractions isocinétiques. Lors des contractions isocinétiques, nous n'avons pas obtenu d'effet significatif de l'intensité (% de la force maximale) sur le nombre de RM ($p > 0.05$) au moyen de l'analyse de variance pour mesures répétées (ce point sera discuté ultérieurement dans la section 4.0). Par contre, les analyses de régression simple ont révélé des coefficients de corrélation (r) variant de -0.43 à -0.67 entre le nombre de RM et l'intensité pour les différentes conditions expérimentales isocinétiques. Il y avait donc une diminution significative ($p < 0.05$) du nombre de RM isocinétiques en fonction de l'augmentation de l'intensité (% de la force maximale) et ce, au niveau du coude et du genou, en flexion et en extension à 30 et 90⁰/s (tableau V). Ces courbes de régression logarithmiques isocinétiques sont présentées à la figure 7. De plus à titre d'exemple, nous présentons les courbes individuelles du nombre de RM isocinétiques en fonction de l'intensité pour chaque sujet lors de l'extension du genou à 30 et 90⁰/s (figure 3). Cette figure illustre bien le fait que le nombre de RM diminue en fonction de l'augmentation de l'intensité pour tous les sujets. Les autres courbes individuelles isocinétiques des sujets, présentant la relation entre le nombre de RM et l'intensité au niveau du coude et du genou, en flexion et en extension à 30 et 90⁰/s, sont disponibles à l'annexe III.

Figure 3 - Courbes individuelles du nombre de RM en fonction de l'intensité en contraction isométrique lors de l'extension du genou à vitesses lente et rapide.

EXTENSION ISOKINETIQUE DU GENOU



**SUJETS FAIBLES (11, 17 à 20) ET SUJETS FORTS (12 à 16)
POURCENTAGE DE LA FORCE MAXIMALE**

Tableau V- Coefficients de corrélation* entre le nombre de RM isocinétiques et l'intensité au niveau du coude et du genou, en flexion et en extension à 30 et 90⁰/s

Articulation du coude	
Mouvement et vitesse	Coefficients de corrélation (r)
Flexion 90 ⁰ /s	-0.63
Flexion 30 ⁰ /s	-0.67
Extension 90 ⁰ /s	-0.45
Extension 30 ⁰ /s	-0.54

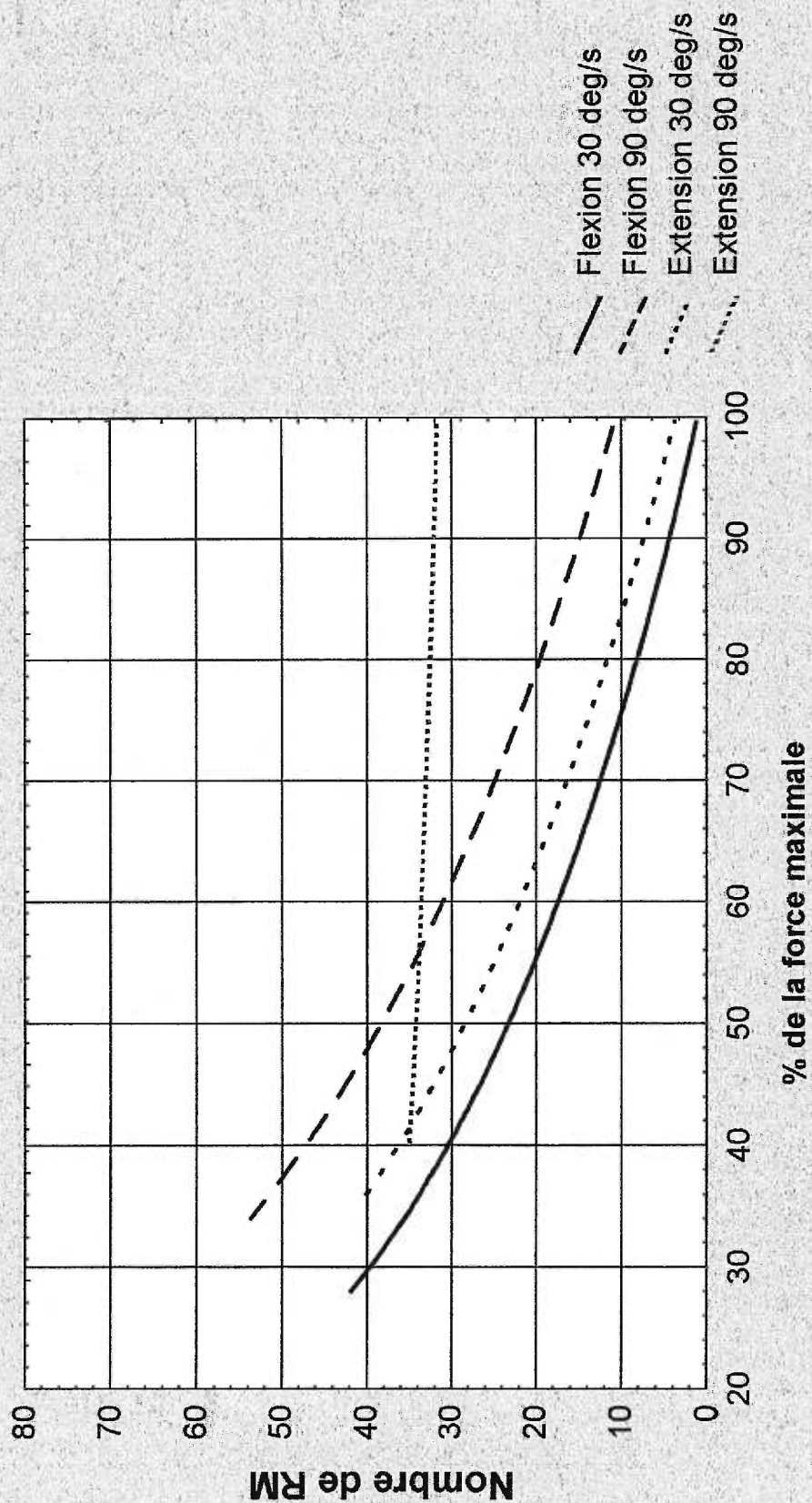
Articulation du genou	
Mouvement et vitesse	Coefficient de corrélation (r)
Flexion 90 ⁰ /s	-0.43
Flexion 30 ⁰ /s	-0.65
Extension 90 ⁰ /s	-0.67
Extension 30 ⁰ /s	-0.57

* Les coefficients de corrélation ont été obtenus à partir des régressions logarithmiques des sujets forts et faibles combinés. Toutes les corrélations sont significatives ($p < 0.05$).

Au niveau du coude, les courbes de régression logarithmiques représentant la relation entre le nombre de RM en fonction de l'intensité (% de la force maximale) pour les deux mouvements (flexion et extension) et les deux vitesses (30 et 90⁰/s), illustrent le fait (obtenu par analyse de variance) que le nombre de RM était significativement plus élevé ($p > 0.05$) à 90⁰/s qu'à 30⁰/s pour les deux mouvements (figure 4).

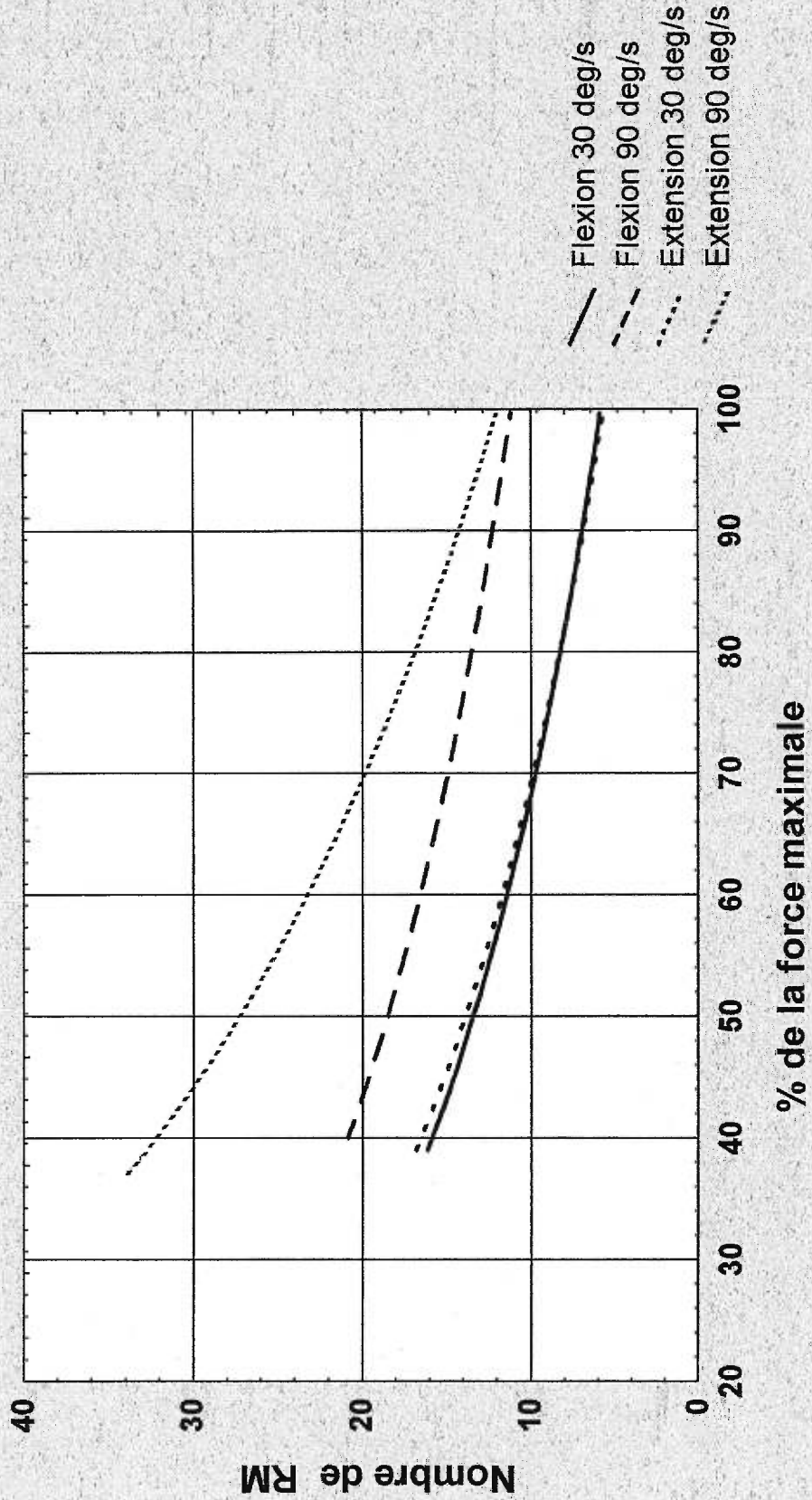
Au niveau du genou, les courbes de régression logarithmiques représentant la relation entre nombre de RM en fonction de l'intensité (% de la force maximale) pour les deux mouvements (flexion et extension) et les deux vitesses (30 et 90⁰/s), illustrent le fait que le nombre de RM soit significativement plus élevé ($p > 0.05$) à 90⁰/s qu'à 30⁰/s pour les deux mouvements (figure 5). Pour illustrer le fait (interaction niveau de force-mouvement) que les faibles exécutaient plus de RM que les forts ($p > 0.05$) en extension seulement (aux deux vitesses), nous présentons les courbes logarithmiques du nombre de RM en fonction de l'intensité pour les sujets forts et faibles séparément et ce, aux deux vitesses (figure 6).

Figure 4 - Nombre de RM isokinétiques pour le coude en fonction de l'intensité, du mouvement et de la vitesse



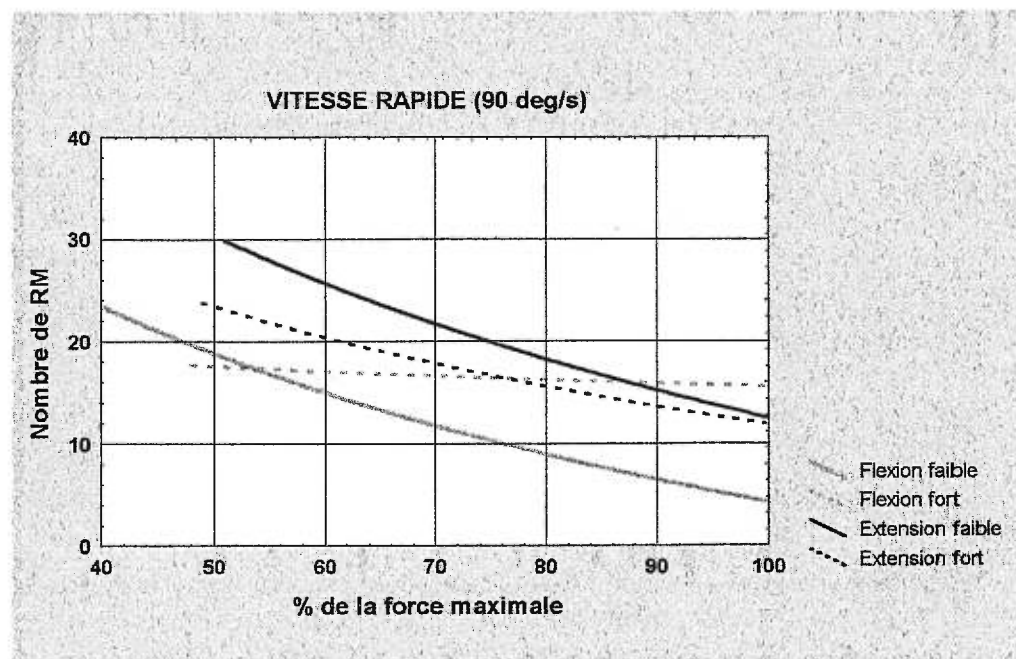
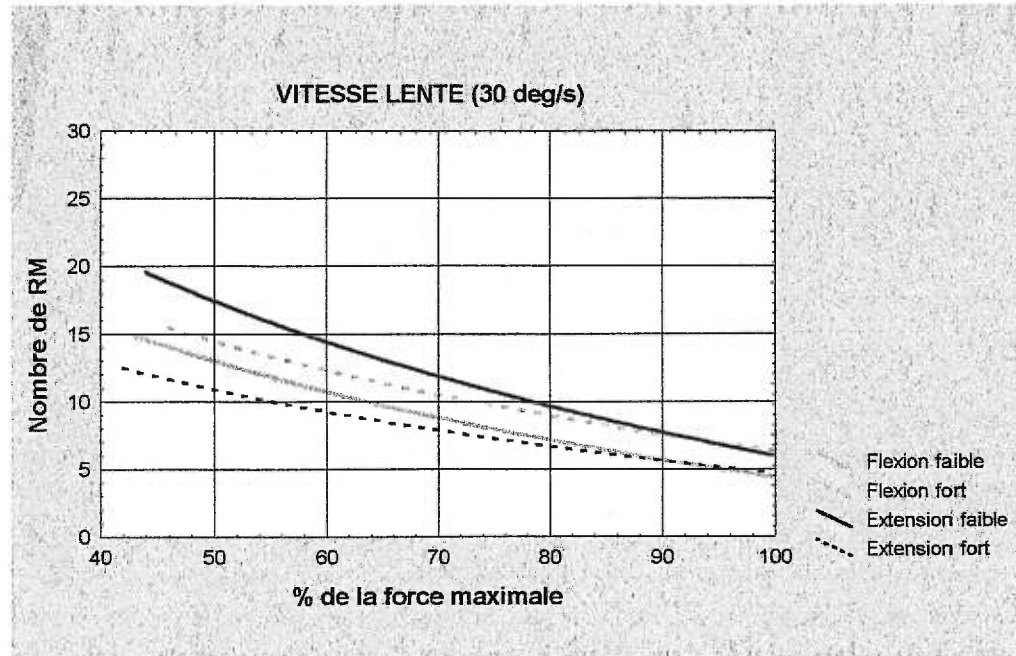
1. Les courbes illustrées représentent les régressions logarithmiques des sujets faibles et forts (n=10)
2. Le nombre de RM diffère ($p < 0.05$) selon la vitesse (90 deg/s > 30 deg/s)

Figure 5 - Nombre de RM isokinétiques pour le genou en fonction de l'intensité, du mouvement et de la vitesse



1. Les courbes illustrées représentent les régressions logarithmiques des sujets faibles et forts (n=10)
2. Le nombre de RM diffère selon la vitesse (90 deg/s > 30 deg/s) et le mouvement (extension > flexion)

Figure 6 - Nombre de RM isokinétiques pour le genou en fonction de la vitesse, du mouvement et du niveau de force



1. Les courbes illustrées représentent les régressions logarithmiques des sujets faibles et forts séparément (n=5)
2. Une interaction ($p < 0.05$) niveau-mouvement révèle que le nombre RM est plus élevé pour les faibles que pour les forts en extension seulement tant à 30 deg/s qu'à 90 deg/s

3.3.3 COMPARAISON ENTRE LES CONTRACTIONS ISOCINÉTIQUES ET ANISOCINÉTIQUES

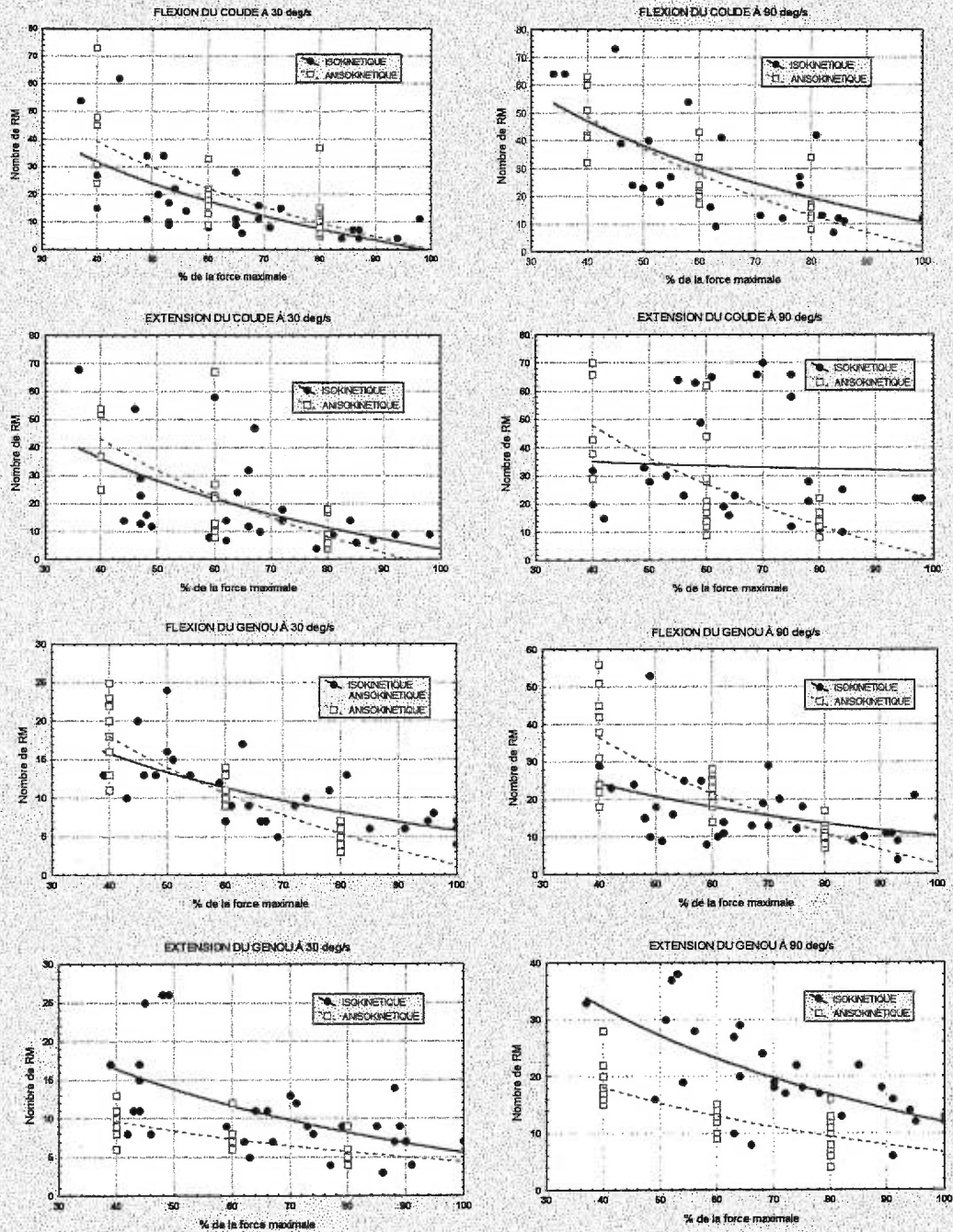
Nous avons comparé les courbes logarithmiques isocinétiques et anisocinétiques présentant le nombre de RM en fonction de l'intensité pour les deux vitesses (30 et 90⁰/s), les deux mouvements (flexion et extension) au niveau du coude et du genou (figure 7). En général, il ne semble pas y avoir de différence de RM (en fonction de l'intensité) entre les contractions isocinétiques et anisocinétiques sauf pour l'extension du genou où le nombre de RM est plus élevé en contractions isocinétiques (aux deux vitesses).

4.0 DISCUSSION

4.1 ASPECTS MÉTHODOLOGIQUES

Les sujets qui ont participé à la présente étude sont comparables, en terme d'âge de poids et de taille, aux sujets masculins entraînés ayant participé à d'autres recherches étudiant la relation entre la force maximale et le nombre de RM pouvant être exécuté à différents pourcentages de la force maximale (Braith, Graves, Legget & Pollock, 1993; Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990). Nous avons utilisé le même critère que Hoeger et al. (1990) pour qualifier nos participants de sujets entraînés, c'est-à-dire pratiquer la musculation régulièrement (à raison d'un minimum de trois séances par semaine) depuis au moins les deux derniers mois précédant l'étude. Nous avons pris soin de familiariser

Figure 7 - Comparaison du nombre de RM en fonction de l'intensité en contractions isokinétiques et anisokinétiques à vitesses lente et rapide, en flexion et extension du coude et du genou



En général, il ne semble pas y avoir de différence de RM entre les contractions isokinétiques et anisokinétiques sauf peut être pour l'extension du genou où le nombre de RM est plus élevé en contractions isokinétiques. Les courbes illustrées représentent les régressions logarithmiques des sujets faibles et forts (n=10)

les sujets avec les appareils et les méthodes de mesure et nous avons utilisé un schème expérimental comparable à celui de Hoeger et al. (1990) qui allouait une semaine entre les différents tests (test de force maximale et tests de RM) et où l'ordre d'exécution des mouvements et groupes musculaires testés et des pourcentages de la force maximale auxquelles les sujets réalisaient les tests de RM, était déterminé aléatoirement (voir sections 2.1 et 2.2).

Tous les tests (force maximale isocinétique et anisocinétique et tests de RM) étaient précédés d'une période d'échauffement et d'étirement et une exécution de répétitions préparatoires sous-maximales tel que mentionné par Keating et Matyas (1996). Les appareils anisocinétiques utilisés sont semblables à celui utilisé par Braith et al. (1993) pour l'exécution de RM (appareil à came à résistance variable) et le dynamomètre isocinétique utilisé a déjà fait l'objet d'une étude sur sa validité et sa fidélité (Farrell & Richards, 1986). Tel que mentionné par Abernethy, Wilson et Logan (1995), nous avons pris soin de stabiliser les sujets et de standardiser les positions et les amplitudes de mouvement lors des tests (section 2.2). Les protocoles de détermination de la force maximale anisocinétique et du moment de force maximal isocinétique sont conformes à ceux utilisés par Hoeger et al. (1990) et Osternig (1986) en terme de nombre d'essais accordés, d'amplitude de mouvement et de durée des périodes de repos. Par contre lors des contractions maximales isocinétiques, nous avons utilisé comme force angulaire maximale, la plus haute valeur des cinq essais à l'angle le plus faible du mouvement (cette information nous était fournie par le dynamomètre). Nous avons fait ce choix afin de rendre la force angulaire maximale isocinétique comparable (en terme de critère mécanique) à la force maximale anisocinétique (Knuttgen & Kraemer, 1987) et dans le but que les pourcentages de la force maximale soient basés sur le même critère et ainsi les

rendre équivalents. À notre connaissance, aucun auteur n'a utilisé cette valeur comme moment de force maximal dans une étude. Ceci serait sûrement dû au fait qu'aucune recherche n'a essayé de comparer le nombre de RM isocinétique et anisocinétique à un même pourcentage de la force maximale. Généralement, les auteurs utilisent la plus haute valeur de la courbe de moment de force ou la force angulaire moyenne de cette courbe (Osternig, 1986).

Le protocole de test de RM anisocinétique est conforme à ceux utilisés dans la littérature (Braith, Graves, Legget & Pollock, 1993; Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990). Toutefois étant donné la nature de cette étude, nous avons utilisé un métronome pour contrôler la vitesse d'exécution des sujets lors des RM. Les vitesses imposées ont été faciles à suivre pour tous les sujets et nous pouvions déterminer clairement lorsqu'un sujet ne suivait plus le rythme imposé. Nous avons choisi des vitesses d'exécution de 30⁰/s et de 90⁰/s parce qu'elles peuvent être facilement réalisées avec les deux types de contraction et que ce sont des vitesses d'exécution courantes en entraînement musculaire (Bompa, 1993). Les repères visuels placés sur les appareils permettaient facilement aux sujets d'exécuter les RM sur l'amplitude désirée et permettaient à l'expérimentateur de déterminer clairement lorsqu'un sujet n'arrivait plus à soulever la charge sur toute l'amplitude de mouvement (il en était de même pour l'amplitude exigée lors de la détermination du 1-RM).

Les RM isocinétiques furent exécutées alors que nous avons réglé le dynamomètre de sorte que le bras de levier ne puisse être en mouvement que lorsque la force angulaire minimale requise était appliquée (40, 60 ou 80% de la force angulaire maximale). Un arrêt de plus de deux secondes terminait le test. Cette procédure a causé quelques

problèmes expérimentaux puisque les sujets appliquaient toujours une force angulaire grandement supérieure à celle requise même si on leur demandait de rester juste au-dessus de la force nécessaire pour mobiliser le levier de force. L'intensité des RM isocinétiques était donc sous le contrôle subjectif des sujets et ceux-ci avaient beaucoup de difficulté à la maintenir dans une étendue restreinte. De plus, le dynamomètre nous indiquait la force angulaire moyenne appliquée durant les RM (et par conséquent le % de la force angulaire maximale). Ainsi, pour chaque sujet et pour chaque test de RM il existait une intensité moyenne spécifique (% moyen de la force maximale) et une variabilité d'intensité correspondante. Cette difficulté de contrôle de l'intensité par les sujets jumelée au fait que nous obtenions des intensités moyennes avec de grandes variabilités pour chaque cas, nous a menés à des intensités isocinétiques très peu différentes d'un individu à l'autre et d'un test de RM à l'autre. Autrement dit, nous n'avons pu obtenir trois intensités distinctes voisines de 40, 60 et 80% en contractions isocinétiques. En conclusion, nous croyons qu'étant donné le niveau des sujets, les temps de repos alloués, le fait que l'ordre d'exécution des mouvements, des vitesses et des intensités aient été déterminé aléatoirement, les données globales de cette étude n'ont pas été affecté par la fatigue.

4.2 EFFET DE L'INTENSITÉ SUR LE NOMBRE DE RM

En contraction anisocinétique, l'effet significatif ($p < 0.05$) de l'intensité de la résistance (% de la force maximale) que nous avons obtenu (tableau IV) est comparable à celui démontré par d'autres auteurs (Braith, Graves, Legget & Pollock, 1993; Hoeger, Hopkins, Barette & Hale, 1990). D'autre part, en contraction isocinétique, l'analyse de variance n'a pu démontrer un effet significatif de l'intensité mais ceci est probablement dû au fait que les intensités moyennes utilisées par les sujets pour chacune des conditions

expérimentales (flexion et extension du coude et du genou à 30⁰/s et 90⁰/s) n'étaient pas assez différentes. D'ailleurs, l'effet intensité a pu être nettement confirmé par les coefficients de corrélations entre ces deux variables (tableau V, et figure 7) ainsi que par les courbes individuelles (figure 3). La présente étude a aussi permis d'établir que la relation entre le nombre de RM et l'intensité est semblable pour les contractions isocinétiques et anisocinétiques (figure 7). Aucune autre étude n'avait démontré ce phénomène antérieurement.

Étant donné que nous avons établi l'effet de l'intensité pour les contractions isocinétiques, nous traitons avec prudence la courbe isocinétique obtenue lors de l'extension du coude à 90⁰/s (figure 7) car nous croyons qu'elle contient des erreurs expérimentales. En effet, la série de points située en haut du graphique change artificiellement la pente de la courbe. Il est possible que la mesure de la force maximale ait été sous-estimée dans certains cas de sorte que les données des sujets concernés se retrouvent en haut des autres puisque l'intensité réelle était alors plus faible que prévue. Quelle que soit l'explication, nous savons que ces points sont associés à des valeurs de RM anormalement élevées (entre 60 et 70) pour les intensités correspondantes (entre 60 et 80%). Si nous éliminions ces points, nous obtiendrions une courbe comparable aux autres. Nous croyons aussi que l'interaction intensité-mouvement au niveau du coude en contraction isocinétique (tableau IV) est due à cette même erreur.

4.3 EFFET DU MOUVEMENT SUR LE NOMBRE DE RM

L'effet significatif ($p < 0.05$) du mouvement sur le nombre de RM n'était présent que pour l'articulation du genou, pour les deux types de contraction (tableau IV).

Conformément à nos données, la revue de Osternig (1986) rapporte que généralement, le ratio de force angulaire isocinétique des fléchisseurs sur les extenseurs du genou est d'environ 0.6 (pour des vitesses comparables à celles utilisées dans notre étude). Cette différence de force entre ces groupes musculaires pourrait expliquer leur endurance relative différente à une intensité donnée. Dans leur étude, Hoeger et al. (1990) rapportent un nombre de RM anisocinétique significativement plus élevé pour les extenseurs du genou comparativement aux fléchisseurs. Nous avons obtenu le même résultat lors des contractions isocinétiques (figure 5), mais l'inverse pour les contractions anisocinétiques (figure 2). Nous ne pouvons attribuer ces différences qu'au type d'appareils et d'exercices utilisés qui étaient différents (appareil à came vs appareil à poulie ronde; exercices unilatéraux vs bilatéraux) entre notre étude et celle de Hoeger et al. (1990). A cet égard, il est intéressant de constater que le ratio fléchisseurs-extenseurs se situe autour de 0.86 pour nos données anisocinétiques ce qui s'explique probablement par le fait qu'avec l'appareil à came utilisé pour la flexion du genou, il était facile de faire un grand nombre de RM. Quoiqu'il en soit, il existe une telle gamme d'appareils et de conditions d'entraînement qu'il apparaît difficile d'être très conclusif à ce sujet mais qu'il apparaît certain que le nombre de RM peut varier selon qu'on travaille en flexion ou extension.

4.4 EFFET DE LA VITESSE SUR LE NOMBRE DE RM

L'effet de la vitesse sur le nombre de RM semble généralisé à toutes les conditions sauf pour le coude en contractions anisocinétiques (tableau IV). Ceci va dans le même sens que notre hypothèse de départ qui attribuait un plus grand nombre de RM à vitesse rapide en raison d'un temps de contraction total inférieur comparativement à la vitesse

lente (ratio durée à vitesse rapide / durée à vitesse lente de ~0.6 pour nos données du genou et de 0.33 pour le coude). Ceci est appuyé par les conclusions de Kellis & Baltzopoulos (1995) et Baltzopoulos & Brodie (1989) qui rapportent que le temps total de contraction affecte l'endurance du muscle

4.5 EFFET DU NIVEAU DE FORCE SUR LE NOMBRE DE RM

L'effet du niveau de force sur le nombre de RM n'était significatif que pour le coude en contraction anisocinétique (tableau IV). Dans leur étude, Hoeger et al. (1990) ont aussi obtenu un effet du niveau de force, mais à l'opposé de nos résultats. En effet dans leur recherche, les forts exécutaient plus de RM que les faibles. Il faut toutefois noter que pour ces auteurs, les forts étaient des sujets entraînés et que les faibles ne l'étaient pas. Cela explique le plus grand nombre de RM des forts (entraînés). Ceci est différent des sujets de notre étude puisque tous nos sujets étaient entraînés et que la différence de force n'était pas attribuable à l'entraînement. Ainsi ce résultat de notre étude (RM des faibles > RM des forts), est appuyé par les conclusions de Heyward (1975) qui rapporte que les sujets forts possèdent une moins grande endurance relative que les plus faibles. Il explique cette conclusion par le niveau critique d'occlusion musculaire ou le point où la tension intramusculaire est supérieure à la pression sanguine et bloque la circulation intramusculaire nuisant ainsi aux fonctions musculaires (ce phénomène serait plus important chez les sujets forts possédant une plus grande masse musculaire). Des différences au niveau de la typologie musculaire des forts et des faibles pourrait aussi expliquer ce résultat. En effet, si les forts possédaient une plus grande proportion de fibres «rapides» (ou type IIb) cela pourrait affecter leur endurance musculaire relative (Brooks et al., 1996) L'effet du niveau de force n'a été observé que pour le coude en contraction

anisocinétique. Il est possible que la charge maximale des faibles était si petite pour les mouvements du coude, qu'un pourcentage donné de celle-ci (ex. 40%) ne suffisait pas à fatiguer le muscle. Ceci pourrait expliquer un si grand nombre de répétitions à 40% de la charge maximale chez les faibles (80.8 ± 30.19). Ce phénomène n'était pas présent au niveau du genou en raison des charges plus élevées. Il faut aussi mentionner qu'une détermination incorrecte (inférieure à la valeur réelle surtout pour les sujets faibles) de la force maximale peut mener à ce résultat mais rien ne nous indique que ce fut le cas.

4.6 EFFET DU TYPE DE CONTRACTION SUR LE NOMBRE DE RM

En général nous n'avons pas observé de différence entre les types de contraction. Il semble que l'augmentation de l'intensité a le même effet sur le nombre de RM en contractions isocinétiques et anisocinétiques (figure 7). Toutefois le contrôle de l'intensité qui est subjectif lors de l'utilisation du dynamomètre isocinétique, en fait un appareil peu recommandable pour l'entraînement à un pourcentage donné de la force maximale. Cependant, ce type d'appareil convient tout à fait à des séries d'exercices exécutés à contractions maximales à différentes vitesses.

4.7 INTERACTION ENTRE L'INTENSITÉ ET LES AUTRES VARIABLES

Les interactions principales impliquant l'intensité (3 interactions sur 5, tableau IV) indiquent en général, que plus une condition favorise un nombre élevé de RM (vitesse rapide, flexion anisocinétique du genou, sujets faibles en contraction anisocinétique du coude), plus le nombre de RM diminue rapidement avec l'augmentation de l'intensité.

4.8 SYNTHÈSE DE L'EFFET DES VARIABLES ÉTUDIÉES

Le tableau VI résume le sens de l'effet des variables étudiées sur le nombre de RM.

Tableau VI – Synthèse du sens de l'effet des variables étudiées sur le nombre de RM

Variables étudiées	Sens de l'effet sur le nombre de RM
Intensité	RM 40% > RM 60% > RM 80%
Vitesse	RM 90 ⁰ /s > RM 30 ⁰ /s
Niveau de force	RM faible ≥ RM fort
Articulation	RM coude > RM genou
Mouvement	RM flexion ≥ ou < RM extension
Type de contraction	RM isocinétique = RM anisocinétique
État d'entraînement*	RM entraîné > RM non entraîné*

* Le sens de l'effet de cette variable n'a pas été étudié dans cette recherche et a été obtenu à partir des études de Braith et al. (1993) et Hoeger et al. (1990).

5.0 CONCLUSION

Les résultats obtenus lors de cette étude permettent de conclure que plusieurs facteurs peuvent influencer la relation entre la force maximale et le nombre de RM pouvant être exécuté à différents pourcentages de cette force. L'individu (niveau de force), le type d'appareil utilisé (isocinétique ou anisocinétique) la vitesse d'exécution

(rapide ou lente), le groupe musculaire à entraîner et l'intensité de la résistance sont autant de facteurs que le spécialiste de l'exercice doit considérer lors d'une prescription en entraînement musculaire. Alors que l'augmentation de l'intensité amène toujours une baisse du nombre de RM et qu'une vitesse d'exécution de 90⁰/s se traduit toujours par un plus grand nombre de RM qu'à 30⁰/s, il est difficile de conclure définitivement sur le sens des effets des autres variables, surtout lorsqu'elles sont combinées et qu'elles interagissent. Il est maintenant évident que l'utilisation de tableaux et d'équations de prédiction du nombre de RM à exécuter en fonction de l'intensité doit se faire avec beaucoup de jugement critique puisque ces outils ne tiennent généralement pas compte des facteurs étudiés dans cette recherche et peuvent mener à des prescriptions erronées. Jusqu'à ce que d'autres recherches étudiant l'influence de ces variables (et d'autres) sur le nombre de RM permettent de préciser de telles équations de prédiction, les spécialistes de l'exercice devront personnaliser leur approche en considérant ces facteurs en fonction de l'individu et des objectifs visés.

RÉFÉRENCES

- Abernethy, P.J., Jürimäe, J., Logan, P.A., Taylor, A.W., Thayer, R.E. (1994).** Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Medicine*, 17 (1): 22-38.
- Abernethy, P.J., Wilson, G.J., Logan, P. (1995).** Strength and power assessment: issues controversies and challenges. *Sports Medicine*, 19 (6): 401-417.
- American College of Sports Medicine (1998).** The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardio respiratory and muscular fitness and flexibility in healthy adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30: 975-991.
- Baltzopoulos, V., Brodie, D.A. (1989).** Isokinetic dynamometry: applications and limitations. *Sports Medicine*, 8 (2): 101-116.
- Bompa, T.O. (1993).** *Periodization of Strength*. Chandler, AZ: Progenex.
- Braith, R.W., Graves, J.E., Leggett, S.H., Pollock, M.L. (1993).** Effect on training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25 (1): 132-138.
- Brooks, G.A., Fahey, T.D., White, T.P. (1996).** *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Applications, second edition*. Mountain View, CA: Mayfield Publishing Company.
- Farrell, M., Richards, J.G. (1986).** Analysis of the reliability and validity of the Kinetic-Communicator exercise device. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 18: 44-49.
- Feigenbaum, M.S., Pollock, M.L. (1999).** Prescription of resistance training for health and disease. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31 (1): 38-45.
- Fleck, S.J., Kraemer, W.J. (1997).** *Designing Resistance Training Programs*, second edition. Champaign, IL: Human Kinetic Books: 1-115.
- Fletcher, G.F., Balady, G., Froelicher, V.F., Hartley, L.H., Haskell, W.L., Pollock, M.L. (1995).** Exercise standards: a statement for healthcare professionals from the American Heart Association. *Circulation*, 91: 580-615.
- Heyward, V.H. (1975).** Influence of static strength and intramuscular occlusion on submaximal static endurance. *Research Quarterly*, 46 (4): 393-401.

- Hoeger, W.W.K., Hopkins, D.R., Barette, S.L., Hale, D.F., (1990).** Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4 (2): 47-54.
- Keating, J.L., Matyas, T.A. (1996).** The influence of subject and test design on dynamometric measurements of extremity muscles. *Physical Therapy*, 76 (8): 866-889.
- Kellis, E., Baltzopoulos, V. (1995).** Isokinetic eccentric exercise. *Sports Medicine*, 19 (3): 202-222.
- Knuttgen, H.G., Kraemer, W.J. (1987).** Terminology and measurement in exercise performance. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1 (1): 1-10.
- Kraemer, W.J., Duncan, N.D., Volek, J.S. (1998).** Resistance training and elite athletes: adaptations and program considerations. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 28 (2): 110-119.
- Murphy, A.J., Wilson, G.J. (1996).** The assessment of human dynamic muscular function: a comparison of isoinertial and isokinetic tests. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 36 (3): 169-177.
- Osternig, L.R. (1986).** Isokinetic dynamometry: implications for muscle testing and rehabilitation. *Exercise & Sport Sciences Reviews*, 14: 45-80.

ANNEXE I
RÉSULTATS ANISOCINÉTIQUES COMPLETS DE L'ETUDE

(Tableau AI)

ANNEXE II

RÉSULTATS ISOCINÉTIQUES COMPLETS DE L'ÉTUDE

(Tableaux AII et AIII)

Tableau AII- Nombre de RM et forces maximales isocinétiques du groupe 1 (coude) pour les différentes conditions*

Groupe 1 (coude)						
Conditions	Faible (n = 5)		Fort (n = 5)		Total faible et fort**	
	Intensité (%)	Nombre de RM	Intensité (%)	Nombre de RM	Intensité (%)	Nombre de RM
Flexion 90°/s	47.20	56.80	81.60	17.00	64.40	36.90
	± 6.57	± 40.13	± 4.16	± 14.16	± 18.86	± 35.28
Flexion 90°/s	54.00	54.80	73.80	34.40	63.90	44.60
	± 14.28	± 35.90	± 20.89	± 37.16	± 19.84	± 36.08
Flexion 90°/s	57.20	47.40	69.80	35.20	63.50	41.30
	± 15.71	± 35.89	± 19.58	± 14.38	± 18.00	± 26.57
Extension 90°/s	48.00	64.00	74.20	27.00	61.10	45.50
	± 11.85	± 36.39	± 8.14	± 23.12	± 16.81	± 34.74
Extension 90°/s	62.80	35.80	68.60	27.80	65.70	31.80
	± 16.69	± 25.74	± 20.77	± 14.18	± 18.03	± 20.04
Extension 90°/s	62.40	62.60	63.20	22.80	62.80	42.70
	± 15.90	± 29.10	± 22.11	± 6.30	± 18.16	± 28.88
Flexion 30°/s	44.40	37.00	74.40	9.20	59.40	23.10
	± 19.03	± 36.56	± 12.08	± 4.55	± 21.81	± 28.60
Flexion 30°/s	55.60	22.40	68.00	16.00	61.80	19.20
	± 21.89	± 22.90	± 21.71	± 11.16	± 21.57	± 17.31
Flexion 30°/s	58.40	21.20	64.40	16.60	61.40	18.90
	± 13.67	± 20.33	± 13.50	± 11.33	± 13.19	± 15.70
Extension 30°/s	52.20	61.00	73.60	9.20	62.90	35.10
	± 21.29	± 42.04	± 9.40	± 3.11	± 19.18	± 39.18
Extension 30°/s	64.40	31.40	62.00	13.60	63.20	22.50
	± 21.08	± 18.58	± 19.51	± 9.76	± 19.19	± 16.85
Extension 30°/s	64.60	40.80	61.60	11.20	63.10	26.00
	± 14.52	± 37.94	± 19.19	± 2.59	± 16.12	± 29.77
Force max. flexion 30°/s (N•m)	200.80 ± 39.92		178.60 ± 45.76		189.70 ± 40.66	
Force max. extension 30°/s (N•m)	153.40 ± 11.01		231.60 ± 47.73		192.50 ± 52.58	
Force max. flexion 90°/s (N•m)	180.80 ± 47.26		181.40 ± 53.38		181.10 ± 47.53	
Force max. extension 90°/s (N•m)	164.60 ± 32.69		225.40 ± 73.60		195.00 ± 62.52	

* Les valeurs présentées sont les moyennes et écarts types.

** Total faible et fort : n = 10

Tableau AIII- Nombre de RM et forces maximales isocinétiques du groupe 2 (genou) pour les différentes conditions*

Groupe 2 (genou)						
Conditions	Faible (n = 5)		Fort (n = 5)		Total faible et fort**	
	Intensité (%)	Nombre de RM	Intensité (%)	Nombre de RM	Intensité (%)	Nombre de RM
Flexion 90°/s	68.40	12.60	69.60	16.00	69.00	14.30
	±	±	±	±	±	±
	18.64	6.80	19.24	7.81	17.87	7.13
Flexion 90°/s	64.00	22.00	68.80	16.00	66.40	19.00
	±	±	±	±	±	±
	24.19	19.31	21.04	3.67	21.52	13.48
Flexion 90°/s	57.20	16.20	76.20	18.00	66.70	17.10
	±	±	±	±	±	±
	6.46	7.89	17.05	5.83	15.75	6.61
Extension 90°/s	72.00	22.60	75.00	16.40	73.50	19.50
	±	±	±	±	±	±
	20.59	6.15	11.18	7.02	15.70	7.03
Extension 90°/s	67.60	29.40	71.00	18.40	69.30	23.90
	±	±	±	±	±	±
	23.42	21.08	18.55	6.35	20.00	15.78
Extension 90°/s	61.60	24.40	81.40	15.80	71.50	20.10
	±	±	±	±	±	±
	10.71	11.01	19.23	7.43	18.01	9.95
Flexion 30°/s	70.60	7.40	71.40	11.80	71.00	9.60
	±	±	±	±	±	±
	21.09	2.30	20.67	7.16	19.69	5.52
Flexion 30°/s	66.40	9.00	70.80	11.20	68.60	10.10
	±	±	±	±	±	±
	25.52	3.67	20.13	3.49	21.79	3.57
Flexion 30°/s	60.40	13.40	69.80	9.40	65.10	11.40
	±	±	±	±	±	±
	12.16	5.94	18.91	3.29	15.79	4.99
Extension 30°/s	70.80	12.00	62.80	10.40	66.80	11.20
	±	±	±	±	±	±
	16.48	2.83	23.59	9.29	19.65	6.53
Extension 30°/s	67.60	12.20	72.40	7.00	70.00	9.60
	±	±	±	±	±	±
	26.86	4.60	15.24	1.41	20.74	4.22
Extension 30°/s	59.80	15.40	63.80	8.80	61.80	12.10
	±	±	±	±	±	±
	12.32	9.34	19.64	3.11	15.60	7.43
Force max. flexion 30°/s (N•m)	199.00 ± 67.82		191.60 ± 40.05		195.30 ± 52.66	
Force max. extension 30°/s (N•m)	350.80 ± 28.31		416.00 ± 12.35		383.40 ± 40.06	
Force max. flexion 90°/s (N•m)	206.60 ± 67.34		204.80 ± 35.91		205.70 ± 50.89	
Force max. extension 90°/s (N•m)	334.20 ± 48.41		367.80 ± 32.58		351.00 ± 42.74	

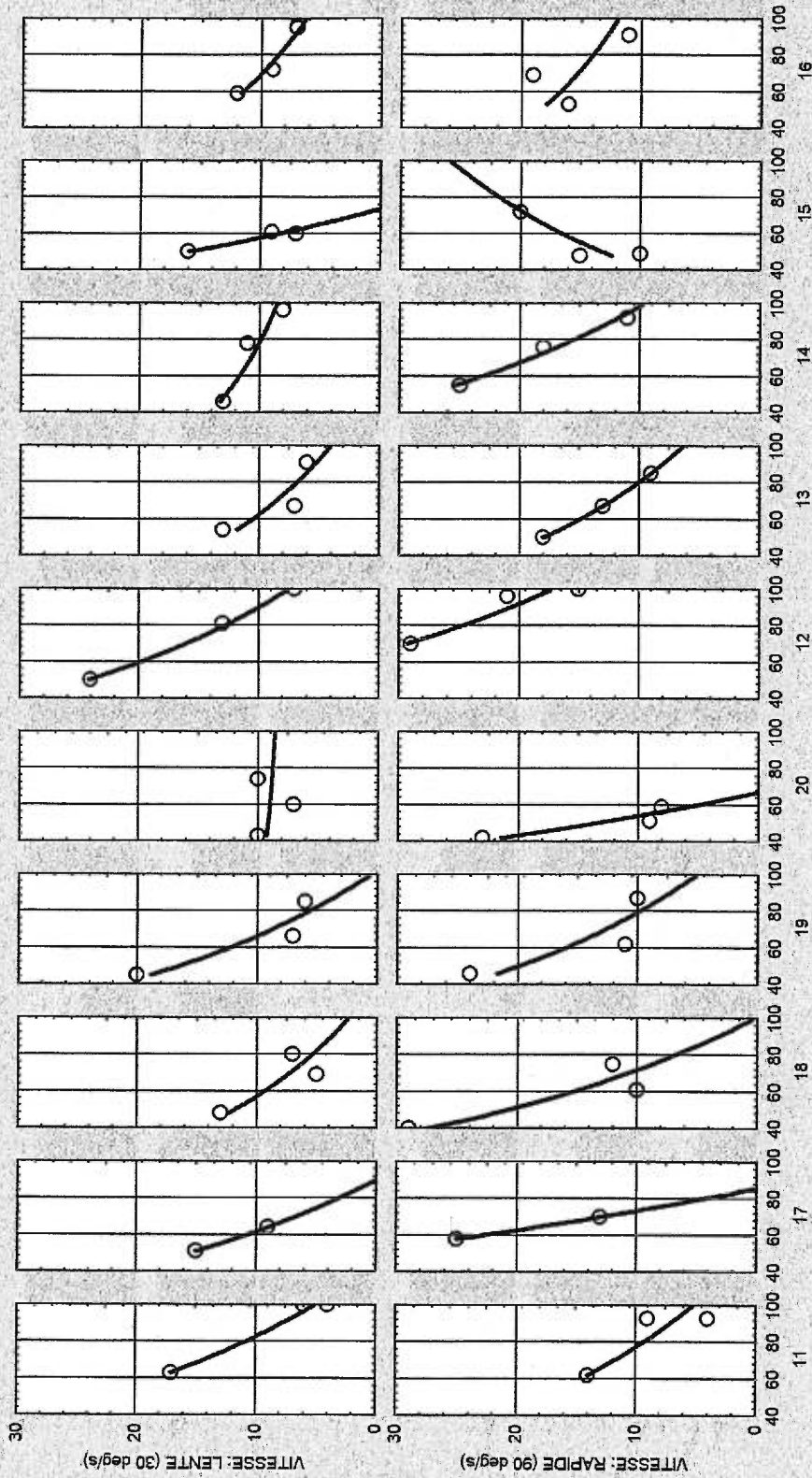
* Les valeurs présentées sont les moyennes et écarts types.

** Total faible et fort : n = 10

ANNEXE III**COURBES ISOCINÉTIQUES INDIVIDUELLES**

1. Extension du genou (voir p 62)
2. Flexion du genou
3. Extension du coude
4. Flexion du coude

FLEXION ISOKINETIQUE DU GENOU

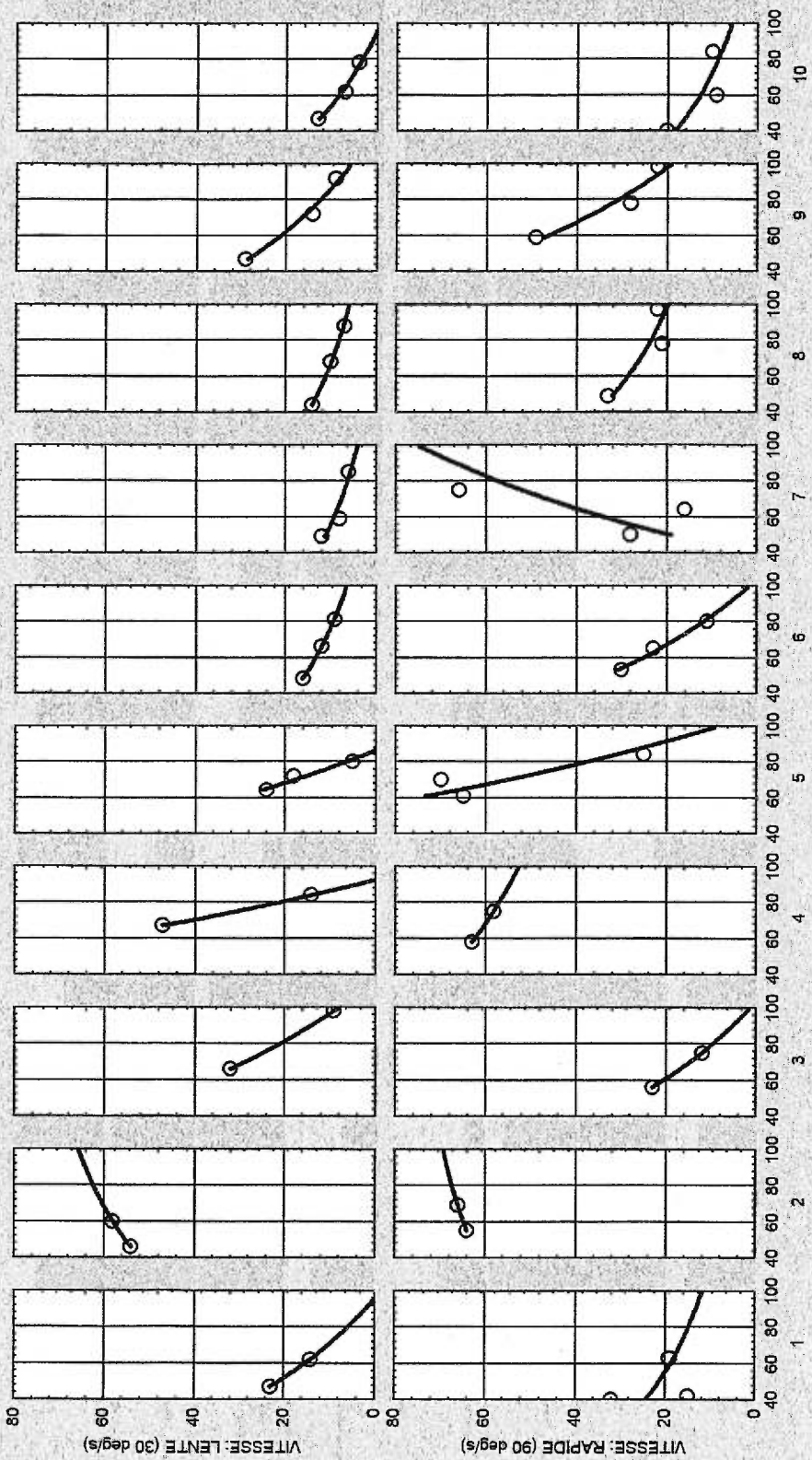


SUJETS FAIBLES (11, 17 à 20) ET SUJETS FORTS (12 à 16)

POURCENTAGE DE LA FORCE MAXIMALE

NOMBRE DE RM

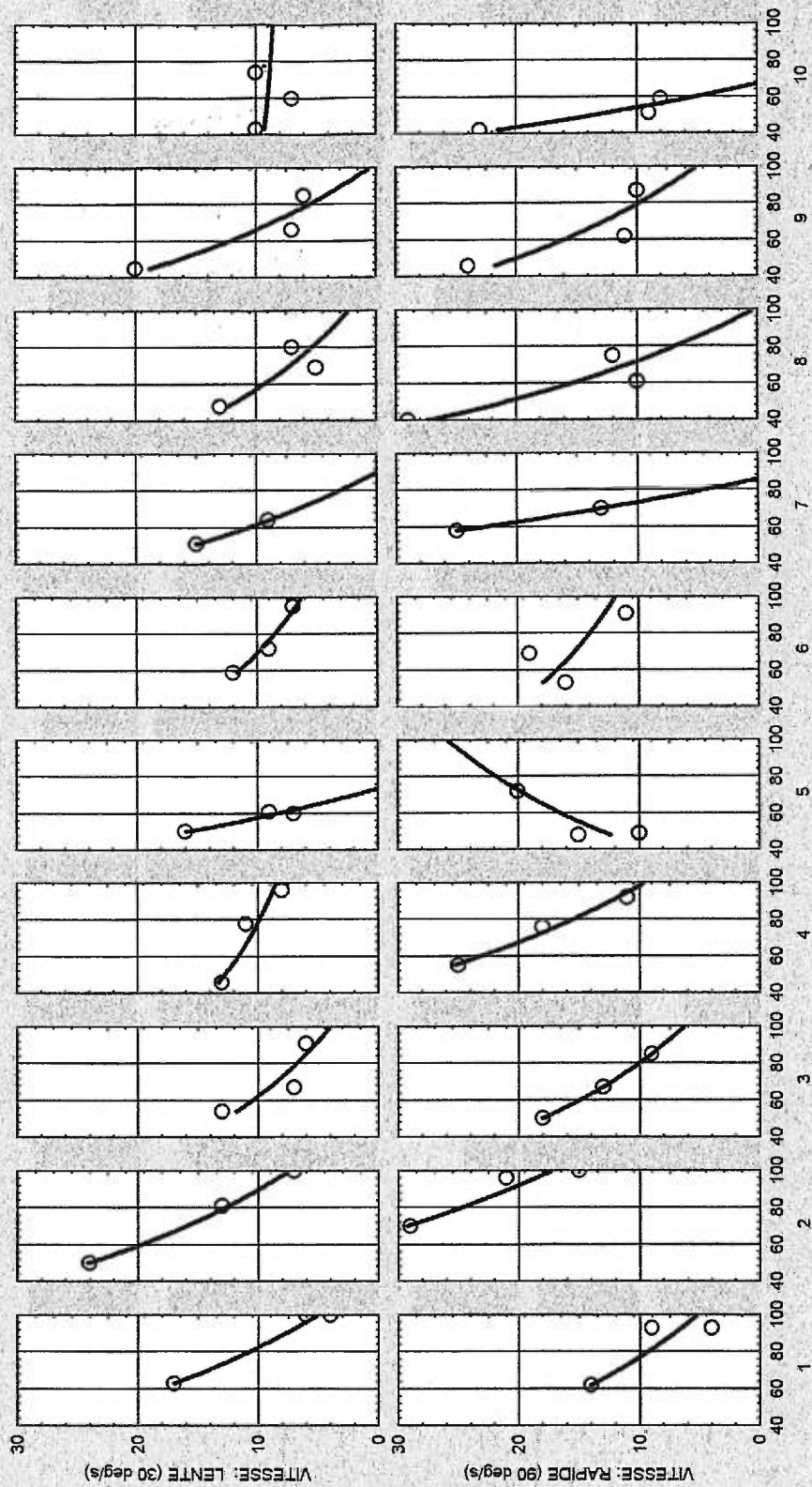
EXTENSION ISOKINETIQUE DU COUDE



SUJETS FAIBLES (1 à 5) ET SUJETS FORTS (6 à 10) POURCENTAGE DE LA FORCE MAXIMALE

NOMBRE DE RM

FLEXION ISOKINETIQUE DU COUDE



NOMBRE DE RM

SUJETS FAIBLES (1 à 5) ET SUJETS FORTS (6 à 10)
POURCENTAGE DE LA FORCE MAXIMALE

REMERCIEMENTS

Je ne peux passer sous silence l'appui, l'aide et le soutien des gens qui m'ont permis de réaliser ce travail de recherche. Je tiens à exprimer ma gratitude aux personnes suivantes pour leur contribution à ce travail qui représente tant pour moi.

Mon directeur de recherche : Dr Luc Léger

Ma femme bien-aimée : Natacha

Mes parents : Pierre et Denise

Mes frères et sœurs : Claudel, Jean-Robert, Marc-Élie, Marie et Rose

Mes amis : Jasmin Tremblay, Martin Lussier

Et aussi : Arthur Long, Carrie Ohla, Chantal Daigle, Daniel Mercier, Paul Dumoulin, Philip Gardiner, ainsi que tous les sujets qui ont participé à cette étude.