

REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTERE DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS

INSEPS

TITRE:

EVALUATION DE L'APTITUDE PHYSIQUE
À PARTIR D'EPREUVES DE LABORATOIRES

—— PUISSANCE MAXIMALE AEROBIE
VO₂ MAX

—— MODIFICATION DE LA PRESSION
ARTERIELLE À L'EXERCICE
MAXIMALE

HABIBALAH

BA

MEMOIRE DE MAITRISE
ES STAPS

DIRECTEUR

DR FALLOU CISSE

85 - 86



Nous voudrions exprimer ici nos remerciements :

11-

mon père Yéro Poulo BA

À qui je dois tout. Il s'est fait le devoir de m'encourager à poursuivre mes études. La tâche a été des plus difficiles.

En faible témoignage de ma reconnaissance et de ma tendresse.

11-

mon père Mody BA

qui a su m'apporter le réconfort moral nécessaire, principal facteur de mon succès. Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance et de mon affection infinie.

11-

ma mère,

qui a toujours été pour moi d'une infinie tendresse. Je dois ma réussite à son courage et à ses sacrifices. Je lui dédie ce travail pour lui exprimer ici mon immense reconnaissance.

11-

mon frère

dont l'attachement à nos parents et le sens du sacrifice m'ont beaucoup impressionné.

Puisse ce mémoire lui témoigner de ma vive reconnaissance.

11-

toute la famille avec ma tendresse la plus sincère.

11-

tous mes amis qu'ils trouvent dans ce travail, l'expression de mon affection et de ma gratitude.

.../...

/T-) tous mes promotionnaires de l'Institut national supérieur de l'Education populaire et du Sport.

En souvenir de nos efforts communs.

/T-) Madame KANE, la secrétaire qui a contribué efficacement à l'élaboration de ce travail.

Puisse ce mémoire vous assurer en retour, l'expression de ma profonde gratitude.

/T-) notre professeur et directeur de mémoire, le Docteur Fallou Cisse

Votre enseignement m'a été des plus profitables. Vous m'avez inspiré le sujet de mémoire et vous en avez dirigé l'exécution.

Je suis très heureux de pouvoir vous exprimer ma gratitude et mon profond respect.

/T-) la mémoire de ma tante NENE Maham BA et
de mes soeurs

avec mon souvenir ému.

S O M M A I R E

=====

	Pages
<u>I N T R O D U C T I O N</u>	
1.- Médecine du sport : Historique -----	2
2.- Problématique et intérêt du travail -----	3
<u>CHAPITRE PREMIER - BASES PHYSIOLOGIQUES</u> -----	5
I. La pression artérielle -----	5
1- Généralités -----	5
2- Mécanorécepteurs -----	7
3- Définition -----	8
4- Valeurs -----	9
5- Mesure -----	10
6- Variations -----	10
7- La pression artérielle au cours de l'exercice musculaire -----	12
II. La consommation d'oxygène -----	15
1- Les processus aérobie -----	15
2- L'évolution de la consommation d'oxygène pendant l'exercice -----	16
3- La consommation maximale d'oxygène -----	17
4- Les variations -----	18
5- Les facteurs influençant la consommation maximale d'oxygène -----	19
<u>CHAPITRE DEUXIEME - PRESENTATION DES TESTS</u> -----	21
I.- <u>Protocole I</u> : Etude des modifications de la pression artérielle à l'exercice maximale----	22
1- Présentation de la population -----	22
2- Choix des échantillons -----	22
3- Matériel -----	23
4- Méthodologie -----	24

II.-	<u>Protocole II</u> : Détermination de la consommation maximale d'oxygène -----	26
M	1- Matériel -----	26
	2- Population étudiée -----	27
	3- Méthodologie -----	27
III.-	<u>Calculs statistiques et interprétation</u> -----	32
	1- Moyenne -----	32
	2- Variance et écart type -----	33
	3- Jugements sur échantillon -----	33
	4- Calcul de "t" -----	33
<u>CHAPITRE III</u>	- R E S U L T A T S -----	35
I.-	Moyenne et écart-type des différentes variables -----	35
	1- Protocole I -----	35
	2- Protocole II -----	35
II.-	Comparaison des résultats -----	43
	1- Protocole I -----	43
	2- Protocole II -----	47
<u>CHAPITRE IV</u>	- COMMENTAIRE: ET DISCUSSION: DES RESULTATS ----	54
I.-	Influence de l'entraînement sur la pression artérielle -----	54
	1- L'influence de l'entraînement sur la valeur de repos -----	54
	2- L'influence de l'entraînement sur la pression artérielle à l'exercice maximal ---	55

II.-	Influence de l'entraînement sur la consommation maximale d'oxygène -----	56
1-	Comparaison des grandeurs entre sportifs et sédentaires -----	56
2-	Comparaison des grandeurs entre sportifs --	57
<u>CHAPITRE V</u> -	P E R S P E C T I V E S -----	59
RESUME ET CONCLUSION	-----	60
<u>B I B L I O G R A P H I E</u>	-----	62

Depuis des décennies, le sport dans le monde a connu une importante extension. Il a pris beaucoup d'ampleur tant sur le plan des compétitions internationales que sur le plan de l'éducation physique, scolaire et universitaire.

Dans l'antiquité, l'homme a toujours été attiré par la pratique des activités physiques. Les grecs accordaient un intérêt particulier au sport en tant qu'activité physique, mais aussi en tant que nécessité spirituelle (le vainqueur étant considéré comme un Dieu), tel était leur idéal pour un homme équilibré. Le sport continue toujours son chemin. Ainsi, les éducateurs, les médecins s'intéressent à ce phénomène. Tel est le cas, par exemple, de Jean-Jacques Rousseau qui, au XVIII^{ème} siècle, choisit pour son "Emile", les jeux sportifs. Ce penseur ne manqua pas d'inspirer ses contemporains et ses successeurs dans ce domaine. Suivant donc cette voie, les philanthropistes (XVIII^{ème} - XIX^{ème} siècle), Don Francisco Amoros (1770 - 1848), les suédois, Georges Demény (1850 - 1917), Georges Hébert etc..., (Cours d'histoire des méthodes à l'INSEPS*), apportent du sang neuf dans le sport. Thomas Arnold, quant à lui, inaugure en 1828, pour le sport anglais, une école d'éducation physique qui a connu un grand succès : le rugby collège. Aujourd'hui encore, le monde doit à ce pays et à Pierre Frédy Baron De Coubertin (1880) par la suite, l'institutionnalisation du sport.

C'est ainsi que le sport est devenu de nos jours, un phénomène social quotidien de première importance. En plus de son intérêt hygiénique, il permet à l'homme de se préparer à la vie pratique donc il participe à la formation de l'homme intégral. En plus, comme le dit Bernard Jeu (17) dans son livre intitulé "le sport, la mort, la violence", "on n'a plus besoin, aujourd'hui, de souligner l'importance que revêt le sport en tant que phénomène social. La presse en fait état, le commerce en tire profit, la politique s'en mêle. Et c'est une —

* "INSEPS" : Institut national supérieur de l'éducation populaire et du Sport.

.../...

partie considérable des loisirs organisés d'une nation qui se trouve constituée par lui".

Aujourd'hui, dans les pays du tiers monde et comme partout ailleurs, le sport est devenu une réalité tangible. Il suffit de voir avec quel intérêt et quelle crispation le téléspectateur Africain suit, par exemple, le déroulement d'une rencontre comptant pour la coupe du monde de football. L'événement est grand. L'activité de toute une population se trouve momentanément suspendue, cédant la place à une profonde émotion. Ceci montre à quel point le sport est important à notre époque. Le foot-ball au Brésil en est une parfaite illustration.

1 - Médecine sportive historique

Ce n'est que vers 1890 que le monde médical commença à s'intéresser au sport (26). Le Docteur Lagrange déclare en début de son livre sur "la physiologie des exercices du corps"; "jusqu'à présent on s'était appliqué à faire ressortir les avantages de l'exercice de toutes les formes, et à montrer d'une manière générale les ressources hygiéniques que peut fournir à tout le monde le travail musculaire. Il restait à établir des règles et à formuler des méthodes pour l'application rationnelle de l'exercice musculaire, selon les cas et les sujets. Pour arriver à ce résultat, il fallait étudier avant toute chose, les modifications passagères ou durables que produit le travail musculaire dans l'organisme et distinguer... celles qui sont dues plus particulièrement à la forme spéciale de tel ou tel exercice, à l'intensité du travail ou à sa localisation sur telle ou telle région du corps. Or la physiologie seule peut nous donner ces notions premières sur lesquelles s'appuiera l'hygiéniste pour établir ensuite la valeur comparative de chacune des formes de la gymnastique ou du sport" (20).

.../...

Un chapitre nouveau en médecine est ainsi ouvert. Mais déjà dans la Grèce antique, certains médecins dont Hyppocrate, s'étaient penchés sur la diététique et le régime des athlètes passant tous leur temps à la préparation des Jeux Olympiques.

Et depuis cet époque, un grand nombre de physiologistes se sont consacrés à cette discipline en publiant d'importants ouvrages traitant du sport qui a su tirer profit des découvertes de la médecine. En effet, les résultats des compétitions actuelles sont éloquentes : des records sont battus et les performances augmentent.

Plusieurs facteurs entrent en ligne de compte dans l'explication de cet état de fait. Indiscutablement, l'entraînement en est le plus important . mais il est possible d'admettre, à notre avis, que l'évolution de la médecine a beaucoup influé sur ces résultats.

2 - Problématique et intérêt du travail

Pendant de nombreuses années les sportifs n'ont fait appel aux médecins que pour la traumatologie, estimant que le sport était un moyen de sélection naturelle, et donc que ses adeptes étaient, par principe, bien à portants.

Aujourd'hui on conçoit mal une équipe se déplaçant sans un médecin, lequel contrôle régulièrement l'entraînement et la forme des athlètes.

La médecine du sport tend donc à devenir une véritable spécialité. Elle se distingue des autres disciplines médicales par le fait que, le plus souvent, elle s'intéresse non pas au malade, mais à l'homme sain. Ce mode d'exercice médical, qui devrait certainement se développer dans les années à venir, comporte des volets bien distincts : la cardiologie, la traumatologie, la diététique, la physiologie. Et c'est ce dernier qui a, en particulier, retenu notre attention dans ce travail.

L'exercice musculaire applique de nombreuses modifications physiologiques générales dans l'organismes.

De nombreuses ouvrages ont été consacrés à la question, mais ils n'ont intéressé que des sportifs des pays tempérés. Et l'on sait qu'ils sont morphologiquement différents de nos sportifs et vivent dans des conditions climatiques différentes. C'est pourquoi nous nous sommes efforcés d'étudier sur des sénégalais, nés et ayant toujours vécu au Sénégal, l'effet de l'entraînement sur la pression artérielle et la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ max). Nous nous sommes posés deux questions :

1) Y a-t-il, chez les sportifs sénégalais, une relation entre le niveau d'entraînement et la pression artérielle au repos et au cours de l'exercice musculaire ?

2) Quel est le niveau de la condition physique des sportifs sénégalais ?

Chapitre I

Les bases physiologiques

L'effort agit en tant qu'"agent stressant" en vers l'organisme et ce dernier répond dans le cadre du ~~syndrôme~~ syndrome général d'adaptation de Selye (26).

Les variations biologiques dues à l'effort sont assez nombreuses et chacune de ces facteurs mériterait que l'on s'étende longuement sur lui, mais seule la consommation d'oxygène maximale et la pression artérielle retiendront plus particulièrement notre attention.

I - La pression artérielle

1 - Généralités

La constance de la pression du sang au niveau des artères est maintenue grâce à l'intégration des facteurs suivants :

- L'action de la pompe du coeur
- La résistance périphérique rencontrée par le flux sanguin dans les artères dont varient l'élasticité et l'état de constriction.
- Le volume du sang circulant (13)

Evidemment ce sont les deux premiers facteurs qui interviennent le plus dans la régularisation de la pression. Au cours de l'exercice physique, ces facteurs sont les seuls à varier de façon considérable, tandis que le dernier facteur ne peut pas être mis en jeu lorsque des modifications rapides doivent intervenir. Au cours de l'exercice, la pression du sang se modifie pour assurer un apport sanguin convenable. Ces variations sont provoquées par l'action régulatrice des centres vaso-moteur et cardiaque au niveau du cerveau.

.../...

La quantité de sang qui passe à travers les différents organes n'est pas constant; elle varie en fonction des besoins de ceux-ci.

Les petites artères et les artérioles ont pour fonction de régler le flux sanguin en fonction des besoins des tissus. Ils amènent directement le sang aux vaisseaux capillaires. Les artérioles constituent le mécanisme physiologique principal déterminant la résistance périphérique à la circulation du sang.

Le mécanisme nerveux vaso-constricteur agit de façon permanente et c'est lui en outre qui est responsable du tonus des parois artérielles. Ce tonus est déterminé par une contraction partielle des muscles lisses des parois artérielles.

Le mécanisme nerveux vaso-dilatateur ne fonctionne pas de façon permanente mais il est mis en oeuvre dans des cas particuliers, notamment lorsque le diamètre des artérioles doit être augmenté. Ainsi la distribution de ces deux sortes de nerfs vaso-moteurs est inégale. Les fibres vaso-constrictrices sont plus abondantes au niveau des artères de la peau et des viscères abdominaux tandis que les fibres vaso-dilatatrices sont plus nombreuses dans les glandes et dans les muscles.

Ainsi, par exemple, lorsqu'un muscle est en activité ses besoins en sang s'accroissent, les artérioles réduisent par une vaso-contraction l'irrigation des organes abdominaux et de la peau et augmentent par vaso-dilatation le flux sanguin qui traverse le muscle. De plus, si ce sont les bras qui travaillent les jambes restent au repos, les muscles des bras tout particulièrement ont besoin de sang. Alors les artères des bras se dilatent tandis que celles des jambes conservent le même calibre; ou bien, s'il faut davantage de sang au niveau des bras, les artérioles des jambes se contractent (18).

La pression artérielle dépend aussi de l'élasticité et du calibre des vaisseaux

La pression distend plus ou moins la paroi du coeur et des vaisseaux. La résistance de cette action, qui produit la tension dépend de l'épaisseur de la paroi et de sa teneur en fibres élastiques et collagènes ainsi que de la présence de fibres musculaires lisses à contraction active. Les fibres élastiques peuvent s'opposer sans aucune dépense d'énergie à l'action de la pression ; à l'inverse, la contraction des fibres musculaires lisses implique une dépense continue d'énergie (18).

La tension T est grossièrement proportionnelle à la différence entre les pressions mesurées à l'intérieur et à l'extérieur de la paroi et au rayon du vaisseau, ce qui s'exprime par :

$$T = aPr \text{ où "a" est une constante (loi de Laplace).}$$

Ainsi, une pression donnée ne détermine pas l'apparition de la même tension suivant qu'elle est appliquée à un vaisseau de plus ou moins grand calibre. C'est pourquoi, les capillaires qui sont de petits diamètres ont des parois qui peuvent supporter la pression du sang qui s'exerce à leur niveau. La minceur de ces vaisseaux est aussi nécessaire au bon déroulement des échanges.

2 - Les mécanorécepteurs

La régulation de la pression artérielle au repos et à l'effort est due à la stimulation des mécanorécepteurs situés au niveau des artères systémiques (2).

On n'a pas encore totalement repéré l'origine des différents influx afférents aux centres vaso-moteurs. Des fibres afférents de grande importance, proviennent des mécanorécepteurs situés au niveau des vaisseaux sanguins et du coeur (2).

D'après Heymans et Neil (16) en 1950, on a pu localiser les récepteurs artériels systémiques : dans la paroi du Sinus carotidien, de la crosse aortique, de l'artère sous-clavière et de l'artère carotide primitive. La déformation des parois de ces artères constitue le stimulus adéquat de ces récepteurs. Ils sont sensibles à la pression moyenne qui régné dans les vaisseaux et à l'amplitude des oscillations Systolo-diastoliques de cette pression. En effet, ces récepteurs sont sensibles à la déformation des parois des artères c'est à dire à l'étirement de ceux-ci, donc ce n'est pas la pression elle-même qui constitue le stimulus. Le terme de barorécepteurs habituellement employé n'est donc pas parfaitement adéquat (12).

C'est ainsi que, tout accroissement de la pression intravasculaire étire la paroi des vaisseaux et par conséquent, stimule les récepteurs ; des influx sont émis en réponse et sont transmis au système nerveux central. L'hyperactivité des fibres musculaires lisses de la paroi des vaisseaux ou l'altération progressive de celles-ci sous l'action de l'âge ou de l'hypertension par exemple peut faire perdre à ces derniers, où sont localisés les récepteurs, une partie de leur extensibilité. Dans ce cas Pétersen (23) 1967 a montré qu'une pression donnée déterminerait une déformation moindre des récepteurs et donc une émission d'influx moins importantes. Les variations de pression sont transmises aux centres cardiovasculaires et en premier lieu à l'aire vasomotrice bulbaire, par des influx provenant des "barorécepteurs". Au repos, la bradycardie et l'inhibition du centre vasomoteur sont dues aux "barorécepteurs" qui exercent de façon réflexe, une influence modératrice sur le système cardiovasculaire.

3 - Definition

On sait que la pression dans les vaisseaux est la manifestation des chocs continus de particules de liquide contre sa paroi interne. Dans un liquide au repos, la pression est la même au niveau de tous les points situés dans un même

plan horizontal : c'est le principe de la poussée d'Archimède.

La pression artérielle est la pression du sang dans les artères. Du fait de la résistance périphérique, de l'élasticité et de l'état de constriction des vaisseaux, le sang ne peut pas être considéré comme un liquide dans un tube ; sa pression varie dans l'organisme. Nous distinguons deux valeurs de la pression :

- La pression maximale qui est la systole cardiaque, est appelée pression systolique. C'est la valeur de la pression dans l'artère aorte quand le sang est éjecté du ventricule gauche ; elle est fonction de la résistance périphérique et la force de contraction myocardique : elle témoigne de la puissance du coeur et indique la tension à laquelle est soumise les artères.

- La pression minimale dans les artères, celle qui existe entre les contractions du coeur plus précisément à la fin de la diastole cardiaque : c'est la pression diastolique, elle est généralement considérée comme évaluant la résistance périphérique à la circulation du sang et par conséquent, indique le tonus vasomoteur (18).

La différence entre pression systolique et pression diastolique est appelée pression différentielle ; c'est le meilleur indicateur de la façon dont l'organisme réagit au travail qui lui est demandé (18).

4- Les valeurs de la pression artérielle

La valeur de la pression artérielle n'est pas fixe, mais on admet que, pour tous les individus normaux la pression systolique se situe entre 110 et 135 mmHg, la pression diastolique entre 60 et 99 mmHg et la pression différentielle entre 30 et 55 mmHg (18). Mais la pression artérielle s'élève au cours

du travail musculaire ; elle peut dépasser 175 mmHg pour la systole et 110 mmHg pour la diastole (3). La limite correcte chez les sujets entraînés est égale à 200 mmHg.

5 - La mesure

La pression artérielle peut-être mesurée à tous les points de l'organisme. Mais, sous l'influence de la gravité, la pression hydrostatique est fonction directe de la distance séparant la surface du plan horizontal au niveau de laquelle elle est mesurée (loi de Pascal). C'est ainsi que la pression varie selon la position du sujet ; la pression est la même en tous les points de l'organisme quand le sujet est couché alors qu'elle est supérieure au niveau des pieds à celle existant dans les vaisseaux de la tête chez un individu en position verticale. Mais les valves situées au niveau des veins des extrémités, modifient cette action de la gravité. Ainsi, pour obtenir une valeur correcte de la pression artérielle, il faudra mesurer celle-ci au niveau du plan horizontal passant par le cœur. En pratique, la mesure de la pression artérielle à l'aide d'un brassard sphygmomanométrique disposé autour du bras, chez un sujet assis, donne des résultats satisfaisants (3).

Il existe deux méthodes de mesure de la pression artérielle :

- la méthode indirecte par sphygmomanométrie qui est la plus facile à réaliser et peut se faire à tout moment. Elle ne demande qu'un tensiomètre à mercure et un brassard gonflable.

- la deuxième méthode est directe. Elle est réalisée grâce à l'implantation d'un cathéter artériel.

6 - Variations

La pression artérielle varie en fonction du sexe, de l'âge, du milieu psychosocial, de la posture, du type de travail.

.../...

6-1 - Le Sexe :

La pression artérielle systolo-diastolique est légèrement plus faible chez les femmes que chez les hommes.

6-2 - L'âge :

Contrairement à Reindel et Coll (25) en 1960 et Hollman ~~Plus~~ en (23) en 1963 qui ont montré une différence de pression importante entre sujets jeunes et sujets plus âgés, Alvarez et Stanley (1) quant à eux ont conclu, après une étude plus poussée, que dans un état de bonne santé, la pression artérielle ne varie que peu de la jeunesse à la vieillesse.

Certains auteurs montrent l'existence d'une élévation de la pression différentielle à la ménopause due à une augmentation régulière des pressions systoliques et diastoliques.

6-3 Le milieu psychosocial

Les facteurs psychologiques (inquiétude, émotion) et la fatigue augmentent les effets de la pression artérielle.

6-4 La posture

La pression n'est pas la même quand un sujet placé sur une table basculante, passe de la position horizontale, à une position inclinée la tête étant dirigée vers le haut (3).

6-5 Le travail effectué

Selon que l'exercice intéresse les membres supérieurs ou les membres inférieurs, la pression n'est pas la même. Elle est plus élevée lorsque l'exercice intéresse les membres supérieurs ; dans ces conditions, il peut être dangereux pour les sujets cardiaques de fournir un travail pénible des membres supérieurs (3).

.../...

7- La pression artérielle au cours de l'exercice musculaire

Plusieurs facteurs entraînent des variations de la pression artérielle, mais le plus important est l'exercice musculaire. Si le régime circulatoire général se trouve profondément remanié lors de l'exercice, la pression artérielle l'est beaucoup moins (14). En effet, un nouveau régime tensionnel va s'établir dans l'arbre artériel.

Quelque soit l'intensité de l'exercice musculaire, la demande d'oxygène s'accroît. Du fait que c'est le sang qui véhicule l'oxygène dans les poumons et les muscles en activité, son débit doit être également augmenté. Cette adaptation est réalisée par une augmentation de la vitesse du flux sanguin. Donc l'accélération du pouls au cours de l'exercice musculaire est évidente.

La pression artérielle n'est pas partout la même dans l'organisme. Guyton (15) montre que dans les poumons, les artérioles ont un comportement très passif et se dilatent par la pression ; elles n'offrent que peu de résistance au passage du sang. On peut dire donc qu'une grande pression au niveau des poumons entraînerait une diffusion d'eau du sang aux alvéoles (18) ; C'est pourquoi la circulation pulmonaire ne présente pas des variations aussi importantes de pression que la circulation systémique (18).

Les modifications de la pression diastolique ont tout à fait tendance à être réduites par rapport aux modifications de la pression systolique. Les légères modifications de la pression diastolique dépendent de l'hémodynamique du flux sanguin artériel et de la résistance périphérique.

Pendant un travail musculaire de longue durée, on constate une diminution marquée de la résistance périphérique due à une vasodilatation. Le besoin accru d'oxygène des muscles

.../...

en activité fait que les artérioles, à ce niveau, s'ouvrent sous l'effet de l'exercice, permettant au sang de s'écouler librement dans le lit capillaire et créant ainsi une diminution de la résistance périphérique. Les muscles ainsi abondamment irrigués au cours de l'exercice. Les muscles non actifs présentent par contre une vasoconstriction. Au cours de l'activité musculaire il y a une vasodilatation locale et une vasoconstriction généralisée.

Il serait important de noter l'importance de la compression du lit capillaire au cours des contractions musculaires parcequ'elle influence la pression sanguine. Ce phénomène agit comme une résistance au flux capillaire et aide le retour du sang au coeur (13).

La pression différentielle comme nous l'avons montré plus haut, est la différence rythmique entre les pressions systolique et diastolique. La variation de la pression différentielle est fonction de la pression systolique car, au cours de l'exercice, la pression diastolique ne varie guère alors que la pression systolique s'élève de façon considérable.

La pression différentielle donne une indication grossière de la force effective de pompage du coeur ; elle constitue le meilleur indicateur de la façon dont l'organisme réagit au travail qui lui est demandé. Chailey Bert et Plas (9) estiment que, tant que cette différentielle se maintient ou s'élargit, il n'y a pas de crainte ; mais dès qu'elle diminue, la fatigue doit être envisagée. Cela se produit, sans qu'ils avant tout phénomène subjectif, obligeant l'athlète à s'arrêter.

Une diastolique élevée peut entraîner l'éclatement des artères alors que l'accroissement léger de la systolique ne témoigne pas une vraie hypertension artérielle, mais d'un état physiologique d'adaptation hypertensif passager qui se dissipe avec le repos (14). Lorsque la valeur de la maxima dépasse la valeur normale lors de l'exercice, il faudra donc

.../...

la considérer comme étant le stigmate d'un surentrainement (14). On peut, d'après Chialley Bert et Plas (9), considérer que l'organisme réagit heureusement à un travail musculaire tant que la pression différentielle reste stable ou augmente, indépendamment des valeurs de la maxima et de la minima.

7-1 - Les Facteurs influençant la pression au cours de l'exercice

Comme nous l'avons vu, les élévations anticipées et initiales de la pression sanguine avant et pendant l'exercice sont provoquées par une arrivée d'influx nerveux venant du cortex cérébral et allant aux centres cardiaques et vasoconstructeurs de la moelle. La stimulation de ces centres provoque une accélération du rythme cardiaque et une contraction des vaisseaux sanguins au niveau de l'aire splanchnique.

La pression artérielle étant sensible à l'étirement des vaisseaux, les effets combinés de ces excitations engendrent une augmentation de cette dernière. Après le début de l'exercice, d'autres facteurs viennent ajouter leurs influences pour augmenter la pression sanguine artérielle. La peau, par exemple, augmente la pression artérielle par une vasoconstruction considérable qui se traduit, même au niveau de l'individu par une légère pâleur. Cette vasoconstruction est d'origine nerveuse et elle est provoquée par des influx d'origine corticale ou des réflexes provenant de la peau. Mais cette construction n'apporte pas une contribution permanente à l'augmentation de la pression artérielle ; car lorsque le corps se réchauffe avec l'exercice, les vaisseaux sanguins se dilatent à nouveau (18).

Nous savons que les artérioles et les capillaires des muscles en activités se dilatent et ne peuvent être remplis de sang de façon convenable que s'il ya en même temps une constriction compensatrice des vaisseaux sanguins dans les parties inactives du corps. Les vaisseaux des organes splanchniques de l'abdomen représentent le territoire le plus favorable pour cette

.../...

compensation. Contrairement à la peau, il semble probable que, aussi longtemps que dure ce besoin, les vaisseaux de ce territoire demeurent contractés.

II - La Consommation d'oxygène

Il faut admettre que les scientifiques ont tout juste commencé l'étude systématique des nombreux facteurs qui exercent une influence sur l'aptitude à fournir une performance. C'est à propos de l'apport d'énergie par le processus aérobie que l'on possède le plus d'information (26). Ceci peut-être expliqué par le fait que l'on connaît depuis longtemps les méthodes de mesure de la consommation d'énergie par le moteur humain : ça remonte, en fait, à la découverte par Lavoisier de l'utilisation de l'oxygène par les animaux vivants.

1- Les processus aérobie.

Les facteurs qui influent sur la capacité à fournir un exercice musculaire sont complexes. Pour chaque litre d'oxygène consommé, 5 kcal environ sont libérés (3). On peut conclure que la quantité d'énergie produite est proportionnelle à la quantité d'oxygène consommé.

Quard et Coll (24) définissent la consommation d'oxygène comme suit : "la différence entre la quantité d'oxygène inspiré et celle de l'oxygène expiré représente le phénomène global de la consommation d'oxygène".

2 - L'évolution de la consommation d'oxygène pendant l'exercice :

Des travaux d'Astrand et Rodahl (3) montrent que, lorsqu'un sujet sain fournit un travail à charge constante, sa consommation d'oxygène croit lors des premières minutes de l'exercice jusqu'à atteindre un plateau qui correspond à un apport d'oxygène égal à la consommation maximale de ce gaz au

.../...

niveau des tissus. A la fin de l'exercice, la consommation d'oxygène revient progressivement à son niveau de repos ; ceci correspond au paiement de la dette d'oxygène qui est la différence entre l'oxygène consommé et le travail mécanique fourni ; elle sera payée quelques minutes après l'arrêt de l'exercice.

Lors d'un exercice peu intense, l'énergie utilisée lors des premières minutes peut être libérée par les processus aérobies grâce à l'oxygène stocké dans les muscles.

Lorsque l'exercice est plus intense, les processus anaérobies peuvent fournir une partie de l'énergie dépensée au début de l'exercice et de l'acide lactique peut être produit.

Lorsque la puissance fournie correspond à une consommation supérieure à 50% de la consommation maximale de l'individu et que l'exercice est poursuivi plusieurs minutes, de l'acide lactique apparaît dans le sang (3).

Plus l'exercice est intense, plus la contribution des processus anaérobies à la production de l'énergie est importante : la concentration sanguine en lactate augmente, le travail est ressenti comme plus épuisant, et les conséquences de l'abaissement du pH se font sentir au niveau des muscles, de la respiration et des autres fonctions. Il y a un accroissement linéaire de la $\dot{V}O_2$ (mesurer après 5 minutes d'exercice) en fonction de la puissance fournie, jusqu'au niveau où les possibilités maximales d'utilisation du système de transport de l'oxygène sont atteintes (3). Quelque soit l'augmentation de la puissance, la consommation d'oxygène reste stationnaire à un plateau. Le début du plateau correspond à la puissance maximale de transport d'oxygène ou consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ max.).

.../...

3- La Consommation maximale d'oxygène ou puissance maximale aérobie

Anderson (2) la définit comme étant la capacité qu'a le sang de transporter l'oxygène aux différents tissus. C'est aussi la consommation 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 du travail étant de 2 à 6 minutes suivant la puissance).

La $\dot{V}O_2$ max. est le reflet des possibilités optimales du système de transfert des substrats et des déchets entre les territoires de réserves ou les échangeurs (poumons, tube digestif) et la cellule musculaire.

Quelque soit le but recherché (aptitude à un sport ou à un travail donné), on évalue l'aptitude physique en tenant compte des éléments suivants :

- La $\dot{V}O_2$ max. et la puissance maximale aérobie
- Les conséquences cardiocirculatoires, ventilatoires et métaboliques afin de définir le ou les facteurs limitatifs de l'effort (24).

Jusqu'en 1957, la signification exacte de la $\dot{V}O_2$ max. n'était pas définitive. Mais on sait aujourd'hui, grâce aux travaux de Lesbre et coll. (20), que chez un individu sain, seuls les facteurs musculaires (développement de la masse musculaire) et circulatoires (débit cardiaque et différence artério-veineuse en oxygène), régissent véritablement le $\dot{V}O_2$ max. selon la relation :

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times (CaO_2 - CvO_2)$$

$$\dot{Q} = \text{débit cardiaque (DC)}$$

.../...

$CaO_2 - CvO_2$: différence artérioveineuse en oxygène.

4 - Variations des paramètres de la $\dot{V}O_2$ à l'effort.

On sait que chez un sujet au repos couche, le débit cardiaque est d'environ 4 à 6 l. min^{-1} , avec une extraction de 40 à 50 ml d' O_2 par litre de sang. Et la consommation totale d' O_2 est de 0,2 à 0,3 l. min^{-1} .

La relation précédente peut s'écrire :

$$\dot{V}O_2 = VS \times FC \times (CaO_2 - CvO_2)$$

VS = volume d'éjection systolique

FC = Fréquence cardiaque.

Des études ont montré que la relation linéaire (consommation d' $\dot{V}O_2$ égale au produit du débit cardiaque par la différence artérioveineuse en O_2) n'est pas linéaire pour des valeurs élevées de la $\dot{V}O_2$ si l'on considère l'ensemble des valeurs comprises entre l'état de repos et l'exercice maximale. De même, l'augmentation de la différence artérioveineuse en O_2 est réduite pour les $\dot{V}O_2$ élevées (3).

P.O. Astrand et coll ont démontré en 1964, qu'un homme présentant une grande aptitude physique est capable, lorsqu'il fournit un exercice sur une bicyclette ergométrique, de faire passer sa consommation d'oxygène de 0,25 à 5 l/min ou même d'avantage. Cet accroissement est accompagné d'une augmentation de la fréquence cardiaque qui passe d'environ 50 à 200 puls/min et du volume systolique qui passe de 100 à 150 ml environ (3). Ce qui indique que, au cours de l'exercice maximal, le débit cardiaque est passé de 5 à 30 l/min, c'est à dire qu'il a multiplié par 6 sa valeur de repos. Puisque la

.../...

$\dot{V}O_2$ a été multipliée par 20, la différence $a - \dot{V}O_2$ a dû passer de 50 à 165 ml/litre de sang, c'est à dire qu'elle atteint 3,3 fois sa valeur de repos (3).

Le volume systolique augmente de façon linéaire jusqu'à la $\dot{V}O_2$ max. puis reste en plateau. Le début du plateau correspond pour chaque sujet à 40 % environ de la $\dot{V}O_2$ max. Le volume systolique est celui du sujet en position couchée (3). Cette amélioration de l'utilisation de l' O_2 transporté par le sang est la conséquence de deux principaux phénomènes :

1°) Au cours de l'exercice, le sang se distribue de façon telle que les muscles squelettiques, qui sont les tissus les plus aptes à extraire l' O_2 , peuvent recevoir 80 à 85 % du DC au lieu de 15 % au repos.

2°) La courbe de dissociation de l' O_2 est placée de façon telle que la quantité d'oxyhémoglobine réduite par une pression d' O_2 donnée est augmentée (3).

5 - Les Facteurs influençant- la $\dot{V}O_2$ max.

5-1 : L'âge et le sexe

Avant la puberté, la $\dot{V}O_2$ max. est pratiquement la même chez les garçons et chez les filles.

Dans les deux sexes, elle atteint sa valeur maximale entre 18 et 20 ans, puis elle diminue progressivement.

A 65 ans, cette consommation maximale ne représente plus que 70 % de celle qui était atteinte à 25 ans. Cependant, la $\dot{V}O_2$ max. d'un homme de 65 ans est la même (en moyenne) que celle d'une femme de 25 ans (3).

.../...

Dill et Consolazio (11) donnent des valeurs de la $\dot{V}O_2$ max. en fonction de l'âge :

Chez l'homme sédentaire :

$$\dot{V}O_2 \text{ ml/ mn/kg} = 55,8 - 0,41 \times \text{l'âge}$$

Chez la femme sédentaire :

$$\dot{V}O_2 \text{ ml/mn/kg} = 42,2 - 0,36 \times \text{l'âge}$$

5-2 L'Entraînement

L'entraînement physique permet à la $\dot{V}O_2$ max. d'augmenter progressivement de 10 à 20 % chez les sujets sédentaires par accroissement du volume et de la différence artérioveineuse (20). Lange Anderson (2) trouve une différence de 25 % entre la $\dot{V}O_2$ max. de l'homme sédentaire et celle de l'athlète, les deux ayant le même âge.

Parallèlement, d'autres paramètres tels que les dimensions et les fonctions (membres, thorax, système cardio-respiratoire), qui jouent un grand rôle dans la détermination de la $\dot{V}O_2$, peuvent être grandement influencés par l'entraînement suivi entre 10 et 20 ans, époque de croissance et de développement de l'organisme (2). Ainsi, le temps de travail se trouve augmenté par l'entraînement pour une consommation maximale d' O_2 donnée. Au contraire, un séjour au lit de plusieurs semaines peut réduire de 30 % la consommation d' O_2 maximale (24).

5-3 La race et le mode de vie

La $\dot{V}O_2$ d'un Norvégien adulte se montre plus élevée que celle d'un Américain de même âge (13).

.../...

Chapitre deuxièmePrésentation des tests

Il existe plusieurs tests cardiovasculaires, mais on doit admettre que, dans la pratique, deux d'entre eux sont de loin les plus utilisés (26) :

- Le test de Martinet : c'est le plus connu, le plus employé pour les jeunes sportifs qui subissent la visite annuelle d'aptitude et aussi pour la majorité des autres sportifs amateurs.

- le test de Ruffier-Dickson sera beaucoup plus révélateur de la valeur de l'entraînement chez des sportifs qualifiés. Il ne doit donc guère être employé chez les enfants.

Quant à l'intensité de l'effort fourni lors de telles épreuves, le professeur Pies (23) estime que les flexions du test de Martinet peuvent amener chez les sujets des modifications de l'électro-cardiogramme, modifications typiques de l'effort dynamique. Ces tests ne nous permettent pas de déterminer l'effort développé lors de ces flexions et le sujet n'atteint jamais la limite maximale de l'effort qu'il est à mesure de fournir.

Ce sont ces raisons qui nous ont poussé à choisir la bicyclette ergométrique pour les épreuves fonctionnelles que nous sommes amenés à faire.

L'intérêt de cet appareil est de pouvoir mesurer exactement l'effort accompli (en kilogramme mètres ou en watts) et de pratiquer en même temps des mesures de tension artérielle et éventuellement, un tracé électrocardiographique.

Ainsi, nous avons réalisé l'étude des modifications de la pression artérielle à l'exercice maximal et la détermination de la consommation maximale d'oxygène des sportifs et des sédentaires, suivant deux protocoles bien distincts.

.../...

I- Protocole I : Etude des modifications de la pression artérielle à l'exercice maximal

1- Présentation de la population

Nous avons examiné 23 sédentaires et 81 sportifs répartis en quatre spécialités : 11 coureurs de fond ; 29 coureurs de vitesse ; 20 cyclistes et 21 foot-balleurs.

Les sédentaires sont constitués essentiellement d'universitaires dont la moyenne d'âge est de $24,15 \pm 3,61$ ans. Les sportifs sont choisis dans les "Club" suivants :

Association des forces armées et les cyclistes étant ceux de l'équipe nationale. Leur moyenne d'âge, de poids et de taille est représentée dans le tableau I ainsi que les sédentaires. Le rythme d'entraînement est régulier pour l'ensemble de la population des sportifs.

2- Choix des échantillons

Nous avons aussi recherché, pour les sédentaires, toutes les contre-indications cardiovasculaires classique à la pratique d'épreuves d'efforts : infarctus du myocarde, rétrécissement aortique etc...

Nous avons eu aussi la précaution d'éliminer tous les sujets jugés sédentaires mais pratiquant une quelconque activité physique. Aussi, nous avons écarté les fumeurs et les alcooliques.

De fait, les sportifs de compétition ne posaient jamais de problèmes d'aptitude.

A l'issue de ce travail, nous n'avons recensé qu'un cas d'hypertension artérielle malgré certaines valeurs systoliques relativement basses qui laissent les sujets à l'aise sans notion de vertiges, syncope ou des céphalées.

3 - Matériel

Pour l'étude des modifications de la pression artérielle, nous avons utilisé cinq appareils :

3-1 - Une bicyclette ergométrique type monark

L'appareil employé pour la mesure du travail fourni par la plupart des muscles du corps est appelé ergomètre. Ordinairement, cette machine fournit une résistance contre laquelle les muscles doivent travailler. La résistance est fournie par des ressorts, des poids.

Il existe trois types de bicyclette ergométrique :

- Dans le type à friction, une des roues d'une bicyclette est convertie en un volant pesant 14 à 18 kg en soudant autour de sa jante une lourde bande métallique. Une courroie consistant un frein est passée autour de la jante et fixée à une de ses extrémités à un poids et à l'autre à un dynamomètre. Lorsque le volant est immobile et que la chaîne du pignon denté est enlevée, le dynamomètre indique une charge égale au poids suspendu. Lorsque le volant tourne, la courroie le freine en frottant dessus ; il en résulte que cette courroie va se déplacer dans le sens de la rotation. Ainsi, la résistance offerte par la roue sera égale au poids suspendu moins le chiffre indiqué par le dynamomètre. Cette résistance ne dépend pas de la vitesse de rotation du volant. Ce type ergomètre ne nécessite aucun étalonnage. La seule correction à faire est 3 % de la résistance en raison des forces de friction engendrées au niveau des diverses parties de la bicyclette, principalement celle provoquée

.../...

par la chaîne.

- Les deux autres types de bicyclettes ergométriques dans lesquelles la résistance est engendrée par des freins magnétiques ou par un générateur électrique sont plus compliqués et nécessitent un étalonnage soigneux (18).

Par manque de moyens, nous avons choisi la bicyclette ergométrique à friction. Certes des méthodes de mesures plus sophistiquées existent, mais elles ne sont pas à notre portée. La bicyclette à friction est moins coûteuse et est plus facile à construire à cause de sa simplicité.

3.2 - Un métronome

Il permet de régler la fréquence de pédalage des sujets.

3.3 - Un chronomètre

Il permet la prise du temps de pédalage.

3.4 - Un tensiomètre à mercure avec stéthoscope.

Elle permet la prise de la pression artérielle.

En pratique le coussinet pneumatique (il mesure 8 cm) doit recouvrir les 2/3 de la longueur du bras. Dans tous les cas, l'artère humérale est bien dégagée au niveau du pli du coude pour éviter de placer le pavillon du stéthoscope sous le brassard, ce qui entraîne une inégalité de la répartition de la pression intra-pneumatique.

4 - Méthodologie

L'enregistrement a eu lieu dans le laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine de l'Université de Dakar au mois de mars 1985. La température de la pièce était comprise entre 18 et 20° C donc voisine de la neutralité thermique excluant ainsi toute dépense énergétique à la thermorégulation. Elle avait aussi une ventilation correcte naturelle.

Trois heures séparées le dernier repas de l'épreuve. On demandait au sujet de ne fournir aucun travail physique de puissance supérieure à celle de l'épreuve 24 heures avant celle-ci. Il ne doit pas fumer, prendre du café ou du thé dans les deux heures qui précèdent l'exercice. Les individus sont convoqués à 16 heures. A leur arrivée, ils sont pesés, subissent un examen clinique et un électro-cardiogramme de repos.

La mesure de la pression artérielle de repos est faite chez le sujet couché, étendu au moins pendant 15 minutes au repos. Après la prise de la pression artérielle de repos, le sujet commence à pédaler sur la bicyclette ergométrique à une fréquence de 50 coups de pédalage à la minute, guidé en cela par le métronome réglé à 100 (chaque coup de pédalage correspond à 2 coups de métronome). La puissance (P) à laquelle est effectué l'exercice est calculée selon la formule suivante :

$$P \text{ (kgm min}^{-1}\text{)} = 2 \times 3 \times 50 \times F \quad \text{où}$$

F est la force en kilogrammes imposée en agissant sur le système de freinage, en appliquant une charge. Au départ, une charge de 1 kg à raison de 50 tours/mn correspond à une puissance de pédalage de 50 watts (w).

2 c'est le nombre de tours que fait la roue par coup de pédale ;

3 c'est la distance en mètres que développe chaque tour de roue.

La puissance devient alors :

$$P = 1 \text{ kg} \times 50 \text{ tours/mn} \times 2 \times 3 = 300 \text{ kgmmn}^{-1}$$

50 watts

Ensuite, on augmente de 50 watts la puissance, par palier de 4 minutes et le sujet pédale ainsi jusqu'à épuisement. Il lui est alors recommandé de faire un dernier sprint avant de s'arrêter. La pression artérielle prise à l'arrêt de l'exercice au dernier palier, correspond à la pression artérielle maximale.

Ainsi, la pression artérielle a été prise au repos et à l'exercice maximal.

La pression artérielle différentielle est obtenue en faisant la différence entre les pressions artérielles systolique et diastolique.

II - Protocole II : Détermination de la consommation maximale d'oxygène

Les échantillons ont été choisis dans les mêmes conditions que pour le protocole I. En particulier, la vérification de l'aptitude à l'accomplissement d'un exercice musculaire d'intensité maximale n'a révélé aucune pathologie.

I - Matériel

La détermination de la consommation maximale d'oxygène ne nécessite la prise de la fréquence cardiaque, c'est pourquoi, en plus du matériel utilisé dans le protocole I, nous avons introduit un rythmostat.

Le rythmostat

C'est un appareil électronique qui fonctionne sur pile. Par affichage, il permet la lecture directe du nombre de battements cardiaques à la minute. Donc il permet le contrôle de la fréquence cardiaque. Il est constitué de deux éléments :

- Un boîtier, relié par des fils de connection à 3 électrodes dont la partie postérieure est en contact direct avec la peau.

- Une sangle de caoutchouc qui permet sa fixation autour de la poitrine.

Il est porté pendant l'exercice.

2 - La population étudiée

L'étude est faite sur 24 sédentaires étudiants à l'Université de Dakar et 32 athlètes dont 16 coureurs de fond et 16 coureurs de vitesse.

La moyenne d'âge des sédentaires est de $25,00 \pm 2,14$ ans, celle des coureurs de fond de $26,25 \pm 2,75$ ans et des coureurs de vitesse $23,25 \pm 3,45$ ans.

Le poids moyen en kg des sédentaires, des coureurs de fond et des coureurs de vitesse est respectivement $59,66 \pm 4,10$; $63,50 \pm 6,37$ et $70,62 \pm 7,47$. (tableau I)

3-Méthodologie

Les mêmes précautions prises dans le protocole I ont été pris. Nous avons donné les mêmes consignes avant le test et les mêmes dispositions le jour du test.

3 - 1 - Détermination de la consommation maximale d'oxygène

La mesure de la consommation maximale d'oxygène peut être faite soit par méthode directe ou par méthode indirecte. La mesure directe est relativement facile dans un laboratoire spécialisé, avec des appareils de mesure, en analysant l'air inspiré et expiré. Elle nécessite un matériel coûteux (analyseur de gaz). Ces mesures doivent s'effectuer au cours d'un effort proche de l'effort maximal pouvant être fourni par le sujet (26). Donc, parmi les critères d'atteinte de la consommation maximale d'oxygène, figurent l'atteinte de la fréquence cardiaque maximale théorique ($220 - l'âge$ du sujet) pouvant entraîner la fatigue du sujet. Ainsi cette méthode de mesure n'est pas dénuée de danger. C'est pourquoi on fait accomplir un travail sous-maximal et les chiffres de la fréquence cardiaque pour ce travail doivent être de 10 à 30% inférieurs à ceux de l'effort maximal (26).

C'est pour toutes ces raisons que nous avons porté notre choix sur la méthode indirecte (7) qui n'est pas aussi précise ca

il s'agit de prédire la consommation maximale d'oxygène à partir de la fréquence cardiaque mesurée lors d'un exercice de puissance sub-maximale (3).

Cette mesure est facilement reproductible car sans danger et nécessite des moyens à la portée de tout laboratoire physiologique.

3-2 - Principes de la mesure indirecte

La mise au point d'une technique de mesure a rendu un grand service dans le milieu sportif ; elle repose sur les deux faits physiologiques suivants :

* L'accroissement linéaire de la consommation d'oxygène est fonction du travail fourni,

* Au cours d'un travail régulier sous maximal, on observe au bout d'un certain temps, un plateau dans la consommation d'oxygène, ce même plateau se trouvant dans les pulsations de l'individu.

Il s'agit donc de choisir un type d'exercices facilement mesurable, capable d'engendrer vers la 4e ou 5e minute une fréquence cardiaque en plateau, situé entre 130 et 150 (26).

La détermination indirecte nécessite donc :

. L'exécution d'un exercice de 6 minutes à une puissance constante rigoureusement bien quantifiée.

. La mesure de la fréquence cardiaque en cours d'exercice et

. L'utilisation d'un normogramme d'Astrand (figure 1)

L'étude des valeurs individuelles de la fréquence cardiaque pour différentes valeurs de la consommation d'oxygène a permis au P.O Astrand et I. Ryhming en 1954 (4), la construction

d'un normogramme permettant la prédiction de la consommation maximale d'oxygène à partir de la fréquence cardiaque sub-maximale (comprise entre 120 et 170 pulsions par minute). Ce normogramme a été modifié par la suite ; et la figure en représente la nouvelle version.

On a retrouvé de façon empirique que la consommation maximale d'oxygène, telle qu'elle est prédite, peut pratiquement coïncider avec celle que l'on mesure réellement (3).

3.3 - L'utilisation du normogramme (figure 1)

Selon que l'on fait le test sur bicyclette ergométrique ou sur escabeau, l'utilisation du normogramme change.

Dans le cas qui nous concerne, c'est-à-dire la bicyclette ergométrique, l'utilisation du normogramme se fait selon la méthode suivante :

- on projette horizontalement sur l'échelle 2 des $\dot{V}O_2$ le point correspondant à la puissance affichée P de l'échelle 1.
- on joint ce point à celui représentatif de la fréquence cardiaque obtenue à la 6e. minute sur l'échelle 5 (FC).
- l'intersection de cette droite et de l'échelle 4 ($\dot{V}O_2$ max.) donne la consommation maximale d'oxygène prédite exprimée en $l. mn^{-1}$.

Sans pour autant être le test miracle, la détermination indirecte peut valablement approcher la condition physique des sujets.

La consommation maximale d'oxygène est exprimée en litre par minute. Elle peut être ramenée au poids en divisant la valeur en litre par minute, par le poids ; elle s'exprime alors en $ml. kg^{-1} mn^{-1}$.

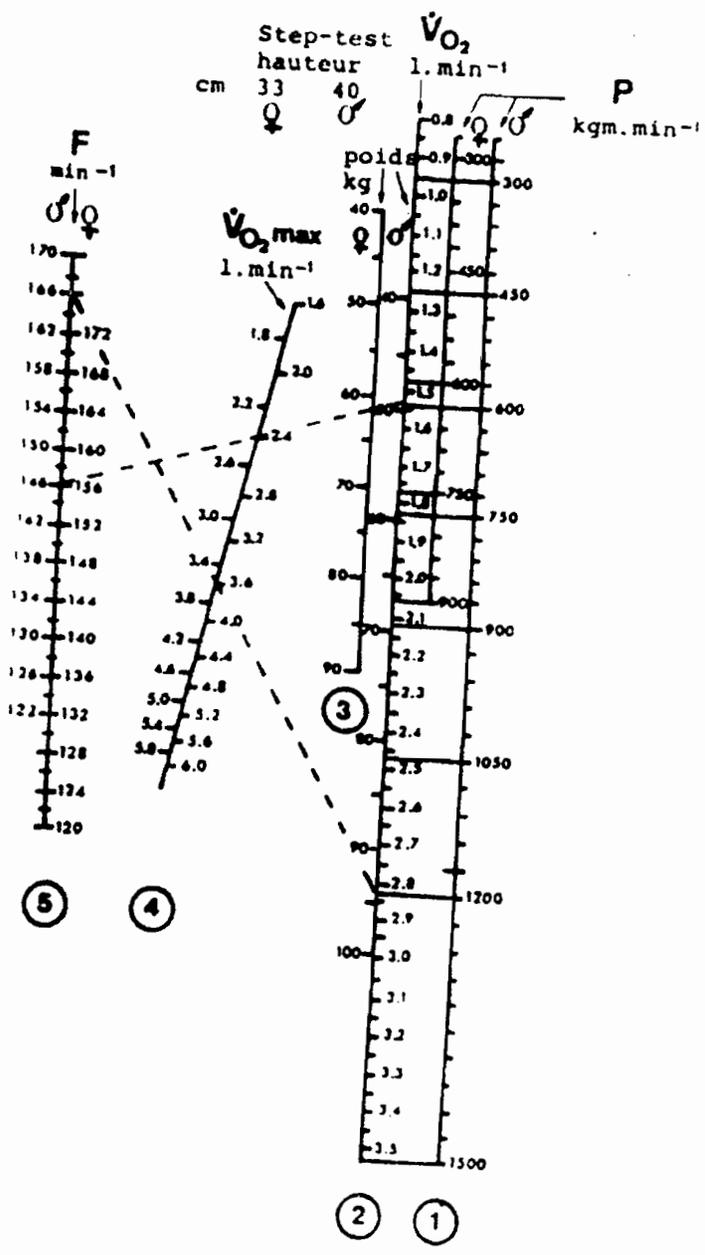


FIGURE 1: Normogramme d'Astrand

Les physiologistes ont proposé la classification suivante (12) :

$\dot{V}O_2$ max. en $l \cdot m^{-1}$	$\dot{V}O_2$ max. en $ml \cdot kg^{-1} \cdot mn^{-1}$
2,5 = moyen	20 = très médiocre
	30 - 35 = médiocre
3 = assez bon	35 - 40 = moyen inférieur
3,5 = bien	40 - 45 = moyen supérieur
4 = très bien	45 - 55 = bon
	55 - 60 = très bon
	60 = excellent

.../...

3.4 - CALCUL DE LA PUISSANCE

Le calcul de la puissance est pratiquement le même que le premier test à part qu'ici, la charge est constante et est fonction du poids du sujet.

Calcul de la force (F).

$15 \text{ kgm min}^{-1} \times \text{poids} = 2 \text{ mètres} \times 3 \text{ tours} \times 50 \text{ pédales} \times F$

$$F = \frac{15 \times \text{Poids}}{300} = \frac{\text{Poids}}{20}$$

15 kgm min^{-1} = constante utilisée pour les sujets jeunes.
Le poids étant connu, il devient aisé de déterminer F. d'où :

$$P (\text{kgm min}^{-1}) = 15 \times \text{Poids}.$$

3.5 - LE TEST

On recommande au sujet de ne pas parler et de se concentrer sur le rythme du métronome ; il a le rythmostat autour de la poitrine. Pendant toute la durée de l'épreuve qui est de 6 minutes, trois paramètres sont contrôlés toutes les minutes.

- La charge affichée qu'on a toujours réajuster au besoin.
- Le rythme du sujet qui doit être synchrone du métronome
- La fréquence cardiaque. Elle est lue sur le rythmostat et celle de la 6^e minute est notée.

La fréquence cardiaque de repos ayant été prise avant le test, après 15 minutes de repos couché, par le rythmostat.

III - LES CALCULS STATISTIQUES ET INTERPRETATION

=====

Puisque nous avons utilisé la méthode expérimentale pour notre travail, nous ne pouvons pas nous passer des calculs statistiques pour l'interprétation rationnelle des données obtenues lors de nos tests.

"Les résultats fournis par une étude statistique présentent de l'intérêt dans la mesure où ils sont accompagnés d'indication quantitatives fixant le degré de confiance qui peut leur être accordé". (-5)

Nous sommes ainsi amenés à définir des notions comme le coefficient de sécurité et le coefficient de risque, l'intervalle de confiance et les problèmes d'homogénéité. Pour cela, il faudra nous munir de paramètres nous permettant une représentation condensée de l'information contenue dans la série statistique. Ce sera parmi les paramètres de 1er ordre ou paramètres de position, la moyenne (\bar{x}) et parmi les paramètres du 2è ordre ou paramètres de dispersion, l'écart-type (σ). Ils permettent respectivement de se rendre compte de l'ordre de grandeur de l'ensemble des mesures et de préciser le degré de dispersion des différentes valeurs d'une série autour d'une valeur centrale.

La distribution de la population pour les différents paramètres suit une loi normale ; ce qui nous autorise à utiliser la moyenne et l'écart-type comme méthode d'exploitation, statistique de nos résultats.

Dans notre exemple, tous les paramètres que nous avons évalués sont des caractères quantitatifs continus car ils sont mesurables et susceptibles de prendre toute valeur appartenant à leurs intervalles de variation.

1 - Calcul de la moyenne (\bar{x})

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n n_i c_i}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

où n_i désigne l'effectif de la classe i ,
et c_i désigne le centre de la classe i .

2 - Calcul de la variance et de l'écart-type

La variance σ^2 est la moyenne arithmétique des carrés des écarts des valeurs de la série statistique à leur moyenne (5) :

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n n_i (c_i - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n n_i}$$

σ est appelé écart-type

3 - Jugements sur échantillons

3.1 - Coefficient de sécurité. Coefficient de risque

A ce niveau nous sommes confrontés aux problèmes d'estimation.

Pour un petit échantillonnage c'est-à-dire si l'effectif est inférieur à 30, on a un degré d'incertitude faible (c'est le cas de notre expérimentation) ; notre coefficient de sécurité est de 0,99 donc 99% et notre coefficient de risque est de 0,01 donc 1%. ($P < 0,01$)

3.2 - L'homogénéité

Le problème est de savoir si, pour un coefficient de sécurité donné, les divergences observées entre les moyennes des échantillons sont-elles significatives ?

Pour cela, on utilise le "test t" de Student.

4 - Calcul de t

La connaissance de la valeur t permet de comparer deux moyennes \bar{x} et \bar{y}

Le degré de liberté est égal à $N_a + N_b - 2$

où N_a = effectif de l'échantillon A
et N_b = effectif de l'échantillon B.

$$t = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sigma} = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{\sqrt{\sigma^2 \left(\frac{1}{NA} + \frac{1}{NB} \right)}}$$

où σ = erreur type

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sigma'^2}{NA} + \frac{\sigma'^2}{NB}} = \sigma' \sqrt{\frac{1}{NA} + \frac{1}{NB}}$$

où σ'^2 = erreur commune

$$\sigma'^2 = \frac{\sum (x - \bar{x})^2 + \sum (y - \bar{y})^2}{NA + NB - 2}$$

où x et y étant les centres de classe respectifs des échantillons A et B.

Le degré de liberté permet de calculer l'erreur commune mais aussi, il permet d'effectuer la comparaison des moyennes. Dans nos deux protocoles, notre degré de liberté est supérieur ou égal à 30. Ce chiffre correspond à 2,750 quand on se réfère à la table de Student.

FISCHER pour un coefficient de sécurité de 99%.

On compare ensuite la valeur absolue de t au nombre 2,750.

Si $t < 2,750$ on peut accepter l'hypothèse que les deux échantillons sont issus d'une même population d'où la fluctuation d'échantillonnage est normale, l'erreur sera due à la mesure.

Si $t > 2,750$, la différence observée entre les deux échantillons ne peut être attribuée aux seules fluctuations d'échantillonnage et l'on rejette l'hypothèse que les deux échantillons proviennent d'une même population donc, on peut dire que la différence est significative.

Nous avons utilisé pour ce travail, une machine à calculer de type : Sharp Elsi rate EL-219.

CHAPITRE III - RESULTATS

I - Moyenne et écart-type des différentes variables.

Après avoir mesuré tous les indications nécessaires à la clarification de notre travail, nous sommes amenés à exposer les résultats à l'aide de tableaux. Pour cela, nous avons calculé la moyenne et l'écart-type à partir de séries statistiques.

1 - Protocole I

1.1. Données anthropométriques

La moyenne et l'écart type des données anthropométriques des sédentaires et des sportifs sont présentés dans les tableaux I et II.

1.2. La pression artérielle au repos

Sur les tableaux III et IV, figurent les valeurs moyennes des pressions artérielles systoliques et diastoliques et la pression différentielle en millimètre de mercure (mm Hg).

1.3. La pression artérielle à l'exercice maximal

Les tableaux V et VI montrent les valeurs moyennes et l'écart type des pressions artérielles systoliques et diastoliques et des pressions différentielles à l'exercice maximal des sportifs et des sédentaires en fonction de la puissance maximale en watts.

Tous les résultats de ce premier protocole se trouvent résumés dans le tableau VII.

Résultats du protocole I

Sujets	Nombre	Age (année)		Poids (kg)		Taille (cm)	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	23	24,65	3,61	60,76	9,51	175,78	6,14
Footballeurs	21	25,57	3,25	69,40	6,07	178,45	5,02
Cyclistes	20	23,40	4,53	62,80	9,05	173,85	7,67
Coueurs de fond	11	23,54	3,20	62,36	5,17	176,13	4,81
Coueurs de vitesse	29	23,34	3,60	66,29	7,50	178,41	5,97

Tableau I - Données anthropométriques.

Moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ) de l'âge, du poids et de la taille des sédentaires et des différents sportifs (Footballeurs, Cyclistes, Coueurs de fond et Coueurs de vitesses).

Sujets	Age (ans)		Poids (kg)		Taille (cm)	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	24,65	3,61	60,76	9,51	175,78	6,14
Sportifs	24,00	1,50	66,00	2,00	176,50	1,65

Tableau II - Moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ) des données anthropométriques des sédentaires et des sportifs : âge -
- poids - taille.

Sujets	Nbr.	PAS (mmHg)		PAD (mmHg)		ΔP (mmHg)	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	23	124,8	14,4	70,2	7,1	52,6	7,3
Sportifs	4 groupes	122,5	6,1	77,7	5,4	54,0	8,6

Tableau III - Pression artérielle systolique (PAS) et diastolique (PAD) et la pression différentielle (ΔP) des sédentaires et de l'ensemble des 4 groupes de sportifs moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ) au repos.

Sujets	Nbr.	PAS (mmHg)		PAD (mmHg)		ΔP (mmHg)	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	23	124,8	14,4	70,2	7,1	52,6	7,3
Footballeurs	21	117,3	9,7	69,7	7,3	47,6	2,4
Cyclistes	20	124,0	13,7	77,5	8,8	46,5	4,9
Coureurs de vitesse	29	119,1	12,7	74,4	6,9	44,7	5,8
Coureurs de fond	11	133,1	14,0	87,5	25,2	68,6	10,6

Tableau IV - Moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ) de la pression artérielle systolique (PAS) et diastolique (PAD) la pression différentielle (ΔP) au repos.

Sujets	P (watts)		PAS max. (mmHg)		PADmax. (mmHg)		ΔP (mmHg)	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	142,50	29,00	159,5	16,3	68,9	13,7	90,6	2,6
Sportifs	211,00	24,49	167,0	8,6	63,2	4,1	103,2	6,4

Tableau V - Pression artérielle systolique (PAS) et diastolique (PAD) et la pression différentielle (ΔP) à l'exercice maximal en fonction de la puissance (P) fournie de l'ensemble des sportifs et des sédentaires : moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ).

Sujets	P (watts)		PAS (mmHg)		PAD (mmHg)		ΔP (mmHg)	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	142,50	29,00	159,5	16,3	68,9	13,7	90,6	2,6
Footballeurs	181,00	25,01	161,6	18,8	62,1	9,8	99,5	9,0
Cyclistes	245,05	45,00	157,0	15,0	59,5	11,5	97,5	3,9
Coureurs de fond	189,00	37,00	185,4	25,2	68,6	10,6	116,8	14,6
Coureurs de vitesse	212,04	23,00	157,4	19,9	57,4	10,3	100,0	9,6

Tableau VI - Pression artérielle systolique et diastolique et la pression différentielle à l'exercice maximal en fonction de la puissance développée : moyenne et écart-type.

Sujets	Age (ans)	Poids (kg)	Taille (cm)	PASR (mmHg)	PADR (mmHg)	P (Watts)	PAS 6e (mmHg)	PAD 6e (mmHg)	
Sédentaires (23)	\bar{x}	24,65	60,76	175,78	124,8	70,2	142,50	159,5	68,9
	σ	3,61	9,51	6,14	14,4	7,1	29,00	16,3	13,7
Coureurs de fond (11)	\bar{x}	23,54	62,36	176,13	133,1	87,7	189,00	185,4	68,6
	σ	3,20	5,17	4,81	14,0	25,2	37,00	25,2	10,6
Coureurs de vitesse (29)	\bar{x}	23,34	66,29	178,41	119,1	74,4	212,04	157,4	57,4
	σ	3,60	7,50	5,97	12,7	6,9	23,00	19,9	10,3
Cyclistes (20)	\bar{x}	23,40	62,80	173,85	124,0	77,5	245,05	157,0	59,5
	σ	4,53	9,05	7,67	13,7	8,8	45,00	15,0	11,1
Foot- balleurs (21)	\bar{x}	25,57	69,40	178,45	117,3	69,7	181,00	161,6	62,1
	σ	3,25	6,07	5,02	9,7	7,3	25,01	18,8	9,8

Tableau VII - Tableau récapitulatif des tests du protocole I
 PASR = Pression artérielle systolique de repos
 PADR = Pression artérielle diastolique
 PAS6e: Pression artérielle systolique à la sixième
 minute d'exercice musculaire.

- PAD6e = Pression artérielle diastolique.
 - P = Puissance.

2 Protocole II

2.1. Données anthropométriques

Nous avons présenté sur le tableau I la valeur moyenne et l'écart type de l'âge et du poids des sédentaires mais aussi des sportifs de deux spécialités différentes : coureurs de fond et coureurs de vitesse.

(: Nombre :	Age (ans)	:	Poids (kg))
(:	:	:	:)
(Sédentaires	: 24	: 25,00	: 2,14	: 59,00	: 4,10)
(:	:	:	:)
(Coureurs de fond	: 16	: 26,25	: 2,75	: 63,50	: 6,37)
(:	:	:	:)
(Coureurs de	: 16	: 23,25	: 3,45	: 70,62	: 7,47)
(vitesse	:	:	:	:)

TABLEAU I : Données anthropométriques des sédentaires et de deux classes classes de sportifs : moyenne (\bar{X}) et écart type ().

2.2. Fréquence cardiaque (FC), Pression artérielle (PA), consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2 \text{ max}$) et puissance (P)

Nous avons présenté d'abord dans le tableau II la valeur moyenne et l'écart type de la FC de repos des sédentaires, des coureurs de fond et des coureurs de vitesse. Dans le tableau III, figure la moyenne et l'écart type de la FC après 6 minutes d'exercice physique pour ces mêmes sujets en fonction de la puissance utilisée.

La valeur moyenne et l'écart type de la $\dot{V}O_2 \text{ max}$. pour tous les sujets en fonction de la puissance sont exposés dans le tableau IV tandis que dans les tableaux V et VI les valeurs de la PA systolo-diastolique au repos et à la 6e minute d'exercice musculaire de nos sujets.

Nous avons récapitulé dans le tableau VII tous les résultats du protocole II.

Sujets	Nombre	F C R (batts. min ⁻¹)	
		\bar{x}	σ
Sédentaires	24	77,70	13,18
Coueurs de fond	16	61,37	5,63
Coueurs de vitesse	16	69,18	9,43

Tableau II - Moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ) de la fréquence cardiaque de repos (FCR) des sédentaires et des classes de sportifs.

Sujets	P (kg min ⁻¹)		F C 6e	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	891,66	67,18	188,75	14,80
Coueurs de fond	960,00	95,19	160,37	21,21
Coueurs de vitesse	1046,87	108,92	183,75	11,38

Tableau III - Fréquence cardiaque à la 6e minute (FC6e) d'exercice en fonction de la puissance (P) : moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ).

Sujets	P (kgm min^{-1})		VO ₂ max. (ml kg ⁻¹ mm ⁻¹)	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	891,66	67,18	43,16	1,40
Coueurs de fond	960,00	95,19	49,06	10,41
Coueurs de vitesse	1046,87	108,92	43,50	3,42

Tableau IV - Consommation maximale d'oxygène (VO₂ max.) en fonction de la puissance (P) : moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ).

Sujets	PAS R		PAD R	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	125,41	11,35	70,83	7,02
Coueurs de fond	127,50	12,50	78,12	5,82
Coueurs de vitesse	116,43	14,24	77,50	6,61

Tableau V - Pression artérielle systolique de repos (PASR) et pression artérielle diastolique de repos (PADR) des sédentaires et des classes de sportifs : moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ).

Sujets	P (kgm mm ⁻¹)		PAS 6e (mmHg)		PAD 6e (mmHg)	
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	891,66	67,12	162,91	22,16	60,83	7,02
Coureurs de fond	960,00	95,19	166,87	11,84	70,62	9,33
Coureurs de vitesse	1046,87	108,92	175,62	18,18	68,12	5,82

Tableau VI - Moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ) de la pression artérielle systolique et diastolique prises à la 6e minute d'exercice musculaire (PAS 6e et PAD 6e) en fonction de la puissance (P).

II - COMPARAISONS DES RESULTATS ENTRE SPORTIFS ET SEDENTAIRES

=====

Pour ce travail, nous avons utilisé le "test t" de Student pour voir si les différences constatées entre les grandeurs observées lors des calculs sont significatives ou sont des erreurs dues à la mesure.

Rappelons que toutes nos comparaisons ont été faites avec un coefficient de sécurité de 0,99 donc une probabilité d'erreur de 0,01 ($P < 0,01$)

1 - PROTOCOLE I

Pour ce protocole, une seule grandeur est mesurée : la pression artérielle..

1.1 - Les données anthropométriques (tableau I et II)

1.1.1 - L'âge (en années)

La moyenne d'âge chez les sportifs est de 24 ans elle est presque égale à celle des sédentaires qui est de 24,65.

Sujets		Poids (kg)	Age (ans)	FC rep (bat.min ⁻¹)	FC 6e (bat.min ⁻¹)	Puissance (kg min ⁻¹)	VO ₂ max. (mlkg ⁻¹ min ⁻¹)	PASR (mmHg)	PADR (mmHg)	PAS 6e (mmHg)	PAD 6e (mmHg)
Sédentaires (24)	\bar{x}	59,66	25	77,70	188,75	891,66	43,16	125,41	70,83	162,91	60,83
	σ	4,1	2,14	13,18	14,8	67,18	1,40	11,35	7,02	22,16	7,02
Coureurs de fond (16)	\bar{x}	63,5	26,25	61,37	160,37	960	49,06	127,5	78,12	166,87	70,62
	σ	6,37	2,75	5,63	21,21	95,19	10,41	12,5	5,82	11,84	9,33
Coureurs de vitesse (16)	\bar{x}	70,62	23,25	69,18	183,75	1046,87	43,50	116,43	77,5	175,62	68,12
	σ	7,47	3,45	9,43	11,38	108,92	3,42	14,24	6,61	18,18	5,82

Tableau VII - Tableau récapitulatif de tous les résultats du deuxième protocole :
Moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ).

1.1.2 - Le poids (en kilogramme)

La valeur de la moyenne du poids est significativement plus élevée chez les sportifs que celle observée chez les sédentaires : $66,00 \pm 2,00$; $60,76 \pm 9,51$: ($P < 0,01$).

1.1.3 - La taille (en centimètre)

La différence observée entre la taille des sédentaires et celle des sportifs n'est pas significative, elle est de même insignifiante entre les sportifs eux-mêmes. $175,78 \pm 6,14$ pour les sédentaires et $176,50 \pm 1,65$ pour les sportifs.

1.2 - LES VALEURS DE REPOS

Les sédentaires présentent des valeurs de pression artérielle systolique plus élevées et des valeurs de pression artérielle diastolique plus basses que celles des sportifs (tableau III). Cependant les différences ne sont pas significatives (tableau VIII). Les résultats ont montré que les athlètes de fond et les cyclistes ont une pression artérielle systolo-diastolique singificativement plus élevée que les athlètes de vitesse et les footballeurs. (tableau IV)

Les footballeurs et les coureurs de vitesse ont une même pression artérielle systolique et diastolique $117,3 \text{ mmHg}$ contre $119,1 \text{ mmHg}$ et $69,7 \text{ mmHg}$ contre $74,4 \text{ mmHg}$. Si on considère l'ensemble des sportifs, leur pression différentielle est légèrement supérieure à celle des sédentaires (tableau III) ($54,0 \pm 8,6 \text{ mmHg}$ pour les sportifs contre $52,6 \pm 7,3$ pour les sédentaires) mais c'est une différence qui n'est pas significative. Chez les sportifs, les coureurs de fond ont une différentielle significativement plus élevée que les autres sportifs. (tableau IV)

1.3 - LES VALEURS MAXIMALES

La pression systolique des sédentaires à l'exercice maximal est significativement plus basse que celle des sportifs de même âge : $159,5 \pm 16,3 \text{ mmHg}$ contre $167,0 \pm 8,6 \text{ mmHg}$ ($P < 0,01$) : tableau VIII.

D'autre part, les sportifs présentent des valeurs de pression artérielle diastolique à l'exercice maximal significativement plus basse que celles des sédentaires : $63,2 \pm 4,14$ contre $68,9 \pm 13,7$ mmHg ($P < 0,01$) : tableau VIII.

La pression différentielle des sportifs est significativement plus élevée que celle des sédentaires. (voir tableau V)
En comparant la pression artérielle systolique des différents sportifs entre eux, on constate qu'elle est significativement très élevée chez les coureurs de fond par rapport aux autres sportifs. (tableau VI)

Les coureurs de vitesse, les footballeurs et les cyclistes ont des valeurs de pression systolo-diastolique et différentielle légèrement différentes, cependant cette différence n'est pas significative. (tableau VI)

1.4 - LA PUISSANCE

En comparant la puissance développée lors de l'exercice maximal, nous remarquons qu'elle est significativement plus basse chez les sédentaires que chez les sportifs : $142,50 \pm 29,00$ watts contre $211,00 \pm 24,49$ watts. (tableau VIII)

La puissance développée varie d'un sportif à l'autre mais celle des cyclistes et des coureurs de vitesse est significativement plus élevée que celle des footballeurs et des coureurs de fond. (tableau V)

	Sédentaires	Sportifs	Signification à ($P < 0,01$)
PAS de repos (mmHg)	$124,8 \pm 14,4$	$122,5 \pm 6,1$	Différence non significative
PAD de repos (mmHg)	$70,2 \pm 7,1$	$77,7 \pm 5,4$	Différence non significative
PAS à l'exercice max. (mmHg)	$159,5 \pm 16,3$	$167,0 \pm 8,6$	Différence significative
PAD à l'exercice max. (mmHg)	$68,9 \pm 13,7$	$63,25 \pm 4,14$	Différence significative
Puissance	$142,50 \pm 29,00$	$211,00 \pm 24,49$	Différence significative

Tableau VIII - Comparaison de la pression artérielle systolique (PAS) et diastolique (PAD) au repos et à l'exercice maximal entre sédentaires et sportifs ainsi que la puissance.

2 - PROTOCOLE II

A ce niveau, nous allons comparer les cinq grandeurs entre les sédentaires et les sportifs au repos et après 6 minutes d'exercice physique.

2.1 - Les données anthropométriques (tableau I)

2.1.1 - Le poids (kg)

Il est significativement plus bas chez les sédentaires : 59,66 contre 67,06 chez les sportifs ($P < 0,01$)
Quand on compare les sportifs entre eux, on constate que les coureurs de vitesse ont un poids significativement plus élevé que les coureurs de fond :

2.1.2 - L'âge (ans)

On constate une légère différence au niveau de la moyenne d'âge des sédentaires et des sportifs des différentes disciplines, mais elle n'est pas significative.

2.2 - Valeurs de repos

Au repos, nous avons deux valeurs : la fréquence cardiaque et la pression artérielle.

2.2.1 - La fréquence cardiaque

La fréquence cardiaque au repos des sportifs est significativement plus basse que celle des sédentaires tableau VIII : 65,50 contre 77,70 batt. min⁻¹ ($P < 0,01$).

Les coureurs de fond ont une fréquence cardiaque plus basse que celle des coureurs de vitesse et des sédentaires et cette fluctuation est significative (tableau IX et X) : Coureurs de fond : 61,37 ; coureurs de vitesse 69,18 ; sédentaires 77,70 ($P < 0,01$). Les coureurs de vitesse, à leur tour, ont une fréquence cardiaque moyenne significativement plus basse que celle des sédentaires.

Sujets	Nombre	F C (battement min ⁻¹)	
		\bar{x}	σ
Sédentaires	24	77,70	13,18
Sportifs	32	65,50	2,50

Tableau VIII - Moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ) de la fréquence cardiaque (FC) de repos des sportifs et des sédentaires.

Sujets	Nombre	Puissance (kgm min ⁻¹)		FC à la 6e min.	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	24	891,66	67,18	188,75	14,80
Sportifs	32	1010,00	25,00	175,00	7,50

Tableau IX - Fréquence cardiaque à la 6e minute d'exercice (FC6e) en fonction de la puissance : moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ).

2.2.2 - La pression artérielle systolo-diastolique

La comparaison des pressions artérielles systolo-diastoliques et les pressions différentielles entre sportifs et sédentaires d'une part et entre sportifs (athlètes de fond et de vitesse) d'autre part, ne montre aucune différence significative. (tableau IX)

2.3 - LES VALEURS A LA 6e MINUTE D'EXERCICE

Nous avons 4 grandeurs : la fréquence cardiaque, la puissance développée, la consommation maximale d'oxygène et la pression artérielle.

2.3.1 - La fréquence cardiaque (battement min⁻¹)

Elle est significativement plus élevée chez les sédentaires 188,75 contre 175,00 chez les sportifs ($P < 0,01$) : (tableau IX). Les coureurs de vitesse ont une fréquence cardiaque à la 6e minute significativement plus élevée que les coureurs de fond: (tableau XI) les valeurs étant respectivement : $183,75 \pm 11,38$ et $160,37 \pm 21,21$ ($P < 0,01$).

2.3.2 - La puissance (kgm min⁻¹)

Elle est significativement plus basse chez les sédentaires que chez les sportifs tableau IX : $891,66 \pm 67,18$ contre $1010,00 \pm 25,00$ ($P < 0,01$). Par contre, les coureurs de fond développent une puissance significativement plus basse que les coureurs de vitesse (tableau XI) : $960,00 \pm 95,19$ contre $1046,87 \pm 108,92$: ($P < 0,01$).

2.3.3 - La consommation maximale d'oxygène (en ml kg⁻¹ min⁻¹)

Elle est significativement plus élevée chez les sportifs (tableau X) $48,00 \pm 2,50$ contre $43,15 \pm 1,40$ chez les sédentaires : ($P < 0,01$) Nous constatons aussi, que la consommation maximale d'oxygène est significativement plus basse chez les coureurs de vitesse que chez les coureurs de fond : $43,50$ contre $49,06$ (tableau XI)

Par contre, la différence n'est pas remarquable entre sédentaires et coureurs de vitesse (tableau XIII).

2.3.4 - La pression artérielle (mmHg)

Nous ne constatons pas de différence significative entre sédentaires et sportifs en ce qui concerne la pression artérielle systolique, par contre la diastolique est significativement plus élevée chez les sportifs.

Chez les sportifs la comparaison des valeurs de pression systolo-diastolique ne montrent pas de différence significative : (tableau XI)

Sujets	Nombre	Puissance (kgm min ⁻¹)		FC à la 6e min.		VO ₂ max. (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	
		\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ
Sédentaires	24	891,66	67,18	188,75	14,80	43,16	1,40
Sportifs	32	1010,00	25,00	175,00	7,50	48,00	2,50

Tableau X - Moyenne (\bar{x}) et écart-type (σ) de la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max.) en fonction de la puissance et de la fréquence cardiaque à la 6e minute d'exercice musculaire (FC 6e).

Sujets Variables	Coureurs de fond	Coureurs de vitesse	Signification ($P \leq 0,01$)
FCR (batt. min ⁻¹)	61,37 \pm 5,63	69,18 \pm 9,43	Différence significative
P (kgm. min ⁻¹)	960 \pm 95,19	1046,87 \pm 108,92	Différence significative
FC6e (batt. min ⁻¹)	160,37 \pm 21,21	183,75 \pm 11,38	Différence significative
VO ₂ max. (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	49,06 \pm 10,41	43,50 \pm 3,42	Différence significative
PASR (mmHg)	127,50 \pm 12,50	116,43 \pm 14,24	Différence significative
PADR (mmHg)	78,12 \pm 5,82	77,50 \pm 6,61	Différence non significative
PAS 6e (mmHg)	166,87 \pm 11,84	175,62 \pm 18,18	Différence non significative
PAD 6e (mmHg)	70,62 \pm 9,33	68,12 \pm 5,82	Différence non significative

Tableau XI - Comparaison des moyennes des fréquences cardiaques au repos, à la 6e minute d'exercice musculaire; de la puissance ; de la VO₂ max. et des pressions artérielles systolo-diastolique entre coureurs de fond et coureurs de vitesse.

	Coureurs de fond	Sédentaires	Signification à
FCR (batt. min ⁻¹)	61,37 + 5,63	77,70 + 13,18	Différence significative
FC 6e (batt. min ⁻¹)	160,37 + 21,21	188,75 + 14,80	Différence significative
P(kgm min ⁻¹)	960,00 + 95,19	891,66 + 67,18	Différence significative
VO ₂ max. (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	49,06 + 10,41	43,16 + 1,40	Différence significative
PAS R (mmHg)	127,50 + 12,50	125,41 + 11,35	Différence non significative
PADR (mmHg)	78,12 + 5,82	70,83 + 7,02	Différence significative
PAS 6e (mmHg)	166,87 + 11,84	162,91 + 22,16	Différence non significative
PAD 6e (mmHg)	70,62 + 9,33	60,83 + 7,02	Différence significative

Tableau XII - Comparaison des moyennes des fréquences cardiaques de repos et à la 6e minute d'exercice, de la puissance, de la VO₂ max. et de la pression artérielle systolodiastolique au repos et à la 6e minute d'effort entre 24 sédentaires et 16 coureurs de fond.

	Coureurs de vitesse	Sédentaires	Signification (P < P,01)
FCR (batt. min ⁻¹)	69,18 ± 9,43	77,70 ± 13,18	Différence significative
FC 6e (batt. min ⁻¹)	183,75 ± 11,38	188,75 ± 14,80	Différence non significative
P (kgm.min ⁻¹)	1046,87 ± 108,92	891,66 ± 67,18	Différence significative
VO ₂ max. (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	43,50 ± 3,42	43,16 ± 1,40	Différence non significative
PAS de repos (mmHg)	116,43 ± 14,24	125,41 ± 11,35	Différence significative
PAD de repos (mmHg)	77,50 ± 6,61	70,83 ± 7,02	Différence significative
PAS 6e (mmHg)	175,62 ± 18,18	162,91 ± 22,16	Différence non significative
PAD 6e (mmHg)	68,12 ± 5,82	60,83 ± 7,02	Différence significative

Tableau XIII - Comparaison des moyennes de la fréquence cardiaque de repos (FCR) et à la 6e minute d'exercice (FC 6e), de la puissance (P), de la VO₂ max. et des pressions artérielles systolique et diastolique au repos (PASR et PADR- et à la 6e minute d'exercice musculaire (PAS 6e et PAD 6e) de 24 sédentaires et 16 coureurs de vitesse.

CHAPITRE IV

COMMENTAIRES ET DISCUSSION DES RESULTATS

=====

L'effet de l'entraînement sur les grandeurs physiologiques a fait l'objet de nombreuses études, mais réalisées pour la plupart en climat tempéré.

Au cours de ce travail réalisé en climat subtropical, la pression artérielle a été mesurée aussi bien au repos qu'à l'effort maximal chez des athlètes bien entraînés pratiquant des activités physiques et sportives diverses pour juger de l'influence de la pratique de ces activités sur ces différents paramètres. La consommation maximale d'oxygène a été aussi calculée.

Des résultats permettent d'arriver à certaines conclusions et soulèvent certaines questions que nous allons aborder maintenant.

I - L'INFLUENCE DE L'ENTRAINEMENT SUR LA PRESSION ARTERIELLE

1 - L'influence de l'entraînement sur la valeur de repos

En ce qui concerne les pressions de repos, on peut constater qu'il n'y a pas de différence apparente entre sportifs et sédentaires (tableau VIII). Ces résultats vont dans le même sens que ceux d'ASTRAND faits dans des conditions climatiques différentes.

En effet, ASTRAND a montré que l'entraînement n'a pas d'effet sur la pression artérielle systolique et diastolique au repos. Nous pensons que la raison principale en est qu'au repos, il y a une inhibition du centre vasomoteur et une bradycardie résultant d'une excitation du centre cardio-modérateur car comme nous l'avons vu, les "barorécepteurs" exercent, de façon réflexe et permanente, une influence modératrice sur le système cardiovasculaire. Etant donné que la pression artérielle dépend de l'élasticité et du calibre des vaisseaux, elle va rester constante pour tous les individus tant que le système respiratoire et circulatoire ne sont pas perturbés.

Il en est à peu près de même chez les sportifs lorsqu'ils sont comparés entre eux (tableau IV). La pression artérielle a une valeur à peu près identique chez les quatre groupes de sportifs, à l'exception de celui des coureurs de fond où elle nous est apparue relativement élevée. Cela est peut être dû à l'émotion au moment de l'enregistrement.

2 - L'influence de l'entraînement sur la pression artérielle à l'exercice maximal.

Nous avons fait remarquer plus haut, en exposant les résultats de notre étude, que les sédentaires présentaient des valeurs de pression artérielle systolique à l'exercice maximal plus basses et des valeurs de pression diastolique plus élevées que les sportifs (tableau V). Dans tous les cas, on voit que la pression artérielle systolique augmente avec l'effort tandis que la pression artérielle diastolique, quant à elle, diminue quelques soient la spécialité sportive. Le fait que la pression artérielle à l'exercice maximal soit plus élevée chez les sportifs, n'est pas une chose inattendue car il est connu, comme le montrent DIBBFLT (10), KOEPLIN (19) et AZDANSKY (27), que le coeur du sportif est beaucoup plus gros et plus puissant que celui du sédentaire et que la pression artérielle systolique témoigne de la puissance du ventricule gauche à injecter le sang dans l'aorte. (18)

La valeur basse de la pression artérielle diastolique plus marquée chez les sportifs, indique une diminution des résistances périphériques artérielles systémiques, due à une plus importante vasodilatation dans les territoires en activité des muscles squelettiques en particulier, dont la vascularisation est progressivement développée par l'entraînement. La pression artérielle à l'exercice maximal a une valeur à peu près identique chez les quatre groupes de sportifs, à l'exception des coureurs de fond pour lesquels la pression systolique nous est apparue relativement élevée malgré un âge à peu près identique.

Ces résultats sont comparables à ceux de BANGOU (6) quand il affirme que ce sont les efforts prolongés et relativement intenses qui sont à l'origine de la bradycardie, laquelle se rencontre surtout chez les boxeurs, les coureurs de fond et demi-fond. Il affirme aussi que la bradycardie est moins marquée chez les sportifs fournissant un effort intense, et bref (course de vitesse par exemple) ; ceci explique pourquoi dans notre étude, nos coureurs de vitesse ont la plus faible pression systolique. On peut donc affirmer d'une part que l'entraînement physique abaisse les valeurs maximale de la pression artérielle et d'autre part que la spécialité sportive a un effet sur la pression artérielle, mais non appréciable car la différence entre ces valeurs n'est pas significative.

Au repos, il n'y a presque pas de différence remarquable entre la pression différentielle des sédentaires et des sportifs, mais on constate un élargissement considérable de la différentielle immédiatement à la fin d'un exercice musculaire intense. Elle est plus élevée chez les sportifs que chez les sédentaires et semble à peu près homogène pour les quatre groupes de sportifs sauf les coureurs de fond et de vitesse dont la valeur est relativement élevée par rapport aux deux autres spécialités. Ces variations s'expliquent par le fait que la pression différentielle est fonction de la pression systolique (car c'est elle seule qui varie de façon considérable lors de l'exercice). Donc les individus qui ont un cœur plus puissant verront leur pression différentielle plus élevée. La pression différentielle peut indiquer la force effective de pompage du cœur. La valeur la plus grande est retrouvée chez les coureurs de fond ($116,8 \pm 14,6$ mmHg) ; après viennent les coureurs de vitesse et les foot-balleurs dont la pression est respectivement de $100,0 \pm 9,6$ et de $99,5 \pm 9,0$ mmHg, et enfin les cycliste $97,5 \pm 3,9$ mmHg.

Donc nous pouvons dire d'ores et déjà que la pression artérielle varie en fonction des individus. A l'exercice maximal, la pression systolique est plus basse chez les sédentaires tandis que la pression diastolique est plus élevée chez les sportifs. Au repos, il n'y a pas de différence remarquable au niveau de la pression systo-diastolique entre les sédentaires et les sportifs. La pression différentielle quant à elle, est plus basse au repos qu'à l'effort maximal chez les sédentaires. Les sportifs entre eux présentent des pressions différentielles variables. Elle est plus grande chez les coureurs de fond et de vitesse.

II - L'INFLUENCE DE L'ENTRAINEMENT SUR LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE.

1 - Comparaison des grandeurs entre sportifs et sédentaires

Plusieurs faits se dégagent des résultats obtenus lors de ces expériences.

Ces exercices ayant été faits sur bicyclette ergométrique, ont permis de mettre en jeu des groupes musculaires importants. La valeur de la consommation maximale d'oxygène des sportifs est de $48 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ pour une puissance de $1010 \text{ kgm min}^{-1}$ et $43,16 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$ chez les sédentaires pour une puissance de $891,66 \text{ kgm min}^{-1}$, le temps

de travail étant de 6 minutes (tableau X). Ceci témoigne de la capacité qu'a le sang de transporter l'oxygène aux différents tissus de l'organisme ; elle est plus importante chez les sportifs que chez les sédentaires. C'est ainsi que les échanges gazeux entre le sang et la cellule musculaire d'une part, les poumons et le sang d'autre part sont plus efficaces chez les sportifs. Quand on considère qu'au repos la consommation d'oxygène d'un individu est de 0,2 à 0,3 l min⁻¹ (3), on voit que les sportifs peuvent multiplier par 11 leur consommation d'oxygène et les sédentaires par 7. Donc l'extraction d'oxygène est plus grande chez les sportifs.

2 - La comparaison des grandeurs entre sportifs

Comme on pouvait s'y attendre, les coureurs de fond ont une consommation maximale d'oxygène significativement plus élevée que celle des coureurs de vitesse qui, à leur tour, ont une consommation d'oxygène sensiblement égale à celle des sédentaires (43,50 ± 3,42 et 43,16 ± 1,40) (tableau IV). Ceci s'explique par le fait que ceux sont les processus anaérobies qui sont mis en jeu à 85% chez les coureurs de vitesse car la durée de travail, lors des exercices maximales chez ces derniers, n'excède pas une minute. En effet ASTRAND et RODAHL (3) estiment que lorsque la durée de l'exercice n'excède pas deux minutes, l'apport d'énergie d'origine anaérobie est plus importante que celui d'origine aérobie, pour une durée de deux minutes, toujours pour ces auteurs, ces deux sources deviennent équivalentes, puis plus la durée du travail s'allonge, plus la part de l'énergie aérobie devient importante. Ces travaux vont dans le même sens que nos résultats. Le fait que les coureurs de fond aient une VO₂ max. élevée explique leur grande capacité à fournir un travail d'une durée généralement supérieure à deux minutes. Les coureurs de vitesse, travaillent dans les mêmes conditions, verront leurs réserves d'énergie d'origine aérobie s'épuisées rapidement et l'intervention des processus anaérobies à la production d'énergie va devenir plus importante entraînant une augmentation de la concentration sanguine en lactate.

L'importance de l'entraînement physique pour les sédentaires serait d'augmenter la consommation maximale d'oxygène. La raison principale est que, lors de l'entraînement, le volume et la différence artério-

veineuse augmentant car comme le dit LESBRE et coll. (20), ce sont ces seuls facteurs qui régissent véritablement la consommation maximale d'oxygène.

Il est important aussi de réaliser que nos sujets atteignent la consommation maximale d'oxygène pour une puissance d'exercice qui n'est pas nécessairement la puissance maximale.

A l'issu de ces observations, on pourrait dire, en nous basant à la classification faite par ECLACHE (12), que l'athlète sénégalais, malgré les contraintes climatiques qu'il subit, a un bon niveau d'entraînement physique car la valeur moyenne de sa consommation d'oxygène est de $48,0 \pm 2,5 \text{ ml.kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$; le niveau excellent, pour cette auteur correspondant à une consommation maximale d'oxygène de $60 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}$.

CHAPITRE V

PERSPECTIVES

Le but de notre travail était donc de donner aux sportifs sénégalais vivant en climat chaud, des éléments de référence leur servant à évaluer leurs aptitudes à fournir un effort musculaire.

Les entraîneurs pourront se référer à nos résultats pour contrôler le travail de leurs athlètes et leur degré d'entraînement. Désormais, nous pensons que l'entraîneur ne ~~peut~~^{pense}ra seulement à avoir de bons résultats mais aussi se souciera de l'organisme de son athlète car étant le véritable instrument de travail. Ainsi, en plus du chronomètre, nous pensons que l'entraîneur doit avoir une fiche mentionnant tous les résultats des tests d'aptitudes.

Nous souhaitons aussi que ce travail soit élargi car nos études ne sont pas complètes. Les facteurs mis en jeu lors d'un exercice musculaire sont nombreux car l'organisme doit s'adapter à ce nouvel état. Ainsi, la pression artérielle et la consommation maximale d'oxygène sont modifiées comme nous l'avons montré, mais aussi, la fréquence cardiaque, le volume d'éjection systolique, le débit cardiaque et la thermorégulation varient à leurs tours.

L'étude des modifications de ces facteurs à l'effort nous donnerait des chiffres qui nous serviraient de référence et viendraient compléter nos résultats.

Ce travail pourrait être élargi aux femmes. On pourrait aussi étudier les variations de ces paramètres en fonction de l'âge.

Ces tests ne peuvent pas être faits en situation réelle sur le terrain ; ainsi, nous souhaitons un apport de matériels adéquats dans nos laboratoires de recherche.

RESUME ET CONCLUSION

=====

Suivant deux travaux, nous avons étudié un certain nombre de grandeurs physiologiques sur une population d'individus habitant au Sénégal ; pays à climat chaud. Nous avons pu y constituer des groupes de sujets adaptés ou non adaptés à l'exercice musculaire.

Ainsi, la pression artérielle a été prise au repos et à l'exercice maximal sur bicyclette ergométrique; après un exercice sous maximal de 6 minutes, la consommation d'oxygène a été calculée. On a pu ainsi évaluer l'adaptation cardiocirculatoire et le niveau d'entraînement du sportif sénégalais de haut niveau ayant toujours vécu en climat chaud. Nous n'avons pas fait une étude exhaustive et, volontairement, nous avons limité notre étude d'une part, aux répercussions cardiocirculatoires d'un exercice d'intensité maximale et d'autre part, aux répercussions cardiorespiratoires d'un exercice de courte durée et d'intensité moyenne.

Pour ce faire, nous avons fait subir à nos sujets la même épreuve sur bicyclette ergométrique pour chaque test. Nous avons suivi l'évolution de deux variables circulatoires : pression artérielle pour le premier travail et fréquence cardiaque pour le second. Des résultats que nous présentons découlent les différences entre les diverses groupes d'individus répartis en sédentaires et en spécialités sportives. Il ressort clairement de nos observations que l'entraînement influence certains paramètres. L'entraînement d'endurance (courses de fond) abaisse la fréquence cardiaque et élève la consommation maximale d'oxygène plus que ne le fait l'entraînement de résistance (courses de vitesse). C'est ainsi que l'étude de la consommation d'oxygène maximale en fonction de la fréquence cardiaque nous apparaît comme un précieux indice de l'aptitude physique cardio-circulatoires et respiratoires. La connaissance de cette mesure permet, par référence aux normes, de situer presque immédiatement le niveau de l'aptitude cardiaque à l'effort d'un sujet donné et ses capacités à fournir un exercice pénible et prolongé.

Quant à la pression artérielle, on a vu que la maxima s'élève avec l'exercice musculaire, tandis que le minima diminue du fait de la résistance périphérique. Ceci entraîne un élargissement de la différentielle.

La comparaison a montré que la pression systolique est plus élevée chez les sportifs lors de l'exercice musculaire ; quant à la pression diastolique, elle est plus élevée chez les sédentaires. Ce test peut constituer un test de sélection car la pression différentielle constitue le meilleur indicateur de la façon dont l'organisme réagit au travail qui lui est demandé. Au repos, la pression artérielle systolique doit être comprise entre 110 et 135 mmHg et la pression diastolique entre 60 et 99 mmHg (2), en dehors de ces valeurs, l'individu peut-être considéré comme inapte à certains exercices musculaires (le contrôle de la pression artérielle est rigoureux dans l'armée).

Parmi tous ces facteurs qui agissent sur l'individu pendant l'effort, nous pensons donc que l'entraînement en est la plus importante ; c'est pourquoi nous avons contrôlé l'âge en prenant des sujets de 18 à 30 ans et le sexe car l'expérience a été faite sur des hommes. Les épreuves de laboratoires permettent la sélection et l'orientation des sportifs. Ce choix se fera à partir des résultats de la consommation maximale d'oxygène car elle varie d'une spécialité à une autre en fonction de la durée et de l'intensité du travail.

La pression artérielle quant à elle, ne permet pas une orientation fiable du sportif car sa variation n'est pas remarquable à ce niveau. La comparaison a aussi montré que nos sportifs, malgré la température élevée de notre zone climatique, sont de bons athlètes comparés à leurs homologues des pays tempérés.

B I B L I O G R A P H I E



1 - ALVAREZ et STANLEY

In KARPOVICH P.V. et SINNING W.E. - "Physiologie de l'activité musculaire".

VIGOT Frère, Collection sport et enseignement, 7è édition, 3e tirage, PARIS 6e, 1982.

2 - ANDERSEN L.

In LESBRE et coll. : "Les épreuves d'effort en cardiologie" (III) : Détermination de l'aptitude physique et de la capacité de travail".

Coeur et Médecine Interne, 1973, 12, 2 : 266.

3 - ASTRAND P.O. et RODAHL K. - "Manuel de Physiologie de l'exercice musculaire".

PARIS-NEW-YORK-BARCELONE-MILAN. Edition MASSON, 2e tirage, 1978.

4 - ASTRAND P.O. et RYHMING I.

In ASTRAND P.O. et RODAHL K. "Manuel de Physiologie de l'exercice musculaire".

PARIS-NEW-YORK-BARCELONE-MILAN ; Edition MASSON, 2e tirage, 1978.

5 - AZOULAY E., COHEN D. - "Cours et exercices de statistique".

S.E.D.E.S., 5è édition revue et corrigée ; PARIS (Ve), 1973 ; 157 pages.

6 - BANGOU H. - "Contribution à l'étude du coeur du sportif".

Thèse, PARIS, 1952.

7 - BEAURY J. et ECLACHE J.P. - "La détermination de l'aptitude physique. La mesure indirecte de la puissance aérobie maximale".

Médecine du Sport ; 1980, pages 55-59.

8 - BURTON A.C. - "Physiologie et biophysique de la circulation".

MASSON et Cie, PARIS, 1968 : 165.

- 9 - CHAILLEY-BERT P. et PLAS F. - "Physiologie des activités physiques".
J.-B. BAILLIÈRE et Fils, PARIS, 1962.
- 10 - DIBBFLT W. - "De l'influence du travail sur le poids du coeur".
Arch. du Coeur, 1919 : 129.
- 11 - DILL O.B. and CONSOLAZIO C.F. - "Responses to exercices as related to age and environmental temperature".
J. Appl. Physiol., 1962, 17/4 : 645-648.
- 12 - ECLACHE J.P. et BEAURY J. - "La détermination de l'aptitude physique. Principes méthodologiques".
Médecine du Sport., 1979, page 37-42.
- 13 - ESSALAI M. - "Les adaptations cardiovasculaires à l'effort en milieu tropical".
Thèse de Doctorat d'Etat, DAKAR, 1974.
- 14 - GILLET R. et GENETY J. " Abrégé de Médecine du Sport".
MASSON et Cie, PARIS, 1973 : 49-52 et 183-190.
- 15 - GUYTON
In KARPOVICH et SINNING WAYNE E. - "Physiologie de l'activité musculaire".
VIGOT Frère, collection sport et enseignement, 7e édition,
3e tirage, PARIS 6e, 1982.
- 16 - HEYMANS et NEIL E.
In ASTRAND P.C. et RODAHL K. - "Manuel de physiologie de l'exercice musculaire".
PARIS-NEW-YORK-BARCE ONE-MILAN, Edition MASSON, 2e tirage, 1978.
- 17 - JEU B. - "Le sport, la mort, la violence".
Editions universitaires, PARIS, 1972.

- 18 - KARPOVICH P.V. et SINNING WAYNE E. - "Physiologie de l'activité musculaire".
VIGOT Frère, collection sport et enseignement, 7e édition, 3e tirage, PARIS 6e, 1982, 520 pages.
- 19 - KOEPLIN F. - "La morphologie et fonction du coeur sportif".
Schweitz. Med. Wochens., 1950, 80 : 1055-1079.
- 20 - LESBRE J.P., BERNASCONI P., HARICHANG P., QUIRET J.C., DUBOISSET M., BENS J.L. et TEXIER J.P. - "Les épreuves d'efforts en cardiologie (III) : Détermination de l'aptitude physique et de la capacité de travail".
Coeur et Médecine Interne, 1973, 12/2 : 261-272.
- 21 - LOISEL E. - "Les bases psychologiques de l'éducation physique".
Collection des traités d'éducation physique, 6e édition, PARIS Ve.
- 22 - PETERSON
In ASTRAND P.O. et RODAHL K. - "Manuel de Physiologie de l'exercice musculaire".
PARIS-NEW-YORK-BARCELONE-MIA N, Edition MASSON, 2e tirage, 1978.
- 23 - PLAS F.
In WULLAERT P. - "Guide pratique de médecine du sport".
Editions médicales et universitaires de PARIS, 1977, 1ère édition, 1978, 2e édition ; 285 pages.
- 24 - QUARDS, CAHEN P. et DEPOUILLY J. - "Bases physiologiques de l'étude des adaptations cardiaques à l'exercice musculaire chez le sujet normal et le coronarien".
LYON Médical, 1973, 229/10 : 959-967.

25 - REINDELL H. et coll.

In KARPOVICH P.V. et SINNING W.E. - "Physiologie de l'activité musculaire".

VIGOT-Frère, collection sport + enseignement, 7e édition,
3e tirage, PARIS 6e, 1982.

26 - WULLAERT P. - "Guide pratique de médecine du sport".

Editions médicales et universitaires de PARIS, 1977, 1ère
édition ; 1978, 2e édition, 285 pages.

27 - ZDANSKY A. - "La radiologie dans le problème du coeur sportif".

Weiner Klin. Wochens., 1949, 59 : 393-397.