

REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION
NATIONALE
UNIVERSITÉ CHEIKH ANTA DIOP
DAKAR

INSTITUT NATIONAL SUPÉRIEUR
DE L'ÉDUCATION POPULAIRE
ET DU SPORT
INSEPS

THEME :

INFLUENCE
DU CYCLE ETREMENT-RACCOURCISSEMENT
SUR LA PERFORMANCE.

MÉMOIRE DE MAÎTRISE ES SCIENCES ET TECHNIQUES DES ACTIVITÉS
PHYSIQUES ET SPORTIVES.

PRÉSENTÉ ET SOUTENU PAR : ABLOULAYE SY

ANNÉE UNIVERSITAIRE

1995-1996

SOUS LA DIRECTION DE :

Mr DJIBRIL SECK
ENSEIGNANT À L'INSEPS

REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTERE DE L'EDUCATION
NATIONALE
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP
DAKAR

INSTITUT NATIONAL SUPERIEUR
DE L'EDUCATION POPULAIRE
ET DU SPORT
INSEPS

THEME :

**INFLUENCE
DU CYCLE ETIREMENT-RACCOURCISSEMENT
SUR LA PERFORMANCE.**

MEMOIRE DE MAITRISE ES SCIENCES ET TECHNIQUES DES ACTIVITES
PHYSIQUES ET SPORTIVES.

PRESENTE ET SOUTENU PAR : ABDOULAYE SY

ANNEE UNIVERSITAIRE

1995-1996



SOUS LA DIRECTION DE :

Mr DJIBRIL SECK
ENSEIGNANT A L'INSEPS

DEDICACES

A mes parents, mes frères et soeurs pour leur soutien et leur affection.

A tous mes amis pour leur amour et leur fidélité.

A tous mes camarades de promotion : Cheikh, Ibou, Anta, Jean ...

A mon entraîneur ~~Moussa~~ DIA qui s'est dévoué corps et âme pour que je réussisse a mes études.

Mention spéciale à Ismaila MBAYE qui a fait de ce mémoire une affaire personnelle.

REMERCIEMENTS

Mes remerciements s'adressent à :

Mon directeur de mémoire Mr Djibril SECK qui n'a ménagé aucun effort pour que ce travail soit d'une bonne qualité.

Mr Gérard DIAME et l'ensemble du service administratif de l'INSEPS

L'ensemble du corps professoral de l'établissement.

Mme Anastasie DIAKHATE et Mr Grégoire DIATTA pour leur précieuse aide.

Mme N'DAO pour sa collaboration.

L'ensemble des athlètes ayant pris part à ce travail

Mme Awa MBAYE pour ses précieux conseils.

L'ensemble du personnel de l'INSEPS

Mr MBargou FAYE

Mr Badara MBENGUE pour sa collaboration.

SOMMAIRE

	PAGES
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 : REVUE DE LITTERATURE	3
1 MODELE MECANIQUE DU MUSCLE	3
2 CARACTERISTIQUES MECANIQUES DU MUSCLE	3
2-1 L'EXCITABILITE	3
2-2 L'ELASTICITE	4
2-3 LA CONTRACTILITE	4
3 LES DIFFERENTS TYPES DE CONTRACTIONS ELEMENTAIRES	4
3-1 LA CONTRACTION ISOMETRIQUE	5
3-2 LA CONTRACTION ANISOMETRIQUE	5
4 LA PLIOMETRIE	6
5 LES RELATIONS CARACTERISTIQUES DU MUSCLE	7
5-1 LA RELATION TENSION-LONGUEUR	7
5-2 LA RELATION FORCE-VITESSE	7
6 LES DETERMINANTS NEURO-MUSCULAIRES DE LA FORCE	9
6-1 LES FACTEURS STRUCTURAUX	9
6-1-1 HYPERTROPHIE	9
6-1-2 LES FIBRES MUSCULAIRES	9
6-1-3 L'AUGMENTATION DES SARCOMES EN SERIE	10
6-2 LES FACTEURS NERVEUX	10
6-2-1 LE RECRUTEMENT DES FIBRES	10
6-2-2 LA SYNCHRONISATION DES UNITES MOTRICES	11
6-2-3 LA COORDINATION INTER- MUSCULAIRE	12

6-3 LES FACTEURS LIES A L'ETIREMENT	13
6-3-1 LE REFLEXE MYOTATIQUE	13
6-3-2 L'ELASTICITE SERIE	14
CHAPITRE 2 : MATERIEL ET METHODE	16
I MATERIEL	16
II METHODE	18
1 PRECAUTIONS	18
2 DEROULEMENT	18
III : PROTOCOLES	19
1 LE COUNTER MOVEMENT JUMP : CMJ	19
2 LE SQUAT JUMP : SJ	19
3 PROTOCOLE DU TEST DE SAUT EN CONTRE BAS ET DETENTE	20
IV : TRAITEMENT STATISTIQUE DES DONNEES	20
CHAPITRE 3 : PRESENTATION DES RESULTATS	21
I MESURES ANTHROPOMETRIQUES DE LA POPULATION	21
1 CHEZ LES SAUTEURS	21
2 CHEZ LES SPRINTERS	22
II RESULTATS DU COUNTER MOVEMENT JUMP	24
1 CHEZ LES SAUTEURS	24
2 CHEZ LES SPRINTERS	25
III RESULTATS DU SQUAT JUMP	28
1 CHEZ LES SAUTEURS	28
2 CHEZ LES SPRINTERS	29
IV RESULTATS DU TEST DE SAUT EN CONTRE BAS ET DETENTE DJ	34

CONCLUSION

52

BIBLIOGRAPHIE

54

INTRODUCTION

L'élasticité des fibres musculaires et les tendons joue un rôle important dans l'atteinte d'une grande efficacité de la performance humaine et du mouvement humain en général.

Mareher, courir, rouler à bicyclette, frapper la balle, lancer le disque ou le marteau sont autant d'activités constituées d'une phase préliminaire au cours de laquelle les muscles sont préalablement étirés (contraction excentrique) ; au cours de la phase subséquente les muscles se raccourcissent (contraction concentrique).

Cette combinaison a donné son appellation à ce qu'il est convenu d'appeler le cycle étirement-raccourcissement ou encore le cycle excentrique-concentrique.

La maîtrise parfaite des tenants et des aboutissants de ce cycle étirement-raccourcissement fait l'objet d'une convoitise de la part des entraîneurs notamment pour ce qui concerne les sports de type vitesse-force-puissance. L'amélioration de la performance par l'acquisition de capacités énergétiques (aérobies ou anaérobies) maximales semble atteindre son plafond ; c'est pourquoi les chercheurs dans le domaine du sport dans leur désir de pousser davantage les limites de la performance humaine s'intéressent de plus en plus au cycle étirement raccourcissement.

Nous nous devons aussi d'exploiter ce domaine si nous voulons prétendre à un plus haut niveau de développement de la performance de nos athlètes.

Dans cette étude, nous allons voir si le cycle étirement-raccourcissement améliore la performance . Nous essayerons également de dégager les mécanismes en cause et les facteurs pouvant influencer le déroulement du cycle étirement-raccourcissement ; et enfin nous

comparerons les résultats des sprinters à ceux des sauteurs pour voir s'il existe une spécificité du cycle étirement-raccourcissement

Notre étude comportera cinq (05) parties :

- La première partie sera consacrée à la revue de la littérature.
- Dans la deuxième nous parlerons de notre méthode d'étude et le matériel qu'on aura à utiliser.
- La troisième partie comportera les résultats de nos tests et leurs interprétations.
- La quatrième partie sera réservée aux discussions.
- Et la cinquième et dernière partie consacrée à la conclusion.

CHAPITRE 1

REVUE DE LITTERATURE

1/ MODELE MECANIQUE DU MUSCLE

On considère que le muscle peut être assimilé à un système mécanique constitué de 3 composantes qui sont :

- une composante contractile représentée par l'ensemble des sarcomères: c'est la composante active
- une composante élastique en parallèle qui est représentée par l'ensemble des formations périphériques :
 - le sarcolemme entourant la cellule musculaire
 - le périmésium
 - les enveloppes fibreuses et les aponévroses.
- une composante élastique en série formée par :
 - les ponts réunissant les filaments de myosine et d'actine
 - les stries Z
 - les tendons

Du point de vue chimique le muscle renferme également de l'eau et des électrolytes, des protéides, des glucides, des lipides et des composés organiques tels que l'ATP et le CP

2/ CARACTERISTIQUES MECANQUES DU MUSCLE

2-1/ L'EXCITABILITE

C'est la capacité d'une cellule vivante à répondre de manière spécifique à une stimulation. Une stimulation électrique, portée directement sur le muscle ou sur son nerf moteur détermine une réponse.

Celle-ci peut être aussi obtenue par un choc mécanique appliqué sur le corps du muscle ou sur un tendon. La contraction volontaire résulte de la mise en jeu de la vie motrice à partir du cortex.

2-2/ L'ELASTICITE

Une structure est élastique lorsqu'elle se déforme sous l'effet d'une force extérieure et reprend sa forme initiale si cette force cesse de s'exercer.

Lorsqu'un muscle est suffisamment étiré, il naît entre ses extrémités opposées une certaine tension. Celle-ci est due à la résistance qu'opposent la structure propre des myofilaments, le sarcolème des fibres, les différentes cloisons conjonctives entourant celles-ci ou les regroupant en faisceaux et aux tendons.

L'élasticité est une propriété du muscle au repos. Normalement insérés sur le squelette, les muscles se trouvent légèrement étirés quelle que soit la position des articulations qu'ils commandent.

La section d'un tendon ou sa rupture accidentelle se manifeste par un raccourcissement du corps charnu du muscle.

2-3/ LA CONTRACTILITE

C'est la capacité du muscle à se raccourcir ou pour employer un terme plus utilisé à s'activer.

La réponse musculaire dépend en effet de la situation dans laquelle se trouve le muscle au moment de la stimulation.

En condition anisométrique, l'une des extrémités du muscle est libre, la stimulation provoque un raccourcissement du muscle si la force créée est suffisante; dans le cas où une force extérieure importante s'exerce sur le muscle celui-ci bien que contracté peut subir un allongement.

3/ LES DIFFERENTS TYPES DE CONTRACTIONS ELEMENTAIRES

Le résultat de la contraction d'un muscle ou d'un groupe musculaire synergique dépend du rapport entre la force de celui-ci (F_m) et la force qui lui est opposée considéré au même point d'application. Les forces extérieures (F_e) mises en balance avec le muscle étudié qui est dit agoniste peuvent être:

- l'inertie du segment du membre mobilisé

- la tension élastique ou la force contractile du muscle antagoniste dont l'action sur la même articulation est de sens opposé.

- l'action de la pesanteur.

3-1/ LA CONTRACTION ISOMETRIQUE

La force musculaire est égale à la force extérieure $f_m + f_e$.

Il n'y a pas de raccourcissement ou d'allongement du muscle.

Il n'y a pas de déplacement des bras de levier osseux.

La contraction isométrique peut être brève ou maintenue.

Elle résulte de la contraction du muscle contre un point fixe, contre son antagoniste, contre son poids.

3-2/ CONTRACTION ANISOMETRIQUE

La force musculaire est différente de la force extérieure, il y a donc mouvement mais deux cas sont possibles :

- f_m supérieure à f_e la force musculaire prédomine ; il s'agit d'une contraction avec raccourcissement, elle est dite concentrique (ou myométrique)

- f_m inférieure à f_e la force extérieure est supérieure la contraction se fait avec allongement du muscle, elle est dite excentrique (ou pleiométrique)

La contraction anisométrique peut être réalisée à vide sans inertie additionnelle, ou au contraire contre une charge. La vitesse de contraction dépend de l'excédent de la force musculaire sur la force extérieure.

Lorsqu'une masse constante est à déplacer, cela ne signifie pas qu'une force constante doit être appliquée à cette masse pour provoquer le mouvement, car la résistance offerte par la masse change avec la vitesse du mouvement. Sauf pour des mouvements extrêmement ralentis. Qu'il s'agisse de contractions isométriques ou anisométriques, celles-ci peuvent être maximales mobilisant la totalité des unités motrices ou sous maximales n'intéressant qu'une partie de celles-ci.

4/ LA PLIOMETRIE

La pliométrie consiste à solliciter un muscle d'abord par une phase excentrique et de laisser se dérouler la phase concentrique qui suit naturellement. Il y a mise en jeu de ce que les physiologistes appellent "the stretch shortening cycle" (le cycle étirement raccourcissement).

Dans les mouvements de la vie courante, contrairement aux situations expérimentales du laboratoire, l'allongement et le raccourcissement musculaires n'interviennent pas isolément; dans bien des cas les muscles se raccourcissent aussitôt après avoir été étiré sans interruption d'activité entre les deux phases du mouvement.

Lors d'une contraction pliométrique, l'efficacité musculaire peut être améliorée de façon spectaculaire Zatsiorski (1966) parle d'une augmentation possible d'une fois et demi de la force musculaire isométrique.

Parlant de la locomotion du kangourou, Cavagna et coll (1971) ont montré qu'au cours de la phase excentrique, un muscle activé est susceptible de stocker une énergie potentielle qui peut être restituée en partie lors de la phase concentrique qui succède.

Cette énergie supplémentaire provenant d'une autre origine que la dégradation de l'énergie chimique en énergie mécanique optimise le déplacement du Kangourou.

5/ LES RELATIONS CARACTERISTIQUES DU MUSCLE

5-1/ LA RELATION TENSION-LONGUEUR

Lors d'un étirement progressif d'un muscle isolé au repos une tension n'apparaît que pour une longueur de celui-ci dénommée longueur d'équilibre : c'est la longueur que prend spontanément le muscle désinséré lorsqu'il n'est soumis à aucune force extérieure.

Lorsque le muscle est normalement inséré sur le squelette par l'intermédiaire de ses tendons, il se trouve à sa longueur de repos ; celle-ci correspond à un faible étirement qui fait apparaître une légère tension.

Si le muscle est étiré la tension croît d'abord modérément puis plus rapidement au-delà de la longueur de repos qui correspond à environ 125% de la longueur d'équilibre.

Lorsque le raccourcissement initial du muscle est maximal, la tension qu'il est susceptible de développer est nulle.

L'incapacité du muscle à développer une tension lorsqu'il est étiré est en accord avec l'hypothèse selon laquelle la contraction du muscle est due au glissement des myofibrilles.

Lorsque les filaments d'actine et de myosine ne se chevauchent plus, il ne peut plus se former de liaison entre leurs groupements respectifs et aucune tension ne peut être activement développée lors de la stimulation.

L'intérêt pratique de la relation force-longueur est classiquement évoquée pour le muscle cardiaque (elle est à la base de la loi Starling) mais très souvent contestée pour le muscle squelettique (AUBERT 1976).

5-2/ LA RELATION FORCE-VITESSE

La vitesse maximale à laquelle un muscle peut se raccourcir dépend de la force qui lui est opposée.

Lorsque la charge est nulle, une vitesse maximale absolue du mouvement peut être obtenue.

Celle-ci est d'autant plus élevée que les segments corporels et les muscles qui les commandent sont petits.

La vitesse maximale diminue avec la force exercée suivant une relation mathématique exponentielle ou hyperbolique suivant les auteurs.

$$\text{Pour FENN : } F = F_0 e^{-V/B} - KV$$

$$\text{pour HILL: } (F + a)(V + b) = b(F_0 + a) = K'$$

F_0 force isométrique maximale

F force au début du mouvement

b, B, k et k' sont des constantes.

Pour une fraction de la force maximale, les muscles blancs ont des vitesses de contractions plus élevées que les muscles rouges.

Dans les mouvements mono articulaires simples dits balistiques (flexion ou extension du coude par exemple), la relation prend en compte la force et la vitesse initiale du mouvement dont la durée ne dépasse pas une ou deux secondes.

Hill (1922) et Lupton (1922) (cités par GOUBELL, 1982) ont montré que la force exercée par le muscle décroît lorsque sa vitesse de raccourcissement augmente.

Dans les mouvements réalisés sur bicyclette ou à la manivelle, l'activité peut être prolongée à puissance élevée pendant plusieurs secondes. La puissance maximale n'est alors atteinte que pour des vitesses correspondant à la moitié de la vitesse maximale, vitesse observée lorsque la résistance opposée aux muscles est nulle.

La relation force-vitesse est dans ce cas linéaire, et la détermination de la pente peut tenir lieu de mesure indirecte de la puissance maximale anaérobie.

La puissance du muscle pour des contractions non maximales est égale au produit de la vitesse par la force exercée.

La puissance maximale est obtenue pour des valeurs sous maximales de vitesse et de force de l'ordre de 35%.

Les muscles blancs produisent leur puissance maximale pour des vitesses supérieures à celles des muscles rouges.

6/ LES DETERMINANTS NEURO MUSCULAIRES DE LA FORCE

La possibilité pour une personne de développer une force importante dépend de différentes facteurs qui sont de 3 ordres:

- les facteurs structuraux touchant à la composition même du muscle.
- les facteurs nerveux concernant l'utilisation des unités motrices.
- les facteurs liés à l'étirement lequel potentialise la contraction

6-1/ LES FACTEURS STRUCTURAUX

6-1-1/ HYPERTROPHIE

Certains traits de la constitution physique influent fortement sur la force maximale ainsi l'épaisseur et la force maximale sont étroitement liées.

L'influence spécifique de la section musculaire sur la force maximale a conduit à des mesures d'entraînement provoquant l'épaississement de chaque fibre musculaire et par là même du muscle entier.

Le nombre de fibres musculaires définit le potentiel de force maximale, plus les fibres musculaires sont nombreuses plus le muscle est épais pour une épaisseur de fibre égale.

L'hypertrophie s'explique par quatre (4) causes principales :

- une augmentation des myofibrilles
- une augmentation des enveloppes musculaires (tissu conjonctif)
- un développement de la vascularisation
- une augmentation du nombre de fibres (augmentation non encore prouvée scientifiquement chez l'homme).

6-1-2/ LES FIBRES MUSCULAIRES

Il existe 2 types de fibres répertoriées dans le muscle

- les fibres lentes I
- les fibres rapides ou de types II qui comprennent :
 - les fibres II a qui sont mixtes à métabolisme anaérobie et aérobie.
 - les fibres IIb qui sont rapides par excellence car à métabolisme anaérobie uniquement.

Il faut noter que ces fibres se transforment : soit dans le sens "lent" vers "rapide", soit dans le sens "rapide" vers "lent".

Dans l'espoir d'obtenir une transformation des fibres de type I en fibres de types II, il faut créer dans le muscle des tensions importantes, la solution idéale consistant à travailler avec charge lourdes.

6-1-3 L'AUGMENTATION DES SARCOMERES EN SERIE

Depuis Golspink (1978), on sait qu'un muscle sous immobilisation voit ses sarcomères se multiplier en série s'il se trouve dans une position d'allongement. Le travail musculaire en amplitude (c'est à dire le fait de solliciter le muscle en prenant garde de lui permettre de s'allonger complètement) est donc susceptible d'augmenter le nombre de sarcomères en série même si rien n'est encore prouvé dans ce domaine.

Inversement, un muscle qui travaillerait trop sur de faibles amplitudes (et proche de la position de raccourcissement maximum), risquerait de voir son nombre de sarcomères diminuer.

Pour espérer un éventuel développement des sarcomères en série, il est conseillé de faire un travail en association à un étirement musculaire.

6-2 LES FACTEURS NERVEUX

6-2-1 LE RECRUTEMENT DES FIBRES

Le recrutement des fibres est expliqué classiquement par la loi d'Henneman ou "size principle" qui montre comment les fibres lentes sont recrutées avant les fibres rapides, quelque soit le type de mouvement.

Il y a donc dans ce cas un passage obligé par les fibres lentes ce qui n'est pas intéressant dans le cas des mouvements explosifs.

La représentation de Costill (cité par COMETTI, 1989) est édifiante à ce sujet : une charge légère entraîne un recrutement des fibres (st) ; une charge moyenne entraîne le recrutement des fibres lentes et des fibres IIa ; une charge lourde entraîne le recrutement des fibres lentes, des fibres IIa et des fibres IIb.

Aujourd'hui les avis sont partagés quand il s'agit de mouvements rapides de type balistique, la loi Henneman serait prise en défaut et les unités motrices de types II pourraient être recrutés directement sans solliciter les unités motrices lentes. Toutefois certains auteurs pensent que même dans les mouvements rapides, le principe de la taille est respecté.

Il semblerait que la loi d'Henneman soit valable pour des muscles ayant plusieurs actions possibles uniquement dans leur fonction première.

6-2-2/ LA SYNCHRONISATION DES UNITES MOTRICES

Pour utiliser son muscle efficacement, il faut le faire fonctionner en synchronisant les fibres; ainsi il importe de savoir comment s'explique le mécanisme de la synchronisation.

Prenons l'exemple d'un groupe de personnes à qui l'on demande de crier un son toutes en même temps : au début les sons sont décalés dans le temps ; avec l'entraînement les individus arrivent à synchroniser leur voix :

les unités motrices fonctionnent de la même manière.

Les unités motrices sont au départ naturellement synchronisées (fig 1a).

Le circuit de Renshaw est l'agent de la désynchronisation par des action inhibitrices sur les motoneurones (fig. 1b).

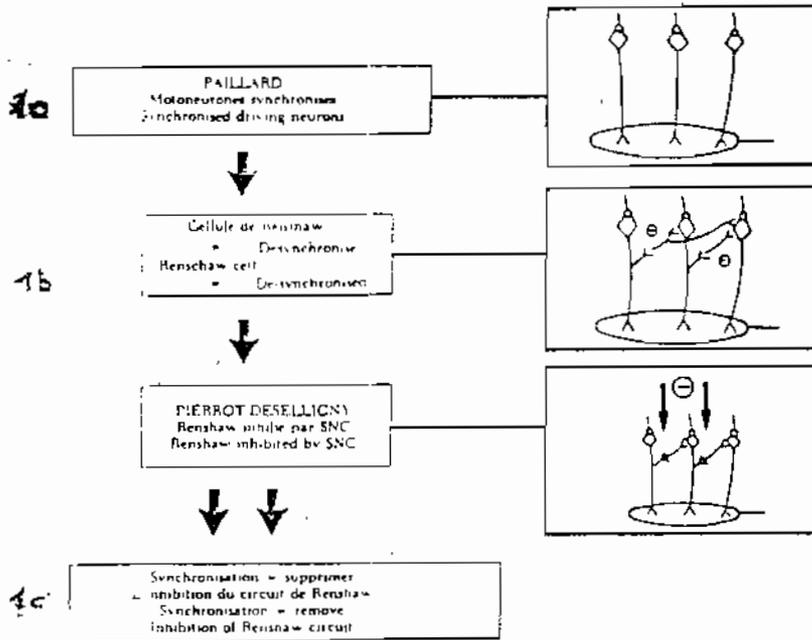


figure n°1

la synchronisation des unités motrices
(Comelli, 1988)

L'entraînement à la force par la mise en place d'inhibitions centrales sur le circuit de Renshaw, permet à l'individu de retrouver la synchronisation initiale (fig. 1c). Le gain de force grâce à la pliométrie renvoie donc à une meilleure coordination intra musculaire grâce à une levée d'inhibition; le stress est un facteur important pour parvenir à ce résultat.

Les sauts en contrebas sont à cet effet exemplaires et particulièrement efficaces. Selon Sale (cité par COMETTI, 1989) la synchronisation des unités motrices ne permettrait pas une augmentation de la force maximale mais une amélioration de l'aptitude à développer beaucoup de force sur peu de temps.

Pour améliorer la synchronisation des unités motrices, il faut travailler avec des charges lourdes proches du maximum voire supérieures au maximum grâce à un travail en excentrique.

6-2-3 LA COORDINATION INTER MUSCULAIRE

De nombreuses études montrent la spécificité de l'amélioration de la force.

En effet, un progrès en squat ne s'accompagne pas toujours d'un progrès en force du quadriceps testé sur une machine analytique.

Ceci montre que le gain de force est dû en partie à des coordinations inter musculaires qui sont spécifiques des mouvements employés pour améliorer la force.

L'entraînement de force devra être combiné avec des exercices se rapprochant de la technique spécifique de la discipline; ainsi il est de plus en plus fréquent pour les sauteurs de coupler le travail de squat avec des bondissements.

6-3/ LES FACTEURS LIES A L'ETIREMENT

Un muscle étiré produit une force supérieure ; les explications sont aujourd'hui de deux (2) sortes :

- intervention du réflexe myotatique
- le rôle joué par l'élasticité série.

6-3-1/ LE REFLEXE MYOTATIQUE

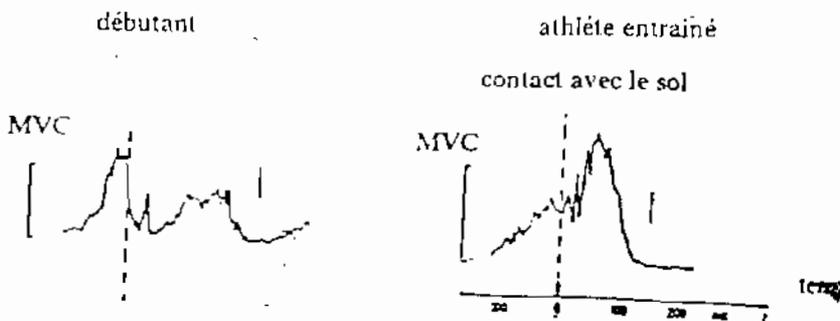


figure 2

participation du réflexe myotatique (d'après Schmidtbleicher)

(Comelli, 1988)

Il est mis en évidence par Schmidtbleicher (1985) sur le saut en contrebas.

Sur la figure 2 sont représentées les stratégies de l'athlète au cours de la réalisation d'un saut en contrebas de 1,10 m.

La ligne verticale (tiret) représente le mouvement du contact au sol. L'abscisse représente le déroulement temporel. Le tracé figure l'activité électrique du triceps:

- le débutant développe une force supérieure à la MVC (contraction maximale volontaire) alors qu'il est en l'air; le réflexe d'étirement survient (1er pic sur la courbe) alors que l'activité électrique baisse; il ne va donc pas s'ajouter à l'action volontaire du sujet.

- l'athlète entraîné prépare son muscle avant le contact au sol (60 % de la MVC environ) pour agir au maximum lors du contact, le réflexe myotatique s'ajoute alors à cette activité.

Le rôle du réflexe d'étirement lors des impulsions de type athlétique est donc aujourd'hui démontré.

6-3-2/ L'ELASTICITE SERIE

Zanon (cité par COMETTI, 1988) avait depuis longtemps attiré l'attention des physiologistes sur le rôle de l'élasticité dans la pliométrie. Grâce à Hill on représente l'élasticité musculaire par le schéma de la figure3

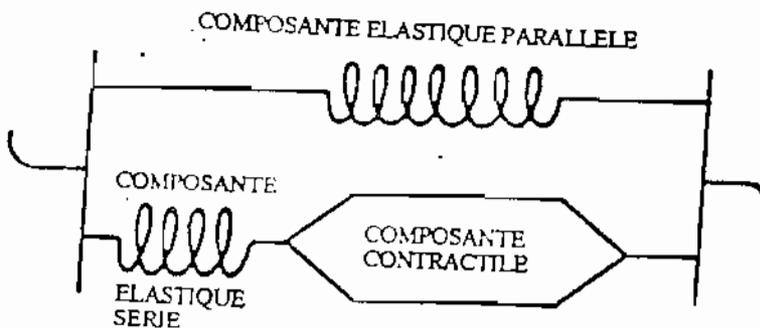


figure3

l'élasticité musculaire (schéma de Hill)

(Cometti, 1988)

On distingue sur ce schéma une élasticité en parallèle qui se trouve dans les enveloppes musculaires, et une élasticité en série que l'on attribuait classiquement aux tendons.

On sait aujourd'hui que l'élasticité parallèle n'intervient pas dans les mouvements de type sportif. C'est donc sur l'élasticité en série qu'il nous faut porter notre attention. Grâce aux spécialistes de la biomécanique musculaire comme Goubel (1978) et Thys (1987) on sait aujourd'hui que l'élasticité en série se situe également à l'intérieur même de la contractilité.

En effet la représentation des liaisons entre actine et myosine (ponts d'actine myosine) a évolué ces dernières années, d'une représentation simple de la myosine sous forme d'une queue et d'une tête (fig. 4a) on est passé à une représentation plus complexe (fig. 4b).

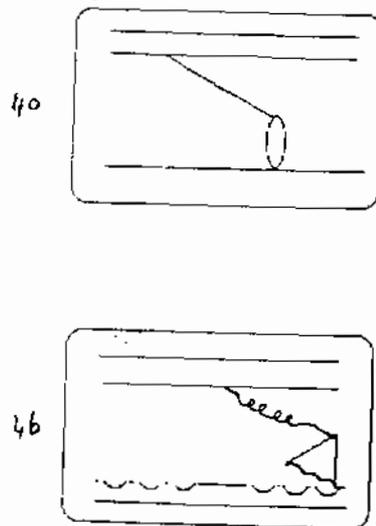


figure 4

les ponts d'actine-myosine et l'élasticité série (d'après Huxley)

(Cometti, 1988)

CHAPITRE 2

MATERIEL ET METHODE

I/ MATERIEL

1/ Population d'étude

Nous avons travaillé avec une population totale de 24 sujets dont :

- 12 sprinters (spécialistes du 100-200m) issus de différentes équipes de Dakar.
- 12 sauteurs (longueur, triple-saut et hauteur) issus des différentes équipes de Dakar.

Ces sujets sont d'un très bon niveau comme l'atteste leurs performances. (tableau A et B).

N° Sujet	Spécialités		Meilleures Performances	
			100m	200m
1	100m	200m	10"6	22"
2	100m	200m	10"2	21"1
3	100m	200m	10"9	22"1
4	100m	200m	10"4	21"2
5	100m	200m	10"6	21"5
6	100m		10"6	
7	100m		10"6	
8	100m		10"5	
9	100m	200m	10"3	21"7
10	100m		10"6	
11	100m	200m	10"8	22"1
12	100m		10"5	

Tableau A : spécialités et niveau de performance des sprinters.

N° Sujet	spécialités		meilleures performances	
1	Longueur		7,60m	
2	Triple-saut		14,75m	
3	Longueur	Triple-saut	7,17m	14,36m
4	Longueur	Triple-saut	6,86m	14,58
5	Hauteur		2,05m	
6	Hauteur		2,15m	
7	Longueur	Triple-saut	7,58m	15,30m
8	Longueur	Triple-saut	6,91	14,50
9	Longueur	100m	7,21m	10"8
10	Longueur	100m	6,86m	11"2
11	Triple-saut		15,12m	
12	Longueur		7,54m	

Tableau B : spécialités et niveau de performance des sauteurs.

2/ Matériel

Pour la réalisation de notre étude nous avons utilisé le matériel suivant :

- un pèse personne de type SECA pour avoir le poids des sujets.
- un somatomètre gradué en centimètres pour mesurer la taille des sujets.
- une planche graduée en centimètres qu'on a fixé sur le mur du gymnase pour prendre

les mesures aux tests de saut vertical.

- un plinth composé de plusieurs éléments détachables pour le test de saut en contre bas et détente verticale.

- de la poudre de craie, une éponge

II/ METHODE

1/ Précautions

Nous avons pris un certain nombre de précautions pour la réalisation de nos tests.

- nous avons attendu que les sujets aient beaucoup de compétitions dans les jambes pour effectuer les test, c'est ce qui nous a poussé à choisir la période Avril-Mai pour faire les expérimentations.

- Pour mettre tous les sujets dans les mêmes conditions matérielles et climatiques ; nous avons demandé aux sujets de faire les tests en tenue de compétition (ils ont enlevé leurs survêtements); de plus les tests se sont déroulés à la même heure de la journée (le matin à partir de 10 heures).

- Nous avons veillé aussi à ce que les sujets fassent les tests avant leur séance d'entraînement quotidien pour nous assurer de leur fraîcheur physique.

2/ Déroulement

Nous nous sommes servi du saut vertical pour étudier l'influence du cycle étirement-raccourcissement sur la performance.

La stratégie est la suivante : on fait exécuter le saut vertical dans 03 modalités :

- le saut vertical sans élan = le squat jump (SJ)
- le saut vertical avec élan : le counter inovement jump (CMJ)
- le saut vertical à la suite d'un saut en contrebas : le drop-jump (DJ).

III/ PROTOCOLES.

1°) Le counter movement jump: CMJ

Le sujet se met de profil par rapport au mur où on a au préalable fixé une planche graduée en centimètres, il lève le bras et marque du bout de ses majeurs le point de hauteur maximale qu'il atteint.

On demande au sujet de reculer de 20 à 30 cm du mur.

Il saute en hauteur après le mouvement de préparation qu'il choisit et touche le mur du majeur de la main la plus proche de ce mur.

Pour obtenir des marques, on enduit le bout des doigts de craie.

La performance réalisée est la différence hauteur bras tendus pieds au sol et hauteur maximale atteinte en suspension.

On retient le meilleur des 3 essais.

On peut déterminer la puissance correspondante en utilisant la formule de LEWIS (Fox et Mathews, 1977).

$$\text{Puissance} = M * \sqrt{P} * \sqrt{4,9}$$

M = masse du sujet en Kg

P = performance en mètres.

2/ Le squat jump : SJ

Le protocole du squat jump est le même que celui du counter movement jump sauf qu'ici le sujet n'a pas le droit d'effectuer le mouvement préparatoire (counter movement).

On lui impose de sauter à partir d'une position statique, il part d'une position semi fléchie c-à-d une flexion d'environ 70° à 90°.

On lui donne le temps de se stabiliser dans sa position de départ en comptant jusqu'à 5 puis on le laisse sauter.

On retient le meilleur des 3 essais.

3/ Protocole du test de saut en contre bas et détente.

Il s'agit dans ce test de réaliser une détente verticale à la suite d'un saut en contrebas de hauteur variable.

On part d'une hauteur de 30 cm, le sujet réalise alors une certaine performance en détente.

On recommence le test mais cette fois avec 40 cm de hauteur de chute, si le sujet obtient un meilleur résultat qu'avec 30 cm on recommence avec 50 cm, 60 cm et ainsi de suite jusqu'à ce que la performance en détente baisse.

Notons qu'à chaque hauteur de chute le sujet effectue 3 essais et le meilleur de ces 3 essais constitue la performance.

On obtient ainsi dans ce test deux (2) résultats :

- meilleure détente obtenue
- hauteur de chute qui a permis d'obtenir la meilleure détente. (indice de force pliométrique).

IV TRAITEMENT STATISTIQUE

Pour le traitement statistique de nos données, nous avons utilisé une calculatrice CASIO Fx 180V.

pour comparer nos deux groupes (sauteurs et sprinters), nous avons effectué le test de Student

avec:
$$t = (m_1 - m_2) / \sqrt{(s_1^2 / N_1) + (s_2^2 / N_2)}$$

Les degrés de liberté du test sont égaux à $N_1 + N_2 - 2$

Pour comparer les résultats obtenus pour chaque groupe aux différents tests, nous avons utilisé:

$$t = m \text{ différence} / \sqrt{S^2 \text{ différence} / N}$$
; avec nombre de degrés de liberté = N-1

CHAPITRE 3

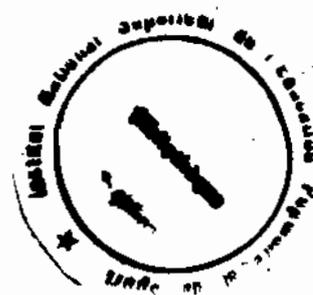
PRESENTATION DES RESULTATS ET INTERPRETATIONS

I/ MESURES ANTHROPOMETRIQUES DE LA POPULATION

1/ Chez les sauteurs

N° Sujet	Age(ans)	poids(kg)	taille (cm)
1	26	67	184
2	23	70	182
3	23	69	188
4	22	75	180
5	39	86	197
6	24	74	184
7	26	87	195
8	20	67	179
9	23	64	176
10	18	71	183
11	27	65	184
12	26	72	183
Moyenne	24,75	72,25	184,58
Ecart type	5,20	7,44	6,12

Tableau N° 1 : Données anthropométriques de la population des sauteurs : âge en années, poids en kilogrammes et taille en centimètres.



2/ Chez les sprinters

N° Sujet	Age (ans)	poids (kg)	taille (cm)
1	24	75	181
2	23	76	184
3	16	68	177
4	24	70	174
5	27	76	186
6	24	66	168
7	23	70	179
8	29	83	187
9	27	69	178
10	26	73	178
11	23	63	183
12	26	70	180
Moyenne	24,33	71,58	179,5
Ecart type	3,25	5,35	5,28

Tableau N° 2 : Données anthropométriques de la population des sprinters : âge en années, poids en kilogrammes et taille en centimètres.

Le tableau N°1 représente les données anthropométriques des sauteurs (âge, taille, poids).

L'âge des sauteurs varie entre 20 et 39 ans avec une moyenne de 24,75 plus ou moins 5,20 ans.

On remarque que le sujet N°5 a contribué à élever la moyenne d'âge de ce groupe.

Le poids de ces sauteurs varie entre 64 et 87 kg avec une moyenne de 72,25 plus ou moins 7,44 kg. Les sujets N° 5 et 7 ont contribué à hausser cette moyenne. Avec une moyenne de 184,58 plus ou moins 6,12 cm pour des tailles comprises entre 176 cm et 197 cm ces sauteurs sont assez grands.

Le tableau N° 2 représente les données anthropométriques des sprinters .

Les sprinters ont un âge compris entre 16 et 29 ans avec une moyenne de 24,33 plus ou moins 3,25 ans. Sur ce tableau nous constatons que ce groupe est plus homogène que celui des sauteurs du point de vue de l'âge.

Le poids des sprinters avec des valeurs comprises entre 63 et 83 kg pour une moyenne de 71,58 plus ou moins 5,35 kg est sensiblement le même que celui des sauteurs. Avec une moyenne de taille de 179,5 plus ou moins 5,28 cm pour des valeurs comprises entre 168 et 187 cm les sprinters sont moins grands que les sauteurs d'environ 5 cm.

II/ RESULTATS DU TEST DE COUNTER MOVEMENT JUMP (CMJ)

1/ Chez les sauteurs

N°1 sujet	Performance (cm)	puissance (watt)	puissance (watt/Kg)
1	65	1172,98	17,50
2	71	1280,79	18,29
3	62	1179,75	17,09
4	60	1261,49	16,81
5	62	1470,48	17,09
6	75	1391,64	18,80
7	70	1580,58	18,16
8	66	1181,90	17,64
9	68	1146,00	17,90
10	66	1252,54	17,64
11	65	1137,96	17,50
12	67	1279,98	17,77
Moyenne	66,41	1277,98	17,68
Ecart type	4,21	137,99	0,56

Tableau N°3 performance en centimètres, puissance développée en watts et puissance massique en watt/kilogrammes des sauteurs au test de CMJ

2/ Chez les sprinters

N°1 sujet	Performance (cm)	puissance (watts)	puissance (watts/kg)
1	71	1372,72	18,29
2	73	1409,99	18,55
3	61	1153,26	16,95
4	69	1262,64	18,03
5	69	1370,84	18,03
6	65	1155,44	17,50
7	67	1244,20	17,77
8	66	1464,24	17,64
9	69	1244,59	18,03
10	71	1335,72	18,29
11	63	1085,86	17,23
12	68	1253,42	17,90
Moyenne	67,66	1279,37	17,85
Ecart type	3,47	144,23	0,46

Tableau N°4 performance en centimètres, puissance développée en watts et puissance massique en watts/kilogramme des sprinters au test de CMJ.

Les tableaux N°3 et 4 présentent les performances réalisées par les sauteurs et les sprinters au test de CMJ. On a calculé par la formule de Lewis (Fox et Matthews, 1977) Les puissances développées. Nous avons normalisé les puissances par la masse du sujet pour avoir un renseignement plus juste sur les capacités intrinsèques de chaque sujet et pour pouvoir faire la comparaison inter sujet.

La performance moyenne des sauteurs est de 66,41 plus ou moins 4,21 cm, ce qui correspond à une puissance moyenne de 1279,98 plus ou moins 137,99 watts et une puissance massique de 17,68 plus ou moins 0,56 watts/kilogramme.

Les sprinters ont réalisé une performance moyenne de 67,66 plus ou moins 3,47 cm, ce qui équivaut à une puissance moyenne de 1279,37 plus ou moins 144,23 watts et une puissance massique moyenne de 17,85 plus ou moins 0,46 watts/kilogramme.

Notons que les performances des sprinters sont supérieures à celles des sauteurs mais de façon non significative ; il en est de même de la puissance développée et de la puissance massique.

Des études ont démontré que les sujets qui présentent les détente verticales les plus élevées possèdent statistiquement un plus grand pourcentage de fibres rapides.

Donc ici ce n'est pas dans une meilleure utilisation du cycle étirement raccourcissement qu'il faut chercher les différences de performance observées entre ces 2 groupes en présence.

En se référant au modèle de Hill à deux composantes (1938) la situation de CMJ mobilise la composante élastique série (CES) en cycle étirement-détente.

Au cours du contre mouvement lors du CMJ, la CES est étirée alors que la composante contractile (CC) est active.

L'énergie potentielle ainsi emmagasinée dans la CES est restituée au cours de la phase concentrique du saut qui succède. C'est la raideur de la CES qui renseigne sur la capacité du muscle à emmagasiner et restituer cette énergie, elle rend compte également de l'effort réellement transmis au sol au cours de l'appel. Cette composante, contrairement à ce que pensait Hill à l'origine stimule les réactions mécaniques d'un élément composite constitué d'une fraction passive et d'une fraction active (Pousson, M. 1995).

La fraction passive de la CES est constituée du matériel tendineux et d'une partie du collagène intramusculaire (Shorten 1987).

La fraction active de la CES se situe au niveau des ponts d'actine-myosine (Pousson, M. 1995)

III/ Résultats du test de squat jump : SJ

1/ chez les sauteurs.

N°1 sujet	Performance (cm)	puissance (watt)	puissance (watts/kg)
1	62	1145,61	17,09
2	69	1262,66	18,03
3	61	1170,25	16,96
4	53	1185,67	15,80
5	53	1359,57	15,80
6	62	1265,30	17,09
7	69	1569,31	18,03
8	61	1136,33	16,96
9	67	1137,58	17,77
10	60	1194,26	16,82
11	62	1111,41	17,09
12	60	1211,08	16,82
Moyenne	61,58	1229,08	17,02
Ecart type	5,16	127,88	0,77

Tableau N°5 performance en centimètres, puissance développée en watts et puissance massique en watts/kilogramme des sauteurs au test de SJ.

2/ chez les sprinters.

N°1 sujet	Performance (cm)	puissance (watt)	puissance (watts/kg)
1	66	1323,12	17,64
2	58	1256,88	16,35
3	58	1124,57	16,53
4	64	1216,06	17,37
5	60	1278,36	16,82
6	65	1155,49	17,50
7	62	1169,90	17,09
8	65	1453,12	17,50
9	63	1189,28	17,23
10	68	1307,20	17,90
11	60	1059,70	16,82
12	64	1216,06	17,37
Moyenne	62,75	1231,39	17,19
Ecart type	3,19	102,81	0,44

Tableau N°6 performance en centimètres, puissance développée en watts et puissance massique en watts/kilogramme des sprinters au test de SJ.

Les tableaux 5 et 6 présentent les performances réalisées au test de SJ par les sauteurs et les sprinters. Comme pour le CMJ nous avons calculé par la formule de Lewis les puissances développées mais aussi la puissance massique.

Les performances réalisées au SJ sont en moyenne inférieures chez les sauteurs 61,58 plus ou moins 5,16 cm, mais ne diffèrent pas de façon significative avec les résultats des sprinters 62,75 plus ou moins 3,19.

Il en est de même des moyennes des puissances développées et des puissances massiques qui sont respectivement de 1229,08 plus ou moins 127,88 watts et 17,02 plus ou moins 0,77 watt/kilogramme, chez les sauteurs contre 1231,39 plus ou moins 102,81 watts et 17,19 plus ou moins 0,44 watts/kilogramme chez les sprinters.

La situation de SJ interdit l'utilisation du cycle étirement-raccourcissement en se référant au modèle de Hill à deux composantes (1938) la situation de SJ caractériserait plus les capacités de la composante contractile (CC). Cette composante est un générateur de force qui peut fonctionner dans diverses situations dynamiques ou statiques.

La production de force est soutenue par la théorie des filaments glissants (Huxley, 1957 ; Huxley et Simmons 1971, cité par Pousson, M. 1995) qui souligne le rôle des protéines contractiles actine et myosine.

N°1 Sujet	CMJ (cm)	SJ (cm)	CMJ-SJ(cm)
1	65	62	03
2	71	69	02
3	62	61	01
4	60	53	07
5	62	53	09
6	75	62	13
7	70	69	01
8	66	61	05
9	68	67	01
10	66	60	06
11	65	62	03
12	67	60	07
Moyenne	66,41	61,58	4,83
écart-type	4,21	5,16	3,74

Tableau N° 7 : La différence CMJ-SJ chez les sauteurs : force élastique.

N°1 Sujet	CMJ (cm)	SJ (cm)	CMJ-SJ(cm)
1	71	66	05
2	73	58	15
3	61	58	03
4	69	64	05
5	69	60	09
6	65	65	00
7	67	62	05
8	66	65	01
9	69	63	06
10	71	68	03
11	63	60	03
12	68	64	04
Moyenne	67,66	62,75	4,91
écart-type	3,47	3,19	3,77

Tableau N° 8 : La différence CMJ-SJ chez les sprinters : force élastique.

Les tableaux 7 et 8 nous donnent une idée sur les qualités d'élasticité musculaire chez les sauteurs et les sprinters.

La différence CMJ-SJ ou force élastique est la différence des performances réalisées au CMJ et SJ.

Nous constatons sur les tableaux que certains sujets ont une différence CMJ-SJ très importante ce qui démontre une bonne élasticité musculaire de leurs membres inférieurs ; à l'opposé chez certains sujets la différence CMJ-SJ est nulle.

La moyenne de la différence CMJ SJ chez les sauteurs est de 4,83 plus ou moins 3,74 cm ; elle est de 4,91 plus ou moins 3,77 cm chez les sprinters.

IV/ RESULTATS DU TEST DE SAUT EN CONTRE BAS ET DETENTE VERTICALE

1/ Chez les sauteurs.

N° Sujet	Hauteur de chute efficace(cm)	performance (cm)	puissance (watts)	puissance (watts/kg)
1	80	68	1199,75	17,90
2	80	73	1298,75	18,55
3	80	64	1198,68	17,37
4	80	65	1313,06	17,50
5	80	62	1470,48	17,09
6	80	77	1410,08	19,05
7	70	68	1557,90	17,90
8	70	65	1199,76	17,90
9	80	69	1154,44	18,03
10	70	67	1262,01	17,77
11	80	72	1197,69	18,42
12	80	68	1289,30	17,90
Moyenne	77,50	68,16	1295,99	17,94
Ecart type	4,52	4,20	124,77	0,53

Tableau N°9 : valeurs de la hauteur de chute efficace en centimètres, de la performance réalisée à la hauteur de chute efficace en centimètres, de la puissance développée en watts et de la puissance massique en watts/kilogramme des sauteurs au test de DJ.

2/ Chez les sprinters.

N° Sujet	Hauteur de chute efficace(cm)	performance (cm)	puissance (watts)	puissancee (watts/kg)
1	70	69	1352,86	18,03
2	80	75	1429,26	18,80
3	50	59	1134,23	16,67
4	70	69	1262,66	18,03
5	80	69	1370,89	18,03
6	80	65	1173,13	17,77
7	70	65	1464,25	17,50
8	70	66	1464,25	17,64
9	70	69	1244,63	18,03
10	70	59	1217,63	16,67
11	60	64	1094,45	17,437
12	70	67	1244,23	17,77
Moyenne	70,00	66,50	1267,81	17,69
Ecart type	8,53	4,46	114,73	0,60

Tableau N°10 : valeurs de la hauteur de chute efficace en centimètres, de la performance réalisée à la hauteur de chute efficace en centimètres, de la puissance développée en watts et de la puissance massique en watts/kilogramme des sprinters au test de DJ.

Le tableau N° 9 présente les résultats du test de drop jump chez les sauteurs : hauteur de chute efficace, performance réalisée à cette hauteur, puissance développée et puissance massique.

La hauteur de chute efficace est en moyenne de 77,50 plus ou moins 4,52 cm. La performance réalisée à cette hauteur de chute efficace est en moyenne de 68,16 plus ou moins 4,20 cm soit 1,7 cm de mieux qu'au CMJ et 6,58 cm de mieux qu'au SJ.

La puissance développée est de 1295,99 plus ou moins 124,77 watts contre 1277,98 plus ou moins 137,99 watts au CMJ et 1229,08 plus ou moins 127,88 watts au SJ.

La puissance massique moyenne est quand à elle passée de 17,02 watts/kilogramme au SJ à 17,68 watts/kilogramme au CMJ et 17,94 watts/kilogramme au DJ.

L'amélioration des performances observée ici pourrait s'expliquer par une meilleure utilisation du cycle étirement raccourcissement.

Le tableau N° 10 présente les résultats du test de drop jump chez les sprinters. La hauteur de chute efficace est en moyenne de 70 cm plus ou moins 8,53 cm.

La performance réalisée à la hauteur de chute efficace moyenne est en moyenne de 66,50 plus ou moins 4,46 cm.

La puissance développée est en moyenne de 1267,81 plus ou moins 114,73 watts contre 1279,37 plus ou moins 114,23 watts au CMJ et 1231,39 plus ou moins 102,81 watts.

La puissance massique moyenne est de 17,69 plus ou moins 0,60 watts/kilogramme contre 17,85 plus ou moins 0,46 watts/kilogramme au CMJ et 17,19 plus ou moins 0,44 watts/kilogramme. La baisse de performance par rapport au CMJ est expliquée par une mauvaise technique de certains sprinters.

En effet certains de ces sprinters après le saut en contrebas ont un temps d'appel au sol trop long.

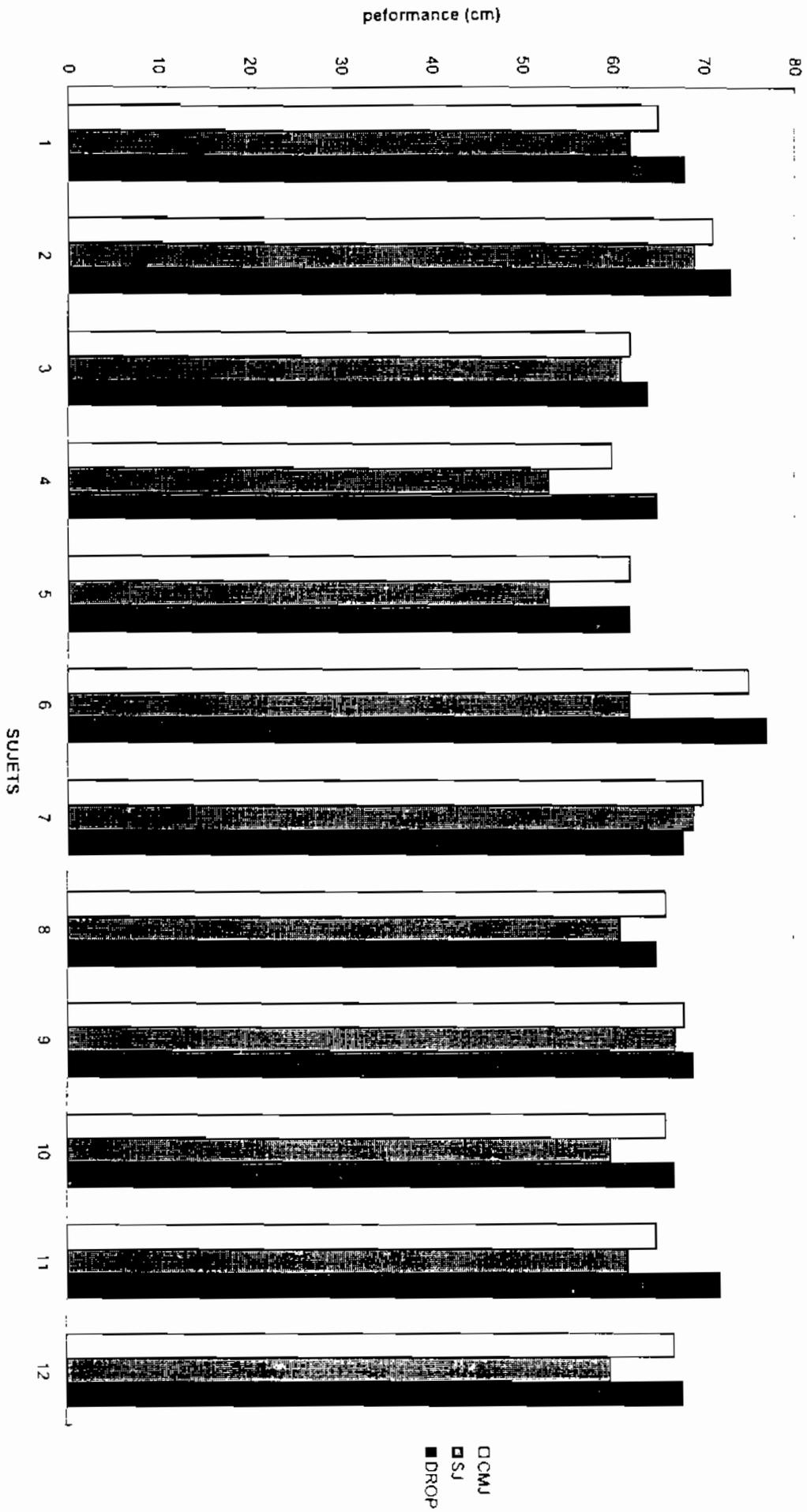
Le drop jump comme le CMJ mobilise la composante élastique série (CES) en cycle étirement-detente. Pendant la phase de réception au sol après la chute lors du drop jump, la CES est étirée alors que la composante contractile (CC) est active.

L'énergie potentielle ainsi emmagasinée dans la CES est restituée au cours de la phase concentrique du saut qui succède aussi il importe que le délai entre l'étirement et le raccourcissement soit le plus court possible afin d'éviter que la plus grande partie de l'énergie potentielle stockée soit dissipée sous forme calorifique (Bosco et Coll 1981 cités par Pousson, 95).

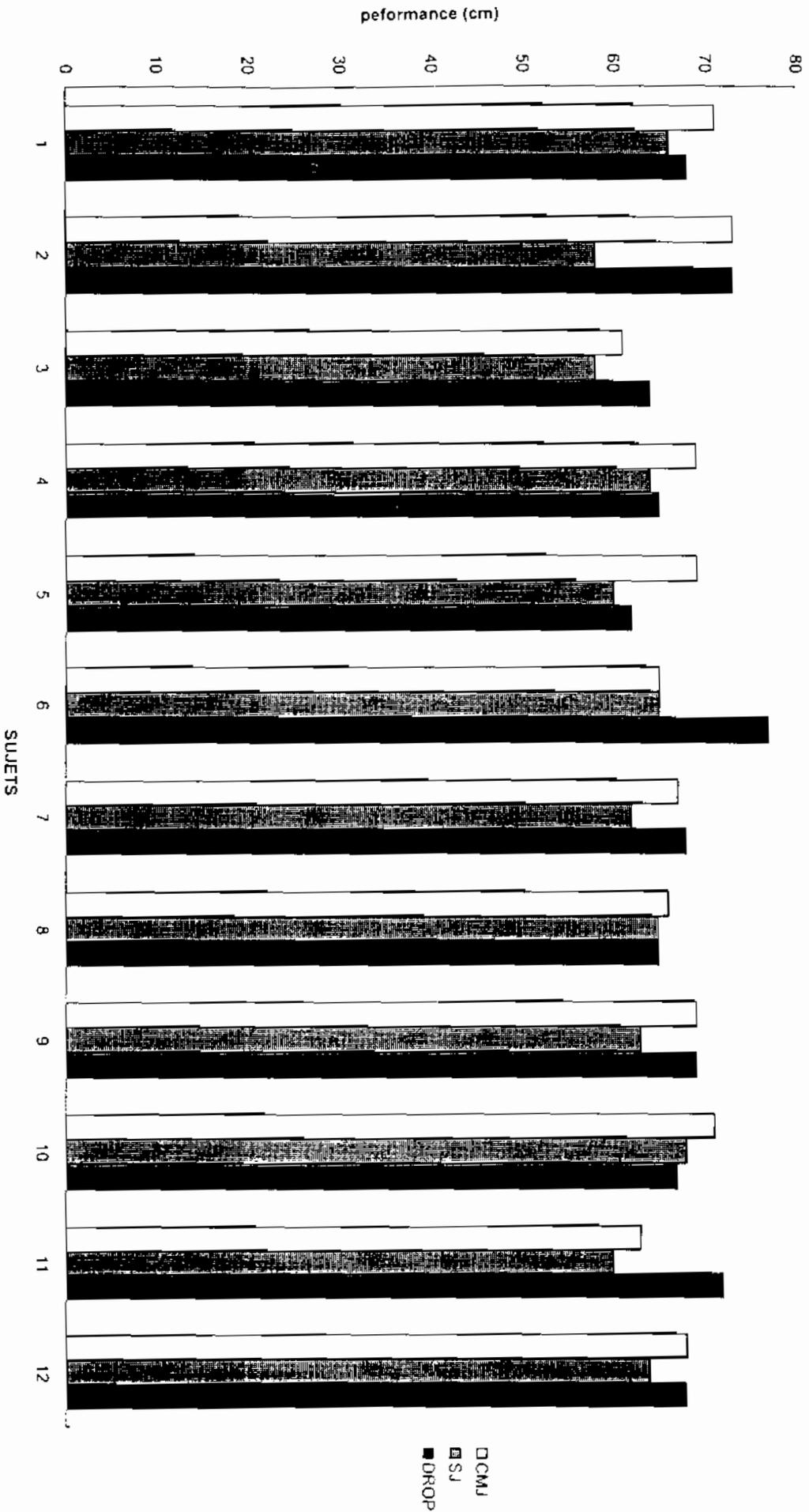
Il convient également d'approcher les délais qui soient compatibles avec le temps de vie des ponts ; de cette manière un plus grand nombre de structures élastiques serait impliqué (Thys 1975)

La comparaison entre les groupes montre que les sauteurs dans les situations semblables au drop jump utilisent de manière plus efficace le cycle étirement raccourcissement que les sprinters.

Performances aux différents sauts chez les Sauteurs



Performances aux différents sauts chez les Sprinters



	DJ	CMJ	SJ	DIFFERENCE		
				DJ - CMJ	CMJ - SJ	DJ - SJ
Moyenne	68,16	66,41	61,58	t= 3,689 signif. p = 0,01	t= 5,616 signif. p = 0,01	t= 9,164 signif. p = 0,01
Ecart-Type	4,52	4,21	5,16			

Tableau 11 : Tableau récapitulatif des performances moyennes des sauteurs aux différents tests et degrés de signification des différences

	DJ	CMJ	SJ	DIFFERENCE		
				DJ - CMJ	CMJ - SJ	DJ - SJ
Moyenne	66,50	67,66	62,75	t= 1,435 non signif p = 0,05	t=12,461 signif p = 0,01	t= 4,171 signif p = 0,01
Ecart-Type	4,46	3,47	3,19			

Tableau 12 : Tableau récapitulatif des performances moyennes des sprinters aux différents tests et degrés de signification des différences

CHAPITRE 4

DISCUSSION

I/ CRITIQUE DE LA METHODE

1/ Choix des sujets.

La contribution du cycle étirement raccourcissement varie grandement selon le sport. Ainsi King (1993) classe différents sports en fonction de la contribution du cycle étirement raccourcissement.

Il faut considérer qu'au sein même d'un sport la contribution du CER varie selon la tâche à accomplir, c'est ainsi qu'en athlétisme par exemple les sauteurs et les sprinters utilisent mieux le CER que les coureurs de longues distances (demi fond, fond, marathon). La connaissance de tels états de fait aurait dû nous pousser à choisir en sus des sauteurs et des sprinters un groupe de cyclistes quand on sait qu'au cyclisme les muscles travaillent en raccourcissement à partir d'un état de repos donc n'utilisent pas au mieux l'énergie élastique (Cavagna, 1977).

La comparaison de notre population d'étude avec un groupe de cyclistes nous aurait permis de voir nettement l'influence du cycle étirement-raccourcissement sur la performance.

2/ Le protocole

Dans les différentes modalités du saut vertical que nous avons utilisées, on aurait dû supprimer le mouvement d'élan préparatoire des bras pour 2 raisons :

le degré d'influence de l'apport des bras sur la performance varie suivant les modalités du saut vertical, la manière dont on utilise les bras au CMJ est différente au DJ.

Donc pour être sûr que les différences de performance observées pour chaque sujet dans les trois formes du saut vertical ne sont le fait que du cycle étirement- raccourcissement, il fallait supprimer l'action des bras.

- Dans toutes les études que nous avons trouvées dans la littérature concernant le saut vertical, l'action du mouvement des bras est supprimée.

L'adoption d'une telle technique nous aurait permis de comparer nos sujets à des athlètes de niveau mondial sur lesquels des tests similaires aux nôtres ont été faits par des auteurs comme Bosco (1994).

II/ DISCUSSION DES RESULTATS DES TESTS.

1/ LES RESULTATS DU SJ.

Les résultats enregistrés au SJ pour les sauteurs et les sprinters sont respectivement de 61,58 cm et 62,75 cm.

Ces performances sont inférieures à celle observées par Bosco (1994) chez des sauteurs italiens de niveau international, si l'on tient compte des différences entre notre protocole et le sien.

En effet Bosco a trouvé une valeur de 46 cm à l'aide d'un ergojump ; il s'agirait donc de la détente "réelle, c'est-à-dire la différence entre l'élévation maximale du centre de gravité et la position de départ prise sur la pointe des pieds (en effet le chrono se déclenche alors que l'athlète est sur les pointes des pieds) ce qui réduirait grossièrement de 10 cm la performance. Le fait de ne pas utiliser les bras, diminue également de 10 cm la performance. On comprend la faiblesse apparente des résultats par rapport aux nôtres.

Si Bosco avait utilisé notre protocole, il aurait trouvé une valeur de 66 cm pour ses sauteurs ; on peut alors mesurer le fossé qui nous sépare encore des meilleurs.

2/ LES RESULTATS DU CMJ

La performance des sauteurs au CMJ est de 66,41 cm soit une augmentation de 4,83 cm ce qui nous donne un pourcentage de 7,84%.

Donc les sauteurs ont amélioré leur performance de 7,84% par rapport au SJ. Ce gain provient de l'utilisation de l'énergie potentielle élastique par le biais du contre mouvement.

Chez les sprinters la performance réalisée est de 67,66 cm soit une amélioration de 4,91 cm par rapport au SJ ce qui nous donne un pourcentage de 7,82% la quantité d'énergie élastique utilisée pour l'amélioration de la performance est du même ordre de grandeur pour les deux groupes.

L'utilisation du cycle étirement-raccourcissement dans le saut vertical a donc amélioré la performance d'environ 8%.

Bobbert et Coll (1987) ont avancé une amélioration de l'ordre de 10 à 15%.

3/ LA DIFFERENCE CMJ - SJ

Cette différence nous donne une indication sur les qualités d'élasticité musculaire de nos sujets.

Les sauteurs ont une différence CMJ - SJ de l'ordre de 4,83 cm contre 4,91 cm pour les sprinters.

L'analyse statistique de ces résultats ne nous permet pas de dégager une différence significative, mais il existe une légère tendance à la supériorité des sprinters à ce test.

Bosco a trouvé une différence CMJ - SJ de 7 cm chez des sauteurs Italiens de niveau international.

4/ LES RESULTATS DU DROP JUMP (DJ)

A ce test les sauteurs sont les meilleurs ; ils ont enregistré une performance de 68,16cm pour une hauteur de chute efficace moyenne de 77,5 cm, contre une performance de 66,50 cm pour une hauteur de chute efficace moyenne de 70 cm pour les sprinters.

Les sauteurs ont donc amélioré leur performance par rapport au CMJ de 1,75 cm, soit 2,63% et de 6,58 cm par rapport au SJ soit, 10,68% ; par contre la performance des sprinters à ce test a baissé de 1,16 cm par rapport au CMJ, soit une baisse de 1,71 c%.

Ils n'ont amélioré leur performance par rapport au SJ que de 3,75 cm, soit 5,97%.

Les résultats observés à ce test montrent une certaine discrimination vis à vis des sprinters, ceci est dû au fait que ce test se rapproche davantage de l'activité spécifique des sauteurs.

Cette activité induirait des modifications au niveau des propriétés mécaniques des composantes musculaires des sauteurs, notamment au niveau de la composante élastique série.

III/ SIGNIFICATION DES TESTS

1/ SIGNIFICATION DU SJ

Le SJ mesure la puissance développée par les muscles des membres inférieurs sans l'apport de l'énergie élastique.

En effet en se référant au modèle de Hill à deux composantes (1938), la situation de SJ caractériserait plus la capacité de la composante contractile (CC) ; cette composante étant un générateur de force qui peut fonctionner dans diverses situations dynamiques ou statiques.

2/ SIGNIFICATION DU CMJ

Le CMJ rend compte des puissances développées par les muscles des membres inférieures lors du saut vertical en tenant compte de l'énergie potentielle élastique emmagasinée lors de la phase préparatoire (contre mouvement).

En somme, c'est la capacité totale de la composante contractile et de la composante élastique série qui est mesurée.

En effet le CMJ mobilise la composante élastique série (CES) en cycle étirement-détente, l'énergie potentielle élastique emmagasinée dans la CES est restituée au cours de la phase eoncentrique du saut qui succède.

C'est raideur de la CES qui renseigne sur la capacité du muscle à emmagasiner et de restituer eette énergie ; elle rend compte également de l'effort réellement transmis au sol au cours de l'appel.

3/ SIGNIFICATION DU DJ

Le DJ rend compte de la possibilité de modification des propriétés de la eomposante élastique série dans les deux sens .

- dans le sens d'une augmentation de la compliance susceptible d'entraîner un gain d'énergie potentielle stockée au cours de la phase excentrique du saut.

- dans le sens d'une diminution de la eompliance (qui se traduit par une modification de transmission de force) qui contribue à stocker et restituer l'énergie potentielle dans un temps plus bref et donc provoque une augmentation de la puissance produite et finalement de la performance.

IV/ COMMENT LE CYCLE ETIREMENT-RACCOURCISSEMENT AMELIORE T-IL LA PERFORMANCE

Deux hypothèses sont avancées pour expliquer le mécanisme qui est à l'origine de l'augmentation de la performance au cours du cycle étirement-raccourcissement.

1/ L'hypothèse d'emmagasinage d'énergie élastique.

Elle est soutenue pas la théorie des ponts de Huxley (1957).

Pour expliquer ce phénomène d'emmagasinage d'énergie grâce aux interactions filaments d'actine-filaments de myosine, on peut faire une analogie entre ce système et un ressort.

Quand on étire un ressort, il y a emmagasinage d'une importante quantité d'énergie potentielle

élastique qui est libérée quand on lâche le ressort.

Donc lors du cycle étirement raccourcissement, il y a emmagasinage d'énergie élastique au cours de la phase d'étirement qui est restituée sous forme d'énergie mécanique lors de la phase raccourcissement suivant le modèle d'un ressort. S'il y a une importante quantité d'énergie emmagasinée et restituée, il y a forcément une amélioration de la performance.

2/ L'hypothèse neuro-musculaire.

Cette hypothèse fait allusion au réflexe myotatique .

En effet, lors du brusque étirement de la phase excentrique, les fuseaux neuro-musculaires sont étirés ; en conséquence, leurs fibres afférentes sont stimulées ; le message est alors acheminé vers la moelle épinière.

Subséquent l'impulsion nerveuse envoyée au muscle via les fibres afférentes provoque sa contraction.

Cette contraction va s'ajouter au mouvement de contraction volontaire de la phase concentrique qui suit, la tension développée par le muscle est alors plus importante, et donc la performance est augmentée.

V/ LES FACTEURS INFLUENCANT LE CYCLE ETIREMENT RACCOURCISSEMENT

1/ La durée de la phase de transition

Pour profiter de l'accumulation d'énergie élastique, il est impérieux que la période de transition soit relativement brève. Si le délai entre la phase d'étirement (excentrique) et la phase de raccourcissement (concentrique) est trop long, l'effet anticipé est grandement réduit. Il semble donc que plus brève est la phase de transition, plus la force à la fin de la phase excentrique du muscle est élevée.

Ainsi si l'intervalle entre les deux phases d'un mouvement de flexion et d'extension des jambes est porté de 0 à 1 seconde le rendement diminue de 40% à 23% (Margaria, Cavagna et Saibene, 1964).

Pendant l'intervalle les muscles ont la possibilité de se relâcher ; l'énergie élastique est alors perdue et transformée en chaleur.

En augmentant le délai entre l'étirement et le raccourcissement par l'adoption de chaussures molles, Bosco et Rusko (1983) ont montré que la dépense énergétique de la course augmentait surtout aux hautes vitesses où les fibres rapides jouent un rôle prépondérant.

L'allongement du temps de contact au sol affecterait le recul élastique de ces fibres dont les cross-bridges (ponts d'actine-myosine) ont une durée de vie très courte.

2/ L'importance de la phase d'étirement

L'évolution de la performance en fonction de la hauteur de chute au drop jump illustre parfaitement l'importance de la phase d'étirement dans le cycle étirement raccourcissement ; l'existence d'une hauteur de chute efficace montre qu'il existe pour le muscle un seuil de tolérance à un stimulus d'étirement élevé.

Si l'intensité de l'étirement dépasse un seuil critique, il y a intervention du réflexe myotatique inverse qui provoque la relaxation du muscle en question et donc entrave le déroulement du cycle étirement raccourcissement.

Il faut noter que cette action de réflexe myotatique inverse est un mécanisme de prévention des blessures aux tendons et aux muscles qui peuvent résulter des charges excessives.

Soulignons que cet étirement musculaire est en étroite relation avec une adaptation des propriétés mécaniques de la composante élastique série de la fibre musculaire, à savoir l'évolution de la raideur musculaire.

Ainsi, un système musculaire ayant une raideur augmentée, permettra pour un étirement de faible amplitude d'atteindre des tensions élevées ; chez les sauteurs par exemple, la jambe supporte des contraintes verticales dépassant largement les possibilités de force maximale isométrique musculaire (supérieure à 9 fois le poids du corps au triple saut ; Ramey et Williams 1985).

L'accroissement de la raideur musculaire permettrait donc de supporter des tensions excentriques plus élevées qui optimisent le cycle étirement-raccourcissement à ces niveaux de tension et qui en conséquence améliorent la performance.

3/ L'entraînement de type pliométrique.

Pour mesurer l'influence d'un entraînement de type pliométrique sur l'amélioration de la performance, Hakkinen et Komi (1985) (cité par ROY) ont mis en place un programme

d'entraînement sollicitant grandement le travail excentrique (100 à 200 sauts exécutés sans ou avec charges variant entre 10 et 60% de la force maximale, des sauts par dessus des obstacles, des sauts en profondeurs (30 - 60 cm) etc...

Cet entraînement s'étendait sur 24 semaines, à raison de 3 séances/semaine.

C'est à l'aide du saut vertical sans élan (SJ) et du saut vertical avec élan (CMJ) que les résultats de cet entraînement furent mesurés. Les résultats obtenus montrent que l'élévation du centre de gravité augmente de 21,2% au saut sans élan et de 17,5% au saut avec élan.

Comme on peut le constater cette modalité d'entraînement de type pliométrique a eu des effets bénéfiques non seulement sur les phases concentriques, mais encore plus au niveau des paramètres excentriques qui ont connu les plus hauts pourcentages d'amélioration.

Comme ces sujets n'ont augmenté leur force maximale que d'un faible 7% au cours de ces 24 semaines, on peut penser que l'amélioration des différents paramètres cités plus haut serait surtout attribuable à une meilleure activation neuro-musculaire suite à ce genre d'entraînement.

Il en découle donc, que l'entraînement de type pliométrique conduit à une adaptation neuro-musculaire nécessaire aux activités qui exploitent le cycle excentrique concentrique.

IV/ INTERET DE L'ETUDE

Tous les tests que nous avons utilisés sont des tests de terrain, donc ils sont à la portée de tout le monde ; ils permettent de donner d'assez bonnes indications individuelles.

Le saut vertical constitue une bonne mesure de la puissance musculaire générale (D.A Sargent 1921).

Sur le plan théorique la détente verticale a plutôt la dimension d'un travail que celle d'une puissance ; cependant des études récentes faites sur la détente verticale ont montré que :

- les sujets qui présentent les détentes verticales les plus élevées possèdent statistiquement un plus grand nombre de fibres rapides.
- la hauteur atteinte lors d'une détente verticale est corrélée avec le pic de puissance maximale sur bicyclette ergométrique (Davies et Young 1984)
- Il existe une assez bonne corrélation entre la détente maximale et la puissance maximale sur ergocycle (Vandewalle et Al 1987 cité par Vandewalle 1989).

Le test de détente verticale conserve donc certainement un intérêt dans la surveillance de l'entraînement des athlètes dans les sports de force, de puissance et de vitesse, mais aussi dans la détection des jeunes pour ces mêmes types de sport.

La différence CMJ - SJ en donnant aux entraîneurs des indications sur les qualités d'élasticité de leurs athlètes, leur offre la possibilité d'apporter des correctifs dans les programmes d'entraînement ou de se reconforter dans leur méthode selon que l'élasticité revêt ou non une importance en vue de l'amélioration de la performance dans leurs disciplines respectives.

Le drop jump couplé au test de détermination de la force maximale concentrique, permet de voir si un athlète est équilibré ou non en comparant son indice de force pliométrique et son indice de force concentrique.

Pour déterminer ces indices Zanon a proposé :

- * de prendre la performance en squat comme critère d'évaluation de la force concentrique ; comme cette performance en squat n'avait pas le même sens pour un athlète de 70 kg Zanon a rapporté la performance en squat au poids du corps.

L'indice de force concentrique était donc le suivant :

indice de force concentrique = performance en squat / poids du corps

C'est ce que Zatsiorski appelle force relative.

- * Pour prendre la force pliométrique Zanon a retenu la hauteur de chute efficace.

Il faut alors que :

Performance en squat / poids du corps = hauteur de chute efficace pour que l'athlète soit équilibré.

Or cette comparaison n'a pas de sens si on ne pondère pas ces deux valeurs ; Il faut alors les rapporter à une norme commune par exemple le meilleur niveau mondial.

Pour le rapport Squat/Poids du corps il existe des normes données par Zatsorski qui montre que pour un athlète de 70 kg la force idéale est égale à 2.

Donc pour un athlète de 70 kg il faut soulever 140 kg en squat, la force relative est alors de $140/70 = 2$

Pour la hauteur de chute maximale vers les années 70 les meilleurs résultats trouvés par

Zanon dans la littérature étaient de 85 cm.

La comparaison force concentrique, force pliométrique prenait alors l'allure suivante :

force relative de l'athlète / force relative idéale = meilleure hauteur de chute de l'athlète / 85

Si l'athlète fait 100 kg en squat et on obtient 40 cm comme meilleure hauteur de chute

sa force relative est de $100 / 70 = 1,42$ on a donc respectivement

$1,42 / 2$ et $40 / 85$; soient 0,71 et 0,47

On constate un déséquilibre en faveur de la force concentrique.

Cet athlète a donc intérêt à travailler en pliométrie.

Ce test constitue un outil pour suivre cette relation en cours d'année, afin de mieux construire l'entraînement.

L'intérêt de notre étude réside aussi dans le fait qu'elle souligne toute l'importance du geste préparatoire tel qu'on le retrouve dans les activités de locomotion de projection du corps ou de frappe d'objet.

En effet, les données de notre étude nous indiquent que l'efficacité mécanique de la phase concentrique est fonction de l'intensité de la phase préparatoire (la phase excentrique). En effet nous l'avons vu l'étirement préalable à la contraction concentrique a un effet facilitateur sur la contractilité : cependant au delà d'une certaine intensité cet effet facilitateur se stabilise et même tend à diminuer.

CONCLUSION

Cette présente étude a porté sur un total de 24 athlètes d'un bon niveau dont 12 sauteurs (longueur, hauteur, triple-saut) et 12 sprinters (100m - 200m).

Le but de cette recherche a été de voir l'influence du cycle étirement-raccourcissement sur la performance.

Notre objectif a été aussi d'essayer d'apporter des éléments explicatifs de cette relation entre le cycle étirement-raccourcissement et la performance.

Pour nos recherches notre choix s'est porté sur le saut vertical qui s'est révélé un moyen fort approprié pour étudier l'influence du cycle étirement-raccourcissement sur la performance.

Nous avons fait exécuter le saut vertical dans 03 modalités.

- le saut vertical sans élan
- le saut vertical avec élan
- le saut vertical à la suite d'un saut en profondeur.

Les résultats que nous avons trouvés montrent que le cycle étirement-raccourcissement améliore la performance.

En effet dans les différentes modalités du saut vertical que nous avons utilisées, nous avons trouvé une amélioration de la performance de l'ordre de 7,84% à 10,68% pour les sauteurs et 5,97% à 7,82% pour les sprinters.

La littérature a rapporté une amélioration de l'ordre de 10% à 15%.

Nous avons pu relever deux facteurs influençant positivement le cycle étirement-raccourcissement dans le sens de l'amélioration de la performance : l'élasticité musculaire et la durée de la phase de transition entre la phase excentrique (étirement) et la phase concentrique (raccourcissement).

En effet, plus le muscle est élastique, plus la quantité d'énergie emmagasinée lors de la phase d'étirement est importante ; et plus la durée de la phase de transition entre la phase excentrique (étirement) et celle concentrique (raccourcissement) est courte, plus la quantité d'énergie restituée au cours de la phase de raccourcissement est importante.

En définitive, notre étude a révélé l'importance capitale du geste préparatoire tel qu'on le retrouve dans les différents sports.

En effet, le cycle étirement-raccourcissement constitue une source d'énergie pouvant contribuer dans le sens de l'amélioration de la performance de l'activité humaine.

L'exploitation de cette source d'énergie passe nécessairement par une bonne connaissance de tous les facteurs qui gravitent autour de ce phénomène.

Les épreuves et les mesures de notre étude peuvent être des outils pour les entraîneurs pour l'élaboration d'une planification et le contrôle de l'évolution de certaines qualités musculaires (inhérente à l'entraînement) dans la quête d'une performance accrue.

BIBLIOGRAPHIE

1°) AUBERT, X. Le muscle strié in C. kayser « physiologie » vol 2, 1976; Flammarion; Paris; PP 1591 - 1671.

2°) BOBBERT; M.F. drop jumping as training method for jumping ability in sports medicine, 9 vol 1, 1990, pp 7 - 22.

3°) BOSCO, C. RUSKO, H. The effect of prolonged skeletal muscle stretch-shortening cycle on recoil of elastic energy and energy expenditure *acta physiologica scandinavica*, n° 119, 1983, pp 219 - 224.

4°) CAVAGNA, GA. Power output of the previously stretched muscle in J warten weiller et Al, *biomechanics II*. Basel, Karger 159 - 167, 1971.

5°) CAVAGNA, G.A. storage and utilisation of elastic energie in skeletal muscle, in *exercice and sports sciences review*, n° 5, 1977, pp 89 - 129.

6°) CAVAGNA, G.A SAIBENE, F.P. MARGARIA, R. Mechanical work in running in *J. Appl. Physiol* 19, 1964, pp 249 - 256.

7°) COMETTI, G. la pliometrie, compte rendu du colloque de Février 1988, UFR STAPS Dijon.

8°) COMETTI, G. la musculation (1ère partie) in *sport med*, n° 19, 1989.

9°) DAVIES; C.T.M. YOUNG, K. Effects of external loading on short term power output in chidren and young male adults. *europ. Journ. Appl. Physil.* 52, 1984, pp 351 - 354.

10°) ENOKA, RM. *Neuromechanical basis of kinesiology champaign IL: human kinetics*, 1988; pp 6 - 7 et 204 - 206.

11°) FENN, W.O. work against gravity and work due to velocity changes in running, *american journal physiology* 93, 1930, pp433-462.

12°) FOX, L.E. MATHEWS, K.D. *bases physiologiques de l'activité physique*, Montréal, decarie, 1984, 404p.

13°) GOLDSPINK, G. Energy turnover during contraction of different types of muscles in Asmussen, E. Jorgensen, K. (Eds) : *biomechanics IV*, university ponk press ; 1978.

14°) GOUBEL, F. Muscular compliance during isometric contraction ; *journal of physiology*, 1978, pp 609-615.

15°) GOUBEL, F. VAN HOECKE, J. Biomccanique et geste sportif : incidence des propriétés mécaniques du muscle sur la réalisation de la performance, *cinésiologie document XXI*, 1982, pp 41-51.

- 16°) HILL, AV. The heat of shortening and the dynamic constant of muscle pro r soc Lond biolog. Scien 126, 1938, pp 136-196.
- 17°) HUXLEY, AF. Muscle structure and théories of contraction prog biophys 1957, pp 255-318.
- 18°) KING, I. L'entraînement pliometrique en perspective in science du sport, vol 13, N° 6, 1993.
- 19°) MONOD, H. FLANDROIS, R. Physiologie du sport, Paris, Masson, 1985, 404 P
- 20°) POUSSON, M. LEGRAND, J. BERJAND. S. VAN HOECKE, J. Detente et clasticité : effets d'un entraînement pliometrique in science et motricité N°25, 1995, pp19-26.
- 21°) RAMEY, MR. WILLIAMS, KR. Ground reaction forces in triple jump jour. Of sport biomech. 1, 1985, pp 133-139.
- 22°) ROY, B. Mecanique du mouvement humain notes de cours 1992-1993.
- 23°) SARGENT, DA. The physical test of a man american physical education revue N°26, 1921, pp188-198.
- 24°) SCHMIDTBLEICHER, D. l'entraînement de la force 1ère partie in science du sport, Aout 1985, pp1-8.
- 25°)SHORTEN, MR. Muscle elasticity and human performance med sport 25 : 1987, pp1-18.
- 26°) THYS, H. L'effet de l'amplitude du mouvement sur le rôle joué par l'élasticité musculaire dans l'exercice in revue education physique, XV, 3, 1975.
- 27°) THYS, H. Elasticité et rendement du geste sportif in science et motricité N°1, 1987, pp22-25.
- 28°) VANDEWALLE, H. FRIEMEL, F. Test d'évaluation de la puissance maximale des metabolismes aerobie et anaerobie, in science et sport, N°4, 1989, pp 265-279.
- 29°) ZATSIORSKI, VM. Les qualités physiques du sportif, in traduction insep, 1966.

