

République du Sénégal

Un Peuple - Un But - Une Foi

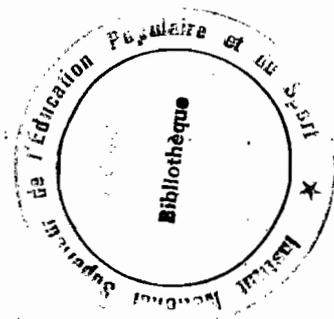
MINISTÈRE DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS

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

MEMOIRE DE MAITRISE ES SCIENCES ET TECHNIQUES
DE L'ACTIVITE PHYSIQUE ET DU SPORT

T H E M E :

ETUDE COMPARATIVE DE LA CONSOMMATION
MAXIMALE D'OXYGIENE MESUREE AU LABORATOIRE
ET AU TERRAIN



Présenté par :

Emile Clément DIOUF

Co-Directeurs de Mémoire
Mr Jean FAYE, Professeur certifié
Docteur en E.P.S. à l'INSEPS et
Docteur Fallou CISSE, Médecin

Année Universitaire 1986/ 87

DEDICACE

Je dédie cet ouvrage à mon père Clément DIOUF, paix
sur lui, à ma mère Marguerite SARR et à mon Oncle Joseph Victor
SARR, qui m'ont éduqué et suivi dans toute ma scolarité.

P L A N

REMERCIEMENTS

DEDICACE

| | |
|-------------------|---|
| INTRODUCTION..... | 5 |
|-------------------|---|

| | |
|---|---|
| CHAPITRE I GENERALITES SUR LA CONSOMMATION D'OXYGENE PENDANT L'EXERCICE MUSCULAIRE..... | 7 |
|---|---|

| | |
|--|---|
| 1.1 Transport de l'oxygène dans le sang..... | 8 |
|--|---|

| | |
|---|---|
| 1.2 Libération d'énergie au cours de l'exercice musculaire..... | 9 |
|---|---|

| | |
|---|----|
| 1.3 Evolution de la consommation d'oxygène en fonction de la puissance de l'exercice..... | 12 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| 1.4 Importance et développement de la V02 max dans les activités physiques et sportives..... | 14 |
|--|----|

| | |
|--------------------------------------|----|
| 1.4.1 Importance de la V02 max. | 14 |
|--------------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| 1.4.2 Développement de la V02 max. | 15 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| CHAPITRE II METHODES DE MESURE DE LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE | 17 |
|--|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| II.1 Mesure en laboratoire | 17 |
|----------------------------------|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| II.1.1 Procédé expérimental..... | 17 |
|----------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| II.1.1.1 Détermination de la puissance..... | 18 |
|---|----|

| | |
|---|----|
| II.1.2 Sujets d'expérience et données biométriques..... | 19 |
|---|----|

| | |
|----------------------------------|----|
| II.1.3 Test proprement dit | 19 |
|----------------------------------|----|

| | |
|--------------------------------|----|
| II.1.3.1 Matériel utilisé..... | 19 |
|--------------------------------|----|

| | |
|---|----|
| II.1.3.2 Mode et consignes d'exécution..... | 20 |
|---|----|

| | |
|--|----|
| II.2 Mesure de la V02 max. sur le terrain..... | 22 |
|--|----|

| | |
|--------------------------------------|----|
| II.2.1 Description de l'épreuve..... | 22 |
|--------------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| II.2.2 Matériel nécessaire utilisé | 23 |
|--|----|

| | |
|-------------------------------------|----|
| II.2.3 Epreuve proprement dite..... | 23 |
|-------------------------------------|----|

| | |
|--|----|
| CHAPITRE III PRESENTATION TRAITEMENT ET ANALYSE DES DONNES OBTENUES..... | 25 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| III.1 Présentation des résultats obtenus à l'issue des différents tests..... | 25 |
|--|----|

| | |
|--|----|
| III.1.1 Résultats du test en laboratoire..... | 26 |
| III.1.2 Résultats des tests sur le terrain..... | 26 |
| III.2 Traitement des résultats..... | 27 |
| III.2.1 Calcul du coefficient de corrélation | 27 |
| III.2.2 Relations entre les différentes variables étudiées. | 28 |
| III.2.3 Calcul du test de student..... | 29 |
| III.3 Analyse des données..... | 30 |
| III.3.1 Données obtenues au laboratoire..... | 30 |
| III.3.1.1 Fréquence cardiaque..... | 30 |
| III.3.1.2 Puissance..... | 31 |
| III.3.1.3 V02 max. exprimée en litres ou rapportée au poids corporel..... | 31 |
| III.3.2 Données obtenues sur le terrain..... | 32 |
| III.3.3 Etude comparative des données obtenues en laboratoire et au terrain..... | 33 |
| III.3.3.1 V02 max. au terrain et données obtenues en laboratoire..... | 33 |
| III.3.3.2 Fréquence cardiaque au terrain et données obtenues en laboratoire..... | 34 |
| III.3.3.3 Analyse de la V02 max au terrain comparée à celle du laboratoire rapportée au kilogramme corporel..... | 34 |
| CONCLUSION | 36 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 38 |
| ANNEXE..... | 39 |
| DETERMINATION DE L'INTENSITE D'ENTRAINEMENT A PARTIR DES RESULTATS OBTENUS..... | 40 |

R E M E R C I E M E N T S

Mes remerciements les plus sincères vont à mon Directeur de mémoire Monsieur Jean FAYE, qui m'a soutenu et guidé dans ce travail.

- Au Docteur Fallou Cissé qui a bien voulu mettre le laboratoire de physiologie à ma disposition.
- A tous les étudiants de l'Institut National Supérieur de l'Éducation Populaire et du Sport.
- A mon frère Simon DIOUF et sa femme NDèye Maty SY
- A mon frère Dominique DIOUF
- A ma tante Marie Louise SARR
- A toutes mes Soeurs
- A mon cousin Ignace J. Yves SARR
- A mes ami (es) Charles DIOUF, Ousmane NDONG, François SARR, Marie FAYE, Diouma DIOUF, NDèye Henriette CISSE, Marie Nicole NCOM, Marie Josephine SARR, Chérif DIOUF, Joseph NDOUR
- A tous ceux qui de loin ou de près ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

I N T R O D U C T I O N

En physiologie, les principaux travaux importants sont le plus souvent faits sur des sujets au repos et qui donc possèdent une dépense énergétique constante. Ainsi, dans le cadre de l'activité physique et sportive, l'approche physiologique des grandes fonctions a subi un léger retard, surtout au niveau des pays en voie de développement. Cependant tout individu de par ses occupations journalières, voit sa consommation énergétique varier en fonction de l'intensité de l'exercice auquel il s'adonne. Cette énergie libérée pendant la période de repos ou au cours de l'exercice a des origines diverses. Elle provient des différents processus biochimiques parmi lesquels les oxydations occupent la première place.

Pour apprécier l'aptitude d'un individu à fournir un travail de longue durée, on a souvent recours aux résultats d'études sur les processus aérobies (oxydation) sur lesquels on a beaucoup d'informations. Ceci s'explique par le fait qu'"on connaît depuis longtemps les méthodes de mesures de la consommation d'énergie par le moteur humain. Ce qui remonte en fait à la découverte par Lavoisier de l'utilisation de l'oxygène par les animaux vivants". P. Astrand et collaborateurs (10).

L'aptitude à fournir un travail suppose des dispositions physiques que l'individu peut acquérir par l'entraînement, mais l'équipement génétique qui détermine le caractère morphologique, physiologique et psychique, y joue un rôle important. C'est dire donc que tout test destiné à évaluer l'aptitude physique doit tenir compte de la spécificité culturelle de l'individu et de son environnement. Ce qui implique qu'une importance particulière doit être portée à l'égard des méthodes de mesure, des standards ou normes (références) en vue de mieux cerner les points forts et les manques, et par conséquent les besoins de l'évalué.

Comme le souligne G. Cazorla et collaborateur (4) "Un des objectifs principaux de l'éducation physique est de développer des qualités qui permettent à la motricité de l'enfant et de l'adolescent de s'exprimer pleinement quelle que soit la situation rencontrée". Dans le cadre de ce travail, l'intérêt est porté sur un point important de la motricité qu'est l'état fonctionnel des structures organiques, plus précisément, sur l'évaluation des qualités physiques d'ordre bioénergétique, à savoir les capacités aérobies de l'individu.

En effet l'activité physique et sportive dans la majeure partie de ses disciplines fait intervenir au niveau du pratiquant, des masses musculaires importantes, et ceci pour des efforts de longue durée, ce qui suppose une adaptation de l'organisme à ses efforts, d'où l'importance des tests qui permettent d'avoir une idée précise sur les dispositions de l'individu à fournir un travail soutenu et intense.

C'est la raison pour laquelle nous nous proposons de faire une étude comparative de deux méthodes différentes de mesure de la consommation maximale d'oxygène (vo_2 max), ceci dans le but d'une meilleure utilisation de ces tests en fonction de notre environnement. La Vo_2 max représente une valeur qui ne varie de façon significative qu'avec l'âge. C'est dire que pour un même sujet et dans un intervalle de temps réduit, la mesure de la Vo_2 max avec deux méthodes différentes ne doit présenter de disparité quantifiable et significative si les deux méthodes sont valides. C'est ce que nous allons essayer de vérifier avec le test d'aptitude sur bicyclette ergométrique en laboratoire et celui de Léger et Mercier sur le terrain.

Dans ce but nous avons adopté le plan suivant :

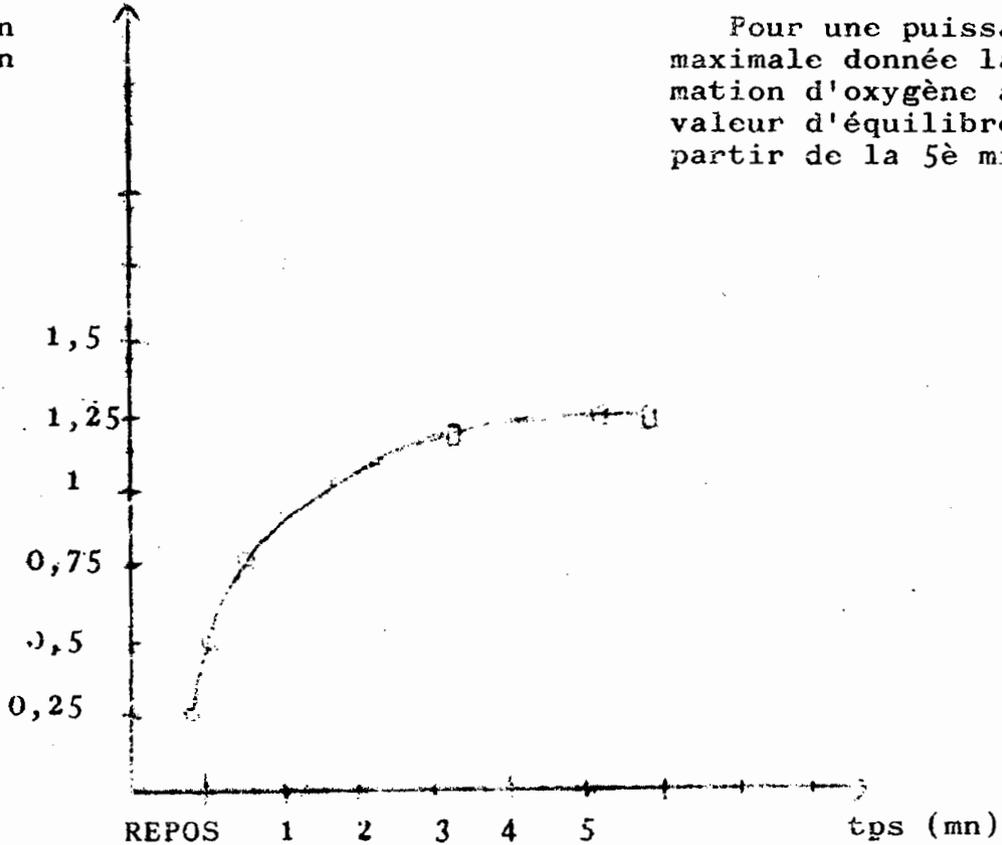
d'abord au premier chapitre nous parlerons des généralités à propos de la consommation d'oxygène pendant l'exercice. Ensuite le chapitre deux sera consacré aux expériences par l'utilisation des deux méthodes de mesure de la consommation d'oxygène. Puis au chapitre trois, nous présenterons, traiterons et analyserons les données recueillies, et à cette issue, nous livrerons nos conclusions.

CHAP. I - GENERALITES SUR LA CONSOMMATION D'OXYGENE
PENDANT L'EXERCICE MUSCULAIRE.

Au repos, les cellules en activités consomment de l'oxygène, pour assurer le déroulement de leurs métabolismes. Cet oxygène est fourni par l'intermédiaire de la respiration et de la circulation, deux systèmes largement couplés et qui assurent le transport des gaz.

Ce besoin en oxygène se trouve accru pendant l'activité physique et va impliquer une augmentation du débit ventilatoire qui, s'il est modéré, est proportionnel à la puissance de l'exercice. En effet dès le début de l'exercice "la consommation d'oxygène augmente rapidement d'abord, plus lentement après, mais de manière progressive jusqu'à une valeur d'équilibre qui n'est atteinte qu'après un délai variable avec l'intensité de l'exercice (c'est la phase d'installation) : environ une minute si celle-ci est très légère, cinq à dix minutes si celle-ci est sub maximale" H. Herman et Coll (5).

Consommation
d'oxygène en
l/mn



Pour une puissance sub-maximale donnée la consommation d'oxygène atteint une valeur d'équilibre (1,25) à partir de la 5^e minute.

Fig.1 - V02 en fonction du temps.

Dans "précis de physiologie de l'activité musculaire (10), ce caractère progressif de l'augmentation de la consommation d'oxygène au début de l'exercice est expliqué par l'inertie qui se manifeste dans les adaptations circulatoires et respiratoires, c'est-à-dire de l'ensemble du système de transport de l'oxygène. Le plateau coïncide à peu de chose près avec le moment où s'adaptent, le débit, la fréquence cardiaque et la ventilation pulmonaire. Pendant cet état stable, les besoins des tissus sont largement couverts, le débit cardiaque et la ventilation sont constants et il n'y a pas de production de lactate. L'énergie libérée provient donc de la source aérobie.

I - I - Transport de l'oxygène dans le sang.

L'air inspiré contient de l'oxygène qui passe dans le sang par un mécanisme de diffusion basé sur les différences de pression entre l'alvéole et le capillaire pulmonaire.

L'oxygène est présent dans le sang sous deux formes, il est dissout physiquement dans l'eau du sang, et lié à l'hémoglobine. La quantité d'oxygène dissoute dans le sang est infime, et elle est proportionnellement liée à la pression en oxygène du sang. En effet, l'oxygène est quasi insoluble dans l'eau. Tout le reste se trouve lié chimiquement aux molécules d'hémoglobine pour donner de l'oxyhémoglobine.



Le sang contient ainsi des globules rouges, c'est-à-dire des cellules qui ont la caractéristique physiologique de présenter de l'hémoglobine, et de l'anhydrase carbonique qui facilite le transport de l'acide carbonique. Il faut signaler que les sites de la molécule d'hémoglobine sont limités, il y a donc une quantité d'oxygène maximale qui peut se combiner à l'hémoglobine : on parle de la saturation de l'hémoglobine.

Il existe aussi des facteurs qui influencent le transport de l'oxygène par l'hémoglobine, et qui déterminent la quantité d'oxygène fixée ou libérée selon les différents lieux de passage du sang.

.../...

Le plus important de ceux-ci selon A.J. VANDER et COLL (1) est de loin la P02 du sang qui fait que d'une part l'hémoglobine, au cours de son passage au niveau des tissus, libère beaucoup d'oxygène, et d'autre part à l'état réduit pendant le passage du sang au niveau des capillaires pulmonaires, l'hémoglobine se charge en oxygène. L'acidité joue aussi un rôle important sur la saturation de l'hémoglobine. Plus elle est élevée, plus l'hémoglobine a moins d'affinité pour l'oxygène. Cette acidité s'explique par une concentration élevée en ion hydrogène qui au niveau des capillaires des tissus est très élevée par rapport au sang artériel d'où libération d'oxygène. Inversement la concentration en ion hydrogène est plus faible dans les capillaires pulmonaires que dans le sang veineux ainsi l'hémoglobine se charge d'oxygène. Ainsi plus un tissu est actif plus grande est sa concentration en ion hydrogène, qui exerce son effet sur l'affinité de l'hémoglobine à l'oxygène. De la même manière la température exerce son effet sur la saturation de l'hémoglobine : plus le muscle en activité à une température élevée plus le départ de l'oxygène de l'hémoglobine est facilité. Le diphosphoglycérate agit de la même manière sur l'hémoglobine. Il est produit par les globules rouges et modifie la conformation de l'hémoglobine.

I-2 - Libération d'énergie au cours de l'exercice musculaire.

Au cours de l'exercice musculaire peu intense, l'énergie fournie au début peut être libérée par voie aérobie grâce à l'O2 stocké dans le muscle où il est lié à la myoglobine, et à l'O2 stocké dans le sang qui perfuse le muscle.

Lorsque l'exercice est plus intense, l'énergie peut être libérée dès le début par la voie anaérobie avec production de lactate. "Cette énergie est fournie non seulement de la glycogénolyse ou de la glucolyse, mais aussi par la dégradation de l'ATP et de la créatine phosphate" P. Astrand et Coll (10) ceci en attendant les adaptations cardio-vasculaires qui font intervenir la filière oxygène. Cette dernière représente les oxydations des différents nutriments : acide gras glucoses protéines. Cette voie métabolique qui produit le plus d'énergie, et elle sera sollicitée dans les efforts de longue durée qui dépassent quelques minutes.

A ce niveau et comme le soulignent P. Astrand et Coll (10) "Plus l'exercice est intense, plus la contribution des processus anaérobies est très importante :

la concentration du sang en lactate augmente, le travail est ressenti comme épuisant" dans ces conditions le sujet cesse l'activité, et du côté de la respiration l'hyperventilation décroche par l'intermédiaire des stimuli neurogéniques qui sont par ailleurs responsables de l'accrochage ventilatoire dès le début de l'exercice. Cependant la ventilation persiste assez pour permettre la combustion de l'acide lactique formé, et permettre la reconstitution des réserves d'A.T.P.; c'est le remboursement de la dette d'oxygène contractée dès le début de l'exercice (fig.2). Ainsi pour de nombreux types d'exercice musculaire, la consommation d'oxygène est directement fonction de la puissance de l'activité.

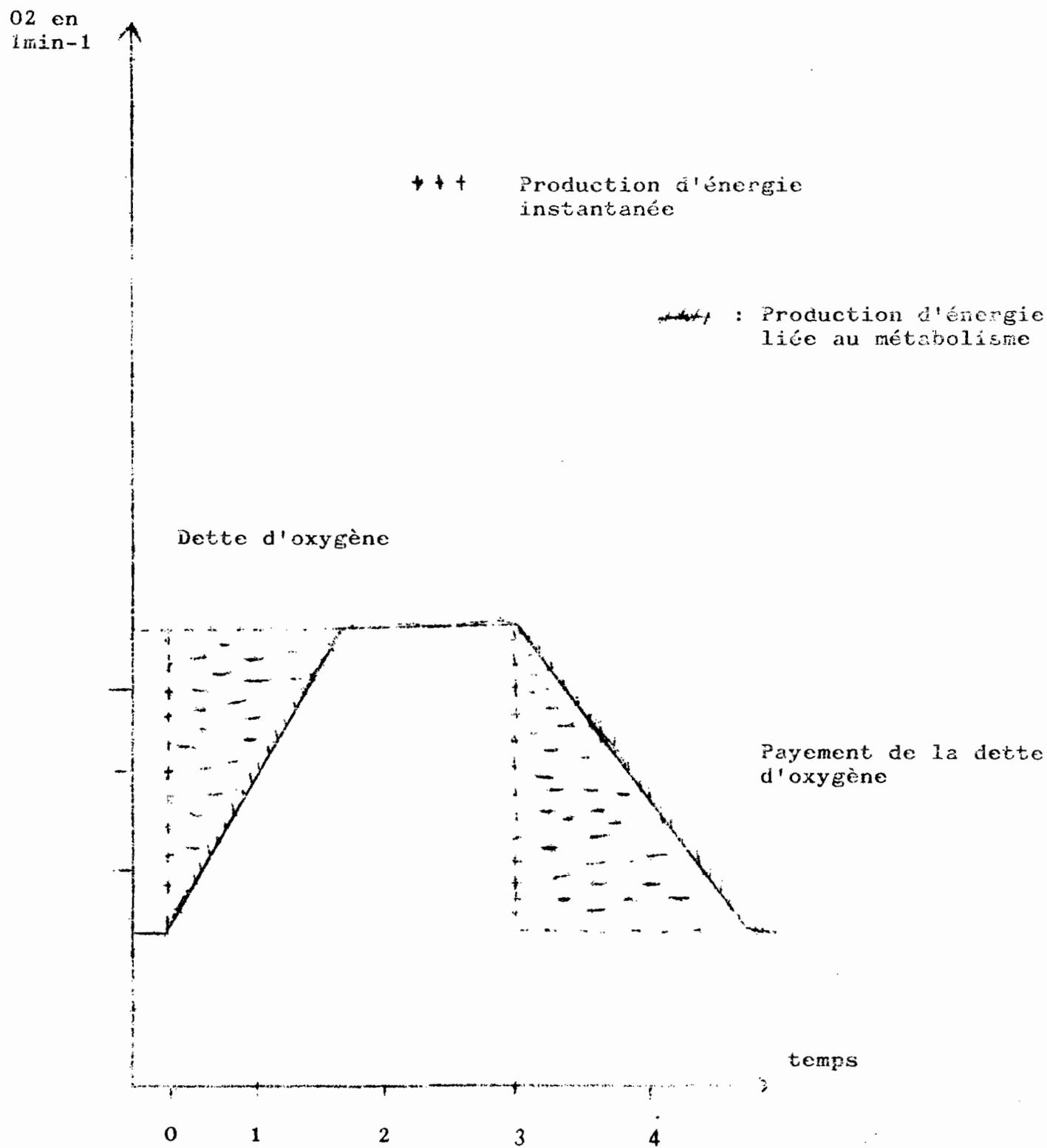


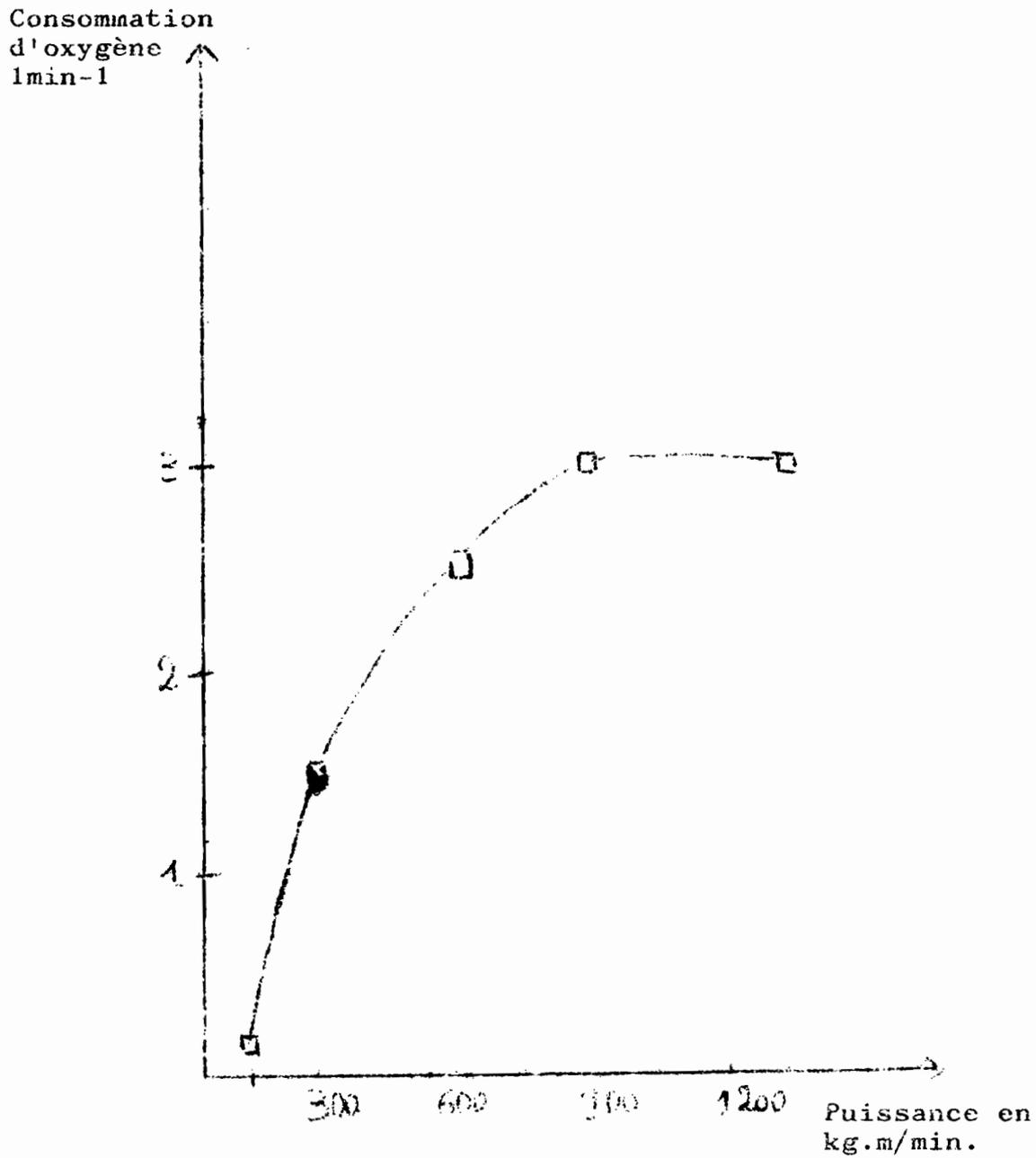
Fig.II - Schema de la dette d'oxygène.

I-3 - Evolution de la consommation d'oxygène en fonction de la puissance de l'exercice.

Pendant un exercice dont l'intensité est fixée, on peut constater après mesure, que la consommation d'oxygène pendant la phase d'équilibre est proportionnelle à la puissance de l'exercice. Pour un exercice d'intensité croissante, on remarque aussi une augmentation progressive de la consommation d'oxygène jusqu'à un certain seuil au delà duquel, toute augmentation de l'intensité n'entraîne plus une élévation de la consommation d'oxygène. D'après H. Herman et coll (5) ceci exprime l'atteinte d'une limite du prélèvement d'oxygène qui correspond à la capacité du système de prélèvement et de transport respiratoire et circulatoire.

Selon Astrand et Coll ceci constitue la consommation maximale d'oxygène à laquelle correspond un travail appelé capacité aérobie. La puissance la plus faible pour laquelle celle-ci est atteinte équivaut à la puissance maximale aérobie. Ils définissent la consommation maximale d'oxygène comme "La consommation maximale d'oxygène qu'un individu peut atteindre lors d'un exercice musculaire pratiqué au niveau de la mer, en inhalant de l'air atmosphérique, la durée du travail étant de 2 à 6 minutes suivant la puissance de l'exercice". On la note $\dot{V}O_2$ max.

La consommation maximale d'oxygène est influencée par plusieurs facteurs. Chez un sujet normal, la limite de cette $\dot{V}O_2$ max ne réside pas dans la saturation des réactions oxydatives c'est-à-dire dans la capacité des tissus à extraire et à utiliser l'oxygène. Elle serait plutôt imposée par le débit cardiaque. C'est ce qu'affirment A.J. Vander et Coll (1) en disant que "L'interaction entre fréquence cardiaque et volume d'éjection systolique est le facteur limitant à l'exercice musculaire. Le volume systolique croît avec la puissance effectuée mais moins que la fréquence cardiaque, puis accuse une baisse quand on dépasse les puissances mécaniques correspondant à la consommation maximale d'oxygène. Les principaux responsables de cette diminution sont la fréquence cardiaque très rapide (qui diminue le temps de remplissage diastolique) et l'incapacité des facteurs périphériques qui favorisent le retour veineux d'élever la pression veineuse à une valeur suffisante pour maintenir un remplissage ventriculaire adéquate pendant la très courte durée de temps disponible. Il en résulte une diminution du volume télédiastolique qui par la loi de Starling entraîne une diminution du volume d'éjection systolique".



A partir de 900 kgm/min la consommation d'oxygène se stabilise à 31 min-1, malgré l'augmentation de la puissance jusqu'à 1.200 kgm/min.

Fig.III - Evolution de la consommation d'oxygène en fonction de la puissance de l'exercice.
(A.J. Vander et coll) (1)

Parmi les facteurs modifiant la V02 max on note les caractères biométriques que sont le poids, la taille et la surface corporelle. P.Astrand et coll notent aussi que la V02 max augmente avec l'âge jusqu'à 20 ans. A partir de cet âge, elle diminue graduellement, et ne représente plus à 60 ans que 70 pour cent de la consommation atteinte à 25 ans. En dessous de 12 ans, il n'y a pas de différence significative entre les filles et les garçons, et après cet âge s'installe une différence de 25 à 30 pour cent entre la V02 max des hommes et celle des femmes. La diminution progressive de la V02 max à partir de 20 ans est au moins partiellement due à la diminution de la fréquence cardiaque maximale. On a la formule.

$$\text{Fréquence cardiaque maximale} = 220 - \text{âge}$$

La réduction de l'activité intervient aussi pour diminuer la capacité fonctionnelle du système de transport de l'oxygène.

L'entraînement influence donc la V02 max. A.J.Vander et coll (1) rapportent qu'un séjour prolongé au lit peut diminuer la V02 max de 25% alors qu'un entraînement de type endurant, faisant intervenir des groupes musculaires importants peut l'élever jusqu'au même pourcentage. Selon Astrand et coll (10) l'entraînement peut augmenter la V02 max jusqu'à 20%. Force est donc de reconnaître l'importance de l'entraînement surtout avant l'âge de 20 ans, même si, comme nous le savons, l'hérédité prend le dessus sur les autres facteurs limitatifs de la V02 max.

I-4 - Importance et développement de la V02 max dans les activités physiques et sportives.

I-4-1 Importance de la V02 Max

La mesure de la V02 max entre dans le cadre des tests d'aptitude physique. A l'opposé des tests relatifs à l'évaluation de l'adresse, à la souplesse et à la force qui n'apportent réellement pas d'informations précises sur les fonctions physiologiques importantes, elle renseigne beaucoup sur les possibilités d'un individu à fournir une performance liée à ses capacités aérobies, lors d'exercices prolongés et intenses. Cette performance dépend en grande partie du système respiratoire et circulatoire, c'est-à-dire de l'aptitude du sujet à prélever, transporter et délivrer l'oxygène indispensable aux cellules en activité.

P. Astrand et coll soulignent que "La consommation maximale d'oxygène d'un individu donne la mesure de "l'effet moteur" de ses processus aerobies, c'est-à-dire sa puissance maximale aérobie. Lorsque cette puissance est rapportée au poids corporel, elle permet d'apprécier l'aptitude du sujet à mouvoir son corps. Le calcul de la consommation d'oxygène par kilogramme de masse maigre, ou le fait de rapporter cette consommation à la masse musculaire, au volume sanguin ou des paramètres de même ordre permet d'étudier les relations entre la fonction et les dimensions du système mis en jeu".

Néanmoins, quelle-que soit son importance, la $\dot{V}O_2$ max à elle seule ne peut expliquer la performance quand les processus aerobies sont mis en jeu. Il y a la valeur technique l'expérience, la motivation qui sont tous, des facteurs déterminants, que nous ne pourrons maîtriser et contrôler dans ce travail. Toutefois la $\dot{V}O_2$ max reste un outil important des sciences et techniques de l'activité physique et sportive (staps), Paul Jurbala (9) affirme que "les entraîneurs et les organismes directeurs des sports ont recours aux résultats de tests pour déterminer l'efficacité des programmes d'entraînement et le degré de récupération après une maladie ou une blessure. Les tests de condition physique servent aussi à la sélection d'athlètes pour les équipes provinciales ou nationales".

I-4-2 Développement de la $\dot{V}O_2$ max

Après avoir souligné son importance dans l'activité physique et sportive, il nous semble opportun de parler des voies et moyens permettant de la faire augmenter chez l'individu.

Comme nous avons eu à le dire plus haut, les facteurs héréditaires constituent un déterminant de taille de la $\dot{V}O_2$ max. Mais il n'en demeure pas moins vrai qu'un entraînement bien conçu et bien conduit peut améliorer celle-ci jusqu'à environ 20 à 25% selon Astrand et A.J. Vander. Dans le même sens F. Nieff (3) avance que "les études longitudinales durant l'enfance et la puberté sont récentes. Elles concourent à démontrer que l'entraînement augmente la $\dot{V}O_2$ max durant cette étape de la vie". Beaucoup de travaux dans ce domaine, parmi lesquels ceux de P. Astrand et coll (1) J. Vander et coll (1) et F. Nieff (3) insistent sur la priorité du développement de cette valeur avant 19 - 20 ans, date limite au delà de laquelle elle peut se détériorer par manque d'exercice.

Il semble nécessaire aussi de déterminer la période à laquelle celle-ci se développe et ce, en fonction du processus de maturation chez l'enfant. Dans cette mesure F. Nieff (3) affirme que "La croissance pubertaire augmente la capacité de travail et la VO2 max, et que l'effet couplé de celle-ci avec l'entraînement de type aérobie optimise encore les résultats". De ce point de vu si l'on se réfère aux travaux de P. Astrand et coll (1) sur la période de différenciation de la VO2 max chez le garçon et la fille, on peut admettre que le système transporteur de l'oxygène s'améliore durant l'adolescence

quelle-que soit la spécialité de l'athlète le développement de la VO2 max semble nécessaire, voire indispensable, en ce sens qu'elle est fondamentale pour le développement de la capacité anaérobie et qu'elle donne aussi une idée sur les capacités aérobies de l'individu. Elle occupe donc une place charnière dans tout programme d'entraînement visant au développement des possibilités aérobies et anaérobies.

Les procédés d'entraînement communément utilisés sont divers, car elles varient en fonction du niveau de l'athlète, de sa spécialité, et des connaissances de l'entraîneur. Mais toujours est-il que l'endurance est fondamentale pour l'élévation de la capacité aérobie maximale. La résistance volume qui est un intermédiaire entre le travail d'endurance et le travail de résistance est considérée aussi comme moyen pour développer la capacité aérobie. Le programme d'entraînement devra tenir compte de l'intensité de l'effort, de sa durée, de son volume. En suite pourra se faire le choix d'une méthode de travail appropriée et spécifique, exemple l'interval training, travail en accélération progressive etc...

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

Le présent chapitre a pour but de parler de la méthode de mesure de la V_{O_2} max en laboratoire avec bicyclette ergométrique de marque Nijhardt et de la mesure sur le terrain avec la méthode de Leger et Mercier (7).

II - 1 - Mesure en laboratoire

En laboratoire on peut quantifier la V_{O_2} max de deux manières différentes à savoir la mesure directe où le sujet fait des exercices maximaux, et la mesure indirecte par prédiction à partir de données obtenues lors d'exercices submaximaux. Mais quelle que soit la manière il existe trois techniques de mesure qui permettent d'appliquer au sujet une charge bien déterminée : on a les tests sur bicyclette, le tapis roulant et le step-test.

Parmi ces trois techniques notre choix s'est porté sur la bicyclette ergométrique, que nous trouvons plus disponible, plus maniable et d'autre part selon P. Astrand et coll "il est préférable pour les examens de routine ou la détermination de l'aptitude physique d'utiliser la bicyclette ergométrique. L'exercice ne demande aucune adresse particulière, la puissance fournie ou la consommation d'oxygène peuvent être prédites avec une précision beaucoup plus grande que dans n'importe quel autre type d'exercice".

Toujours selon le même auteur et ce qui relève aussi de notre constat la bicyclette ergométrique est facilement déplaçable, fonctionne sans électricité et présente un recueil facile des données.

A partir de cette technique, on a jugé meilleur de travailler sur la mesure indirecte, car celle-ci constituant la manière d'investigation la plus courante dans l'activité physique et sportive, donc la favorite du praticien ou de l'entraîneur. Elle est la plus simple, la plus rapide, car ne nécessitant pas des techniques compliquées de laboratoire.

II-1-1 - Procédé expérimental

La mesure indirecte de la V_{O_2} max sur bicyclette ergométrique consiste à faire pédaler un sujet à une puissance submaximale déterminée en fonction de son poids, ceci pendant 6 minutes.

Ce principe repose sur le fait qu'il existe une relation linéaire entre la fréquence cardiaque, la puissance de l'exercice et la $\dot{V}O_2$ max, pendant la phase d'équilibre. C'est-à-dire que les valeurs décimales de la fréquence cardiaque et de la consommation d'oxygène sont atteintes pour un niveau voisin de puissance aérobie maximale.

II-1-1-1 - Détermination de la puissance

Pendant l'exercice le sujet doit pédaler à une vitesse de 50 coups par minute

- Un coup de pédale fait 3 tours.
- chaque tour fait 2 mètres

On a la relation suivante :

- . Poids x 15 = 50 x 3 x 2 x F
- . Poids x 15 = 300 F

15 = est une constante de correction

A partir de là, il est facile de calculer la puissance que le sujet doit développer en pédalant.

Puissance = Poids x 15 kg et s'exprime en kilogramme
metre par minute.

On peut convertir en watt

1 watt = 6,8 Kg m/min

Après avoir calculé la puissance, on peut à partir du tableau suivant trouver l'indice de la charge à appliquer au sujet.

TABEAU I - Equivalence puissance charge

| Watt | Yellow 50RV/min normal |
|------|---------------------------|
| 25 | 2 |
| 50 | 3 |
| 75 | 12 |
| 100 | 16 |
| 125 | 20 |
| 150 | 23 |
| 175 | 26 |
| 200 | 29 |

II-1-2 - Sujets d'expérience et données biométriques

Ils étaient au nombre de 20, tous étudiants à l'Institut National Supérieur de l'Education Populaire et du Sport (I.N.S.E.P.S.). Ces sujets ont été pris au hasard parmi toutes les promotions celle des inspecteurs exclue, de même que les filles pour garder une certaine homogénéité dans l'échantillon, mais au plan individuel, le tirage était indépendant de tout caractère morphologique ou psychique, de toute spécialité et de niveau de pratique à l'intérieur comme à l'extérieur de l'Institut. Signalons aussi que pour les besoins de notre travail nous avons utilisé le même échantillon pour les tests s'étant déroulés au terrain.

Après ce choix indépendant de tout critère de sélection il a été retenu pour chacun des sujets deux données biométriques le poids et la taille.

II-1-3 - Test proprement dit

Les tests en laboratoire se sont déroulés à la faculté de médecine, dans le laboratoire de physiologie de 3 heures et demi à 6 heures, tous les lundis et mercredis, en raison de 5 étudiants par séance.

II-1-3-1 - Matériel utilisé bicyclette

Elle possède une selle réglable en fonction de la taille de l'individu pour lui permettre de pédaler à l'aise, elle dispose d'un frein mécanique commandant une prise sur la roue qui en même temps elle se déplace en fonction de la vitesse de la roue et de la solidité de la prise, indique sur un tableau gradué l'équivalent de la puissance que développe le sujet. Il y'a aussi sur la bicyclette un compteur qui marque la vitesse de pédalage.

- le trait jaune indique une vitesse 50 coups de pédale par minute.
- le trait blanc indique 75 coups de pédale par minute et le trait bleu 100 coups par minute.

-Un Chronomètre électronique pour mesurer la durée du travail, et la fréquence cardiaque.

Le laboratoire dispose aussi de deux salles, l'une pour les tests l'autre pour les sujets en attente qui ne doivent pas gêner, toutes les deux possèdent une température ambiante avoisinant 18°C

II-1-3-2 - Modes et consignes d'exécution

Les sujets étaient tenus de respecter les consignes de base à savoir :

- Pas d'activité intense au moins 12 heures avant l'épreuve test.
- Ne pas fumer trois heures de temps avant le test
- Porter une tenue de sport adéquate, et se reposer au moins 30 minutes avant le début de l'exercice.

Pendant l'exercice même, le sujet pédalait à un rythme de 50 coups par minute ce qui équivalait à maintenir l'aiguille du compteur sur le trait jaune ceci pendant 6 minutes, la fréquence cardiaque étant prise sur les 15 dernières secondes de chaque minute. On veillait aussi à ce que les sujets dépassent au moins 140 battements par minute, sinon on ajustait la charge. Durant tout le travail on vérifiait aussi bien la charge que la vitesse. La prise de la fréquence cardiaque quant à elle se faisait au niveau de la carotide.

Après le test, la valeur de la VO2 max a été obtenue avec le monogramme d'Astrand que nous présentons dans ce chapitre.



ÉVALUATION DE L'APTITUDE PHYSIQUE

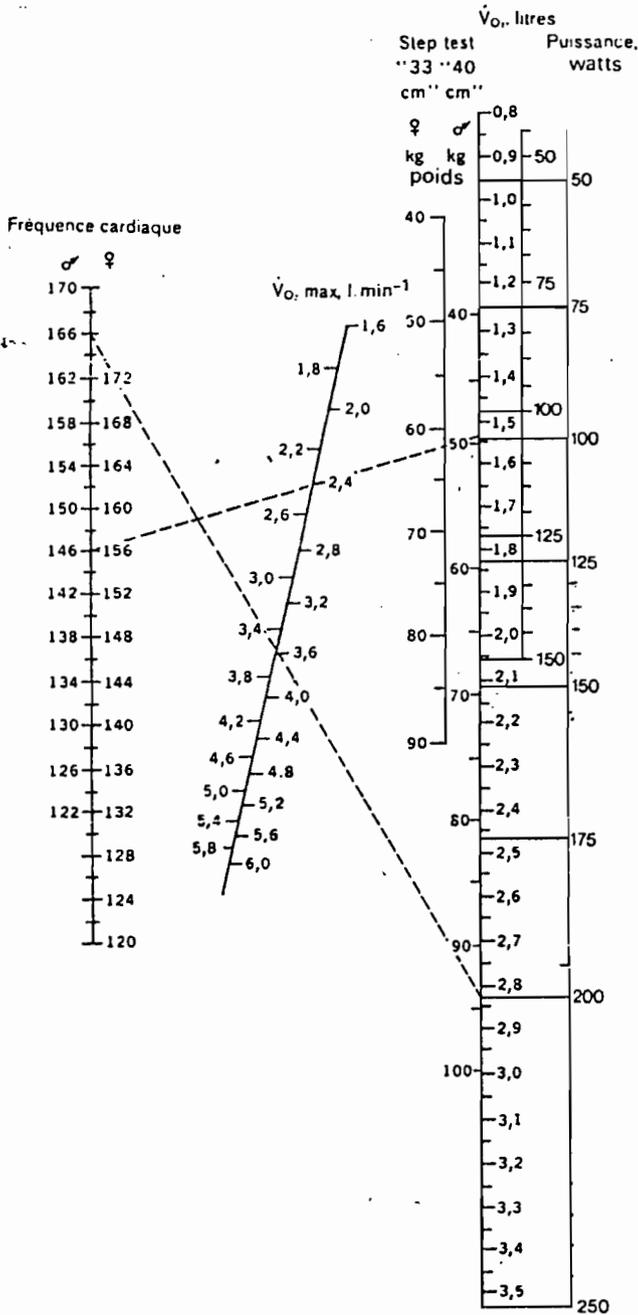


Fig. 4 Nomogramme

Celui-ci permet de calculer la consommation maximale d'oxygène à partir des fréquences cardiaques et des consommations d'oxygène mesurées lors d'exercices submaximaux (travail sur bicyclette coursé ou marche, et step-test). Lorsque les épreuves ne comportent pas la mesure directe de la consommation d'oxygène, celle-ci peut être estimée par simple translation horizontale depuis l'échelle « poids corporel » (pour le step-test), ou l'échelle « puissance » (pour le travail sur bicyclette) à l'échelle « consommation d'oxygène ». On trace une ligne droite entre le point correspondant à l'exercice, et situé sur l'échelle « consommation d'oxygène » ($\dot{V}O_2$, litres) et le point correspondant à la fréquence cardiaque mesurée; cette ligne croise l'échelle « consommation maximale d'oxygène » le point d'intersection correspond à la valeur prédite pour le sujet. Un sujet féminin (61 kg) atteint une fréquence cardiaque de 156 lors d'un exercice de step-test; la consommation maximale prédite est de 2,4 l .min⁻¹. Un sujet masculin atteint une fréquence cardiaque de 166 lors d'un exercice sur bicyclette à la puissance de 200 watts; la consommation maximale prédite est de 3,6 l .min⁻¹ (exemples représentés par les lignes en pointillé).

(D'après I. Åstrand, 1960.)

II-2 - MESURE DE LA VO2 MAX SUR LE TERRAIN

Comme en laboratoire, la mesure de la consommation maximale d'oxygène peut aussi se faire sur terrain avec deux techniques différentes.

- Le test progressif de course navette sur piste avec paliers de deux minutes (Léger & Boucher 1980) (6)

- Le test progressif de course navette de 20 m avec paliers de une minute (Léger & Mercier 1983) (7)

- Ce sont des épreuves progressives, mais maximales c'est-à-dire des mesures indirectes de la VO₂ max qui sont à la portée de l'entraîneur, du praticien.

De la sorte, et pour des raisons de comodité et de temps, nous avons choisi le test progressif avec paliers de 1 minute, qui est le plus rapide pour évaluer notre échantillon; en ce sens que les terrains de basket ou de hand-ball sont plus disponibles que la seule piste d'athlétisme du complexe sportif Iba Mar DIOP.

II-2-1 - Description de l'épreuve

La description de l'épreuve fait partie de l'enregistrement de la cassette fournie : Epreuve collective : 30 à 40 enfants ou adolescents peuvent passer cette épreuve en même temps. Ils se placent sur la ligne de départ à 80 cm l'un de l'autre et écoutent les recommandations indiquées par l'enregistrement : il s'agit d'une épreuve progressive et par paliers de 1 minute c'est-à-dire qu'il faut faire des allers et retours de 20 m; d'abord à une vitesse faible (marche rapide) puis progressivement accélérée toutes les minutes. La vitesse de course est réglée à l'aide de signaux sonores "TUT" qui correspondent au moment où le sujet amorce son retour en bloquant un de ses pieds immédiatement au delà de la ligne des 20m.

Pour aider les enfants à mieux comprendre la notion de vitesse, l'évaluation réalise avec eux les deux premiers paliers.

- La bande sonore indique aussi le n° des paliers
Exemple "Fin palier 4 4 et $\frac{1}{2}$ etc... Ce qui correspond à 4 minutes de course puis 4 min.30 sd etc...)

.../...

Le but de l'épreuve est de compléter le maximum possible de paliers. Lorsque l'évalué ne peut plus suivre la vitesse imposée, il s'arrête et indique à l'évaluateur le n° du palier correspondant.

Si la puissance du magnétophone n'est pas suffisante l'évaluateur doublera les "TUT" par un coup de sifflet et le commentaire de la bande par sa propre voix.

Après le test, il est recommandé de continuer à marcher ou à courir lentement pour mieux récupérer". G.Cazorla (4)

II-2-2 - Matériels nécessaires utilisés

- Un magnétophone à piles
- Une cassette pré-enregistrée du protocole de l'épreuve
- Un terrain de hand-ball où on délimite une surface de 20m par 2 lignes parallèles.
- Un sifflet
- Un double - décamètre
- Un tableau de correspondance
- Une fiche pour enregistrer les résultats
- Un chronomètre pour vérifier la vitesse de déroulement du magnétophone
- Un terrain délimité

L'intérêt de cette épreuve est d'obtenir à la fois la VO2 max et la vitesse de course à laquelle elle est atteinte, ce qui permet ensuite à l'éducateur de mieux programmer les vitesses de course en fonction des buts recherchés.

Les résultats de l'épreuve sont accessibles directement par la lecture du tableau de correspondance joint à ce chapitre. Il suffit de connaître l'âge du sujet et le numéro du palier où il s'est arrêté, pour connaître la valeur de la VO2 max.

Exemple : Un individu âgé de 20 ans s'arrête au palier 15. Il a une VO2 max de 65,6 ml min⁻¹ Kg m⁻¹ et l'atteint à une vitesse de course égale à 15,5 Km/h

II-2-3 - Epreuve proprement dite

-Elle s'est déroulée en plusieurs séances sur le terrain de basket de l'I.N.S.E.P.S. selon la description faite de l'épreuve.

PREDICTION DU VO₂ MAX A PARTIR DU TEST PROGRESSIF DE COURSE NAVETTE PALIERS DE 1 MINUTE

D'APRÈS MERCIER D., LERGER L., ET LAMBERT J. MAI 1983

| PALIERS min. | VITESSE km/h | VO ₂ MAX (ML KG ⁻¹ MIN ⁻¹) CORRESPONDANT AU PALIER COMPLÉTÉ | | | | | | | | | EN FONCTION DE L'AGE (AN) | | | | | TEMPS FRACTIONNES (S.) SUR 20m PERMETTANT DE VERIFIER LA VITESSE DE ROTATION DU MAGNETOPHONE |
|-----------------|-----------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------------------------|-------|-------|---------|----|---|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 ET + | | |
| 1 | 8,5 | 46,9 | 45,0 | 43,0 | 41,1 | 39,1 | 37,2 | 35,2 | 33,3 | 31,4 | 29,4 | 27,5 | 25,5 | 23,6 | 1 | 8.470 |
| 1,5 | 8,5 | 47,95 | 46,05 | 44,1 | 42,25 | 40,3 | 38,4 | 36,5 | 34,6 | 32,75 | 30,8 | 28,9 | 27,0 | 25,1 | | |
| 2 | 9,0 | 49,0 | 47,1 | 45,2 | 43,4 | 41,5 | 39,6 | 37,8 | 35,9 | 34,1 | 32,2 | 30,3 | 28,5 | 26,6 | 2 | 8.000 |
| 2,5 | 9,0 | 50,05 | 48,15 | 46,35 | 44,55 | 42,7 | 40,85 | 39,05 | 37,2 | 35,45 | 33,6 | 31,7 | 29,95 | 28,1 | | |
| 3 | 9,5 | 51,1 | 49,3 | 47,5 | 45,7 | 43,9 | 42,1 | 40,3 | 38,5 | 36,7 | 35,0 | 33,2 | 31,4 | 29,6 | 3 | 7.576 |
| 3,5 | 9,5 | 52,15 | 50,35 | 48,6 | 46,85 | 45,1 | 43,35 | 41,6 | 39,8 | 38,05 | 36,35 | 34,6 | 32,45 | 31,1 | | |
| 4 | 10,0 | 53,1 | 51,4 | 49,7 | 48,0 | 46,3 | 44,6 | 42,9 | 41,2 | 39,4 | 37,7 | 36,0 | 34,3 | 32,6 | 4 | 7.200 |
| 4,5 | 10,0 | 54,15 | 52,45 | 50,8 | 49,15 | 47,5 | 45,8 | 44,15 | 42,5 | 40,75 | 39,1 | 37,4 | 35,25 | 34,1 | | |
| 5 | 10,5 | 55,2 | 53,6 | 51,9 | 50,3 | 48,7 | 47,0 | 45,4 | 43,8 | 42,1 | 40,5 | 38,9 | 37,2 | 35,6 | 5 | 6.857 |
| 5,5 | 10,5 | 56,25 | 54,65 | 53,05 | 51,45 | 49,9 | 48,25 | 46,65 | 45,1 | 43,45 | 41,9 | 40,3 | 38,65 | 37,1 | | |
| 6 | 11,0 | 57,3 | 55,7 | 54,2 | 52,6 | 51,1 | 49,5 | 47,9 | 46,4 | 44,8 | 43,3 | 41,7 | 40,2 | 38,6 | 6 | 6.545 |
| 6,5 | 11,0 | 58,35 | 56,8 | 55,3 | 53,75 | 52,25 | 50,75 | 49,20 | 47,7 | 46,15 | 44,7 | 43,1 | 41,65 | 40,1 | | |
| 7 | 11,5 | 59,4 | 57,9 | 56,4 | 54,9 | 53,4 | 52,0 | 50,5 | 49,0 | 47,5 | 46,0 | 44,6 | 43,1 | 41,6 | 7 | 6.261 |
| 7,5 | 11,5 | 60,45 | 58,95 | 57,5 | 56,05 | 54,6 | 53,2 | 51,25 | 50,3 | 48,85 | 47,4 | 46,0 | 44,55 | 43,1 | | |
| 8 | 12,0 | 61,5 | 60,1 | 58,6 | 57,2 | 55,8 | 54,4 | 53,0 | 51,6 | 50,2 | 48,8 | 47,4 | 46,0 | 44,6 | 8 | 6.000 |
| 8,5 | 12,0 | 62,55 | 61,15 | 59,75 | 58,4 | 57,0 | 55,65 | 54,3 | 52,9 | 51,55 | 50,2 | 48,8 | 47,45 | 46,1 | | |
| 9 | 12,5 | 63,5 | 62,2 | 60,9 | 59,6 | 58,2 | 56,9 | 55,6 | 54,2 | 52,9 | 51,6 | 50,3 | 48,9 | 47,6 | 9 | 5.760 |
| 9,5 | 12,5 | 64,55 | 63,30 | 62,0 | 60,75 | 59,4 | 58,15 | 56,85 | 55,55 | 54,25 | 53,0 | 51,7 | 50,4 | 49,1 | | |
| 10 | 13,0 | 65,6 | 64,4 | 63,1 | 61,9 | 60,6 | 59,4 | 58,1 | 56,9 | 55,6 | 54,4 | 53,1 | 51,9 | 50,6 | 10 | 5.538 |
| 10,5 | 13,0 | 66,65 | 65,45 | 64,2 | 63,05 | 61,8 | 60,6 | 59,35 | 58,2 | 56,95 | 55,8 | 54,5 | 53,35 | 52,1 | | |
| 11 | 13,5 | 67,7 | 66,5 | 65,3 | 64,2 | 63,0 | 61,8 | 60,6 | 59,5 | 58,3 | 57,1 | 56,0 | 54,8 | 53,6 | 11 | 5.333 |
| 11,5 | 13,5 | 68,75 | 67,6 | 66,45 | 65,35 | 64,2 | 63,05 | 61,9 | 60,8 | 59,65 | 58,5 | 57,4 | 56,25 | 55,1 | | |
| 12 | 14,0 | 69,8 | 68,70 | 67,6 | 66,5 | 65,4 | 64,3 | 63,2 | 62,1 | 61,0 | 59,9 | 58,8 | 57,7 | 56,6 | 12 | 5.143 |
| 12,5 | 14,0 | 70,85 | 69,75 | 68,7 | 67,65 | 66,6 | 65,55 | 64,45 | 63,4 | 62,35 | 61,3 | 60,2 | 59,15 | 58,1 | | |
| 13 | 14,5 | 71,9 | 70,8 | 69,8 | 68,8 | 67,8 | 66,8 | 65,7 | 64,7 | 63,7 | 62,7 | 61,6 | 60,6 | 59,6 | 13 | 4.966 |
| 13,5 | 14,5 | 72,95 | 71,70 | 70,9 | 69,95 | 69,0 | 68,0 | 67,0 | 66,0 | 65,05 | 64,1 | 63,05 | 62,1 | 61,1 | | |
| 14 | 15 | 73,9 | 73,0 | 72,0 | 71,1 | 70,2 | 69,2 | 68,3 | 67,3 | 66,4 | 65,4 | 64,5 | 63,6 | 62,6 | 14 | 4.800 |
| 14,5 | 15 | 74,95 | 74,05 | 73,1 | 72,25 | 71,35 | 70,45 | 69,55 | 68,6 | 67,75 | 66,8 | 65,9 | 65,05 | 64,1 | | |
| 15 | 15,5 | 76,0 | 75,1 | 74,3 | 73,4 | 72,5 | 71,7 | 70,8 | 69,9 | 69,1 | 68,2 | 67,3 | 66,5 | 65,6 | 15 | 4.645 |
| 15,5 | 15,5 | 77,05 | 76,10 | 75,4 | 74,55 | 73,7 | 72,9 | 72,1 | 71,25 | 70,45 | 69,6 | 68,7 | 67,95 | 67,1 | | |
| 16 | 16,0 | 78,1 | 77,3 | 76,5 | 75,7 | 74,9 | 74,1 | 73,4 | 72,6 | 71,8 | 71,0 | 70,2 | 69,4 | 68,6 | 16 | 4.500 |
| 16,5 | 16,0 | 79,15 | 78,4 | 77,6 | 76,85 | 76,1 | 75,35 | 74,65 | 73,9 | 73,15 | 72,4 | 71,6 | 70,85 | 70,1 | | |
| 17 | 16,5 | 80,2 | 79,5 | 78,7 | 78,0 | 77,3 | 76,6 | 75,9 | 75,2 | 74,5 | 73,8 | 73,0 | 72,3 | 71,6 | 17 | 4.364 |
| 17,5 | 16,5 | 81,25 | 80,55 | 79,85 | 79,15 | 78,5 | 77,85 | 77,15 | 76,5 | 75,85 | 75,2 | 74,4 | 73,8 | 73,1 | | |
| 18 | 17,0 | 82,3 | 81,6 | 81,0 | 80,3 | 79,7 | 79,1 | 78,4 | 77,8 | 77,2 | 76,5 | 75,9 | 75,3 | 74,6 | 18 | 4.235 |
| 18,5 | 17,0 | 83,3 | 82,70 | 82,1 | 81,5 | 80,9 | 80,3 | 79,7 | 79,1 | 78,55 | 77,9 | 77,3 | 76,75 | 76,1 | | |
| 19 | 17,5 | 84,3 | 83,8 | 83,2 | 82,7 | 82,1 | 81,5 | 81,0 | 80,4 | 79,9 | 79,3 | 78,7 | 78,2 | 77,6 | 19 | 4.000 |
| 19,5 | 17,5 | 85,35 | 84,85 | 84,3 | 83,85 | 83,3 | 82,75 | 82,25 | 81,7 | 81,25 | 80,7 | 80,1 | 79,65 | 78,1 | | |
| 20 | 18,0 | 86,4 | 85,9 | 85,4 | 85,0 | 84,5 | 84,0 | 83,9 | 83,0 | 82,5 | 82,6 | 81,6 | 81,1 | 80,6 | 20 | 3.892 |
| 20,5 | 18,0 | 87,45 | 86,95 | 86,5 | 86,15 | 85,7 | 85,25 | 84,8 | 84,3 | 83,85 | 84,0 | 83,0 | 82,6 | 82,1 | | |

CHAP.III - PRESENTATION TRAITEMENT ET ANALYSE
DES DONNEES OBTENUES

III-1 - Présentation des résultats obtenus à
l'issue des différents tests.

III-1-1. RESULTATS DES TESTS EN LABORATOIRE

III-1-2. RESULTATS DES TESTS SUR LE TERRAIN.

TABLEAU 3

TABLEAU N°4

| N° | AGE | Poids | PUISSANCE | FCR | FC6 | VO2 Max l/mn | VO2 Max ml/mn | Numéro du Palier atteint | VO2 Max ml/m | Fréq card. |
|----|-----|-------|-----------|-----|-----|--------------|---------------|--------------------------|--------------|------------|
| 1 | 22 | 74 | 159 | 68 | 156 | 3,2 | 43,24 | 8 | 44,6 | 180 |
| 2 | 23 | 70 | 154 | 64 | 148 | 3,3 | 47,14 | 12 | 56,6 | 190 |
| 3 | 24 | 57 | 126 | 68 | 166 | 2,32 | 40,7 | 10,5 | 52,1 | 210 |
| 4 | 24 | 63 | 139 | 72 | 168 | 2,5 | 39,68 | 8,5 | 46,1 | 190 |
| 5 | 25 | 67 | 147 | 64 | 143 | 3,25 | 48,5 | 11,5 | 55,1 | 190 |
| 6 | 27 | 60 | 132 | 64 | 144 | 3,1 | 51,6 | 10,5 | 52,1 | 190 |
| 7 | 23 | 70 | 154 | 60 | 148 | 3,3 | 47,14 | 10 | 50,6 | 190 |
| 8 | 25 | 64 | 141 | 60 | 162 | 2,7 | 42,18 | 11 | 53,6 | 180 |
| 9 | 24 | 66 | 146 | 64 | 146 | 3,25 | 49,24 | 11 | 53,6 | 180 |
| 10 | 28 | 65 | 143 | 80 | 182 | 2,2 | 38,84 | 7 | 41,6 | 200 |
| 11 | 23 | 65 | 143 | 68 | 168 | 2,5 | 38,46 | 10 | 50,6 | 200 |
| 12 | 24 | 50 | 110 | 64 | 168 | 2 | 40 | 9 | 47,6 | 190 |
| 13 | 25 | 58 | 128 | 60 | 160 | 2,55 | 43,96 | 11,5 | 55,1 | 190 |
| 14 | 21 | 54 | 118 | 72 | 148 | 2,75 | 42,96 | 10 | 50,6 | 180 |
| 15 | 22 | 65 | 143 | 64 | 160 | 2,75 | 42,3 | 9,5 | 49,1 | 170 |
| 16 | 23 | 74 | 159 | 68 | 156 | 2,85 | 38,51 | 10 | 50,6 | 170 |
| 17 | 24 | 55 | 123 | 72 | 172 | 2,1 | 38,13 | 8,5 | 46,1 | 180 |
| 18 | 25 | 72 | 158 | 60 | 157 | 3,1 | 43,33 | 10 | 50,6 | 190 |
| 19 | 24 | 84 | 185 | 48 | 140 | 4,4 | 52,38 | 11 | 53,6 | 170 |
| 20 | 22 | 74 | 159 | 60 | 168 | 2,8 | 37,83 | 9,5 | 49,1 | 190 |

LEGENDE :

- . FCR = Fréquence cardiaque au repos
- . FC6 = Fréquence cardiaque à la 6^{ème} mn
- . VO2 Max ml/mn = VO2 Max en ml/mn/kg

LEGENDE :

- N°-Pal-Att.= numéro du palier atteint
- VO2-Max-ml/m= VO2 Max en ml/mn/kg

III-2 - Traitement des résultats.

III-2-1 - Calcul du coefficient de corrélation

$$r = \frac{\sum X_i Y_i}{\sqrt{\sum X_i^2 \sum Y_i^2}}$$

$$X_i = x_i - \bar{x}$$

$$Y_i = Y_i - \bar{Y}$$

$$X_i^2 = (x_i - \bar{x})^2$$

$$Y_i^2 = (Y_i - \bar{Y})^2$$

Calcul de la moyenne

$$\bar{X} = \frac{\sum x_i}{n}$$

x_i = valeur prise par la variable

$n = 20$ nombre de sujets

TABLEAU 5

III-2-2 - Relation entre les différences variables étudiées

Les coefficients de corrélation (r) avec un degré de liberté

(d d ∞ = 19, le seuil de signification r pour

- la probabilité p = . 05 est de .4329

- la probabilité p = . 01 est de .5487

| VARIABLES | m | G | COEFFICIENTS DE CORRELATION | | | | |
|-----------|--------|-------|-----------------------------|-------|------|-------|-------|
| | | | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 1 | 43,3 | 4,58 | .669 | -.872 | .425 | .349 | .807 |
| 2 | 50,6 | 4,06 | - | -.693 | .048 | .104 | .512 |
| 3 | 158,25 | 11,07 | | - | .361 | .355 | -.785 |
| 4 | 186,5 | 10,47 | | | - | -.347 | -.410 |
| 5 | 143,35 | 17,45 | | | | - | .786 |
| 6 | 2,84 | 0,54 | | | | | - |

Légende

m = moyenne de chaque variable

G = écart type

1 = V02 max mesurée au laboratoire exprimée en millilitre par mn/kg

2 = V02 max mesurée au terrain exprimée en millilitre par mn/kg

3 = fréquence cardiaque à la 6 minute de l'exercice en laborat.

4 = fréquence cardiaque à la fin de l'exercice au terrain

5 = Puissance développée par le sujet pendant l'exercice en labo

6 = V02 max exprimée en litre mesurée en laboratoire.

III-2-3 - Calcul du t de student entre la VO2 max en
laboratoire et la VO2 max au terrain.

$$t = \frac{\bar{X} - \bar{Y}}{\sqrt{\frac{Gx}{n} + \frac{Gy}{n}}}$$

n = 20

x = la ^{moyenne} de la performance en laboratoire exprimée en ml = 43,3

y = la moyenne de la performance au terrain = 50,8

x-y = différence de la moyenne = 7,5

G2X = la variance se rapportant à X = 20,97

G2Y = la variance se rapportant à Y = 16,48

ddi = nombre de degré de liberté = 19

t = valeur de t de STUDENT = 4,01

degré de signification : t est significatif à un niveau
d'incertitude P = .001 correspondant à 3,883

III -3 - ANALYSE DES DONNEES

Avant de comparer nos deux méthodes de mesure, nous ferons une étude de chacune d'elle en vue de mieux clarifier les propos que nous aurons à tenir.

III-3-1 - Données obtenues en laboratoire

Le traitement de nos résultats en laboratoire a nécessité l'utilisation de quatre valeurs que sont la puissance, la fréquence cardiaque, la consommation maximale d'oxygène exprimée en litres par minute et en millilitres par minute et par kilogramme. Ces différentes données nécessitent une analyse pour déterminer leurs variations et leur relation à l'intérieur de notre échantillon.

III-3-1-1 - Fréquence cardiaque.

Pendant l'exercice musculaire, la fréquence cardiaque est en relation linéaire avec la puissance développée et la consommation d'oxygène. En réponse à un exercice submaximal elle présente à la sixième minute un équilibre qui traduit son adaptation à l'intensité de cet exercice, c'est-à-dire que les besoins en oxygène du muscle sont couverts.

L'étude de la corrélation entre cette fréquence et la $\dot{V}O_2$ maximale a donné des coefficients négatifs et significatifs :

$r = -0,785$ avec la $\dot{V}O_2$ max exprimée en litre par minute et
 $r = -0,872$ avec la $\dot{V}O_2$ max rapportée au poids corporel. Ceci signifie que plus la fréquence cardiaque est basse, plus la consommation maximale d'oxygène est élevée. Cependant cette corrélation est plus forte avec la $\dot{V}O_2$ maximale rapportée au poids corporel. Ce qui se justifie par le fait que plus la fréquence cardiaque en réponse à un exercice submaximal est faible plus vite le besoin en oxygène des muscles est couvert, ce qui implique une consommation d'oxygène par kilogramme poids élevée. A noter que selon P.Astrand (10) plus la fréquence cardiaque est basse, plus le volume systolique est grand et ceci inversement, dans la mesure où le débit cardiaque varie dans des limites relativement étroites. On peut donc dire que la fréquence cardiaque à la sixième minute est plus un déterminant de la $\dot{V}O_2$ max. rapportée au poids corporel.

Cependant cette fréquence cardiaque ne présente pas de corrélation avec la puissance développée par le sujet. Ces deux valeurs bien que liées d'une manière linéaire pendant l'exercice d'intensité croissante, n'entre-tiennent aucune liaison dans leur variation en fonction des sujets. La grandeur de la puissance n'influe pas sur la fréquence cardiaque à la sixième minute, en ce sens qu'un sujet peut développer une puissance de 154 kg m et présenter une fréquence cardiaque de 158 battements par minute et un autre une même puissance pour une fréquence de 140 bt/minute.

III-3-1-2 - La puissance

Nous venons d'expliquer l'absence de corrélation entre la puissance et la fréquence cardiaque. Et pourtant cette même puissance varie dans le même sens que la V_{O_2} maximale exprimée en litre par minute, ce qui se traduit par un coefficient de corrélation $r = 0,786$. Plus la puissance est élevée, plus grand est le poids, d'où l'importance de la masse musculaire, qui est un facteur influent de la V_{O_2} maximale. En d'autres termes plus le poids du sujet est élevé plus grande est sa V_{O_2} maximale exprimée en litre par minute (l/m). Mais ce coefficient quoique élevé ne nous permet pas de généraliser l'exemple de marathoniens qui, ayant souvent un poids peu élevé et V_{O_2} maximale voisinant 4 à 5 litres peut nous servir de limite à cette règle.

Par rapport à la V_{O_2} maximale rapportée au poids corporel, elle entretient une relation faible puisque $r = 0,349$. La puissance bien que directement liée au poids est indépendante de la V_{O_2} maximale rapportée au poids corporel. En effet l'importance de la puissance qui découle du poids, n'influe pas sur la consommation maximale d'oxygène par kilogramme. Celle-ci est plutôt liée à la fréquence cardiaque pendant la phase d'équilibre.

III-3-1-3 - V_{O_2} maximale exprimée en litre (s) rapportée au poids corporel.

L'étude de la relation de ces deux valeurs avec la fréquence cardiaque et la puissance étant déjà faite, il nous reste à voir la variation et la relation qu'elles supposent entre elles.

Elles présentent une corrélation élevée $r = 0,807$ et varient dans le même sens. Plus la V_{O_2} maximale globale est élevée, plus la V_{O_2} maximale rapportée au poids corporel est élevée.

La consommation globale d'oxygène détermine pour une grande part l'importance de la $\dot{V}O_2$ maximale rapportée au poids corporel, surtout quand en augmentant, elle varie en sens opposé au poids du sujet.

III-3-2 - Données obtenues au terrain

Pour cette épreuve, nous n'avons retenu que le $\dot{V}O_2$ maximale exprimée en millilitres par minute et par kilogramme (ml mn Kg) Unité que nous ne voulions point convertir car n'ayant pas de références précises quand à cette opportunité) et la fréquence cardiaque mesurée à la fin de l'exercice.

La mesure de la $\dot{V}O_2$ maximale sur le terrain est présentée comme une épreuve progressive et maximale à l'issue de laquelle la fréquence cardiaque à la fin de l'exercice peut-être considérée comme maximale.

Mais les conditions dans lesquelles nous l'avons mesurée ne peuvent permettre de tirer des conclusions assez justes quant à l'interprétation des différents coefficients de corrélation calculés.

D'une part, nous l'avons prise aussitôt à la fin de l'exercice donc pendant la période de récupération. Selon P. Astrand et coll (1) "La mesure de la fréquence cardiaque pendant la période de récupération ne donne qu'une idée approximative de la fréquence atteinte au cours du travail"

D'autre part, la prise de la fréquence cardiaque sur six secondes; afin d'éviter le temps de récupération n'a fait qu'augmenter l'imprécision.

Ainsi nous n'avons pas trouvé de coefficient de corrélation significatif entre cette fréquence et la $\dot{V}O_2$ maximale $r = 0,048$. Néanmoins on peut être amené à penser que l'exercice étant maximale, l'équilibre des adaptations est rompu en même temps, ^{sur} la corrélation qui unit ces deux valeurs baisse.

III-3-3 - Etude comparative des données obtenues en laboratoire et au terrain (cf résultats tableau n°6' extrait du tableau n°5)

| Terrain Laboratoire | VO2 Max en ml min-1kg-1 | Fréquence cardiaque à la fin de l'exercice |
|-----------------------------|----------------------------|---|
| .VO2 Max en ml min-1kg-1 | . 669 | . 425 |
| .VO2 Max en l min-1 | . 512 | - . 410 |
| FC6 | - . 693 | . 361 |
| r | . 104 | - . 347 |

III-3-3-1 - VO2 maximale au terrain et données obtenues au laboratoire.

La VO2 maximale obtenues au terrain entretient une relation significative avec la VO2 maximale prédite au laboratoire et rapportée au poids corporel, relation qui d'ailleurs est plus significative que celle qui l'unit à la VO2 maximale exprimée en litre. Ceci est normal du fait qu'elles sont exprimées avec la même unité. Cette corrélation significative révèle donc une liaison entre ces deux méthodes de mesure. Il y'a aussi une corrélation significative entre la fréquence cardiaque en laboratoire et la VO2 Maximale au terrain $r = 0,693$. Cela signifie que plus la fréquence cardiaque à la 6^e minute du test en laboratoire est basse, plus élevée est la VO2 max sur le terrain.

Cette relation confirme celle qui unit cette fréquence cardiaque à la consommation maximale d'oxygène prédite en laboratoire.

Quant à la puissance, elle n'entretient point de corrélation significative avec la VO2 max au terrain exprimée en ml/kg ce qui vient expliquer l'indépendance de ces deux ml/kg ce qui vient expliquer l'indépendance de ces deux valeurs que nous avons essayées de montrer au paragraphe III 1 2.

III-3-3-2 - Fréquence cardiaque sur le terrain et données obtenues en laboratoire.

A ce niveau, nous n'avons pas trouvé de coefficients de corrélation significatifs. Mais P. Astrand et coll (10) nous signalent que "Des études récentes ont par ailleurs confirmé le fait qu'il existe une faible corrélation entre d'une part la consommation d'oxygène et la puissance de l'exercice correspondant à une fréquence cardiaque de 170 ou 150 et d'autre part les mesures que l'on peut faire de la consommation maximale d'oxygène, du débit cardiaque ou du volume sanguin, chez les individus âgés de 20 à 70 ans". Toutefois nous ne pouvons nous investir dans ce domaine vues les conditions dans lesquelles on a eu à apprécier cette fréquence cardiaque au terrain à la fin de l'exercice.

III-3-3-3 - Analyse de la VO2 max au terrain comparée à celle du laboratoire rapportée au poids corporel

Pour mieux apprécier la VO2 maximale obtenue à l'aide de ces deux méthodes, il s'est imposé la nécessité de les exprimer dans la même unité.

C'est ainsi que l'étude des moyennes nous a permis de constater que celle de la consommation maximale d'oxygène obtenue au terrain est supérieure à celle de cette même valeur obtenue en laboratoire. Différence qui, d'ailleurs, apparaît par la simple lecture des résultats bruts. Chaque individu a une VO2 maximale supérieure au terrain qu'en laboratoire.

En calculant le "t" de Student nous constatons que la différence qui lie ces deux moyennes est significative. En effet t est égal à 4,01 alors qu'avec un degré de liberté égal à 19 le seuil de signification de F est égal à 0,001 correspondant à 3,383.

A partir de cet instant, nous avons essayé d'apprécier cette différence en pourcentage et nous avons trouvé que la moyenne de la VO2 maximale en laboratoire se situe à 85,82% de la moyenne de celle du terrain. La différence est de l'ordre de 14,18%

Dans une première approche on peut être amené à penser que cette différence réside dans le fait que l'une de ces méthodes consiste à faire travailler les sujets à des exercices maximaux et l'autre à faire travailler le sujet à des exercices submaximaux.

Dans ce sens, signalons qu'à travers les différents travaux sur la méthode indirecte en laboratoire, il ressort que cette mesure de la $\dot{V}O_2$ max est liée à une erreur qui, selon P. Astrand et coll (10) est de l'ordre de 10 pour cent chez le sujet bien entraîné. Cette erreur de prédiction peut découler de différents facteurs parmi lesquels on trouve l'utilisation du nomogramme, l'âge et la fréquence cardiaque.

Selon Rowell et coll (11) 1984, Chase et coll (2) 1966, l'utilisation du nomogramme aboutit à la sous-estimation des sujets. P. Astrand et coll (1) reviennent aussi pour dire que les individus non entraînés sont souvent sous-estimés, en revanche les athlètes bien entraînés sont souvent surestimés. Ils signalent aussi le fait que "Ce n'est que lorsque l'exercice devient très intense que la distribution du sang devient adéquate et que les muscles en activité reçoivent une fraction appropriée du débit cardiaque. Dans de tel cas si on ne tient compte que de la fréquence cardiaque lors de l'exercice submaximal, la consommation d'oxygène du sujet est souvent sous-estimée".

Dans notre étude, les sujets testés, tous des étudiants de l'Institut National Supérieur de l'Education Populaire et du Sport, ont un niveau d'entraînement moyen lié au programme universitaire et qui se manifeste par un pouls de repos voisin de celui des sédentaires sauf quelques exceptions. Si on se réfère à Astrand et coll (1) on peut dire que la $\dot{V}O_2$ maximale que nous avons mesurée en laboratoire est inférieure à la $\dot{V}O_2$ maximale qui serait réellement mesurée de manière directe, et ce dans l'ordre de 15 pour cent.

Par rapport à la $\dot{V}O_2$ maximale que nous avons mesurée au terrain, celle mesurée en laboratoire est inférieure de 14,18 pour cent environ.

On peut donc dire que la $\dot{V}O_2$ maximale obtenue au terrain à partir d'une épreuve maximale se rapproche de la $\dot{V}O_2$ maximale qui serait réellement mesurée en laboratoire avec des exercices maximaux. Mais ces propos ne peuvent dépasser la dimension d'une hypothèse à vérifier.

Suite aux différents calculs et analyses faits sur la comparaison de ces deux méthodes de mesure, notre hypothèse de départ se trouve infirmée. En effet la différence entre les résultats de ces tests s'avère significative. Mais ceci ne diminue en rien l'importance de ce travail qui, au-delà des différents aspects des tests d'aptitude physique constitue un guide ou une référence tant soit peu utile, pour le choix d'une méthode d'appréciation de la V_{O2} max.

Dans le cadre des activités physiques et sportives, la mesure de cette valeur constitue comme nous l'avons déjà dit au chap.I, un moyen de sélection d'athlètes de contrôle de l'évolution des qualités physiques suite à un entraînement ou à une maladie ou blessure. A ce niveau elle s'applique le plus souvent à une population importante d'athlètes ou de joueurs impliqués dans un cycle d'entraînement ou de compétition, ne pouvant permettre une étude minutieuse se rapportant plutôt aux recherches scientifiques. De là se dégage le souci de cerner une méthode de mesure appropriée et accessible à tout entraîneur ou éducateur.

Partant des différentes remarques faites par Astrand et coll (10) sur la méthode de la prédiction ou mesure indirecte selon lesquelles,

D'une part "Ce type d'épreuve est très utile lorsque l'on veut apprécier si un programme d'entraînement est parvenu ou non à améliorer la capacité circulatoire de l'individu"

D'autre part "qu'elle peut être utilisée dans la mesure où l'examineur connaît les limites de la méthode".

On peut être tenté de minimiser les erreurs liées à cette méthode, dans la mesure où elle peut donner à l'entraîneur tous les éléments nécessaires à son intervention. La différence entre cette méthode à celle directement mesurée en laboratoire se traduisant avec quelques centaines de millilitres n'a pas une grande importance, quand il s'agit de faire une étude de première approximation indépendante de toute recherche scientifique.

Au terrain nous ne possédons point de référence, quant à la fidélité et à la validité des tests de Léger-Mercier. Mais les études faites montrent qu'il est en corrélation significative avec la prédiction en laboratoire et plus encore qu'il se rapproche de la mesure directe.

Nous avons eu aussi à apprécier son déroulement, tant sur le point technique de mesure, du matériel nécessaire, et de la durée. Comparée au test en laboratoire cette méthode présente beaucoup d'avantages.

- Elle nécessite moins de techniques et de connaissances physiologiques de la part de l'examineur.

- Elle est plus rapide, car plus de 20 sujets peuvent passer le test en même temps.

- Les résultats sont plus accessibles après le test et avec moins de risque d'erreur.

- Elle prend moins de temps dans la programmation du cycle d'entraînement ou de compétition.

- Dans la forme, elle est plus adaptée à un grand nombre d'athlètes ou de sportifs.

- Elle permet aussi de connaître par l'intermédiaire du tableau de correspondance la vitesse de course à laquelle la V_{O_2} max est atteinte, et à partir de ces deux données déterminer l'intensité de l'entraînement

D'après Mercier et Léger 1980.(voir annexe)

En raison des différents constats que nous venons de faire, on peut affirmer que la méthode de mesure de la V_{O_2} max au terrain se doit d'être celle de l'entraîneur, du professeur d'éducation physique et même du médecin sportif, si toutefois l'objectif est de détecter, suivre et contrôler l'individu dans la pratique sportive. Mais pour les recherches scientifiques poussées, les méthodes de laboratoire prennent le dessus, surtout la détermination directe avec des sujets sains et la méthode indirecte avec les sujets malades ou âgés, pour éviter les accidents comme l'infarctus du myocarde.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES
=====

- (1) A.J.Vander J.H.Sherman D.S. Luciano
"Physiologie humaine Mc Mc Graw-Hill, Editeurs-Montréal"
- (2) Chase et coll 1966 "Cités dans Précis de physiologie de l'activité musculaire (10")
- (3) F.Nieff "Revue E.P.S. 182 capacités aérobies des élèves"
- (4) G.Cazola J. Ducal "Programme d'évaluation de la motricité de l'enfant et l'adolescent"
- (5) H. Herman J.F.Gier "Précis de physiologie 2^e édition Masson"
- (6) Léger L.A. Boucher "An indirect continuous running multistage field test. The université de Montréal track test. Can. J.Appl. sport Sci. 5 : 77 - 84 - 1980
- (7) Mercier D. et Léger, L.A. Détermination et contrôle de l'intensité d'entraînement du coureur - Track and field jour.20 : 24 - 27; February 1982.
- (8) Mercier, OD. et Léger, L.A - L'évaluation de la puissance aérobic maximale du coureur. Track and fiels journ.20 : 20-23; February.1982.
- (9) Paul Jurbola "Les tests aérobies et anaérobies"
- (10) P.O. Astrand K. Rodahl "Précis de physiologie de l'activité musculaire Masson"
- (11) Rowet et coll cités dans (10)

A N H E K E

DETERMINATION DE L'INTENSITE D'ENTRAINEMENT

A PARTIR DES RESULTATS OBTENUS

(D'APRES MERCIER ET LEGER 1980)

- L'amélioration de la VO₂ max s'obtient en utilisant surtout des intensités de course correspondant à 85, 90, 100 et 110% de la puissance maximale aérobie (PMA).

- L'amélioration de l'endurance aérobie nécessite des intensités moins élevées (sans trop produire et accumuler d'acide lactique : 60, 65, 70, 75, 80 % de la PMA selon le niveau d'entraînement du sujet.

COMMENT DETERMINER LES VITESSES CORRESPONDANTES DE COURSE ?

- 1) Évaluez votre VO₂ max à l'aide d'un des tests progressifs,
- 2) Déterminez l'intensité souhaitée,
- 3) En vous référant à la figure 3, notez sur l'échelle verticale de gauche (I) votre VO₂ max et sur l'échelle de droite (II) l'intensité relative à laquelle vous voulez vous entraîner.

Reliez ces deux points d'une droite; à son intersection avec l'échelle oblique centrale (III) repérez le VO₂ et surtout la vitesse correspondant. Ex

Ex. : 16 Km/h pour s'entraîner à 80% de la PMA lorsque le VO₂ max est de 70 ml.min⁻¹.Kg⁻¹.

- 4) Consulter la figure 4 pour trouver l'équivalent de cette vitesse de course en temps de passage sur 1 000 m ou 400 m. Ex: 3 min 46 s au kilomètre ou 1 min 30 s au 400 m pour une vitesse de 16 km/h.
- 5) Vous pouvez faire la démarche inverse pour savoir à quel pourcentage de votre PMA vous avez accompli telle ou telle performance.

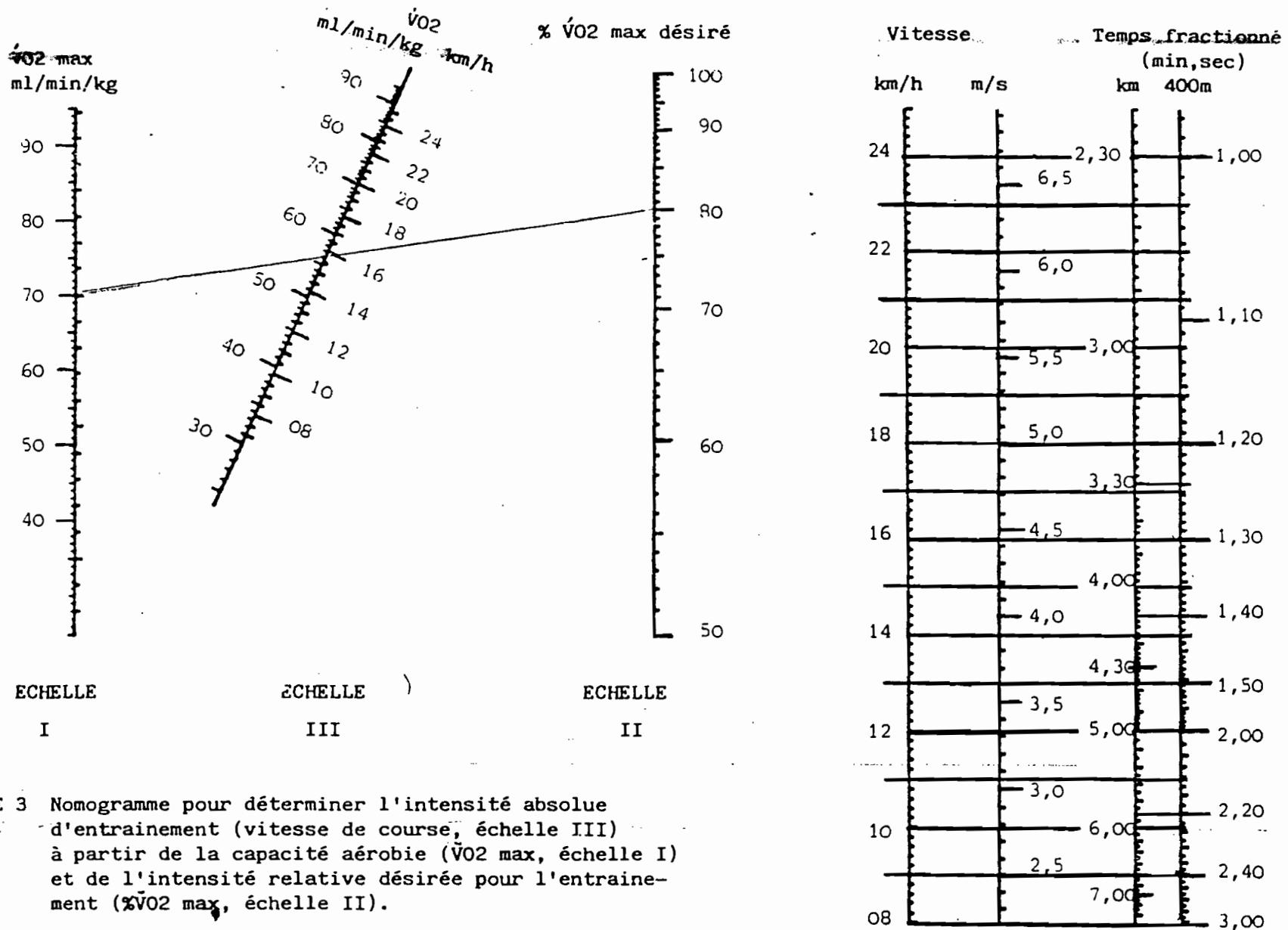
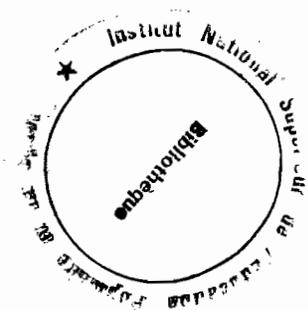


FIGURE 3 Nomogramme pour déterminer l'intensité absolue d'entraînement (vitesse de course, échelle III) à partir de la capacité aérobie ($\dot{V}O_2$ max, échelle I) et de l'intensité relative désirée pour l'entraînement (% $\dot{V}O_2$ max, échelle II).

Equivalence entre vitesse de course et temps fractionné sur différentes