

REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS

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

CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE ET PERFORMANCES AU CYCLISME

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

PRESENTE
PAR

Mountaga DIOP

DIRECTEUR DE MEMOIRE :
Monsieur Fallou CISSE,
Professeur Agrégé de Physiologie

ANNEE ACADEMIQUE : 1991-1992

REPUBLIQUE DU SENEGAL

MINISTERE DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS

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

CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE ET PERFORMANCES AU CYCLISME

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

**PRESENTE
PAR
Mountaga DIOP**



**DIRECTEUR DE MEMOIRE :
Monsieur Fallou CISSE,
Professeur Agrégé de Physiologie**

ANNEE ACADEMIQUE : 1991-1992

D E D I C A C E

Je dédie ce travail :

A Mon père MOURTADA DIOP
 Ma mère ANTA NDIAYE
 Mon oncle NOH FALLL
 Ma tante AMY NDIAYE

pour l'éducation qu'ils m'ont donnée.

Mes Frères et Soeurs pour leur sympathie

La cellule des jeunes Ndiobènes Massar-Latmengué

Ma très chère **Mariama DIALLO**

A ma Soeur et copine de classe **Aminata SECK**

A tous les élèves-professeurs de la douzième promotion
de l'INSEPS de Dakar

Au Ministère de la Jeunesse et des Sports du Sénégal
A la section de Hand-ball du JARAAF de Dakar.

REMERCIEMENTS

La délicatesse d'un tel travail implique la collaboration de nombreuses personnes que nous désirons remercier de vive voix.

- Le docteur Fallou CISSE dont l'encadrement a été sans faille du début à la fin mérite une mention spéciale.

Nous devons aussi mentionner ceux qui, sans y avoir directement participé, ont apporté leurs commentaires et leurs suggestions : Jean FAYE, Moussa GUEYE, DJibril SECK, Assane FALL, tous professeurs à l'INSEPS de Dakar.

Gérard DIAME, directeur de l'INSEPS doit être particulièrement remercié pour avoir tant facilité ce travail en nous accordant l'autorisation d'utiliser le matériel du laboratoire de physiologie de l'institut.

Nos remerciements vont aussi aux professionnels des bibliothèques de l'INSEPS et du Ministère de la Jeunesse et des Sports : Grégoire DIATTA et Anasthasie DIAKHATE.

Par ailleurs nous remercions le responsable de l'audio-visuel de l'INSEPS Abdoul Aziz NDIAYE, et Madame pour le soutien. De même que Mbargou FAYE, Infirmier à l'INSEPS pour son assistance.

Mme **Marie DIENE** qui s'est chargée du travail de secrétariat en réussissant à conserver son sourire a droit à notre reconnaissance. **Nafi PAYE**, **Ibnou DIOP** ont aussi apporté leur aide précieuse pour la confection de ce manuscrit.

En outre nos remerciements s'adressent aux membres de la Fédération Sénégalaise de Cyclisme et de la Ligue de Dakar particulièrement au président **M.MBENGUE**, au directeur technique **Michel THIOUB**, à l'entraîneur national **Baye CISS**, au secrétaire permanent **Seydina** et à l'ensemble des cyclistes qui n'ont ménagé aucun effort pour la réussite de notre étude.

Enfin, nous ne pouvons terminer sans remercier **Oumar DIA**, journaliste à la RTS, qui nous a mis en rapport avec tout ce monde du Cyclisme sénégalais.

S O M M A I R E

INTRODUCTION -----	3
CHAPITRE 1. NOTIONS SUR LE $\dot{V}O_2$ MAX -----	6
I. Définition -----	7
II. Méthodes de mesure de la Consommation maximale d'oxygène -----	9
A. Détermination du $\dot{V}O_2$ max au laboratoire -----	9
B. Mesure du $\dot{V}O_2$ max sur le terrain -----	13
III. Variations physiologiques du $\dot{V}O_2$ max -----	15
IV. Valeurs du $\dot{V}O_2$ max -----	17
V. Effets de l'entraînement sur le $\dot{V}O_2$ max -----	18
VI. Classification physiologique des athlètes selon le $\dot{V}O_2$ max -----	20
CHAPITRE 2. MATERIEL ET METHODE -----	24
I. Sujets -----	25
II. Protocole -----	26
CHAPITRE 3. RESULTATS ET COMMENTAIRES -----	29
I. Résultats -----	30
II. Commentaires -----	31

<u>CHAPITRE 4.</u>	DISCUSSION -----	40
I.	Critique de la méthode -----	41
II.	Niveau d'entraînement des sujets étudiés -----	41
III.	Le $\dot{V}O_2$ max intervient-il dans la réalisation de performances au Cyclisme -----	48
IV.	Autres facteurs déterminants de la performance ---	49
<u>CHAPITRE 5.</u>	RESUME ET CONCLUSION -----	57
	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES -----	59

INTRODUCTION

Le sport est devenu un phénomène social de grande ampleur. Les pratiquants deviennent de plus en plus nombreux. Certains d'entre eux exercent des activités sportives pour leur bien-être physique tandis que d'autres, plus nombreux, recherchent la performance en vue de gains financiers plus importants. C'est la raison pour laquelle, dans toute discipline sportive, l'organisme est sollicité incessamment. L'obtention de résultats meilleurs devient alors un impératif et l'entraînement sportif est la voie la plus indiquée pour y accéder tout en respectant les règlements du sport. Il est fonction de la spécialité de l'individu. De ce fait tout concourt aujourd'hui à l'établissement de programmes d'entraînements adéquats. C'est ainsi que le sport et surtout celui de haut niveau ne peut se passer de l'apport des sciences biologiques telles que la physiologie, la biomécanique et les sciences sociales comme la psychologie et la sociologie.

Nous avons pris l'exemple du cyclisme pour évaluer la part de l'entraînement et surtout celui de la filière énergétique aérobie dans l'atteinte des performances. Les épreuves cyclistes s'échelonnent du sprint de 1000 m à la course de 220 km. Il y a des courses intermédiaires qui sont la poursuite de 4000 mètres et les courses sur route allant de 20 à 220 km

En dehors du sprint de 1000 m dont l'énergie provient du métabolisme anaérobie, les courses cyclistes sollicitent le métabolisme aérobie pour la production d'énergie. Cette énergie provient essentiellement de la glycolyse et de la lipolyse.

La glycolyse aérobie est la dégradation du glucose dans la mitochondrie en présence d'oxygène. Cette réaction entraîne une production de CO_2 et une libération d'énergie sous forme d'A.T.P. L'oxydation d'une molécule de glucose fournit 36 molécules d'A.T.P.

La lipolyse, quant à elle, est l'oxydation des acides gras dans la mitochondrie qui aboutit aussi à la production d'énergie. Le nombre de molécules d'A.T.P. libérées au cours de l'oxydation d'une molécule d'acide gras est fonction du nombre d'atomes de carbone de l'acide gras. De ce fait, plus l'oxygène disponible est important, plus la quantité de substrats oxydés et les molécules d'A.T.P. libérées augmentent et plus l'exercice peut durer. En conséquence, la capacité de cette filière énergétique dépend des réserves de substrats que sont les glucides, les lipides et les protides et plus particulièrement de la consommation maximale d'oxygène, un critère fondamental dans l'évaluation de la condition physique.

Ainsi l'on a tendance à croire que les meilleurs cyclistes dans les courses allant de 20 à 220 km sont ceux qui ont une plus grande consommation maximale d'oxygène.

Dans le but de préciser l'influence du $\dot{V}O_2$ max sur la performance sportive, nous l'avons mesuré chez des cyclistes 3 jours avant une compétition de 99 kms. Ensuite nous nous sommes rendus à l'arrivée de la course pour enregistrer le temps et le rang d'arrivée de chacun d'entre eux.

Chapitre 1

NOTIONS SUR LE VO_2 max.

I.- DEFINITION

L'être vivant et le moteur thermique ont des similitudes de fonctionnement :

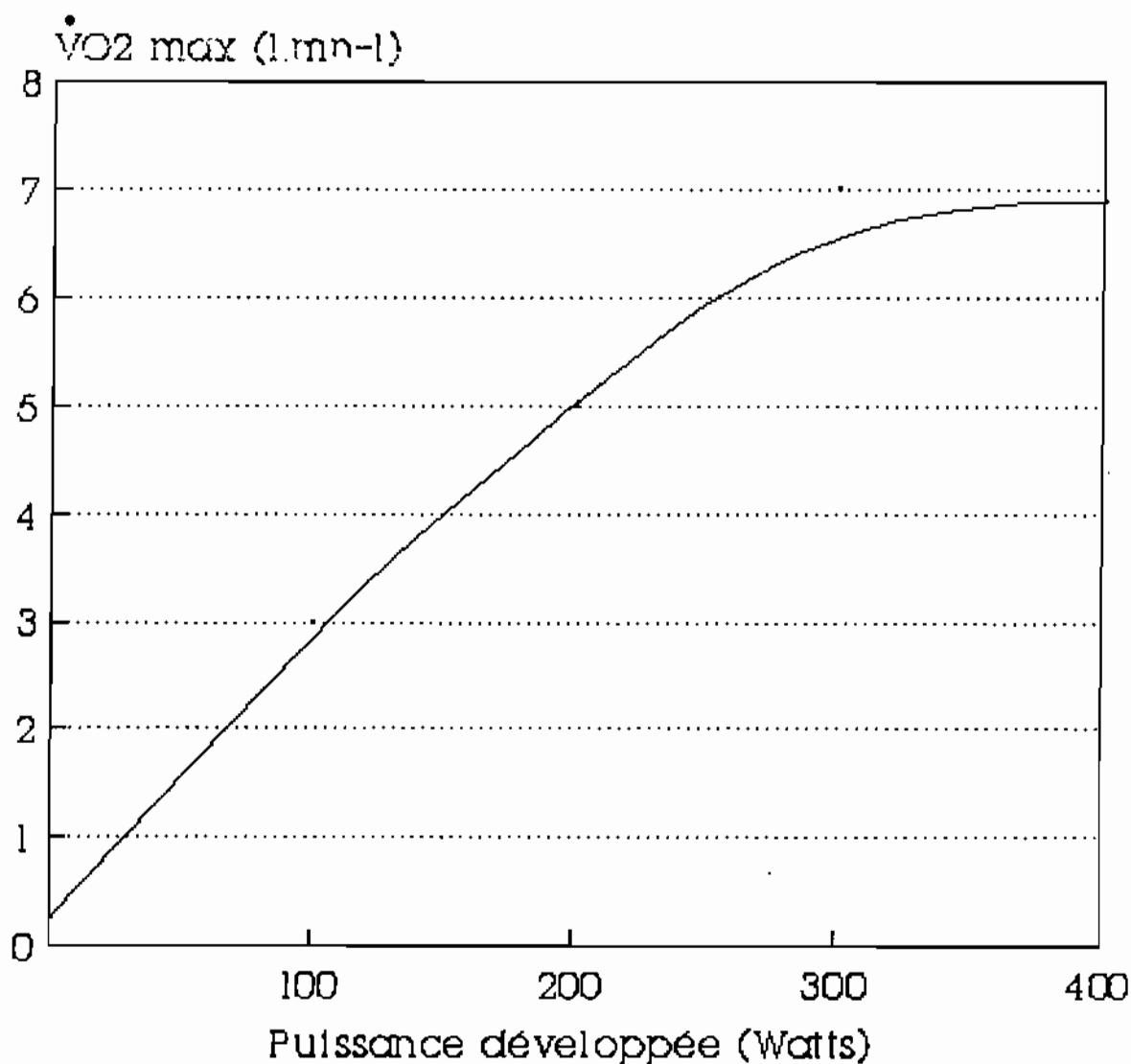
- Ils nécessitent tous les deux une source d'énergie, ou combustible. Toute source d'énergie est source de chaleur, qu'il s'agisse de combustibles industriels brûlés brutalement dans le moteur thermique ou de combustibles alimentaires brûlés progressivement dans l'organisme et utilisés pour la contraction musculaire sous forme de composés phosphorés à haute énergie.

- Ils ont aussi besoin d'un comburant pour brûler le combustible. Ce comburant est l'oxygène atmosphérique. Il intervient surtout lorsque l'individu effectue une activité de puissance sous maximale prolongée dont les sources d'énergie sont les nutriments.

La consommation d'oxygène ne peut jamais être nulle. Même dans les conditions de repos absolues, elle représente une valeur minimale, la dépense de fond ou métabolisme de base. Elle est de 0,25l environ chez l'adulte. Elle augmente ensuite proportionnellement à l'exercice jusqu'à une certaine valeur limite qui représente à la fois la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ max) et la puissance maximale aérobie (P.M.A.) (fig 1).

De ce fait la consommation maximale d'oxygène se définit comme le débit le plus élevé d'oxygène qu'un sujet peut prélever et utiliser lors d'un exercice musculaire généralisé et intense conduisant à l'épuisement. Elle représente le critère le plus utilisé pour estimer l'aptitude physique. Elle est, en effet le reflet des possibilités optimales du système de transfert des

Fig. 1 : Augmentation progressive de la consommation d'oxygène en fonction de la puissance de l'exercice



A partir d'une certaine puissance, fonction de l'aptitude du sujet, la consommation d'oxygène plafonne: c'est le $\dot{V}O_2 \text{ max}$

substrats et des déchets entre les territoires de réserves ou les échangeurs (poumons, tube digestif...) et la cellule musculaire (32). La consommation d'oxygène est donc un bon indice de la possibilité qu'a un sportif d'effectuer un exercice musculaire de longue durée (football, basket-ball, volley-ball, 10 000 mètres marathon, course de cyclisme par exemple) (19).

II.- METHODES DE MESURE DE LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE

Il existe deux méthodes de mesure de la consommation maximale d'oxygène. Ce sont la méthode directe et la méthode indirecte, chacune ayant ses avantages et ses inconvénients.

A.- Détermination du $\dot{V}O_2$ max au Laboratoire

1.- Mesure du $\dot{V}O_2$ max par la méthode directe

Cette méthode ne peut se pratiquer qu'au laboratoire car nécessitant un matériel élaboré, comprenant un ergomètre et un appareil permettant la mesure de la consommation d'oxygène en circuit fermé ou ouvert. D'autre part, comme il s'agit toujours d'épreuves maximales, des incidents cardiaques sont possibles et rendent nécessaire de pratiquer ce test dans un "plateau technique" approprié, pourvu d'un dispositif de "réanimation" léger mais indispensable.

a)- Dispositif de mesure du $\dot{V}O_2$ max en circuit fermé (21)

Cette technique classique a été mise au point et utilisée depuis longtemps. La méthode en circuit fermé offre l'avantage de ne pas nécessiter de mesure chimique de gaz, mais une simple mesure de volume. Ce qui supprime les causes d'erreurs. Le sujet respire dans un spiropgraphe rempli d'oxygène pur. Comme le circuit interne de l'appareil comprend un filtre à

chaux sodée (ou potasse) qui absorbe le CO_2 produit par la respiration, le volume expiré ne représente plus que celui de l'oxygène non utilisé, et il est donc un peu plus petit que le volume inspiré.

b)- Dispositif de mesure du $\dot{V}\text{O}_2$ max en circuit ouvert (21)

Cette méthode consiste à faire inspirer le sujet à l'air libre (dont la composition en oxygène est fixe et connue), et à le faire expirer dans un sac de caoutchouc de 100 Litres (sac de Douglas) préalablement vide, et qui se remplit donc de gaz respiratoire. Un prélèvement d'échantillon permet une analyse des fractions d' O_2 et de CO_2 dans cet air expiré (FEO_2 et FECO_2) et le calcul du $\dot{V}\text{O}_2$ max.

Une autre variante de cette méthode consiste à inclure une chaîne de mesure automatique d' O_2 et de CO_2 dans la partie expiratoire de ce circuit ouvert. Relativement plus confortable pour le sujet, cette méthodologie en circuit ouvert nécessite un dispositif plus ou moins sophistiqué, et qui présente cependant plus de risque d'erreur.

La méthode directe nécessite donc un matériel coûteux (analyseurs de gaz CO_2 et O_2). Elle n'est pas aussi dénuée de danger, car parmi les critères d'atteinte du $\dot{V}\text{O}_2$ max figurent l'atteinte de la fréquence cardiaque maximale et l'extrême fatigue du sujet. Pour toutes ces raisons, les chercheurs de laboratoire et de terrain ont mis au point des techniques indirectes, pas aussi précises, mais facilement productibles car sans danger et nécessitant des moyens à la portée de n'importe quel laboratoire de physiologie. Sans pour autant être des tests miracles, ils peuvent valablement approcher la condition physique du sujet.

2.- Mesure du $\dot{V}O_2$ max par la méthode indirecte

a) Quelques principes de base de la mesure du $\dot{V}O_2$ max par la méthode indirecte

Il est nécessaire de recourir, pour l'expliquer, au rappel de quelques notions physiologiques de base.

- le débit cardiaque, Q_c , est le produit du volume d'éjection systolique VES par la fréquence cardiaque f_c : $Q_c = V_{ES} \times f_c$

- A l'exercice musculaire, le Q_c qui est de l'ordre de 5 litres par minute au repos chez l'adulte, augmente et peut atteindre 5 fois sa valeur basale soit 25 litres. Cette augmentation est linéairement proportionnelle, jusqu'à une certaine limite, et principalement due à l'augmentation de la fréquence cardiaque. Celle-ci plus basse au repos chez le sportif entraîné que chez l'adulte sédentaire, peut être de l'ordre de 50 b.mn^{-1} . Si la fréquence est portée à 200 b.mn^{-1} , le facteur de multiplication est de 4. Mais le volume d'éjection systolique est augmenté au maximum de 25%. Le facteur de multiplication devient donc $4 \times 1,25 = 5$, dans lequel l'augmentation de la fréquence est le facteur majeur.

Il existe d'ailleurs une certaine limite supérieure à ne pas dépasser, et au-delà de laquelle l'augmentation du débit cardiaque ne sera plus linéaire à celle de la fréquence, c'est la fréquence cardiaque maximale efficace théorique, donnée par la formule empirique d'ASTRAND : $220 - \text{âge du sujet en années}$, soit 200 b.mn^{-1} pour un sujet de 20 ans et 180 b.mn^{-1} pour un sujet de 40 ans.

- La consommation d'oxygène augmente par ailleurs en fonction de la puissance dégagée, comme on l'a déjà évoqué plus haut, et de manière linéaire jusqu'à une certaine limite.

- l'augmentation du $\dot{V}O_2$ max est proportionnelle à la puissance de l'exercice et aussi l'augmentation du Qc proportionnelle à la puissance de l'exercice. On en conclut que l'augmentation du $\dot{V}O_2$ max est linéairement proportionnelle à l'augmentation du Qc.

- de la même manière, comme l'augmentation de la fc, principal facteur d'augmentation du Qc, est linéaire par rapport à la puissance de l'exercice musculaire, il en résulte que l'augmentation de la fréquence cardiaque est proportionnelle à celle du $\dot{V}O_2$ max.

Tenant compte de la proportionnalité qui existe entre la fréquence cardiaque et le $\dot{V}O_2$ max et la puissance et le $\dot{V}O_2$ max cette mesure indirecte peut s'effectuer au laboratoire ou sur le terrain car la possibilité de la prise de la fréquence cardiaque est possible dans les deux cas. Mais il semble préférable d'adopter celle dont l'exercice se rapproche le plus de la forme d'activité sportive du sujet à tester. C'est ainsi que nous avons utilisé la bicyclette ergométrique pour évaluer le $\dot{V}O_2$ max de nos sujets.

b)- Mesure du $\dot{V}O_2$ max par la méthode indirecte

Les tests du $\dot{V}O_2$ max indirect au laboratoire peuvent être maximaux ou submaximaux. le test de HARTUNG et Mc MILLEN (22) que nous avons utilisé est maximal. Il sera décrit dans le protocole. Un exemple de test submaximal au laboratoire est celui d'ASTRAND et RYHMING (21).

c) Test d'ASTRAND et RYHMING

Le sujet doit réaliser un exercice sous maximal sur bicyclette ergométrique à une puissance devant élever normalement la fréquence cardiaque aux environs de 150 b.mn^{-1} . Le protocole

du test lui-même consiste à faire effectuer un effort à puissance constante pendant six minutes sur cycloergomètre, et à prendre en compte la fréquence cardiaque dans les quinze dernières secondes de chaque minute. L'effort doit être suffisant pour amener la fréquence cardiaque entre 140 et 160 b.mn^{-1} et ceci de façon stable à la fin du test, de telle façon qu'il n'y ait pas de différence supérieure à cinq battements entre les mesures de fréquence des deux dernières minutes de l'épreuve. La charge de départ est habituellement de deux watts par kilo de poids corporel avec une fréquence de pédalage fixe (autour de 60 cycles par minute). A la fin de la troisième minute, le réglage de la puissance n'est pas modifié si la fréquence cardiaque est dans l'intervalle souhaité (140-160 b.mn^{-1}) par contre, la charge affichée est modifiée de 50 watts en plus ou en moins si la fréquence cardiaque est inférieure à 140 ou supérieure à 160 b.mn^{-1} . Connaissant la fréquence cardiaque et la puissance correspondante, il suffit de reporter ces valeurs sur le nomogramme d'ASTRAND et RYHMING de tirer une droite et de lire sur l'échelle correspondante la valeur de la consommation maximale d'oxygène théorique (fig.2). Il est préférable d'effectuer une correction en fonction de l'âge en appliquant à la valeur estimée un coefficient proposé par ASTRAND (1,10 à 15 ans jusqu'à 0,65 à 65 ans).

B.- Mesure du $\dot{V}O_2$ max sur le terrain

Cette mesure est possible grâce à la proportionnalité qui existe entre la fréquence cardiaque et le $\dot{V}O_2$ max les tests de $\dot{V}O_2$ max sur terrain sont toujours maximaux. L'épreuve progressive de course navette de 20 mètres de LEGER est l'exemple que nous avons choisi de développer mais il existe plusieurs autres tests sur terrain qui permettent de faire une mesure indirecte du $\dot{V}O_2$ max. C'est ainsi qu'on peut citer les tests de 12mn et de 2400 mètres de COOPER, l'épreuve progressive de LEGER et BOUCHER (21)

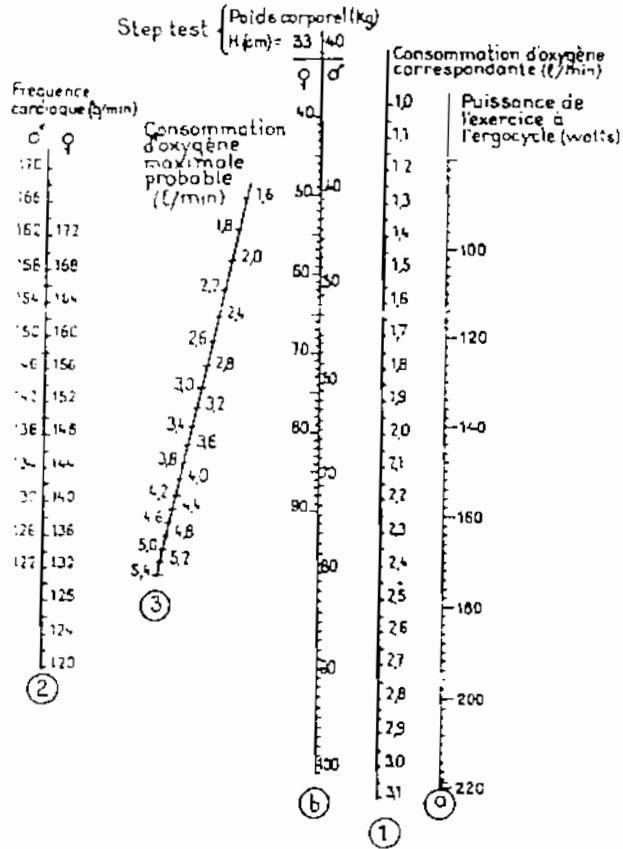


FIGURE 2

: Test d'ASTRAND et RYHMING

On procède successivement aux opérations suivantes :

- indiquer la puissance développée en portant un point sur l'échelle a (ergocyclomètre) ou b (step-test ; homme ou femme),
- tirer un trait horizontal partant de ce point sur l'échelle 1 : on a la valeur de la $\dot{V}O_2$ pour cet exercice,
- indiquer la fréquence cardiaque correspondante et mesurée, en portant un point sur l'échelle 2, homme ou femme,
- tirer une droite entre le point déterminé sur l'échelle 1 et sur l'échelle 2,
- l'intersection avec l'échelle 3 donne la valeur de la $\dot{V}O_2$ max probable.

Remarque :

- a) si l'on mesure 2 valeurs de fréquence pour 2 paliers de 50 et 100 W, les droites de construction se recoupent généralement assez bien sur l'échelle 3,
- b) le nomogramme original d'ASTRAND et RYHMING (1954), souvent reproduit, indique des puissances en Kgm.min. 1 Kgm.min = 0,163 W et 1 W = 6,12 Kgm.min. Celui-ci est corrigé en W (modifié d'après MONOD et FLANDROIS, Physiologie du Sport, Masson éd., Paris, 1985).

Epreuve progressive de course navette de 20 Mètres (LEGER,1981)

Il s'agit d'une épreuve progressive, mais ne nécessitant qu'un terrain beaucoup plus petit (gymnase ou cours de récréation) sur laquelle sont tracé 2 lignes parallèles distantes de 20 mètres. Il s'agit d'effectuer une série d'aller-retour, en bloquant chaque fois un pied derrière une de ces deux lignes, et à un rythme de course progressivement croissant et imposé par une cassette.

Les vitesses sont de 8 à 18,5 km.h⁻¹ par paliers. Ce test nécessite un matériel simple : un magnétophone, une cassette, un terrain. Avec la vitesse, il suffit de lire sur le tableau de correspondance pour avoir la consommation d'oxygène du sujet.

III.- Variations physiologiques du $\dot{V}O_2$ max

La consommation maximale d'oxygène augmente avec l'âge jusqu'à vingt ans où elle atteint sa valeur maximale (17). Au-delà de cet âge, elle se réduit progressivement pour atteindre à 60 ans environ 70% de la valeur mesurée à 25 ans (25). En dessous de 12 ans, la consommation maximale d'oxygène est presque la même chez les filles et chez les garçons. Au-delà de cet âge, l'augmentation de $\dot{V}O_2$ max est un peu plus stable chez les hommes parce que chez les femmes, il y a une augmentation de la masse grasseuse (25).

Le $\dot{V}O_2$ max a la même valeur chez des jumeaux homozygotes, d'où l'importance de l'hérédité dans cette qualité (25). La consommation maximale d'oxygène dépend pour 75% de l'hérédité. Elle peut être modifiée par l'entraînement.

La consommation maximale d'oxygène est plus élevée chez la race blanche. Chez l'homme blanc normal de 20 à 30 ans elle atteint environ $50 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$ (9,25). Chez les mélando-africains, une valeur entre 40 et $47 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$ a été rapportée par différents auteurs : Davies et col. (1972) situent leur valeur moyenne à $45 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$. Des valeurs plus faibles proches de $40 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$ sont rapportées chez des étudiants zaïrois et des valeurs légèrement plus élevées de $49 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$ chez des ouvriers agricoles noirs américains qui font chaque jour un travail musculaire (25). Ces variations de la puissance aérobie entre les populations noires sont relativement faibles et résultent de différences de mode de vie des sujets examinés (25). Les africains ont le plus faible $\dot{V}O_2$ max des différents groupes raciaux qu'ils ont étudiés. Toutes ces valeurs ont été confirmées par FALL et PIRNAY (31) chez des étudiants mélando-africains homogènes quant au degré de sédentarité, leur valeur moyenne est de $47 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$.

La consommation maximale d'oxygène dépend de l'environnement dans lequel se trouve l'individu. Lorsqu'on détermine au laboratoire le $\dot{V}O_2$ max, on constate une diminution proportionnelle à l'altitude.

Toutefois, la relation n'est pas simple et si la baisse est faible aux altitudes modérées, elle s'accroît progressivement pour les hautes altitudes. Cette diminution progressive du $\dot{V}O_2$ max est fonction de l'augmentation progressive de l'hypoxie (13). La chute est en moyenne de 10% par kilomètre au-delà de 2000m. A 4000 m, l'amputation de la capacité aérobie est de 25% environ, à 5500m elle atteint 50% et à 8848m elle dépasse 75%.

Les températures ambiantes élevées peuvent aussi altérer la consommation d'oxygène. Cette altération est du fait de la thermorégulation qui empêche aux muscles de recevoir la quantité de sang nécessaire pour le transport de l'oxygène. Une

partie du sang étant déviée vers les organes thermorégulateurs comme la peau (5).

Les relations entre le $\dot{V}O_2$ max et les caractéristiques biométriques ont été étudiées, et le $\dot{V}O_2$ max est prédictible à partir de l'âge, de la taille et du poids. Toutefois la relation entre $\dot{V}O_2$ max et poids est différente pour les enfants, selon qu'ils sont sédentaires ou sportifs (25). Chez les sédentaires le $\dot{V}O_2$ max augmente plus lentement que le poids, alors que chez les sportifs l'augmentation de $\dot{V}O_2$ Max est proportionnelle à celle du poids pendant l'enfance et l'adolescence.

La consommation d'oxygène représente le critère le plus utilisé pour estimer l'aptitude physique. Sa valeur dépend notamment de l'âge, du sexe, de la race, de l'environnement (variations physiologiques) et du degré d'entraînement physique de l'individu.

IV.- Valeurs du $\dot{V}O_2$ max

Le $\dot{V}O_2$ max est exprimé en $ml.kg^{-1}.mn^{-1}$. La logique veut qu'on le rapporte au poids corporel pour faciliter la comparaison de consommation maximale d'oxygène de deux sujets quelque soit leurs poids.

Selon l'entraînement et la forme du sujet, il est possible de fixer quelques valeurs de référence de la puissance maximale aérobie. La population moyenne adulte non sportive (sujets "tout venant") peut développer une puissance maximale aérobie (PMA) de 150 à 200 watts (21). Un sportif amateur en bonne forme peut assurer 250 watts environ. Un sportif bien entraîné 300 à 350 watts, et pour la classe nationale ou internationale, une P.M.A de 350 à 450 watts.

Ces valeurs sont beaucoup plus basses que celles du métabolisme anaérobie alactique (1500 à 2000 watts) et lactique (800 à 1000 watts). Mais il s'agit d'efforts d'endurance, c'est-à-dire que le sujet peut continuer plusieurs heures, tout en restant en état d'équilibre cardiaque, circulatoire et respiratoire quitte à accumuler de fortes quantités de lactates. Et puisqu'il s'agit de mesurer la capacité aérobie en "endurance" pour les efforts prolongés plusieurs heures, il n'est pas étonnant que ce soit pour des sports de fond qu'on trouve les $\dot{V}O_2$ max les plus importants, de l'ordre de 70 à 80 ml.kg⁻¹mn⁻¹ et même plus. Le tableau n° 1 construit par DUNCAN et coll en 1988 à la suite d'études faites sur des athlètes de niveau international donne les valeurs de $\dot{V}O_2$ max dans quelques disciplines sportives.

V.- Les effets de l'entraînement sur le $\dot{V}O_2$ max

L'entraînement peut améliorer le $\dot{V}O_2$ max. L'accroissement atteint en général 15 à 20% (5). Cependant chez les sédentaires, la consommation maximale d'oxygène peut augmenter de 40% et chez le sportif de 10%. La consommation maximale d'oxygène varie peu chez les athlètes de fond et de 1/2 fond qui s'adonnent depuis plusieurs années à une activité physique bien intense (2,25).

HICKSON R.C et ROSENKOETTEN ont montré qu'un entraînement de 40 mn par jour, 2 fois par semaine, suffit à préserver le $\dot{V}O_2$ max, au moins pendant 15 semaines. Et CULLIANE E.M. et coll (1986) ont montré que le $\dot{V}O_2$ max reste le même après 10 jours d'inactivité complète.

PEDERSEN P.K. et JORGENSEN K. (1978) ont montré que le bénéfice d'un entraînement qui a élevé le $\dot{V}O_2$ max de 10 à 14% est complètement effacé par 7 semaines d'inactivité qui ont suivi.

SPORTS	$\dot{V}O_{2\max}$ ml.kg ⁻¹ mn ⁻¹	
	Sexe masculin	Sexe Féminin
Ski Nordique	65 - 95	56 - 74
Course de moyenne distance	70 - 86	
Course d'endurance	65 - 80	57 - 72
Aviron	58 - 74	48 - 68
Cyclisme	56 - 72	
Natation	54 - 70	48 - 68
Patinage Artistique		42 - 54
Lutte	50 - 70	
Gymnastique	48 - 74	38 - 48
Basket	45 - 65	
Football	40 - 60	
Athlètes non entraînés	38 - 52	30 - 46

Tableau 1 Valeurs de $\dot{V}O_{2\max}$ de certains sportifs et d'athlètes non entraînés.

Nous constatons que les cyclistes arrivent en 5ème position dans cette classification quant à l'importance du $\dot{V}O_{2\max}$ (19)

Si on veut travailler des heures, on ne peut maintenir la puissance maximale aérobie, on est obligé de développer une puissance inférieure : c'est la capacité aérobie.

La capacité aérobie est le plus grand pourcentage du $\dot{V}O_2$ max que l'individu peut utiliser lors d'un travail d'endurance (fig;3). Un sujet entraîné pourra maintenir pendant une heure un travail qui nécessite 80% du $\dot{V}O_2$ max tandis qu'un sujet non entraîné ne peut maintenir que 50% du $\dot{V}O_2$ max.

L'entraînement peut améliorer la capacité aérobie mais cette amélioration de la capacité aérobie entraîne en même temps une amélioration du $\dot{V}O_2$ max (fig 4).

Pour augmenter le $\dot{V}O_2$ max, il faut à chaque année et chaque mois faire des efforts qui se situent entre 60 et 70% de son maximum.

VI.- Classification physiologique des athlètes selon le $\dot{V}O_2$ max (14)

Les physiologistes ont procédé à une classification des athlètes d'une façon croissante en partant des médiocres vers ceux qui ont une excellente consommation maximale d'oxygène (tableau 2).

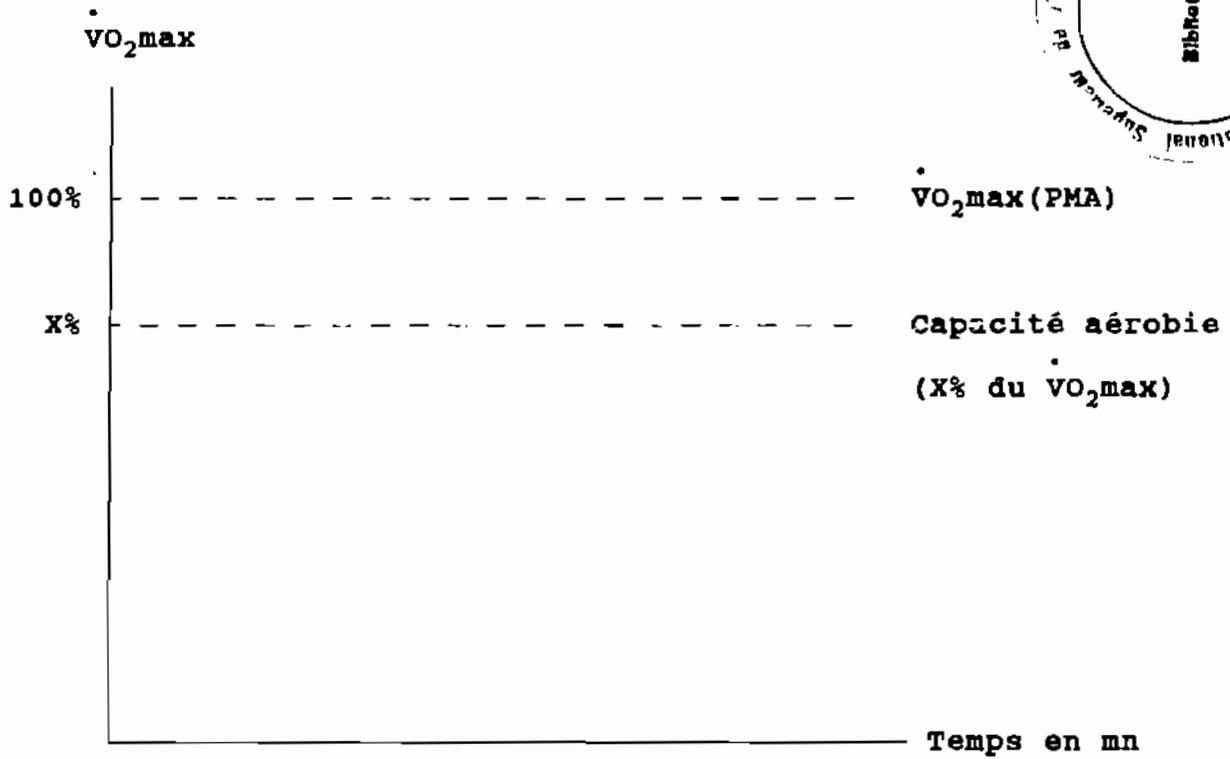


Fig. 3 $\dot{V}O_2\text{max}$ (Puissance maximale aérobie) et capacité aérobie. La capacité aérobie est inférieure au $\dot{V}O_2\text{max}$. Elle représente les possibilités du sujet à soutenir un exercice le plus longtemps possible en parfaite aisance cardiaque et respiratoire.

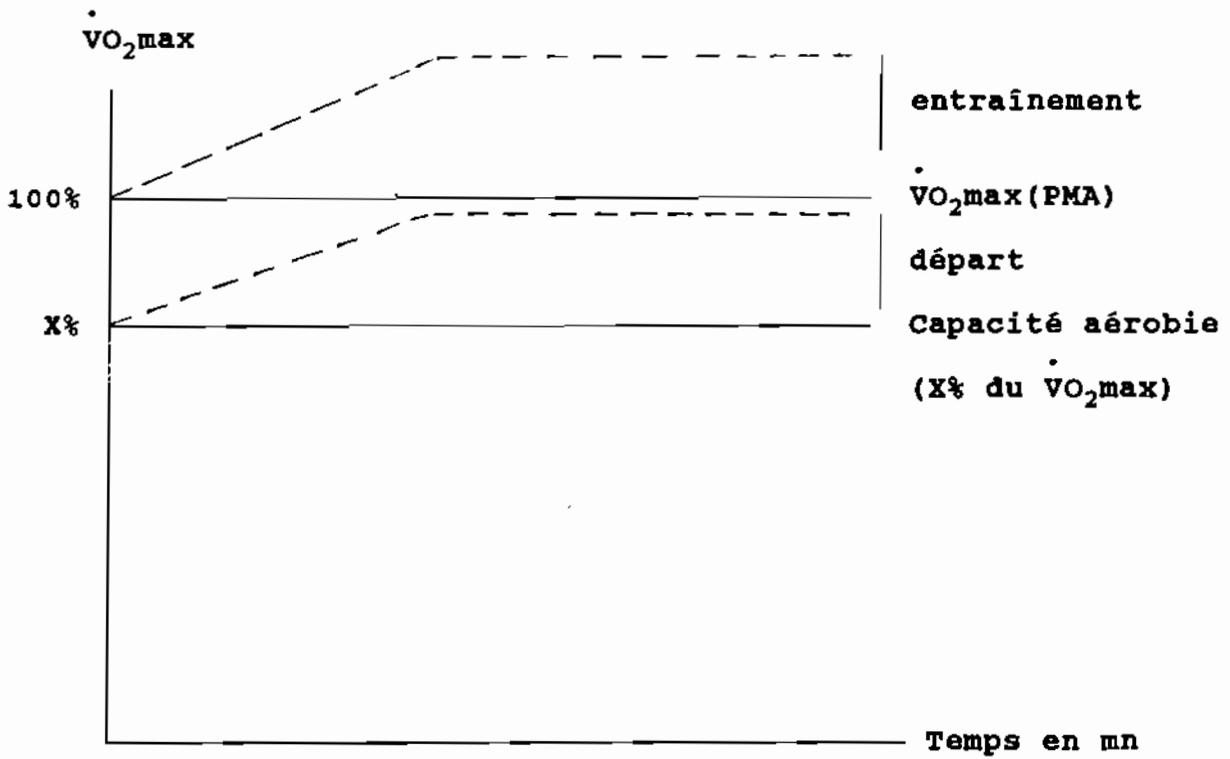


Fig. 4 Effet de l'entraînement sur la puissance aérobie maximale (PMA) et sur la capacité aérobie. L'entraînement améliore ces 2 grandeurs. La capacité aérobie peut atteindre les valeurs du $\dot{V}O_2\text{max}$ ou PMA avant le début de la mise en condition physique.

$\dot{V}O_2$ max ml.kg ⁻¹ mn ⁻¹	Qualité de l'athlète
20	très médiocre
30 - 35	médiocre
35 - 40	moyen inférieur
40 - 45	moyen supérieur
45 - 55	bon
55 - 60	très bon
65	Excellent

Tableau 2: Classification physiologique des athlètes selon le $\dot{V}O_2$ max (12).

Chapitre 2

MATERIEL ET METHODE

I.- LES SUJETS

a)- Anthropométrie

Quinze (15) cyclistes nous avaient permis de faire cette recherche. L'âge moyen et le poids moyen de l'échantillon étaient respectivement de 23,4 ans et 64,07 kg. Ces cyclistes ont toujours vécu au Sénégal et étaient parfaitement adaptés au climat tropical. Ils avaient subi une visite médicale approfondie en début de saison confirmant leur aptitude à supporter l'épreuve d'évaluation du $\dot{V}O_2$ max, et aussi participer à une course de longue durée.

b)- Niveau d'entraînement

La durée de pratique moyenne des cyclistes est de 5 ans. Ils avaient déjà repris les entraînements pour la présente saison depuis huit mois. Ils avaient participé à toutes les compétitions organisées par la Fédération Sénégalaise de Cyclisme et par la Ligue de Dakar au cours de la saison 1990-1991. Les sujets s'entraînaient au maximum 4 fois par semaine à raison de 60 kms par séance. Certains d'entre eux étaient assistés d'un entraîneur tandis que d'autres s'entraînaient seuls.

c)- Matériel utilisé

Nous avons utilisé le matériel suivant :

- un pèse-personne pour déterminer le poids des athlètes
- un tensiomètre à mercure pour relever la pression artérielle
- un chronomètre pour l'évaluation de la fréquence cardiaque au repos
- une bicyclette ergométrique électronique qui permet d'effectuer des tests d'efforts physiques au laboratoire. La bicyclette possède une selle réglable en fonction de la taille de l'individu pour lui permettre de pédaler aisément.

Entre les deux appuis se trouve une boîte avec un écran sur lequel figure des touches. Une simple manipulation de ces dernières permet d'appliquer au sujet une charge de travail pendant un temps donné. Des branchements peuvent relier directement le sujet à un fréquencemètre.

II.- PROTOCOLE

a)- Précautions

Les sujets étaient tenus de ne pas fumer une heure avant le début du test. Nous leur avons aussi demandé de ne pas effectuer un effort physique le jour de l'évaluation du $\dot{V}O_2$ max. La salle était bien aérée, portes et fenêtres étaient grandes ouvertes.

La température de la salle était la même que celle qui régnait à l'extérieur. Elle était de l'ordre de 28°C. L'humidité de l'air ambiant était de 65%.

Au bout de 15mn de repos, nous prenions la fréquence cardiaque, la pression artérielle et le poids. Le sujet pouvait alors monter sur la bicyclette pour l'épreuve proprement dite.

b)- Déroulement du protocole

Le protocole comporte deux volets :

- une épreuve sur bicyclette ergométrique au laboratoire pour l'évaluation du $\dot{V}O_2$ max.
- une course cycliste sur route.

1. Evaluation du $\dot{V}O_2$ max

Nous avons mesuré le $\dot{V}O_2$ max par la méthode indirecte de HARTUNG, R. et Mc MILLEN établie en 1978 (22). C'est un test progressif au cours duquel le sujet pédale jusqu'à épuisement. Ce test comprend 12 paliers de 2mn chacun. La puissance à développer varie de 140 à 560 watts. A 10 secondes de chaque fin de palier, la puissance et la fréquence cardiaque sont relevées.

Une fois que le sujet est épuisé, il s'arrête et les valeurs obtenues sont maximales. Le $\dot{V}O_2$ max requis est estimé à l'aide du palier atteint, de la puissance développée et du poids du sujet (tableau 3).

2. Résultats de la course sur route

Il s'agissait d'une compétition de 99 kms qui s'était déroulée à Dakar 3 jours après le test d'évaluation de la consommation maximale d'oxygène au laboratoire. Les cyclistes avaient effectué le circuit suivant : Bourguiba-Sébikotane-Les Niayes (Sanghalcam)-Rufisque-Bourguiba. La température était de l'ordre de 30°C et le degré hygrométrique de 75%. A l'arrivée, le temps de chaque sujet a été enregistré avec l'aide des membres de la Fédération Sénégalaise de Cyclisme.

c)- Calculs statistiques

Tous les calculs statistiques avaient été faits sur micro-ordinateur I.B.M. avec logiciel tableur "Lotus 1-2-3".

La distribution de la population obéissant à une loi normale, nous avons utilisé la moyenne et l'écart-type. Pour étudier les types de relations entre les variables, nous avons procédé à des calculs de corrélations.

**TEST PROGRESSIF SUR BICYCLETTE ERGOMETRIQUE
POUR CYCLISTES ENTRAINEES
(HARTUNG ET Mc MILLEN 1979)**

TABLEAU 3.

Sujet Sexe Age Date
 Poids, kg Taille, cm Examineur
 Repos : Pulsations, bpm Pression, mm Hg (Syst./Diast), VO₂, L/min
 Rechauffement : 3 min à 50 rpm et 630 kpm/min (i. e. 1,75 kp)

Palier N°	Temps min	VO ₂	Requis, ml kg ⁻¹ mn ⁻¹					VO ₂ Puissance		Pulsations bpm
			Poids, kg	60	65	70	75	80	85	
1	2	33,0	30,4	28,3	26,4	24,7	23,3	1,98	140	
2	4	39,0	36,0	33,4	31,2	29,2	27,5	2,34	170	
3	6	50,3	46,4	43,1	40,2	37,7	35,5	3,02	227	
4	8	58,3	53,8	49,9	46,6	53,7	41,1	3,50	267	
5	10	66,2	61,1	56,8	53,0	49,7	46,8	3,97	307	
6	12	74,2	68,5	63,6	59,4	55,7	52,4	4,45	347	
7	14	82,2	75,9	70,5	65,8	61,6	58,0	4,93	387	
8	16	90,2	83,2	77,3	72,1	67,6	63,7	5,41	427	
9	18		90,6	84,1	78,5	63,6	69,3	5,89	467	
10	20			91,0	84,9	79,6	74,9	6,37	507	
11	22				91,3	85,6	80,6	6,85	547	
12	24					87,6	82,4	7,01	560	

REMARQUES :

** HARTUNG H., J. Mc MILLEN, Specificity of aerobic testing in competitive cyclists compared with runners.

Exercise Physiology, Book 4, Miami, p. 615-622, 1978.

Chapitre 3

RESULTATS ET COMMENTAIRES

I.- RESULTATS

La moyenne, l'écart-type et la variance de l'âge, du poids et de la durée de pratique de l'échantillon figurent dans le tableau 4, alors que ceux de la pression artérielle systolique, de la pression artérielle diastolique et de la fréquence cardiaque au repos sont présentés dans le tableau 5.

La moyenne, l'écart-type, la variance de la fréquence cardiaque maximale réelle et théorique, de la puissance maximale développée, de la consommation maximale d'oxygène, du temps réalisé à l'arrivée de la course apparaissent au tableau 6.

Le tableau 7 renferme les valeurs individuelles des grandeurs suivantes :

- fréquence cardiaque maximale réelle
- fréquence cardiaque maximale théorique
- puissance maximale développée
- consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ max)
- temps réalisé lors de la course.

Dans le tableau 8 sont consignés le rang de chaque coureur à l'arrivée et les valeurs individuelles du temps et du $\dot{V}O_2$ max.

Le tableau 9 laisse apparaître les coefficients de corrélation entre le $\dot{V}O_2$ max et les grandeurs suivantes : puissance développée, fréquence cardiaque maximale réelle et le temps réalisé lors de la course.

Enfin le tableau 10 montre la valeur du coefficient de corrélation entre le rang des coureurs selon le $\dot{V}O_2$ max et le

rang des coureurs selon le temps réalisé à l'arrivée de la course.

II.- COMMENTAIRES

A.- GRANDEURS CARDIO-CIRCULATOIRES AU REPOS

1.- Fréquence cardiaque au repos (F_0) (tableau 5)

La moyenne de l'échantillon est de $57,93 \text{ b.mn}^{-1}$. Cette valeur est largement inférieure à celle d'un homme sédentaire qui se situe entre 70 et 80 b.mn^{-1} .

2.- Pression artérielle systolique moyenne et la pression artérielle diastolique moyenne sont respectivement de $11,87 \text{ cm.Hg}$ et $7,2 \text{ cm.Hg}$. Ces valeurs sont normales.

B.- VALEURS CARDIO-CIRCULATOIRES ET RESPIRATOIRES A L'EFFORT MAXIMAL

1. Fréquence cardiaque maximale réelle (tableau 6)

Elle est en moyenne de $191,47 \text{ b.mn}^{-1}$ non loin de celle de la fréquence cardiaque maximale théorique qui est de l'ordre de $196,6 \text{ b.mn}^{-1}$.

2. Puissance maximale développée (tableau 6).

Elle a été de $206,86$ watts en moyenne. Cette valeur correspond au troisième palier. Un seul parmi les cyclistes a atteint le quatrième palier correspondant à une puissance de 267 watts.

3. Consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) (tableau 6).

La valeur moyenne est de $41,33 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$. Un seul parmi les coureurs a atteint une consommation maximale d'oxygène de $46,6 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$, la plus faible valeur étant de $36 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$.

4. Temps réalisé lors de la course sur route (tableau 6)

Le temps moyen mis pour parcourir la distance de 99 km est de 2H 38mn 1s, soit une vitesse moyenne de 38 km/h.

C.- $\dot{V}O_2$ MAX ET RANG DE CHAQUE COUREUR (tableau 8)

Sur ce tableau, nous avons noté le $\dot{V}O_2$ max des sujets, le temps réalisé lors de la course sur route et le rang occupé par chaque coureur à l'arrivée. Nous constatons que le premier de la course a le meilleur $\dot{V}O_2$ max. il a devancé le dernier de la course de 10 mn. Et aussi, le $\dot{V}O_2$ max du premier de la course est plus élevé que celui du dernier de 6,4 ml.kg⁻¹mn⁻¹.

Il est à noter que le dernier de la course a pourtant le 8è meilleur $\dot{V}O_2$ max. Et le dernier en $\dot{V}O_2$ max est arrivé 5ème de la course.

Nous constatons aussi que le 13ème de la course a le 3ème meilleur $\dot{V}O_2$ max tandis que le 3ème de la course est 2ème en $\dot{V}O_2$ max.

D.- CORRELATION ENTRE $\dot{V}O_2$ MAX ET CERTAINES GRANDEURS

1. Entre $\dot{V}O_2$ max et puissance développée (tableau 8).

Le coefficient de corrélation est positif et presque parfait. Il est de l'ordre de .91.

2. Entre $\dot{V}O_2$ max et fréquence cardiaque maximale réelle

(tableau 8). Il n'existe aucune liaison significative entre les deux. Le coefficient de corrélation est de l'ordre de .30.

3. Entre $\dot{V}O_2$ max et temps mis (tableau 9)

Le coefficient de corrélation est de l'ordre de $-.19$. Il est négatif et faible.

4. Entre rang des coureurs selon $\dot{V}O_2$ max et rang selon la performance (temps) (tableau 10).

Le coefficient de corrélation est positif et faible. Il est de $r = .26$.

VARIABLES	MOYENNE	ECART-TYPE	VARIANCE
AGE (Années)	23,4	3,30	10,91
POIDS (kg)	64,07	5,98	35,80
DUREE DE PRATIQUE (Années)	5,53	2,53	6,38

TABLEAU 4 Moyenne, Ecart-type et variance de l'âge, du poids et de la durée de pratique de l'échantillon.

VARIABLES	MOYENNE	ECART-TYPE	VARIANCE
PRESSION ARTERIELLE SYSTOLIQUE cm.Hg	11,87	1,31	1,72
PRESSION ARTERIELLE DIASLOTIQUE cm.Hg	7,20	0,75	0,56
FREQUENCE CARDIAQUE AU REPOS b.mn.-1	57,93	8,41	70,73

TABLEAU 5 Moyenne, Ecart-type et variance de la pression artérielle systolique de la pression artérielle diastolique et de la fréquence cardiaque au repos de l'échantillon.

VARIABLES					
	Fréquence cardia- que maximale rée- le $b.mn^{-1}$	Fréquence cardia- que maximale théorique $b.mn^{-1}$	Puissance veloppée (watts)	Consommation maximale d'o- xygène $ml.kg^{-1}.mn^{-1}$	Temps réalisé (sec.)
MOYENNE	191,47	196,60	206,86	41,33	2H 38 mn1s
ECART-TYPE	9,05	3,30	31,63	2,91	11H 8mn31s
VARIANCE	81,98	10,91	1000,91	8,48	3mn 20s

TABLEAU 6 Moyenne, Ecart-type et variance de la fréquence cardiaque maximale réelle, de la fréquence cardiaque maximale théorique, de la puissance développée lors du test d'évaluation, de la consommation maximale d'oxygène. On y relève dans la dernière colonne à droite, le temps réalisé lors de la course sur route.

Sujets N = 15	Fréquence cardiaque maximale réelle b.mn ⁻¹	Fréquence cardiaque maximale théorique b.mn ⁻¹	Puissance maxi- male développée watts	consomat ² maximale d'oxygène ml.kg. ⁻¹ mn ⁻¹	Temps réa- lisé (sec.)
1	193	197	267	46,6	9372
2	194	196	227	43,1	9388
3	163	190	170	39	9389
4	194	199	170	39	9389
5	195	199	227	40,2	9991
6	200	202	227	43,1	9389
7	190	189	170	39	9389
8	179	197	170	39	9389
9	193	197	170	39	9389
10	198	198	227	43,1	9385
11	200	198	227	43,1	9657
12	196	197	170	39	9933
13	191	197	227	43,1	9389
14	190	194	227	46,4	9387
15	196	194	227	40,2	9389

TABLEAU 7 : Grandeurs cardio-respiratoires et physiques à l'effort maximal (fréquence cardiaque maximale réelle, fréquence cardiaque maximale théorique, $\dot{V}O_2$ max et puissance maximale développée) et le temps de la course sur route pour chacun des coureurs. Ces valeurs ont été mesurées le matin entre 8 heures et 12 heures.

Sujet n = 15	RANG DES COUREURS A L'ARRIVEE	TEMPS REALISE LORS DE LA COURSE	CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE DES COUREURS $\text{ml.kg}^{-1}.\text{mn}^{-1}$
1	1	2H 36mn 12s	46,6
2	4	2H 36mn 28s	43,1
3	5	2H 36mn 29s	39,0
4	5	2H 36mn 29s	39,0
5	15	2H 36mn 29s	40,2
6	5	2H 46mn 31s	43,1
7	5	2H 36mn 29s	39,0
8	5	2H 36mn 29s	39,0
9	5	2H 36mn 29s	36,0
10	2	2H 36mn 29s	43,1
11	13	2H 40mn 57s	43,1
12	14	2H 45mn 33s	39,0
13	5	2H 36mn 29s	43,1
14	3	2H 36mn 27s	46,4
15	5	2H 36mn 29s	40,2

Tableau 8 Rang, temps réalisé lors de la course et consommation maximale d'oxygène de chacun des sujets.

Le premier de la course a le meilleur $\dot{V}O_2$ max. Il a devancé le dernier (15ème) de la course de dix minutes. Son $\dot{V}O_2$ max est plus élevé que celui du dernier de 6,4 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{mn}^{-1}$ mais le dernier (15è) de la course a pourtant le 8ème meilleur $\dot{V}O_2$ max. Le coureur qui a le $\dot{V}O_2$ max le plus faible est arrivé 5è lors de la course. Le 13ème de la course a le 3ème meilleur $\dot{V}O_2$ max

	VARIABLES CORRELEES		
	$\dot{V}O_2$ max et puissance développée	$\dot{V}O_2$ max et fréquence cardiaque maximale réelle	$\dot{V}O_2$ max et temps réalisé lors de la course sur route
Coefficients de corrélation	.91	.30	-.19

Tableau 9 Corrélation entre le $\dot{V}O_2$ max et les variables suivantes :

- puissance maximale développée
- fréquence cardiaque maximale réelle
- temps réalisé lors de la course sur route

Seule la corrélation $\dot{V}O_2$ max-Puissance développée est significative.

Sujets n=15	Rang des Coureurs selon le $\dot{V}O_2$ max	Rang des coureurs selon le temps réalisé lors de la course
1	1	1
2	3	4
3	10	5
4	10	5
5	8	15
6	3	5
7	10	5
8	10	5
9	15	5
10	3	2
11	3	13
12	10	14
13	3	5
14	2	3
15	8	5
Coefficient de corrélation		r = .26

Tableau 10 Après avoir mesuré le $\dot{V}O_2$ max des coureurs au labo, nous avons procédé à une classification de ces derniers . C'est ainsi que chacun occupe un rang selon le $\dot{V}O_2$ max. Exemple : celui qui a le plus petit $\dot{V}O_2$ max est le 15ème en $\dot{V}O_2$ max (les sujets sont 15).

lors de la course sur route, nous avons enregistré le temps des coureurs à l'arrivé et nous avons classé ces derniers selon le temps. C'est ainsi que chaque coureur occupe un rang. Exemples : le coureur qui a fait le temps le moins important est premier de la course tandis que le dernier de la course est celui qui a fait le temps le plus grand.

Et enfin nous avons fait la corrélation Rang des coureurs selon le $\dot{V}O_2$ max-Rang des coureurs selon le temps réalisé lors de la course. Nous avons trouvé r = .26.

Chapitre 4

DISCUSSION

I.- CRITIQUE DE LA METHODE

A la fin de notre expérimentation, nous sommes rendus compte que certaines précautions supplémentaires concernant les sujets d'étude et le test d'évaluation du $\dot{V}O_2$ max auraient dû être prises afin de rendre le travail encore plus rigoureux.

A.- Les Sujets

Il était souhaitable d'avoir des sujets appartenant au même club pour contrôler de façon plus précise les variables entraînement, technique et tactique de course. Cependant, nous avons voulu tester l'élite du cyclisme sénégalais. C'est la raisons pour laquelle nous étions obligés de solliciter les meilleurs dans chaque club. L'élite d'une équipe n'aurait pas fait l'effectif.

B.- Le test d'évaluation de la consommation maximale d'oxygène

Nos sujets ont été surestimés parce que provenant de l'élite de notre cyclisme. Nous avons utilisé un test sur bicyclette ergométrique réservé aux cyclistes entraînés.

Nous nous sommes rendus compte que ce test ne leur permettait pas de pédaler pendant longtemps. Ils se sont presque tous arrêtés au 3ème palier correspondant à 6 minutes de travail. Mais, néanmoins il nous a permis d'évaluer leur $\dot{V}O_2$ max.

II.- NIVEAU D'ENTRAINEMENT DES SUJETS ETUDIES

Les grandeurs cardio-circulatoires et respiratoires au repos et à l'effort permettent d'apprécier le niveau d'entraînement des sujets qui constituent notre échantillon. Nous ne sommes pas surpris de constater chez nos sujets des valeurs de

fréquence cardiaque de repos en-dessous de celle des sénégalais sédentaires qui oscille entre 72 et 80 b.mn⁻¹.

Cette diminution du rythme cardiaque témoigne d'un renforcement du tonus vagal dû à la spécialité pratiquée. En effet, le cyclisme est une épreuve d'endurance, de longue durée sollicitant préférentiellement la capacité aérobie. Cependant, nos sujets, pris globalement, et comparés à des sportifs sénégalais endurants, présentent des valeurs de repos moins basses.

Ainsi, les coureurs de fond de l'Association sportive des Forces Armées (ASFA) ont eu lors d'une évaluation, il y a deux ans, des valeurs de repos comprises entre 48 et 64 b.mn⁻¹ (25), témoignant d'un ralentissement plus net de la fréquence cardiaque. Pourtant, les cyclistes et les coureurs de fond vivent dans le même environnement climatique et social. Par contre, les cyclistes paraissent plus entraînés que ceux sélectionnés en équipe nationale du Sénégal en 1984 (12).

Cependant, comparés à des professionnels européens qui ont généralement des valeurs variant entre 30 et 40 b.mn⁻¹ (29), nos sujets présentent des fréquences cardiaques de repos élevées, et si l'on se réfère aux travaux de NORET effectués chez des cyclistes belges, nos sujets se situeraient au stade d'amateur (29).

Comme nous pouvons le constater, tous les sportifs cités en référence, présentent au regard des valeurs du rythme cardiaque de repos, un renforcement plus important de leur tonus vagal que les sujets de notre étude. Cela est dû vraisemblablement à l'insuffisance du temps d'entraînement des cyclistes sénégalais. Ces derniers sont des travailleurs et des étudiants qui quittent respectivement les lieux de travail et les

facultés tard dans l'après-midi. De ce fait, ils ne peuvent pas faire trois heures d'entraînement par jour à cause des circuits qui ne sont pas éclairés et très fréquentés par les automobilistes.

L'effet de l'environnement joue aussi un rôle sur la fréquence cardiaque de repos. En effet, vivant en climat tropical, les cyclistes sénégalais présentent du reste comme tous les gens vivant sous la même latitude, du fait de l'élévation quasi-permanente de la température ambiante, une augmentation du débit cardiaque de repos pour les besoins d'une bonne thermorégulation, entraînant ainsi une majoration de la fréquence cardiaque de repos (6).

Ainsi même à entraînement physique égal, la fréquence cardiaque de repos restera plus élevée chez les sportifs vivant en climats chauds.

Lors de l'exercice musculaire, la fréquence cardiaque de repos augmente avec l'intensité (6). Elle atteint sa valeur maximale lorsque la puissance est maximale. Sa valeur est donnée par la formule d'Astrand : $f_{cmax} = 220 - \text{âge}$ (5).

La fréquence cardiaque maximale réelle moyenne et la fréquence cardiaque maximale théorique des cyclistes de notre étude sont comparables. Ce qui permet ainsi de dire que les sujets ont atteint leurs possibilités maximales dans l'exercice que nous leur avons proposé. La fréquence cardiaque maximale ne permet pas de juger le niveau d'entraînement d'un athlète. En effet, au niveau de la mer, elle ne dépend que de l'âge. Elle n'est influencée ni par la spécialité sportive, ni par l'environnement social. Tout au plus, les sujets moins entraînés ou surentraînés et les sédentaires atteignent beaucoup plus vite leur fréquence cardiaque maximale pour des intensités moindres.

S'il est établi que la fréquence cardiaque de repos permet d'évaluer dans certaines proportions le niveau d'entraînement du sportif, il n'en demeure pas moins que le véritable critère d'évaluation de la condition physique reste la consommation maximale d'oxygène.

Cette dernière représente les possibilités maximales de transport de l'oxygène depuis les poumons jusqu'au niveau des muscles. Elle permet à l'organisme de poursuivre le plus longtemps possible un exercice physique avec une parfaite aisance cardiaque et respiratoire. Elle est une excellente valeur prédictive pour savoir si un sujet peut soutenir un effort intense pendant un temps prolongé.

Cependant, il y a un fait qui attire notre attention et qui nous paraît paradoxal : la consommation maximale d'oxygène des sujets de notre échantillon est comparable à celle des sédentaires mélando-africains étudiés en 1963 et qui ont présenté des valeurs de l'ordre de 40 à 47 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{mn}^{-1}$ (42,18), elle même inférieure à celle d'européens sédentaires âgés de 30 à 40 ans étudiés en 1965 qui est de 50 $\text{ml.kg}^{-1}.\text{mn}^{-1}$. (3,17,42).

Si nous les comparons aux coureurs de fond de l'ASFA étudiés en 1990 (25) et à des spécialistes européens de fond étudiés en 1988 (19), les sujets présentent toujours de faibles valeurs de $\dot{V}O_2 \text{ max}$.

D'autre part, la valeur moyenne du $\dot{V}O_2 \text{ max}$ de notre échantillon situe les sujets parmi les meilleurs cyclistes sénégalais si nous les comparons à ceux qui étaient sélectionnés à l'équipe nationale en 1984 (12). Mais ils restent moyens sur le plan continental africain et extrêmement faibles au plan international si on sait que les professionnels européens

dépassent aujourd'hui les valeurs de $80 \text{ ml.kg}^{-1}\text{mn}^{-1}$ (29) (fig.5).

Si le protocole d'étude n'a pas toujours été le même dans l'évaluation du $\dot{V}O_2 \text{ max}$ (épreuve sous-maximale avec intensité continue ou épreuve par paliers progressifs), le même matériel (bicyclette ergométrique) a été utilisé et dans les mêmes conditions de travail au laboratoire, tout au plus, en ce qui concerne les études faites au Sénégal.

Fort de cela, nous avons pu comparer le $\dot{V}O_2 \text{ max}$ de ces différentes spécialités. Il s'avère donc que les cyclistes au Sénégal ont toujours présenté et présentent encore des valeurs de $\dot{V}O_2 \text{ max}$ faibles. Les arguments qui peuvent être avancés pour expliquer un tel fait sont les suivants :

- l'insuffisance de la qualité et de la quantité d'entraînement : le questionnaire distribué aux cyclistes révèle que le volume horaire des sénégalais (en moyenne 2 heures par jour) est moins important que celui des européens (en moyenne 4 heures par jour) et qu'ils font rarement un travail nécessitant 70% de la puissance maximale aérobie pendant une heure de temps.

Les courses contre la montre, permettant d'effectuer un excellent apprentissage dans la recherche d'un rythme de pédalage rapide et constant en poussant économiquement les grands braquets à l'abri du vent sont rares.

Les sports d'équipe, excellentes activités pour la mise en condition physique des coureurs, et la natation très bénéfique pour l'amélioration des fonctions cardio-respiratoires et l'augmentation très nette des valeurs spirométriques pendant la phase de croissance sont absents dans l'entraînement hivernal.

Il en est de même de la musculation destinée à développer la musculature mais surtout à augmenter la puissance musculaire.

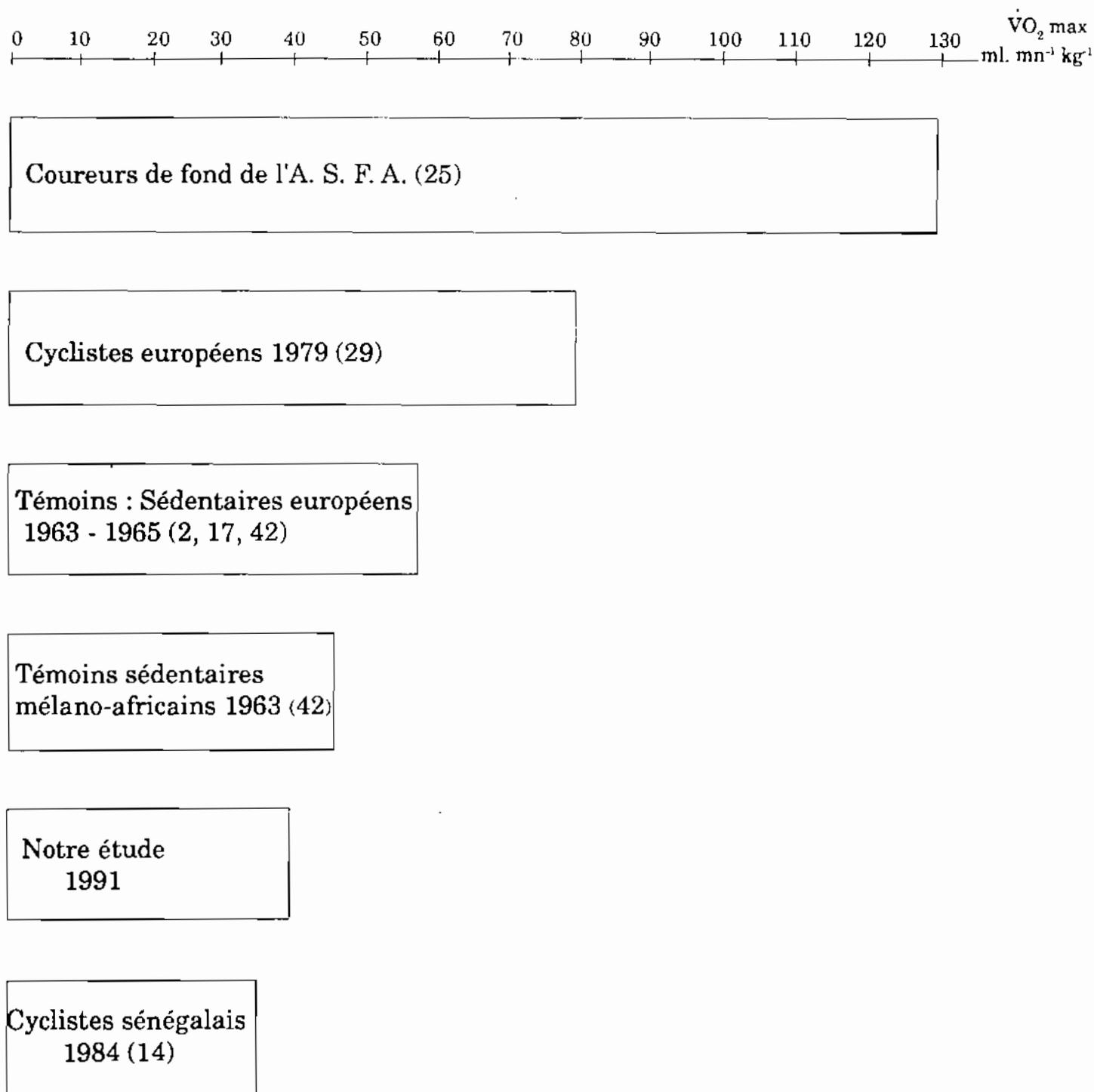


Figure 5.

Comparaison du $\dot{V}O_2 \text{ max}$ de notre étude avec les valeurs de celui des coureurs de fond sénégalais de l'A. S. F. A., des cyclistes européens (1979), des cyclistes de l'équipe nationale sénégalaise de 1984, des sédentaires mélano-africains et européens.

La faiblesse de la consommation d'oxygène des cyclistes sénégalais, même inférieure à celle de certains sédentaires mélano-africains et européens est frappante et suscite de nombreuses interrogations sur leur aptitude à réaliser des performances.

Echelle : 1 ml. kg⁻¹ mn⁻¹ = 1 mm

L'intervalle training réel qui entraîne à la fois une hypertrophie du coeur et une augmentation de sa force contractile ne figure pas toujours dans le programme d'entraînement.

- le manque de moyens techniques et la rareté des compétitions internationales peuvent être des facteurs de contre performance. La majorité des cyclistes sénégalais ont un seul engin qu'ils utilisent pour l'entraînement et pour la compétition. Aussi, ils ne disposent pas de matériel de secours, ce qui entraîne une interruption de l'entraînement en cas d'ennuis mécaniques. Ils s'affrontent la plupart du temps et ne retrouvent que rarement l'occasion de se mesurer aux autres coureurs africains et européens que lors de compétitions internationales au cours desquelles participe notre équipe nationale avec généralement moins de dix athlètes.

- les aptitudes physiques naturelles des sénégalais constituent aussi des facteurs de contre performance. La différence au niveau de l'entraînement ne peut expliquer à elle seule le faible $\dot{V}O_2$ max des sénégalais car ce dernier ne l'augmente que de 20%.

D'autres facteurs interviennent dans le déterminisme de la consommation maximale d'oxygène. Ce sont surtout des facteurs innés génétiques, biomécaniques et biodynamiques. Il ne faut donc pas croire que tout le monde peut devenir un coureur de cyclisme de compétition sur route : on naît (ou on ne naît pas) coureur de cyclisme de compétition.

Les mélando-africains étant faibles en ce qui concerne la qualité d'endurance comme l'ont si bien montré les travaux de Pirnay et Fall (31), la pratique du cyclisme de compétition dans notre pays doit être réservée à des gens possédant non seulement

une excellente condition physique, mais également une résistance exceptionnelle à l'effort maximal. Ces derniers peuvent être détectés par des tests d'aptitude de laboratoire et de terrain. Mais tel n'est pas le cas au Sénégal, où seuls, ceux qui aiment le cyclisme et peuvent se procurer un engin s'y adonnent.

Cependant, les faibles valeurs de $\dot{V}C_2$ max chez nos sujets ne nous empêchent pas de déterminer la part du $\dot{V}O_2$ max dans l'atteinte des performances parce que nous les comparons entre eux.

III. LE $\dot{V}O_2$ MAX INTERVIENT-IL DANS LA REALISATION DE PERFORMANCE ?

La condition physique est très importante, et est à la base de toute activité sportive. La préparation physique généralisée en début de saison a essentiellement pour but son développement. Son augmentation entraîne une meilleure préparation de l'organisme à l'accomplissement, sans dommage, d'efforts violents. L'organisme y parvient par un développement de la paroi des cavités du coeur, une bonne adaptation respiratoire et une augmentation de la myoglobine. Elle peut être appréciée par le $\dot{V}O_2$ max qui, nous l'avons souligné tout au long de ce travail, rend compte de l'aptitude de l'individu à un effort intense et prolongé. L'athlète dont la consommation maximale d'oxygène est élevée, a un avantage certain par rapport à ses concurrents dont la consommation maximale d'oxygène est moindre. En effet, dans les phases de la course où le rythme est élevé, il fait davantage appel aux processus aérobie pour la production d'énergie alors que les autres puisent dans le métabolisme anaérobie lactique.

Pour toutes ces raisons, l'on est en droit de se poser des questions sur le rôle éventuel des valeurs de $\dot{V}O_2$ max élevées

dans la réalisation des performances au cyclisme. Le cyclisme est une discipline éprouvante de longue durée qui impose à ses pratiquants des efforts très intenses, sur des routes aux profils et aux revêtements variés et dans des conditions climatiques parfois défavorables augmentant encore la difficulté des épreuves.

Dans notre démarche, nous constatons une relation entre le $\dot{V}O_2$ max et la performance au cyclisme. Elle n'est pas significative, mais déjà atteste cependant, de l'effet non négligeable de ce facteur sur la performance au cyclisme.

Le $\dot{V}O_2$ max est très important en pratique sportive et ceci pour tous les bienfaits qu'il engendre, mais à lui seul, il ne saurait expliquer toutes les performances. Cette constatation rejoint celle déjà faite par certains auteurs sénégalais ayant travaillé sur le rôle des valeurs de $\dot{V}O_2$ max pendant les courses de fond en climat tropical (14). Les mesures indirectes de $\dot{V}O_2$ max réalisées la veille d'une course à pied de 100 km dans des conditions comparables à celles de notre étude révèlent aussi que la condition physique n'est pas le seul facteur déterminant de la performance dans les épreuves de fond.

Il y en a d'autres qui interviennent aussi et de façon non négligeable.

IV. AUTRES FACTEURS DETERMINANTS DE LA PERFORMANCE

Ces facteurs peuvent être maîtrisés et permettre de contrôler ou d'affronter d'autres. Parmi les facteurs maîtrisables figurent la motivation, l'hygiène de vie, la diététique, les méthodes d'entraînement et la connaissance du parcours.

La motivation est le premier élément chronologique de l'activité. Elle met l'organisme en mouvement (33). En effet, elle est à côté de l'aptitude sportive, la variable la plus importante du rendement de la conduite humaine. On est frappé des différences dans le niveau de performance atteint par des sujets d'aptitude équivalente mais de motivation inégale (30). un processus capital qui intervient dans l'influence de la motivation sur la performance est celui par lequel l'individu humain se donne un but.

L'objet de la motivation humaine n'est souvent pas un objet matériel, préexistant mais un certain degré de performance ou de réalisation que l'homme se propose d'atteindre ou qu'il se voit obligé de réaliser en fonction d'exigences sociales (30).

Il est généralement admis que motivation et aptitude interagissent pour déterminer le niveau de performance, quoique le mode de cette interaction reste peu connu. VROOM (30) apporte des arguments en faveur d'une interaction multiplicative :

$$\text{performance} = \text{Aptitude} \times \text{motivation}$$

C'est la raison pour laquelle une discipline comme le cyclisme qui exige un entraînement astreignant et journalier, réclamant un genre de vie rigoureux, nécessitant de grands sacrifices humains, ne peut s'exercer que dans un climat où les efforts et la volonté du coureur et de ses proches, ne doivent tendre que vers un but : la réussite.

"On ne fait bien que ce que l'on aime". C'est pourquoi il faut aimer le cyclisme. Aucune brillante carrière, ni aucune performance ne sont possibles sans une motivation parfaite. Un coureur admirablement doué ne deviendra jamais un champion s'il ne possède pas de qualités morales exceptionnelles.

Noret (29) montre que la motivation du coureur le conduit à une progression régulière. Comme son aptitude physique, sa motivation doit être sollicitée chaque jour : pour vaincre, il faut savoir souffrir et vouloir gagner. Bien entraîné, bien motivé, un coureur est capable de réaliser de grandes prouesses : faut-il rappeler que la conquête temporaire d'un maillot jaune a permis à des coureurs "moyens" de se découvrir eux-mêmes, de se surpasser, en un mot de devenir de véritables coureurs cyclistes (29).

Cependant, cette motivation doit être sous-tendue par une bonne alimentation. Pour cela, il ne suffit pas que toutes les variétés de substances plastiques et énergétiques soient présentes pour que le régime alimentaire soit valable. Il faut de plus, que tous les aliments soient en proportions correctes les uns par rapport aux autres (29).

Dans un régime sportif bien équilibré, les protéines ingérées doivent être en plus grande quantité que celles d'origine végétale.

L'alimentation doit être riche en calories, comporter des vitamines (B1, A1) et des sels minéraux (calcium, magnésium, sodium, potassium, phosphore). En plus de la motivation, de l'alimentation, les méthodes d'entraînement et l'hygiène de vie ont aussi leur importance.

L'entraînement doit tendre vers une amélioration physique, physiologique et technico-tactique du coureur. Aussi doit-il être programmé et suivi par un entraîneur compétent, disposant des connaissances et des techniques d'entraînement les plus poussées sur le cyclisme.

L'hygiène de vie, quant à elle, apprend au coureur à respecter le sommeil récupérateur après l'entraînement et à éviter le tabac et l'alcool. La fumée du tabac peut contenir jusqu'à 4 volumes pour cent de monoxyde de carbone (6). L'affinité de l'hémoglobine avec le monoxyde de carbone est de 200 à 300 fois plus grande qu'avec l'oxygène. La présence de ce gaz, même en très faible quantité, peut donc diminuer notablement la capacité de transport de l'oxygène du sang et réduire ainsi les possibilités énergétiques aérobies. La consommation d'alcool, quant à elle, entraîne chez le cycliste une incoordination, car l'alcool atteint le cervelet et le système vestibulaire (6).

Quant à la connaissance du **parcours**, elle peut se faire de deux manières. Les coureurs peuvent, si possible, faire une reconnaissance du circuit avant le jour de la course, ou bien utiliser une carte topographique de la région quelques jours avant la compétition. Cette dernière méthode est de mise dans les rencontres internationales.

En dehors de ces facteurs maîtrisables, existent des **imprévus** et des **facteurs extrinsèques**. Sous le terme d'imprévus sont rassemblés tous les événements qui surviennent comme des coups du sort pour empêcher le coureur de bien se placer. Ce sont les crevaisons, les chutes, le sommeil perturbé la veille par des voisins turbulents, les ennuis mécaniques. La plupart d'entre eux peuvent être prévenus et évités si les coureurs apportent plus de soins à leur santé, à leur matériel et à la préparation de leurs courses. Un coureur consciencieux doit donc connaître les particularités du circuit sur lequel il s'aligne. Cela lui permettra de savoir le pourcentage de côtes, le revêtement des routes, leurs largeurs et leur sinuosité. Ces derniers facteurs constituent de véritables critères de sélection plus utiles que la qualité de la plupart des concurrents (29).

Au sens strict du terme, les facteurs extrinsèques sont ceux qui ne dépendent pas du coureur lui-même. A première vue, il semblerait qu'ils sont impossibles à étudier puisque, comme les impondérables, ils constituent les véritables inconnus qui vont se liguer contre le coureur pour lui barrer le chemin de la victoire. Les principaux sont la qualité des adversaires et des équipes, les conditions atmosphériques ainsi que l'usage du matériel.

La connaissance de l'adversaire est importante à plus d'un titre, parce qu'elle permet au coureur de se préparer en conséquence.

Les températures extérieures très chaudes et froides et la pluie, augmentent dans des proportions notables les difficultés des compétitions et la dépense énergétique des coureurs. Elles nécessitent des mesures hygiéniques et diététiques particulières, dont la non-observation entraîne souvent des défaillances.

La prévention des **effets du froid** réside dans un massage préparatoire, le port d'un équipement hivernal adéquat et l'application de mesures diététiques. Par température froide, l'alimentation doit être plus riche en sucres et en lipides. Les boissons ingérées en course (thé ou café sucré au miel) seront chaudes et conservées dans un bidon.

Pendant les courses disputées à des **températures ambiantes élevées**, l'hypersudation peut atteindre des valeurs considérables estimées à deux litres par heure. La sueur perdue contient de grandes quantités de chlorure de sodium, pouvant entraîner ainsi une déshydratation cellulaire. Cela étant, il est important par temps chaud de boire de petites gorgées d'eau

tiède, salée (trois cuillères à café de sel de cuisine dans un litre d'eau essentiellement tamponnée par un sirop de potassium) (29). Ceci est la meilleure prévention de la soif, des troubles digestifs, des crampes et des "jambes de coton" (29).

La pluie exige des précautions vestimentaires, un gonflage des boyaux particuliers et une position en tête de peloton pour répondre plus facilement aux tentatives d'échappées et se prémunir des chutes collectives.

Le vent est lui aussi un facteur dont il faudra tenir compte. La résistance de l'air est négligeable pour un piéton mais elle devient très importante lorsque la vitesse du cycliste augmente ou lorsque le vent souffle de face. Il est important de bien la vaincre comme le cherche intuitivement le coureur, couché en position aérodynamique sur le cadre de son vélo, réduisant ainsi sa surface de contact avec l'air, ou bien recherchant un abri derrière ou à côté d'un adversaire (29).

La figure suivante résume l'ensemble des facteurs qui interviennent de concert avec l'aptitude physique dans la réalisation de performances au cyclisme.

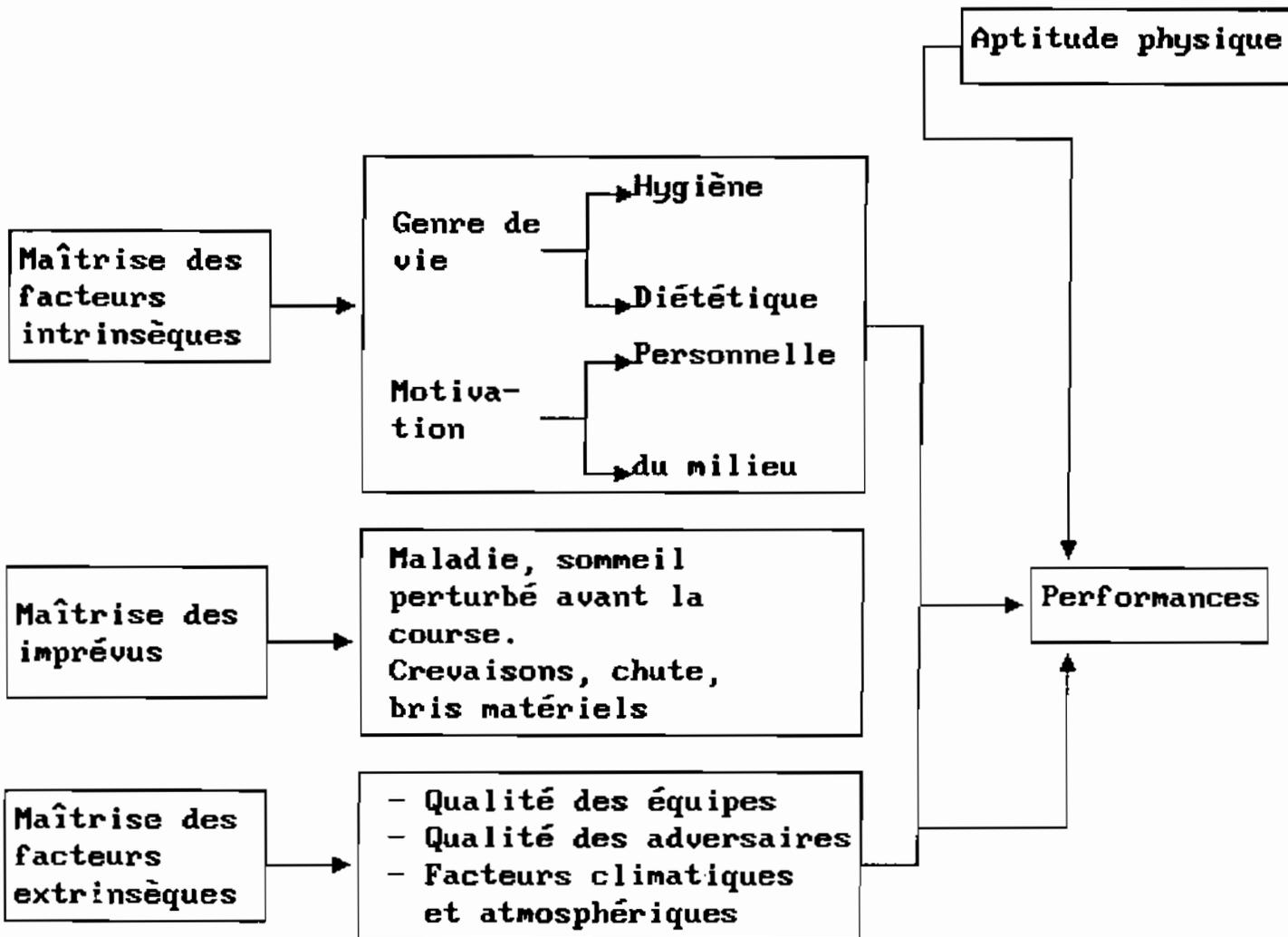


Fig. 6. : Facteurs qui interviennent de concert avec l'aptitude physique dans la réalisation de performances au cyclisme

Chapitre 5

RESUME ET CONCLUSION

Notre étude a été faite dans le but d'évaluer la part du $\dot{V}O_2$ max dans la réalisation des performances au cyclisme lors des courses de longue durée. Elle a été réalisée sur quinze cyclistes sénégalais parfaitement adaptés au climat tropical. Ils avaient une moyenne d'âge de 23 ans, un poids moyen de 64,07 kg et bénéficiaient déjà de 5 années de pratique.

Nous avons procédé dans une première étape à la mesure de la consommation maximale d'oxygène au laboratoire par la méthode indirecte de HARTUNG et Mc MILLEN établie en 1978 (22). Cette méthode consiste en une épreuve maximale progressive sur bicyclette ergométrique. Le $\dot{V}O_2$ max moyen était de $41,33 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ mn}^{-1}$.

Trois jours après, dans une seconde étape, nous nous sommes rendus à l'arrivée d'une course de 99 kms organisée par la Fédération Sénégalaise de Cyclisme à laquelle les cyclistes avaient pris part pour enregistrer leurs performances et établir la relation entre le $\dot{V}O_2$ max et la performance. Nous nous sommes rendus compte qu'il n'existe pas de relation nette entre les deux et nous avons pu conclure que, le $\dot{V}O_2$ max est certes important dans la pratique sportive et particulièrement dans les disciplines d'endurance, mais il ne peut à lui seul déterminer les performances lors des courses cyclistes. Beaucoup d'autres facteurs tout aussi importants interviennent. Ce sont des facteurs intrinsèques tels que la motivation, l'hygiène de vie, la diététique, les méthodes d'entraînement et la connaissance du parcours et extrinsèques à l'instar des crevaisons, des chutes, des ennuis mécaniques et de l'environnement climatiques (froid, chaleur, vent, pluie).

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

1. **ADAMS W.C, BERNAUER M., DILL D.B., BOMAR J.B.**
Effect of Equivalent Sea level and Altitude Training Performance
J.Appl. Physiol.chap.23, p.849

2. **ANDERSEN K.L.**
The effect of physical training upon the oxygen uptake over of
men of various age and fitness level.
Forsvarsmedicin 3, 1967, PP.183-187

3. **ANDERSEN K.L., HERMANSEN**
Aerobic work capacity in middle ages Norwegian men.
J.App;Physiol., 1965, chap.20, pp.432-436

4. **ASMUSEN E., CHODI H.**
The Effect of Hypoxemia on Ventilation and circulation in Man
Am J.Physiol., 1941, chap 132, p.426

5. **ASTRAND P.O**
Human Fitness with special reference to sex and age
International research in Sport and physical education,
Charles C. THOMAS Springfield.1964, P.517

6. **ASTRAND P.O., RODAHL K.**
Précis de physiologie de l'exercice musculaire. 2ème édition.
Paris : Masson, 1980, chap 10, pp.251-270

7. **ASTRAND P.O., RODAHL K.**
Test Book of work physiology : physiological Bases of Exercises
USA Mc Graw Hill book company, 1986, chap 7, pp.330-338

8. ASTRAND P.O. RYHMING I.

A Nomogram for calculation of aerobic capacity (physical Fitness)
from Pulse Rate during submaximal work.

J.Appl.Physiol., 1954 chap.7, pp.218-221

9. BOTTIN R., PEIT J.M., DEROANNE R., JUCHMES J., PIRNAY F.

Mesures comparées de la consommation d'oxygène par palier de
1 à 2 Minutes

Int.Z. Angew Physiol.1968, chap 26, pp.335-362

10. CERETELLI P., MARGARIA R.

Maximum oxygen consumption at Altitude

Int.Z.Angew.Physiol., 1961, chap.18, p.460

11. CHAPATTE R., AUGENDRE J.

Cyclisme : Technique, entraînement, compétition

Paris : Amphora, 1964, chap.48,51,60

12. CISSE F.

Contribution à l'étude de l'adaptation cardio-vasculaire à
l'exercice et à l'entraînement en climat chaud

Mémoire pour l'obtention du DERBH

UER Biomédicale des Saints Pères, Paris V : 1984, chap.III.

pp 12-22

13. CISSE F. MARTINEAUD J.P.

Sport et altitude

Sport Médecine actualités, n°35, Mars 1989, pp.

14. CISSE F. NDOYE R.

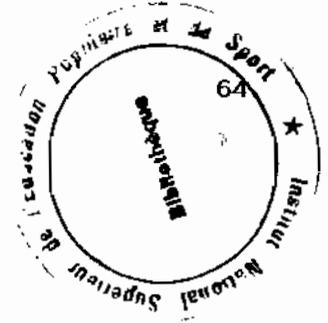
Valeur prédictive de la $\dot{V}O_2$ max indirecte : Course à pied de 100 km

Dakar médical n°4 : Tome XXVII, 1983

15. **CLEMENT D.**
Cyclisme sur route : Initiation - entraînement - compétition
Paris : Amphora, 1979, p.115
16. **CRAPLET C., CRAPLET P.**
Physiologie et activité sportive
Paris : Vigot, 1986, chap.35, pp.338-340
17. **CUMMING G.R., DANSZINGER R.**
Bicycle Ergometer Studies in Children : Correlation of pulse rate
with oxygen Consumption.
Pediatrics, 1963, chap.32, pp.202-208
18. **DAVIES C.T.M.**
Limitation to the prediction of Maximum oxygen Intake from
Cardiac frequency Measurements.
J.appl., 1968, chap.24, p.700
19. **DUNCAN J., DOUGALL M., WENGER A.H., GREEN H.J.**
L'évaluation de l'athlète de haut niveau
Paris : Vigot, Québec : Decare, 1988, chap.4, pp.53-65
20. **GODBOUT P.**
Initiation à la recherche en sciences de l'activité physique.
Document présenté lors d'un stage organisé par la CONFÉJES à
l'INSEPS de Dakar en 1987.110 p.
21. **HARICHAUX et JEAN MEDELLI**
VO₂ max et performance : aptitude physique, tests d'efforts,
tests de terrain
Paris : Chiron,1990, chap.9, pp.75-101.

22. **HARTUNG H., MILLEN M.**
Specificity of aerobic testing in competitive cyclists compared with runners
Exercise physiology, Book 4, Miami, 1978, pp.615-622
23. **HERMANSEN L. SALTIN B.**
Oxygen Uptake during maximal treadmill and Bicycle Exercise
J.Appl. Physiol, 1968, chap.26, p.31
24. **HINAULD B., GENGLING C.**
Cyclisme sur route : la technique, la tactique, l'entraînement.
Paris : Laffont, 1986, 213 p.
25. **KEBE D.**
Etudes corrélatives de deux méthodes d'évaluation indirectes de la consommation maximale d'oxygène avec les performances de 3000 m.
Mémoire de maîtrise, INSEPS, Dakar, 1990
26. **LEGER L.**
Test de course navette de 20 m pour évaluer la capacité aérobie des adultes : Rapport soumis au Ministre du loisir, de la chasse et de la pêche du Québec en décembre 1980
27. **MENIER R. et coll.**
Adaptation respiratoire et circulatoire aux activités physiques .
réponse à court terme à l'exercice musculaire et modification à long terme induites par l'entraînement sportif
Limoges : Médecine du Sport, T.63, N°2, 1989.
28. **NADEAU M., PERONNET F. et coll.**
Physiologie appliquée à l'activité physique
Paris : Vigot, 1980, chap.5, pp.67-77

29. **NORET A., BAILLY L.**
Le cyclisme : Aspects médical et technique
Paris : Vigot, 1979, chap.1. pp.23-70
30. **PIAGET J., FRAISSE P.**
Traité de psychologie expérimentale : Motivation, Emotivité et
Personnalité.
Paris : P.U, 1963, chap.XV, pp.6-51
31. **PIRNAY F., FALL A.**
Qualités physiques des Mélando-Africains
Paris : Med.Sport, T.63, N°5, 1989, pp.266-274
32. **PIRNAY F., PETIT J.M., BOTTIN R., DEROANNE R., JUCHES J., BELGE G.**
Comparaison de deux méthodes de mesure de la consommation maximale
d'oxygène
Int.Z. Angew.Physiol.einschl.Arbeitsphysiol, 1966, chap.23,
pp.203-211
33. **RIEU M.**
Bioénergétique de l'exercice musculaire et de l'entraînement
physique
Paris : P.U.F., 1988, chap.II, pp.334-338
34. **SALTIN B.**
Aerobic work capacity and circulation at exercise in man with
special reference to the effect of prolonged exercise and/or heat
exposure
Acta.Physiol., scand.62 : suppl.230, 1964
35. **SALTIN B.**
Aerobic and anaerobic work capacity at 2300 meters -
Schw-Zschr Sportned, 1966, chap.14, p.81



36. SALTIN B., ASTRAND P.O.

Maximal oxygen uptake in Athlètes
J.Appl.Physiol, 1967, chap.23, p.353

37. SALTIN B. coll

Maximal oxygen uptake and cardiac output after 2 weeks at 4.300 m
J.Appl.Physiol, 1968, chap.25, pp.400-409

38. SARGENT R.M.

Relation between Requirement and speed in Running
Proc.Roy.Soc (Biol), 1926, chap.10, pp 140 - 146

39. THOMAS R., ECLACHE J., KELLER J.

Les aptitudes motrices : structure et évaluation
Paris : Vigot, 1989, chap.10, pp.140-146

40. WILLIAMS C.G., WYNDHAM C.H., Von RAMDEN M.J.E., KOK R.

Effet of training on maximal oxygen intake and on anaerobic metabolism in man.
Int.Z.angew. Physiol., 1967, chap. 24, pp.18 - 23

41. W.D.M.ARDLE, KATCH F., KATCH V.

Physiologie de l'activité physique : Energie, Nutrition et performance

Paris : Vigot, 1987, chap 21.pp.281-285

42. WYNDHAM C.H. et coll.

Differences between ethnic group in physical working capacity.
J.Appl.Physiol, 1963, chap.18, pp.361-366.