

REPUBLIQUE DU SENEGAL  
MINISTERE DE LA JEUNESSE  
ET DES SPORTS

INSTITUT NATIONAL SUPERIEUR  
D'EDUCATION POPULAIRE  
ET DU SPORT  
(INSEPS)

# Etude de la Relation Force - Vitesse et De la Puissance Maximale Anaerobie

Mémoire de Maitrise es - Sciences et  
Techniques de L'activite Physique  
et du Sport (S.T.A.P S<sub>2</sub>)

PRESENTE ET SOUTENU PAR MAMADOU NIANG



ANNEE UNIVERSITAIRE  
1992 / 1993

Sous La DIRECTION  
de DJIBRI SECK Docteur en  
science de la vie et de la Santé  
Professeur à l'I.N.S.E.P.S

## DEDICACES

Je dédie ce travail:

A la mémoire de mes chers parents très tôt arrachés à notre affection.

Vous m'avez inculqué le sens du travail, l'honnêteté et le respect du prochain. Les efforts fournis et les sacrifices consentis resteront à jamais gravés dans ma mémoire et guideront mes pensées.

A mes frères Lamine, Modou, Youssou et Saïam Gueye

A mes oncles Ousmane Bal et Aziz

A ma Tante Oumou Bal

A mes soeurs à Rufisque et Thiès

A mon amie Mame Binta Ndoye

A mon voisin, ami et camarade de promotion Mamadou Diallo

A mes amis de Toujours Sidate, Birou, Ass. Fodé, Ngom, Bathie et Tamsir

A tous mes proches parents restés à Richard Toll et Gao

A tous mes amis de la GT2.

## REMERCIEMENTS

Mes remerciements vont à l'endroit de:

Monsieur Djibril Seck professeur à l'INSEPS

Nous vous remercions d'avoir bien voulu diriger ce travail, votre disponibilité constante, votre enthousiasme au travail valant respect et admiration.

Monsieur Moussa Gueye professeur à l'INSEPS

Monsieur Assane Fall professeur à l'INSEPS

Monsieur Babacar Cissé secrétaire général de l'UASSU

Monsieur Gérard Diamé directeur de l'INSEPS pour avoir facilité l'accès au laboratoire.

Monsieur Aziz Ndiaye technicien du laboratoire pour son concours technique.

Monsieur Mbargou Faye infirmier major pour son assistance

Monsieur Grégoire Diatta et madame Diakhaté pour leurs conseils précieux.

Monsieur Michel Diouf directeur des études de l'INSEPS

Monsieur Adama Mboup intendant.

Mes remerciements surtout: aux jeunes athlètes du Diaraf pour leur concours inestimable, aux étudiants de la première année pour leur disponibilité.

A tous les professeurs de l'INSEPS

A tous les étudiants

A tout le personnel.

## SOMMAIRE

	Pages
<b>INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I                    RAPPELS PHYSIOLOGIQUES</b>	<b>3</b>
<b>1-1 - Physiologie du muscle</b>	<b>3</b>
1-1-1 - Composition du muscle	3
1-1-2 - Structure du muscle	5
1-1-3 - Les différents types de fibres	5
1131 - Les fibres I	7
1132 - Les fibres II	7
1-1-4 - Les propriétés du muscle	9
1141 - L'excitabilité	9
1142 - L'élasticité	9
1143 - La contractilité	10
1-1-5 - Mécanisme de la contraction musculaire	10
1-1-6- Relation caractéristique des muscles	14
1-1-6-1 - La relation Tension - Longueur	14
1-1-6-2 - La relation Force - Vitesse	15
1-1-7- Les différents types de contractions élémentaires	16
1-1-7-1 - Contraction isométrique	16
1-1-7-2 - Contraction anisométrique	17
<b>1-2 - Revue des systèmes anaérobies de libération d'énergie</b>	<b>18</b>
1-2-1 - Le Système des phosphagènes	18
1-2-2 - La glycolyse anaérobie	20
<b>1-3 - Tests d'évaluation de la puissance anaérobie</b> <b>en laboratoire et sur le terrain</b>	 <b>22</b>
1-3-1 - Test de Margaria	22
1-3-2 - Test de pédalage sur bicyclette ergométrique	23
1-3-3 - Test de détente verticale de Sargent	23

<b>CHAPITRE II:</b>	<b>MATERIEL ET METHODES</b>	<b>25</b>
<b>2-1 Les sujets</b>		<b>25</b>
<b>2-2 Le matériel</b>		<b>25</b>
<b>2-3 Les protocoles</b>		<b>26</b>
2-3-1 Le protocole de détermination de la relation force vitesse sur bicyclette ergométrique		<b>26</b>
2-3-2 Le protocole de l'épreuve de détente verticale		<b>27</b>
2-3-3 Le protocole de l'épreuve de saut pieds joints.		<b>28</b>
<b>2-4 Les précautions.</b>		<b>28</b>
<b>Chapitre III.</b>	<b>PRESENTATION ET INTERPRETATION DES RESULTATS</b>	<b>29</b>
<b>3.1 Mesures anthropométriques de la population</b>		<b>29</b>
3-1-1 Population masculine		<b>29</b>
3-1-2 Population féminine		<b>30</b>
<b>3-2 Résultats du test de pédalage sur ergocycle</b>		<b>31</b>
3-2-1 Chez les garçons		<b>31</b>
3-2-2 Chez les filles		<b>34</b>
<b>3-3 Résultats du test de détente verticale</b>		<b>37</b>
3-3-1 Chez les garçons		<b>37</b>
3-3-2 Chez les filles		<b>39</b>
<b>3-4 Résultats du test de saut en longueur pieds joints</b>		<b>41</b>
3-4-1 Chez les garçons		<b>41</b>
3-4-2 Chez les filles		<b>43</b>

CHAPITRE IV:	DISCUSSION	44
4-1:	Validité des méthodes et des protocoles	44
4-1-1:	L'épreuve de pédalage sur bicyclette ergométrique	44
4-1-2:	Le test de détente verticale	45
4-1-3:	Le test de saut en longueur pieds joints	45
4-2:	Signification et intérêt des tests de mesure de puissance	46
4-2-1:	Signification des tests de mesure de la puissance	46
4-2-1-1:	Les vitesses maximales ( $V_0$ )	46
4-2-1-2:	Les forces maximales ( $F_0$ )	46
4-2-1-3:	Les puissances maximales ( $W_{max}$ )	47
4-2-1-4:	Comparaison des résultats entre tests	47
4-2-2:	Intérêts des tests de mesure de la puissance	49
4-3:	Limites de notre étude et perspectives	50
CHAPITRE V:	CONCLUSION	52
BIBLIOGRAPHIE		54

## **INTRODUCTION**

## INTRODUCTION

L'accomplissement d'un exercice physique exige l'ajustement de nombreuses fonctions de l'organisme dont la sollicitation dépend de l'intensité, de la durée, de la fréquence de l'exercice et des caractéristiques spécifiques de l'activité pratiquée.

C'est ainsi que les performances nettement supérieures des athlètes d'aujourd'hui résultent de la combinaison de plusieurs facteurs d'ordre physiologique, biomécanique et psychologique. La meilleure méthode de préparation d'un athlète pour la compétition est celle qui s'appuie sur les principes scientifiques plutôt que sur des considérations empiriques et dépassées.

Ainsi il est de plus en plus fréquent que l'athlète ou l'entraîneur même se tourne vers les spécialistes des sciences du sport pour trouver les ressources nécessaires lui permettant de développer son plein potentiel. Ces derniers se sont intéressés très tôt au processus de production et d'utilisation de l'énergie indispensable pour la réalisation d'un effort physique. Au cours d'un exercice physique l'énergie requise pour la contraction musculaire est obtenue à partir de trois sources différentes selon la nature, l'intensité et la durée de l'activité.

- L'hydrolyse des liens riches en énergie de l'ATP et de la CP ou filière anaérobie alactique.

- La glycolyse qui convertit par voie anaérobie les sucres (glycogène et glucose) en acide pyruvique et en acide lactique. encore appelée filière anaérobie lactique.



- La production aérobie d'énergie par oxydation de l'acide pyruvique ou filière aérobie.

Les progrès récents dans ce domaine font que les spécialistes reconnaissent que les efforts physiques de courte durée et d'intensité maximale soient largement dépendants de la filière anaérobie alactique.

Nous proposons à travers cette étude les modifications de la puissance maximale anaérobie en fonction de la charge de travail selon l'âge, le sexe et l'activité pratiquée.

Les tests que nous aurons à administrer aux sujets sont:

- Le test de pédalage maximal sur bicyclette ergométrique.
- Le test de détente verticale ou test de Sargeant.
- Le test de détente horizontale.

Ces tests feront appel essentiellement à la filière anaérobie. Nous présenterons au premier chapitre un rappel des bases bioénergétiques et biomécaniques de la contraction musculaire, au second le matériel et les méthodes expérimentales, au troisième et quatrième chapitre respectivement la présentation et la discussion des résultats et enfin la conclusion générale.

**CHAPITRE I**  
**RAPPELS PHYSIOLOGIQUES**

### 1-1 Physiologie du muscle

Le muscle représente chez l'homme une masse relativement importante, environ 40 % du poids corporel, soit 30 Kg chez un sujet de 75 Kg. La fonction essentielle de la cellule musculaire est de générer une force et de provoquer le mouvement. La plupart des muscles squelettiques sont, comme l'indique leur nom, fixés aux os et leur contraction cause le déplacement.

#### 1-1-1-Composition du muscle

Le muscle est constitué de trois composantes que HILL (voir figure n° 1) a modélisé comme suit:

- 1) Le mécanisme contractile des myofibrilles.
- 2') Les éléments élastiques en série:
  - \* Les ponts réunissant les filaments de myosine et d'actine.
  - \* Les stries Z.
  - \* Les tendons.
- 3') Les éléments élastiques en parallèle qui sont des formations périphériques:
  - le sarcolemme entourant la cellule musculaire
  - le périmy~~es~~um
  - les enveloppes fibreuses et les aponévroses.

Du point de vue chimique le muscle renferme également de l'eau et des électrolytes, des protides, des glucides, des lipides et des composés organiques tels l'adénosine triphosphate et la phosphocréatine.

### 1-1-2 Structure du muscle

L'unité structurale du muscle est la fibre musculaire ou cellule musculaire (voir figure n° 2). La fibre est de forme cylindrique et possède des extrémités effilées. Elle peut avoir de 1 mm à

30 cm de longueur et un diamètre de 10 à 100 microns suivant la taille du muscle.

L'examen d'une fibre musculaire au microscope montre une alternance dans le sens longitudinal de bandes anisotropes ou bandes A et de bandes isotropes ou bandes I. Les bandes I sont traversées en leur milieu par une ligne plus sombre, la ligne Z. Les bandes I sont constituées essentiellement de filaments d'actine tandis que les bandes A sont formées de filaments de myosine alternant avec des filaments d'actine. La bande sombre a en son milieu une bande plus claire ou bande H. Cette bande est formée uniquement de filaments plus épais.

Le sarcomère est constitué par l'ensemble formé d'une bande claire et d'une bande sombre. Il est délimité par 2 lignes Z.

### 1-1-3 Les différents types de fibres.

La couleur des muscles de l'appareil locomoteur est variable: certains sont pâles alors que d'autres sont pigmentés et sombres. Cette distinction vaut également pour les fibres musculaires. On distingue ainsi:

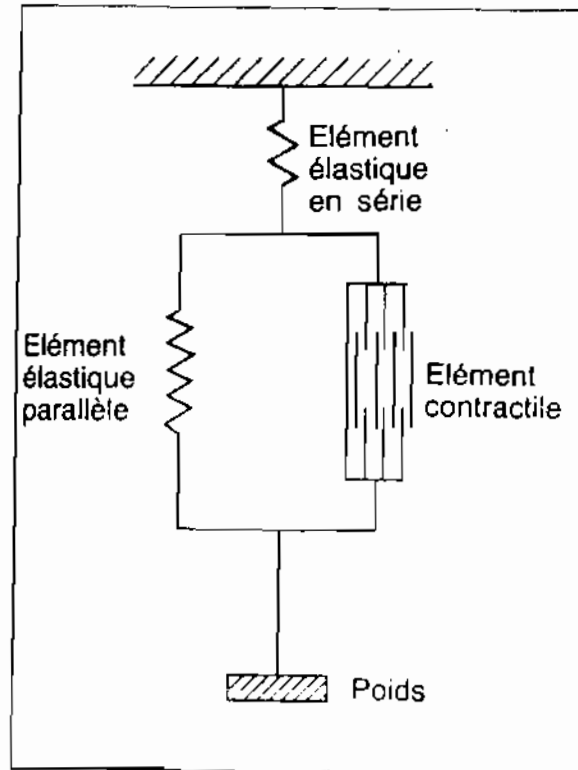


Figure n°1: représentation schématique des éléments élastiques et des éléments contractiles du muscle squelettique illustrant le mécanisme de contraction isométrique.

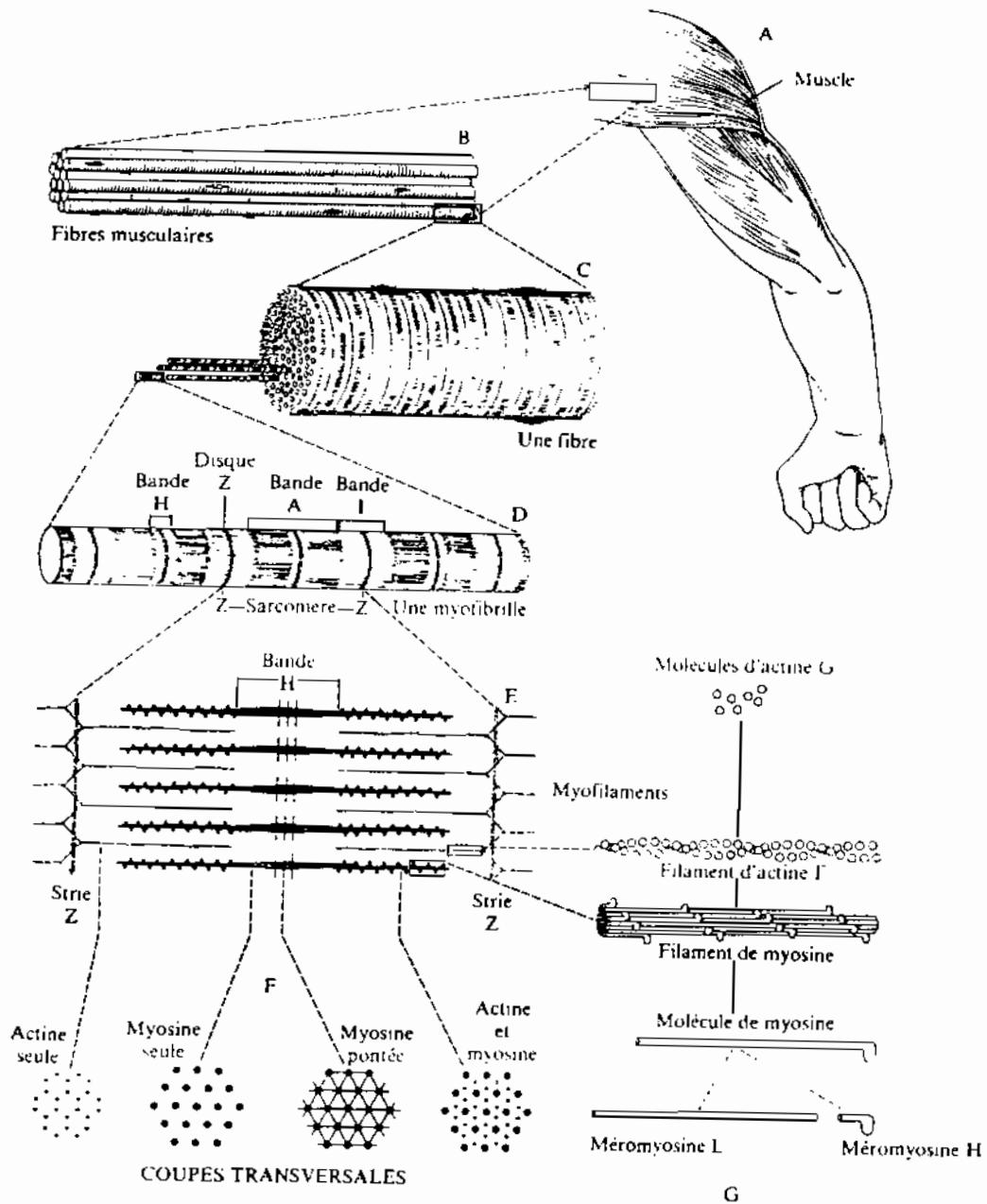


Figure n°2: chaque muscle (A) est composé de très nombreuses cellules musculaires, ou fibres musculaires, regroupés en faisceaux (B). Chaque fibre (C) apparaît striée de façon régulière et ceci est dû à la structure particulière des myofibrilles (D) qu'elle contient, où alternent des zones claires (bande H) et des zones plus foncées (bande A). La portion de la myofibrille comprise entre deux lignes Z est le sarcomère (E), dont la structure est due à l'arrangement des filaments d'actine et de myosine (f et g) (Tiré de HOULD, R. Histologie descriptive, Montréal, Decarie, 1982.)

1-1-3-1 Les fibres de type I (fibres rouges, fibres lentes).

Ces fibres sont de diamètre moyen, elles sont riches en sarcoplasme et moins riches en myofibrilles, d'où leur forte coloration rouge. Leur métabolisme est oxydatif. Elles sont riches en glycogène et en triglycérides, contiennent des mitochondries épaisses et nombreuses. Ces fibres sont entourées par un riche réseau capillaire d'où la facile diffusion de l'oxygène. Ce réseau peut atteindre 200 Km pour 100 g de muscle et chaque fibre est au contact de 6 à 8 capillaires.

La stimulation des fibres I donne une contraction lente et d'amplitude réduite. Ces fibres sont peu fatigables, très résistantes et sont sollicitées lors des exercices prolongés. Elles sont développées chez les sujets pratiquant des exercices de longue durée.

1-1-3-2 Les fibres II ( fibres blanches, fibres rapides ). Comparées aux fibres I, elles contiennent plus de myofibrilles par centimètre carré de section. leur sarcoplasme est moins abondant mais le reticulum y est développé.

Les fibres II contiennent autant de glycogène que les fibres I mais sont dépourvues de triglycérides. Elles ont un métabolisme à prédominance glycolytique, des mitochondries peu abondantes et les capillaires sanguins sont peu développés.

Les fibres II ont un gros diamètre et leur recrutement est précédé par celui des fibres I au cours de contractions d'intensité croissante. Lorsqu'elles sont activées les fibres II donnent une réponse rapide, une tension élevée, mais sont plus rapidement fatigables.

Elles sont adaptées aux exercices brefs et intenses et sont mises en jeu dans les activités de courte durée.

Cependant on distingue au niveau de ces fibres:

1°) les fibres I Ib .

De plus petit diamètre que les fibres I, elles répondent le mieux à la description générale des fibres II: activité oxydative très faible, activité glycolytique largement prédominante, durée d'activité très réduite. Leur mise en jeu correspond à une salve de fréquence élevée.

2°) Les fibres IIa

De diamètre plus grand que les fibres I et I Ib elles contiennent aussi de nombreuses mitochondries fixant l'oxygène. Elles sont au contact d'un plus grand nombre de capillaires. Elles ont un potentiel oxydatif plus élevé que celui des fibres I Ib, et un potentiel glycolytique plus élevé que les fibres I. La tension qu'elles développent est moindre que celle des fibres I Ib, mais elles sont relativement plus résistantes à la fatigue que ces dernières.

Plusieurs formes de passage ont été mises en évidence. Elles témoignent du fait que le patrimoine musculaire n'est pas immuable et que la distribution de fibres peut varier suivant les conditions d'entraînement et de désentraînement.

Ainsi il y a:

\* Les fibres IIab qui se situent par leur caractère entre les fibres IIa et I Ib. Mais les fibres IIab pourraient évoluer en fonction du type d'entraînement vers un profil correspondant aux fibres I Ib (résistance) ou IIa (endurance).



\* Les fibres Iic correspondent à une forme de passage entre les fibres I et les fibres Iia.

#### 1-1-4 Propriétés du muscle

Les trois principales propriétés du muscle sont: l'excitabilité, l'élasticité et la contractilité.

##### 1-1-4-1 L'excitabilité

C'est la capacité d'une cellule vivante à répondre de manière spécifique à une stimulation.

Un stimulus électrique, porté directement sur le muscle ou sur son nerf moteur détermine une réponse mécanique. Celle-ci peut être aussi obtenue par un choc mécanique appliqué sur le corps du muscle ou sur son tendon. La contraction volontaire résulte de la mise en jeu de la voie motrice à partir du cortex moteur.

##### 1-1-4-2 L'élasticité

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 sarcolemme 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.

#### 1-1-4-3 La contractilité

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

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

En conditions isométriques: les deux extrémités opposées du muscle sont fixes; la stimulation crée une force qui tend à les rapprocher.

En conditions anisométriques: 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.

#### 1-1-5 Mécanisme de la contraction musculaire

La contraction musculaire correspond au glissement des filaments d'actine qui pénètrent plus profondément entre les filaments de myosine (voir figure n. 21). La longueur des myofilaments reste invariable alors que le sarcomère se raccourcit.

Les filaments d'actine chevauchent l'un contre l'autre au cours de la contraction normale.

Au repos les ponts de myosine sont maintenus à distance de la molécule d'actine, en raison de l'interposition des molécules de tropomyosine. Chaque pont de myosine présente une activité

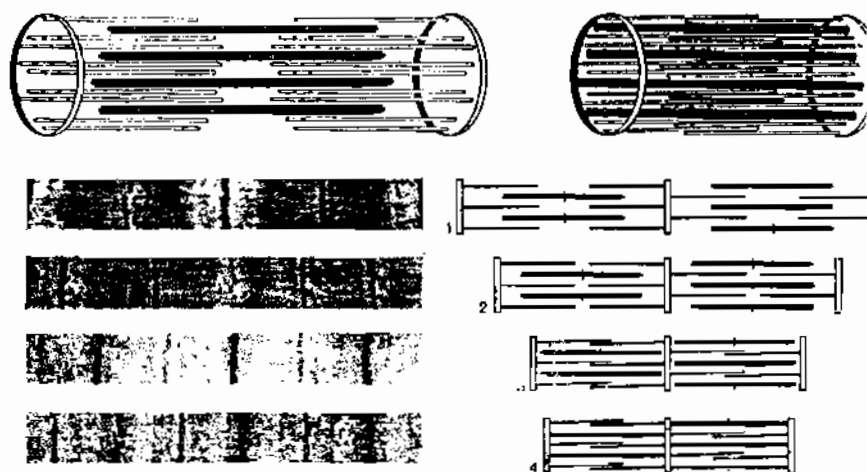


Figure n°3: changements dans les rapports entre les composés structuraux d'une myofibrille pendant la contraction (3 et 4), le repos (2) et l'étirement (1). (D'après Huxley: The Mechanism of Muscular Contraction, Copyright 1965 de «Scientifique American» Inc).

ATPase masquée. Cette activité ATPase ne peut être dévoilée que lors de la liaison entre actine et pont de myosine.

Par ailleurs une molécule d'ATP est fixée au niveau du pont de myosine et reste stable en raison du masquage de l'activité ATPase de la myosine.

L'initiation de la contraction correspond à la liaison entre le pont de myosine et l'actine (en raison de la levée de l'interposition de la tropomyosine). Cette liaison actine-myosine dévoile l'activité ATPase du pont de myosine et il y a hydrolyse de la molécule d'ATP.

La contraction consiste à une incurvation des ponts de myosine entraînant une diminution de l'angle qu'ils forment au repos avec le reste de la molécule de myosine.

Cette incurvation résulte de l'apparition des forces électrostatiques entre les têtes et le filament de myosine, associées à des réactions chimiques impliquant les ions calcium et la dégradation de l'ATP en ADP.

Les ponts de myosine en s'incurvant vers la partie moyenne de celle-ci attirent le filament d'actine contre l'axe du filament de myosine.

Les réactions chimiques supplémentaires amènent les ponts de myosine à se libérer de leurs attaches avec les filaments d'actine ce qui leur permet de revenir à leur position d'origine.

L'ATP qui avait été au préalable dégradé, se reforme et le processus complet reprend. Ce mécanisme de la contraction musculaire est appelé mécanisme "à cliquet".

Cependant l'adducteur premier de la contraction musculaire est l'influx nerveux qui se propage dans le neurone innervant la fibre musculaire.

Les phénomènes observés ici précèdent les événements décrits avant.

1°)- L'influx nerveux se propage dans le neurone moteur.

2°)- L'influx atteint la jonction neuromusculaire.

3°)- Il diffuse à la surface des cellules musculaires formant le muscle.

4°)- Il perméabilise les vésicules sarcoplasmiques (sacs remplis de calcium).

5°)- Ensuite ces vésicules libèrent les ions calcium.

6°)- Enfin ces ions calcium provoquent la contraction de la fibre en se liant à l'actine et à la myosine.

Il est évident que les différents muscles squelettiques ont des durées de contraction différentes. La contraction d'un muscle jumeau dure environ 3/100s et celle du muscle soleaire 1/10s. ( Guyton, 1974 ).

Le muscle jumeau se contracte de façon assez rapide car il est utilisé au cours du saut et pour réaliser d'autres mouvements rapides du pied.

Au cours de la contraction l'ATP est dégradé en ADP apportant ainsi l'énergie nécessaire pour la contraction musculaire.

### 1-1-6 Relations caractéristiques des muscles.

#### 1-1-6-1 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. La courbe tension longueur du muscle au repos est encore appelée courbe de tension passive.

La mesure de la tension que le muscle développe lorsqu'il est stimulé, montre que celle-ci est maximale lorsque la longueur initiale était de 20 % supérieur à 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.

1-1-6-2 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.

Pour Fenn:  $F = F_0 e^{-v/B} - KV$ .

Pour Hill:  $(F + a)(v + b) = K' = b(F_0 + a)$ .

F<sub>0</sub> = force isométrique maximale, F = force au début du mouvement  
b, B, K et K' des constantes.

Pour une fraction donnée de la force maximale les muscles blancs ont des vitesses de contraction 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.

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.

#### 1-1-7 Les différents types de contractions élémentaires.

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, considérée 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 de 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.

##### 1-1-7-1 Contraction isométrique

La force musculaire est égale à la force extérieur  $F_m = F_e$ . 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.

#### 1-1-7-2 Contraction anisométrique

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 qui se fait avec allongement du muscle 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 la contraction dépend de l'excédent de force musculaire sur la force extérieure.

Lorsqu'une masse constante est à déplacer, cela ne signifie pas qu'une force constante doive être appliquée à cette masse pour provoquer le mouvement. Sauf pour des mouvements extrêmement ralentis, la contraction anisométrique est aussi anisotonique.

Qu'il s'agisse de contraction isométrique ou anisométrique, celles-ci peuvent être maximales, mobilisant la totalité des unités motrices, ou sous-maximales n'intéressant qu'une partie de celle-ci.

## 1-2 Revue des systèmes anaérobies de libération d'énergie

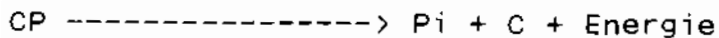
La dégradation de l'ATP libère de l'énergie utilisée par la contraction. La resynthèse de l'ATP nécessite de l'énergie. Il existe trois systèmes par lesquels cette énergie est mise à la disposition des cellules musculaires. Ce sont le système ATP-CP ou système des phosphagènes, la glycolyse anaérobie ou système de l'acide lactique et le système aérobie. Pour le système ATP-CP l'énergie nécessaire à la resynthèse de l'ATP provient de la dégradation de CP. Pour les deux autres systèmes une série de réactions chimiques complexes mettant en jeu la dégradation des substrats procure l'énergie nécessaire à la formation de l'ATP. Cependant nous nous intéresserons essentiellement aux systèmes anaérobies où la resynthèse de l'ATP se fait par des réactions chimiques qui ne nécessitent pas d'oxygène.

### 1-2-1 Le système des phosphagènes.

Le métabolisme anaérobie permet la resynthèse de l'ATP par des réactions chimiques qui ne nécessitent pas d'oxygène. La CP comme l'ATP est emmagasinée dans les cellules musculaires. Comme l'ATP et la CP contiennent tous deux des groupements phosphates on les appelle phosphagènes. La CP est semblable à l'ATP parce que la perte du groupement phosphate s'accompagne de la libération d'une grande quantité d'énergie. Les produits de cette dégradation sont la créatine (C) et le phosphate inorganique (Pi). L'énergie libérée immédiatement est disponible pour resynthétiser l'ATP par une réaction couplée. Ainsi, à mesure que l'ATP est dégradé au cours de la contraction musculaire, il est continuellement resynthétisé à

partir de l'adénosine diphosphate (ADP) et du Pi grâce à l'énergie libérée par la dégradation des réserves de CP.

Ces réactions couplées sont:



Il faut noter ici que ces équations sont extrêmement simplifiées. Dans l'organisme, elles sont plus compliquées et elles exigent la présence d'enzymes. Les enzymes sont des protéines qui accélèrent la vitesse des réactions biochimiques. En fait toutes les réactions métaboliques de l'organisme, y compris la dégradation de l'ATP nécessitent la présence d'enzymes.

La CP peut être resynthétisée à partir de Pi et C, grâce à l'énergie libérée lors de la dégradation de l'ATP. Ce processus a lieu au cours de la récupération après un exercice. A ce moment l'énergie nécessaire pour la resynthèse de l'ATP provient de la dégradation des aliments. Le muscle contient plus de CP que d'ATP respectivement 15 à 17 mmol/kg contre 4 à 6 mmol/kg de muscle frais.

Le système des phosphagènes est mis en jeu pour les départs puissants et rapides des sprinters, des joueurs de football, des sauteurs en hauteur et des lanceurs de poids. Il est ainsi mis en jeu pour toute activité semblable d'une durée de quelques secondes seulement.

Sans ce système les mouvements rapides et puissants ne pourraient être effectués. Le système des phosphagènes constitue la source la plus rapide d'ATP pour le muscle.

La quantité d'énergie disponible grâce au réserve d'ATP-CP est faible et ne permet la poursuite d'un exercice même peu intense que pendant quelques instants.

Par exemple une course à pied à la vitesse de 10 Km/h nécessite une dépense de 48 kJ/mn. En revanche , cette reserve constitue une source d'énergie immédiatement disponible dès le début d'un exercice alors que les autres sources sont inefficaces. Elle représente également une puissance disponible élevée d'environ 7 Kw pouvant être largement dépassée chez les athlètes de haut niveau spécialisés en sprint.

### 1-2-2 La glycolyse anaérobie

Ce système met en jeu une dégradation partielle des glucides en acide lactique. Dans l'organisme les glucides peuvent être convertis en glucose qui peut être immédiatement utilisé ou emmagasiné dans le foie ou les muscles sous forme de glycogène. L'acide lactique est un produit de la glycolyse anaérobie.

La glycolyse anaérobie comprend douze réactions distinctes et consiste à la dégradation du glycogène en absence de l'oxygène. Au cours de la dégradation une certaine quantité d'énergie est libérée, et par le biais de réactions couplées, elle est utilisée pour resynthétiser de l'ATP. Le nombre de moles d'ATP pouvant être resynthétisé à partir du glycogène au cours de la glycolyse anaérobie est relativement faible comparé à celui fourni lorsque l'oxygène est présent. Par exemple 180 g de glycogène aboutissent à la formation de trois moles d'ATP contre 39 moles d'ATP en présence d'oxygène. Pour une même quantité de glycogène la glycolyse anaérobie conduit à la production de 180 g de lactate. La glycolyse aboutit, en



conséquence à l'accumulation progressive d'acide lactique qui provoque une diminution des pH musculaire et sanguin.

La mise en route du processus anaérobie lactique n'est pas immédiate. Celui-ci débute lorsque le taux de phosphagène musculaire s'est suffisamment abaissé et est maximal après un délai d'une minute. Cette relative inertie de mise en route apparaît très bien dans le fait qu'il est possible, par exemple, de répéter de nombreuses fois des exercices de durée

brève d'une intensité supérieure à la puissance maximale aérobie, séparés par des intervalles de durée égale en élevant que très légèrement le taux de lactate sanguin.

La puissance du processus anaérobie lactique s'élève à environ 3.5 kw. elle peut dépasser nettement cette valeur chez les athlètes de haut niveau, spécialisés dans les courses d'une durée de 1 à 2 minutes.

La capacité anaérobie lactique, quantité totale d'énergie disponible à partir de la source lactique, est grossièrement proportionnelle à la concentration maximale de lactate tolérée par l'organisme, celle-ci étant elle même proportionnelle à la concentration du sang en lactate. La concentration maximale du sang en lactate est d'environ 14 à 17 mmol/l chez les sujets non sportifs, ce qui correspond à 75 kJ environ en tenant compte de l'espace de diffusion du lactate. Cette valeur peut être doublée chez certains athlètes.

Au cours de l'exercice bref et intense, on constate une augmentation de la concentration sanguine de lactate, une diminution du pH et un effondrement des bicarbonates plasmatiques. Il est donc possible de rendre un de ces facteurs responsable de l'arrêt. Comme le pH et la concentration ce

lactate musculaire ont la même valeur, quel que soit le délai de l'épuisement lors d'un exercice maximale (2, 5 ou 15 mn), la diminution du pH intramusculaire pourrait constituer le principal facteur limitant. L'augmentation de lactate détermine une diminution du pH et celui-ci réduit la capacité fonctionnelle du muscle.

L'entraînement peut apporter une amélioration très importante de l'aptitude anaérobie en reculant les limites du fonctionnement de la glycolyse grâce à un meilleur tamponnement locale des acides produits à une meilleure tolérance de l'acidité, c'est à dire une adaptation fonctionnelle des fibres musculaires.

### 1-3 Tests d'évaluation de la puissance anaérobie alactique en laboratoire et sur le terrain.

#### 1-3-1 Test de Margaria

On demande au sujet de gravir deux par deux ou trois par trois, avec élan un escalier d'une quinzaine de marches. La vitesse de passage est mesurée entre la 6<sup>ème</sup> et la 12<sup>ème</sup> marche; elle tient lieu de mesure de la puissance anaérobie. La vitesse verticale maximale ( $v_{max}$ ) tenant compte de la hauteur des marches, est donnée par le quotient de la différence de niveau des 6<sup>ème</sup> et 12<sup>ème</sup> marche par le temps de passage le plus rapide. Pour une dénivellation de 1 mètre, les valeurs normales chez l'adulte jeune vont de 0,30 s (excellent) à plus de 0,75 s insuffisant.

La puissance maximale anaérobie en watt des muscles des membres inférieurs s'établit ainsi, tenant compte du poids du sujet (P).

$$P_{\max} = 0,01 * V_{\max} * P$$

(Watts)                      (m/s)      (Kg)

### 1-3-2 Test de pédalage sur bicyclette

On demande au sujet de pédaler sur bicyclette ergométrique contre diverses forces de freinage (F) à une vitesse (V) aussi grande que possible, qui se trouve atteinte en moins de 10 secondes. L'étude de la relation entre F et V montre qu'il s'agit d'une droite et que ces deux grandeurs varient en sens inverse. La détermination de la pente de la droite  $V_0 - kF$  peut tenir lieu de mesure indirecte de la puissance anaérobie ( $P_{\max}$ ) du muscle.

$$P_{\max} = 0,5 V_0 \times 0,5 F_0 = 0,25 F_0 V_0$$

$F_0$  désigne la force isométrique maximale et  $V_0$  la vitesse maximale à charge nulle.

### 1-3-3 Test de détente verticale de Sargent

On demande au sujet debout de fléchir sur les jambes et de se redresser pour venir toucher avec l'extrémité des doigts une planche surélevée et graduée. La performance maximale est donnée par la différence (h) entre le niveau du dernier repère atteint et la taille du sujet debout le bras tendu verticalement. La puissance anaérobie des muscles sollicités correspond à:

$$P_{\max} = 0,002 * P * \sqrt{h}$$

(w) (Kg) (m)

Il existe par ailleurs de nombreux tests de détente horizontale. Ce sont:

- 1°) Le saut unique
- 2°) Le triple saut
- 3 ) Le quintuple saut.



**CHAPITRE II**  
**MATERIEL ET METHODES**

## 2-1 Les sujets

La population de cette étude est composée comme suit:

- 22 étudiants en première année à l'INSEPS dont 3 filles et 19 garçons.
- 5 athlètes de l'ASC Diaraf et de sexe féminin.

Cela correspond à une population de 27 sujets qui ont pris part à l'étude. Nous constatons que ces sujets forment deux groupes différents tant du point de vue de leurs caractéristiques que du point de vue de l'entraînement suivi.

Cependant nous savons qu'au sein d'un groupe les sujets suivent un entraînement quotidien commun.

Les sujets sont en bonne santé et participent régulièrement aux compétitions régionales de l'UASSU.

## 2-2 Le matériel

Pour la réalisation de nos tests nous avons utilisé le matériel suivant:

- Un ergocycle de type Monark 864 à frottement selon le modèle de Von Döbeln (1954). Un dispositif électronique incorporé nous donne directement le nombre de tours effectué par la roue et par minute.
- Un pèse personne de type SECA SE
- Un somatomètre gradué en centimètres pour mesurer la taille des sujets.
- Une planche graduée en centimètres et accrochée au mur du gymnase pour prendre les mesures au saut vertical.
- Un décamètre
- Un rateau
- De la poudre de craie.

## 2-3 Les protocoles

Les protocoles utilisés pour la réalisation de notre étude sont au nombre de trois.

### 2-3-1 Le protocole de détermination de la relation force vitesse sur bicyclette ergométrique.

L'épreuve de détermination de la relation force vitesse sur bicyclette ergométrique consiste en la répétition de sprints maximaux contre différentes forces de freinage, c'est la valeur du pic de vitesse qui est prise en compte dans le calcul de la relation force vitesse .

Au départ le sujet est assis sur la selle pour permettre le réglage de celle-ci, en fonction de sa taille et au début de chaque épreuve. Ce réglage s'effectue sujet assis sur la selle. Le talon sur la pédale située en bas de course, dans l'axe du tube de selle, membre inférieur pratiquement tendu.

Le sujet pédale ensuite avec l'axe des pédales au niveau de la tête des métatarsiens et ne doit présenter aucun déhanchement. Des cales pieds et des sangles serrées au maximum empêchent la rotation des pédales.

Le sujet commence par pédaler à faible allure (environ 60 tours par minute) afin de permettre à l'opérateur d'établir la force de freinage puis, au signal "partez", il accélère jusqu'à atteindre en quelques secondes sa vitesse maximale.

Pour chacun des exercices de pédalage, la vitesse maximale doit être atteinte le plus rapidement possible après le signal. Le sujet est encouragé à vive voix et dès que la vitesse commence à baisser, l'opérateur donne le signal d'arrêt. L'exercice dure

8 secondes au maximum et le sujet recommence après 5 minutes de récupération, avec une force de freinage augmentée de 0,5 à 2 Kg selon l'âge, le sexe et le sport pratiqué.

Les deux premiers exercices réalisés avec les forces de freinage les plus faibles sont considérés comme échauffement et systématiquement repris en fin d'épreuve. Seul le deuxième passage est pris en compte pour le calcul de la relation force vitesse.

Un appareil électronique nous donne directement la fréquence de pédalage exprimée ici en nombre de rotations de la roue par minute (rpm). Le nombre de tours par minute et la force de freinage correspondante sont reportés sur un graphique. Les points correspondants sont presque alignés sur une droite d'équation  $y = V_0 + bF$  ou  $b$  est la pente,  $F$  la force de freinage et  $y$  la vitesse (rpm) correspondante.  $V_0$  est la vitesse maximale et elle permet de calculer la force maximale  $F_0$  ( $F_0 = -V_0/b$ ).

Connaissant  $F_0$  et  $V_0$  on calcule directement la puissance maximale (en watt) développée par le sujet à l'aide de la formule  $W_{max} = 0,25 * V_0 * F_0$ .

### 2-3-2 Protocole de l'épreuve de détente verticale

L'épreuve comprend deux mesures:

- Une mesure à l'arrêt (mesure A) qui consiste à placer le sujet de profil contre le mur, les pieds bien à plat. Le bras qui se trouve du côté du mur est levé en extension maximale de l'épaule.
- Une mesure (mesure B) au cours de l'épreuve: le sujet se place, pieds légèrement écartés à environ 20 cm du mur. Sans

rebond préalable il prépare son saut en abaissant les bras et en fléchissant le tronc et les membres inférieurs.

Il saute aussi haut que possible, un bras en extension, en laissant une marque sur la planche graduée fixée au mur et à l'aide de ses doigts préalablement enduits de craie. Le sujet fait trois sauts et la performance sera la différence entre la meilleure mesure de B et la mesure A.

Une valeur de la puissance anaérobie peut être obtenue à partir du résultat du test selon la formule:

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

M = masse du sujet

P = la performance

La puissance est exprimée ici en kgm/s, la masse du sujet en kg, et la performance du test en mètre.

### 2-3-3 Protocole de l'épreuve de saut pieds joints.

Au départ le sujet est debout les bras en avant, la pointe des pieds derrière la ligne de départ.

Il se prépare à sauter en fléchissant les genoux et en portant les bras en arrière. Il saute en lançant les bras en avant et se reçoit au sol ramenant les jambes sous lui. Le sujet fait trois sauts consécutifs et seul le meilleur est retenu.

L'évaluation de la puissance du sujet est faite grâce à la performance mesurée en mètre.

### 2-3-4 Précautions

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

Pour le test de pédalage sur bicyclette qui se déroulait au niveau du laboratoire, nous avons veillé à ce que :

- Les sujets ne fassent aucune activité physique avant le test.
- La salle soit correctement ventilée.
- Le silence soit de rigueur pour ne pas perturber les sujets.

Les autres tests se sont déroulés sans activité physique préalable, mais un petit échauffement à titre de balancements de bras et de sautilllements.

**CHAPITRE III**  
**PRESENTATION ET INTERPRETATION DES**  
**RESULTATS**

### 3-1 Mesures anthropométriques de la population.

#### 3-1-1 Population masculine.

Sujets	Age (années)	Poids (Kg)	taille (cm)
1	23	77	182
2	24	66	182
3	23	78	188
4	23	83	187
5	23	78	189
6	23	72,5	181
7	24	87	190
8	24	74	181
9	26	61	178
10	23	60	174
11	23	66	176
12	25	71	177
13	24	65	183
14	24	67,5	181
15	23	65	191
16	23	63,5	169
17	23	75	175
18	23	75	185
19	23	68,5	181
m	23,5	71,2	180,94
sd	0,8	7,2	5,42

Tableau 1: Valeurs anthropométriques de la population masculine moyenne (m) et écart type (sd) de l'âge, du poids et de la taille des sujets.

## 3-1-2 Population féminine.

Sujets	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
1	17	45	161
2	23	58,5	164
3	23	60	161
4	15	53	165
5	15	50	161
6	15	53	161
7	23	61	169
m	18.7	54.3	163.14
sd	3.7	5.3	2,8

Tableau 2: valeurs anthropométriques de la population féminine moyenne (m) et écart type (sd) de l'âge, du poids et de la taille des sujets.



### 3-2 Résultats du test de pédalage sur bicyclette ergométrique.

#### 3-2-1 Chez les garçons.

Sujets	Vo (trs/mn)	Po (kgp)	Wmax (watt)	r (corrél)	a (pente)	Wm/P (w/kg)
1	217,78	14,16	771,16	0,99	-15,37	10,01
2	199,53	16,55	825,88	0,95	-12,08	12,51
3	227,81	18,41	1049,04	0,99	-12,36	13,44
4	198,26	22,26	1103,82	0,99	-8,9	13,29
5	221	16,45	909	0,99	-13,42	11,6
6	173,57	13,91	603,59	0,99	-12,4	8,32
7	197	24	1184	0,99	-8,19	13,61
8	193,75	23,5	1138,31	0,98	-8,24	15,35
9	154	19,54	753,68	0,99	-7,86	12,35
10	184	14,83	682	0,99	-12,4	11,3
11	209,88	18,15	952	0,99	-11,56	14,43
12	212,10	15,34	813	0,98	-13,8	11,46
13	204,36	15,56	795,23	0,99	-13,13	12,23
14	208,24	12,09	629,43	0,99	-17,22	9,32
15	222,95	13,59	757,70	0,99	-16,40	11,6
16	186,37	13,78	642,48	0,99	-13,51	10,11
17	216,97	13,27	720,30	0,98	-16,33	9,60
18	218,82	15,43	844,59	0,99	-14,17	11,26
19	159,02	21,12	840,03	0,99	-7,52	12,26
m	200,26	18,34	842,90	0,98	-12,36	11,72
sd	20,53	3,52	168,30	0,009	2,93	1,76

**Tableau 3:** Valeurs retrouvées au test de pédalage chez les garçons: moyenne (m) et écart type (sd) de la vitesse maximale (Vo), de la charge maximale (Po), de la puissance maximale (Wmax), de la corrélation (r), de la pente (a) et de la puissance maximale par unité de poids (Wmax/Poids).

Pour la population masculine la puissance maximale ( $W_{max}$ ) est en moyenne de  $842,9 \pm 168,3$  watts pour des valeurs variant entre 603,59 et 1184 watts (voir tableau n°3).

La puissance maximale par unité de poids corporel est égale en moyenne à  $11,79 \pm 1,76$  w/kg pour des valeurs, minimale de 8,32 w/Kg et maximale de 15,38 w/Kg.

Ces écarts peuvent être expliqués d'une part par les différences morpho-typologiques observées chez ces sujets, d'autre part par l'existence chez certains d'une pratique sportive en dehors des heures normales de cours. Les valeurs de puissance élevées sont réalisées par des sujets qui pratiquent régulièrement du basket au niveau du championnat national, mais aussi par ceux réalisant moins de 11 secondes aux 100 m, c'est à dire assez rapides. Les valeurs moyennes de la charge et de la vitesse sont respectivement de  $16,94 \pm 3,53$  kg et  $200,28 \pm 20,53$  rpm. La corrélation moyenne entre ces deux paramètres est de  $0,98 \pm 0,009$  (voir figure n°4).

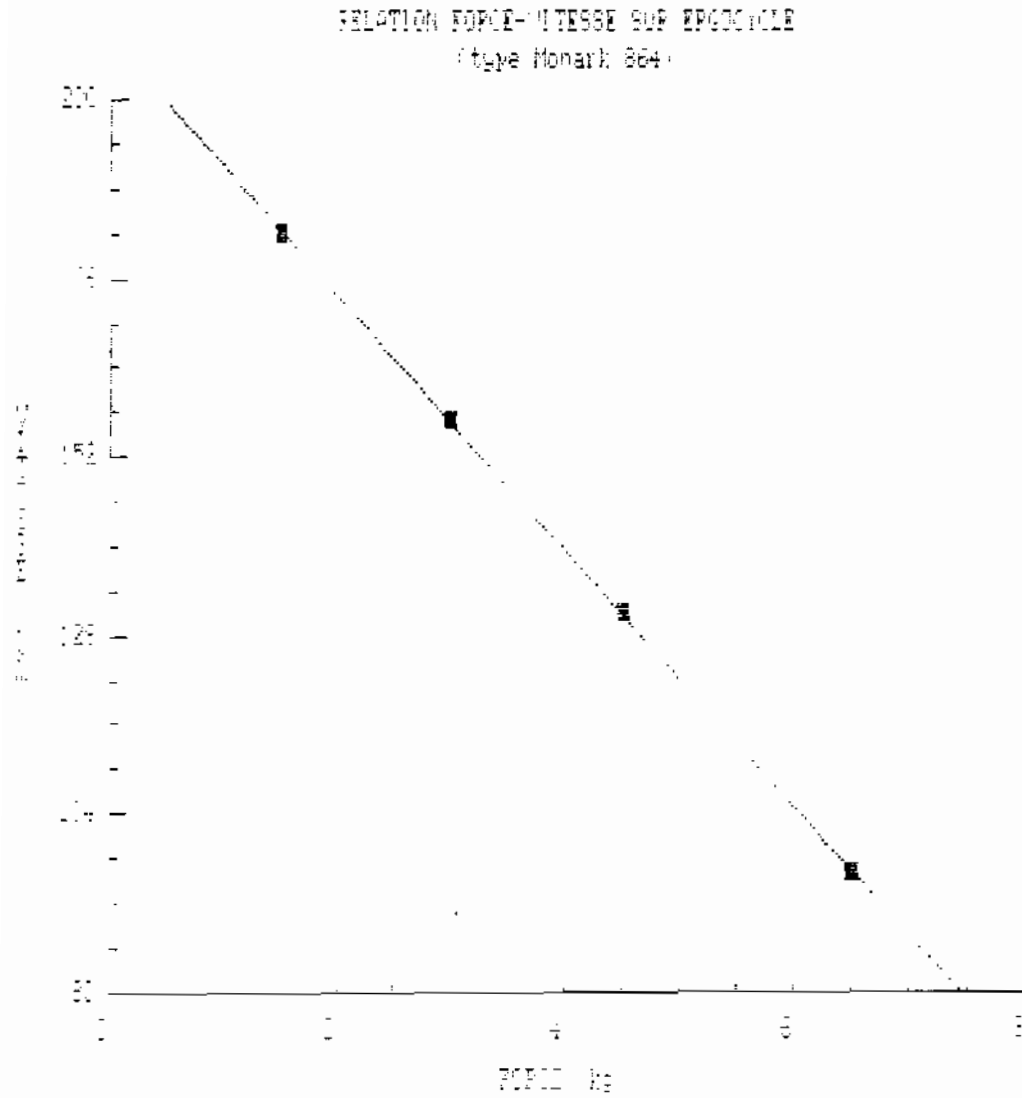


Figure n°4: Relation Force-vitesse chez un sujet masculin. Le coefficient de corrélation chez ce sujet est de 0,92, significatif à  $p < 0,05$ .

## 3-2-2 Chez les filles.

Sujets	Vo (trs/mn)	Po (kgp)	Wmax (watt)	r (correlat)	a (pente)	Wm/p (w/kg)
1	161,5	8,5	345,18	0,99	-19	7,6
2	160,33	10,68	428	0,99	-14,99	7,32
3	168,47	10,19	429,36	0,98	-16,52	7,15
4	157,11	12,49	490,73	0,98	-12,57	9,25
5	119,66	9,20	275,38	0,99	-13	5,5
6	142,21	10,3	366,65	0,99	-13,78	6,32
7	161,66	11,54	466,71	0,99	-14	7,65
m	152,99	10,41	400,28	0,98	-14,83	7,25
sd	15,51	1,24	69,66	0,004	2,08	1,08

Tableau 4: Valeurs retrouvées au test de pédalage chez les filles: moyenne (m) et écart type (sd) de la vitesse maximale (Vo), de la charge maximale (Po), de la puissance maximale (Wmax), de la corrélation (r), de la pente (a) et de la puissance par unité de poids (Wmax/poids).

Chez les filles la puissance maximale ( $W_{max}$ ) est égale en moyenne à  $400,28 \pm 69,66$  watts. Rapportée à l'unité de poids corporel la puissance sera de  $7,25 \pm 1,08$  w/Kg.

Nous avons pu constater que dans ce groupe il existe un écart assez grand entre les valeurs de puissance des sujets (voir tableau n°4). Ceci est surtout dû aux qualités physiques très différentes des sujets mais aussi à l'habitude qu'ont certains sujets à la pratique du vélo. Cet acquis a influencé les résultats de ces dits sujets. A cela s'opposent les difficultés rencontrées par d'autres pour pédaler correctement, puisque n'ayant jamais appris à monter à vélo.

La corrélation par régression linéaire entre la charge et la vitesse est en moyenne de  $0,98 \pm 0,004$  (voir figure n°5).

Les valeurs moyennes de la charge et de la vitesse sont respectivement égales à  $10,41 \pm 1,24$  Kg et  $152,99 \pm 15,51$  rpm.

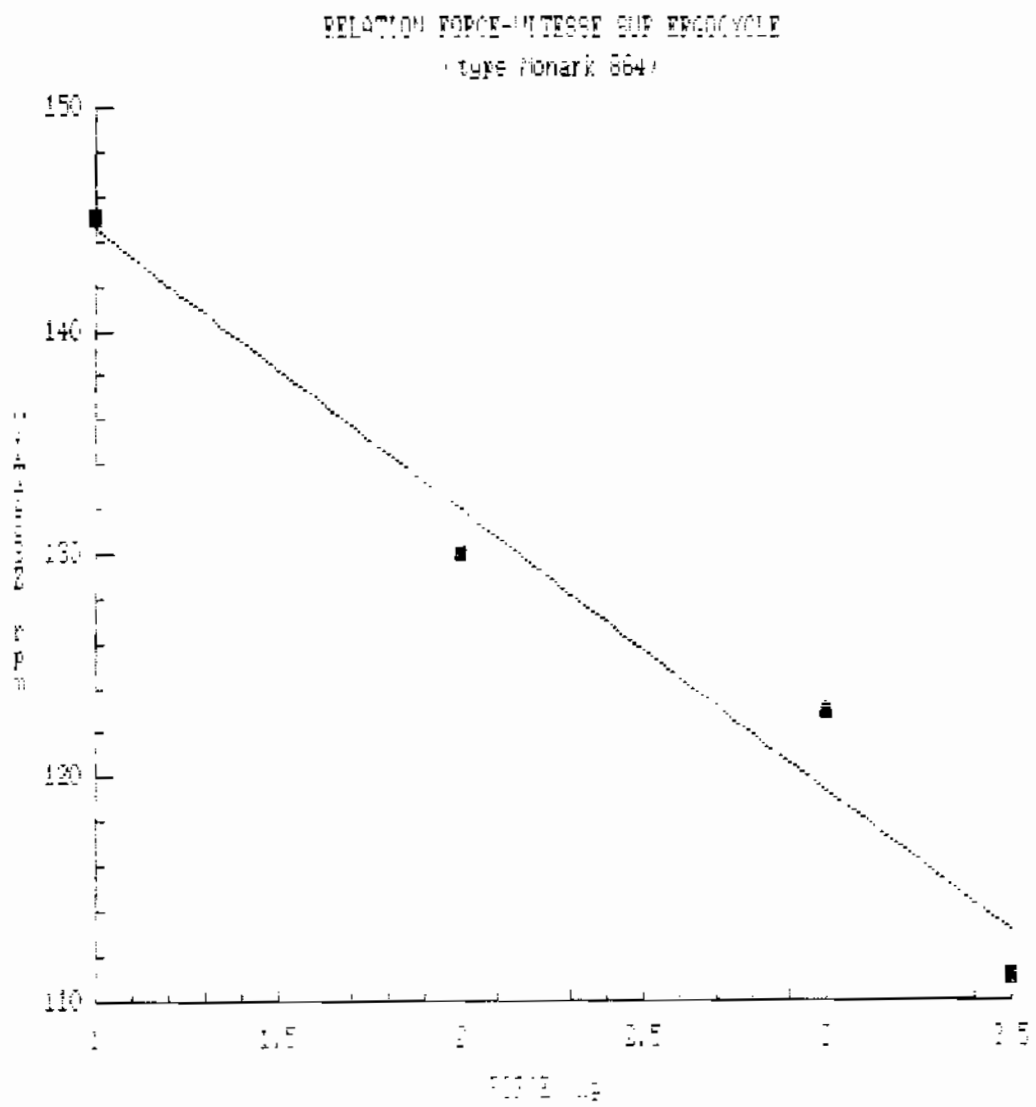


Figure n°5: Relation Force-vitesse chez un sujet Féminin. Le coefficient de corrélation chez ce sujet est de 0.98 significatif à  $p < 0.05$ .

### 3-3 Résultats du test de détente verticale.

#### 3-3-1 Chez les garçons.

Sujets	Performance de la détente verticale (m)	Puissance correspondante (watt)
1	0,44	1107,98
2	0,61	1118,18
3	0,63	1342,99
4	0,60	1394,63
5	0,56	1266,16
6	0,50	1112,16
7	0,67	1544,77
8	0,73	1671,51
9	0,57	999,01
10	0,52	938,54
11	0,65	1154,24
12	0,54	1131,90
13	0,66	1154,52
14	0,72	1242,44
15	0,64	1127,98
16	0,58	1048,99
17	0,61	1270,66
18	0,60	1260,18
19	0,64	1188,74
m	0,60	1198,23
sd	0,07	143,42

**Tableau 5: Valeurs mesurées au test de détente verticale chez les garçons: moyenne (m) et écart type (sd) de la performance et de la puissance correspondante calculée à partir de la formule de Lewis. ( Fox et Mathews. 1977 ).**

La puissance calculée à partir de la formule de Lewis (Fox et Mathews, 1977) est proportionnelle à la performance du saut et à la masse du sujet.

La valeur du saut est fonction de l'activité pratiquée par le sujet et à la masse musculaire déplacée

Les meilleures performances sont enregistrées chez les sujets très rapides c'est à dire pouvant déplacer leur centre de gravité dans l'espace le plus rapidement possible. Certains sujets assez costauds parviennent à réaliser une bonne performance grâce à une pratique annexée et de niveau élevé d'un sport nécessitant une bonne détente.

Néanmoins des sujets très forts au niveau des cuisses ne parviennent pas cependant à faire une bonne performance au saut. Ceci peut s'expliquer par un défaut de coordination entre les mouvements des bras et les jambes, mais aussi au fait que les muscles quadriceps ne soient pas soumis souvent à un travail similaire.

Les valeurs moyennes du saut et de la puissance sont respectivement de  $0.60 \pm 0.07$  m et de  $1198.23 \pm 143.42$  watts (voir tableau n°5).



### 3-3-2 Chez les filles.

Sujets	Performance de la détente verticale (cm)	puissance correspondante (watt)
1	0,39	609,56
2	0,46	860,63
3	0,45	873,08
4	0,42	745,09
5	0,40	689
6	0,41	805,56
7	0,39	826,33
m	0,41	772,75
sd	0,02	89,55

Tableau 6: Valeurs mesurées au test de détente verticale chez les filles: moyenne (m) et écart type (sd) de la performance et de la puissance correspondante calculée à partir de la formule de Lewis.

Pour la population féminine les valeurs moyennes de la performance à la détente verticale et de la puissance correspondante sont respectivement de  $0,41 \pm 0,02$  m et de  $772,75 \pm 89,55$  watts (voir tableau n°6).

Les performances sont sensiblement les mêmes mis à part bien sûr deux d'entre elles un peu au dessus et qui sont l'oeuvre de deux sujets particulièrement véloce.

Au niveau des valeurs de puissance cette tendance est moins nette puisque nous faisons intervenir les poids des sujets dans le calcul de cette puissance.

### 3-4 Résultats du test de saut en longueur pieds joints.

#### 3-4-1 Chez les garçons.

Sujets	Performance (m)
1	2,60
2	2,95
3	2,80
4	2,42
5	2,65
6	2,70
7	2,90
8	2,95
9	2,55
10	2,47
11	2,52
12	2,56
13	2,55
14	2,83
15	2,70
16	2,80
17	2,60
18	2,66
19	2,85
$\bar{x}$	2,68
sd	0,15

Tableau 7: moyenne (m) et écart type (sd) des valeurs mesurées au test de saut pieds joints chez les garçons.

La performance moyenne est égale à  $2,68 \pm 0,15$  m (voir tableau n°7).

Comme au test de détente verticale la performance est tributaire de la masse musculaire déplacée, des dispositions musculaires et de la spécialité sportive.

Les performances assez bonnes ont été influencées par la pratique sportive de tous les jours.

### 3-4-2 Chez les filles.

Sujets	Performance (m)
1	2,06
2	2,32
3	2,16
4	2,08
5	1,93
6	2,30
7	2,10
m	2,13
sd	0,12

Tableau n°8: Moyenne (m) et écart type (sd) des valeurs mesurées au test de saut en longueur pieds joints chez les filles.

Les écarts observés chez les sujets masculins sont moins grands pour les filles. Cela traduit une certaine homogénéité de ce groupe même si on note une ou deux qui sont un peu en dessous des autres.

Cela s'explique soit par des insuffisances sur le plan musculaire soit par des blocages liés à la situation. La performance moyenne est égale à  $2,13 \pm 0,12$  m (voir tableau n°8).

**CHAPITRE IV**  
**DISCUSSION**

## IV

## DISCUSSION

## 4-1 Validité des méthodes et des protocoles.

## 4-1-1 L'épreuve de pédalage sur ergocycle.

La valeur de  $W_{max}$  calculée à partir d'une relation force-vitesse sur ergocycle est une bonne estimation de la puissance maximale anaérobie . Notre étude a donné les résultats suivants:

- Pour les garçons  $W_{max}$  est égale à  $842.9 \pm 168.3$  watts en moyenne soit  $11.79 \pm 1.76$  watts/kg.
- Pour les filles  $W_{max}$  est égale à  $400.28 \pm 69.6$  watts en moyenne soit  $7.25 \pm 1.08$  w/kg.

Une étude de Péres et Coll.(1988) portant sur des athlètes pratiquant différents sports a donné des résultats qui sont inférieurs ou supérieurs selon le sport pratiqué. Ceci s'explique par la particularité de notre groupe qui est composé de garçons pratiquant plusieurs disciplines sportives et qui pour la quasi-totalité n'ont pas de spécialité.

Pour les filles les résultats obtenus sont relativement élevés si on se réfère à l'écart qu'il y a avec les résultats de certains garçons.

Notons cependant que leur groupe est en majorité composé de sprinters donc supposées rapides et puissantes. Aussi elles s'entraînent régulièrement et participent aux compétitions.

#### 4-1-2 Le test de détente verticale

La formule de Lewis ( Fox et Mathews, 1977) permet le calcul d'une puissance maximale à partir du poids corporel et de la hauteur de détente.

Les résultats trouvés pour nos sujets sont en moyenne de 2.13  $\pm$  0,12 m chez les filles et 2,68  $\pm$  0,15 m chez les garçons soit respectivement 772,75  $\pm$  89,5 watts et 1198,23  $\pm$  143,4 watts, calculés en puissance. Ils sont supérieurs à ceux observés par Pérès et Coll.(1988) pour des athlètes de sexe masculin. Cette moyenne chez les garçons reflète à notre avis les excellentes performances réalisées par une poignée d'entre eux d'un bon niveau de pratique au plan national.

Aussi les différences observées chez les filles comme chez les garçons peuvent être imputées à la technique de passation. Ainsi nous avons le saut après une flexion marquée ou après une flexion brève, le saut avec ou sans l'aide des mains (Wiklander Lysholm, 1987 ).

Les différences au niveau des résultats peuvent s'expliquer aussi par les moyens employés, spécifiques à chaque expérimentateur.

#### 4-1-3 Le test de saut en longueur pieds joints.

Les valeurs moyennes réalisées par nos sujets sont nettement au dessus de celles obtenues par Wiklander et Lysholm (1987). Cependant il nous faut admettre que les protocoles ne sont pas les mêmes et que le notre est beaucoup plus favorisant. En effet l'utilisation des membres supérieurs améliore la performance et permet de maintenir un bon équilibre durant le saut. Il y a encore les expériences antérieures, les masses



musculaires mises en jeu, le lieu et le moment d'exécution qui influencent naturellement la qualité du saut.

#### 4-2 Signification et intérêt des tests de puissance.

##### 4-2-1 Signification des tests de puissance maximale

###### 4-2-1-1 Les vitesses maximales ( $V_0$ )

La variable  $V_0$  est la vitesse maximale ou le nombre total de tours effectué par la roue de l'ergocycle par minute. Elle correspond à une charge nulle. En fait  $V_0$  a la dimension d'une fréquence, d'une vitesse gestuelle et impliquerait une bonne coordination (Pérès et Coll 1989).

Les variations de  $V_0$  sont très faibles avec l'entraînement ce qui fait que  $W_{max}$  soit moins dépendant de cette variable. Ceci conforte l'idée selon laquelle la qualité de vitesse est innée. Aussi pour une même spécialité sportive nous pouvons avoir des  $V_0$  très proches alors que les performances sont inégales.

L'expérience montre que ceux qui enregistrent les plus élevées  $V_0$  ne sont pas forcément les plus rapides dans une course à pied.

###### 4-2-1-2 Les forces maximales ( $F_0$ )

$F_0$  est la force correspondant à l'intersection de la droite de régression linéaire avec l'axe des abscisses. Cette variable a la dimension d'une force isométrique: c'est à dire que la vitesse est nulle.

Les variations de  $F_0$  sont proportionnelles à celles de  $W_{max}$  et influencent directement et plus clairement cette dernière. Aussi  $F_0$  évolue avec le niveau d'entraînement et la performance. L'entraînement augmente  $F_0$  en même temps que la

puissance anaérobie. En définitive les sujets les plus puissants sont ceux qui supportent mieux les lourdes charges. La force musculaire absolue est cependant fortement dépendante des facteurs du milieu ( Zarsiorski Serguïenko, 1975 ).

#### 4-2-1-3 Les puissances maximales ( $W_{max}$ )

$W_{max}$  constitue la puissance maximale développée par le sujet. Cette variable suit l'évolution de  $V_0$  et de  $F_0$  tout en étant mieux corrélée aux variations de  $F_0$ . Elle est égale à  $1/4.V_0.F_0$  et représente l'expression mécanique des débits énergétiques anaérobies alactiques ( Pérès & Coll, 1988 ).

$w_{max}$  évolue significativement en cours de saison sportive pour des sportifs de très haut niveau (Pérès et Coll, 1988 ) et ses valeurs sont supérieures chez les hommes ( Vandewalle & Coll, 1988 ) et chez les coureurs de niveau supérieur ( Pérès et Coll, 1988 ). La puissance maximale anaérobie paraît ainsi corrélée à la performance.

#### 4-2-1-4 Comparaison des tests de puissance.

Les puissances maximales obtenues avec l'épreuve de détente verticale sont supérieures à celles obtenues avec l'ergocycle chez les garçons comme chez les filles. Au niveau de signification  $p < 0,001$  les deux puissances sont fortement corrélées chez les garçons (voir figure n° 6). Pour les filles la corrélation est faible pour un niveau de signification de  $p < 0,1$ . Plusieurs raisons pourraient être évoquées notamment les modalités d'exécution des tests.

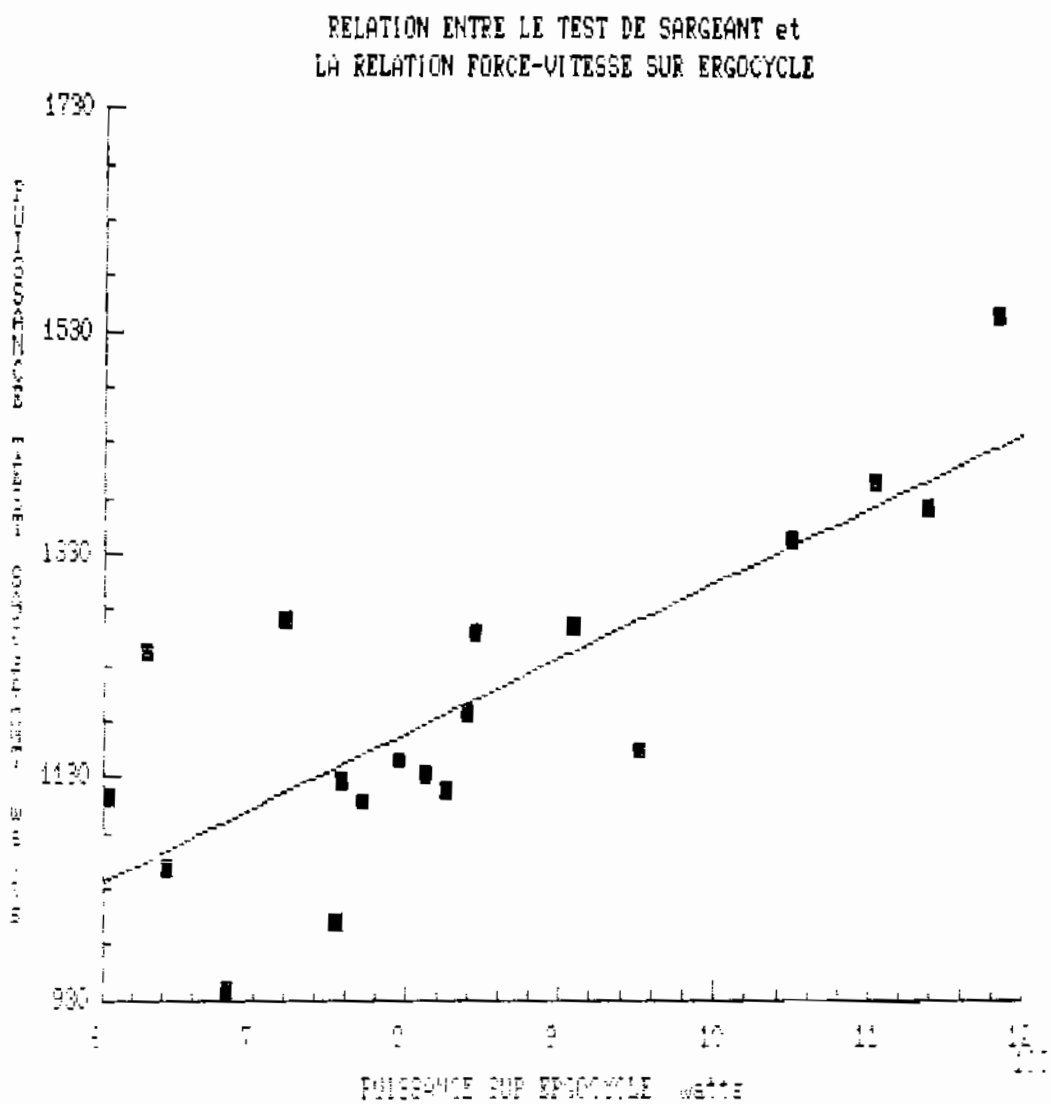


Figure n°6: Corrélation entre la puissance obtenue au test de saut verticale de SARGEANT et la puissance développée sur ergocycle

La détente verticale et le saut pieds joints nécessitent un mouvement unique de type explosif, polyarticulaire et simultané des deux membres inférieurs. Lors de la flexion préalable, l'énergie élastique accumulée, liée aux composantes élastiques en série, sera partiellement restituée lors de l'extension. Les tests de saut impliquent l'habileté motrice, la coordination, la vitesse et la force (Larson, 1940). La puissance n'est qu'une des composantes, la plus importante et qui par conséquent détermine la puissance est l'habileté à sauter. A la différence des tests de saut avec les deux jambes, le pédalage est réalisé alternativement par un seul membre dont la seule puissance est mesurée. La force exercée pendant un tour de pédalier varie aussi au cours du cycle ( Sargeant & Coll, 1981)

#### 4-2-2 Intérêts des tests de puissance maximale

Les tests qui mesurent la puissance maximale anaérobie sont des exercices brefs et intenses d'une dizaine de secondes seulement. Ces tests ne nécessitent pas beaucoup de moyens et peuvent se faire au laboratoire ou sur le terrain. Ils constituent aussi un bon outil pour l'entraîneur moderne qui doit sans cesse être fixé sur les possibilités de ses athlètes. Les tests sont utilisés le plus souvent pour évaluer l'aptitude physique des sportifs. Ils permettent à ceux-ci de suivre le développement de leurs qualités physiques et fournissent à l'entraîneur une bonne indication sur les potentialités de ses athlètes. Ils constituent aussi un moyen privilégié pour la détection et l'orientation des jeunes athlètes. La classification montre que les sprinters et autres sauteurs ainsi que les basketteurs sont parmi les plus

puissants des sportifs alors que les marathoniers se retrouvent au bas de l'échelle. Il faut mentionner que ces tests sont nécessaires pour le suivi d'athlètes qui reviennent d'une maladie ou après une absence prolongée de compétition. Ce suivi se fera progressivement et avec comme objectif d'atteindre le niveau de départ avant l'interruption.

#### 4-3 Limites de notre étude et perspectives.

Les tests précédents donnent des indications fondées sur la connaissance de la rapidité de contraction du muscle et de la libération de l'ATP.CP.

Néanmoins, aucune corrélation n'a été établie à ce jour entre l'utilisation des réserves en phosphagènes et les résultats obtenus. (Thill & Coll, 1987).

Il faut noter d'autre part que seule la puissance de "crête" du système ATP.CP. est évaluée mais aucun renseignement n'est fourni sur la quantité des réserves disponibles. Enfin la puissance de l'individu est sous la dépendance de son système neuro-moteur et de l'élasticité musculaire qui prend en compte une partie non négligeable du mouvement sans dépense d'énergie. La Formule de Lewis mesure la puissance moyenne fournie par la pesanteur lors de la redescente ou la puissance de freinage de la pesanteur lors de la montée et non pas la puissance effectivement développée par le sujet. (Pérès et Coll, 1988).

Les tests de puissance sont à l'usage des entraîneurs pour la détection, l'orientation et le suivi des athlètes. Nous pensons qu'il est possible d'apporter des modifications dans le déroulement de ces tests afin de faciliter la communication et l'échange entre les différents usagers. Ainsi dans les tests de

détente un modèle de saut doit être adopté par tous car la position des bras détermine la qualité du saut. L'informatisation du protocole de pédalage diminuerait les pertes de temps occasionnées par les calculs des variables et l'exploitation des données en général. Elle permettrait aussi de gagner du temps dans l'administration du protocole. Enfin dans le choix des épreuves il nous semble nécessaire de tenir compte des spécificités du groupe étudié (spécialité sportive, niveau d'entraînement, etc...).

## CONCLUSION ET RESUME

## CONCLUSION et RESUME.

La puissance maximale anaérobie permet d'apprécier l'aptitude physique et la capacité à supporter un effort bref et intense. L'évaluation de cette puissance est intéressante parcequ'elle permet l'orientation des sportifs dans leurs disciplines de prédilection en tenant compte bien sûr de leurs possibilités, de leur vécu et de leurs goûts.

Cette présente étude a porté sur un groupe de 19 garçons et 7 filles tous sportifs avec un niveau de pratique élevé pour les uns et moyen pour les autres. Le but était de vérifier, premièrement, la relation qui existe entre la puissance maximale anaérobie et, la force et la vitesse; ensuite de chercher les corrélations entre différentes techniques de mesure de la puissance maximale des membres inférieurs.

Nous avons utilisé pour ce faire trois tests:

- Le test de pédalage sur bicyclette ergométrique.
- Le test de détente verticale.
- Le test de saut en longueur pieds joints.

Les résultats ont montré que la puissance développée est significativement plus élevée pour la détente verticale que pour le pédalage et que pour le test de saut pieds joints nous avons considéré la valeur du saut exprimée en mètres. Ainsi les puissances des deux tests sont significativement corrélées chez les garçons alors que chez les filles la corrélation est très faible. Aussi nous n'avons trouvé aucune corrélation significative entre ces puissances et la performance du saut pieds joints.



Cependant de par leur importance les tests de puissance doivent constituer des outils usuels pour les intervenants en E.P.S dans une perspective de détection et de suivi des jeunes sportifs. Cela au moment où l'on parle de travail à la base et dans un environnement où la performance ultérieure est sujette à une pratique rationnellement guidée dès le jeune âge.

## BIBLIOGRAPHIE

## BIBLIOGRAPHIE

- 1 - ASTRAND ( P.O ) et RODAHL  
Précis de physiologie de l'exercice musculaire. Paris, Masson, 1980, 508 p.
- 2 - CAZORLA (G)  
Evaluation des capacités physiques in Manuel de l'éducation sportif. Paris, Vigot 1984 pp 177-205.
- 3 - CAZORLA (G), DUDAL (J) (1986  
Programme d'évaluation de la motricité de l'enfant et de l'adolescent. côte d'Ivoire: ministère de la jeunesse et des sports, France: ministère des relations extérieures (S.L.N.D)
- 4 - CRAPLET (C), CRAPLET (P)  
Physiologie et activité sportive. Paris, Vigot; Montreal: Decarfe; 1984. 428 p.
- 5 - FALL (A)  
Puissance et capacité anaérobie alactique. Essai synthétique des études expérimentales. Energétique - Evaluation - Entraînement in Medecine du sport. Paris: Medispor Tome 64 N°6. 25 Novembre 1990 pp 310 - 314.
- 6 - FOX (L.E) , MATHEWS (K.D).  
Bases physiologiques de l'activité physique. Paris: Vigot; Montreal. Decarie: 1984. 404 p.
- 7 - GUYTON (A.C)  
Physiologie de l'homme. Montreal, HRW Ltée, 1974. 205 p.
- 8 - HORT (W), FLOTHNER (R).  
Les bases scientifiques de la musculation et de la traumatologie musculaire. Paris, Vigot, 1984, 174 p.
- 9 - KARPOVICH (V.P), SINNING (E.W)  
Physiologie de l'activité musculaire. Paris, Vigot, 1975, 520 F
- 10 - MAC DOUGALL (D.J), WENGER (H.A), GREEN (H.J).  
L'évaluation physiologique de l'athlète de haut niveau. Montreal: Decarie. Lausanne: Vigot, 1988.
- 11 - Mc ARDLE (W.D), KATCH (F.I), KATCH (V.L), NADEAU (M).  
Physiologie de l'activité physique. Paris, Vigot 1987 536 p.
- 12 - MONOD (H), FLANDROIS (R)  
Physiologie du sport. Paris, Masson, 1985 216 p.
- 13 - Pérès (G), Delgado (A), Vandewalle (H), Monod (H)  
Modification de la puissance maximale anaérobie et des variables de la relation force-vitesse sur ergocycle sous l'effet de l'entraînement: Cinésiologie, XXVIII, Paris, 1989. pp 299-301.

- 14 - Pérès (G), Vandewalle (H), Monod (H)  
Comparaison de trois méthodes de mesure de la puissance maximale anaérobie des membres inférieurs. *Cinésiologie*, XXVII, Paris, 1988, pp 241-249.
- 15 - RIEU (M)  
Bioénergétique de l'exercice musculaire. Paris, PUF. 1988.
- 16 - SECK (D), WANDEWALLE (H), MONOD (H)  
Puissance maximale sur ergocycle et délai d'atteinte du pic de vitesse chez l'enfant et l'adulte. in *Science et Sports*. Paris, Elsevier, 1991 N° 6 pp 253 - 254.
- 17 - THYS. HENRY.  
Elasticité et rendement du geste sportif in *medecine du sport*. Paris, Medispor N° 1 1987 pp 22 - 25.
- 18 - VANDEWALLE (H), HELLER (J), Pérès (G), RAVENEAU (S), MONOD (H)  
Etude comparative entre le wingate-test et un test force-vitesse sur ergocycle, in *Science et Sports*, n°2, Paris 1987, pp 279-284.
- 19 - WASSERMAN (D), HOWALD (H)  
Structure et ultrastructure de la fibre musculaire in *Bioénergétique de l'exercice musculaire*. Paris, PWF, 1988 pp 41 - 51.
- 20 - WIKLANDER (J), LYSHOLM (J)  
Simple tests for surveying muscle strength and muscle stiffness in Sportsmens. in *Sport Medecine*, n 8, New-york. 1987, pp 50-54

