

RÉPUBLIQUE DU SÉNÉGAL

**Ministère de la Jeunesse et
des Sports**

**Institut National Supérieur
de l'Éducation Populaire
et du Sport
(I.N.S.E.P.S.)**

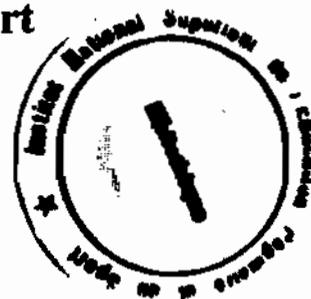
**ETUDE DE LA RELATION ENTRE LA
CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE,
LE POULS D'OXYGENE, LA FREQUENCE DU
POULS DE RECUPERATION ET LA
PERFORMANCE MAXIMALE DANS
DIFFERENTS SPORTS**

**MÉMOIRE DE MAÎTRISE ES SCIENCES ET TECHNIQUES DE
L'ACTIVITÉ PHYSIQUE ET DU SPORT**

**Présenté et Soutenu
par Mohamed Takiyoulah M'BAYE**

Directeur de Mémoire :

**Docteur Momar SÈNE, Médecin Capitaine
Traumatologie et Médecine du Sport
Forces Armées sénégalaises**



Année Académique 1992-1993

DEDICACES

Je dédie ce travail :

A mes grands-parents

- Doudou THIOUB,
- NGagne THIOUB,
- Ibrahima THIOUB,
- Samboudian MANÉ
- Bintou FOFANA
- Marème FAYE
- Sadio DIÈNE

A mes parents

- A mon père (in memoriam) qui m'a donné l'exemple de l'homme humble, honnête et travailleur qui respecte son prochain.
Trop tôt arraché à notre affection, nous regrettons infiniment votre absence.
- A ma mère qui m'a toujours guidé, entouré d'un amour sans faille.

A mes oncles et tantes

- Ibou DAFFÉ
- Laminc DAFFÉ
- Balla Moussa DAFFÉ
- Kéba MANÉ

- Ousmane SOW
- Adama SANO
- Touti DAFFÉ
- Scynabou DAFFÉ
- Mariama SARR
- Khady SANO (in memoriam)

Recevez ici l'expression de mon plus profond attachement.

A mes cousins et cousines

- Doudou DAFFÉ dit Féla
- Assane ARIS
- NDèye FAYE
- Astou NDIAYE
- Néné Touti NDIAYE
- Mame NDIAYE
- Adjii NDIAYE
- Amy Colé
- Maïmouna MANÉ

Vous m'êtes très chers.

A mes frères

- Sidy THIOUB et à son fils Samboudian
- Moussa GUÈYE
- Pape Massamba MBAYE
- Assane Ismaël MBAYE
- Cheikh Ahmadou Bamba MBAYE

Vous êtes pour moi plus que des frères et les mots me manquent pour exprimer ce que je ressens en ce moment.

A ma soeur Marianne

Nous avons trouvé en vous plus qu'une soeur.

Vous êtes un père et une mère pour nous.

Vous avez su remplacer papa dans notre coeur.

Grâce à vous, son absence ne nous est plus pénible.

Que Dieu le Tout Puissant vous bénisse.

A tous mes amis et amies

- Docteur Hyacinthe DIOH
- Fadel DIAGNE
- Scrigne LO
- Amadou BADIANE
- Mouhamadou Lamine CISSOKHO
- Julien Alphonse DIOUF
- Ablaye THIAM...
- Mamadou DIALLO

Vous m'avez toujours soutenu.

Recevez à travers ce travail, toute mon affection.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier :

- Le Médecin Capitaine, Momar SÈNE, pour avoir accepté de patronner ce mémoire.

Vous n'avez ménagé aucun effort pour que ce travail aboutisse.

Il existe des moments où les mots n'ont pas suffisamment de poids pour exprimer ce que je ressens.

Trouvez ici l'expression de ma plus profonde gratitude.

- Sa femme, Mame Khady, pour m'avoir soutenu moralement tout au long de ce travail.

Vous êtes une sœur pour moi.

- A son fils, Modou,

Que Dieu le laisse grandir et s'épanouir à vos côtés.

Vous avez toute mon affection et ma profonde reconnaissance.

- Monsieur Djibril SECK, professeur à l'INSEPS

Pour vos précieux conseils, votre dévouement et votre entière disponibilité dans les moments difficiles.

Vous avez toute mon estime.

- Aux sportifs de l'ASFA pour leur entière collaboration à ce travail.
- Monsieur Aziz NDIAYE, pour son concours technique inestimable.
- Tous les professeurs, personnels et étudiants de l'I.N.S.E.P.S.
- Le professeur Fallou Cissé et l'infirmier major MBargou FAYE.
- Grégoire DIATTA et Anastasia, bibliothécaires, pour vos précieux renseignements.

Nous vous remercions infiniment.

PLAN

INTRODUCTION	1
1. DEFINITIONS DES PARAMETRES	3
1.1. LA CAPACITE DE PERFORMANCE	3
1.1.1. La capacité aérobie	3
1.1.2. La capacité anaérobie	4
1.2. LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE	5
1.2.1. Les valeurs du VO₂ max.	5
1.2.1.1. Les sujets sédentaires	5
1.2.1.2. Les sujets sportifs	5
1.3. LE POULS D'OXYGENE	6
1.4. LA FACULTE DE RECUPERATION	6
2. LES FACTEURS INFLUENCANT LA CAPACITE DE PERFORMANCE SPORTIVE	8
2.1. LES BESOINS - L'APTITUDE A Y REpondre	8
2.2. LES FACTEURS AFFECTANT L'APTITUDE A FOURNIR UN TRAVAIL PHYSIQUE SOUTENU	11
3. LES SOURCES D'ENERGIE	14
3.1. BIOCHIMIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE ...	14
3.1.1. Le processus anaérobie et alactique	15
3.1.1.1. La vitesse de mise en jeu	15
3.1.1.2. La puissance maximale	15
3.1.1.3. La capacité	16

3.1.2. Le processus anaérobie lactique	16
3.1.2.1. La vitesse de mise en jeu	16
3.1.2.2. La puissance maximale	17
3.1.2.3. La capacité	17
3.1.3. Le processus aérobie	18
3.1.3.1. La vitesse de mise en jeu	18
3.1.3.2. La puissance maximale aérobie (P.M.A.)	20
3.1.3.3. La capacité aérobie	23
4. MATERIEL ET METHODE	27
4.1. LES SUJETS	27
4.2. LE MATERIEL	28
4.2.1. Le vélo ergométrique	28
4.2.2. Un électrocardiographe	28
4.2.3. Un cardioscope	28
4.2.4. Un sphygmomanomètre	28
4.2.5. Un somatomètre	29
4.2.6. Un pèse-personne	29
4.2.7. Utilisation de nomogramme	29
4.2.8. Un chronomètre	29
4.3. LE PROTOCOLE	31
4.3.1. Le test aérobie	31
4.3.1.1. Précautions	31
4.3.1.2. Avant le test	31
4.3.1.3. Pendant le test	32
5. PRESENTATION DES RESULTATS	34
5.1. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DE TOUS LES FOOTBALLEURS	34
5.2. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES BASKETTEURS	35

5.3. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES HANDBALLEURS	36
5.4. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES VOLLEYEURS	37
5.5. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES BOXEURS ..	38
5.6. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES JUDOKAS ..	39
5.7. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES NAGEURS ..	40
5.8. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES ATHLETES	41
5.9. CRITIQUE DE LA VALIDITE DE LA METHODE EXPERIMENTALE	42
5.9.1. Les sujets étudiés se sont portés volontaires pour subir les tests	42
5.9.2. La période de déroulement des tests	42
5.9.3. Le protocole	42
5.9.4. Le matériel de mesure	43
5.9.5. Détermination des grandeurs	43
5.9.6. Les calculs statistiques	44
5.10. Résultats des footballeurs	46
5.11. Résultats des basketteurs	47
5.12. Résultats des handballeurs	48
5.13. Résultats des volleyeurs	49
5.14. Résultats des boxeurs	50
5.15. Résultats des judokas	51
5.16. Résultats des nageurs	52
5.17. Résultats des athlètes	53
6. ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS ...	55
6.1. LA FREQUENCE CARDIAQUE DE REPOS	55
6.2. LA FREQUENCE CARDIAQUE MAXIMALE	55

6.3. LA FREQUENCE CARDIAQUE DE RECUPERATION ..	56
6.4. LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE (VO₂ max)	56
6.5. LE POULS D'OXYGENE	57
6.6. LA PERFORMANCE MAXIMALE	58
6.7. LA CORRELATION ENTRE LA PERFORMANCE MAXIMALE ET LA VO₂ max.	59
6.8. LA CORRELATION ENTRE LA PERFORMANCE MAXIMALE ET LE POULS D'OXYGENE	61
6.9. LA CORRELATION ENTRE LA PERFORMANCE MAXIMALE ET LA FREQUENCE DU POULS DE RECUPERATION	63
 CONCLUSION GENERALE	 66
 BIBLIOGRAPHIE	 69

INTRODUCTION

Le sport est devenu au cours des dernières décennies un phénomène mondial d'une ampleur qui ne trouve pas d'équivalent ni au niveau des pratiques, ni au niveau des spectacles télévisés. Jusqu'aux années cinquante, pratique surtout réservée à la jeunesse, le sport a progressivement étendu son influence à l'âge adulte dans l'ensemble des pays industrialisés.

Il représente pour nombre de personnes, une activité régulière. Les plus fortes ambiances sont le fait des grandes manifestations sportives tels les jeux olympiques, le Mondial de football ou les grandes tournées de tennis.

Face à cet emprise du phénomène, les recherches se sont organisées. C'est ainsi que les physiologistes se sont intéressés dès le début du vingtième siècle aux possibilités énergétiques des sportifs et en particulier à l'étude de leur capacité de performance.

En effet la capacité de performance d'un sportif est la performance maximale possible, en épuisant toutes les réserves dans les disciplines sportives déterminées.

L'aptitude à la performance détermine jusqu'à quel point un sportif peut puiser dans ses possibilités lorsqu'il s'engage dans la réalisation d'une performance.

D'abord peu nombreuses, les études de la capacité de performance se sont étendues, notamment au sein de l'école allemande, avec des chercheurs tels que Hollman, Israël, Keul, Kindermann, Simon, Nowaki, et j'en passe.

La capacité de performance apparaît donc, après toutes les recherches qu'elle a suscitées, comme un facteur déterminant de la performance sportive, pour non seulement des exercices de longue durée, mais aussi pour des exercices de courte durée.

En effet, selon que le sportif voudra performer en vitesse ou en endurance, les recherches s'orienteront vers l'analyse de la capacité anaérobie ou aérobie, afin de juger

de l'aptitude à courir longtemps ou à courir vite et longtemps, ou tout simplement à courir vite.

En d'autres termes, il s'agira d'analyser la capacité à prolonger :

- des efforts à puissance supramaximale, c'est-à-dire, des efforts limités en durée par l'élévation de la lactatémie et réalisés à des puissances relatives supérieures à 70 % de VO_2 max.
- un effort d'intensité modérée en utilisant un pourcentage élevé de VO_2 max, soit 50 à 95 % de la puissance maximale aérobie (Trouillon, 1978).

Parmi les techniques utilisées, l'ergométrie a su s'imposer au niveau clinique, grâce à ses progrès techniques.

En effet, tout est parti, vers les années cinquante, de la spirométrie sous la houlette de Braner et Kipping en 1929.

Cette spirométrie est à l'origine, à partir de la fin des années cinquante, de l'ergométrie clinique, c'est-à-dire de la mesure des capacités de performance à des fins cliniques, sans enregistrement parallèle des échanges gazeux et de la respiration.

La combinaison ergométrie - tracés électrocardiographiques est de grande importance, non seulement pour connaître la capacité de performance d'un sportif, mais aussi pour diagnostiquer les troubles anatomo-physiologiques du coeur. Ceci explique la présence de l'ergométrie non seulement dans les hôpitaux, mais aussi dans de nombreux cabinets médicaux.

La présente étude relative à l'importance de la capacité de performance sportive constitue une modeste contribution à la recherche, pour la mise sur pied de grilles de référence pour les entraîneurs sénégalais.

Ils pourront à partir de la comparaison des différentes capacités de performance sportive, orienter leurs sportifs en fonction de leurs aptitudes, dans différentes disciplines sportives (courses de fond, football, basket, hand-ball, volley-ball, boxe, natation, judo).

1. DEFINITIONS DES PARAMETRES

1.1. LA CAPACITE DE PERFORMANCE

La capacité de performance d'un sportif se définit comme la performance maximale possible (en épuisant toutes les réserves dans des disciplines sportives déterminées).

L'aptitude à la performance détermine jusqu'à quel point un sportif peut puiser dans ses possibilités lorsqu'il s'engage dans la réalisation effective d'une performance.

Pour souligner qu'il s'agit du domaine sportif, on parle plus exactement de capacité de performance "sportive" ou de capacité de performance "motrice" sportive.

Elle est déterminée par le quotient de la charge en watts à laquelle s'est arrêté le sujet en épuisant toutes ses réserves, par son poids corporel en kilogrammes.

Les capacités les plus déterminantes de la performance sportive sont essentiellement aérobie et anaérobie.

1.1.1. La capacité aérobie

Elle indique la capacité d'absorption maximale d'oxygène dans une unité de temps déterminé. Par là, on entend, l'absorption la plus élevée d'oxygène qu'un individu peut atteindre au cours d'un travail corporel, en respirant l'air dans des conditions atmosphériques normales et au niveau de la mer.

La mesure se fait au laboratoire en moyen d'une charge maximale sur le tapis roulant ou bicyclette ergométrique.

Les valeurs maximales réalisées se situent, lors d'une épreuve sur tapis roulant, effectuées par des performances choisies au hasard, en moyenne à 10 % au-dessus de celles qui sont atteintes sur le vélo ergométrique. La cause en est la plus grande masse musculaire déployée lors de la course.

La capacité aérobie peut être indiquée en valeur absolue ou en valeur relative. La valeur moyenne pour les hommes non entraînés de trente à quarante ans, se situe à environ $3\ 000 \pm 300$ ml/mn. Pour les femmes de même caractéristiques, elle se situe aux alentours de $2\ 000 \pm 200$ ml/mn.

Les sportifs de niveau mondial, dans des disciplines sportives d'endurance peuvent atteindre des valeurs de 6 000 à 6 500 ml/mn.

1.1.2. La capacité anaérobie

Elle est définie comme la dette d'oxygène maximale pouvant être contractée par de grands groupes musculaires lors d'un travail dynamique.

Dans les épreuves classiques de course en athlétisme, le 400 m constitue la performance anaérobie la plus grande.

Les premières mesures de la capacité anaérobie ont été faites en enregistrant l'admission d'oxygène dans la phase de récupération. Ce procédé est de nos jours remplacé par la mesure du niveau artériel d'acide lactique. Plus le niveau artériel d'acide lactique maximal est élevé, plus grande est la capacité anaérobie.

Ce dosage du lactate se fait grâce à un appareil approprié qui n'existe pas encore dans les laboratoires de physiologie du Sénégal. Dans l'impossibilité de doser le lactate, nous avons utilisé un test, mais essentiellement aérobie.

1.2. LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE

Au cours d'un exercice d'une durée de plusieurs minutes et d'intensité croissante, la consommation d'oxygène augmente jusqu'à une valeur limite et se stabilise, même si l'intensité de l'exercice continue d'augmenter.

Selon Astrand et Rodahl (1980), le $\dot{V}O_2$ max. ou la puissance maximale aérobie (PMA) correspond à la plus grande quantité d'oxygène qui peut être consommée par minute, par un sujet donné, à un moment donné, au cours d'un exercice d'intensité croissante, d'une durée de plusieurs minutes (au moins 2 minutes), mettant en jeu une masse musculaire importante.

Le $\dot{V}O_2$ max. s'exprime en litres par minute ($l.mn^{-1}$) ou en millilitres d' O_2 par minute et par kilogramme de poids corporel ($ml.mn^{-1}.kg^{-1}$).

1.2.1. Les valeurs du $\dot{V}O_2$ max.

1.2.1.1. Les sujets sédentaires

Chez l'homme des pays industrialisés âgé de 20 à 30 ans, le $\dot{V}O_2$ max. atteint environ $50 ml.mn^{-1}.kg^{-1}$ (Astrand 1965, Flandrois et Coll. 1962).

Chez les mélano-africains, la valeur du $\dot{V}O_2$ max. se situe entre 40 et $49 ml.mn^{-1}.kg^{-1}$ (Wyndham et Coll. 1963 ; Danies et Coll. 1972).

Chez la femme, les valeurs de la $\dot{V}O_2$ max. sont de 10 à 20 % moins élevées à cause de la surcharge graisseuse plus forte.

1.2.1.2. Les sujets sportifs

La valeur du $\dot{V}O_2$ max. est variable selon les activités sportives. Les plus grandes valeurs sont trouvées chez les sportifs internationaux spécialisés dans les disciplines de longue

durée. En effet, les athlètes de demi-fond et de fond ont un $\dot{V}O_2$ max. qui se situe entre 65 et 95 $ml.mn^{-1}.kg^{-1}$; ceux du cyclisme ont une valeur de $\dot{V}O_2$ max. située entre 52 et 72 $ml.mn^{-1}.kg^{-1}$ (Mac Dougall, J.D. Wenger, H.A et Green, H.J, 1988 ; Astrand, 1960).

1.3. LE POULS D'OXYGENE

C'est le quotient de l'absorption d'oxygène en millilitres par minute par la fréquence du pouls dans la même minute.

Ce quotient mesure la capacité de performance et l'économie de travail de la circulation sanguine.

Le pouls d'oxygène maximal chez les sujets masculins non entraînés est de 14 à 17, chez les sujets entraînés en endurance, de 20 à 34 fois.

$$\text{Pouls d'oxygène} \left(\frac{ml}{mn} \right) = \frac{\dot{V}O_2 \text{ max } (ml.mn^{-1}.kg^{-1})}{FC (b.mn^{-1})}$$

1.4. LA FACULTE DE RECUPERATION

Cette étude nous permet également de jauger de la capacité de récupération de nos sujets qui constitue un des facteurs de la performance. Ce facteur est calculé 5 minutes après l'arrêt de l'exercice par épuisement complet et en utilisant les fréquences cardiaques :

- la fréquence cardiaque à l'arrêt de l'exercice par épuisement
- la fréquence cardiaque, à cinq minutes, après l'arrêt de l'exercice.

La baisse de cette fréquence cardiaque nous renseigne sur la capacité de récupération du sujet.

A propos de cette dernière fréquence, on parle de fréquence du pouls de récupération. Et d'après A. Miller, la fréquence de pouls au repos est une fonction de la fatigue et de la récupération de la musculature au travail. Elle devient d'autant plus grande que la fatigue est plus importante, et par contre d'autant plus petite que la récupération dans le même temps est plus importante.

2. LES FACTEURS INFLUENCANT LA CAPACITE DE PERFORMANCE SPORTIVE

2.1. LES BESOINS - L'APTITUDE A Y REpondre

Les épreuves sportives représentent la façon la plus courante d'apprécier l'aptitude d'un sujet à fournir un travail. La performance de l'individu est le résultat de l'utilisation et de l'intégration coordonnée d'un grand nombre de fonctions.

Lorsque les besoins représentés par l'acte sportif lui-même sont parfaitement couverts par les possibilités de l'individu, il est possible de réaliser des performances de très haut niveau.

Il est possible de présenter une formule montrant tous les aspects du développement maximal de la puissance et de la capacité maximale de travail d'un individu, puisque chaque type d'activité fait appel à des processus différents.

Cependant la suite des facteurs, qui sont présentés ci-dessous, pourra constituer le schéma général de notre étude. (Astrand et Rodahl, 1980).

Performance physique

Dépense énergétique

Processus aérobie

Processus anaérobie

Activité neuromusculaire

Force

Technique

Facteurs psychologiques

Motivations

Tactique

L'aptitude naturelle (facteurs génétiques) joue probablement un rôle primordial dans l'aptitude d'un individu à réaliser une performance, au moins pour celui qui cherche à atteindre le niveau requis pour obtenir une médaille olympique.

Et puisque les possibilités de combinaisons génétiques sont infinies, il serait intéressant de déterminer quelle doit être la population d'un pays exprimée en centaines de milliers, en millions d'individus, pour "produire" un individu titulaire de l'équipement génétique permettant de réaliser des performances de haut niveau.

Le rôle de l'aptitude naturelle étant reconnu, il n'en demeure pas moins vrai que les performances de chaque individu peuvent être améliorées de façon importante par l'entraînement, qui agit sur tous les facteurs contribuant à la performance physique cités dans la figure n° 1.

Les programmes d'entraînement très intenses appliqués dans de très nombreuses disciplines athlétiques contribuent grandement à l'amélioration des résultats.

Un autre facteur de l'amélioration progressive de la capacité de travail et des performances athlétiques est constitué par :

- l'amélioration des techniques de mouvement
- l'amélioration de l'équipement résultat du progrès technique général.

C'est à l'athlète lui-même qu'il appartient d'améliorer son aptitude, de façon à supprimer quelques secondes ou ajouter quelques centimètres à son record. C'est le scientifique qui cherche à savoir pourquoi la performance s'améliore ou change d'une épreuve à l'autre.

Le rôle du scientifique est donc :

- d'évaluer quantitativement l'influence des différents facteurs sur l'aptitude à accomplir différentes tâches. (facteurs nécessaires à la réalisation d'une performance) ;

- d'établir comment des facteurs varient avec le sexe, l'âge et les dimensions corporelles (profil d'aptitude) ;
- d'étudier l'influence des facteurs tels que l'entraînement et l'environnement.

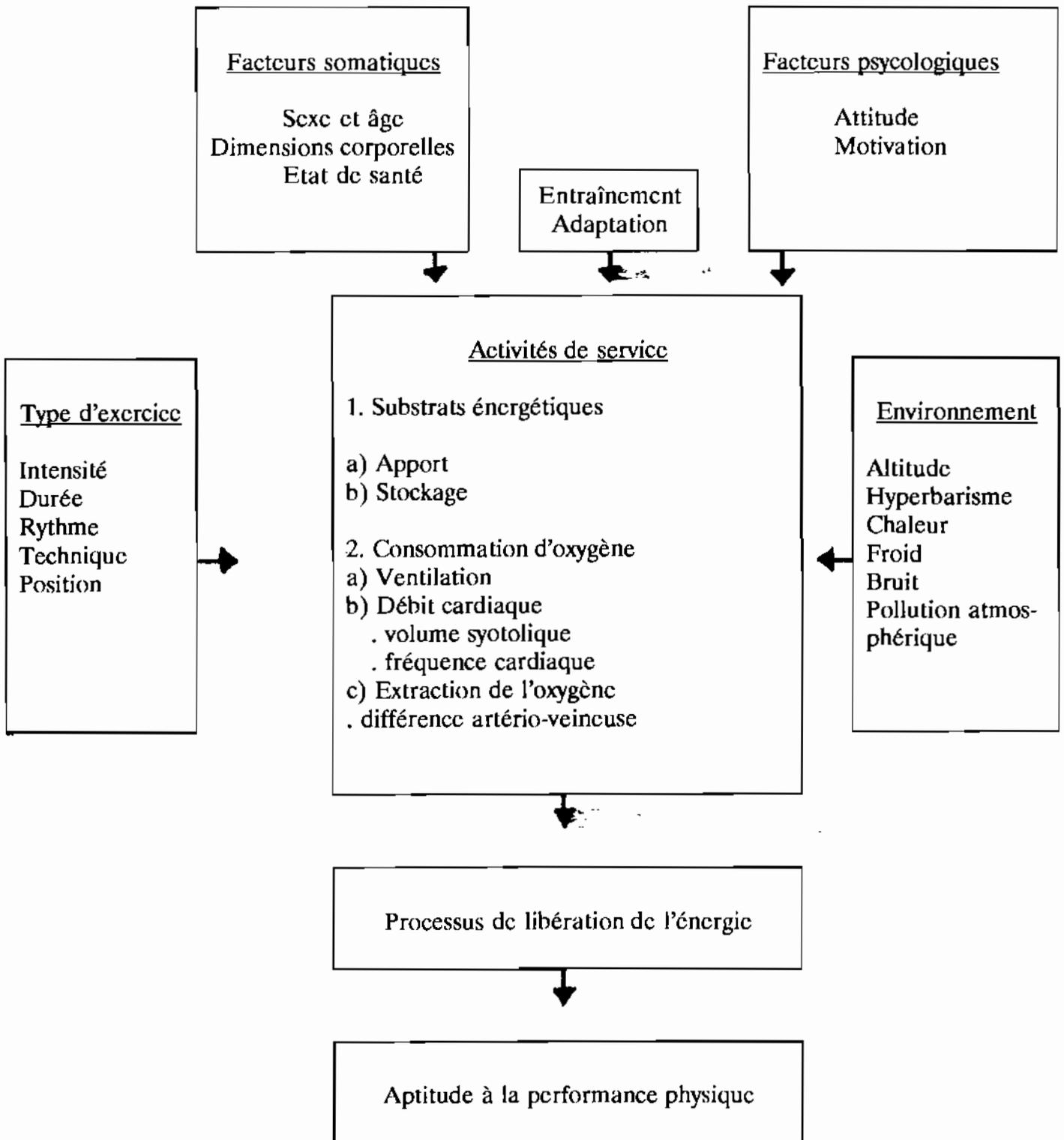


Figure n° 1 : Facteurs qui influencent l'aptitude à l'activité musculaire aérobie (Astrand et Rodahl, 1980)

2.2. LES FACTEURS AFFECTANT L'APTITUDE A FOURNIR UN TRAVAIL PHYSIQUE SOUTENU

La relation entre la charge et l'aptitude est influencée par la combinaison complexe de multiples facteurs aussi bien internes qu'externes qui doivent être pris en compte :

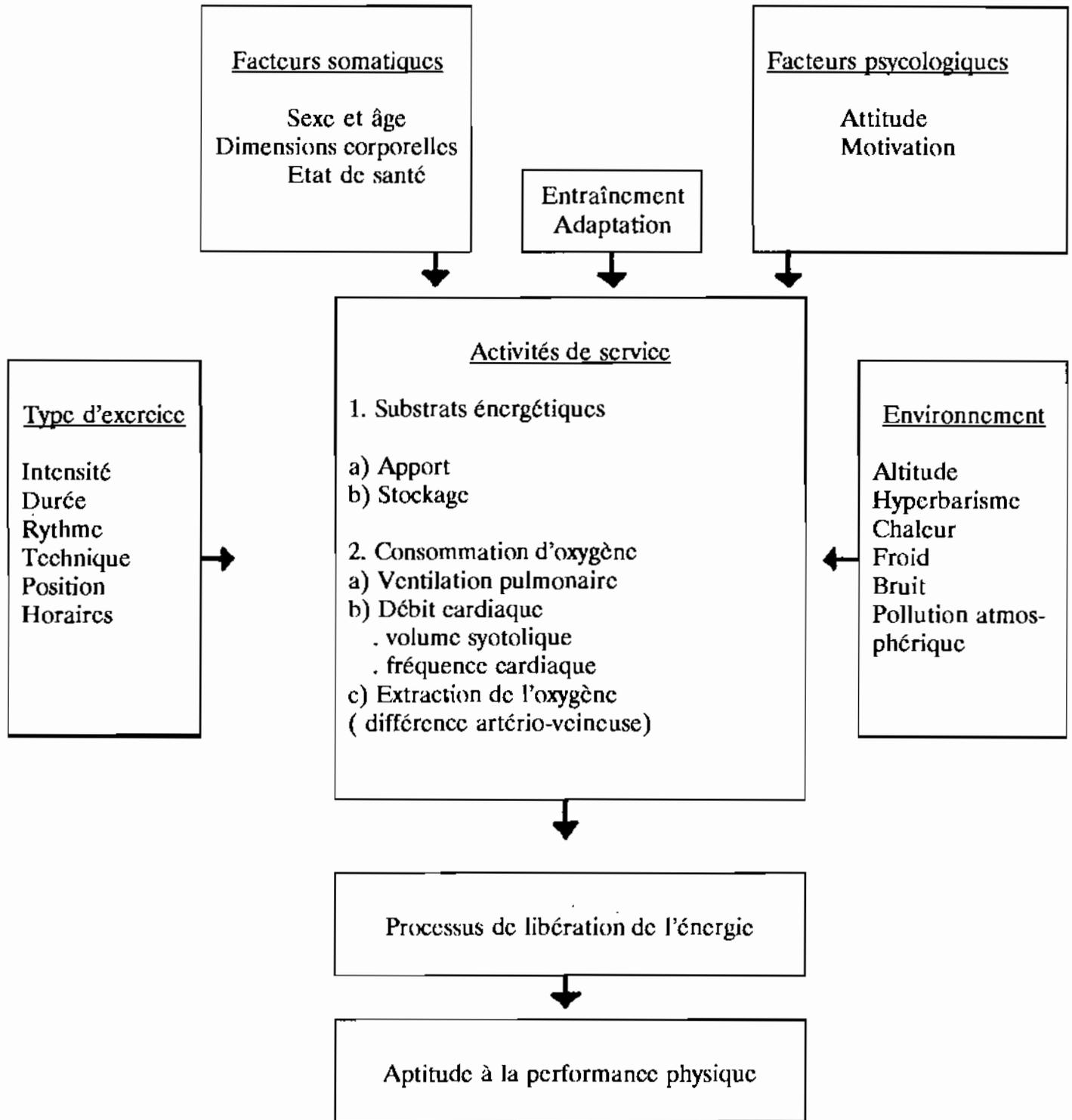


Figure n° 2 : Facteurs affectant la capacité de performance physique.

L'aptitude à fournir un travail physique est avant tout fonction de l'aptitude des cellules musculaires à transformer l'énergie potentielle contenue dans les aliments, en énergie mécanique. Cette aptitude dépend elle-même de :

- la capacité des fonctions qui apportent des substrats énergétiques et l'oxygène à la fibre musculaire en activité.
- la nature et de la qualité des aliments ingérés
- la fréquence de repos
- la consommation d'oxygène, elle-même influencée par la ventilation pulmonaire
- la valeur du débit cardiaque et de l'extraction de l'oxygène
- et enfin des mécanismes nerveux et hormonaux qui assurent la régulation de ces fonctions.

Par ailleurs, la performance physique est également influencée par les facteurs psychologiques tels que :

- la motivation
- l'attitude devant le travail
- et la volonté de mobiliser toutes ses ressources pour venir à bout de la tâche prescrite.

L'entraînement et l'adaptation exercent une action sur plusieurs de ces facteurs.

L'environnement externe exerce, directement ou indirectement, une influence importante sur la performance physique.

Ainsi, la pollution de l'air peut exercer une action directe en augmentant la résistance des voies aériennes, ce qui gêne la ventilation pulmonaire, et indirecte en causant des atteintes pathologiques.

Le bruit constitue une agression qui, outre des lésions de l'appareil auditif, détermine une élévation de la fréquence cardiaque et modifie d'autres paramètres physiologiques, déterminant une baisse de la performance.

Outre, le froid, la chaleur intense peut notablement réduire l'endurance en créant :

- la nécessité de consacrer une plus grande partie du volume sanguin circulant au transport de la chaleur plutôt qu'à celui de l'oxygène
- une déshydratation qui résulte souvent de la sudation.

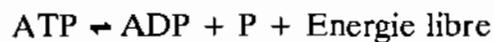
3. LES SOURCES D'ENERGIE

3.1. BIOCHIMIE DE LA CONTRACTION MUSCULAIRE

Le muscle peut être considéré comme une machine capable de convertir l'énergie chimique en énergie mécanique.

Au niveau du muscle, le combustible utilisé est la molécule d'adénosine triphosphate ou ATP qui, sous l'effet de l'influx nerveux se transforme en :

- adénosine diphosphate ou ADP
- phosphate minéral inorganique
- et libère de l'énergie qui permet la contraction du muscle selon la réaction suivante :



Ainsi le muscle apparaît comme un transformateur d'énergie. Il produit une contraction (travail mécanique) en utilisant l'énergie libérée par l'hydrolyse enzymatique de l'ATP au niveau de ses éléments contractiles (actine et myosine).

En effet dans chaque type de muscle, les événements mécaniques de la contraction démarrent avec une interaction actine-myosine, suivie par l'hydrolyse de l'ATP (Di-Prampéro, 1981).

La concentration d'ATP dans le muscle est très faible (3 g/kg) et est tout juste suffisante pour quelques contractions.

Or l'ATP est le seul substrat énergétique pouvant être utilisé directement par les filaments protéiques d'actomyosine et la fibre musculaire.

Par conséquent, pour que le muscle puisse se contracter plusieurs fois, comme c'est d'ailleurs toujours le cas, en conditions réelles, l'ATP doit être reconstitué au fur et à mesure qu'il est hydrolysé.

Ceci se fait à travers plusieurs voies métaboliques libératrices d'énergie et intervenant soit, sans oxygène, soit en présence d'oxygène en utilisant des substrats énergétiques différents :

- le processus anaérobie alactique
- le processus anaérobie lactique
- le processus aérobie.

3.1.1. Le processus anaérobie et alactique

Il se déroule au niveau du cytoplasme de la cellule musculaire.

3.1.1.1. La vitesse de mise en jeu

Ce processus encore appelé mécanisme créatiphosphatique, car caractérisé par la dégradation de la phosphocréatine, est instauré dès le début de l'exercice et répond à la diminution de la concentration en ATP. Il permet :

- le démarrage de l'activité musculaire
- la fourniture essentielle d'énergie nécessaire à des efforts de courte durée et d'intensité maximale, type vitesse (Palau, 1985).

3.1.1.2. La puissance maximale

La puissance maximale de ce mécanisme chez le sujet jeune et sédentaire, est de l'ordre de 60 à 100 Kcal.mn⁻¹, ce qui correspond à une durée d'effort d'intensité maximale de 7 secondes environ. La puissance maximale est atteinte au bout de 2 à 3 secondes.

Les facteurs limitants la puissance du processus sont essentiellement les facteurs tissulaires concernant :

- les systèmes enzymatiques (diatase) intervenant dans la dégradation de l'ATP (ATPase) et les réactions de resynthèse (PC + ADP avec la créatine phosphokinase pour l'AMP),
- le nombre de fibres blanches ou à contraction rapide contenues dans le muscle. Ces fibres sont porteuses des principales enzymes anaérobies et renferment la phosphocréatine.

Il faut noter que le nombre de fibres blanches est lié à l'hérédité du sujet.

3.1.1.3. La capacité

Elle dépend de la concentration musculaire en phosphocréatine. Or celle-ci est héréditaire et varie en fonction des individus.

La capacité anaérobic alactique est estimée chez le sédentaire de 5 à 10 Kcal.

Elle permet des efforts :

- de forte intensité mais brefs
- et dont la durée est de l'ordre de 20 secondes.

Les facteurs limitants la capacité anaérobic alactique sont la diminution, voire l'épuisement de la concentration de phosphocréatine.

3.1.2. Le processus anaérobic lactique

Ce processus se déroule également au niveau du cytoplasme de la cellule musculaire. Il intervient sans ou avec très peu d'oxygène.

3.1.2.1. La vitesse de mise en jeu

Ce mécanisme nécessite un certain temps de latence (quelques secondes). Il est mis en jeu plus lentement, dès que le taux de phosphocréatine est minimum et que la créatine apparaît dans l'organisme.

De même, une élévation de la concentration en phosphate, en ADP ou en AMP, déterminera une augmentation de l'intensité de la glycolyse (Astrand, 1973). En revanche, lorsque la glycolyse produit un excès d'ATP, ce dernier ralentit sa propre fabrication, en inhibant la phosphofructokinase. Aussi l'excès d'ATP ralentit la glycolyse, tandis que l'excès d'AMP et de P_i , l'accélère.

De même, l'activité musculaire stimule la glycolyse par l'intermédiaire des ions Ca^{++} libérés au cours de l'onde de dépolarisation (Courtay, 1986).

3.1.2.2. La puissance maximale

Elle est mise en jeu, en mesurant le taux maximal d'accroissement du lactate sanguin au cours d'exercices très intenses.

- Chez le sujet sédentaire, elle est de l'ordre de 30 à 100 $Kcal.mn^{-1}$, ce qui correspond à un effort intense de 40 à 45 secondes, suivi du décrochage de l'exercice (baisse de la vitesse).

Les facteurs limitants la puissance du processus sont liés à :

- l'activité des enzymes de la glycolyse
- au nombre de fibres rapides contenues dans le muscle et très riches en ATP (ATPase) et en glycogène (fibres blanches).

3.1.2.3. La capacité

Ce processus produit de l'acide lactique et la capacité anaérobie lactique du sujet sera liée à son aptitude à poursuivre l'exercice malgré l'acidité élevée (courtay, 1986).

La capacité anaérobie lactique s'élève à environ 20 à 40 $Kcal.mn^{-1}$ chez le sujet sédentaire, ce qui correspond à un effort intense de 2 minutes.

L'accumulation d'acide lactique provoque une modification des conditions physico-chimiques, qui en devenant trop importante, empêche la poursuite de l'exercice.

- Chez l'homme et la femme, la concentration moyenne maximale de lactate est identique.
- Chez les enfants et les sujets âgés, elle est inférieure (Astrand, 1960).
- Chez les coureurs de fond de haut niveau, elle peut atteindre 20 mM/l de sang et 30 mM/kg de muscle.

Au cours d'un exercice intense qui épuise en 2 minutes, le pH musculaire peut descendre à moins de 6,5.

Pour lutter contre l'acidose, il existe dans l'organisme, des systèmes tampons (bicarbonates) qui assurent le maintien d'un pH cellulaire normal.

Ce système peut être également influencé par des modifications enzymatiques.

3.1.3. Le processus aérobie

Il se déroule en présence d'oxygène. Les réactions de dégradation aérobie résident en l'oxydation au niveau des mitochondries de tout le pyruvate (cycle de Krebs) et des ions hydrogène libérés dans les fibres musculaires au cours de la glycolyse anaérobie (Palau, 1985).

3.1.3.1. La vitesse de mise en jeu

Au début de l'exercice, il y a une phase d'installation de 2 à 3 minutes qui permet à l'organisme de s'adapter et de pouvoir utiliser l'oxygène apporté par la respiration. (figure n° 3).

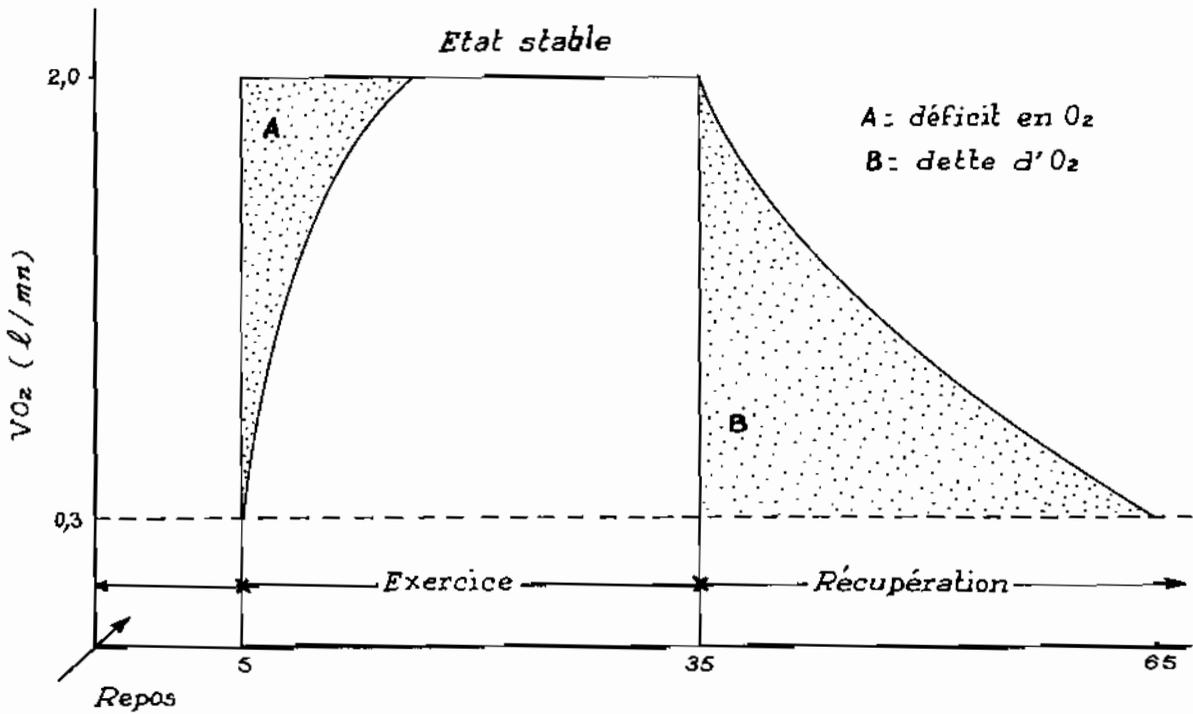


Figure n° 3 : Cinématique de la consommation d'oxygène au repos, au cours de l'exercice sous-maximal et pendant la récupération. Le $\dot{V}O_2$ peut être mesuré à n'importe quel moment durant l'état stable. La différence entre ce $\dot{V}O_2$ de repos permet d'établir le coût net de l'exercice en l d' O_2 /mn. (Fox et Mathews, 1984).

Les muscles sont donc en activité et ne peuvent pas encore utiliser l'énergie de l'oxygène. Ils vont donc utiliser l'énergie de réserve constituée par la phosphocréatine. Ce délai peut atteindre un état d'équilibre et constituer un déficit d'oxygène ou dette d'oxygène ; qui sera payée à la fin de l'exercice (excès de consommation d'oxygène post exercice ou ECOPE).

Pendant la récupération, le caractère progressif du retour de la consommation d'oxygène à son niveau de repos est expliqué par :

- le paiement de la dette lactique :

La dette lactique correspond à la quantité d'oxygène nécessaire pour assurer la resynthèse de trois molécules d'ATP ; or six molécules d'ATP sont nécessaires pour resynthétiser 180 g de glycogène à partir du lactate.

Le paiement d'une dette d'oxygène de valeur donnée, correspond donc à la production d'une quantité d'énergie correspondant à la moitié de cette valeur, au cours de l'exercice. Ce qui correspond au schéma ci-dessus :

- l'utilisation de 85 % de l'acide lactique, formée pour la resynthèse du glycogène musculaire ou hépatique
- les 15 % restant sont oxydés avec formation de CO_2 , de H_2O et d'énergie.
- le paiement de la dette alactique :

La dette alactique correspond à l'ECOPE, qui n'assure pas l'oxydation du lactate. Elle atteint couramment des valeurs de l'ordre de 4l. (Dessons, Drut et al., 1976).

Le paiement de la dette alactique correspond :

- au renouvellement des stocks d'oxygène de l'organisme (myoglobine, sang),
- à la couverture des dépenses métaboliques supplémentaires dues à l'élévation de la température tissulaire et à l'augmentation de l'activité des systèmes cardiaques et respiratoires,
- et enfin à la reconstitution des stocks de phosphocréatine consommés au début de l'exercice. Celle-ci ayant apporté de 5 à 7,5 Kcal au maximum peut être reconstituée par la consommation de 1 à 1,5 l d' O_2 (1l d' O_2 correspond à 5 Kcal).

D'après Margaria (1967), pour un exercice maximal de quelques minutes de durée, la dette d'oxygène peut atteindre 20 litres en une heure, soit 16 litres pour la dette lactique et 4 litres pour la dette alactique.

3.1.3.2. La puissance maximale aérobie (P.M.A.)

La consommation d'oxygène augmente proportionnellement à la puissance de l'exercice. A partir d'une certaine limite appelée P.M.A., la consommation d'oxygène cesse, même si l'intensité de l'exercice peut encore être augmentée. (figure n° 4)

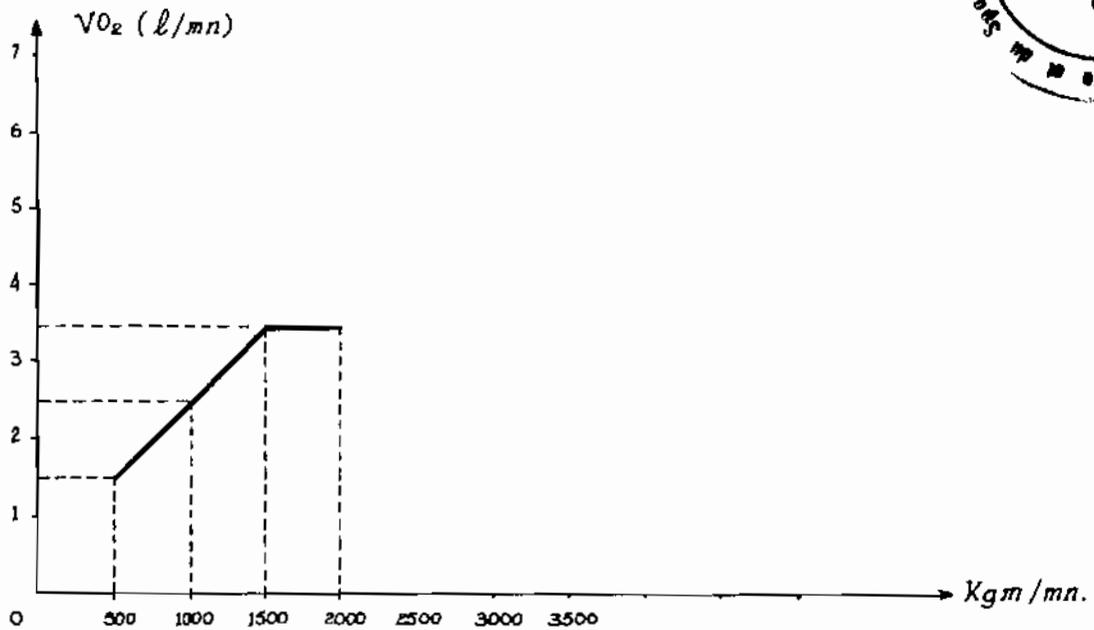


Figure n° 4 : Evolution de la consommation d'oxygène en fonction de la puissance de l'exercice. (Flandrois, Charbonier, 1977).

La P.M.A. est définie comme : "La consommation maximale d'oxygène qu'un individu peut atteindre lors d'un exercice musculaire pratiqué au niveau de la mer, en inhalant de l'air atmosphérique, la durée de travail étant de deux à six minutes suivant la puissance". (Astrand, 1973).

Le $\dot{V}O_2$ max., exprimé en l/mn ou en ml/mn et par kg de poids est variable suivant les individus, leur âge et leur sexe.

- Chez le jeune sédentaire, il est d'environ 3 l/mn, soit 45 l/mn/kg, sachant que la quantité d'énergie produite est proportionnelle à la quantité d'oxygène consommée.
- Chez les femmes, ces valeurs sont abaissées d'environ 20 %.

D'après Palu (1985), l'aptitude d'un individu à fournir un travail de quelques minutes et plus, dépend avant tout de sa capacité à prélever et à transporter l'oxygène depuis l'atmosphère jusqu'aux mitochondries.

Ainsi, plus la P.M.A. sera élevée, plus la libération d'énergie pourra être importante. Ceci nous amène à énoncer certains facteurs limitants la P.A.M.

- Le volume d'éjection systolique (V.E.S.) :

Au cours de l'exercice, le V.E.S. augmente et peut atteindre une valeur de 50 % supérieure à sa valeur de repos.

D'ailleurs, les expériences d'entraînement ont permis de constater que l'entraînement physique augmente le $\dot{V}O_2$ max. de l'ordre de 15 à 20 % grâce à une augmentation du V.E.S.

D'après Karlsson, le V.E.S. maximal, s'il ne dépasse guère 100 ml chez le sujet sédentaire, peut atteindre 150 à 200 ml, chez le sujet entraîné.

Le V.E.S. apparaît donc comme l'un des facteurs limitants la P.A.M.

- Le transport de l'oxygène dans le sang.

La formule de Fick concernant le transport de l'oxygène montre qu'à une augmentation de la consommation d'oxygène due à l'exercice, l'organisme répond par une augmentation du débit cardiaque et de la différence artériovoineuse de contenu en oxygène du sang. $(C_a O_2 - C_v O_2)$ correspond à la différence entre les contenus en oxygène des sangs artériel et veineux.

$$\dot{V}O_2 = \frac{FC \times VS}{Q} (C_a O_2 - C_v O_2)$$

A l'inverse, l'élévation de la pression de l'oxygène dans l'air respiré, augmente le $\dot{V}O_2$ max et améliore la performance, grâce essentiellement à l'augmentation de la différence artériovoineuse pour le contenu en oxygène (Ekblom, 1975).

Par conséquent, l'aptitude de l'organisme et, en particulier du sang à fixer, transporter et libérer l'oxygène au niveau des tissus, va jouer un rôle important au niveau de la limitation de la P.M.A.

Par ailleurs les autres facteurs que sont le débit ventilatoire, le débit cardiaque, l'activité enzymatique, ne sont pas limitatifs de la P.M.A.

3.1.3.3. La capacité aérobie

Elle pourrait être considérée comme illimitée, tant sont importantes les réserves de substrats oxydables.

Cependant, l'expérience montre que chez le jeune sédentaire, un exercice à la P.M.A. ne peut être soutenu que pendant 5 à 6 minutes, avec un $\dot{V}O_2$ de 3 l/mn. On déduit donc que la capacité aérobie est limitée et que sa valeur va dépendre de la puissance de l'exercice par rapport à la P.M.A.

- à 70 % de la P.M.A., la durée maximale de l'exercice, est 30 mn
- à 50 % de la P.M.A., la durée maximale de l'exercice peut aller jusqu'à une heure (Palu, 1985).

Par contre, ces valeurs vont être modifiées d'une façon très importante par l'entraînement. Gollinck (1973) a montré que les sujets peuvent soutenir pendant une heure, 67 % de leur P.M.A. avant l'entraînement et 87 % de leur P.M.A., après l'entraînement.

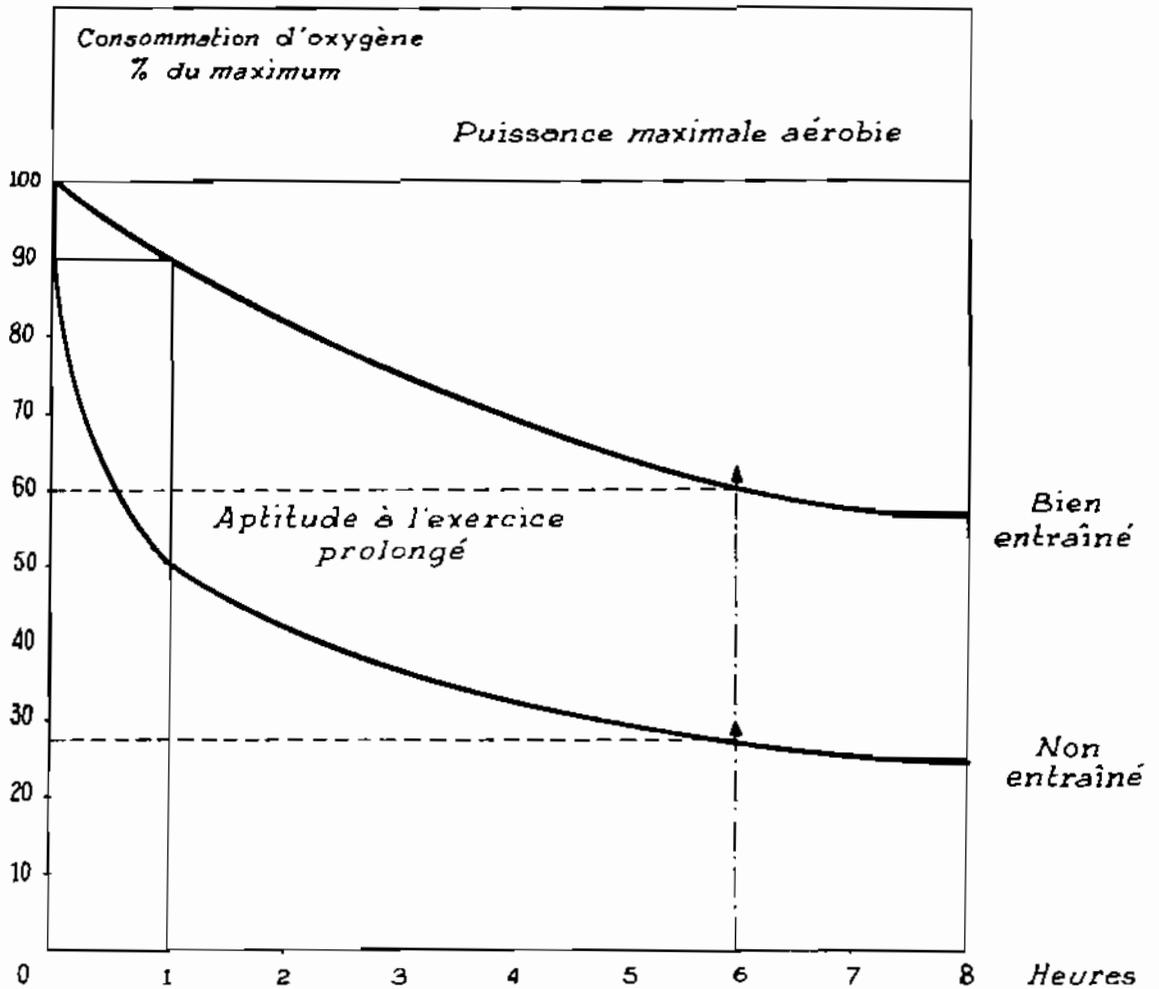


Figure n° 5 : Influence du degré d'entraînement du sujet sur l'utilisation d'un pourcentage élevé du $\dot{V}O_2$ max., au cours d'une épreuve de longue durée (Précis de Physiologie de l'exercice musculaire, P.D.Astrand, K.Rodall, Paris : MASSON, 1973).

L'étude systématique des différentes sources d'énergie, répond à un découpage qui n'est que théorique, mais dans les faits, il n'y a pas de rupture, mais une interaction des trois processus.

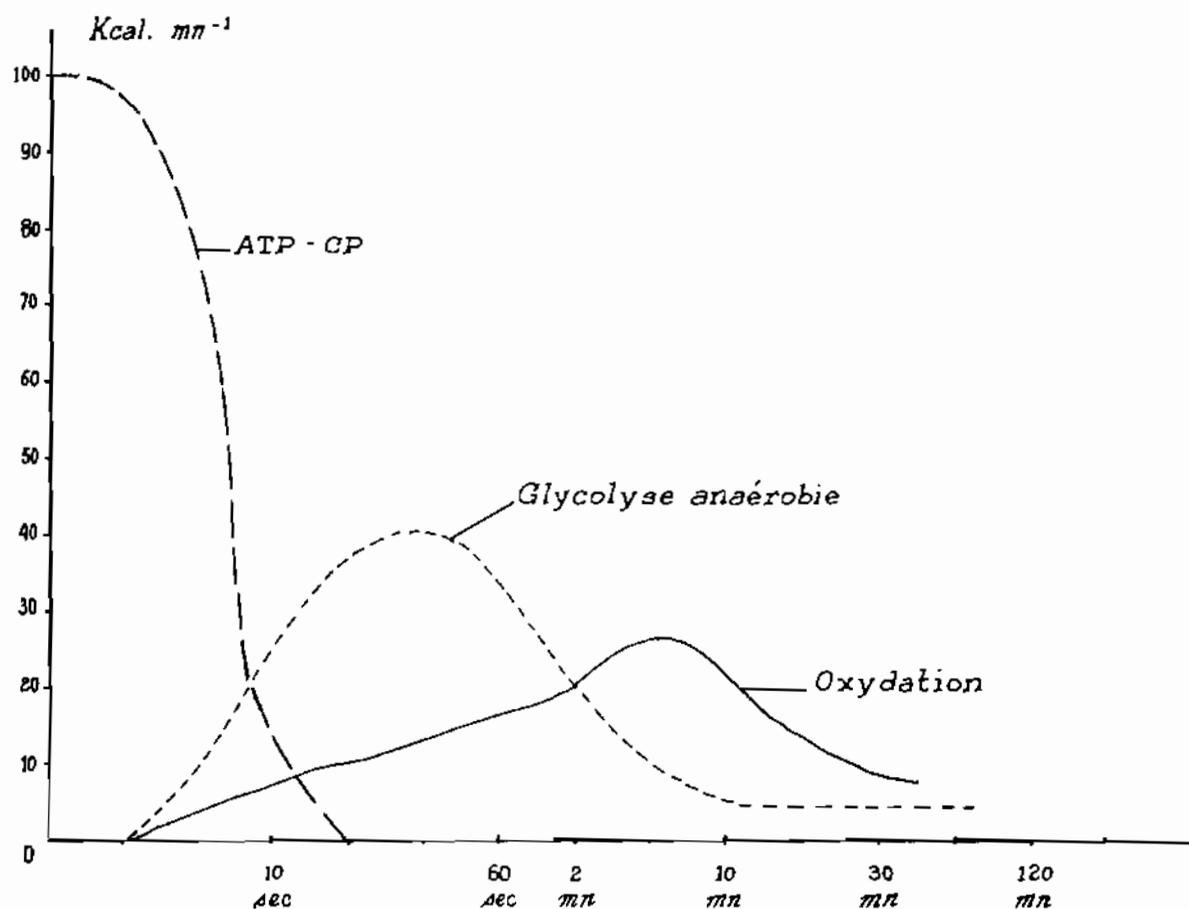


Figure n° 6 : Caractéristiques des trois processus énergétiques (temps représenté sur une échelle logarithmique d'après Howald.H, 1974).

Tableau n°1 : (D'après R. Flandrois et J.P. Charbonnier - Bases physiologiques de l'entraînement à l'exercice musculaire, Lyon Médical, 1977)

Processus	Mise en jeu	Puissance (Kcal mn ⁻¹)	Capacité (Kcal)	Types d'exercices	Durée	Facteurs limitants
Anaérobie Alaetique	0 secondes	60 - 100	5 - 10	Puissance maximale	0 à 7 s	Système enzymatique du muscle
				Capacité	7 à 15 s	Stock de PC
Anaérobie lactique	quelques secondes	30 - 100	20 - 40	Puissance maximale	15 - 45 s	- Enzymes de la glycolyse anaérobie - Nombre de fibres rapides
				Capacité	45 - 2'	- Taux d'acide lactique - systèmes tampons tissulaire et sanguins
Aérobie	quelques minutes	15 - 20	250 - 5000	Puissance maximale	2 à 6'	Circulation systématique et locale (VS et (C _a O ₂ - C _v O ₂))
				Capacité	Au-delà de 6'	Stock de glycogène

4. MATERIEL ET METHODE

4.1. LES SUJETS

Nous avons choisi des sujets militaires de l'Association Sportive des Forces Armées (A.S.F.A.).

Ils appartiennent tous à l'élite du sport sénégalais et participent donc régulièrement aux compétitions nationales et quelquefois aux compétitions internationales.

Nos sujets sont soumis à deux unités d'entraînement de deux heures tous les jours, sauf les week-end où ils compétissent. Enfin, ils jouissent des mêmes conditions de récupération et de la même alimentation.

Ils sont répartis dans les disciplines suivantes :

Athlétisme		Sports collectifs						
Courses								
	5 000 m 10 000 m	Football	Basket	Hand Ball	Volley Ball	Natation	Judo	Boxe
	8	6	6	6	6	7	6	6

Tableau n° 2 : Répartition des différents sujets dans les différentes disciplines choisies.

4.2. LE MATERIEL

Pour réaliser notre protocole, nous avons utilisé le matériel suivant :

4.2.1. Le vélo ergométrique

Il permet de mesurer la performance du travail musculaire. Grâce à ce matériel, il est possible de produire un travail dosé de façon exacte. Aussi, par le dosage progressif des charges, nous pouvons observer le comportement pour différentes charges données, ainsi que les capacités de performance maximale du système cardio-vasculaire, de la respiration et du métabolisme.

Il est de type Momark.

4.2.2. Un électrocardiographe

Il est marqué Hellige EK 53 R. Il permet l'enregistrement de l'électrocardiogramme en continu (F.C.G.).

4.2.3. Un cardioscope

Le type SMS 316 à mémoire complété par un intégrateur de la fréquence cardiaque. Il est utilisé pour afficher les tracés de l'électrocardiogramme pendant l'effort.

4.2.4. Un sphygmomanomètre

Il est aussi appelé tensiomètre. Le tensiomètre permet de mesurer la pression artérielle. Il est de type ALKE de marque japonaise.

4.2.5. Un somatomètre

Il est gradué en centimètres et permet de mesurer la taille des sujets.

4.2.6. Un pèse-personne

Il permet de mesurer le poids de nos sujets avec une erreur de $\pm 0,5$ kg. Il est de type SECA SE de marque allemande.

4.2.7. Utilisation de monogramme (voir tableau n° 3)

Nous allons également utilisé le monogramme mis au point par Simon, G., Diekhuth, H.-H., Goerttler, I., Kindermann, W., et Keul, J., dans Leistungssport n°9 publié en 1979.

Ce nomogramme nous permet de calculer la performance maximale après simple lecture de la puissance à laquelle s'est arrêté le sujet après épuisement et du $\dot{V}O_2$ max., pour le calcul du pouls d'oxygène. (voir tableau n° 3).

4.2.8. Un chronomètre

Il est manuel, de marque chinoise. Il permet le chronométrage des séquences de trois minutes du test aérobie, donc d'apprécier le pouls et le temps de pédalage.

Puissance (Watt)	VO ₂ (ml.mn ⁻¹)
100	1605
116	1855
133	2025
150	2200
166	2375
183	2550
200	2730
216	2910
233	3090
250	3275
266	3435
283	3595
300	3755
316	3940
333	4130
350	4315
366	4465
383	4620
400	4770
416	4905
433	5045
450	5185
466	5325

Tableau n° 3 : Nomogramme de SIMON In Leistungssport n° 9, présentant la puissance de charge en watt et la valeur correspondante de la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$).

4.3. LE PROTOCOLE

Les protocoles que nous avons choisis visaient essentiellement à juger :

- la capacité aérobie
- et la capacité anaérobie.

Cependant, dans l'incapacité de doser le lactate, nous avons utilisé un test aérobie, donc jugé la capacité aérobie.

4.3.1. Le test aérobie

Ce test a été mis au point et validé par des chercheurs allemands et présenté dans une revue spécialisée : Leistungssport n° 9 en 1979.

Nous vous présentons ici les références de cette revue :

Simon, G., Diekhuth, H.H., Goertler I., Kindermann, W., Keul, J.

Jaherszyblische shwanbungen in der leistungsfähigkeit von skilangläufern.

in : Leistungssport 9 (1979) 1, 48 - 53.

4.3.1.1. Précautions

Pendant les tests au laboratoire, le médecin capitaine ainsi que l'infirmier major de l'ASFA étaient présents, afin de prévenir toute défaillance.

4.3.1.2. Avant le test

Par ordre du médecin capitaine, les sujets étaient avertis la veille. Leurs entraîneurs, forts de cela, ne leur faisaient subir aucune activité physique.

Il leur était aussi recommandé de ne pas fumer avant le début du test et de s'abstenir de manger quatre heures avant le début du test.

Le sujet, avant de monter sur le vélo avait la latitude de vérifier la hauteur de la selle.

Les mesures suivantes ont été prises :

- fréquence cardiaque de repos
- tension artérielle de repos.

4.3.1.3. Pendant le test

Les tests se sont déroulés l'après-midi, dans une salle bien ventilée, silencieuse, donc facilitant la concentration.

La température moyenne de la salle était de 24°C.

Le test se déroule comme suit :

- le sujet commence à pédaler à une charge de 50 W ;
- les charges sont augmentées de 50 W toutes les trois minutes.

A vingt secondes, avant la fin de la séquence de trois minutes, sont effectuées les mesures suivantes :

- fréquence cardiaque
- tension artérielle

La capacité étant l'énergie totale requise ou dépensée pendant toute la durée d'une épreuve, le sujet va pédaler jusqu'à épuisement.

La dernière mesure de la FC et de la TA, sont effectuées cinq minutes après l'arrêt de l'épreuve par épuisement.

Cette donnée nous permet de jauger de la capacité de récupération du sujet.

A partir des valeurs obtenues (FC, TA) ou lues sur le nomogramme de SIMON, nous pouvons calculer les autres facteurs de la performance :

- le pouls d'oxygène (ml)
- la performance maximale (W/kg).

L'ensemble de ces données sont enregistrées sur des fiches prévues à cet effet.

5. PRESENTATION DES RESULTATS

5.1. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DE TOUS LES FOOTBALLEURS

Sujets n° (n = 8)	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
1	23	69	180
2	26	74	185
3	24	81	187
4	28	72	181
5	26	69	171
6	27	71	176
7	26	69	183
8	22	75	181
\bar{x}	25,25	72,5	180,5
δ	2,05	4,14	5,07

Tableau n°4 : Valeurs anthropométriques des footballeurs testés : moyenne (\bar{x}) et écart-type (δ) du poids, de la taille et de l'âge.

5.2. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES BASKETTEURS

Sujets n° (n = 6)	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
9	26	108	198
10	21	91	202
11	26	78	188
12	21	59	170
13	21	69	187
14	24	77	183
\bar{x}	23,17	80,33	188
δ	2,48	17,2	11,37

Tableau n° 5 : Valeurs anthropométriques des basketteurs testés : moyenne (\bar{x}) et écart-type (δ) du poids, de la taille et de l'âge.

5.3. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES HANDBALLEURS

Sujets n° (n = 6)	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
15	22	65	176
16	22	69	180
17	21	70	184
18	24	70	187
19	28	68	180
20	27	85	182
\bar{x}	24	71,17	181,5
δ	2,9	7,03	3,78

Tableau n° 6 : Valeurs anthropométriques des handballeurs testés : moyenne (\bar{x}) et écart-type (δ) du poids, de la taille et de l'âge.

5.4. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES VOLLEYEURS

Sujets n° (n = 6)	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
21	26	70	190
22	29	68	180
23	23	86	196
24	28	69	186
25	25	78	183
26	28	76	190
\bar{x}	26,5	74,5	187,5
δ	2,26	6,92	5,72

Tableau n° 7 : Valeurs anthropométriques des volleyeurs testés : moyenne (\bar{x}) et écart-type (δ) du poids, de la taille et de l'âge.

5.5. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES BOXEURS

Sujets n° (n = 6)	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
27	27	73	187
28	29	78	185
29	22	77	175
30	29	53	176
31	28	55	170
32	32	74	175
\bar{x}	27,83	68,33	178
δ	3,31	11,27	6,57

Tableau n° 8 : Valeurs anthropométriques des boxeurs testés : moyenne (\bar{x}) et écart-type (δ) du poids, de la taille et de l'âge.

5.6. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES JUDOKAS

Sujets n° (n = 6)	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
33	28	92	185
34	23	68	186
35	32	78	182
36	29	73	172
37	22	77	185
38	28	80	186
\bar{x}	27	78	182,67
δ	3,79	8,07	5,43

Tableau n° 9 : Valeurs anthropométriques des boxeurs testés : moyenne (\bar{x}) et écart-type (δ) du poids, de la taille et de l'âge.

5.7. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES NAGEURS

Sujets n° (n = 7)	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
39	24	92	185
40	26	68	186
41	27	78	182
42	27	73	172
43	22	77	185
44	29	80	186
45	22	78	182,67
\bar{x}	25,28	72,86	183
δ	2,69	6,69	6,05

Tableau n° 10 : Valeurs anthropométriques des nageurs testés : moyenne (\bar{x}) et écart-type (δ) du poids, de la taille et de l'âge.

5.8. MESURES ANTHROPOMETRIQUES DES ATHLETES

Sujets n° (n = 6)	Age (années)	Poids (kg)	Taille (cm)
46	29	56	173
47	223	69	181
48	27	63	185
49	33	62	171
50	29	67	181
51	24	56	173
\bar{x}	27,5	62,17	177,33
δ	3,67	5,42	5,72

Tableau n° 11 : Valeurs anthropométriques des athlètes testés : moyenne (\bar{x}) et écart-type (δ) du poids, de la taille et de l'âge.

5.9. CRITIQUE DE LA VALIDITE DE LA METHODE EXPERIMENTALE

Nous avons pris un certain nombre de précautions afin de rendre notre étude plus fiable :

5.9.1. Les sujets étudiés se sont portés volontaires pour subir les tests

Ils n'ont eu à subir aucune pression.

Nous les avons pris et testés selon le critère d'appartenance à une discipline sportive bien précise (football, basket, hand-ball...). Qu'il s'agisse de sports collectifs ou de sports individuels, toujours est-il, que ces disciplines sportives sont pratiquées à tous les niveaux et reconnues par les instances nationales et internationales.

L'interprétation de nos résultats est faite suivant cette répartition dans les différents sports étudiés.

5.9.2. La période de déroulement des tests

- Tous les tests se sont déroulés l'après-midi entre 15 et 17 heures à raison de quatre sujets par séance en moyenne.
- Toutes les grandeurs ont été mesurées à une température ambiante de confort variant entre 21 °C et 24 °C.

5.9.3. Le protocole que nous avons utilisé est de l'éminent chercheur allemand, le professeur Simon.

Son niveau de validité est satisfaisant et, a été publié dans la revue scientifique "Leistungssport".

Ce protocole est spécifique à la recherche sur la capacité de performance dans différents sports.

5.9.4. Le matériel de mesure n'a pas présenté de défaillance technique et le contrôle des erreurs de mesure a été constamment effectué durant les tests. Il en est de même du calibrage des différents appareils et de l'ajustement du siège du vélo ergométrique avant chaque épreuve.

5.9.5. Détermination des grandeurs

- Les sujets étaient dispensés de tout exercice physique par leurs entraîneurs, la veille de chaque test.
- Suivant les recommandations du médecin militaire, ils ne devaient rien ingurgiter quatre heures avant le début des épreuves. C'est après que toutes ces conditions soient réunies que nous avons relevé la fréquence cardiaque de repos, la tension artérielle, le poids et la taille des sujets.

La fréquence cardiaque à l'exercice, ainsi que la tension artérielle sont mesurées manuellement par tensiomètre et chronomètre à trente secondes avant la fin de chaque palier de trois minutes et ceci jusqu'à la fin du test par épuisement complet du sujet.

La consommation maximale d'oxygène est lue directement sur le nomogramme de Simon, à partir de la charge à laquelle s'est arrêté le sujet.

Le pouls d'oxygène est calculé à partir de la fréquence cardiaque maximale et de la consommation maximale d'oxygène.

Enfin, la performance maximale de chaque sujet est obtenue à partir de la charge soutenue jusqu'à épuisement total et du poids corporel. (voir tableau n° 12)

Si le sujet s'épuise à une ou deux minutes avant la fin du palier de trois minutes, la puissance de charge exacte est lue directement sur le nomogramme de Simon.

5.9.6. Les calculs statistiques ont d'abord été effectués manuellement et vérifiés à l'ordinateur.

Aussi sont calculés, suivant le niveau de signification et les formules statistiques :

- la moyenne = $\frac{\sum x}{N}$

- l'écart-type = $\sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{N}}$

- le coefficient de corrélation : $r = \frac{\sum X_i Y_i}{\sqrt{\sum X_i^2 \sum Y_i^2}}$

avec : $X_i = x - \bar{x}$

$Y_i = y - \bar{y}$

$-1 \leq r \leq 1$

Toutes les comparaisons ont été faites avec un coefficient de sécurité de 0,95, donc une probabilité d'erreurs de 0,05 ($p < 0,05$)

Le niveau de signification de $p < 0,05$ a été testé d'après le "t" de Student calculé à partir de la taille de l'échantillon, du nombre de degré de liberté et du coefficient de corrélation "r".

$$t = r \times \sqrt{(n-2) / 1-r^2}$$

Disciplines sportives	Puissances de charge moyennes	Temps moyen (mn)
Football	316,62	19'
Basket	316,67	19'
Hand-ball	249,83	15'
Volley-ball	252,67	15,17'
Boxe	249,17	17,67'
Judo	341,5	20,5'
Natation	297,43	17,86'
Athlétisme	296,33	16,17'

Tableau n° 12 : Tableau récapitulatif des puissances de charge et des temps moyens obtenus dans les différentes disciplines sportives choisies.

5.10. Résultats des footballeurs

- Au repos : la fréquence cardiaque moyenne observée est de 75 bat/mn.
- A l'arrêt de l'exercice par épuisement : la fréquence cardiaque maximale moyenne est de 154 bat/mn, soit une augmentation de 79 bat/mn.
- Après une récupération de cinq minutes, la fréquence cardiaque moyenne passe de 154 bat/mn à 93 bat/mn, soit une chute de 61 bat/mn.

Par rapport à la fréquence cardiaque moyenne de repos, nous obtenons une augmentation de 18 bat/mn.

- La consommation maximale d'oxygène moyenne est de 54,48 ml/kg.mn⁻¹.
- Le pouls d'oxygène moyen est de 25,78 ml.
- Ceci se traduit par une performance maximale moyenne pour tous les footballeurs de 4,37 W/kg.

Cette performance est atteinte pour une puissance de charge moyenne de 316,62 W.

Le temps moyen réalisé par les huit footballeurs est de 19 minutes.

Sujets (n = 8)	FC repos (b/mn)	FC max (b/mn)	FC récupération (b/mn)	Performance max (W/kg)	VO ₂ max (ml/kg.mn ⁻¹)	Pouls d'O ₂ (ml)
1	84	168	108	4,35	54,42	22,35
2	72	156	114	4,05	50,74	24,05
3	92	152	88	4,32	53,27	28,39
4	84	162	102	4,17	52,15	23,18
5	60	156	60	5,55	66,96	29,61
6	64	144	80	4,93	60,77	29,96
7	78	162	102	3,62	47,46	20,22
8	66	132	90	4,00	50,07	28,45
\bar{x}	75	154	93	4,37	54,48	25,78
δ	11,31	11,46	17,4	0,6	6,38	3,75

Tableau n° 13 : Valeurs individuelles de la fréquence cardiaque de repos (FC repos), à l'arrêt de l'exercice (FC max) par épuisement et après récupération (FC de récupération), de la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max), de la performance maximale et du pouls d'oxygène. Sont également mentionnés la moyenne (\bar{x}) et l'écart-type (δ).

5.11. Résultats des basketteurs

- Au repos : la fréquence cardiaque moyenne observée est de 81,67 bat/mn.
- A l'arrêt de l'exercice par épuisement : la fréquence cardiaque maximale moyenne est de 163,33, soit une augmentation de 81,66 bat/mn.
- Après une récupération de cinq minutes, la fréquence cardiaque moyenne passe de 163,33 bat/mn à 103,67 bat/mn, soit une chute de 59,66 bat/mn.

Par rapport à la fréquence cardiaque moyenne de repos, nous obtenons une augmentation de 22 bat/mn.

- La consommation maximale d'oxygène moyenne est de 49,46 ml/kg.mn⁻¹.
- Le pouls d'oxygène moyen est 24,42 ml.
- Ceci se traduit par une performance maximale moyenne pour tous les basketteurs de 3,95 W/kg.

Cette performance est atteinte pour une puissance de charge moyenne de 316,67 W.

Le temps moyen réalisé par les six basketteurs est de 19 minutes.

Sujets (n = 6)	FC repos (b/mn)	FC max (b/mn)	FC récupération (b/mn)	Performance max (W/kg)	VO ₂ max (ml/kg.mn ⁻¹)	Pouls d'O ₂ (ml)
9	72	172	112	3,62	47,46	19,04
10	68	160	96	3,62	47,46	20,47
11	64	172	108	3,57	46,78	19,04
12	66	156	114	3,57	46,78	29,99
13	90	200	96	3,68	48,16	16,37
14	58	160	104	3,13	40,41	21,47
\bar{x}	96,67	170	105	3,53	46,17	19,56
δ	10,98	16,15	7,77	0,2	2,87	1,86

Tableau n° 14 : Valeurs individuelles de la fréquence cardiaque de repos (FC repos), à l'arrêt de l'exercice (FC max) par épuisement et après récupération (FC récupération), de la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max), de la performance maximale et du pouls d'oxygène. Sont également mentionnés la moyenne (\bar{x}) et l'écart-type (δ).

5.12. Résultats des handballeurs

- Au repos : la fréquence cardiaque moyenne observée est de 69,67 bat/mn.
- A l'arrêt de l'exercice par épuisement : la fréquence cardiaque maximale moyenne est 170 bat/mn, soit une augmentation de 100,33 bat/mn.
- Après une récupération de cinq minutes, la fréquence cardiaque moyenne passe de 170 bat/mn à 105 bat/mn, soit une chute de 65 bat/mn.

Par rapport à la fréquence cardiaque moyenne de repos, nous obtenons une différence de 35,33 bat/mn.

- La consommation maximale d'oxygène moyenne est de 46,17 ml/kg.mn⁻¹.
- Le pouls d'oxygène moyen est 19,56 ml.
- La performance maximale moyenne de tous les handballeurs est de 3,53 W/kg.

Cette performance est atteinte pour une puissance de charge moyenne de 249,83 W.

Le temps moyen réalisé par les six handballeurs est de 15 minutes.

Sujets (n = 6)	FC repos (b/mn)	FC max (b/mn)	FC récupération (b/mn)	Performance max (W/kg)	VO ₂ max (ml/kg.mn ⁻¹)	Pouls d'O ₂ (ml)
15	72	172	112	3,62	47,46	19,04
16	68	160	96	3,62	47,46	20,47
17	64	172	108	3,57	46,78	19,04
18	66	156	114	3,57	46,78	20,99
19	90	200	96	3,68	48,16	16,37
20	58	160	104	3,13	40,41	21,47
\bar{x}	69,67	170	105	3,53	46,17	19,56
δ	10,98	16,15	7,77	0,2	2,87	1,86

Tableau n° 15 : Valeurs individuelles de la fréquence cardiaque de repos (FC repos), à l'arrêt de l'exercice (FC max) par épuisement et après récupération (FC récupération), de la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max), de la performance maximale et du pouls d'oxygène. Sont également mentionnés la moyenne (\bar{x}) et l'écart-type (δ).

5.13. Résultats des volleyeurs

- Au repos : la fréquence cardiaque moyenne observée est de 71,33 bat/mn.
- A l'arrêt de l'exercice par épuisement : la fréquence cardiaque maximale moyenne est 172,67 bat/mn, soit une augmentation de 101,34 bat/mn.
- Après cinq minutes de récupération, la fréquence cardiaque moyenne passe de 172,67 bat/mn à 106,17 bat/mn, soit une diminution de 66,5 bat/mn.

Par rapport à la valeur de la fréquence cardiaque moyenne de repos, nous obtenons une différence de 34,84 bat/mn.

- La consommation maximale d'oxygène moyenne est de 44,41 ml/kg.mn⁻¹.
- Le pouls d'oxygène moyen est 19,11 ml.
- La performance maximale moyenne de tous les volleyeurs est de 3,4 W/kg.

Cette performance est atteinte pour une puissance de charge moyenne de 252,67 W.

Le temps moyen réalisé par les six volleyeurs est de 910,2 secondes soient 15,17 minutes.

Sujets (n = 6)	FC repos (b/mn)	FC max (b/mn)	FC récupération (b/mn)	Performance max (W/kg)	VO ₂ max (ml/kg.mn ⁻¹)	Pouls d'O ₂ (ml)
21	72	180	90	3,57	46,78	18,19
22	72	172	100	3,68	48,16	19,04
23	68	176	104	3,49	43,66	21,34
24	80	156	108	3,62	47,46	20,99
25	64	172	140	2,77	37,31	16,92
26	72	180	95	3,29	43,09	18,19
\bar{x}	71,33	172,67	106,17	3,4	44,41	19,11
δ	5,32	8,91	17,76	0,34	4,04	1,73

Tableau n° 16 : Valeurs individuelles de la fréquence cardiaque de repos (FC repos), à l'arrêt de l'exercice (FC max) par épuisement et après récupération (FC récupération), de la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ max), de la performance maximale et du pouls d'oxygène. Sont également mentionnés la moyenne (\bar{x}) et l'écart-type (δ).

5.14. Résultats des boxeurs

- Au repos : la fréquence cardiaque moyenne est de 74,33 bat/mn.
- A l'arrêt de l'exercice par épuisement : la fréquence cardiaque maximale moyenne est de 164 bat/mn, soit une augmentation de 89,67 bat/mn.
- Après cinq minutes de récupération, la fréquence cardiaque moyenne passe de 164 bat/mn à 104 bat/mn, soit une diminution de 60 bat/mn.

Par rapport à la valeur de la fréquence cardiaque moyenne de repos, nous obtenons une différence de 29,67 bat/mn.

- La consommation maximale d'oxygène moyenne est de 55,32 ml/kg.mn⁻¹.
- Le pouls d'oxygène moyen est de 22,54 ml.
- La performance maximale moyenne de tous les boxeurs est de 4,38 W/kg.

Cette performance est atteinte pour une puissance de charge moyenne de 294,17 W.

Le temps moyen réalisé par les six boxeurs est de 1060,2 secondes soit 17,67 minutes.

Sujets (n = 6)	FC repos (b/mn)	FC max (b/mn)	FC récupération (b/mn)	Performance max (W/kg)	VO ₂ max (ml/kg.mn ⁻¹)	Pouls d'O ₂ (ml)
27	64	168	104	3,64	47,05	20,45
28	62	160	112	3,85	48,14	23,47
29	80	164	132	4,54	56,04	26,31
30	84	152	90	3,45	48,11	16,78
31	84	172	90	6,96	84	26,86
32	72	168	96	3,82	48,58	21,39
\bar{x}	74,33	164	104	4,38	55,32	22,54
δ	9,83	7,15	16,15	1,32	14,42	3,81

Tableau n° 17 : Valeurs individuelles de la fréquence cardiaque de repos (FC repos), à l'arrêt de l'exercice (FC max) par épuisement et après récupération (FC récupération), de la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ max), de la performance maximale et du pouls d'oxygène. Sont également mentionnés la moyenne (\bar{x}) et l'écart-type (δ).

5.15. Résultats des judokas

- Au repos : la fréquence cardiaque moyenne est de 78 bat/mn.
- A l'arrêt de l'exercice par épuisement : la fréquence cardiaque maximale moyenne est de 165,33 bat/mn, soit une augmentation de 87,33 bat/mn.
- Après cinq minutes de récupération, la fréquence cardiaque moyenne passe de 165,33 bat/mn à 104,33 bat/mn, soit une diminution de 64 bat/mn.

Par rapport à la valeur de la fréquence cardiaque moyenne de repos, nous obtenons une différence de 23,33 bat/mn.

- La consommation maximale d'oxygène moyenne est de 54,09 ml/kg.mn⁻¹.
- Le pouls d'oxygène moyen est de 25,59 ml.
- La performance maximale moyenne de tous les judokas est de 4,41 W/kg.

Cette performance est atteinte pour une puissance de charge moyenne de 341,5 W.

Le temps moyen réalisé par les six judokas est de 1230 secondes soient 20,5 minutes.

Sujets (n = 6)	FC repos (b/mn)	FC max (b/mn)	FC récupération (b/mn)	Performance max (W/kg)	VO ₂ max (ml/kg.mn ⁻¹)	Pouls d'O ₂ (ml)
33	104	176	96	3,26	40,81	21,33
34	68	180	108	4,41	55,22	20,86
35	96	180	116	5,13	61,15	26,5
36	64	160	92	4,56	56,57	25,81
37	60	152	96	4,10	51,17	25,92
38	76	144	100	5	59,62	33,12
\bar{x}	78	165,33	101,33	4,41	54,09	25,59
δ	18,02	15,53	9	0,68	7,38	4,43

Tableau n° 18 : Valeurs individuelles de la fréquence cardiaque de repos (FC repos), à l'arrêt de l'exercice (FC max) par épuisement et après récupération (FC récupération), de la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max), de la performance maximale et du pouls d'oxygène. Sont également mentionnés la moyenne (\bar{x}) et l'écart-type (δ).

5.16. Résultats des nageurs

- Au repos : la fréquence cardiaque moyenne est de 84 bat/mn.
- A l'arrêt de l'exercice par épuisement : la fréquence cardiaque maximale moyenne est de 175 bat/mn, soit une augmentation de 91 bat/mn
- Après cinq minutes de récupération, la fréquence cardiaque moyenne passe de 175 bat/mn à 110,28 bat/mn, soit une diminution de 64,72 bat/mn.

Par rapport à la valeur de la fréquence cardiaque moyenne de repos, nous obtenons une différence de 26,28 bat/mn.

- La consommation maximale d'oxygène moyenne est de 51,8 ml/kg.mn⁻¹.
- Le pouls d'oxygène moyen est de 21,36 ml.
- La performance maximale moyenne de tous les judokas est de 4,11 W/kg.

Cette performance est atteinte pour une puissance de charge moyenne de 297,43 W.

Le temps moyen réalisé par les sept nageurs est de 1071,6 secondes soient 17,86 minutes.

Sujets (n = 7)	FC repos (b/mn)	FC max (b/mn)	FC récupération (b/mn)	Performance max (W/kg)	VO ₂ max (ml/kg.mn ⁻¹)	Pouls d'O ₂ (ml)
39	68	180	96	4,54	56,89	20,86
40	88	184	96	4,6	56,78	23,45
41	88	176	100	4,17	52,15	21,33
42	108	180	108	4,29	54,47	19,97
43	88	176	172	4,65	57,94	22,39
44	68	169	112	3,61	45,24	22,22
45	80	160	88	2,95	39,11	19,31
\bar{x}	84	175	110,28	4,11	51,8	21,36
δ	13,86	8,1	28,36	0,62	7,07	1,45

Tableau n° 19 : Valeurs individuelles de la fréquence cardiaque de repos (FC repos), à l'arrêt de l'exercice (FC max) par épuisement et après récupération (FC récupération), de la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max), de la performance maximale et du pouls d'oxygène. Sont également mentionnés la moyenne (\bar{x}) et l'écart-type (δ).

5.17. Résultats des athlètes

- Au repos : la fréquence cardiaque moyenne est de 62,67 bat/mn.
- A l'arrêt de l'exercice par épuisement : la fréquence cardiaque maximale moyenne est de 170,67 bat/mn, soit une augmentation de 108 bat/mn.
- Après cinq minutes de récupération, la fréquence cardiaque moyenne passe de 170,67 bat/mn à 83 bat/mn, soit une diminution de 87,67 bat/mn.

Par rapport à la valeur de la fréquence cardiaque moyenne de repos, nous obtenons une différence de 20,33 bat/mn.

- La consommation maximale d'oxygène moyenne est de 55,84 ml/kg.mn⁻¹.
- Le pouls d'oxygène moyen est de 20,31 ml.
- La performance maximale moyenne de tous les judokas est de 4,35 W/kg.

Cette performance est atteinte pour une puissance de charge moyenne de 269,33 W.

Le temps moyen réalisé par les sept nageurs est de 970,2 secondes soit 16,17 minutes.

Sujets (n = 6)	FC repos (b/mn)	FC max (b/mn)	FC récupération (b/mn)	Performance max (W/kg)	VO ₂ max (ml/kg.mn ⁻¹)	Pouls d'O ₂ (ml)
46	54	132	90	3,57	48,75	20,68
47	60	180	78	4,03	52,82	18,19
48	60	180	84	4,76	59,60	20,86
49	62	180	66	3,62	47,46	18,19
50	60	162	84	4,48	56,04	23,18
51	80	190	96	5,64	70,36	20,74
\bar{x}	62,67	170,67	83	4,35	55,84	20,31
δ	8,91	21	10,33	0,79	8,42	1,89

Tableau n° 20 : Valeurs individuelles de la fréquence cardiaque de repos (FC repos), à l'arrêt de l'exercice (FC max) par épuisement et après récupération (FC récupération), de la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max), de la performance maximale et du pouls d'oxygène. Sont également mentionnés la moyenne (\bar{x}) et l'écart-type (δ).

		FC repos (b/mn)	FC max (b/mn)	FC récupération (b/mn)	Performance max (W/kg)	VO ₂ max (ml/kg.mn ⁻¹)	Pouls d'O ₂ (ml)
Football	\bar{x}	75	154	93	4,37	54,48	25,78
	δ	11,31	11,46	17,4	0,6	6,38	3,75
Basket	\bar{x}	81,67	163,33	103,67	3,95	49,46	24,42
	δ	18,95	14	24,02	0,75	8,06	6,11
Handball	\bar{x}	69,67	170	105	3,53	46,17	19,56
	δ	10,98	16,15	7,77	0,2	2,87	1,86
Volley	\bar{x}	71,33	172,67	106,17	3,4	44,41	19,11
	δ	5,32	8,91	17,76	0,34	4,04	1,73
Boxe	\bar{x}	74,33	164	104	4,38	55,32	22,54
	δ	9,83	7,15	16,15	1,32	14,42	3,81
Judo	\bar{x}	78	165,33	101,33	4,41	54,09	25,59
	δ	18,02	15,53	9	0,68	7,38	4,43
Natation	\bar{x}	84	175	110,28	4,11	51,8	21,36
	δ	13,86	8,1	28,36	0,62	7,07	1,45
Athlétisme	\bar{x}	62,67	170,67	83	4,35	55,84	20,31
	δ	8,91	21	10,33	0,79	8,42	1,89

Tableau n° 21 : Tableau récapitulatif des valeurs moyennes et des écarts-types de la fréquence cardiaque de repos (FC repos), de la fréquence cardiaque maximale (FC max), de la fréquence cardiaque de récupération (FC récupération), de la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max.), du pouls d'oxygène et de la performance maximale au football, basket-ball, handball, volley-ball, boxe, judo, natation et athlétisme (5 000 m - 10 000 m).

6. ANALYSE ET DISCUSSION DES RESULTATS

6.1. LA FREQUENCE CARDIAQUE DE REPOS

A la lumière de cette étude, nous nous rendons compte que les coureurs de fond (5 000 m - 10 000 m) ont la fréquence cardiaque moyenne la plus basse, soit 62,67 b/mn.

Suivent le hand-ball (69,7 b/mn), le volley-ball (71,33 b/mn), la boxe 74,33 b/mn), le football (75 b/mn), le judo (78 b/mn), le basket (81,6 b/mn) et enfin la natation (84 b/mn) qui arrive en dernier lieu.

Or, plus on est entraîné en endurance, c'est-à-dire que la spécialité sportive est à dominante aérobie et plus basse sera la fréquence cardiaque de repos.

Ceci explique par l'augmentation du volume d'éjection systologique, du lit vasculaire et de la baisse des résistances périphériques.

6.2. LA FREQUENCE CARDIAQUE MAXIMALE

Toutes les disciplines sportives que nous avons étudiées ont une fréquence cardiaque maximale moyenne inférieure à 200 bat/mn. La plus grande valeur atteinte en moyenne est celle de la natation (175 bat/mn), suivie du volley-ball (172,67), des coureurs de fond (170,67), du hand-ball (170 bat/mn), du judo (165,33 bat/mn), de la boxe (164 bat/mn), du basket (163,33) et du football (154 bat/mn).

Ces valeurs relativement basses de la fréquence cardiaque maximale moyenne nous donnent des renseignements sur l'âge moyen de nos sujets.

En effet, d'après Astrand, la fréquence cardiaque maximale n'est influencée ni par l'existence d'un entraînement sportif ou non, ni par le type d'entraînement sportif ou non, ni par le type

d'entraînement, mais seulement par l'âge ($FC_{max} = 220 \text{ bat/mn} \pm \text{âge}$). Nos sujets ont en effet un âge moyen compris entre 23,17 ans et 27,86 ans.

Et pour juger de la capacité de performance maximale de sujets sportifs, Simon nous dit que la fréquence cardiaque maximale moyenne doit être inférieure à 200 bat/mn.

6.3. LA FREQUENCE CARDIAQUE DE RECUPERATION

Cette fréquence cardiaque de récupération est en moyenne plus basse chez les basketteurs (59,66 bat/mn) que chez les autres : footballeurs (61 bat/mn), handballeurs (65 bat/mn), volleyeurs (66,5 bat/mn), boxeurs (60 bat/mn), judokas (64 bat/mn), nageurs (64,72 bat/mn) et coureurs de fond (87,67 bat/mn) qui récupèrent beaucoup moins vite. En effet d'après Müller, la fréquence du pouls au repos est une fonction de la fatigue et de la récupération de la musculature au travail. Elle devient d'autant plus grande que la fatigue est plus importante et par contre d'autant plus petite que la récupération dans le même temps est plus importante.

Par contre, au basket et en boxe, vu l'espace de jeu réduit et l'intensité des actions, Müller recommande un travail en endurance soutenue qui améliore la capacité de récupération ainsi que la performance maximale.

6.4. LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE ($\dot{V}O_2 \text{ max}$)

Les valeurs de la $\dot{V}O_2 \text{ max}$ sont plus élevées chez le coureur de fond avec en moyenne 55,84 ml/kg.mn⁻¹.

Après les coureurs de fond, nous retrouvons les boxeurs (55,32 ml/kg.mn⁻¹), les footballeurs (54,8 ml/kg.mn⁻¹), les judokas (54,09 ml/kg.mn⁻¹), les nageurs (51,8 ml/kg.mn⁻¹), les basketteurs (46,17 ml/kg.mn⁻¹) et enfin les volleyeurs (44,41 ml/kg.mn⁻¹).

Ces valeurs moyennes de la $\dot{V}O_2 \text{ max}$ dépassent de peu celles des sujets sédentaires des pays industrialisés âgés de 20 à 30 ans. En effet, la $\dot{V}O_2$ atteint environ 50 ml.mn⁻¹ kg⁻¹ chez ces derniers (Astrand, 1965 ; Flandrois et Coll., 1962).

Cependant ceci n'est valable que pour les coureurs de fond, les boxeurs, les footballeurs, les judokas et les nageurs.

Par contre, les basketteurs, les handballeurs et les volleyeurs ont un $\dot{V}O_2$ max moyenne qui se rapproche plus de celle des mélando-africains sédentaires. Celle-ci se situe entre 40 et 49 ml/kg.mn⁻¹ (Wyndham et Coll., 1963 ; Davics et Coll., 1972).

D'après Simon, les sportifs entraînés en endurance et dans les sports de balle ont en moyenne un $\dot{V}O_2$ max de 55 ml/kg.mn⁻¹. Nos coureurs de fond ainsi que nos boxeurs sont un peu au-dessus de la moyenne avec respectivement 55,84 ml/kg.mn⁻¹ et 55,32 ml/kg.mn⁻¹. Mais par rapport au niveau mondial, ils sont à la traîne car les valeurs moyennes de la $\dot{V}O_2$ max se situent entre 65 ml/kg.mn⁻¹ et 95 ml/kg.mn⁻¹ (Mac Dougall, J.D. Wenger, H.A. et Green, H.J., 1988 ; Astrand, 1960).

Pour les footballeurs (65 ml/kg.mn⁻¹), les judokas (54,09 ml/kg.mn⁻¹) et les nageurs (51,8 ml/kg.mn⁻¹), l'entraînement en endurance est encore à parfaire car ils se rapprochent des valeurs moyennes pour un sujet sportif, mais sont encore loin des valeurs des sportifs internationaux (entre 65 ml/kg.mn et 95 ml/kg.mn).

Par ailleurs, cette $\dot{V}O_2$ max moyenne plus élevée chez les coureurs de fond est due au fait que la spécialité est à dominante aérobie et l'entraînement vise essentiellement le développement de la filière aérobie.

6.5. LE POULS D'OXYGENE

Il est plus élevé chez les footballeurs (25,78 ml), suivi de très près par les judokas (25,59 ml). Viennent ensuite les basketteurs (24,42 ml), les boxeurs (22,54 ml), les nageurs (21,36 ml), les coureurs de fond (20,31 ml), les handballeurs (19,56 ml) et enfin les volleyeurs (19,11 ml).

Ces valeurs sont nettement supérieures à celles des sujets masculins sédentaires qui se situent entre 14 ml et 17 ml. Cependant par rapport à des sujets entraînés en endurance (20 à 34 fois), ces valeurs du pouls d'O₂ de nos sportifs sont nettement en-dessous de la moyenne.

Et théoriquement ce quotient mesure la capacité de performance et l'économie de travail de la circulation sanguine.

Par conséquent, les footballeurs et les judokas devraient être les plus performants au niveau national, suivis des basketteurs, des boxeurs, des nageurs, des coureurs de fond, des handballeurs et des volleyeurs.

6.6. LA PERFORMANCE MAXIMALE

Par rapport au niveau national, le judo avec en moyenne 4,41 W/kg se présente comme la spécialité sportive la plus performante au niveau national.

Après le judo, nous avons la boxe (4,38 W/kg), le football (4,37 W/kg), la course de fond (4,35 W/kg), la natation (4,11 W/kg), le basket (3,95 W/kg), le handball (3,53 W/kg) et enfin le volley-ball (3,4 W/kg).

En comparant ces valeurs moyennes avec celles des sédentaires âgés de 10 à 40 ans et qui ont une performance maximale moyenne d'environ $3 \text{ W/kg} \pm 1$, nous pouvons noter des performances supérieures, mais de peu chez nos sportifs.

La spécialité sportive la plus performante au niveau national, le judo a, par contre, une valeur moyenne (4,41 W/kg) nettement inférieure à celle d'un sportif entraîné en endurance et en sport de balle.

Cependant selon des critères mondiaux, les performances de nos judokas, boxeurs, footballeurs, coureurs de fond et nageurs sont en moyenne assez bien. Alors que les basketteurs, les handballeurs et les volleyeurs sont affublés de l'appréciation passable.

Nos sportifs sont encore loin des appréciations :

- très bien pour une performance qui est en moyenne supérieure ou égale à 4,8 W/kg,
- ou même bien pour une performance moyenne supérieure ou égale à 4,5 W/kg.

6.7. LA CORRELATION ENTRE LA PERFORMANCE MAXIMALE ET LA VO_2 max.

Les coefficients de corrélation entre la performance maximale et la VO_2 max au football, basket, handball, volley-ball, boxe, judo, natation et course de fond (5 000 m - 10 000 m) sont respectivement égaux à :

Disciplines sportives	Coefficients de corrélation
Football	+ 0,996
Basket	+ 0,970
Handball	+ 0,999
Volley-ball	+ 0,996
Boxe	+ 0,971
Judo	+ 0,992
Natation	+ 0,983
Course de fond (5 000 m - 10 000 m)	+ 0,993

Tableau n° 22 : Tableau indiquant les coefficients de corrélation correspondants aux différentes spécialités sportives [football, basket, handball, volley-ball, boxe, judo, natation, athlétisme (5 000 m - 10 000 m)].

Tous les coefficients de corrélation que nous avons trouvés sont significatifs car les "r" calculés sont tous supérieurs aux "r" tabulaires.

Et l'interprétation que nous avons faite à partir du "t" de Student, corrobore nos résultats. Tous les "t" trouvés sont supérieurs aux "t" tabulaires.

Les valeurs des coefficients de corrélation, évalués à partir du "t" de Student, nous ont montré une différence significative entre les r et α , au niveau de signification .05.

Ceci signifie que plus la VO_2 max sera importante, meilleure sera la performance dans ces différentes spécialités sportives.

La VO_2 max constitue donc un facteur déterminant de la performance en football, basket, handball, volley-ball, boxe, judo, natation et course de fond (5 000 m - 10 000 m).

Le travail d'endurance est essentiel dans ces différentes disciplines car elles font toutes intervenir la filière aérobie, plus que les autres filières.

Les coefficients de corrélation "très élevés" chez les fondistes, les footballeurs, les handballeurs, les volleyeurs, les judokas, sont les témoins de plus, de la nécessité de développer la capacité aérobie.

Ceci est d'autant plus vrai que pour les fondistes la filière aérobie intervient pour 90 à 95 % de l'énergie totale (Astrand et Rodahl, 1980 ; Fox et Mathews, 1984 ; Mac Dougall, Wenger et Green, 1988).

Nous avons trouvé des coefficients de corrélation assez élevés aussi dans les autres spécialités sportives.

Pour ces dernières, le développement de l'endurance aérobie, se présente comme une priorité de l'entraînement.

6.8. LA CORRELATION ENTRE LA PERFORMANCE MAXIMALE ET LE POULS D'OXYGENE

Nous avons obtenu les coefficients de corrélation suivants entre la performance maximale et le pouls d'oxygène :

Disciplines sportives	Coefficients de corrélation
Football	+ 0,697
Basket	+ 0,653
Handball	- 0,627
Volley-ball	+ 0,669
Boxe	+ 0,848
Judo	+ 0,659
Natation	+ 0,563
Course de fond (5 000 m - 10 000 m)	+ 0,415

Tableau n° 23 : Tableau indiquant les coefficients de corrélation correspondants aux spécialités sportives [football, basket, handball, volley-ball, boxe, judo, natation, athlétisme(5 000 m - 10 000 m)].

Parmi les coefficients de corrélation trouvés, seulement ceux des footballeurs et des boxeurs sont significatifs, d'après l'interprétation que nous en avons faite selon "t".

En d'autres termes, pour ces spécialités sportives, plus le pouls d'oxygène sera important, meilleure sera la performance.

Le pouls d'oxygène nous permet de mesurer la capacité de performance et l'économie de travail de la circulation sanguine.

Or, un match de football peut durer 90 minutes à 120 minutes et une rencontre de boxe peut aller jusqu'à douze rounds.

Ces spécialités sportives se prolongent dans le temps et peuvent utiliser des pourcentages élevés de la PMA (80 à 95 % de la PMA).

L'économie de travail de la circulation sanguine dans ce cadre n'a qu'un seul but : amener l'athlète à soutenir le maximum de charges et le plus longtemps possible. Ce qui se fera par une amélioration de l'endurance aérobie.

S'agissant des autres disciplines sportives, basket, handball, volley-ball, judo natation et course de fond (5 000 m - 10 000 m), nous avons trouvé une relation non significative entre la performance maximale et le pouls d'oxygène.

Pour ces derniers, il apparaît que le pouls d'oxygène n'est pas un facteur déterminant de la performance.

Ceci peut s'expliquer par un sous-entraînement, une mauvaise conception des programmes d'entraînement, ou des facteurs motivationnels.

En tout état de cause, une large part devra être consacrée au développement de l'endurance aérobie dans ces disciplines sportives.

6.9. LA CORRELATION ENTRE LA PERFORMANCE MAXIMALE ET LA FREQUENCE DU POULS DE RECUPERATION

Afin de connaître le lien de causalité qui existe entre la performance maximale et la fréquence du pouls de récupération chez les footballeurs, les basketteurs, les handballeurs, les volleyeurs, les boxeurs, les judokas, les nageurs et les coureurs de fond, nous avons calculé les coefficients de corrélation suivants :

Disciplines sportives	Coefficients de corrélation
Football	+ 0,716
Basket	+ 0,793
Handball	+ 0,380
Volley-ball	+ 0,696
Boxe	+ 0,261
Judo	- 0,631
Natation	- 0,146
Athlétisme (5 000 m - 10 000 m)	+ 0,252

Tableau n° 24 : Tableau indiquant les coefficients de corrélation correspondants aux différentes spécialités sportives [(football, basket, handball, volley-ball, boxe, judo, natation et courses de fond)].

Au niveau de signification .05, "t" football = 2,541 et "t" basket = 2,601 sont respectivement supérieurs à : 2,365 et 2,571.

La relation entre la performance maximale et la fréquence du pouls de récupération est donc significative au football et au basket.

Pour ces disciplines, la fréquence du pouls de récupération est un facteur déterminant de la performance.

En effet, les substrats énergétiques dégradés lors des rencontres de football et de basket, mettent au moins 72 heures avant d'être reconstitués.

L'entraîneur devra donc placer dans sa programmation, la séance de surcharge à un intervalle conséquent de la compétition. Il devra donc bien comprendre le mécanisme de surcompensation, en jouant sur les temps de travail et les temps de repos.

Ceci devra aboutir à une augmentation du potentiel initial.

"r" n'est pas suffisamment éloigné de 0 pour être significatif, au handball, volley-ball, boxe, judo, natation, course de fond (5 000 m - 10 000 m).

L'interprétation d'après "t", nous montre des relations non significatives entre la performance maximale et la fréquence du pouls de récupération n'est pas un facteur déterminant de la performance dans ces spécialités sportives.

Il apparaît donc que la fréquence du pouls de récupération et à développer dans ces disciplines sportives, mais surtout en judo, boxe, natation et course de fond qui se présentent comme des sports individuels.

Par rapport aux sports collectifs, le soutien du groupe n'est pas constant et quelquefois absent et la capacité de performance dépend de l'aptitude personnelle.

Les "randori" des judokas sont très intenses et un même combattant peut avoir à disputer plusieurs combats en une seule et même compétition.

La boxe, la natation et les courses de fond sont également des spécialités très épuisantes, d'où la nécessité d'avoir une bonne fréquence du pouls de récupération, avant d'aborder ces disciplines.

A cet effet, les programmes d'entraînement devront tenir compte de la diététique sportive.

Celle-ci permet le renouvellement des substrats énergétiques dégradés lors de l'exercice physique.

Une bonne diététique permet également une bonne capacité de récupération (Palau, 1985).

Certains excitants sont à proscrire :

- le tabac
- l'excès de sucre (sombi, fondé, thé...).

La capacité de récupération dépendra également de l'état psychologique de sportif.

Celui-ci est amélioré par un sommeil suffisant, des massages de restauration après l'effort, les saunas...

CONCLUSION GENERALE

La détermination de la performance maximale après une épreuve sur vélo ergométrique, nous a permis de juger la capacité de nos sujets à soutenir, jusqu'à épuisement complet, des charges dosées progressivement.

Nous avons pu ainsi apprécier l'aptitude des footballeurs, des basketteurs, des handballeurs, des volleyeurs, des boxeurs, des judokas, des nageurs et des coureurs de fond, à soutenir des charges de travail progressives en puisant au maximum dans leurs possibilités.

Le but de notre travail était d'étudier la corrélation qui pourrait exister entre la performance maximale de nos sujets et leur consommation maximale d'oxygène, leur pouls d'oxygène et leur fréquence du pouls de récupération. Ces corrélations nous ont édifié sur les effets de la $\dot{V}O_2$ max, du pouls d'oxygène et de la fréquence du pouls de récupération sur l'amélioration de la performance dans les différentes spécialités sportives étudiées.

Les entraîneurs devront, sur ces bases objectives, insister sur l'un ou l'autre de ces paramètres, afin d'optimiser les chances de leurs sportifs.

La population que nous avons ciblée, est composée de militaires de l'Association Sportive des Forces Armées (ASFA).

Nous avons pu accéder à un échantillon représentatif dans les disciplines sportives suivantes : football, basket, handball, volley-ball, boxe, judo, natation et course de fond. Les militaires choisis constituent l'élite du sport sénégalais dans les spécialités sportives sus-citées.

Ils bénéficient de séances d'entraînement biquotidiennes, d'une alimentation adéquate et participent régulièrement aux compétitions nationales et quelquefois internationales.

A l'issue de cette étude, nous avons trouvé une bonne corrélation entre la $\dot{V}O_2$ max et la performance maximale dans les différents sports étudiés.

En football et boxe, nous avons trouvé une corrélation moyenne entre la performance maximale et le pouls d'oxygène. Cependant, en handball, volley-ball, judo, natation et course de fond, les relations ne sont pas significatives entre ces deux facteurs.

Par contre s'agissant de la corrélation entre la performance maximale et la fréquence du pouls de récupération, la relation n'est significative que pour le football et le basket.

Pour les autres spécialités sportives, la fréquence du pouls de récupération n'est pas un facteur déterminant de la performance.

A l'issue de cette étude, le judo se présente comme la spécialité sportive possédant la meilleure performance maximale, dans le champ sportif sénégalais et parmi les disciplines étudiées. Ceci pouvant s'expliquer par les actions brèves et intenses des "randori". Nous sommes donc en présence d'une discipline où la base de l'entraînement sera une amélioration de la capacité aérobie.

Les entraîneurs, dans les autres disciplines sportives étudiées devront également axer leurs programmes d'entraînement sur le renforcement de l'endurance aérobie.

Le but recherché par ceux-ci sera alors l'augmentation du volume d'éjection systolique, du taux de glycogène et de la différence artério-veineuse ($C_a O_2 - C_v O_2$), en insistant sur l'intensité des exercices (70 à 90 % de la $\dot{V}O_2 \text{ max}$) et les formes de travail (longue distance, longue durée, endurance fondamentale).

Le rôle de l'entraînement, sera également d'agir sur tous les autres facteurs contribuant à la performance physique, à savoir :

- les processus énergétiques : processus de dégradation (anaérobie) ; processus oxydatifs (aérobie),
- l'activité neuromusculaire : force, technique,
- les facteurs psychologiques : motivations, volonté, concentration.

Signalons enfin, que l'amélioration des techniques de mouvement et de l'équipement sportif résultant du progrès technique général constituent également, un facteur de l'amélioration progressive de la capacité de travail et des performances athlétiques.

Nous suggérons pour les études ultérieures, le dosage du lactate afin de pouvoir juger la capacité anaérobie.

En effet, il s'est avéré après les études récentes menées par d'éminents chercheurs tels que Simon, Keul et Kindermann de l'école allemande que la $\dot{V}O_2$ max est une donnée peu manipulable par les entraîneurs sur le plan pratique. Et que, en matière d'entraînement, la tendance est au dosage du lactate.

BIBLIOGRAPHIE

1. ASTRAND P.O. et RODAHL R., 1980 - **Précis de physiologie de l'exercice musculaire**, Paris, Masson.
2. BUSHAN V., 1983 - **Les méthodes en statistiques**, Québec, Les Presses universitaires de Laval.
3. CAMUS G., CHARLIER GRISART J. et al, juin 1988 - **Temps limite dans l'exercice supra-maximal sur tapis roulant et sur bicyclette ergométrique**. In Renne Science et motricité, Paris, pp 19-22.
4. CERRETELLI P., 1980 - **Oxygen debt : its role and significance in lactate. Physiologic mctabolic and pathologic approach**, Edited by P.R. Morct, J. Weber, J. Cl, Haissly, H. Denolin, Berlin, Springer.
5. COURTAY R., 1986 - **Entraînement et performance athlétique** (biologie, méthodologie, application à la course à pied), Paris, Amphora S.a, coll. sport et connaissance.
6. DESSONS, DRUT, DUBOIS et Al, 1976 - **Les courses** (Traité d'athlétisme), Paris, Vigot.
7. DI PRAMPERO P.E., Mars 1988 - **Les facteurs bioénergétiques de la performance**, In Les limites de la performance humaine, Paris, INSEP, VIII^{ème} Séminaire de bioénergétique, pp 1-5.
8. DI PRAMPERO P.E., Mars 1988 - **Les limites théoriques de la performance**, In Les limites de la performance humaine, Paris, INSEP, VIII^{ème} séminaire de bioénergétique, pp 21-23.

9. DUDAL J. - **L'athlétisme du débutant au spécialiste**, Oeuvre de Jacques Dudal par Garinet et Jumel S.D.Œ.
10. EKBLUM B., 1969 - **Effect of physical training in adolescent boys**, J. of Apply physiol, 27 : 350-355.
11. FERGUSON R.J., GAUTHIER P., 1978 - **Les effets aigus et chroniques de l'exercice physique sur le système cardio-vasculaire chez le sujet normal**, In Broustet J.P. (sous la direction de) *Cardiologie sportive*, Paris, Masson.
12. FLANDROIS R., CHARBONNIER J.P., 1977 - **Bases physiologiques de l'entraînement à l'exercice musculaire**, Lyon médical.
13. FOX (E.L.), MATHEWS D.K., 1984 - **Bases physiologiques de l'activité physique**, Vigot (Paris) et Décarie (Montréal).
14. GODBOUT P., 1987 - **Initiation à la recherche en Sciences de l'activité physique** (Document présenté lors d'une stage organisé par la Confeges à l'I.N.S.E.P.S. de Dakar pour les étudiants de licence), Dakar.
15. GOLLNICK P.D., IANUZZO C.D., 1972 - **Hormonal deficiencies and the metabolic adaptations of rats to training**, Amer J. Physiol, 223, 278-282.
16. HOLLOSZY J.O., 1967 - **Biochemical adaptations in muscle**, Effects of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle, J. biol. chem., 242, 2278-2212, 1967.
17. HOLLOSZY J.O., 1983 - **Exercise, Health and aging : a need for more information**, Med. Sci. Sports Exerci., 15 : 1.
18. HERMANN H. CIER J.F., 1964 - **Précis de physiologie**, Masson, Paris.
19. KARPOVICH P.V., SINNING W.E., 1975 - **Physiologie de l'activité musculaire**, Paris, Vigot.

20. LACOUR J.R., FLANDROIS R., 1977 - **Le rôle du métabolisme aérobie dans l'exercice intense de longue durée**, J. Physiol (Paris), 73, pp 89-130.
21. MARGARIA R. - **Utilisation de l'énergie dans l'exercice intermittent d'intensité supramaximale**.
22. MAC DOUGALL J.D., WENGER H.A., GREEN H.J., 1988 - **Evaluation physiologique de l'athlète de haut niveau**, Paris (Vigot), Québec (Décarie).
23. MC ARDLE W., KATCH I F., KATCH V., 1987 - **Physiologie de l'activité physique**, Paris, Vigot.
24. MIRKIN G., HOFFMAN M., 1978 - **La médecine sportive : Prévention - Entraînement - Soins**, Montréal, Editions de l'homme.
25. MONOD H., FLANDROIS R., 1985 - **Physiologie du sport**, Paris, Masson.
26. NEWSHOLME E.A., START C., 1974 - **Regulation in metabolism**, London, Wiley, pp 106-117.
27. PALAU J.M., 1985 - **Bases physiologiques de l'activité physique**, In **Sciences biologiques de l'Enseignant sportif**, Paris, Doin.
28. POORTMANS J., mars 1988 - **Les limitations métaboliques à la performance en endurance**, In **Les limites de la performance humaine**, Paris, INSEP, VIII^{ème} Séminaire de bioénergétique, pp 9-11.
29. RIEU M., 1988 - **Bioénergétique de l'exercice musculaire et de l'entraînement physique**, Paris, PUF.
30. SIMON G., HUBER G., KINDERMANN W. et al, 1979 - **Herfrequenz und stoff wechselverhalten bei spiroergometrischer und wett kampfspezifischer belastung**, In **Deutsch zeitschrift für sportmedizin** 30, 1. 11-22.

31. SIMON G., DIKHUTH H.-H, GOERTLER I. et coll., 1979 - **Jahreszyklische schwankungen in der leistungsfähigkeit von skilangläufern**, In Leistungssport 9 1, 48-53.
32. WEINECK J., 1983 - **Manuel d'entraînement**, Paris, Vigot.

