

République du Sénégal
*
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
*
MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE
*

INSTITUT NATIONAL SUPERIEUR
DE L'ÉDUCATION POPULAIRE
ET DU SPORT
(I.N.S.E.P.S.)

MEMOIRE DE MAITRISE ES SCIENCES ET TECHNIQUES
DE L'ACTIVITE PHYSIQUE ET DU SPORT (S.T.A.P.S.)

THEME :

**RELATION ENTRE LA FATIGUE
NEUROMUSCULAIRE, LA PUISSANCE
DEVELOPPEE ET LA DUREE DE MAINTIEN DE
L'EXERCICE**

Présenté et soutenu par :

ABDOURAHMANE SENE

SOUS LA DIRECTION DE :

MR DJIBRIL SECK ENSEIGNANT À L'INSEPS

ANNEE UNIVERSITAIRE 1995-1996

République du Sénégal
*
UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR
*
MINISTRE DE L'EDUCATION NATIONALE
*

INSTITUT NATIONAL SUPERIEUR
DE L'EDUCATION POPULAIRE
ET DU SPORT
(I.N.S.E.P.S.)

MEMOIRE DE MAITRISE ES SCIENCES ET TECHNIQUES
DE L'ACTIVITE PHYSIQUE ET DU SPORT (S.T.A.P.S.)

THEME :

RELATION ENTRE LA FATIGUE NEUROMUSCULAIRE, LA PUISSANCE DEVELOPPEE ET LA DUREE DE MAINTIEN DE L'EXERCICE

Présenté et soutenu par :

ABDOURAHMANE SENE



SOUS LA DIRECTION DE :
MR DJIBRIL SECK ENSEIGNANT À L'INSEPS

ANNEE UNIVERSITAIRE 1995-1996

DEDICACES

Ce mémoire est dédié à feu ma mère MARIE NDONG, rappelée à Dieu le 12 Décembre 1993.

« Je te remercie pour tout ce que tu as fait pour moi tu as cultivé en moi le sens de l'humanisme et le respect pour mon prochain.

Que ton âme repose en Paix »

Je dédie également ce travail à :

- Toute ma famille adorable pour leur soutien moral et affectueux tout au long de ma vie : KATY, DABA, AMY, FATOU, EVA et ASTOU.

Mon honorable frère OUSMANE

Mes amis : THOMAS S SENGHOR, BARTHELEMY, FATOU GAYE, MALAL CAMARA, ADJI MAREME DIALLO et à MAGATTE DIOP.

Mon directeur de mémoire DJIBRIL SECK avec qui j'ai eu à travailler dans un cadre convivial.

REMERCIEMENTS

Ils vont à l'endroit de tous ceux qui ont eu à m'aider pour la réalisation harmonieuse de cet ouvrage.

Je veux nommer en l'occurrence :

NDEYE MARIE DIENE secrétaire à l'INSEPS de Dakar.

Monsieur PAYE Professeur au conservatoire National DOUTA SECK.

Madame NDAW pour son entière disponibilité

Aux étudiants de l'INSEPS qui ont eu à participer au test d'extension-flexion.

Mention spéciale aux étudiants de la 1ère et de la 2ème année.

Mes amis d'enfance : LAYE GUEYE , AMDIATOU, ABDOUL AZIZ SAMB, ALIOUNE FALI., MBASSA NIANG.

Mon Père pour son soutien affectif et moral

Tous le personnel de l'INSEPS qui n'ont ménagé aucun effort pour une ambiance très conviviale

Tous les professeurs de l'INSEPS pour leurs commentaires et suggestions

Mes remerciements à tous les étudiants de la 4ème année plus particulièrement à JEAN DOMINIQUE. MAMOUR CISSE. BONIFACE DASYLVA. OUMAR LY. ALPHONSE FAYE JEAN PIERRE TINE.

SOMMAIRE

	PAGES
INTRODUCTION	1
PREMIERE PARTIE	
REVUE DE LITTERATURE	3
DEUXIEME PARTIE	
MATERIEL ET METHODE	19
CHAPITRE I MATERIEL	20
A/ POPULATION	20
B/ MATERIEL	21
CHAPITRE II METHODE	21
A/ PRECAUTIONS	21
B/ DEROULEMENT DU PROTOCOLE	22
TROISIEME PARTIE	
RESULTATS ET COMMENTAIRES	26
QUATRIEME PARTIE	
DISCUSSION	46
CHAPITRE I : CRITIQUE DE LA METHODE	47
A: MOYENS	47
B: CAS DE L'ATHLETISME	49
CHAPITRE II : RELATION ENTRE DELAI D'APPARITION DE LA FATIGUE, RYTHME D'EXECUTION DU TRAVAIL, ET PERFORMANCE	50
A: RAPPORT ENTRE LE RYTHME D'EXECUTION DU TRAVAIL ET LA PERFORMANCE	50

INTRODUCTION

De nos jours toute fédération, tout club, tout athlète est à la quête de la performance. Ainsi sous cet optique un consensus est trouvé : aller plus vite, plus haut, être plus endurant, repousser le seuil de la fatigue. D'ailleurs, il n'est pas rare de voir des athlètes user de méthodes, de médicaments, de procédés formellement interdits pour franchir le cap de l'épuisement voire de la fatigue.

Combien de fois aurait-on entendu parler de la fatigue neuro-musculaire pour justifier la défaite d'une équipe, la contre performance d'un athlète?

En fait, de quelle fatigue nous parle-t-on ? S'agit-il de la fatigue neuro-musculaire (normale, réversible par le repos) ou d'une fatigue subjective, psychologique, voire à la limite d'un surmenage). Si de fatigue, on en parle, bien des détails restent imprécis, mal définis. Les contours de cette variable restent encore méconnus mal éclairés, pour beaucoup de sportifs qui sont parfois d'un haut niveau d'expertise. Voilà donc quelques unes des raisons qui peuvent nous pousser à faire des investigations sur la fatigue neuro-musculaire.

Sous cet optique, un certain nombre d'hypothèses peuvent être posées : à savoir :

- 1/ le rythme d'exécution du travail a une influence sur le délai d'installation de la fatigue.
- 2/ les formes et les manifestations de la fatigue varient d'une discipline sportive à une autre.
- 3 /Il existe un rythme d'exécution du travail pour lequel, la performance est optimale, et le rendement élevé.

La fatigue physique est provoquée par le travail physique et musculaire et présente un grand intérêt pour la physiologie.

Nous reconnaissons ordinairement à la fatigue "neuro-musculaire" certaines natures :

la participation respective des éléments musculaires, des éléments nerveux, énergétiques et hormonaux.

Des modifications objectives ne peuvent être mesurées de façon précise que s'il s'est développé une fatigue d'un degré relativement élevé. Ce qui explique notre choix du test d'extension-flexion du membre inférieur avec différentes charges (50, 60 et 80% de la charge maximale)

Ainsi donc, le travail de recherche va s'articuler sur quatre grandes parties :

- la première partie présentera l'actualité de la question par la revue de littérature;
- dans la deuxième partie nous définirons la méthode, les moyens et matériels utilisés
- les résultats et commentaires seront présentés dans la troisième partie;
- la quatrième partie concernera la discussion: critiques, analyse de rapports entre la fatigue, la puissance développée, la durée de maintien du travail.
- enfin, la conclusion sera dégagée

“

PREMIERE PARTIE

REVUE DE LITTERATURE

CHAPITRE I

EVOLUTION DES DIFFERENTES THEORIES SUR LA FATIGUE

Le problème de la fatigue a été évoqué dans de nombreuses théories et hypothèses. Les références aux trois théories de la fatigue humoro-locales en sont devenues les thèmes les plus souvent abordés à savoir : l'épuisement des ressources énergétiques des muscles squelettiques ; l'accumulation dans les muscles des déchets métaboliques et des toxines de la fatigue et l'hypoxie

A. A. Uhtomski, en analysant les différentes théories de la fatigue écrivait : "la plupart de ces tentatives sont si abstraites que les apporter en guise de réponse à l'homme, curieux des phénomènes de la vie, signifie en gros, offrir une pierre à la place de l'oeuf".

L'étude des théories humoro-locales de la fatigue montre qu'on n'a pas recherché les causes réelles de l'apparition de la fatigue et qu'un rôle important a été attribué aux facteurs locaux. Mais il faut bien reconnaître que si aucune de ces théories n'a résolu le problème de la fatigue dans son ensemble chacune a apporté les éléments nouveaux.

A la fin du 19ème, J.M. SECENOV a avancé l'hypothèse que la fatigue est due au système nerveux central. Son opinion, à savoir "la source de la fatigue est habituellement placée dans les muscles au travail tandis que moi je la situe exclusivement dans le système nerveux", a permis d'orienter de nombreux travaux et recherches ultérieures.

L'un des premiers à reprendre les idées de SECENOV a été A.A Uhtomski (1927). Dans ses recherches il critique non seulement les théories humoro-locales de la fatigue, mais il montre

le rôle essentiel du système nerveux central dans l'apparition de la fatigue. Il développe l'idée d'un dérèglement de la coordination des systèmes fonctionnels permettant l'activité musculaire intense.

Une contribution importante à l'étude du problème de la fatigue a été apportée par V.V. Rozenblat (1961-1975). Conformément à sa théorie centro-corticale, les variations survenant "dans les centres corticaux" représentent l'élément initial de la fatigue lors du travail musculaire chez l'homme. Selon lui le niveau de la capacité de travail musculaire, lié à l'excitabilité, au tonus, aux qualités de souplesse, aux mécanismes d'approvisionnement par le sang et aux échanges, est déterminé par le niveau de la capacité de travail des centres nerveux qui commandent les muscles. La fatigue des cellules nerveuses corticales conduit d'une part à la perturbation de la coordination du contrôle ou de la coordination plus complexe des processus, et de l'autre, elle modifie le caractère des influences de l'écorce cérébrale et des formations sous-corticales qui sont liées sur les organes effecteurs.

Tout en reconnaissant le rôle exclusif de l'écorce cérébrale dans la conduite des fonctions motrices et végétatives pendant le travail musculaire intense ainsi que dans l'évolution de la fatigue, on ne peut pas ignorer l'importance des facteurs locaux, c'est-à-dire les variations de l'état fonctionnel de l'appareil neuro-musculaire. L'abandon des théories sur l'origine locale de la fatigue ne doit pas conduire à l'oubli de la périphérie. On sait que la cellule nerveuse constitue la source des impulsions motrices et des influences trophiques. Dans l'activité musculaire aussi bien pour la cellule nerveuse que pour les organes au travail, il se produit une déperdition d'énergie et des modifications du milieu interne de l'organisme (Danko 1966). C'est pourquoi lors d'une fatigue croissante l'état de la cellule nerveuse dépend des processus se produisant tant dans la cellule nerveuse elle-même qu'à la périphérie c'est-à-dire dans les organes au travail. La diminution du débit sanguin musculaire, l'inhibition de l'activité des

enzymes, les variations biochimiques et biophysiques des récepteurs et des éléments contractiles des muscles, les perturbations de la fonction hormonale, de l'appareil endocrinien, l'insuffisance d'oxygène dans les tissus, contribuent fortement à l'augmentation de la fatigue. Ceci dit, la baisse de l'intensité de l'activité du système nerveux végétatif pendant le travail et en particulier celle des glandes à sécrétion interne, dans de nombreux cas ne sont pas la conséquence de l'épuisement total des sources d'énergie mais ont un caractère préventif protégeant l'organisme de cet épuisement.

Ainsi, la fatigue peut être définie comme la conséquence de l'action réciproque des facteurs périphériques hormonaux et des facteurs du système nerveux central. Ce dernier jouant un rôle prépondérant.

La contribution des différents facteurs dans le développement de la fatigue varie en fonction du caractère de l'activité musculaire.

Dans une série de travaux (V.V Rozenblat et coll. 1975) on constate que lors d'une interruption artificielle du débit sanguin du bras au travail, la fatigue se développe rapidement et la durée de l'effort raccourcit considérablement. C'est compréhensible étant donné que dans les conditions de débit sanguin difficile, il se produit une accumulation de substances métaboliques, celles-ci, en passant par les chémorécepteurs des muscles et des vaisseaux vont stimuler ces centres nerveux correspondant et influent sur leur capacité de travail.

D'après les données de I.I Danko (1966), le travail peut être poursuivi malgré la fatigue extrême des muscles si on diminue le poids de la charge soulevée. Ce qui prouve que "dans les centres nerveux il ne s'est produit ni inhibition ni épuisement".

La nature de la fatigue est donc complexe et il n'est pas question d'arrêter artificiellement ses causes dans les limites d'un même schéma.

L'activité musculaire est très variée. On distingue les charges statiques et dynamiques, les exercices de différentes puissances, les mouvements cycliques et acycliques, les actions standard et situationnelles, les exercices de force et de vitesse-force. Pour cette même raison la fatigue d'un marathonien ne ressemble pas à celle d'un lanceur de marteau ou d'un haltérophile.

Les divers types de fatigue physique se divisent en trois catégories selon le nombre de muscles participant au travail :

- 1 la fatigue locale: le nombre de muscles actifs représente $1/3$ de toute la masse musculaire
- 2 la fatigue régionale: le nombre de muscles actifs représente $1/3$ à $2/3$ de la masse musculaire
- 3 la fatigue globale (générale): le nombre de muscles actifs représente plus de $2/3$ de toute la masse musculaire.

CHAPITRE II

DIAGNOSTIC DE LA FATIGUE

Parallèlement à la recherche des procédés d'évaluation de la capacité de travail, l'étude des indices signalant que l'approche de la fatigue prend une importance énorme, A.A Uhtomski (1927) avait constaté plusieurs phénomènes généraux de la fatigue :

augmentation du nombre d'erreurs comme conséquence de la perturbation de la coordination de la conduite motrice

incapacité à créer et à assimiler de nouveaux automatismes et perturbations des anciens automatismes

Un autre facteur important de fatigue constaté est la baisse de l'efficacité de la régulation des fonctions. Selon A.A Uhtomski la fatigue est une perturbation de la régulation fonctionnelle.

D.B. Dill et coll. (1962) considèrent que les différentes manifestations de la perturbation de la coordination des mouvements et la discordance des fonctions se produisent plus souvent chez les sportifs d'un niveau inférieur par rapport aux sportifs de haut niveau. Ce type de perturbations fonctionnelles se rencontrent plus rarement au cours de l'activité musculaire intense.

La boxe, la lutte et l'escrime (combats singuliers) appartiennent au groupe de disciplines sportives situationnelles non standard.

Chez les boxeurs à la fin d'un combat ou d'une séance d'entraînement intense, On constate une élévation de la période latente des coups (de 0.02 à 0.07 secondes), une régression de la réaction complexe, une baisse de la précision des coups et de leur vitesse. L'énergie du coup est également calculée d'après la formule $\frac{1}{2} m v^2$. C'est pourquoi la diminution de la vitesse du coup influence inévitablement la valeur de sa force.

Il convient de citer également la baisse des sensations, des distances, au nombre des phénomènes manifestes de la fatigue. Les boxeurs perdent la capacité d'évaluer la distance qui les sépare de l'adversaire, s'arrêtent et attaquent au moment inopportun. Savoir garder la distance nécessaire est le résultat de l'activité coordonnée d'une série d'analyseurs et principalement des analyseurs moteur, visuel et vestibulaire. Il va de soit que dans des conditions de fatigue, la corrélation étroite entre les analyseurs mentionnés se trouve perturbée chez les lutteurs au cours des corps à corps intenses. La durée d'exécution des actions s'élève aussi bien globalement que dans leur différentes phases, simultanément, à un niveau relativement élevé des manifestations de force musculaire maximale (régime isométrique), la durée de l'effort statique diminue. La diminution de ce qu'on appelle force "explosive et de démarrage", C'est-à-dire de la capacité de produire rapidement un effort, représente le rapport entre l'effort maximal et technique et le temps nécessaire pour l'atteindre.

Chez les escrimeurs on constate avant tout, en réponse à la fatigue qui augmente au cours des combats, une baisse de la réaction complexe, tandis que la précision des mouvements repose sur l'élévation de la durée du geste réalisé

En patinage de vitesse, en course à pied, en marathon, c'est à dire principalement dans les activités musculaires cycliques, la fatigue se manifeste par une diminution des contractions

musculaires ce qui entraîne une baisse de la force d'impulsion. Par conséquent la longueur de la foulée en est réduite.

En course, la fatigue entraîne une variation des temps d'appui et des temps de suspension (la durée du temps d'appui augmente tandis que celle du temps de suspension diminue). Dans ce cas les muscles fatigués ne sont pas en état d'exécuter un effort rapide et violent, nécessaire pour accélérer. C'est pourquoi l'organisme a recours à une autre réaction compensatoire, à savoir un effet musculaire plus faible mais plus long.

A l'étape initiale de l'augmentation de la fatigue, la baisse de la force des contractions musculaires peut être compensée par l'élévation du rythme des mouvements. Grâce à l'élévation de la fréquence des mouvements on réussit, pour un certain temps à conserver la vitesse initiale de la course. Cette période a reçu le nom de phase compensatoire, ou cachée, de la fatigue, il s'avère que le degré de compensation dépend du niveau des sportifs. Chez les sportifs de haut niveau elle s'exprime avec plus de netteté.

Or, on sait que les capacités compensatoires de l'organisme sont faibles. C'est pourquoi plus tard aux étapes finales du travail, la vitesse diminue malgré l'augmentation de la fréquence des mouvements. L'organisme du sportif entre dans la phase de fatigue non compensée. La période terminale du travail peut se caractériser aussi bien par une baisse de l'effort que par une diminution de la fréquence des mouvements. Nous constatons ces phénomènes surtout chez les sportifs de faible niveau. C'est la période de la fatigue manifeste.

Les symptômes de la fatigue dépendent de la discipline sportive. Dans les disciplines cycliques la fatigue se manifeste principalement par une diminution de la force des contractions musculaires : dans d'autres disciplines sportives (boxe, lutte, escrime) elle se manifeste par la diminution de la vitesse et de la précision des mouvements et par la perturbation de l'activité coordonnée des analyseurs.

CHAPITRE III

ADAPTATION BIOCHIMIQUE AVEC L'ENTRAÎNEMENT

L'activité soutenue d'un muscle squelettique est invariablement suivie d'une diminution de la force produite, ce qui définit la fatigue. Les études de fibre musculaire isolée ont montré que les ions H^+ et le Phosphate inorganique (Pi) sont des inhibiteurs potentiels des processus de production de la force. L'utilisation de la spectroscopie du phosphore par résonance magnétique nucléaire s'est avérée au moyen relativement simple et facile à répéter pour étudier les effets du pH et du Pi par le développement de la force. Dans cette étude des sujets réalisant des exercices maximaux de flexion du poignet, précédés ou non d'un exercice sous maximal qui servait à réduire le pH intramusculaire et à augmenter le Pi. Le degré de fatigue musculaire était beaucoup plus significativement lié au $H_2PO_4^-$ qu'au pH ou au Pi considérés isolément. Cependant, d'autres études ont mis en évidence que, chez l'homme, $H_2PO_4^-$ n'était pas toujours lié à la fatigue, démontrant ainsi qu'il n'en est sans doute pas le seul déterminant (LANNERGREN et WESTERBLAD (1986). L'exercice sur tapis roulant chez le rat, les stimulations électriques chroniques chez les chiens et l'entraînement en endurance chez l'homme réduisent les variations observées de pH et de Pi, pour les mêmes intensités d'exercice. Ainsi avec l'entraînement les effets qu'ont la réduction de pH et l'augmentation de pi sur la diminution de la force sont diminués, ce qui pourrait expliquer au moins partiellement la résistance à la fatigue qui est observée après un entraînement en endurance.

CHAPITRE IV

LES CAUSES DE LA FATIGUE

A°/ ROLE DU pH INTRACELLULAIRE DANS LA FATIGUE

Le pH musculaire diminue d'une valeur de repos de 7 à 6,4-6,6 après un exercice intense poursuivi jusqu'à l'apparition de la fatigue.

Dès études ont même montré avec la technique de RMN des valeurs beaucoup plus basses, inférieures à 6 chez l'homme. Cette diminution du pH est due principalement à la charge supplémentaire de protons liée à l'accumulation d'acide lactique. Cependant le degré de diminution du pH dans le muscle est également déterminé par sa capacité tampon et dans certaines études il a pu être montré que l'entraînement à la course augmentait la capacité tampon et la capacité anaérobie à l'exercice. Une diminution du pH peut modifier le métabolisme à plusieurs niveaux. L'acidose inhibe la glycolyse au niveau de la phosphofructokinase et de la phosphorylase du glycogène mais cette inhibition peut être levée par les produits de dégradation de l'ATP soient l'ADP, l'AMP, l'inosinemonophosphate (IMP) et le phosphate inorganique (Pi) (LANNERGREN et WESTERBLAD 1986). La diminution du pH réduit le niveau de Pcr et augmente le pi durant l'exercice en modifiant l'équilibre de la créatine-kinase. La fatigue paraît souvent relié à l'accumulation d'acide lactique mais le mécanisme n'en est pas connu. Durant la récupération d'une contraction ayant conduit à l'apparition de fatigue, la restauration de la force est rapide alors que le pH musculaire demeure bas. Ce fait ainsi que de nombreuses autres évidences conduisent à considérer que la relation entre l'acidose et l'apparition de fatigue n'est pas univoque mais

indirecte. L'apparition de la fatigue au cours de l'exercice est généralement associée à une désamination augmentée d'AMP avec apparition d'IMP. Ce qui suggère que le déficit énergétique et les augmentations d'ADP et d'IMP sont probablement impliqués dans le mécanisme de la fatigue (CAMPOS et coll 1928). Il est suggéré que l'acidose est le témoin indirect d'une insuffisance dans la capacité de synthèse de l'ATP.

B°) LA FATIGUE CAUSEE PAR DES MODIFICATIONS DE LA FONCTION CONTRACTILE : LE RÔLE DU COUPLAGE EXCITATION-CONTRACTION

La fatigue musculaire est définie comme l'impossibilité à soutenir un niveau de force donné. Lorsqu'est maintenue l'activité contractile et qu'apparaît la fatigue la secousse isométrique diminue son amplitude et se prolonge, cette dernière caractéristique traduisant un allongement du temps de transit du Ca^{2+} . La force tétranique maximale (P_o) diminue de près de 90 % et sa récupération se fait en deux temps (CAMPOS et coll. 1928). La phase initiale, rapide, est suivie d'une phase beaucoup plus lente qui se prolonge sur plus de 60 minutes avant la récupération complète. La vitesse maximale de raccourcissement (V_{max}) est également diminuée au cours de la fatigue mais elle ne change significativement que lorsque la force a diminué d'au moins de 10 %. la puissance de la contraction musculaire chute plus nettement que P_o et la vitesse observée à la puissance de pointe tend à être plus lente.

Les causes cellulaires de la fatigue musculaire sont complexes et supposent vraisemblablement plusieurs sites. Dans ce papier nous centrons plus spécialement notre propos sur les problèmes ayant trait au couplage de l'excitation contraction (E-C). Bien que le potentiel d'action du sarcolemme présente une diminution d'amplitude et une augmentation de durée ces modifications ne sont pas parfaitement liées à la réduction de la force. Il est possible que la fatigue résulte d'une propagation incomplète du potentiel d'action le long de l'axe

central de la fibre. Il est également possible que l'agent causal à l'origine de la fatigue, soit un défaut des tubules transverses (T. tubules) dans leur capacité à assurer leur fonction en réponse à la dépolarisation du potentiel d'action. De façon alternative, pourrait être considérée une inhibition de la libération du Ca^{2+} des canaux par l'ion H^+ ou par d'autres produits du métabolisme. La compréhension du rôle du couplage E-C dans l'apparition de la fatigue est encore loin d'être complète; elle supposerait une meilleure connaissance du processus de couplage (E-C) notamment pour ce qui concerne l'intervention du système T et la façon dont ce dernier modifie sa charge en fonction des modifications ioniques de l'environnement.

C°/ INFLUENCE DU pH EXTRACELLULAIRE SUR LE MUSCLE FACTEURS BIOENERGETIQUES (FATIGUE)

L'acide lactique est le principal responsable de l'acidose cellulaire. Le transport de H^+ et du lactate à travers le sarcolemme se fait à des débits et selon des mécanismes différents mais leur flux sont tous deux conditionnés par le pH EXTRACELLULAIRE (pHe). Après induction d'une acidose lactique expérimentale ou lors de contraction musculaire, une augmentation de l'accumulation des lactates dans le muscle et le sang est invariablement observée lors d'alcalose extracellulaire. Par exemple, une alcalose métabolique modérée induite par administration de bicarbonates chez des sujets entraînés, double l'accumulation de lactates dans le muscle après un exercice épuisant. A cette apparente augmentation de la glycolyse durant l'alcalose a été associée une réduction de la VO_2 myocardique chez des insuffisants cardiaques, mais aucune variation de la VO_2 globale de sujets normaux à l'exercice. Pour expliquer l'augmentation de production d'acide lactique dans les états d'alcalose il fut proposé que le pHe élevé, en favorisant la sortie des H^+ retardait leur accumulation cytosolique et donc leur effet inhibiteur sur les enzymes de la glycolyse. Pour tester cette hypothèse, une étude des effets de l'alcalose au cours d'exercices sous maximaux

de flexions de l'avant bras par spectroscopie du ^{31}P par RMN faite par LANNGREN ET WESTERBLAD (1986). Comparé à la situation contrôlée, le pH intracellulaire (pHi) ne varie pas sous alcalose alors qu'une concentration veineuse plus grande d'acide lactique était associée à une plus grande différence artérioveineuse en H^+ . Le pHi ne semble donc pas être le régulateur principal de la glycolyse dans cette condition. Puisque durant des contractions sous-maximales, les flux d'énergie issus de la glycolyse n'interviennent que pour 1 % dans la synthèse de l'ATP, les modifications dans la production d'acide lactique sont probablement négligeables du point de vue énergétique. Il a donc été suggéré que les mécanismes régulant le pHi prédominent sur ceux qui président à la fourniture d'énergie. L'équilibre acide base peut être considéré comme un lien entre le métabolisme énergétique et les adaptations systématiques.

D°) TRANSPORT D'OXYGENE ET FATIGUE MUSCULAIRE

Le facteur principal limitant l'apport d'oxygène à la fibre musculaire est sa pression partielle sanguine. Mais la grande hétérogénéité de distribution du débit sanguin entre les différents groupes musculaires et les fibres elles mêmes fait jouer son rôle au transport de ce gaz par convection circulatoire. Les conséquences de l'hypoxémie ou de l'ischémie totale sur le métabolisme et la force contractile musculaire ainsi que sur les phénomènes électrophysiologiques associés à la fatigue sont différentes : ainsi le muscle tolère mieux une privation sanguine totale que la seule réduction de la PaO_2 qui, s'associant au maintien de l'apport en glucose accroît de façon substantielle la production de lactate. L'hypoxie ayant pour cible le métabolisme musculaire et réduisant souvent la vitesse de conduction au niveau du sarcolemme permet de faire la part respective des mécanismes périphériques et centraux dans les altérations EMG constatées au cours de la fatigue. En fait la réduction d'apport d' O_2 active aussi secondairement des terminaisons nerveuses intramusculaires sensibles aux

modifications métaboliques et agit donc aussi par voie réflexe sur la commande motrice musculaire.

E°) FATIGUE MUSCULAIRE DUE AUX TROUBLES DU MUSCLE SQUELETTIQUE

La capacité individuelle à exécuter un exercice prolongé est largement déterminée par la faculté de resynthétiser l'ATP à partir de l'ADP et du P_i , qui sont les produits de son hydrolyse. La fatigue définie comme la difficulté progressive à maintenir une force ou à soutenir une puissance de travail, se développe durant l'activité musculaire, liée à une demande énergétique et à un taux d'hydrolyse de l'ATP qui excèdent :

1°) le taux de captation de l'ADP et du P_i essentiellement par la voie oxydative mitochondriale qui est le mode principal de synthèse des ATP :

2°) le débit de tamponnement et de sortie des ions H^+ issus de la voie glycolytique la fatigue implique ainsi nécessairement l'accumulation intracellulaire d'ADP de P_i et d'ions H^+ qui sont des métabolites dont l'action se traduit par une inhibition des ATPases responsables de l'hydrolyse de l'ATP, donc de la libération de l'énergie indispensable à l'excitation musculaire au couplage de l'excitation avec la contraction et à la formation des ponts entre l'actine et la myosine. L'accumulation d'ADP et le dénominateur métabolique commun retrouvé chez :

1°) les sujets sains, chez les quels un défaut de transport d'oxygène compromet la capacité de synthèse de l'ATP et la performance musculaire

2°) les patients présentant une anomalie enzymatique de dégradation du glucogène et chez lesquels c'est la non disponibilité du substrat et non celle d' O_2 qui limite la synthèse de l'ATP et conduit à une absence d'accumulation d'ions H^+ :

3°) les patients qui ont à la fois suffisamment d'O₂ et de substrat mais, présentent un défaut de phosphorylation oxydative dû à des anomalies de la chaîne respiratoire mitochondriale.

Le mécanisme précis par lequel selon toute vraisemblance, l'accumulation d'ADP compromet la performance à l'exercice n'est pas encore parfaitement élucidé (PARK et ARIEFF -1983).

F°) METABOLISME DES HYDRATES DE CARBONE ET FATIGUE

La production d'énergie à partir des hydrates de carbone pendant un exercice très intense (70 % de la consommation maximale d'O₂) soutenu pendant plusieurs heures, est fournie à la fois par la glycogène musculaire et le glucose sanguin. Il existe un passage progressif de l'utilisation du glycogène musculaire vers celle du glucose sanguin (PARK et ARIEFF 1983). Chez des cyclistes bien entraînés, exécutant un exercice après une nuit de jeûne, la concentration du glucose sanguin diminue vers des valeurs hypoglycémiques (2,5 mMole/litre) après trois heures d'exercice. Cet aspect est vraisemblablement à l'origine de la fatigue, en réduisant l'apport de glucose sanguin au métabolisme oxydatif. Chez quelques sujets, la fatigue pouvait être liée à un déficit d'apport de glucose au système nerveux. L'apport alimentaire de glucose pendant l'exercice diffère l'apparition de la fatigue de 30 à 60 minutes, probablement par le maintien de la glycémie et du degré d'oxydation des hydrates de carbone nécessaires à l'exercice. L'apport d'hydrates de carbone n'épargne pas le glycogène musculaire. Il doit cependant être noté que peu de glycogène musculaire est utilisé pendant un exercice de 3 à 4 heures lorsque les hydrates de carbone sont absorbés, ce qui suggère que l'essentiel de l'énergie des hydrates de carbone est apporté par le sang. L'apport de glucose doit être de l'ordre de 1g·l⁻¹ (c'est à dire 16 mg/kg/min) ce qui permet alors de maintenir la glycémie à 5 mMole/l. Cependant ces cyclistes ne pouvaient exécuter un exercice plus intense que celui

correspondant à 74 % de la VO₂ max. PARK et ARIEFF (1983). Ce qui suggère qu'il existe une limite à l'utilisation du glucose du sang pour produire de l'énergie. Il est en effet important de rappeler que l'apport de glucose pendant l'exercice retarde l'apparition de la fatigue mais ne la prévient pas.

la fatigue qui apparaît lors des exercices prolongés résulte souvent du métabolisme inadéquat des hydrates de carbone. Ceci est lié, pour une part à l'apparition d'une hypoglycémie qui limite l'utilisation des hydrates de carbone et induit une fatigue musculaire.

L'apport d'hydrates de carbone durant un exercice intense permet le maintien de la glycémie et retarde de 30 à 60 minutes l'apparition de la fatigue mais ne la prévient pas. Ce qui suggère que d'autres facteurs, jusqu'à présent inconnus interviennent également.

DEUXIEME PARTIE

MATERIEL ET METHODE

CHAPITRE I: MATERIEL

A/ POPULATION

Tous nos sujets sont des étudiants de l'INSEPS de la 1ère année à la 4ème année. Cependant il est à préciser que les étudiants du 1er cycle (1ère et 2ème année) ont un volume de travail physique un peu plus important que celui des étudiants de 3ème et de 4ème année. En effet les étudiants du 1er cycle ont en moyenne 19 heures d'activité physique par semaine, tandis que ceux du 2ème cycle présentent un volume de travail moindre. Les sujets les plus jeunes ont 22 ans et les plus âgés ont 29 ans. L'élément féminin n'est pas pris en compte. Ces étudiants sont tous de sexe masculin. Ces sujets pratiquent des sports individuels et des sports collectifs.

a) Sports collectifs :

- football
- basket-ball
- handball
- volley-ball

b) Sports individuels

- athlétisme
- gymnastique
- natation
- combat (lutte, judo)

Bien que ces sujets pratiquent plusieurs sports, seul celui d'option a été pris en compte pour la classification des individus en fonction des différentes disciplines sportives. Ces étudiants ont un bon régime alimentaire (Ils se restaurent au complexe Universitaire hôtelier) et certains évoluent en clubs civils, d'autres au niveau universitaire.



B/ MATERIEL.

Comme Principaux matériels, nous disposons :

- d'un pèse-personne de type Sécia
- d'une toise graduée en centimètres
- d'un ruban gradué en centimètres
- d'un métronome (modèle pacemaker II)
- des poids et haltères de la salle de musculation de l'INSEPS
- d'un planche horizontale servant à bloquer l'extension à 90°
- d'un amortisseur de charge confectionné pour les besoins de l'expérience (pour éviter que le bruit mécanique n'absorbe celui du métronome).

- **d'un siège muni d'un Levier**

CHAPITRE II: METHODE

A/ PRECAUTIONS :

Avant le démarrage des tests, les sujets ont été sensibilisés sur certains points concernant le déroulement des tests. Les sujets doivent au moment des tests jouir d'une bonne fraîcheur physique et n'avoir fait aucune intense activité au préalable.

A chaque passage on exige du sujet une certaine concentration car celui ci doit respecter scrupuleusement le rythme du métronome. Pendant la phase de l'exécution, le sujet sera mis convenablement en gardant le tronc droit.

D'autre part, pour un souci de commodité, **Le sujet se** munit d'un protège tibia pour éviter certaines mauvaises sensations ou des blessures au niveau de la jambe. Car à chaque extension la manche horizontale exerce des frottements au niveau du tibia.

Enfin, il convient de demander aux sujets d'observer une certaine discipline, voire notamment éviter les commentaires et de toucher aux autres appareils de la salle de musculation. Le sujet choisit sa jambe préférentielle pour le travail d'extension-flexion

B/ DEROULEMENT DU PROTOCOLE

Le sujet est assis sur le siège et garde le tronc droit. La première manche (celle du haut) sert de support au poplité du genou. Tandis que, la deuxième manche (celle du bas est utilisée de part et d'autre : la première partie repose sur le tibia l'autre sert à placer les charges.

Ainsi donc, si le métronome est programmé pour 60 battements à la minute. Le sujet devra faire 30 extensions et 30 flexions imposées par le signal sonore du métronome. Quand le métronome fait deux "toc"; il y a un "toc" pour l'extension et un "toc" pour la flexion.

Les différentes phases du protocole.

Le protocole va se dérouler suivant quatre phases :

Recherche de la charge maximale : on augmente progressivement la charge et on demande au sujet de soulever celle-ci à 90° par rapport à la verticale. Quand le sujet arrive à peine à soulever la charge imposée, il obtient ainsi sa charge maximale.

- Une phase d'accommodation avec le métronome : il s'agit de synchroniser le rythme du métronome avec le mouvement "extension-flexion" de la jambe.

- le travail de flexion et d'extension répété de la jambe : au "toc" du métronome la jambe fléchit et s'étend au prochain

- Une phase anthropométrique : (mesures anatomiques)

- l'appréciation subjective de la fatigue : le sujet donne son avis sur le travail effectué après passage. (d'après Bjorg)

6	
7	très très faible
8	
9	très faible
10	
11	facile
12	
13	assez difficile
14	
15	difficile
16	
17	très difficile
18	
19	très très difficile
20	

Echelle de perception de l'effort de Bjorg

METHODES DE CALCUL

La force $F = m \times g$

m : masse

$g = 9,8$

Le moment de force $M = R \cdot f$

$R = 40 \text{ cm}$

R est la longueur du levier

$f = F \times \%$

Exemple, à 50 % de ma FVV

$$f = \frac{F \times 50}{100}$$

La puissance : $P = \frac{W}{t}$

$$\text{avec } t = \frac{N_i \times 60}{N}$$

N_i = Performance en nombre d'extensions

N = Nombre d'extensions imposées par minute

t = Durée de maintien de l'exercice

TROISIEME PARTIE

RESULTATS ET COMMENTAIRE

CHAPITRE 1

ANALYSE ET PRESENTATION DES RESULTATS SUIVANT LES DIFFERENTES DISCIPLINES

A/ DUREE DE MAINTIEN DE L'EXERCICE

1°) LE FOOTBALL

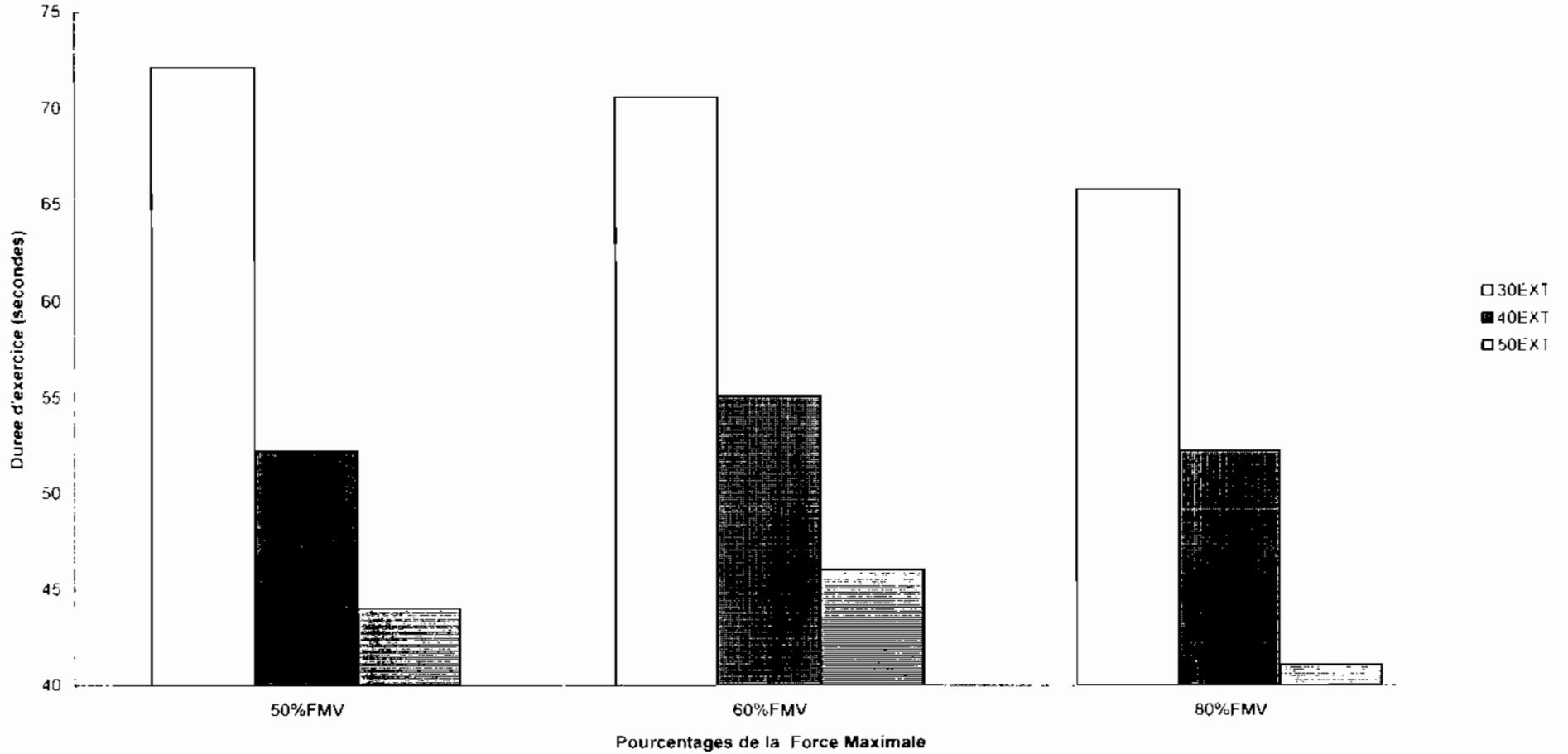
Quand le travail (extension/flexion) sollicite 50% de la FMV (force maximale volontaire), la durée de maintien de l'exercice est de 72.14 secondes. Littéralement ceci se traduit par une fatigue qui s'impose au bout de 72.14 secondes quand le sujet travaille à basse fréquence (30 extensions flexions/minute). A des fréquences de 40. 50 flexions extensions. le sujet (le footballeur) se fatigue respectivement au bout de 52.26 et de 44.02 secondes.

A 60 % de la FMV (force maximale volontaire), il est pratiquement, noté la même variation de la durée qu'à 50 % de la FMV. Cependant, pour un rythme de travail relativement lent (30 extensions/flexions/minute) le sujet se fatigue au bout de 70.6 seconde s.

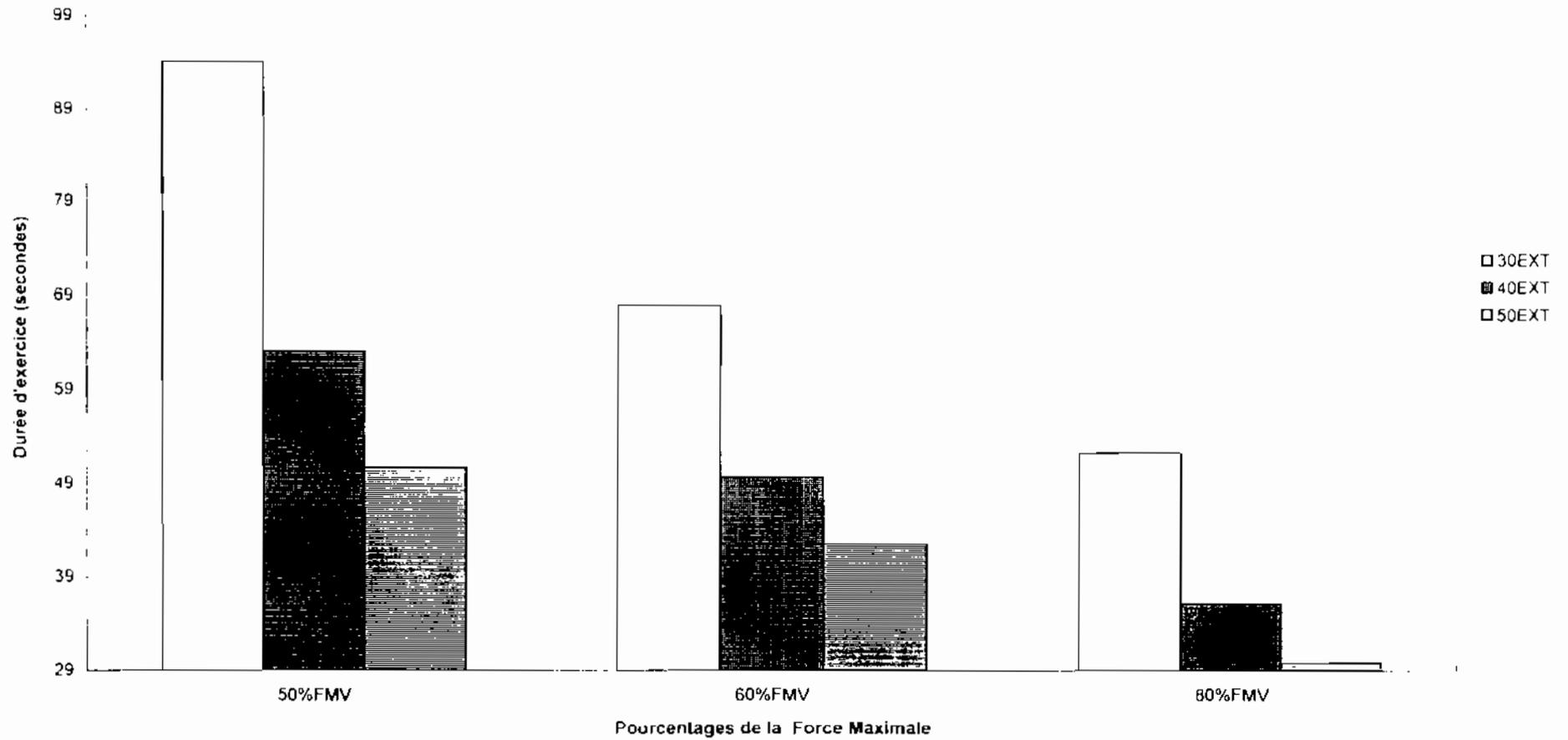
A 80 % de la FMV, la durée de maintien de l'exercice (extension/flexion) est de 65.84 secondes pour un rythme de travail de l'ordre de 30 extensions flexions/minute. Pour des fréquences de travail de 40 et 50 extensions par minute, Le sujet est dans l'incapacité de poursuivre le travail au bout de 52.6 secondes et de 41.07 secondes.

27

Evolution de la Durée de l'exercice pour différents rythmes et pourcentage de la Force Maximale Dynamique Volontaire (FOOTBALL)



Evolution de la Durée de l'exercice pour différents rythmes et pourcentage de la Force Maximale Dynamique Volontaire (BASKETBALL)



2°) LE BASKETBALL

A 50% de la FMV la durée de maintien de l'exercice est de 94 secondes. C'est la durée de maintien la plus longue de toutes les disciplines sportives choisies (Football, Basket, Judo et Athlétisme). Ce qui témoigne de la capacité d'endurance des basketteurs. Nous entendons par endurance la puissance aérobie maximale, la capacité qu'a ce basketteur de soutenir un travail à charge légère le plus longtemps possible.

A 50% de la CM (charge maximale), lorsque le sujet travaille à différents rythmes (30, 40 et 50 flexions/extension/ minute) il est enregistré respectivement des durées de maintien du travail de l'ordre de 68 ; 49 ; 72 et 42,55 secondes.

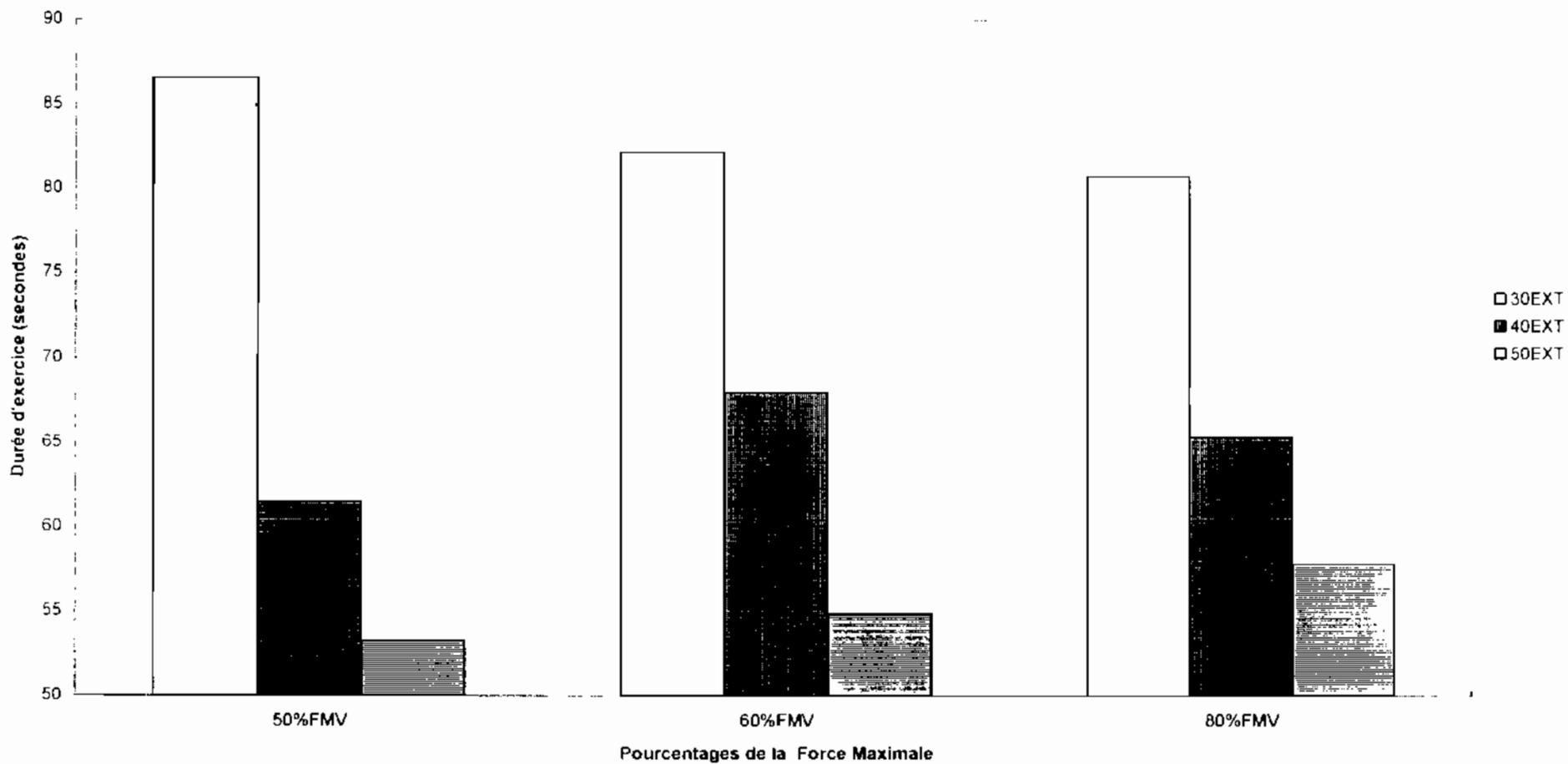
Quand le sujet travail avec des charges lourdes, la durée d'exécution de l'exercice (extension/flexion) devient un peu plus réduite. A 30, 40 et 50 extensions/flexions/minute). Les sujets s'épuisent respectivement au bout de 52,22 ; 36,22 et 29,85 secondes.

3°) JUDO

A 50 % de la FMV (force maximale volontaire) et pour un rythme relativement lent, le sujet s'épuise au bout de 86,6 secondes. A 40 et à 50 flexions/extensions/minute, la fatigue s'installe respectivement au bout de 61,5 secondes et 53,28 secondes.

A 60% de la FMV (force maximale volontaire), pour différents rythmes (30,40 et 50 extensions flexions), la fatigue s'installe respectivement au bout de 82,2, 67,95 et 54,84 secondes.

Evolution de la Durée de l'exercice pour différents rythmes et pourcentage de la Force Maximale Dynamique Volontaire (JUDO)



Une variation similaire est observée à 80% de la FMV. Pour différentes fréquences d'exécution du mouvement extension, (30, 40 et 50 flexions/extensions/minute), la fatigue s'installe au bout de 80,8, 65,34 et 57,78 secondes.

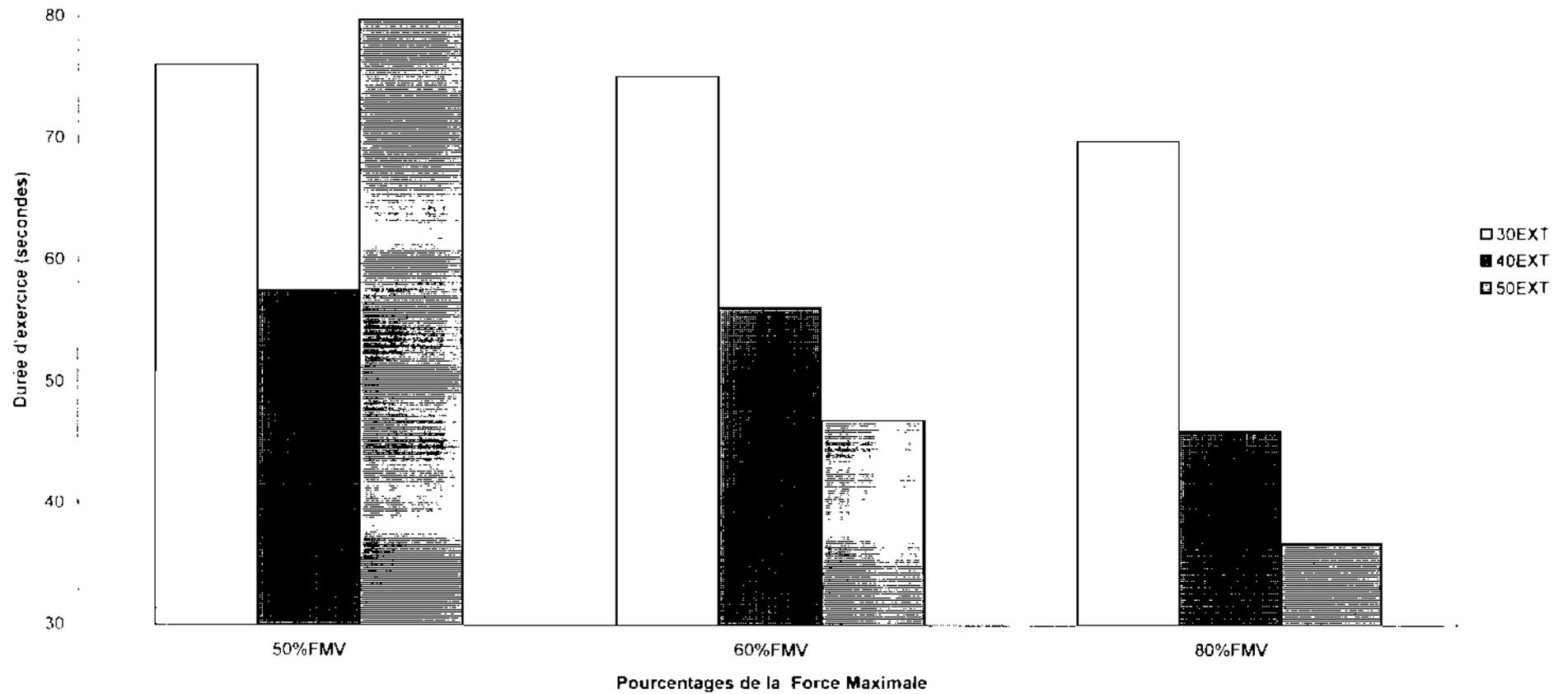
4°) ATHLETISME

A 50% de la FMV, un cas assez spécifique est noté au niveau de l'athlétisme, contrairement aux autres disciplines, la durée (79,84 secondes) de maintien du travail est optimale pour une fréquence d'exécution du mouvement extension flexion élevée (50 flexions/extensions/minute). Le sujet se fatigue tardivement quand il travaille à charge légère, moyennant (50 extensions/flexions/minute). Pour une fréquence de 40 extensions/flexions/minute, la durée de maintien de l'exercice est de 57,57 secondes.

A 60% de la FMV pour différentes vitesses d'exécution du mouvement, 30, 40 et 50 flexions/extensions/minute, il est enregistré respectivement des durées de l'ordre de 75,2; 56,19 et 46,89 secondes. Plus la fréquence de travail augmente, plus la durée de maintien de l'exercice diminue.

A 80% de la FMV, les durées de maintien du travail sont de l'ordre de 69,84; 46,03 et 36,73 secondes pour des fréquences respectives de 30, 40 et 50 extensions flexions/minute. Plus la charge imposée et la fréquence d'exécution du mouvement augmentent, plus la durée de l'exercice diminue.

Evolution de la Durée de l'exercice pour différents rythmes et pourcentage de la Force Maximale Dynamique Volontaire (ATHLETISME)



B/ PUISSANCES DEVELOPPEES SUIVANT LES DIFFERENTES DISCIPLINES

1°) FOOTBALL

A 50% de la FMV, la puissance augmente avec la fréquence d'exécution du mouvement extension/flexion. Pour différents rythmes de travail (30, 40 et 50 extensions/flexions/minute) elle est respectivement de 2,47; 3,41 et 4,05 watts. A 60% de la FMV, pour ces mêmes fréquences, la puissance développée est de l'ordre de 3,03, 3,88 et 4,65 watts. De même à 80% de la FMV, la puissance développée s'accroît avec le rythme d'exécution du mouvement. Elle est respectivement de 4,33, 5,46 et 6,95 watts pour 30, 40 et 50 flexions/extensions/minute.

En définitive, chez les footballeurs, la puissance développée au cours de l'exercice extension/flexion s'accroît avec la charge imposée et le rythme d'exécution du mouvement. La puissance optimale (6,95 watts) est développée quand le footballeur est soumis à une charge lourde (80% de la charge maximale).

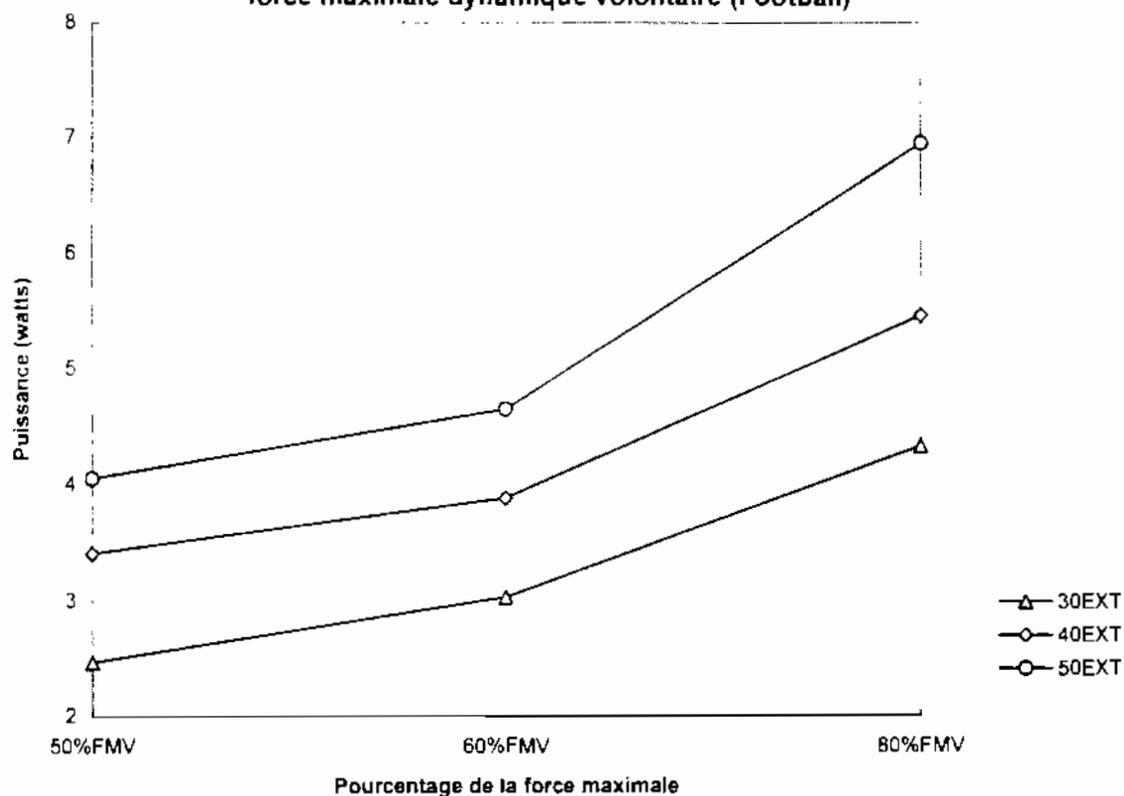
2°) BASKET-BALL

A 50% de la FMV, la puissance augmente quand la fréquence d'exécution du mouvement devient importante. pour différents rythmes de travail (30, 40 et 50 extensions/flexions/minute) elle est respectivement de 1,82; 2,72 et 3,9 watts.

A 60% pour différentes vitesse d'exécution du mouvement extensions/flexion (30, 40 et 50 flexions/extensions/minute) les puissances développées sont respectivement, 5,26; 7,59 et 9,2

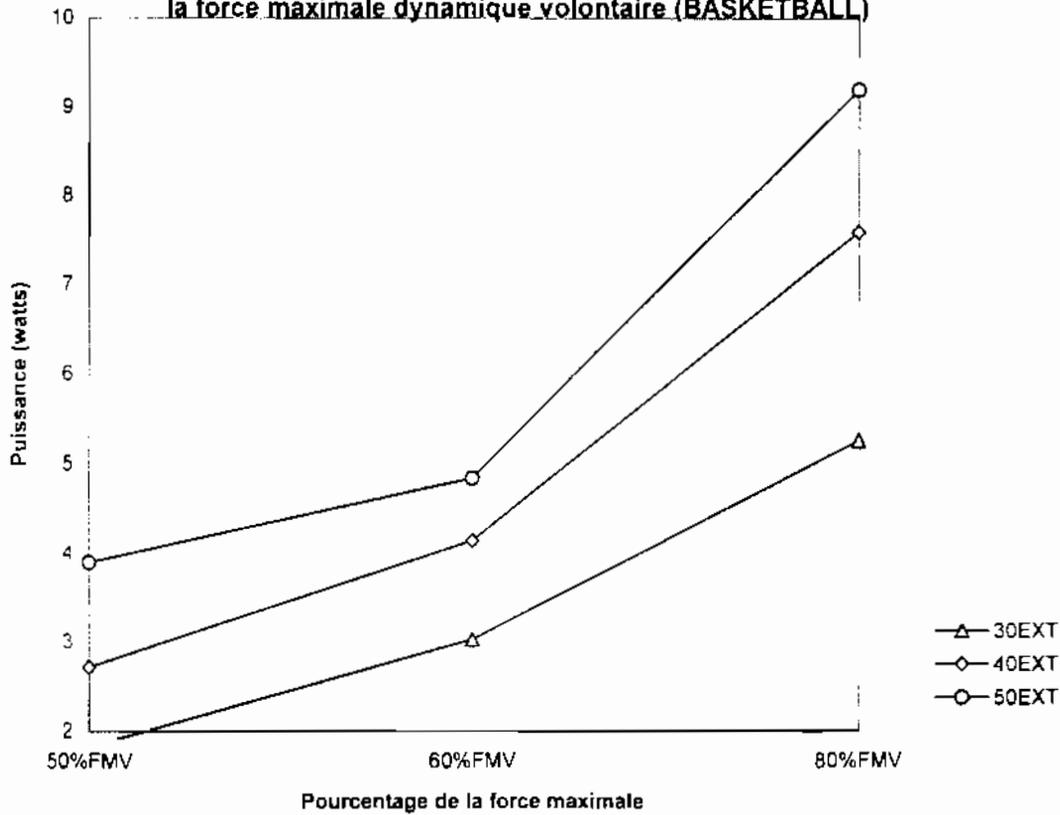
FOOTBALL	50% PUISS	TEMPS	60% P	T	80%
30EXT	2,47	72,14	3,033	70,6	
40EXT	3,41	52,26	3,88	55,14	
50EXT	4,05	44,028	4,65	46,056	
	50%FMV	60%FMV	80%FMV		
30EXT	2,47	3,033	4,33		
40EXT	3,41	3,88	5,46		
50EXT	4,05	4,65	6,95		

Evolution de la puissance pour différents rythmes et pourcentages de la force maximale dynamique volontaire (Football)



BASKET	50% PUISS	TEMPS	60% P	T	80%
30EXT	1,82	94	3,03	68	
40EXT	2,72	63,15	4,14	49,72	
50EXT	3,9	50,7	4,84	42,55	
	50%FMV	60%FMV	80%FMV		
30EXT	1,82	3,03	5,26		
40EXT	2,72	4,14	7,59		
50EXT	3,9	4,84	9,2		

Evolution de la puissance pour différents rythmes et pourcentages de la force maximale dynamique volontaire (BASKETBALL)



watts. Il y a une augmentation manifeste de la puissance (9,2 watts) pour une charge lourde et pour une fréquence élevée (50 extensions/flexions/minute).

D'une manière générale, la puissance développée au cours de l'exercice extension /flexion s'accroît avec la charge imposée et le rythme d'exécution du mouvement. La puissance moyenne optimale 9,2 watts est développée quand le basketteur est soumis à une charge lourde (80% de la charge maximale) et une fréquence de travail élevée (50 extensions/flexions/minute).

3°) JUDO

A 50% de la FMV, il est enregistré une augmentation progressive de la puissance en fonction de la fréquence d'exécution du mouvement extension/flexion. A 30, 40 et 50 extensions/flexions/minute, les puissances obtenues sont respectivement de 2,8; 3,95 et 4,56 watts

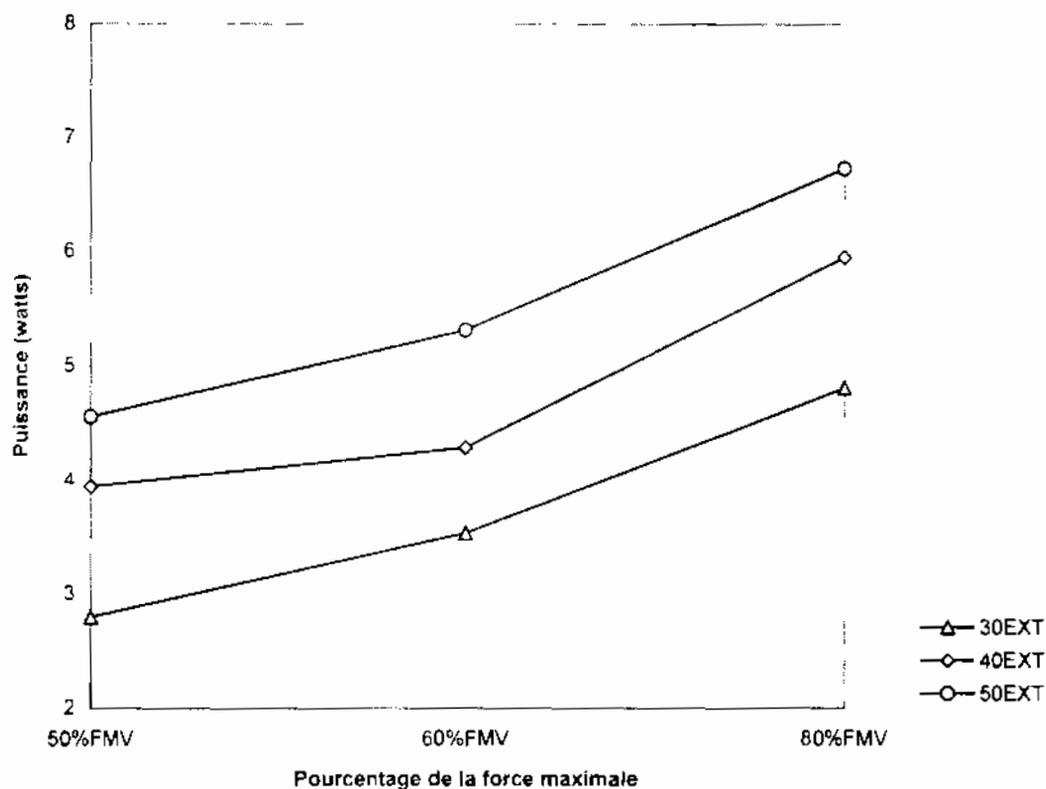
A 60% de la FMV pour ces même fréquences, les puissances développées sont de 3,54; 4,29 et 5,31 watts. La puissance augmente avec la fréquence du mouvement.

A 80% de la FMV, pour différentes vitesses d'exécution du mouvement extension. /flexion (30, 40 et 50 flexions/extensions/minute) les puissances développées sont respectivement 4,81; 5,95 et 6,73 watts la puissance optimale (6,73 watts) est obtenue pour une charge de travail lourde et pour une fréquence d'exécution du mouvement élevée (50 extensions flexions minute).

JUDO	50%	60% P	80%
30EXT	2,8	3,54	82,2
40EXT	3,95	4,29	67,95
50EXT	4,56	5,31	54,84

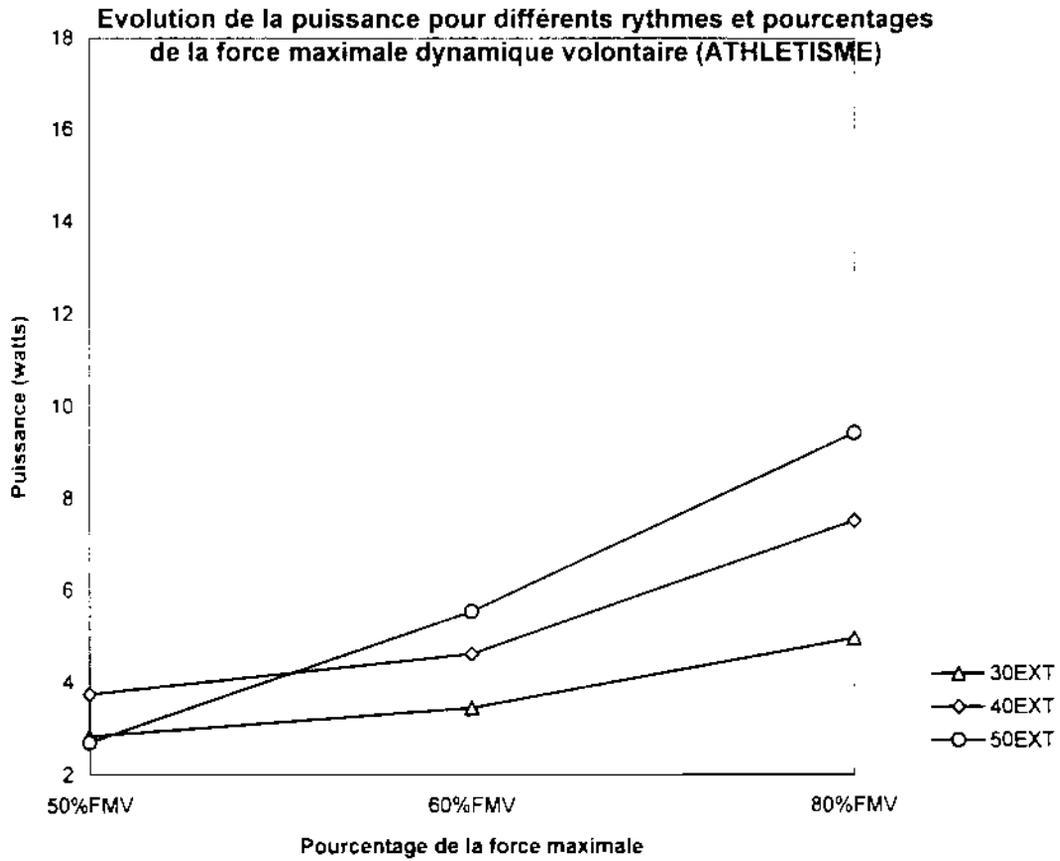
	50%FMV	60%FMV	80%FMV
30EXT	2,8	3,54	4,81
40EXT	3,95	4,29	5,95
50EXT	4,56	5,31	6,73

Evolution de la puissance pour différents rythmes et pourcentages de la force maximale dynamique volontaire (JUDO)



ATHL50%	PUISS	TEMPS	60% P	T	80%
30EXT	2,84	76,14		3,45	75,2
40EXT	3,76	57,57		4,62	56,19
50EXT	2,71	79,84		5,54	46,89

	50%FMV	60%FMV	80%FMV
30EXT	2,84	3,45	4,96
40EXT	3,76	4,62	7,52
50EXT	2,71	5,54	9,43



En définitive, la puissance développée au cours de l'exercice extension flexion augmente avec la charge imposée et la fréquence du mouvement extension /flexion, chez les judokas.

4°) ATHLETISME

A 50% de la force maximale volontaire, pour différentes fréquences du mouvement (30, 40 et 50 extensions/flexions/minute), les puissances développées sont respectivement de l'ordre de 2.84; 3.76 et 2.71 watts.

A 60% de la FMV, pour des fréquences de 30, 40 et 50 extensions/flexions/minute, les puissances développées sont de 3.45, 4.62 et 5.54 watts. Plus la vitesse du mouvement augmente plus la puissance développée augmente.

A 80% de la FMV, pour des fréquences de 30, 40 et 50 extensions/flexions/minute, les puissances sont respectivement de 4.96, 7.52 et 9.43 watts. Le sujet développe sa puissance optimale à ce niveau.

D'une manière générale, la puissance développée augmente avec le rythme d'exécution du mouvement extensions/flexion et la charge de travail.

CHAPITRE II

EVOLUTION GENERALE DE LA DUREE DE L'EXERCICE A DIFFERENTS POURCENTAGES DE LA FORCE MAXIMALE DYNAMIQUE VOLONTAIRE

A 50% de la FMV la durée de maintien de l'exercice la plus faible est enregistrée chez les footballeurs.

Elle est en moyenne de 69.28 secondes pour les basketteurs, de 67.13 secondes pour les judokas et de 71,13 secondes pour les judokas

A 60% la durée de maintien de l'exercice est de 57.26 secondes pour les footballeurs, 53.42 secondes pour les basketteurs, 68.33 secondes pour les judokas et 59.43 secondes pour les athlètes.

A 60% de la FMV les judokas soutiennent plus longtemps le travail imposé.

A 80% de la FMV, la durée de maintien la plus brève est enregistrée chez les basketteurs. Par contre, elle est de 53.05 secondes chez les footballeurs, de 67.97 secondes chez les judokas et de 50.87 secondes chez les athlètes. La durée de maintien de l'exercice la plus longue est enregistrée chez les judokas (avec 67.97 secondes).

CHAPITRE III

EVOLUTION GENERALE DE LA PUISSANCE DE L'EXERCICE A DIFFERENTS POURCENTAGES DE LA FORCE MAXIMALE DYNAMIQUE VOLONTAIRE.

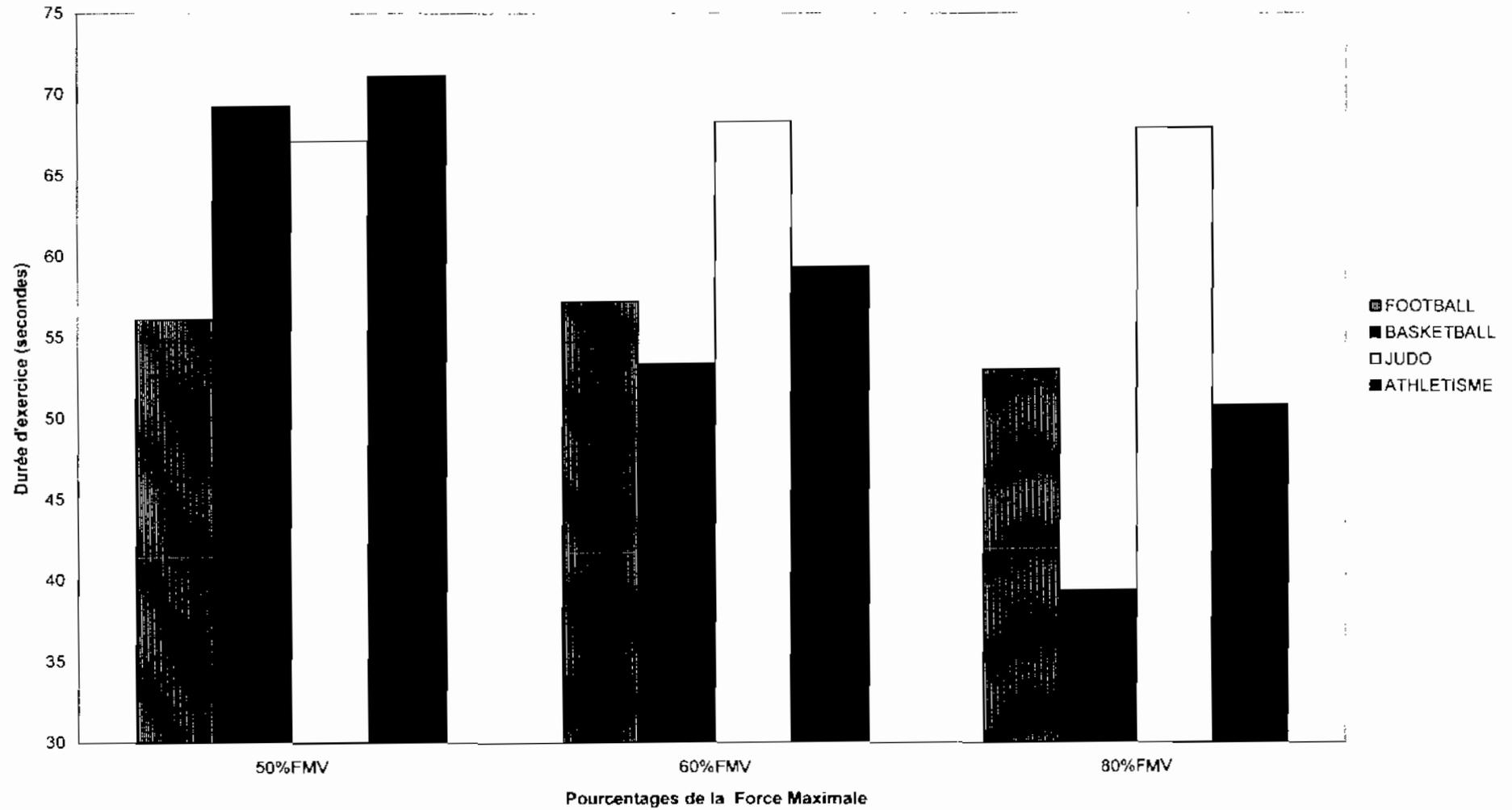
A 50% de la FMV il n'est pas constaté de différences notoires de la puissance pour les différentes disciplines sportives (football, basket, judo et athlétisme). La puissance moyenne enregistrée chez les judokas dépasse de peu les autres puissances.

A 60% il n'y a pratiquement pas de variation de la puissance pour les différentes disciplines sportives.

A 80% de la FMV, les basketteurs et les athlètes développent les puissances les plus importantes. Elle est moyenne de 7,35 watts pour les basketteurs et de 7,30 watts pour les athlètes.

Cependant, chez les footballeurs et les judokas il est enregistré des puissances moins importantes. (5,58 watts pour les footballeurs et 5,83 watts pour les judokas).

Evolution de la Durée de l'exercice à différents pourcentages de la Force Maximale Dynamique Volontaire



CHAPITRE IV

ETUDE COMPARATIVE ENTRE DUREES DE L'EXERCICE ET PUISSANCES DEVELOPPEES

A 50% de la FMV, autant la durée de l'exercice est longue, autant la puissance développée est faible. Si les durées de maintien de l'exercice les plus importantes ont été enregistrées à 50% de la FMV, cependant, des puissances développées à ce niveau ont été les plus faibles.

Chez les basketteurs, il est noté une durée de l'exercice de 69.22 secondes et, conjointement, une puissance très faible (2.81 watts).

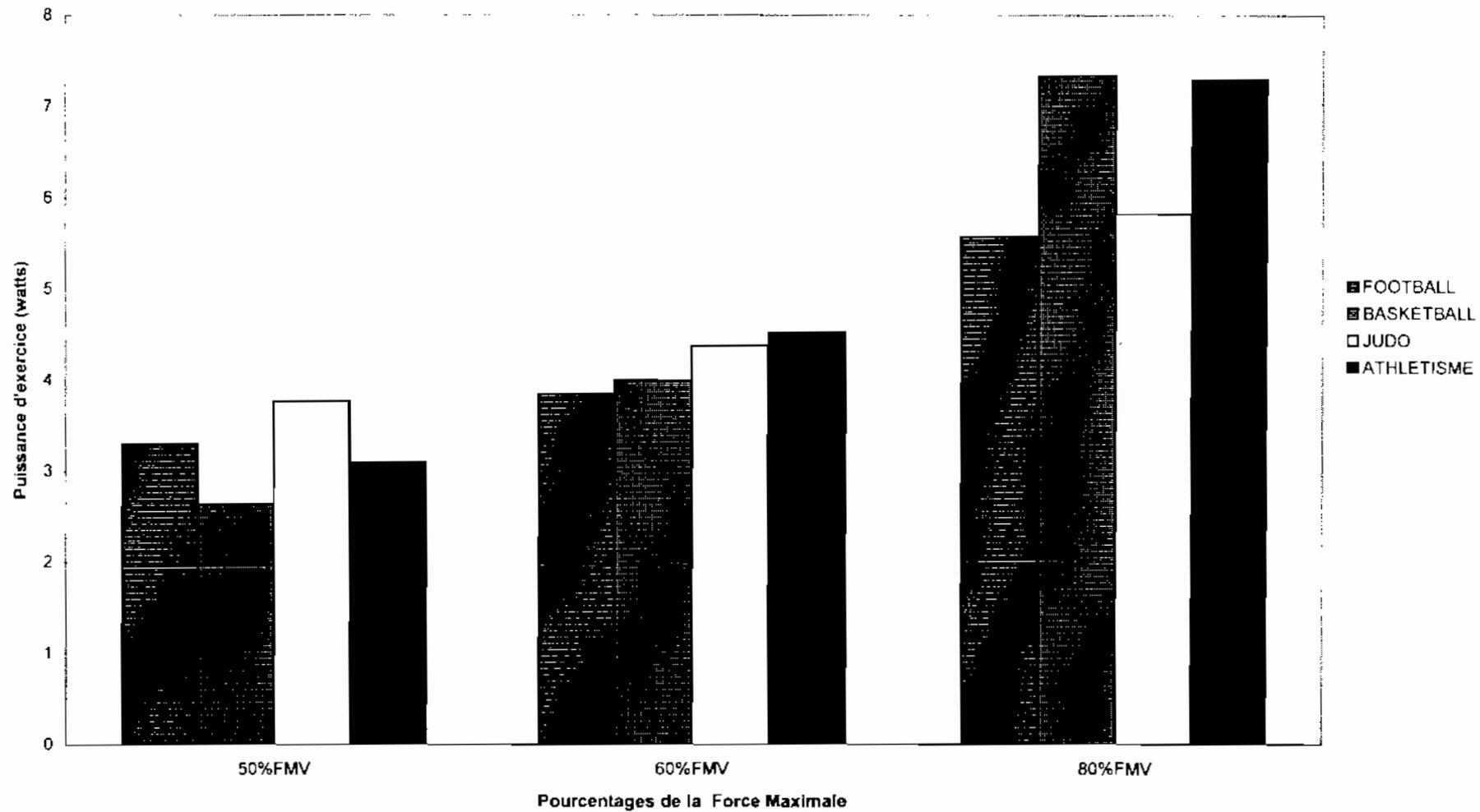
A 60% de la FMV il n'est pas noté de phénomène assez discriminatoire. Cependant, à 80%, la puissance enregistrée est d'autant plus élevée que la durée de l'exercice est brève.

Chez les basketteurs et les athlètes, autant la puissance développée à ce niveau est importante et autant la durée de l'exercice est brève.

A 80% de la charge maximale, les basketteurs enregistrent la durée de maintien de l'exercice la plus courte (39.43 secondes) et développent une puissance très importante à ce niveau (7.35 watts)

Les sports à puissance explosive comme le basket et l'athlétisme (importante participation des sprinters) développent des puissances importantes mais, sur une courte période. Les fibres régulièrement sollicitées sont de type II, rapides. Elles sont caractérisées par une importante activité des enzymes glycoliques et une forte activité ATPasique de la tête de la myosine. ce

Evolution de la Puissance de l'exercice à différents pourcentages de la Force Maximale Dynamique Volontaire



qui implique une forte tension au niveau du muscle. Cependant, ces fibres sont vite fatigables, ce qui explique les durées de maintien brèves pour des puissances développées très importantes.

De même, plus la durée de maintien est longue, plus la puissance développée est faible. Les fibres lentes couramment sollicitées en endurance ont un riche réseau capillaire. Ainsi, cet important réseau capillaire peut expliquer l'apparition tardive de la fatigue. L'irrigation régulière du muscle en action permet une meilleure élimination des déchets métaboliques et un meilleur apport en oxygène, un meilleur approvisionnement en substrats énergétiques (hydrates de carbone et acides gras libres). (ASTRAND, 1980).

QUATRIEME PARTIE

DISCUSSION

Il va s'articuler au tour de 3 points essentiels, à savoir :

- Il existe un lien entre le rythme et le délai d'installation de la fatigue
- Les formes et les manifestations du sport varient d'une discipline sportive à une autre.
- Il existe un rythme pour lequel la fatigue est moindre et le rendement élevé.

CHAPITRE I: CRITIQUE DE LA METHODE

A/ LES MOYENS

Nous avons eu à rencontrer d'énormes problèmes quand il a fallu trouver un métronome et certains accessoires pour la commodité du sujet lors du déroulement du test.

a/ Le métronome

C'est un appareil destiné à indiquer les différentes vitesses du mouvement d'exécution il est en général de forme triangulaire avec une aiguille centrale se balançant de part et d'autre à la manière d'un pendule. Il était de type mécanique un peu archaïque comparé aux métronomes modernes de type électronique. Il nous fallait obligatoirement cet appareil pour imposer différentes vitesses d'exécution du mouvement flexion-extension du membre inférieur. Ce qui nous avait valu l'opportunité de travailler à 60, 80 et 100 battements par minute pour différentes charges.

Cet appareil est très rare dans le marché sénégalais. Il a fallu faire recours au Conservatoire National et planifier notre travail avec les moments où les appareils étaient disponibles. Il y a eu deux appareils à notre disposition. Cependant, il fallait les utiliser alternativement l'un après l'autre selon leur disponibilité.

En outre, aucun des deux appareils ne portait la notice qui nous édifiait sur l'erreur relative ou sur l'erreur absolue de ces derniers. De plus, le signal sonore n'était pas très fort, il fallait un peu compter sur l'attention du sujet. Nous lui demandions avant chaque passage de suivre le rythme du signal sonore du métronome, à défaut, de synchroniser son travail avec le balancement de l'aiguille. Il y a également le grincement mécanique des appareils de travail (charges, levier et autres) qui absorbait la perception sonore des "toc" du métronome. Donc autant de facteurs qui pouvaient constituer des limites pour le déroulement idéal du test.

b/ Les accessoires

Dans un premier temps on a eu à constater que sous l'effet de sommation des charges à soulever, nos sujets finissaient par s'écorcher la jambe. Pour un souci d'abord humanitaire ensuite pour éviter la mortalité de la population, nous avons décidé de trouver une solution pour contrecarrer cet imprévu. C'est ainsi que dans un premier temps il a été trouvé une ceinture de judoka pour amoindrir l'effet de frottement du support des charges sur le 1/3 inférieur de la jambe. Et, comme cette méthode présentait des insuffisances (la bande s'enlevait en cours d'exécution du mouvement extension-flexion) nous avons fait recours à un autre procédé : l'usage du protège tibia. (C'était le protège tibia de type "Montana" utilisé par les joueurs de football). Il permettait enfin le déroulement presque correct du test sans écorchure de la jambe et sans interruption du test à mi-exécution.

Voici donc de manière succincte les problèmes majeurs qu'on avait eu à rencontrer pour faire un déroulement correct du test. Et, ces problèmes étaient ceux relatifs aux moyens.

Cependant, nous ne pouvions mettre en veilleuse, certains problèmes notamment ceux qui étaient liés au choix des disciplines, en particulier le choix de l'athlétisme.

B/ L'ATHLETISME

Ce choix a suscité certaines interrogations, car vu les différentes disciplines qui composent l'athlétisme, nous aurions pu faire des investigations sur cette seule discipline. La population totale du test pouvait être constituée uniquement d'athlètes. Ainsi l'étude comparative serait faite entre les sprinters les coureurs de fond, les triple-sauteurs....

Au début, nous avons pris un échantillon de treize athlètes dans une population de sportifs. Par la suite, on s'est rendu compte au sein de l'athlétisme, qu'il fallait scinder cette discipline en fonction de ces différentes composantes. Ce qui n'était pas sans conséquence sur les "micro-échantillons" choisis. Ainsi, au décompte final, nous nous retrouvions avec trois triple-sauteur, quatre coureurs de 100m et 200m, trois coureurs de 400m, trois coureurs de 800m et de 1500m. Malheureusement, ces effectifs ne sont pas tout à fait représentatifs pour assurer l'objectivité parfaite des résultats.

Bien qu'elles soient toutes cycliques, les courses présentent, cependant des styles et des processus énergétiques tout à fait différents.

Chaque composante de l'athlétisme présente ses spécificités et ses particularités.

En résumé, nous dirons que, l'athlétisme pris à part offre un grand éventail de recherche

CHAPITRE II : RELATION ENTRE LE DELAI D'INSTALLATION DE LA FATIGUE, LE RYTHME DU TRAVAIL ET LES PERFORMANCES OBTENUES

A°) RELATION ENTRE LE DELAI D'INSTALLATION DE LA FATIGUE ET LE RYTHME DU TRAVAIL

1°) DUREE

Pour les fréquences de 30 extensions/flexions/minute la durée de maintien de l'exercice est optimale.

Au football pour un rythme de 30 flexions/minute, le sujet maintient le travail pendant 72,14 secondes. C'est la durée de l'exercice la plus longue chez les footballeurs. Le temps de maintien le plus court est enregistré pour un rythme de 50 extensions/flexions/minute.

Pour une fréquence d'exécution du mouvement ralentie, la durée est optimale. Alors que, pour un rythme d'exécution du travail accéléré, la durée de maintien de l'exercice est moindre.

Une comparaison similaire peut être faite pour les athlètes, les basketteurs et pour les judokas.

La durée maximale de maintien de l'exercice est obtenue par une fréquence basse (30 extensions/flexions/minute).

Tandis que, des durées de maintien minimales sont enregistrées pour une fréquence d'exécution du mouvement de l'ordre de 50 extensions/flexions minute.

2°) PUISSANCE.

Pour le football, la puissance développée la plus faible (2,47 watts) est obtenue à un rythme de 30 flexions/extensions/minute. La puissance maximale développée est de 6,95 watts pour un rythme de 50 flexions/extensions.

De même, chez les basketteurs, pour un rythme de 30 extensions/flexions/minute (et à charge légère), la puissance développée est minimale est de l'ordre de 1,82 watts. Pour un rythme accéléré de 50 flexions/extensions/minute, la puissance enregistrée est optimale. Elle est de l'ordre de 9,2 watts à 80 % de la FMV, pour un rythme de 50 extensions/flexions/minute.

Le même phénomène peut être observé chez les judokas. A 50 % de la FMV et à 30 extensions/flexions/minute, la puissance développée à ce niveau est la plus faible. Par contre, à 80 % de la FMV et pour une fréquence élevée de 50 flexions/extensions/minute, la puissance enregistrée est optimale (6,73 watts).

En outre, au niveau de l'athlétisme, la performance (puissance développée) obtenue est l'une des plus faibles pour un rythme de 30 extensions/flexions/minute. A 50 extensions/flexions/minute (fréquence de travail élevée) et pour une charge lourde, les athlètes développent leur puissance maximale (9,43 watts). En définitive, pour un rythme de travail ralenti, (30 extensions/flexions/minute) effectué à charge légère, la puissance développée à ce niveau est minimale. Par contre, elle devient maximale, quand la fréquence d'exécution du mouvement (extension flexion) est élevée et la charge lourde (travail sollicitant 80 % de la FMV).

B°) LES FORMES ET MANIFESTATIONS DE LA FATIGUE VARIENT D'UNE DISCIPLINE SPORTIVE A UN AUTRE.

1°) FORMES ET MANIFESTATIONS DE LA FATIGUE SUIVANT LES DIFFERENTES DISCIPLINES

LE FOOTBALL

Pour un travail sollicitant 50.60 et 80 % de la force maximale volontaire, le sujet s'épuise respectivement au bout de 56.14, 57.26 et 53.05 secondes. Le sujet qui est soumis à différentes charges, maintient presque la même durée d'exécution du mouvement extension/flexion.

LE BASKET-BALL

La durée de maintien de l'exercice la plus longue est en moyenne de 69.28 secondes. Pour une charge légère, le sujet se fatigue tardivement, ce qui témoigne de la capacité d'endurance du basketteur. A 60 et à 80 % de la FMV, le basketteur est incapable de poursuivre le mouvement (extension) au bout de 53.42 et 39.43 secondes. Le basketteur se fatigue plus vite que le footballeur, le judoka et l'athlète quand il travail à 80 % de la FMV.

LE JUDO

A 50, 60 et 80 % de la FMV, la durée de maintien de l'exercice est respectivement de 67.13, 68.33 et 67.97 secondes. Pour différentes charges de travail, la durée de l'exercice est quasiment la même.

L'ATHLETISME

La durée de maintien de l'exercice la plus longue est enregistrée quand le sujet est soumis à une charge légère (50 % de la FMV). La durée enregistrée est la plus importante pour toutes les disciplines (71.18 secondes). A 60 et à 80 % de la FMV, les durées de maintien de l'exercice sont respectivement de 59.43 et 50.87 secondes.

2°) FORMES ET MANIFESTATIONS DE LA FATIGUE SUIVANT LA FORCE DE TRAVAIL

A 50% DE LA FMV

Ce sont les Footballeurs qui se fatiguent les premiers au bout 56.14 secondes d'exercice. Par la suite, surviennent la fatigue des judokas (67.13 secondes), des basketteurs (69.28 secondes) et enfin celle des athlètes (71,18 secondes)

60 % DE LA FMV

Cette fois-ci, ce sont les basketteurs qui se fatiguent les premiers ensuite, survient l'épuisement des footballeurs (en 57.26 secondes), des athlètes (en 59.43 secondes) et enfin celui des judokas (en 68.33 secondes).

A 80 % DE LA FMV

Une fois de plus, ce sont les basketteurs qui se fatiguent les premiers, l'épuisement des athlètes et des footballeurs survient respectivement au bout de 50.87 et 53.05 secondes

La durée de maintien du mouvement extension/flexion est plus longue chez les judokas lorsque ceux-ci sont soumis à des charges lourdes (80 % de la charge maximale). La fatigue survient au bout de 67,97 secondes.

C°) RYTHME D'EXECUTION DU TRAVAIL POUR LEQUEL LA FATIGUE EST MOINDRE ET LE RENDEMENT ELEVE.

LE FOOTBALL

A 50 % de la FMV la durée de maintien de l'exercice la plus longue est obtenue pour une fréquence de 30 flexions/extensions/minute. A charge légère, la fatigue survient au bout de 72,14 secondes.

A 60 et à 80 % de la FMV, la fatigue s'installe respectivement au bout de 70,6 et 65, 84 secondes, lorsque le footballeur travail à cadence modérée (30 flexions/extensions/minute). Pour des charges moyenne et élevée de travail, les durées enregistrées sont également longues.

BASKET-BALL

A 50 % de la FMV, la durée de maintien de l'exercice la plus longue est obtenue pour un rythme de 30 flexions/extensions/ minute. Par contre, elle devient moindre au fur et à mesure que la fréquence du mouvement s'élève.

A 60 et 80 % de la FMV des phénomènes presque similaires peuvent être observés. La durée de maintien de l'exercice est optimale pour un rythme de 30 extensions flexions/minute.

Cependant elle diminue quand la cadence s'accélère.

JUDO

A 50, 60 et 80 % de la FMV, les durées de maintien de l'exercice enregistrées à un rythme de 30 extensions/flexions/minute, sont respectivement de 86.6, 82.2 et 80.8 secondes. Ces durées constituent les valeurs optimales observées lorsque le sujet travaille à 50, 60 et 80 % de la FMV.

L'ATHLETISME

A 50 % de la FMV la durée de maintien la plus longue est observée par une fréquence de mouvement élevée.

Par contre à 60% et à 80 % de la FMV (et pour une fréquence du mouvement qui est de l'ordre de 30 extensions/flexions/minute) les durées de maintien de l'exercice sont optimales. Elle est de 75.2 secondes à 60 % de la FMV et de 69.84 secondes à 80 % de la FMV.

En définitive, pour différentes charges, la durée optimale de maintien de l'exercice est obtenue pour une fréquence de 30 extensions/flexions/minute. Plus le temps de maintien est long, plus le sujet a la possibilité d'effectuer le nombre maximal d'extensions/flexions. Plus la fatigue est tardive et plus le rendement est optimal voire élevé.

CONCLUSION

Nous avons eu à faire des investigations sur la fatigue neuro-musculaire normale, réversible par le repos. Pour mieux appréhender les formes et manifestations de la fatigue en fonction des différentes disciplines sportives choisies (football, basket-ball, judo et athlétisme) il a été soumis à notre population (entièrement constituée d'étudiants de l'INSEPS) différentes charges de travail. Le test administré est un exercice d'extension/flexion du membre inférieur et avec charges variables (50%, 60% et 80% de la charge maximale). A partir des résultats obtenus nous avons eu à faire certains constats :

- il existe un lien entre le rythme et le délai d'installation de la fatigue.

Pour une fréquence d'exécution du mouvement ralentie, la durée de travail est optimale. Alors que, pour un rythme d'exécution du mouvement accéléré, la durée de maintien de l'exercice est moindre.

Pour un rythme de travail ralenti (30 extensions/flexions/minute) la puissance développée est minimale. Elle devient maximale quand la fréquence d'exécution du mouvement extension/flexion est élevée.

Les formes et les manifestations de la fatigue varient d'une discipline sportive à l'autre.

Pour une charge légère, la fatigue survient tardivement chez les basketteurs et chez les athlètes. Par contre, pour des charges moyenne et élevée, les basketteurs se fatiguent les premiers.

Cependant, chez le judoka, la fatigue survient plus tard quand ce dernier est soumis à une charge lourde (80 % de la force maximale volontaire).

Il existe un rythme d'exécution du travail pour lequel la fatigue est moindre et le rendement élevé. En effet, pour différentes charges, la durée optimale de maintien de l'exercice est

obtenue pour une fréquence de 30 extensions/flexions/minute. Plus le temps de maintien est long, plus le sujet a la possibilité d'effectuer le nombre optimal d'extensions/flexions. Plus la fatigue est tardive et plus le rendement est optimal voire élevé.

En dépit de nombreuses contraintes, nous avons tenté les investigations les plus rigoureuses possibles dans un optique de rentabilité meilleure. Et, nous espérons que ce document répondra à l'attente de tout fanatique du sport, désireux d'en savoir un peu plus sur les maillons de la fatigue, sur le délai d'installation de celle-ci en fonction des différentes disciplines sportives choisies.

Bibliographie

- 1) ASTRAND (P.O) et RODHIAL (K.): précis de physiologie de l'exercice musculaire. Paris, Masson. 1980, 507 P.
- 2) ATLAN (G.), BELIEVEAU (L.) et BOUISSOU (P.) la fatigue musculaire : aspects biologique et physiologique. Paris. Masson. 1991, 254 P.
- 3) BJORG: Echelle de perception de l'effort. in médecine du sport (Mediplan), N° 4, 25 Juillet 1989. P.173.
- 4) CAMPOS (F.A.), CANNON (W.B.), LUNDIN (H.), WALKER (T.T): Some conditions affecting the capacity of prolonged muscular work, Amer. J. Physiol, 1928. 680 P.
- 5) CRAPLET (D.): physiologie et activité sportive Paris. Masson, 427 P.
- 6) DANKO (I.I) 1966, cité par (20)
- 7) DILL (D.B.): the Economy of muscular Exercice . Physiol. P.263.
- 8) DILL (D.B) et CONSOLAZIO (C.F): responses to exercice as related to age and environmental temperature. J. Appl. Physiol. P.645.
- 9) KARPOVICH (P.V.), (M.D). (M.P.E.). SINNING (W.E.) et (PH.D): physiologie de l'activité musculaire. Paris, VIGOT FRERES. PP. 339-342.
- 10) LANNERGREW (J.) et WESTERBLAD (H) 1986, cité par (2), P44
- 11) Mc ARDLE (W.D) et KATCH (F): physiologie de l'activité physique. Paris, VIGOT, 1987, P.113 et P.118.
- 12) MAC DOUGALL (J.D), WENGER (H.A), GREEN (H.J): évaluation de l'athlète de haut niveau. Paris, DECARIE-VIGOT, 1982, P.39. et P.41
- 13) MONOD (H.) et SCHERRER (J.): le travail musculaire local et la fatigue chez l'homme. J. Physiol, P. 419. et P.501.
- 14) MONOD (H.) et FLANDROIS : physiologie du sport. Paris. Masson, 1985. P.118
- 15) PARK (R.) et ARIEFF (A.I.): lactie acidosis: current concepts. Clinics endocrinol. Metab. 1983, PP (339-358)
- 16) ROZENBLAT (V.V): problèmes de la fatigue. Medgiz, 1975. P.137.
- 17) SECENOV (J.M): physiologie du système nerveux, Moscou. AMN URSS. 1952. P.185.
- 18) SID (A.B) et Coll 1991, cité par (2). P.140.
- 19) LIHTOMSKI (A.A): la physiologie de l'appareil moteur. Maison d'édition L.G.U. 1927. P.115

20) VOI.VOV (V.M);processus de récupération en sport.Paris, INSEP- Publications, 1977, PP (7-22.)

