

UNIVERSITE DE LIMOGES

FACULTE DE MEDECINE



Année 1993

SCD UNIV.LIMOGES



D 035 110575 9

THESE N°

707

**FREQUENCES CARDIAQUES MAXIMALES
ET CONSOMMATIONS MAXIMALES D'OXYGENE :
MESURES DIRECTES ET ESTIMATIONS EN FONCTION
DE L'AGE A PARTIR DES OBSERVATIONS FAITES
AU CRMS DE LIMOGES**

**THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE**

présentée et soutenue publiquement le : 19 Février 1993

par

Philippe NALIER
né le 13 Juin 1962 à Saint-Céré (Lot)

EXAMINATEURS DE LA THESE

Monsieur le Professeur CHASSAIN	Président
Monsieur le Professeur ALDIGIER	Juge
Monsieur le Professeur MENIER	Juge
Mademoiselle ANTONINI - Maître de Conférences des Universités -	Juge
Monsieur le Docteur BLANC	Membre invité

THESE méd. Limoges 1993 n° 707



Ex: 2

Sibil: H46 953

UNIVERSITE DE LIMOGES

FACULTE DE MEDECINE

Année 1993

THESE N° 107

**FREQUENCES CARDIAQUES MAXIMALES
ET CONSOMMATIONS MAXIMALES D'OXYGENE :
MESURES DIRECTES ET ESTIMATIONS EN FONCTION
DE L'AGE A PARTIR DES OBSERVATIONS FAITES
AU CRMS DE LIMOGES**

THESE
POUR LE DIPLOME D'ETAT DE DOCTEUR EN MEDECINE

présentée et soutenue publiquement le : 19 Février 1993

par

Philippe NALIER
né le 13 Juin 1962 à Saint-Céré (Lot)

EXAMINATEURS DE LA THESE

Monsieur le Professeur CHASSAIN	Président
Monsieur le Professeur ALDIGIER	Juge
Monsieur le Professeur MENIER	Juge
Mademoiselle ANTONINI - Maître de Conférences des Universités -	Juge
Monsieur le Docteur BLANC	Membre invité

UNIVERSITE DE LIMOGES
FACULTE DE MEDECINE

MEMBRES DE LA FACULTE : Monsieur le Professeur BONNAUD

ASSISTANTS : Monsieur le Professeur PIVA
Monsieur le Professeur COLOMBEAU

PERSONNEL ENSEIGNANT

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

ADENIS Jean-Paul	Ophtalmologie
ALAIN Luc	Chirurgie infantile
ALDIGIER Jean-Claude	Néphrologie
ARCHAMBEAUD Françoise	Médecine interne
ARNAUD Jean-Paul	Chirurgie Orthopédique et Traumatologique
BARTHE Dominique	Histologie, Embryologie, Cytogénétique
BAUDET Jean	Clinique obstétricale et Gynécologie
BENSAID Julien	Clinique médicale cardiologique
BONNAUD François	Pneumologie
BONNETBLANC Jean-Marie	Dermatologie
BORDESSOULE Dominique	Hématologie et Transfusion
BOULESTEIX Jean	Pédiatrie
BOUQUIER Jean-José	Clinique de Pédiatrie
BOUTROS-TONI Fernand	Biostatistique et informatique médicale
BRETON Jean- Christian	Biochimie et Biologie moléculaire
CAIX Michel	Anatomie
CATANZANO Gilbert	Anatomie pathologique
CHASSAIN Albert	Physiologie
CHRISTIDES Constantin	Chirurgie thoracique et cardio-vasculaire
COLOMBEAU Pierre	Urologie
CUBERTAFOND Pierre	Clinique de chirurgie digestive
DARDE Marie-Laure	Parasitologie
DE LUMLEY WOODYEAR Lionel	Pédiatrie
DENIS François	Bactériologie-Virologie
DESCOTTES Bernard	Anatomie
DESPROGES-GOTTERON Robert	Clinique thérapeutique et rhumatologique
DUDOGNON Pierre	Rééducation fonctionnelle
DUMAS Michel	Neurologie
DUMAS Jean-Philippe	Urologie
DUMONT Daniel	Médecine du Travail
DUPUY Jean-Paul	Radiologie et Imagerie Médicale
FEISS Pierre	Anesthésiologie et Réanimation chirurgicale
GAINANT Alain	Chirurgie digestive
GAROUX Roger	Pédopsychiatrie
GASTINNE Hervé	Réanimation médicale
GAY Roger	Réanimation médicale
GERMOUTY Jean	Pathologie médicale et respiratoire
HUGON Jacques	Histologie, Embryologie, Cytogénétique

ABADIE Michel	Biochimie et Biologie moléculaire
ABROUSSE Claude	Rééducation fonctionnelle
ASKAR Marc	Chirurgie Thoracique et Cardio-vasculaire
AUBIE Bernard	Endocrinologie et Maladies métaboliques
EGER Jean-Marie	Psychiatrie d'adultes
EROUX-ROBERT Claude	Néphrologie
IOZON Frédéric	Clinique Médicale A
OUBET René	Anatomie pathologique
ALINVAUD Gilbert	Hématologie et Transfusion
ENIER Robert	Physiologie
ERLE Louis	Pharmacologie
OREAU Jean-Jacques	Neurochirurgie
IOULIES Dominique	Chirurgie infantile
LIVIER Jean-Pierre	Radiothérapie et Cancérologie
UTREQUIN Gérard	Anatomie
PECOUT Claude	Chirurgie orthopédique et Traumatologique
PERDRISOT Rémy	Biophysique et traitement de l'image
PESTRE-ALEXANDRE Madeleine	Parasitologie
PILLEGAND Bernard	Hépto-Gastro-Entérologie
PIVA Claude	Médecine légale
PRALORAN Vincent	Hématologie et transfusion
RAVON Robert	Neurochirurgie
RIGAUD Michel	Biochimie et Biologie moléculaire
ROUSSEAU Jacques	Radiologie et Imagerie Médicale
SAUTEREAU Denis	Hépto-Gastro-Entérologie
SAUVAGE Jean-Pierre	Oto-Rhino-Laryngologie
TABASTE Jean-Louis	Gynécologie-Obstétrique
TREVES Richard	Thérapeutique
VALLAT Jean-Michel	Neurologie
VALLEIX Denis	Anatomie
VANDROUX Jean-Claude	Biophysique et Traitement de l'image
WEINBRECK Pierre	Maladies infectieuses

SECRETAIRE GENERAL DE LA FACULTE - CHEF DES SERVICES ADMINISTRATIFS

POMMARET Maryse

En nous montrant le but, montrez-nous le chemin.
Car l'enchevêtrement des moyens et des fins,
Veut qu'en changeant les uns vous transformiez les autres ;
Chaque nouveau sentier découvre un but nouveau.

Ferdinand Lassale

A NOTRE PRESIDENT

Monsieur le Professeur CHASSAIN
Professeur des Universités de Physiologie
Biologiste des Hôpitaux
Chef de Service

Pour l'honneur que vous m'avez fait en acceptant de diriger, de présider cette thèse et pour l'enseignement que vous m'avez généreusement dispensé. Je vous remercie de votre bienveillance et de votre entière disponibilité qui ont permis l'élaboration de ce travail dont vous restez le maître d'oeuvre.

Nous remercions également,

Monsieur le Professeur ALDIGIER
Professeur des Universités de Néphrologie
Médecin des Hôpitaux.

Monsieur le Professeur MENIER
Professeur des Universités de Physiologie
Biologiste des Hôpitaux.

Au Docteur ANTONINI
Maître de Conférences des Universités
Praticien Hospitalier

de s'être intéressés à ce travail et d'avoir accepté d'en être les juges.

A Monsieur le Docteur BLANC

*Votre présence au sein de ce Jury nous honore.
Veuillez accepter tous nos remerciements.*

A Michel VALADE

*Ton aide était indispensable. Tu es à l'origine du programme informatique.
Je t'exprime mes plus vifs remerciements et mes souhaits sincères pour la poursuite de tes
travaux.*

A Véronique FINI

D'avoir eu la patience de déchiffrer mon écriture et de dactylographier ce travail.

Au personnel du Laboratoire de Physiologie

Pour l'aide que vous m'avez apportée en toutes circonstances, je vous remercie.

**Fréquences cardiaques
maximales et consommations
maximales d'oxygène : mesures
directes et estimations en
fonction de l'âge à partir des
observations faites au CRMS de
LIMOGES.**

PLAN

- 1 - Introduction
 - 2 - Consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ Max.) et fréquence cardiaque maximale (f_c Max.) : observations directes
 - 3 - Détermination indirecte de $\dot{V}O_2$ Max.
 - 4 - Protocole expérimental
 - 5 - Résultats
 - 6 - Discussion
 - 7 - Conclusion
- Annexe I
- Annexe II
- Bibliographie

1 - Introduction

Le développement des activités physiques et sportives des dernières décades a fortement incité le Physiologiste à rechercher des moyens d'appréciation objectifs concernant les limites de l'Homme au cours de l'exercice musculaire. De nombreux tests ont été proposés tant pour l'exercice intense et court que pour l'exercice de longue durée ; tant également en ce qui concerne l'activité sportive proprement dite chez le jeune et le moins jeune, qu'en ce qui concerne l'activité des populations très différentes comme celles qui posent problèmes aux cardiologues par exemple.

Les tests adaptés aux performances intenses et de courte durée reposent pour la plupart sur la mesure de la puissance mécanique développée, ramenée au temps. Les mesures biologiques sont ici l'exception et, en tout état de cause, sont alors limitées en pratique à l'expérimentation. Par contre les tests adaptés aux performances de longues durées (quel que soit le niveau et la population intéressée) reposent sur l'appréciation de l'adaptation bioénergétique de l'individu. La mesure en référence est alors, la plupart du temps, celle de la consommation maximale d'oxygène : " $\dot{V}O_2$ Max.". Un certain nombre de pesanteurs pratiques limitent sa mesure directe à partir des échanges gazeux respiratoires. $\dot{V}O_2$ Max. est souvent apprécié indirectement en mettant à profit deux observations : la première est l'existence de relations linéaires entre " $\dot{V}O_2$ " la consommation d'oxygène, "fc" la fréquence cardiaque correspondante et " \dot{W} " la puissance d'exercice responsable ; la seconde observation est le fait général que $\dot{V}O_2$ Max. et "fc Max.", la fréquence cardiaque maximale de l'individu sont habituellement atteints ensemble pour une même puissance d'exercice : PMA, la puissance maximale aérobie.

La mesure directe de $\dot{V}O_2$ Max. est la méthode de référence chez le sportif de haut niveau particulièrement dans la course à pied, le triathlon, la natation, le cyclisme, le ski de fond etc... Tous sports où de faibles différences entre champions peuvent avoir une importante signification à l'heure de la compétition.

Par contre, en dehors de cette population très particulière du haut et du très haut niveau sportif, $\dot{V}O_2$ Max. est fréquemment apprécié indirectement au cours des explorations d'aptitude à l'exercice à tous âges entre différentes catégories de sujets et, chez un même sujet, par comparaison à lui-même de part et d'autre d'une période d'activité physique ou de repos. A cet égard, une population de plus en plus importante indépendamment de toute exploration à visée cardiologique, pourrait théoriquement bénéficier de sa mesure en vue d'évaluer son autonomie énergétique : les sujets âgés, ceux qui conservent ou développent une activité physique significative.

Notre travail a pour objectif un essai de protocole de mesure indirecte de $\dot{V}O_2$ Max. Notre source d'informations était représentée par l'ensemble des mesures déjà effectuées dans le Centre Régional de Médecine du Sport (CRMS) au cours des trois précédentes années. $\dot{V}O_2$ Max. directe et f_c Max. correspondante seront recueillis avec l'âge des différents sujets observés (entre 11 et 60 ans). 381 observations seront ainsi retenues. Par la suite une relation f_c Max. - âge sera proposée ainsi qu'un mode d'appréciation concernant $\dot{V}O_2$ Max. indirect.

Dans un premier temps un bref rappel concernant $\dot{V}O_2$ Max. direct et ses différentes approches indirectes sera effectué avant d'aborder le recueil et le traitement de nos observations.

**2 - Consommation maximale d'oxygène
($\dot{V}O_2$ Max.) et fréquence cardiaque
maximale (fc Max.) :
observations directes**

2-1- Consommation maximale d'oxygène : définition et signification

La consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ Max.) est la quantité maximale d'oxygène prélevée, transportée et consommée pendant une unité de temps. $\dot{V}O_2$ Max. a la dimension d'une puissance, elle s'exprime en $l \cdot mn^{-1}$ ou $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ si celle-ci est rapportée au poids du sujet.

Les réserves d'oxygène de l'organisme étant pratiquement inexistantes. Suivant l'équation de Fick, la consommation d'oxygène correspond également au débit cardiaque multiplié par la différence artério-veineuse en oxygène.

$$\dot{V}O_2 = \dot{Q} \times D_{AVO_2}$$

\dot{Q} = débit cardiaque

D_{AVO_2} = différence artério-veineuse en oxygène

$\dot{V}O_2$ = consommation d'oxygène dans l'unité de temps

La mesure directe de $\dot{V}O_2$ Max. est une des méthodes les plus appropriées pour apprécier la capacité physique d'un sujet. Une valeur élevée de $\dot{V}O_2$ Max. favorise les performances de longue durée en permettant des charges d'entraînement importantes. En outre, $\dot{V}O_2$ Max. peut favoriser indirectement les autres performances, dans les activités physiques répétitives de durées relativement courtes.

2-2- Mesure directe de $\dot{V}O_2$ Max.

La technique de mesure de $\dot{V}O_2$ Max. consiste à amener le sujet à l'état le plus élevé de sa consommation d'oxygène. Pour atteindre cette valeur

maximale, le sujet doit solliciter au minimum 70 % (SHEPHARD, 1988) de sa masse musculaire totale. La durée nécessaire pour une telle mesure, dépend du protocole. Celui-ci peut être de deux types, rectangulaire ou triangulaire :

- rectangulaire (peu pratiqué) : une même puissance d'exercice est soutenue pendant au moins 6 minutes au cours de chaque essai (**figure 1**)

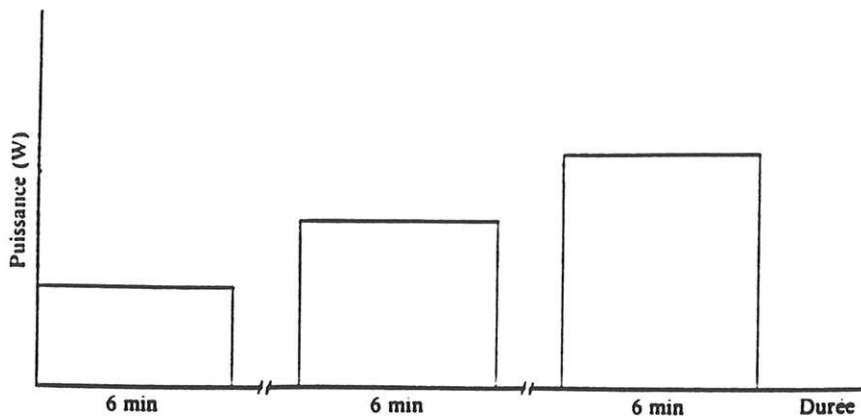


Figure 1 – Épreuve rectangulaire de détermination du $\dot{V}O_2$ max
Plusieurs séances de 6 min chacune au cours desquelles le sujet réalise l'épreuve à une charge maintenue constante

- triangulaire : dans ce cas la puissance d'exercice est augmentée progressivement par paliers de 1, 2, 3 ou 4 minutes, selon différents protocoles, l'augmentation de la charge de travail pouvant être effectuée avec ou sans interruption entre chaque palier (**figure 2**).

Quel que soit le type d'épreuve, celle-ci peut être précédée d'un échauffement de 6 minutes élevant la fréquence cardiaque du sujet à une valeur avoisinant 120 battements par minute. Une période de récupération active (travail entre 40 et 50 % de la puissance maximale aérobie) est fortement recommandée en fin d'épreuve.

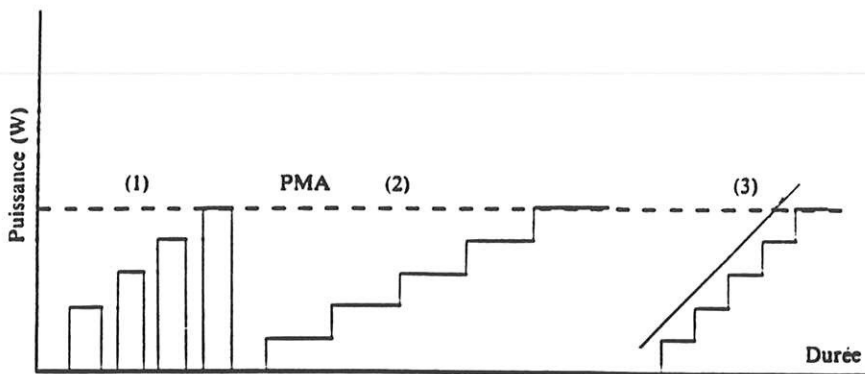


Figure 2. Épreuve triangulaire de détermination du $\dot{V}O_2$ max

- (1) Charges croissantes avec temps de récupération intermédiaire
- (2) Augmentation des charges par paliers de 3 à 4 min
- (3) Augmentation quasi continue de la charge par palier de 1 min

Un certain nombre de critères physiologiques permettent d'apprécier la validité de la mesure de $\dot{V}O_2$ Max.

Ceux-ci sont les suivants :

- un arrêt (voire une diminution) de $\dot{V}O_2$ avec l'augmentation de la puissance d'exercice (**figure 8**) ;

- une fréquence cardiaque proche de la fréquence maximale théorique (FMT) définie par Astrand (1960) comme étant égale à $220 - \text{âge du sujet}$. En fait FMT n'est qu'un guide pour l'opérateur ,

- un quotient respiratoire $R = \frac{\dot{V}CO_2}{\dot{V}O_2}$ supérieur à 1.

Ce critère de l'hyperventilation qui accompagne toujours $\dot{V}O_2$ Max est facilement suivi au cours de l'épreuve d'effort.

- Enfin, une lactatémie voisine de 10 mmol.l⁻¹ chez le sujet adulte, lactatémie qui peut toutefois être inférieure, au voisinage de 7 à 8 mmol.l⁻¹ chez le jeune au-dessous de 18 ans (LACOUR, FLANDROIS 1981).

3 sur 4 de ces critères sont nécessaires pour une bonne mesure de $\dot{V}O_2$ Max. Parfois une faible motivation, voire certains handicaps physiopathologiques peuvent limiter la mesure de $\dot{V}O_2$ avant que ces critères ne soient satisfaits. La valeur maximale de $\dot{V}O_2$ obtenue reste alors sans signification.

2-3 Intérêt de $\dot{V}O_2$ Max

D'une façon générale les plus fortes valeurs de $\dot{V}O_2$ Max. sont associées aux meilleures performances dans les épreuves intenses et de longues durées (P.O. ASTRAND 1952 et 1956). Les sportifs chez qui $\dot{V}O_2$ Max. est élevé peuvent ainsi assurer, les plus fortes quantités de travail. Cependant si $\dot{V}O_2$ Max. est déterminant, d'autres paramètres interviennent dans la performance sportive d'endurance. Le premier, c'est la capacité du sujet à utiliser un fort pourcentage de $\dot{V}O_2$ Max. pendant une durée déterminée. Le second, c'est l'efficacité du geste sportif lui-même (P.E. DI PRAMPERO, 1988).

Un geste efficace demande en effet un coût énergétique moindre, permettant de ce fait le maintien d'une puissance donnée pendant un temps plus long.

2-4- Fréquence cardiaque maximale et consommation maximale d'oxygène

$\dot{V}O_2$ Max. et fc Max. sont atteints ensemble pour une même puissance d'exercice, la puissance maximale aérobie (PMA) (I. ASTRAND, 1967).

$\dot{V}O_2$ Max. dépend de l'aptitude du sujet, fc Max dépend de l'âge du sujet (ASTRAND, 1960).

2-4-1- Fréquences cardiaques maximales et âges des sujets

fc Max. diminue progressivement avec l'âge, la relation est toutefois selon les auteurs ceci en fonction de l'origine et de la constitution des groupes des populations étudiées. D'après Astrand (1960) (figure 3) la relation serait la suivante : la fréquence cardiaque maximale théorique (FMT) est égale à 220 moins l'âge du sujet. D'après Scheffield (1970) (figure 4) la relation serait la suivante : pour les hommes $FMT = 206,3 - 0,44 \times \text{âge}$, pour les femmes $FMT = 216,3 - 0,88 \times \text{âge}$. D'après Alabouvette (1984) (figure 5) la relation serait la suivante : $FMT = 201,8 - 0,40 \times \text{âge}$.

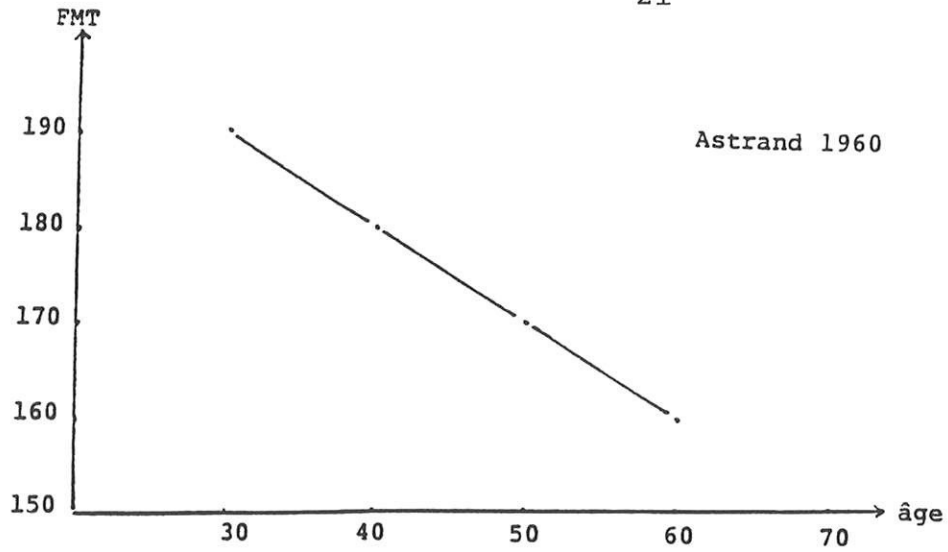


Figure 3 - Fréquence cardiaque selon Astrand : $220 - \text{âge}$.

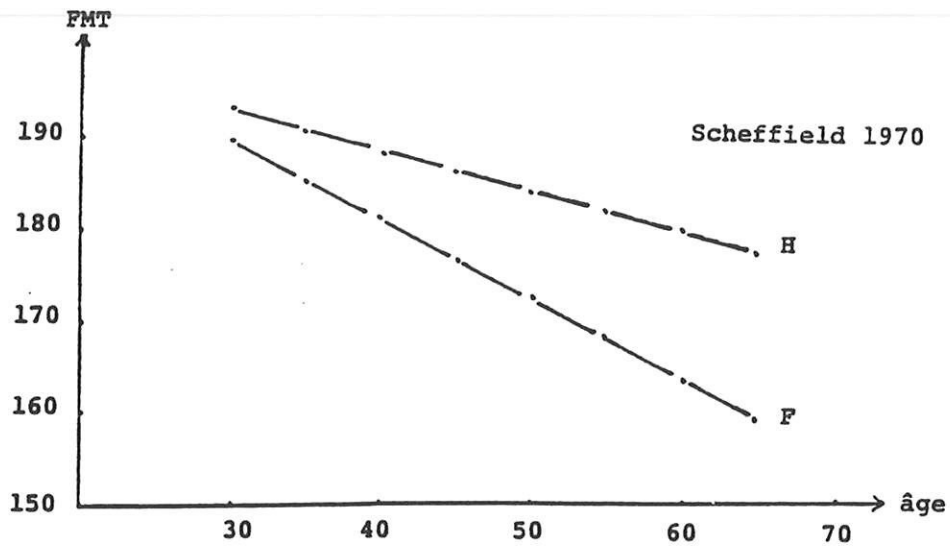


Figure 4 - Scheffield : homme : $206,3 - 0,44 \times \text{âge}$; femme : $216,3 - 0,88 \times \text{âge}$.

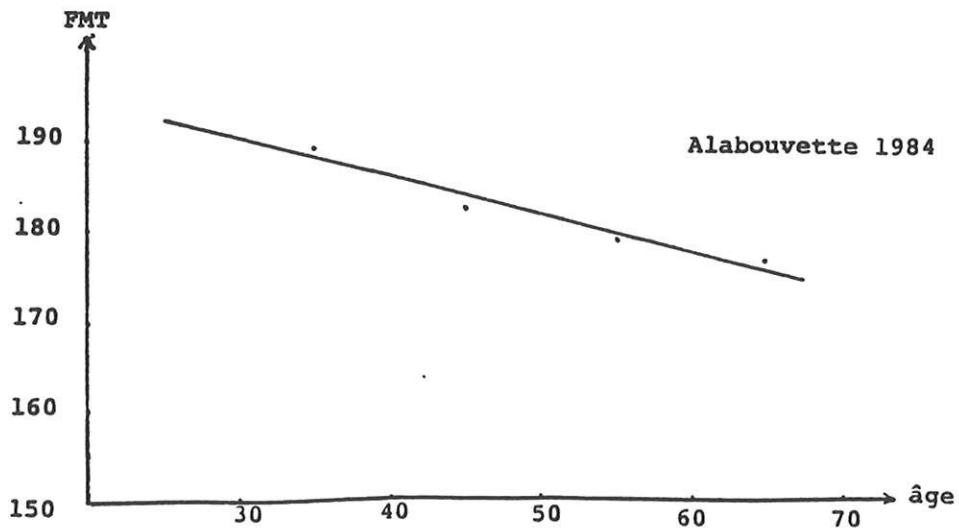


Figure 5 - Fréquence cardiaque selon Alabouvette : $201,8 - 0,40 \times \text{âge}$.

2-4-2- Fréquence cardiaque, consommation d'oxygène et puissance d'exercice

Fréquence cardiaque (f_c), consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$) et puissance d'exercice (\dot{W}) sont étroitement liées chez un même sujet.

2-4-2-1- Relation $f_c - \dot{W}$

f_c augmente de façon linéaire avec \dot{W} . La relation $f_c - \dot{W}$ dépend alors de l'aptitude du sujet. La pente d'accroissement de $f_c - f(\dot{W})$ est d'autant plus faible que l'aptitude du sujet est plus grande (figure 6).

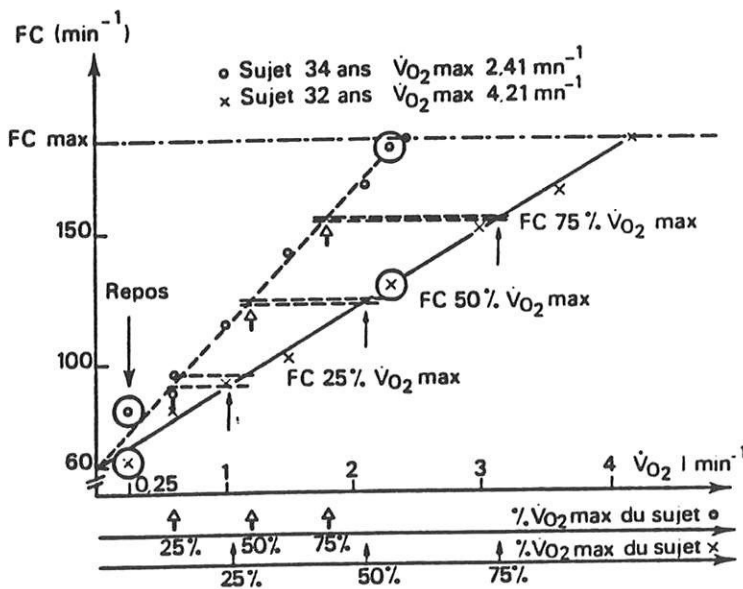


Figure 6 - Relation entre la fréquence cardiaque mesurée au cours de l'exercice et la consommation d'oxygène (LACOUR et FLANDROIS, 1981).

En revanche, la fréquence cardiaque évolue de façon identique chez tous les individus quand elle est exprimée en fonction de la dépense d'énergie exprimée en pourcent de $\dot{V}O_2$ Max. (figure 7).

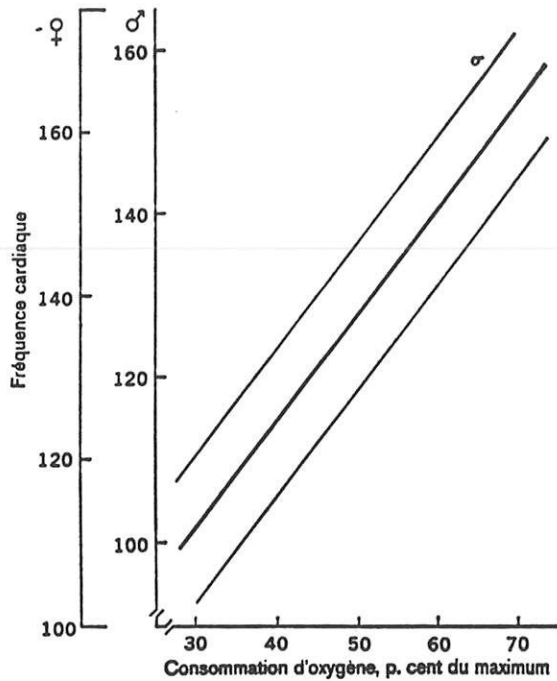


Figure 7 - Relation entre la fréquence cardiaque mesurée au cours de l'exercice et la consommation d'oxygène exprimée en p.100. L'ordonnée de gauche représente les fréquences cardiaques des sujets féminins ; celle de droite représente les fréquences cardiaques des sujets masculins. Les traits fins représentent une déviation standard (ASTRAND P.O., 1954).

2-4-2-2- Relation $\dot{V}O_2$ - \dot{W}

On admet généralement une relation linéaire entre $\dot{V}O_2$ et \dot{W} jusqu'à $\dot{V}O_2$ Max. (figure 8 et figure 9 courbe A). La puissance entraînant $\dot{V}O_2$ Max. est dans ces conditions PMA. Au-delà de PMA la totalité de l'énergie biologique fournie en supplément est alors d'origine anaérobie.

PMA peut être éventuellement soutenue 2 à 4 minutes chez le sujet sédentaire, voire une dizaine de minutes chez l'Athlète particulièrement entraîné.

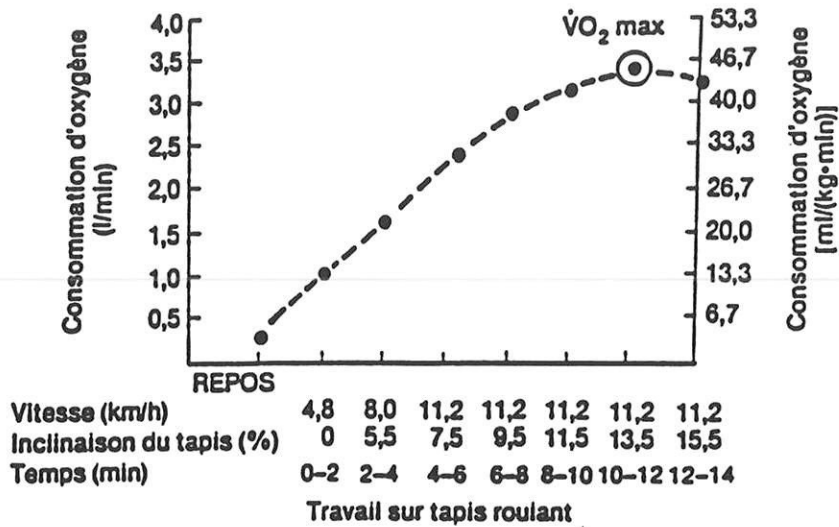


Figure 8 - Observation de la consommation maximale d'oxygène à un niveau inférieur à l'intensité maximale de travail. Chaque point correspond à la moyenne de 18 sujets sédentaires. (Laboratoire de recherche sur la performance physique, The university of Michigan.)

2-4-2-3- Eventualité d'une évolution différente de f_c et $\dot{V}O_2$ en fonction de la puissance d'exercice au voisinage de $\dot{V}O_2$ Max.

Chez certains sujets, la consommation d'oxygène augmente plus vite que la fréquence cardiaque lorsque l'exercice devient très intense (**figure 9 courbe B**). Astrand (1954) explique le phénomène par le fait que ce n'est qu'au voisinage de $\dot{V}O_2$ Max. que la distribution du sang devient totalement adéquate et que les muscles en activité reçoivent une fraction optimale du débit cardiaque.

La linéarité de f_c en fonction de $\dot{V}O_2$ n'est donc pas toujours respectée jusqu'à $\dot{V}O_2$ Max. Ce caractère aléatoire est un important facteur limitant dans les essais d'estimations indirectes de $\dot{V}O_2$ Max. à partir des relations $\dot{V}O_2 - \dot{W}$.

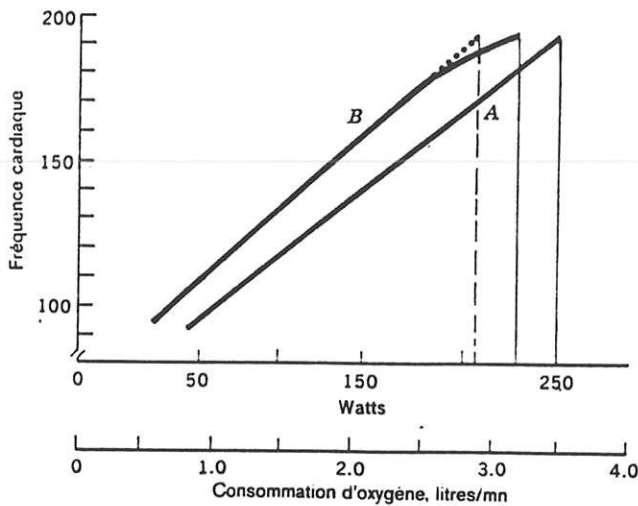


Figure 9 - L'augmentation de la fréquence cardiaque en fonction de l'accroissement de la puissance (et de la consommation d'oxygène) est, entre de très larges limites, linéaire. Chez un certain nombre de sujets (B), la consommation d'oxygène peut augmenter relativement plus vite que la fréquence cardiaque lorsque l'exercice devient très intense (ASTRAND P.O., 1954).

D'une façon générale cette non linéarité possible, fréquente chez les sujets sportifs, est donc une cause de sous-estimation de $\dot{V}O_2$ Max.

2-4-2-4- Variations de " $\dot{V}O_2$ Max." (et f_c Max.) avec les conditions de mesures et les conditions biologiques

$\dot{V}O_2$ Max. et f_c Max. peuvent être altérés, c'est-à-dire sous-estimés, à l'issue d'un protocole de mesures non adapté à la discipline sportive habituelle du sujet.

2-4-2-4-1- $\dot{V}O_2$ Max. et les conditions de mesure

$\dot{V}O_2$ Max. dépend fortement de la masse musculaire mise en jeu au cours de la mesure (SHEPHARD, 1988). D'une façon générale, plus la masse musculaire engagée est importante plus grande sera la valeur aérobie observée. Cependant, il ne semble pas qu'il existe, à proprement parler, une proportionalité simple entre $\dot{V}O_2$ Max. et l'importance de la musculation sollicitée. En effet, celle-ci doit correspondre à celle utilisée habituellement au cours de l'entraînement dans la discipline sportive du sujet. Un coureur à pied verra son $\dot{V}O_2$ Max. sous-estimé sur bicyclette ergométrique. La même constatation est également vraie pour le cycliste qui serait, par erreur, testé sur tapis roulant : principe de spécificité.

2-4-2-4-2- $\dot{V}O_2$ Max. et les conditions biologiques

$\dot{V}O_2$ Max. - et fc Max. - varient chez un même sujet selon ses conditions biologiques du moment. D'un sujet à l'autre $\dot{V}O_2$ Max. varie avec le sexe, l'hérédité et l'âge.

Chez un même sujet $\dot{V}O_2$ Max. varie en fonction de son état de forme au cours de la "Saison". Cet état de forme étant lui-même lié à la quantité et à la qualité de son entraînement ou de sa sédentarité. Un entraînement bien adapté et soutenu peut apporter une amélioration de l'ordre de 10 à 30 p.100 de $\dot{V}O_2$ Max. avec dans le même temps une diminution de sa fréquence cardiaque de repos et une modification dont le sens est plus aléatoire de sa fréquence cardiaque maximale (MAGEL, 1975).

A l'inverse, un repos forcé au lit, après un accident de parcours, peut entraîner rapidement une chute de l'ordre de 50 p.100 (SALTIN, 1968).

A noter également, car lié aussi à l'entraînement du sujet, l'influence du poids et de la composition moyenne des tissus surtout lorsque $\dot{V}O_2$ Max. exprimé en millilitre par minute et par kilogramme de poids corporel.

D'un sujet à l'autre, pour l'essentiel, les principales causes de variation - outre celles dues au poids corporel - sont encore le sexe, l'hérédité, l'âge, l'entraînement :

- Le sexe : $\dot{V}O_2$ Max. est habituellement plus élevé chez l'homme que chez la femme de même âge, de même poids et de même condition physique. Cette différence est généralement attribuée aux différences de constitution corporelle et à une concentration moindre du sang en hémoglobine

chez la femme que chez l'homme (ASTRAND et RODAHL, 1980). Il reste que $\dot{V}O_2$ Max. chez la femme entraînée peut être supérieur à $\dot{V}O_2$ Max. de l'homme sédentaire de même âge.

- L'hérédité est aussi une des causes importantes de variation de $\dot{V}O_2$ Max. d'un sujet à l'autre. Des études faites sur différents groupes de vrais et de faux jumeaux font penser que 95 p.100 des différences d'aptitudes au cours des mesures de $\dot{V}O_2$ Max. peuvent être dans certains cas expliquées par les facteurs génétiques (KLISSOURAS, 1973).

- L'âge et l'entraînement enfin peuvent avoir un effet contraire chez un même sujet et chez les différents sujets. Après 20-25 ans l'âge provoque un abaissement de $\dot{V}O_2$ Max. alors que l'entraînement qu'il produit peut ralentir, voire maintenir $\dot{V}O_2$ Max. pendant un certain temps à un haut niveau malgré l'avancée de l'âge.

3 - Détermination indirecte de $\dot{V}O_2$ Max.

Cette détermination met en jeu les relations linéaires entre f_c , $\dot{V}O_2$ et puissances d'exercices.

3-1- Incertitudes des différents modes de détermination

Les différents tests de déterminations indirectes de $\dot{V}O_2$ Max. peuvent être subdivisés en épreuves sous-maximales et en épreuves maximales, celles-ci étant en général effectuées directement sur le terrain. Les différentes épreuves d'effort mettent en jeu, à des degrés divers, les mêmes sources d'imprécisions :

- 1° - incertitude sur le coût énergétique de l'exercice effectué ;
- 2° - incertitude sur la participation plus ou moins importante du métabolisme anaérobie dans les tests maximaux ;
- 3° - incertitude sur la fréquence cardiaque maximale dans les tests sous-maximaux ;
- 4° - incertitude enfin sur le caractère maximal de l'exercice chez les sujets peu motivés au cours des épreuves indirectes maximales.

3-2- $\dot{V}O_2$ Max. indirect et épreuves sous-maximales

Deux modes d'évaluation indirecte de $\dot{V}O_2$ Max. par utilisation des relations $f_c - \dot{V}O_2$ et puissances peuvent être citées particulièrement en rapport avec l'objet de ce travail : l'épreuve d'Astrand et Rhyning (1954) et l'évaluation indirecte classique de $\dot{V}O_2$ Max. par détermination de la relation fréquence cardiaque - puissance d'exercice.

3-2-1- L'épreuve d'Astrand et Rhyming (1954) (Tableau XXVIII)

C'est l'épreuve la plus utilisée depuis sa conception. Elle repose sur trois hypothèses :

1° - l'existence de la relation linéaire $fc-\dot{V}O_2$ pour les exercices sous-maximaux ;

2° - sur l'existence d'un rendement énergétique (R_n) voisin de 23 p.100 chez la plupart des sujets, ce qui permet d'exprimer la puissance développée en équivalent oxygène ;

3° - elle suppose une valeur fixe de la fréquence cardiaque de repos et une fréquence cardiaque maximale de l'ordre de 220 moins l'âge du sujet.

L'épreuve consiste à faire pédaler le sujet pendant 6 minutes en maintenant une puissance constante susceptible d'entraîner un régime stationnaire avec une fréquence cardiaque voisine de 140-150 bpm ($fc > 130$ bpm). La lecture de "fc" se faisant entre la 5ème et la 6ème minute d'exercice.

En pratique un nomogramme donne alors rapidement $\dot{V}O_2$ Max. indirect (cf figure 10). Une table de facteurs de corrections en fonction de l'âge est en plus proposée par Astrand et Rodahl en 1973 (tableau I).

En pratique, l'écart de prédiction de $\dot{V}O_2$ Max. est de l'ordre de 10 à 15 p.100 par rapport aux mesures directes.

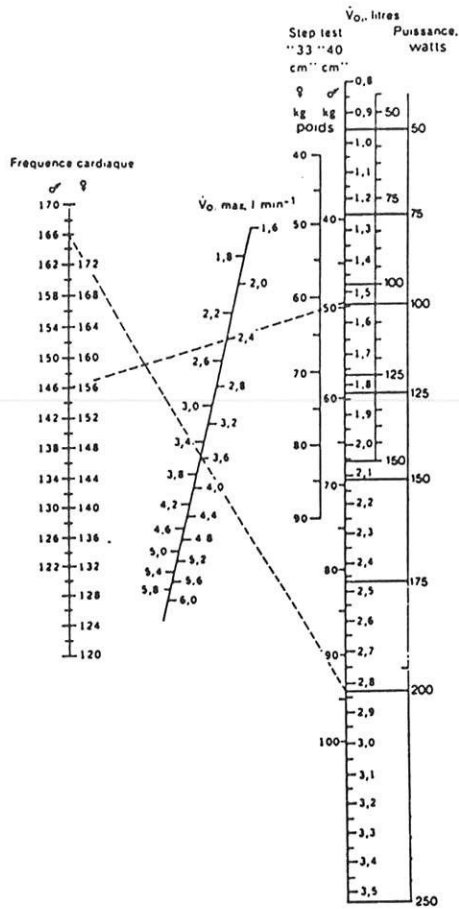


FIG 10- — Nomogramme

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 course 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.)

Tableau I

Facteur de correction du nomogramme de prédiction de $\dot{V}O_2$ Max. pour les sujets d'âges compris entre 15 et 65 ans ainsi que pour les sujets dont fc max. est connu.

Age	Facteur de correction	fc Max.	Facteur de correction si fc Max. connue
15	1,10	210	1,12
25	1,00	200	1,00
35	0,87	190	0,93
40	0,83	180	0,83
45	0,78	170	0,75
50	0,75	160	0,69
55	0,71	150	0,64
60	0,68		
65	0,65		

3-2-2- Evaluation indirecte de $\dot{V}O_2$ Max. par détermination de la relation fréquence cardiaque - puissance d'exercice (Andersen et Sivertsen 1966-1971).

L'évaluation indirecte de $\dot{V}O_2$ Max. est faite ici à l'aide d'une épreuve sous-maximale triangulaire (à paliers progressifs de puissance).

Le principe de la mesure est d'extrapoler la relation supposée linéaire entre "fc" et " \dot{W} " jusqu'à la valeur théorique ou réelle de fc Max. du sujet.

La valeur de " \dot{W} " déterminée en abscisse est alors supposée correspondre à "PMA", la puissance maximale aérobie susceptible d'entraîner $\dot{V}O_2$ Max. Une prédiction de $\dot{V}O_2$ Max. peut ensuite être faite en émettant deux hypothèses :

1° - Sur le rendement net de l'exercice : $R_n \simeq 0,23$;

2° - Sur $\dot{V}O_2$ de repos ($\dot{V}O_{2R}$) qui est estimé à $3,5 \text{ mlO}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Dans ces conditions, l'expression suivante donne une estimation de $\dot{V}O_2$ Max. à partir de PMA déterminée.

$$\dot{V}O_2 \text{ Max.} = \dot{V}O_2 R + 0,003 \text{ PMA}/R_n$$

où $\dot{V}O_2$ Max. est exprimé en $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$,

PMA en Watt,

$\dot{V}O_2 R$ en $\text{l} \cdot \text{min}^{-1}$.

valeur énergétique de l'oxygène ($1 \text{ l.O}_2 \simeq 20.000 \text{ joules}$).

Inconvénients de la méthode

1° - Ses hypothèses ;

2° - Le caractère aléatoire de la forme réelle de la relation $fc - \dot{V}O_2$ (ou $fc - W$) qui peut s'incurver au voisinage de $\dot{V}O_2 \text{ Max.}$ (**figure 9, courbe B**).

3-2-3 Autres épreuves de Laboratoire

3-2-3-1- Le sujet élève - et abaisse - de façon régulière son propre centre de gravité (utilisation d'un banc ou d'un escalier)

3-2-3-1-1- L'épreuve d'Astrand et Rhymining

Le sujet monte sur un banc et en descend à une cadence fixe de 22,5 cycles par minute. (Pour les femmes, c'est un banc de 33 cm de hauteur. Pour les hommes, la hauteur est de 40 cm). La détermination de $\dot{V}O_2 \text{ Max.}$ indirecte se fait par lecture du Nomogramme entre le poids du sujet et la fréquence cardiaque observée entre le 5ème et la 6ème minute d'exercice (**Tableau 1, figure 10**).

3-2-3-1-3- L'épreuve de Margaria (Tableau XXVIII)

Elle consiste à la montée et à la descente d'un banc de 30 cm ou de 40 cm. (Le banc de 30 cm est réservé au sujet âgé de moins de 17 ans et de plus de 50 ans. Le banc de 40 cm au sujet de 18 à 50 ans quel que soit le sexe). Le calcul de VO_2 Max. est identique au précédent, mais les paliers sont ici de 4 minutes, le rythme variant ici de 15 à 40 par minute.

Tableau III

Paliers n°	1	2	3	4	5	6
Rythme (/mn)	18,0	22,5	27,5	31,5	36,0	40,0
Métronome	72	90	110	126	144	160
VO_2 (ml/mn/kg)						
30 ans	20,41	24,21	28,44	31,82	35,62	39,00
40 ans	25,17	29,90	35,16	39,37	44,10	48,31
Fr						

**3-2-3-1-4- L'épreuve du banc à hauteur et vitesse variable - Balke et Skinner
(1969)**

Cette épreuve requiert un dispositif à 4 marches 10, 20, 30, et 40 cm. Chaque palier est de puissance variable par modification du rythme et du travail effectué pendant une durée de 3 minutes.

Tableau IV

Palier n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Rythme (/min.)	30	30	30	30	34,5	40	46	50
Hauteur (cm.)	10	20	30	40	40	40	40	40
Dépense (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	9,8	16,8	23,8	30,8	37,8	44,8	51,8	58,8

En pratique la consommation maximale d'oxygène susceptible d'être évaluée par cette épreuve ne peut dépasser que 58,8 ml.mn⁻¹.kg⁻¹, ce qui exclut l'évaluation de l'athlète à $\dot{V}O_2$ Max. élevé.

3-2-3-1-5- L'épreuve d'un banc de 40 cm à vitesse de montées et de descentes variables - Léger (1981)

La durée des paliers est ici fixée à 2 minutes. A chaque palier correspond une augmentation de la dépense d'énergie de $3,5 \text{ ml.mn}^{-1}.\text{kg}^{-1}$. La progression est assurée uniquement par l'accélération des montées et des descentes.

3-2-3-2- Mesures sur tapis roulant

3-2-3-2-1- L'épreuve de marche de Shephard (1969)

Elle consiste en une marche sur tapis roulant dont la vitesse de déroulement a été fixée à 5 km/h. Les paliers à vitesse constante de puissance progressive de 4 minutes chacun sont réalisés par un accroissement de pente.

Tableau V

Paliers n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Pente %	0	2,5	5	7,5	10	12,5	15	17,5
VO ₂ (ml.kg ⁻¹ .min ⁻¹)	22	24,9	27,8	30,7	33,6	36,5	39,3	42,2

Les fréquences cardiaques observées permettent de guider le choix de la charge maximale au cours de l'exercice. Il faut cependant garder à l'esprit que plus l'intensité d'une épreuve sous maximale est faible plus il est difficile de l'exploiter particulièrement chez l'adulte présentant des risques cardio-

vasculaires. Néanmoins on gardera à l'esprit que l'erreur d'estimation de $\dot{V}O_2$ Max. est importante.

3-2-3-2-2- Modifications de l'épreuve de Shephard

3-2-3-2-2-1- Epreuve modifiée (Balke, Fox, Naughton, Haskell, 1971)

La vitesse constante de marche est alors de 5,4 km/h. La progression de l'épreuve se fait ici par paliers de 2 minutes par un accroissement de la pente de 2 %.

3-2-3-2-2-2- Epreuve du Centre EPIC de Fegusse et Gauthier (1971)

L'épreuve est identique à la précédente, sauf pour les fortes pentes où l'accroissement de la charge est obtenue par une augmentation de la vitesse.

3-2-3-2-2-3- Epreuve de l'Université de Montréal (Léger, 1976)

L'épreuve est voisine de celle du Centre EPIC, mais ici la vitesse peut être augmentée plutôt. Elle permet d'évaluer les sujets pouvant atteindre une consommation maximale d'oxygène de $76 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

3-2-3-2-2-4- Epreuve de Mc Gill, University Montgomery (1981)

L'élévation de la pente est limitée à 10 %. Au-delà c'est la vitesse du tapis qui augmente.

3-2-3-2-3- Autres épreuves sur tapis roulant (Léger 1981)

3-2-3-2-3-1- Epreuve de course à vitesse constante

La vitesse choisie en fonction de l'état de forme du sujet varie entre 9,5 et 16 km/h et reste constante durant l'épreuve. L'accroissement de l'intensité de l'exercice est réalisé par une augmentation de la pente jusqu'à une valeur de 15 %.

3-2-3-2-3-2- Epreuve de course à pente constante

La pente est choisie de 5 à 10 % en fonction de l'état de forme du sujet et de la puissance de l'ergomètre. La vitesse est augmentée de 1 km/h par palier.

3-2-3-3- Autres épreuves sur bicyclette ergométrique

3-2-3-3-1- Epreuve de l'International Biological program (1969)

$\dot{V}O_2$ Max. est prédit initialement par une épreuve sous maximale. Puis, en fonction des résultats l'effort est prolongé à 70 % de $\dot{V}O_2$ Max. prédit avec une progression de 200 kpm/min par palier de 2 minutes.

(par définition 200 kpm/min = 347 Watts)

3-2-3-3-2- Epreuve de Hartung et Mc Miller (1978)

Cette épreuve s'adresse surtout au sujet bien entraîné. Après un échauffement de 3 minutes à 60 rpm, elle débute par un palier correspondant à une puissance de 140 Watts. La progression est ensuite rapide 40 Watts par palier de 3 minutes à 80 rpm, ce qui, selon le poids du sujet équivaut à une estimation de 6 à 8 ml.mn⁻¹.kg⁻¹ par palier.

3-2-3-3-3- Sjostrand test (1967) (Tableau XXVIII)

Ce test demande la réalisation de deux exercices consécutifs de 6 minutes sur une bicyclette ergométrique à un rythme de pédalage de 60 rpm. Les puissances développées sont pour le premier exercice de 450 kpm/mn et pour le second de 900 kpm/mn. On effectue une mesure de fréquence cardiaque et de $\dot{V}O_2$ à la fin de ces deux paliers.

Puis, par extrapolation des résultats, on estime $\dot{V}O_2$ Max. pour une fréquence de 170 bpm.

3-3- Epreuves maximales sur le terrain

L'incertitude sur la fréquence cardiaque maximale et sur l'évolution de la relation $fc-\dot{W}$, est remplacée ici par l'incertitude sur le caractère maximal des épreuves. D'une part, une motivation suffisante est indispensable, d'autre part, il n'est pas possible de faire la part exacte entre l'aérobiose et l'anaérobiose au cours de l'épreuve. Enfin ces épreuves ne sont pas sans risque chez les populations non sélectionnées. En effet ces tests n'ont plus rien à voir avec les relations $fc-\dot{V}O_2-\dot{W}$ (ou vitesse). Le critère ici est l'épuisement du sujet.

3-3-1- Epreuve de course de longue durée (Margaria et coll., 1975)

(Tableau XXVIII)

La performance lors d'une course de longue durée (1 500 m, 10 000 m) est liée à l'aptitude aérobie du sujet malgré le fait que la glycolyse anaérobie soit sollicitée dès que la vitesse de course dépasse 75 à 85 % de $\dot{V}O_2$ Max. Dans ces conditions l'énergie dégagée par la glycolyse anaérobie et celle dégagée en régime aérobie ayant approximativement le même effet mécanique, l'expérience montre la relation entre la distance, le temps et $\dot{V}O_2$ Max. selon l'expression suivante :

$$d = 5 (\dot{V}O_2 \text{ Max.} - 6) t + 5 \dot{V}O_2 \text{ Max.}$$

Cette expression donne ensuite lieu au Nomogramme (figure 11) dont l'utilisation est en pratique réservée aux athlètes confirmés.

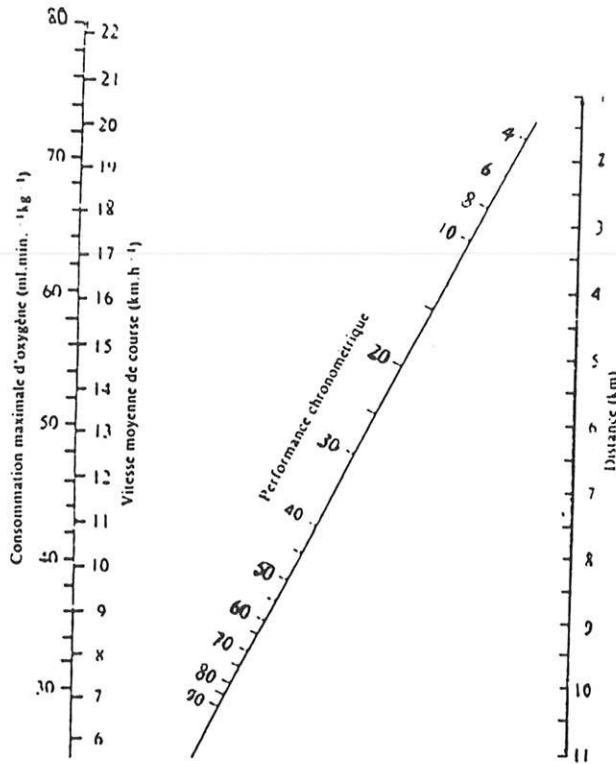


Figure 11 Nomogramme mettant en relation la puissance aérobie maximale ($\dot{V}O_2$ max) du sujet avec le temps minimum nécessaire pour parcourir une distance donnée d'après l'équation : $d = 5(\dot{V}O_2 \text{ max} - 6)t + 5\dot{V}O_2 \text{ max}$.
(D'après Margaria, 1976; figure reproduite avec l'aimable autorisation de l'auteur)

3-3-2- L'épreuve de course à pied en 12 minutes de Cooper (1968)

(Tableau XXVIII)

L'épreuve est plutôt recommandée aux personnes de moins de 35 ans ou pour celles qui ont un entraînement intensif. Sa simplicité a contribué

longtemps à son succès. Il s'agit de parcourir en courant ou en marchant la plus grande distance possible en 12 minutes (tableau IX).

L'hypothèse à l'origine du test est que 12 minutes sont considérées par l'auteur comme étant la durée maximum de maintien de la puissance aérobie maximale...

Pour l'auteur une relation existe entre $\dot{V}O_2 \text{ Max.}$ et la distance parcourue dans ces conditions :

$$\dot{V}O_2 \text{ Max.} = 0,022 d - 10,39$$

où $\dot{V}O_2 \text{ Max.}$ est donné en $\text{ml.min}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ et "d" en mètre parcourus pendant les 12 minutes de l'épreuve. Pour l'auteur le tableau VI donne une appréciation de la forme physique du sujet en fonction de l'âge, du sexe, de la distance parcourue.

Une autre corrélation entre distance parcourue en 12 minutes (d) et $\dot{V}O_2 \text{ Max.}$ mesuré directement en Laboratoire a été faite plus récemment à l'INSEP (Institut National Supérieur de l'Education Physique) chez des athlètes entraînés (BARRAULT, 1976) : toutes disciplines sportives confondues (demi fond, cyclisme, aviron, sprint, hand-ball, haltérophilie).

La régression observée donne alors une pente (liant $\dot{V}O_2 \text{ Max.}$ et distance parcourue) plus faible que celle donnée par Cooper :

$$\dot{V}O_2 \text{ Max.} = 0,011 d + 21,9$$

avec un coefficient de régression $r = 0,761$; $P < 0,01$.

$\dot{V}O_2$ Max. étant également donné en $ml \cdot min^{-1} \cdot kg^{-1}$ et "d" en mètre parcourus.

Tableau VI - Appréciation de la forme physique d'après les résultats de l'épreuve (Cooper)

FORME PHYSIQUE		AGE (en années)					
		13-19	20-29	30-39	40-49	50-59	plus de 60
I. Très mauvaise	(hommes)	< 2.100*	< 1.950	< 1.900	< 1.850	< 1.650	< 1.400
	(femmes)	< 1.600	< 1.550	< 1.500	< 1.400	< 1.350	< 1.250
II. Mauvaise	(hommes)	2.100 - 2.200	1.950 - 2.100	1.900 - 2.100	1.850 - 2	1.650 - 1.850	1.400 - 1.650
	(femmes)	1.600 - 1.900	1.550 - 1.800	1.500 - 1.700	1.400 - 1.600	1.350 - 1.500	1.250 - 1.400
III. Moyenne	(hommes)	2.200 - 2.500	2.100 - 2.400	2.100 - 2.350	2 - 2.250	1.850 - 2.100	1.650 - 1.950
	(femmes)	1.900 - 2.100	1.800 - 1.950	1.700 - 1.900	1.600 - 1.800	1.500 - 1.700	1.400 - 1.600
IV. Bonne	(hommes)	2.500 - 2.750	2.400 - 2.650	2.350 - 2.500	2.250 - 2.500	2.100 - 2.300	1.950 - 2.150
	(femmes)	2.100 - 2.300	1.950 - 2.150	1.900 - 2.100	1.800 - 2	1.700 - 1.900	1.600 - 1.750
V. Très bonne	(hommes)	2.750 - 3	2.650 - 2.850	2.500 - 2.700	2.500 - 2.650	2.300 - 2.550	2.150 - 2.500
	(femmes)	2.300 - 2.450	2.150 - 2.350	2.100 - 2.250	2 - 2.150	1.900 - 2.100	1.750 - 1.900
VI. Excellente	(hommes)	> 3	> 2.850	> 2.750	> 2.650	> 2.550	> 2.500
	(femmes)	> 2.450	> 2.350	> 2.250	> 2.150	> 2.100	> 1.900

Tableau VI Test de 12 minutes (marche ou course) — Distance (en km) parcourue en 12 min

3-3-3- Autre épreuve de course à pied de Cooper : l'épreuve de course sur 2 400 m.

Le principe de l'épreuve est identique à la précédente. Mais il s'agit ici de parcourir 2 400 m. dans le temps le plus court possible (tableau VII).

Tableau VII - Appréciation de la forme physique d'après les résultats de l'épreuve (Cooper)

FORME PHYSIQUE		AGE (en années)					
		13 19	20 29	30 39	40 49	50 59	plus de 60
I. Très mauvaise	(hommes)	> 15 : 31*	> 16 : 01	> 16 : 31	> 17 : 31	> 19 : 01	> 20 : 01
	(femmes)	> 18 : 31	> 19 : 01	> 19 : 31	> 20 : 01	> 20 : 31	> 21 : 01
II. Mauvaise	(hommes)	12 : 11 - 15 : 30	14 : 01 - 16 : 00	14 : 44 - 16 : 30	15 : 36 - 17 : 30	17 : 01 - 19 : 00	19 : 01 - 20 : 00
	(femmes)	16 : 55 - 18 : 30	18 : 31 - 19 : 00	19 : 01 - 19 : 30	19 : 31 - 20 : 00	20 : 01 - 20 : 30	21 : 00 - 21 : 31
III. Moyenne	(hommes)	10 : 49 - 12 : 10	12 : 01 - 14 : 00	12 : 31 - 14 : 45	13 : 01 - 15 : 35	14 : 31 - 17 : 00	16 : 16 - 19 : 00
	(femmes)	14 : 31 - 16 : 54	15 : 55 - 18 : 30	16 : 31 - 19 : 00	17 : 31 - 19 : 30	19 : 01 - 20 : 00	19 : 31 - 20 : 30
IV. Bonne	(hommes)	9 : 41 - 10 : 48	10 : 46 - 12 : 00	11 : 01 - 12 : 30	11 : 31 - 13 : 00	12 : 31 - 14 : 30	14 : 00 - 16 : 15
	(femmes)	12 : 30 - 14 : 30	13 : 31 - 15 : 54	14 : 31 - 16 : 30	15 : 56 - 17 : 30	16 : 31 - 19 : 00	17 : 31 - 19 : 30
V. Très bonne	(hommes)	8 : 37 - 9 : 40	9 : 45 - 10 : 45	10 : 00 - 11 : 00	10 : 30 - 11 : 30	11 : 00 - 12 : 30	11 : 15 - 13 : 59
	(femmes)	11 : 50 - 12 : 29	12 : 30 - 13 : 30	13 : 00 - 14 : 30	13 : 45 - 15 : 55	14 : 30 - 16 : 30	16 : 30 - 17 : 30
VI. Excellente	(hommes)	< 8 : 37	< 9 : 45	< 10 : 00	< 10 : 30	< 11 : 00	< 11 : 15
	(femmes)	< 11 : 50	< 12 : 30	< 13 : 00	< 13 : 45	< 14 : 30	< 16 : 30

Tableau VII Test de course sur 2 400 m — Temps (en mn)

3-3-4- Les tests maximums à intensité progressive

3-3-4-1- Le test progressif de l'Université de Montréal : test de Léger et Boucher (1981) (Tableau XXVIII)

L'épreuve consiste à courir à vitesse imposée et progressive sur une piste de 200 ou 400 mètres étalonnées tous les 50 mètres. La vitesse est réglée par des signaux sonores à intervalles réguliers entraînant des paliers de puissance de 2 minutes. Toutes les 2 minutes l'intervalle est réduit, ce qui entraîne un accroissement de la vitesse imposée.

Le tableau suivant donne $\dot{V}O_2$ Max. probable en fonction du dernier palier entièrement soutenu.

En 1983 Léger et Mercier donnent une prévision simplifiée de $\dot{V}O_2$ Max :

$$\dot{V}O_2 \text{ Max. (ml.min}^{-1}\text{.kg}^{-1}) = 3,5 v \text{ (km.h}^{-1}\text{)}$$

Tableau VIII

Palier Met.	$\dot{V}O_2$ * ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	Durée min	Vitesse		Temps fractionné sur 50 m (s)
			km.h ⁻¹	m.s ⁻¹	
5	17,5	2	6,00	1,67	30,000
7	24,5	4	7,10	1,97	25,350
9	31,5	6	7,16	1,99	25,140
10	35,0	8	8,48	2,36	21,226
11	38,5	10	9,76	2,71	18,442
12	42,0	12	11,00	3,06	16,364
13	45,5	14	12,21	3,39	14,742
14	49,0	16	13,39	3,72	13,443
15	52,5	18	14,54	4,04	12,380
16	56,0	20	15,66	4,35	11,494
17	59,5	22	16,75	4,65	10,746
18	63,0	24	17,83	4,95	10,095
19	66,5	26	18,88	5,24	9,534
20	70,0	28	19,91	5,53	9,041
21	73,5	30	20,91	5,81	8,608
22	77,0	32	21,91	6,09	8,215
23	80,5	34	22,88	6,36	7,853
* Validé pour les sujets âgés de 18 ans et plus					
Epreuve progressive sur piste (paliers de de 2 min)					
Léger - Boucher (1981)					

3-3-4-2- Epreuve de course navette de 20 minutes par paliers de 2 minutes

(Léger 1981)

La course navette est délimitée par deux lignes parallèles tracées à 20 mètres l'une de l'autre. Le sujet évalué doit effectuer des allers et retours en bloquant le pied derrière chacune de ces lignes, au test sonore pré-enregistré sur une bande magnétique.

Dans ce test, la vitesse est augmentée toute les 2 minutes (**tableau IX**). La même année Léger et Gadoury en 1981 proposent des paliers de 1 minute en vue de rendre l'épreuve plus supportable par des sujets éventuellement peu motivés (**tableau X**).

Il faut toutefois remarquer que ces deux épreuves ne prédisent que les $\dot{V}O_2$ Max. des sujets adultes.

3-3-4-3- Intérêts des tests progressifs

1 - Le sujet n'a pas à se soucier de sa vitesse de course. Elle lui est imposée.

2 - L'exercice qui peut être réalisé en groupe est en général psychologiquement bien supporté.

3 - Ce type d'épreuve permet de connaître la "vitesse maximale aérobie" (VMA) que l'on suppose être celle du dernier palier entièrement soutenu.

Exemple d'application : le test VMA de BRUE et col. (1988) où la vitesse de course à pied pour un groupe de coureurs est réglée par un cycliste qui pédale à un rythme imposé selon un mode progressif. Ce qui correspond en fait à la réalisation d'un test triangulaire sur le terrain.

Tableau IX

Paliers Mét.	$\dot{V}O_2$ max** ml kg min	Temps min	Vitesse		Temps Fractionné s/20 m*
			km/h	m/min	
7	24.5	2	7.51	125.1	9.693
9	31.5	4	8.70	145.0	8.276
10	35.0	6	9.30	155.0	7.744
11	38.5	8	9.90	164.9	7.276
12	42.0	10	10.49	174.9	6.862
13	45.5	12	11.09	184.8	6.492
14	49.0	14	11.69	194.8	6.160
15	52.5	16	12.29	204.8	5.860
16	56.0	18	12.88	214.7	5.589
17	59.5	20	13.48	224.7	5.341
18	63.0	22	14.08	234.6	5.114
19	66.5	24	14.68	244.6	4.906
20	70.0	26	15.27	254.6	4.714
21	73.5	28	15.87	264.5	4.537
22	77.0	30	16.47	274.5	4.372
23	80.5	32	17.07	284.4	4.219

* Précision minimale de 0.01 s nécessaire pour assurer l'exactitude du test.

** Basé sur $y = 5.857x - 19.458$; SEE = 5.4, $r = 0.84$ et $n = 91$ adultes, hommes et femmes ($y = \dot{V}O_2$ max, ml.min⁻¹.kg⁻¹ et $x =$ vitesse maximale sur tracé navette de 20 m, km/h).

Tableau IX Épreuve progressive de course navette de 20 m à paliers progressifs de 2 min (Léger, 1981)

Tableau X

Paliers min	$\dot{V}O_2$ * ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	Vitesse			Temps fractionné sur 20 m (s)
		km/h	m/min	m/s	
1	26.2	8.0	133.3	2.22	9.009
2	29.2	9.0	150.0	2.50	8.000
3	32.1	9.5	158.3	2.64	7.576
4	35	10.0	166.7	2.78	7.200
5	37.9	10.5	175.0	2.92	6.857
6	40.8	11.0	183.3	3.06	6.545
7	43.7	11.5	191.7	3.19	6.261
8	46.6	12.0	200.0	3.33	6.000
9	49.6	12.5	208.3	3.47	5.760
10	52.5	13.0	216.7	3.61	5.538
11	55.4	13.5	225.0	3.75	5.333
12	58.3	14.0	233.3	3.89	5.143
13	61.2	14.5	241.6	4.03	4.966
14	64.1	15.0	250.0	4.17	4.800
15	67.1	15.5	258.3	4.31	4.645
16	70.0	16.0	266.7	4.44	4.500
17	72.9	16.5	275.0	4.58	4.364
18	75.8	17.0	283.3	4.72	4.235
19	78.7	17.5	291.7	4.86	4.114
20	81.6	18.0	300.0	5.00	4.000
21	84.6	18.5	308.3	5.14	3.892

* validé pour les sujets âgés de 18 ans et plus.

Tableau X — Épreuve progressive de course navette de 20 m avec paliers de 1 minute (Léger, mai 1981)

4 - Protocole expérimental

4-1- L'objectif

481 mesures directes de $\dot{V}O_2$ Max. effectuées ces trois dernières années au Centre Régional de Médecine du Sport ont été analysées en vue d'observer les relations entre les valeurs sous-maximales et maximales de la fréquence cardiaque et de la consommation d'oxygène. L'objectif était ici double : en premier l'établissement d'une relation fréquence cardiaque maximale - âge en vue de comparer les caractéristiques de la population reçue au CRMS avec les données de la Littérature, en second lieu l'objectif était également, pour cette population, la recherche d'une expression simple de $\dot{V}O_2$ Max. indirect à partir de deux couples de mesures de fc et $\dot{V}O_2$ en régime sous-maximal.

4-2- Caractéristiques de la population de référence

Les caractéristiques principales de la population observée sont les suivantes :

4-2-1- Sexe

59 femmes et 422 hommes ont été explorés.

4-2-2- Âge

Les sujets ont été regroupés par tranches d'âges de 5 ans de 10 à 45 ans. Après 45 ans, le nombre de sujets étant réduit ceux-ci ne constituent qu'un seul groupe jusqu'à 68 ans (**figure 12**).

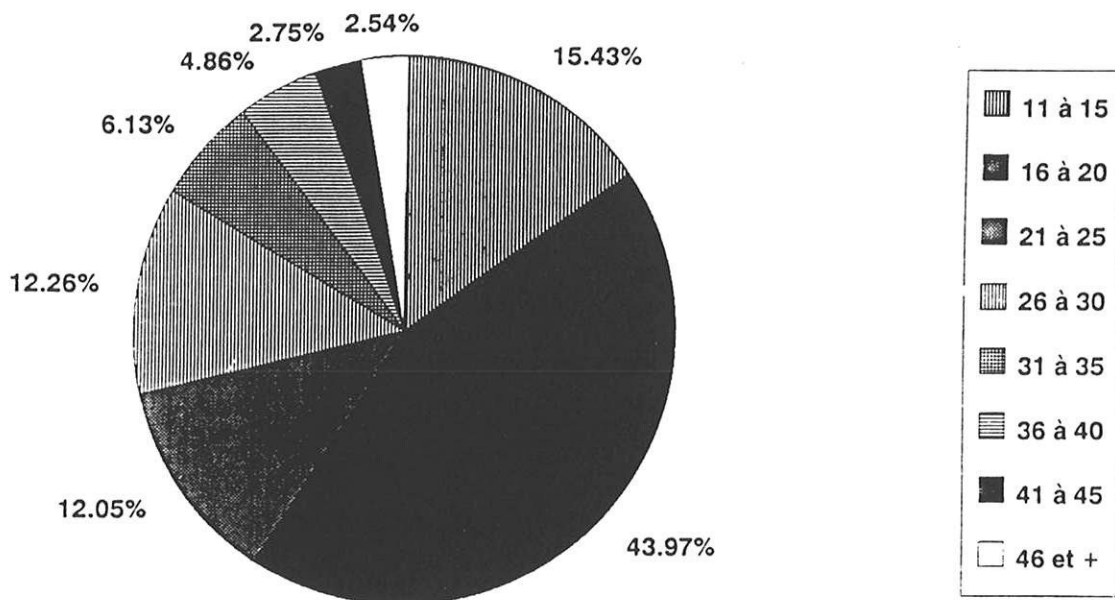


Figure 12 - Répartition en fonction des différentes tranches d'âge des sportifs prenant part au protocole.

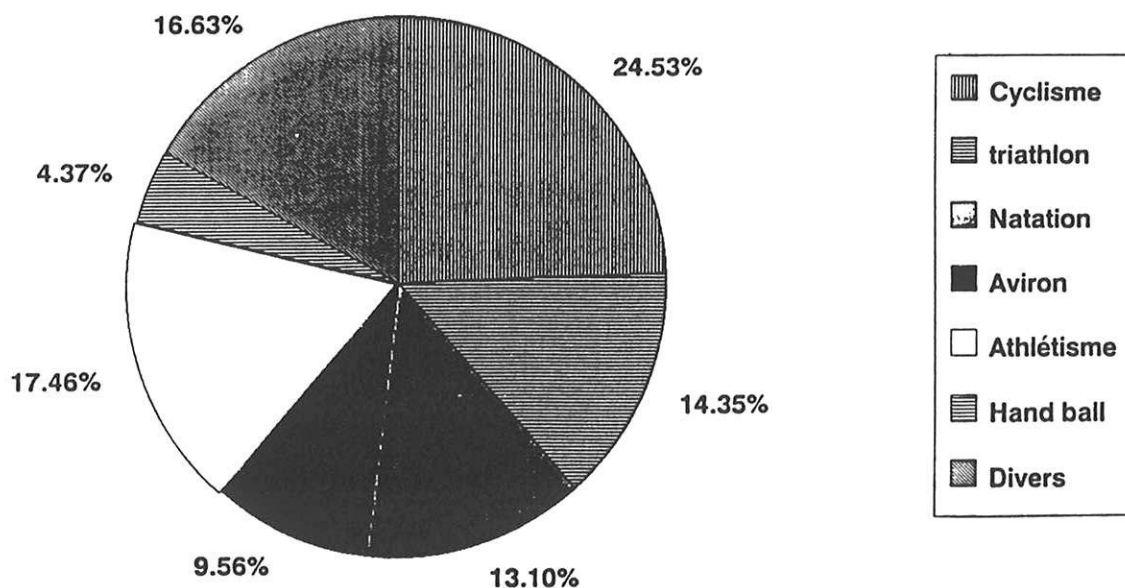
La pyramide des âges est constituée de la façon suivante :

10-15 ans	15,43 % de la population totale
16-20 ans	43,97 %
21-25 ans	12,05 %
26-30 ans	12,26 %
31-35 ans	6,13 %
36-40 ans	4,76 %
41-45 ans	2,75 %
46 ans et plus	2,54 %.

La plus grande partie de la population se situe entre 10 et 30 ans. Les plus jeunes sujets ont 11 ans, le sujet le plus âgé à 68 ans.

4-2-3 Les disciplines sportives représentées (figure 13)

Figure 13 - Répartition en fonction des disciplines pratiquées des sportifs prenant part au protocole.



Les différents sportifs testés appartiennent aux disciplines suivantes :

- cyclisme 24,53 % de la population totale
- triathlon 14,35 %
- natation 13,10 %
- aviron 9,56 %
- athlétisme 17,46 %
- hand ball 4,37 %
- divers 16,63 %.

Les sports collectifs (dans "divers") sont pratiquement inexistantes.

4-3- Les mesures effectuées

La consommation d'oxygène ($\dot{V}O_2$), la production de gaz carbonique ($\dot{V}CO_2$), le quotient respiratoire R ($R = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$) et la fréquence cardiaque ont été mesurés toutes les minutes entre la situation de repos et $\dot{V}O_2$ Max. En outre la lactatémie a été mesurée en fin de chaque palier de puissance jusqu'à $\dot{V}O_2$ Max. chez 40 p.100 des sujets selon la demande des disciplines sportives.

Toutes les épreuves d'effort ont été de formes triangulaires, la hauteur et la durée des différents paliers variant avec l'âge, l'aptitude physique des sujets, la discipline sportive et avec le fait que l'épreuve était accompagnée ou non d'une mesure de lactatémie. La **figure 14** montre la répartition des épreuves effectuées selon la durée des paliers de puissance. Celle-ci met en évidence que 94 p.100 des tests ont été réalisés avec des paliers de 2 ou 3 minutes.

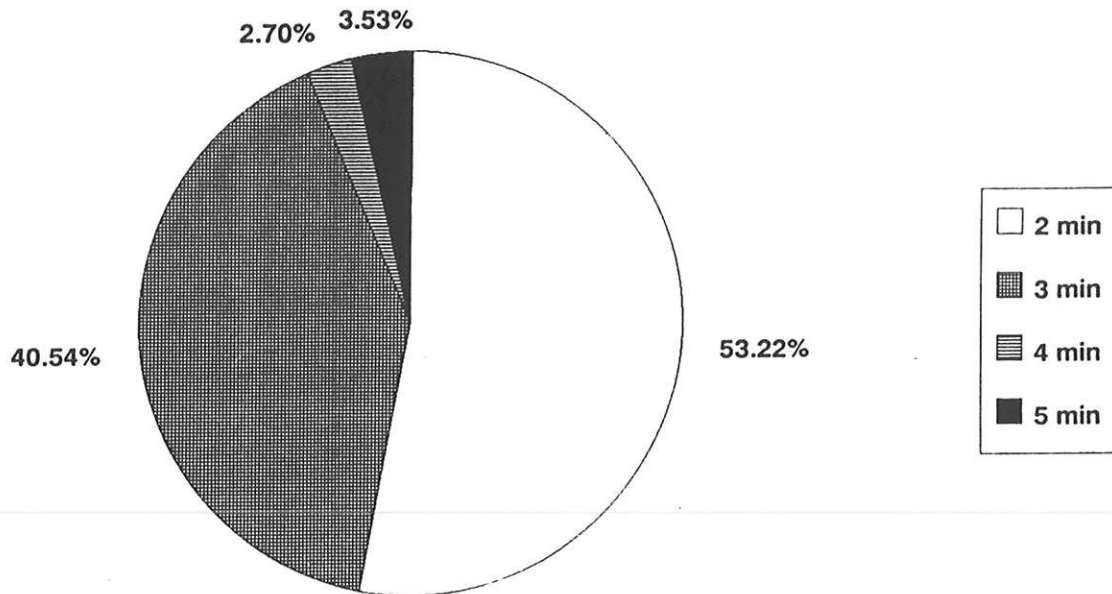


Figure 14 - Répartition des épreuves effectuées selon la durée des paliers de puissance.

4-3-1- Matériels utilisés

4-3-1-1- Les ergomètres

Trois types d'ergomètres ont été utilisés :

- le cycloergomètre dans 60 p.100 des cas,
- l'ergorameur dans 23 p.100 des cas,
- le tapis roulant dans 17 p.100 des cas.

- Le cycloergomètre est le cycloergomètre 930 "Siemens" tolérant une charge de 900 W.
- L'ergorameur : est le concept II Rowing Ergometer avec temoins de puissance et de fréquence de traction permettant le guidage de l'effort fourni.
- Le tapis roulant est le Lanfergotest Jaeger permettant une vitesse maximale de 29.9 km.h⁻¹ et une pente de 15 p.100.

4-3-1-1-1- Protocole de mesures selon l'ergomètre

Les protocoles de mesure selon l'ergomètre utilisé ont été les suivants :

1° - sur bicyclette ergométrique

Le 1er palier est de 60, 80 ou 100 W avec ensuite des paliers de 20, 30, 40, ou 50 W, selon les capacités physiques et sportives du sujet. Les épreuves avec lactatémie sont au minimum réalisées avec des échelons de 3 minutes.

2° - sur tapis roulant

Les épreuves commencent à 8 ou 10 km/h. Les paliers sont ensuite de 2 km/h, avec des échelons de 2 minutes pour la simple détermination de $\dot{V}O_2$ Max. Si la lactatémie est mesurée, les échelons sont de 3 à 4 minutes, avec interruption maximum d'une minute pour le prélèvement de sang.

3° - sur ergorameur

Les épreuves débutent à une puissance voisine de 80 ou 100 W, avec une moyenne de 30 tractions par minute. Ici les paliers sont de 40 ou 50 W :

- avec échelons de 2 minutes pour une mesure simple de $\dot{V}O_2$ Max. ;
- avec échelons de 3 minutes et interruption maximum d'une minute entre les paliers pour les épreuves avec mesure de la lactatémie.

4-3-1-2- Matériel de mesure des échanges gazeux respiratoires

Ce matériel est l'Oxycon IV (MIJNHARDT). Après étalonnage, il permet le recueil des diverses variables caractérisant les échanges gazeux respiratoires et plus particulièrement le débit ventilatoire (\dot{V}), la consommation d'oxygène en $l.min^{-1}$ et en $ml.min^{-1}.kg^{-1}$, de la même façon la production de CO_2 , et le quotient respiratoire $R = \dot{V}CO_2 / \dot{V}O_2$ qui est un indicateur précieux permettant le suivi de l'épreuve.

4-3-1-3- Mesure de la fréquence cardiaque

Celle-ci est assurée par l'utilisation d'un électrocardiographe Siemens Cardiostat 701. L'ECG est suivi en permanence sur Scope "Hellige".

4-3-1-4- Mesure de la lactatémie

La lactatémie est mesurée par micro méthode sur sang total prélevé par scarification de la pulpe d'un doigt, avant, pendant et après l'épreuve.

Les prélèvements sanguins sont effectués à l'aide d'un capillaire hépariné de 100 ul.

Le prélèvement est ensuite reçu dans un tube à essai contenant 0,5 ml d'acide perchlorique 0,6 N.

Le mélange est assuré par agitation électrique, centrifugé à 3 000 tours/mn, pendant 10 minutes, puis réfrigéré jusqu'à analyse dans les 24 heures qui suivent par la méthode enzymatique Hohorst et Noll.

4-3-2- Recueil des observations

Le recueil des différentes informations : $\dot{V}O_2$, fc, R... est effectué toutes les minutes, voire toutes les 30 secondes vers la fin de l'épreuve d'effort. Les prélèvements de sang sont éventuellement réalisés à la fin des différents paliers et en fin d'épreuve.

4-3- Les observations retenues

Les observations retenues l'ont été selon les critères suivants : outre le plafonnement de $\dot{V}O_2$, voire sa diminution avec l'accroissement de la charge, "fc" est au voisinage de FMT (220-âge selon Astrand), le quotient respiratoire $R > 1$ et la lactatémie, éventuellement mesurée est égale ou supérieure à 8 (chez le sujet jeune).

Compte tenu de ces conditions, 381 épreuves ont finalement été retenues sur les 481 observations constituant la population de référence.

4-4- Traitement des observations retenues

Les observations directes retenues : $\dot{V}O_2$ Max. et fc Max. chez 381 sujets entre 11 et 60 ans, ont été regroupées par tranches d'âge de 5 ans. La population étant particulièrement faible au-delà de 45 ans, à partir de cet âge les observations ont été représentées individuellement sans traitement statistique particulier.

Les grandeurs indirectes calculées fc Max. et $\dot{V}O_2$ Max. ont été confrontées avec leurs homologues, soit directement mesurées au cours des examens pris en référence, soit exprimées dans la littérature. fc Max. (directement observée) a donné lieu à la proposition d'une nouvelle relation en regard de l'âge des sujets.

$\dot{V}O_2$ Max. indirecte a été déterminé ensuite par application de la relation linéaire sous maximale $f_c - \dot{V}O_2$ en tenant compte de f_c Max. déterminée par la relation précédente.

Enfin un mode de calcul de $\dot{V}O_2$ Max. indirect a pu être proposé après confrontation entre les valeurs calculées et les valeurs individuelles directement observées.

5 - Résultats

Les tableaux XI à XVIII (voir Annexes) donnent l'ensemble des observations directement réalisées (âge, fc Max., $\dot{V}O_2$ Max., R, quotient respiratoire et lactatémie correspondant à $\dot{V}O_2$ Max.) chez les 381 sujets (femmes et hommes) retenus dans cette étude.

5-1- Justification des observations retenues

Comme le montre ces tableaux, les critères de validité des mesures de fc Max. et $\dot{V}O_2$ Max. directes sont outre l'observation de l'évolution de $\dot{V}O_2$ avec l'accroissement de la charge (stabilisation voir diminution). Les figures 15 et 16 donnent respectivement, le quotient respiratoire et la lactatémie en fonction de l'âge. Comme aucune évolution de R ou L en fonction de l'âge ne peut être observée, leurs valeurs moyennes pour les observations retenues sont les suivantes :

$$R = 1,09 \pm 0,05$$

$$r = 0,1273 ; n = 381 ; p > 0,20$$

$$L = 10,01 \pm 1,44 \text{ mmol.l}^{-1}$$

$$r = 0,0672 ; n = 140 ; p > 0,20$$

5-2- Etablissement de la relation fc Max. en fonction de l'âge à partir des observations retenues

La figure 17 montre cette relation :

$$Y = 195 - 0,46753 X \pm 8$$

avec $Y = \text{fc Max. théorique} \pm 8\text{bpm}$ et $X = \text{l'âge des sujets en années}$.

5-3- Expression de $\dot{V}O_2$ Max. directe en fonction de l'âge chez la population retenue

La figure 18 montre l'évolution et la dispersion des valeurs observées de $\dot{V}O_2$ Max. valeurs correspondantes chez les mêmes sujets à celles de fc Max. qui ont donné lieu à l'établissement de la relation précédente ($\text{fc Max.} = f(\text{âge})$).

L'évolution est conforme à celles observées dans la Littérature (ex. : Astrand 1973 regroupant des observations antérieures telle celles d'Astrand et Christensen 1964). $\dot{V}O_2$ Max., rapporté au poids corporel, augmente entre 10 et 20-25 ans, redescend légèrement ensuite avec l'avancée de l'âge pour diminuer enfin plus rapidement après 40 ans.

5-4- Recherche d'une expression donnant $\dot{V}O_2$ Max. indirecte en fonction de l'âge et de deux couples de mesures sous-maximales de fc et $\dot{V}O_2$ directes au cours d'un protocole d'effort triangulaire (figure 19, annexe I)

Dans un premier temps, au cours de cet essai, $\dot{V}O_2$ Max. indirecte est estimé à partir de la relation supposée linéaire de $\text{fc} = f(\dot{V}O_2)$ jusqu'à fc Max. La détermination de " $\dot{V}O_2$ FMT", correspondant théoriquement à " $\dot{V}O_2$ Max. indirect" est effectuée à l'aide de l'expression suivante :

$$\dot{V}O_2 \text{ FMT} = \dot{V}O_{2B} - \dot{V}O_{2A} \frac{\text{FMT} - \text{Fc}_A}{\text{fc}_B - \text{fc}_A} + \dot{V}O_{2A} \quad (1)$$

où l'indice A désigne les valeurs observées à la fin du 1er échelon et l'indice B, les valeurs correspondantes observées à la fin du 3ème échelon des épreuves d'effort triangulaires. Les tableaux XX à XXVII (voir Annexe II) donnent les valeurs individuelles de $\dot{V}O_2$ FMT calculées selon (1) ainsi que les différentes valeurs intermédiaires : fc , $\dot{V}O_2$ (indices A et B) et FMT déterminées à l'aide de la relation $\text{fc Max.} - \hat{\text{âge}}$ observée chez la population retenue (figure 17).

5-5- Expression de $\dot{V}O_2$ FMT en fonction de l'âge

La figure 20 donne les valeurs moyennes et leurs écart-types comme lors de l'expression $\dot{V}O_2$ Max. directe en fonction de l'âge (figure 18).

Première constatation faite au cours de la simple superposition visuelle des deux expressions de $\dot{V}O_2$ Max. directe et $\dot{V}O_2$ FMT en fonction de l'âge : $\dot{V}O_2$ FMT est plutôt inférieur chez les sujets ayant moins de 25 ans. Au-delà, la différence s'estompe avec coïncidence des deux grandeurs moyennes autour de 30-35 ans, et $\dot{V}O_2$ FMT devenant plutôt supérieur au-delà de cette tranche d'âge. Ce premier regard comparatif suggère l'idée suivante : la non-linéarité de la relation $\text{fc} - \dot{V}O_2$ au voisinage de $\dot{V}O_2$ Max. responsable présumée des écarts entre $\dot{V}O_2$

Max. directe et $\dot{V}O_2$ FMT (cf. figure 9) serait plutôt le fait des sujets jeunes jusqu'à 25-30 ans.

5-6- $\dot{V}O_2$ Max. direct en fonction de $\dot{V}O_2$ FMT

$\dot{V}O_2$ Max. direct et $\dot{V}O_2$ FMT sont ici considérés indépendamment de l'âge. $\dot{V}O_2$ Max. directe et $\dot{V}O_2$ FMT individuels correspondant sont exprimés en fonction l'un de l'autre (figure 21). La relation observée est la suivante :

$$Y = 30,32 + 0,4873 X \pm 7,62$$

$n = 381$; $r = 0,5750$; $P < 0,001$ avec $Y = \dot{V}O_2$ Max. direct et $X = \dot{V}O_2$ FMT (valeurs exprimées en $\text{ml.O}_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$).

Selon le principe de l'économie des hypothèses : ce choix de l'acceptation d'une représentation linéaire de la relation $\dot{V}O_2$ Max. direct - $\dot{V}O_2$ FMT, la relation précédente est utilisée pour ajuster au mieux une valeur prévisionnelle de $\dot{V}O_2$ Max. calculée à partir de $\dot{V}O_2$ FMT. Chaque valeur individuelle de $\dot{V}O_2$ FMT est ainsi "traitée" par la relation Y en X précédente : Y' correspondant alors à $\dot{V}O_2$ Max. calculé-ajusté et X' correspondant à $\dot{V}O_2$ FMT :

$$Y' = 30,32 + 0,4873 X'$$

**5-7- Précision de $\dot{V}O_2$ Max. en fonction de l'âge et de deux couples de mesures
fc- $\dot{V}O_2$ en régime sous-maximal**

L'expression suivante (2) permet cette prévision :

$$\dot{V}O_2 \text{ Max. calculé-ajusté} = 0,4873 \left(\dot{V}O_{2B} - \dot{V}O_{2A} \frac{\text{FMT} - \text{fc}_A}{\text{fc}_B - \text{fc}_A} + \dot{V}O_{2A} \right) + 30,32 \quad (2)$$

Dans cette expression de la forme $Y = a + b x$, x représente $\dot{V}O_2$ FMT (cf. l'expression (1) en 5-4) a et b représentant les éléments d'ajustement issus de la corrélation $\dot{V}O_2$ Max. direct - $\dot{V}O_2$ FMT (cf. en 5-6).

$\dot{V}O_2$ Max. calculé-ajusté représente alors la prévision de $\dot{V}O_2$ Max. pour la population reçue au CRMS de LIMOGES.

La figure 22 représente la corrélation entre les valeurs individuelles de $\dot{V}O_2$ Max. direct (observées) et cette nouvelle grandeur " $\dot{V}O_2$ Max. calculé-ajusté".

Figure 15 - Expression du quotient respiratoire de 381 sujets de l'étude en fonction des différentes tranches d'âge de 5 ans, de 10 à 45 ans et individuellement après 45 ans.

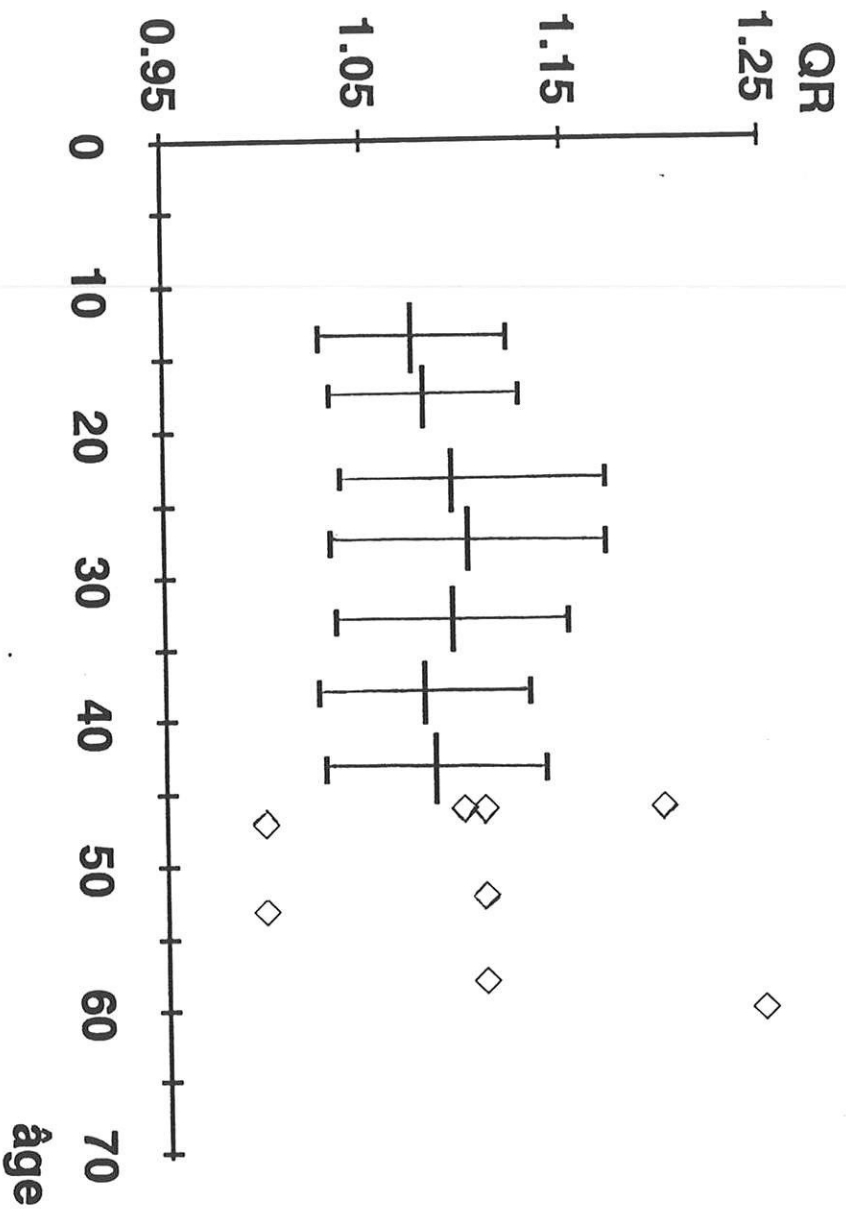


Figure 16 - Expression du taux de lactatémie (en mmol.l⁻¹) des 381 sujets de l'étude en fonction des différentes tranches d'âge de 5 ans, de 10 à 45 ans et individuellement après 45 ans.

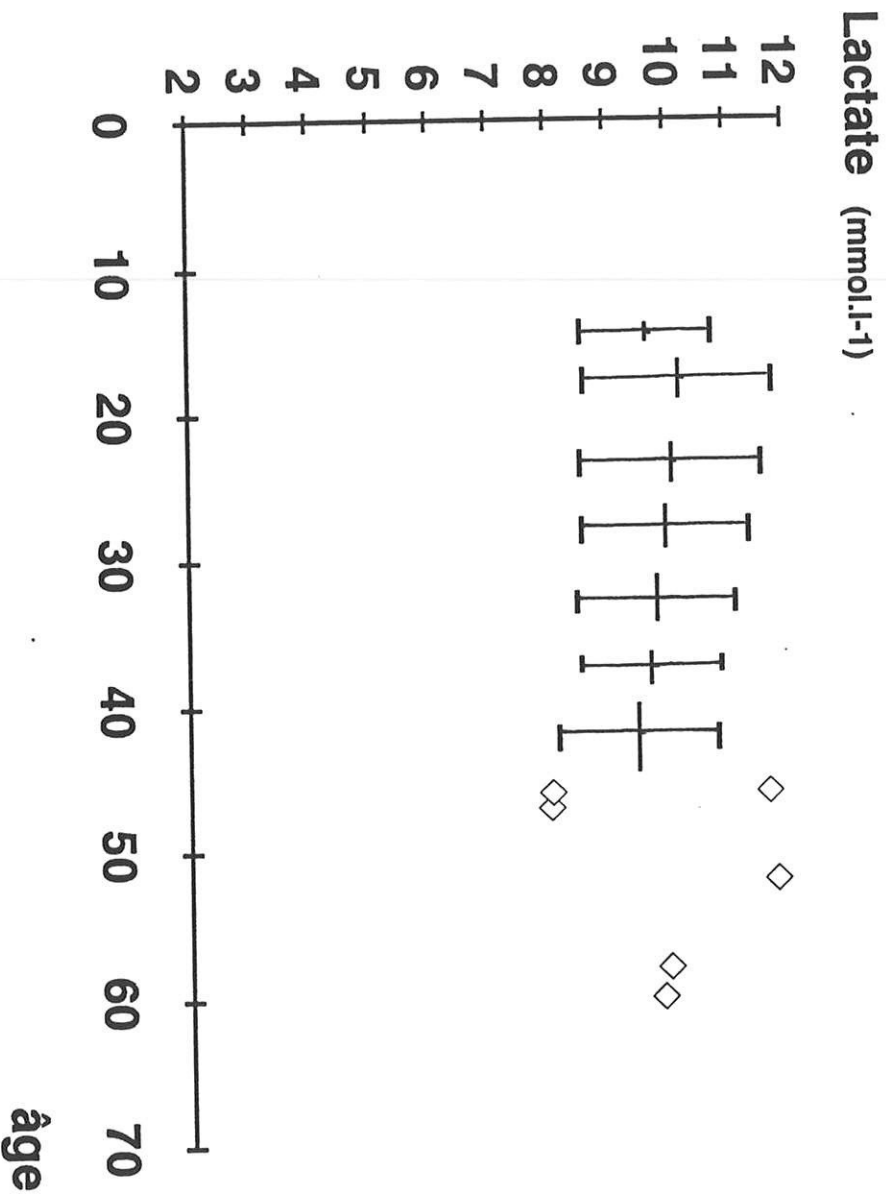


Figure 17 - Expression de la fréquence cardiaque maximale (fc Max.) des 381 sujets de l'étude en fonction des différentes tranches d'âge de 5 ans, de 10 à 45 ans et individuellement après 45 ans et la relation exprimant fc Max. en fonction de l'âge (Y = fc Max.)

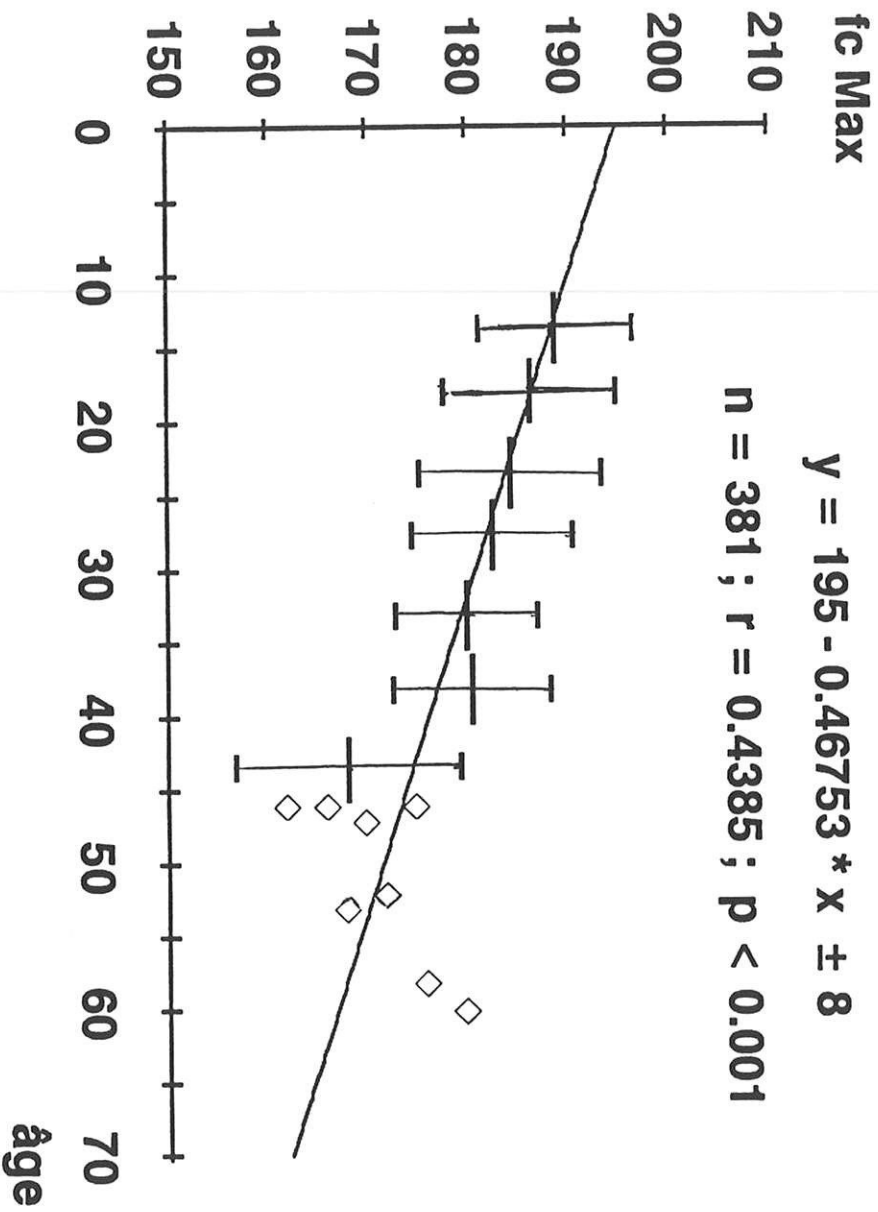


Figure 18 - Expression de $\dot{V}O_2 \text{ Max.}$ ($\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$) des 381 sujets de l'étude en fonction des différentes tranches d'âge de 5 ans, de 10 à 45 ans et individuellement après 45 ans.

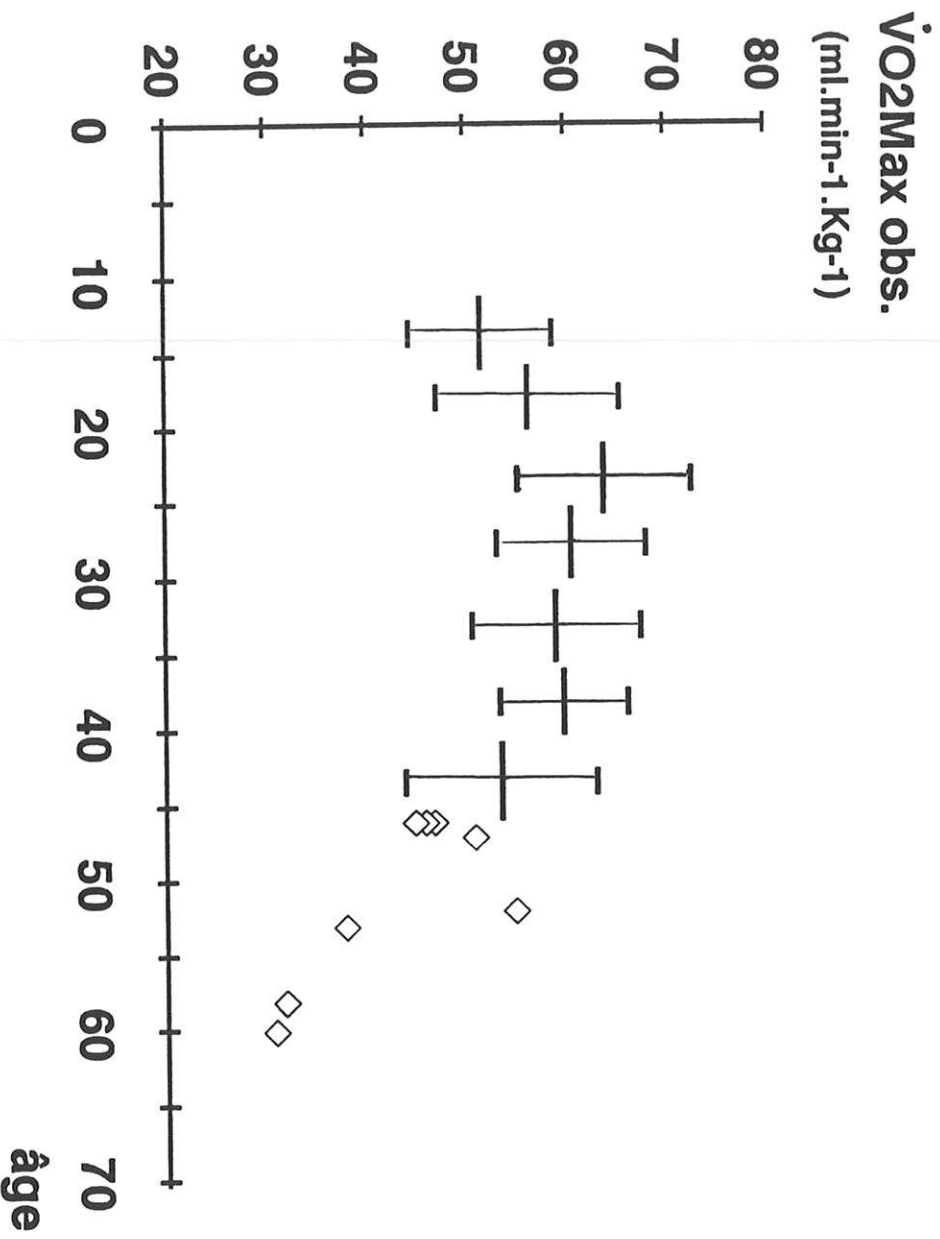


Figure 20 - Expression de $\dot{V}O_2$ FMT (ml.min⁻¹.kg⁻¹) des 381 sujets de l'étude en fonction des différentes tranches d'âge de 5 ans, de 10 à 45 ans et individuellement après 45 ans.

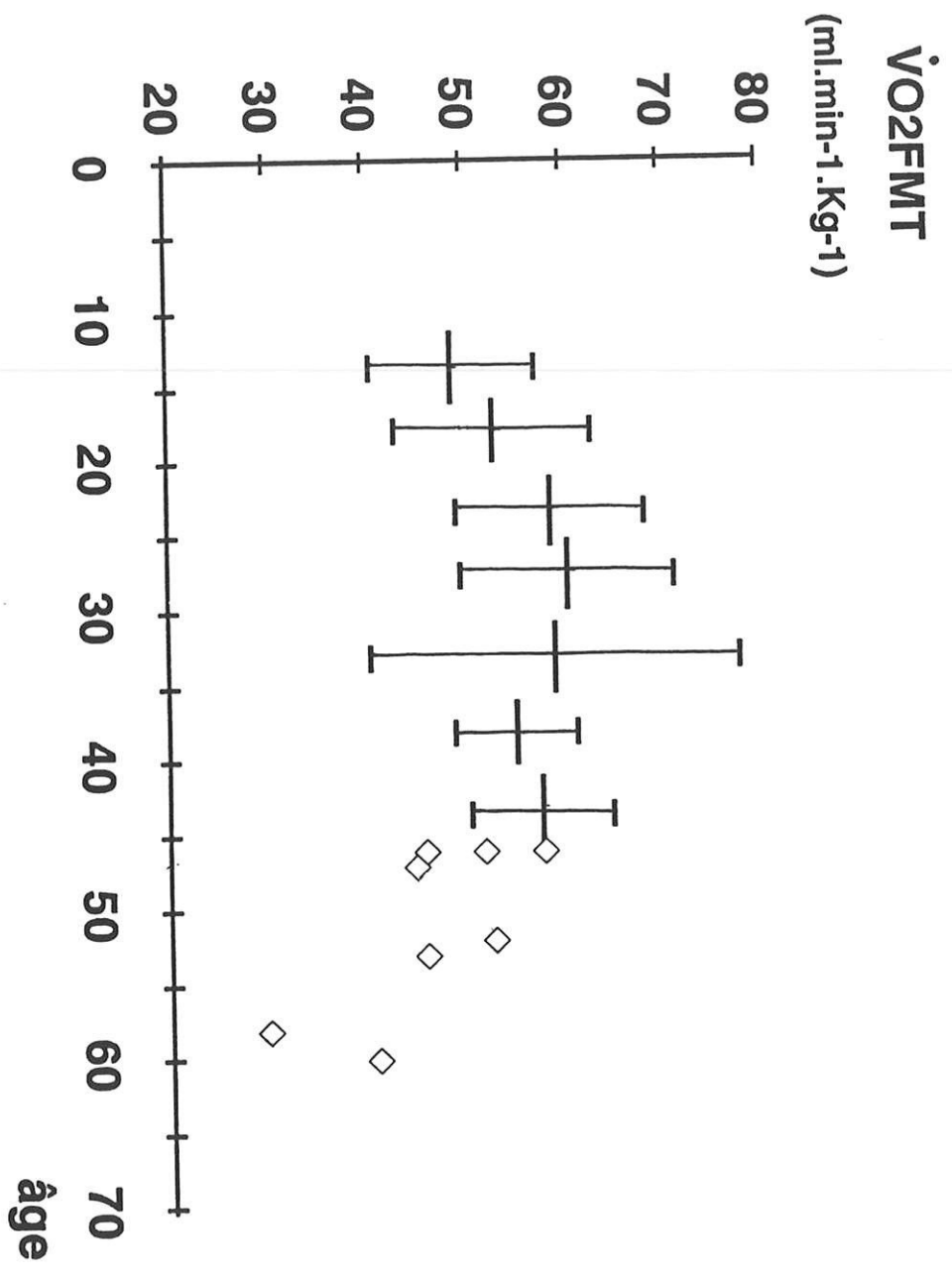
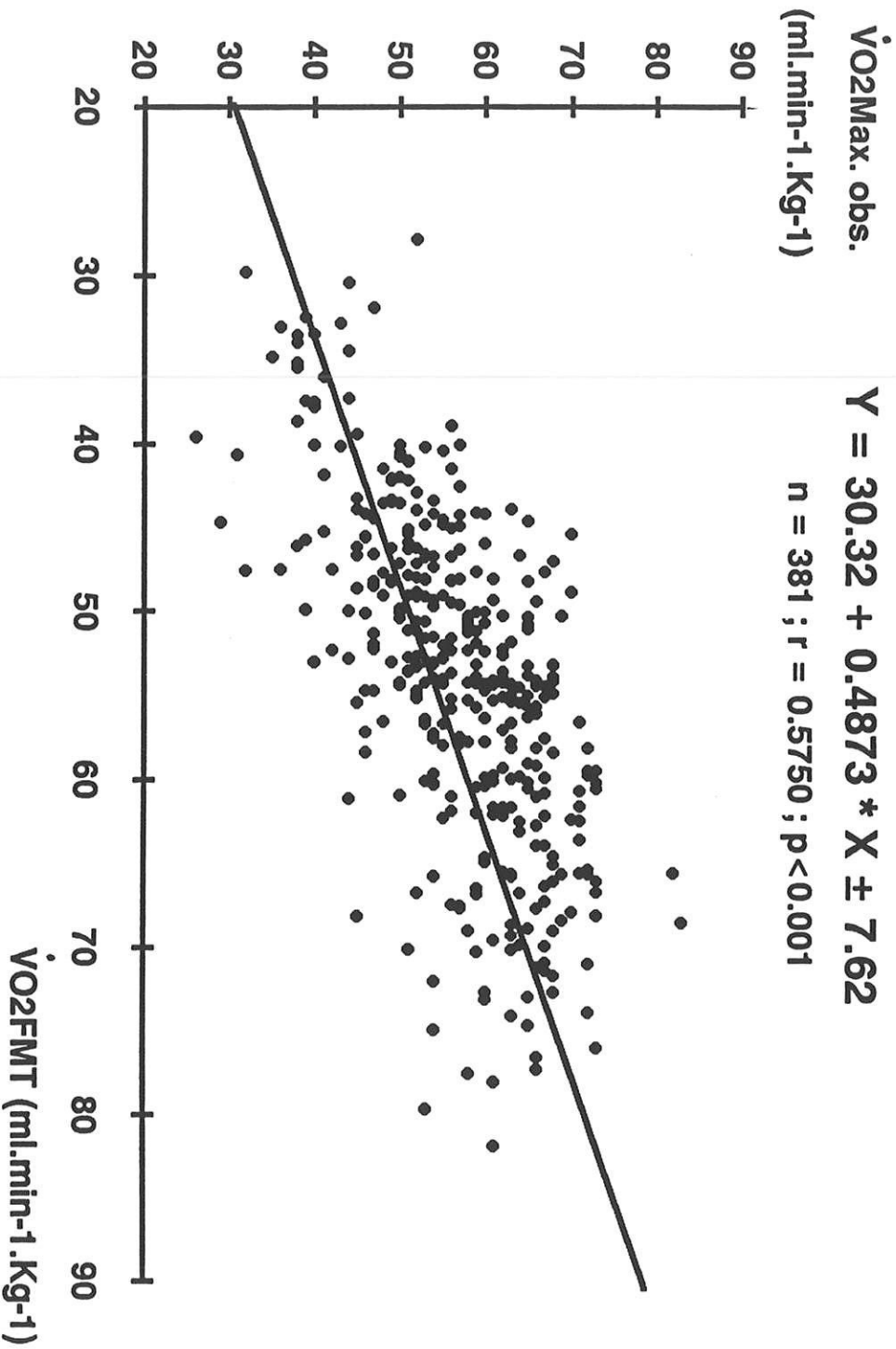
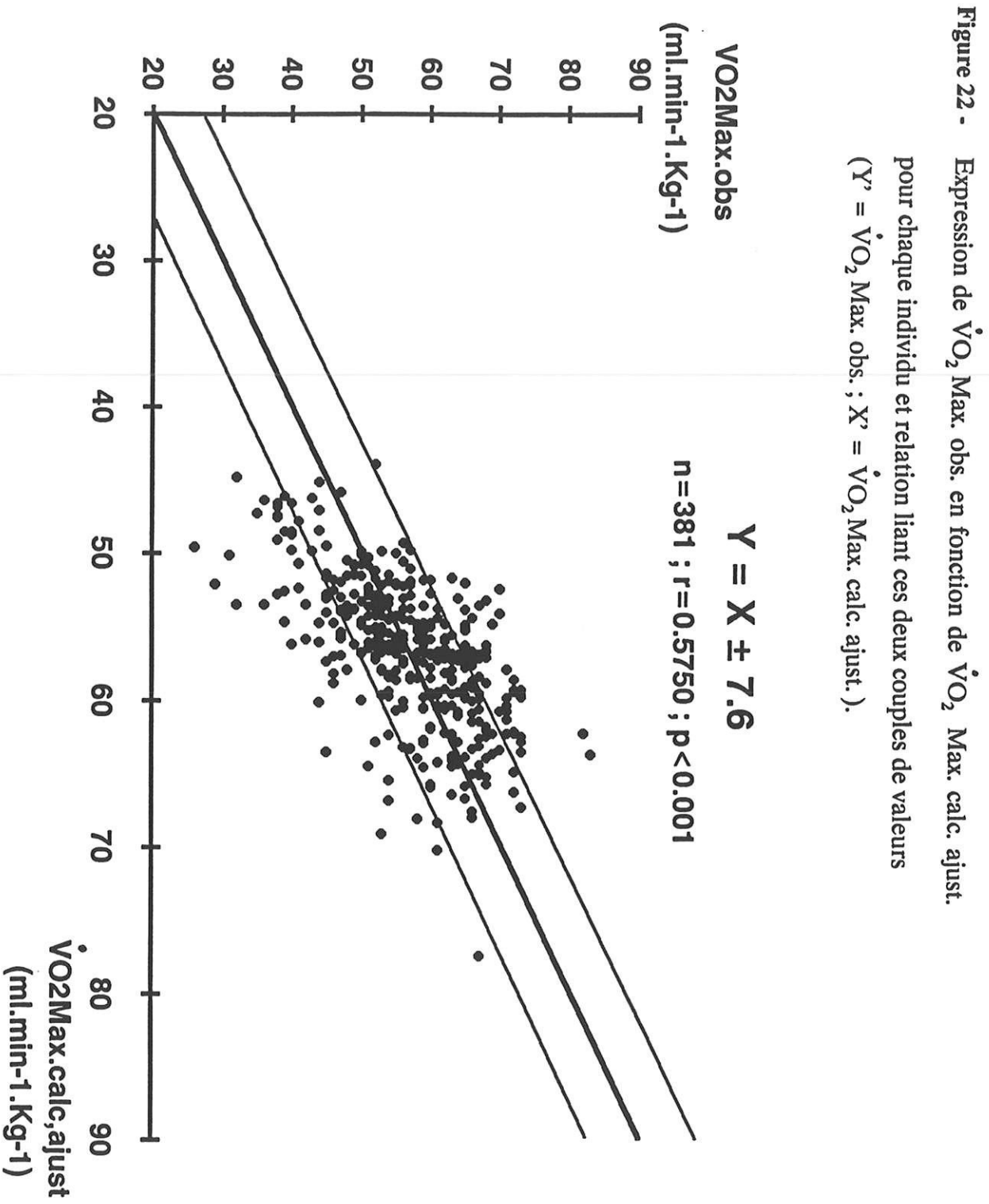


Figure 21 - Expression de $\dot{V}O_2$ Max. obs. en fonction de $\dot{V}O_2$ FMT pour chaque

individu et relation liant ces deux couples de valeurs

$$(Y = \dot{V}O_2 \text{ Max. obs. ; } X = \dot{V}O_2 \text{ FMT}).$$





6 - Discussion

L'objectif de ce travail était essentiellement l'observation de la fréquence cardiaque maximale (fc Max.) et de la consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ Max.) chez les différents sujets reçus au Centre Régional de Médecine du Sport (CRMS) de LIMOGES au cours des trois dernières années. Le bilan de ces deux caractéristiques fonctionnelles de la population observée a été effectué en tenant compte de l'âge et des critères de validité habituels de $\dot{V}O_2$ Max. (cf.5-6). Sur 481 observations, 381 ont été finalement retenues (37 concernant le sexe féminin, 344 le sexe masculin). Dès lors le traitement des couples de mesures retenus (fc Max., $\dot{V}O_2$ Max.) en regard de l'âge conduisit à l'établissement, dans un premier temps, d'une relation fc Max. - âge et, dans un deuxième temps, à la proposition d'une expression de $\dot{V}O_2$ Max. indirect à partir d'une épreuve triangulaire sous-maximale.

6-1- fc Max. en fonction de l'âge

Entre 10 et 60 ans fc Max. diminue de façon linéaire avec l'avancée de l'âge. Cette observation est conforme aux données de la Littérature (Astrand, 1966, Scheffield, 1970, Alabouvette, 1984). Les différences observées (figure 23) sont probablement dues au fait que les populations en référence sont elles mêmes très différentes. La fréquence cardiaque maximale moyenne observée dans ce travail serait "apparemment" légèrement inférieure à celles de Scheffield

(sujets masculins) et Alabouvette. Il n'est pas possible toutefois de retenir cette différence dans l'ignorance de la dispersion des observations individuelles autour des moyennes retenues chez ces auteurs. Différences plus significatives : celles observées entre la relation proposée dans ce travail et les relations issues des données recueillies chez Astrand et Scheffield (sujets féminins). Ici, dans le présent travail, FMT serait inférieure au cours des jeunes années et plutôt supérieure chez les sujets de plus de 45 ans, les valeurs de FMT étant par contre pratiquement les mêmes que celles proposées par ces deux auteurs au voisinage de 30-35 ans. Cet effet de balancier de la pente de la relation FMT-âge pourrait être ici en rapport avec l'entraînement suivi, plus important chez les sujets jeunes que chez ceux plutôt âgés reçus au CRMS. La quantité d'entraînement semble en effet influencer fc_{Max} : fc_{Max} étant d'autant plus basse pour l'âge considéré que l'entraînement suivi est plus important (Flandrois et Puccinelli, 1962). Autre argument justifiant cette différence de pente de la relation fc_{Max} -âge, le nombre d'observation nettement plus important de la population jeune au-dessous de 30-35 ans.

6-2- $\dot{V}O_2$ Max. direct et $\dot{V}O_2$ FMT

L'évolution en fonction de l'âge de $\dot{V}O_2$ Max. direct, exprimée en tenant compte du poids corporel, est conforme aux données de la Littérature (cf. Astrand, 1973) : $\dot{V}O_2$ Max. augmente jusqu'au voisinage de 20-25 ans pour redescendre ensuite modérément sous l'effet contraire de l'âge et de

l'entraînement particulièrement suivi jusque vers 30-35 ans. Au-delà, l'entraînement devenant plus aléatoire, la chute de $\dot{V}O_2$ Max. avec l'âge devient plus manifeste malgré la faiblesse relative de l'échantillonnage de la population.

L'évolution de $\dot{V}O_2$ FMT, calculée selon l'hypothèse d'une relation linéaire stricte entre fc et $\dot{V}O_2$, jusqu'à faire coïncider $\dot{V}O_2$ Max. et FMT, est globalement la même avec toutefois deux différences concernant les valeurs moyennes : chez les sujets jeunes, jusqu'au voisinage de 20-25 ans, les valeurs moyennes de $\dot{V}O_2$ FMT sont inférieures à celles correspondantes de $\dot{V}O_2$ Max. direct. L'inverse est observé au-delà de 35 ans.

Ces contestations ne sont probablement pas le fait du hasard, en particulier en ce qui concerne la population jeune. En premier lieu l'observation est cohérente avec les considérations précédentes sur fc Max. : fc Max. liée à l'entraînement serait d'autant plus bas pour la tranche d'âge considérée que l'entraînement serait plus important (Davis 1968) ; ce qui est le cas dans la présente population. En second lieu, selon la Littérature (cf; 2-4-2-3 Astrand, 1954) $\dot{V}O_2$ peut évoluer plus vite que fc au voisinage de $\dot{V}O_2$ Max., la signification de cette évolution différente de $\dot{V}O_2$ et fc étant alors une distribution optimale du débit cardiaque aux muscles qui travaillent lorsque la puissance d'exercice est proche de PMA. S'il en est ainsi, l'adaptation circulatoire périphérique, logiquement meilleure chez le sujet jeune, doit entraîner une augmentation de $\dot{V}O_2$ Max. que la relation linéaire stricte fc - $\dot{V}O_2$ ne saurait prévoir (Mc Ardle, Katch & Katch 1986).

6-3- $\dot{V}O_2$ Max. "calculé-ajusté"

Les différences observées entre $\dot{V}O_2$ Max. direct et $\dot{V}O_2$ FMT ont incité à comparer ces deux grandeurs indépendamment de l'âge (cf. 5-6 et 5-7). Cette comparaison aboutit finalement à la proposition d'une expression donnant $\dot{V}O_2$ Max. calculé "ajusté" en fonction de l'âge et de ces différences.

$$\dot{V}O_2 \text{ MAX} = 0.4873 * [(\dot{V}O_{2A} - \dot{V}O_{2B}) * \frac{((195 - 0.467 * \text{âge}) - FcA)}{FcA - FcB} - \dot{V}O_{2A}] + 30.32$$

$\dot{V}O_2$ Max est exprimé en ml $O_2 \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{Kg}^{-1}$

$\dot{V}O_{2A}$ et $\dot{V}O_{2B}$ sont de façon cohérents exprimés dans la même unité

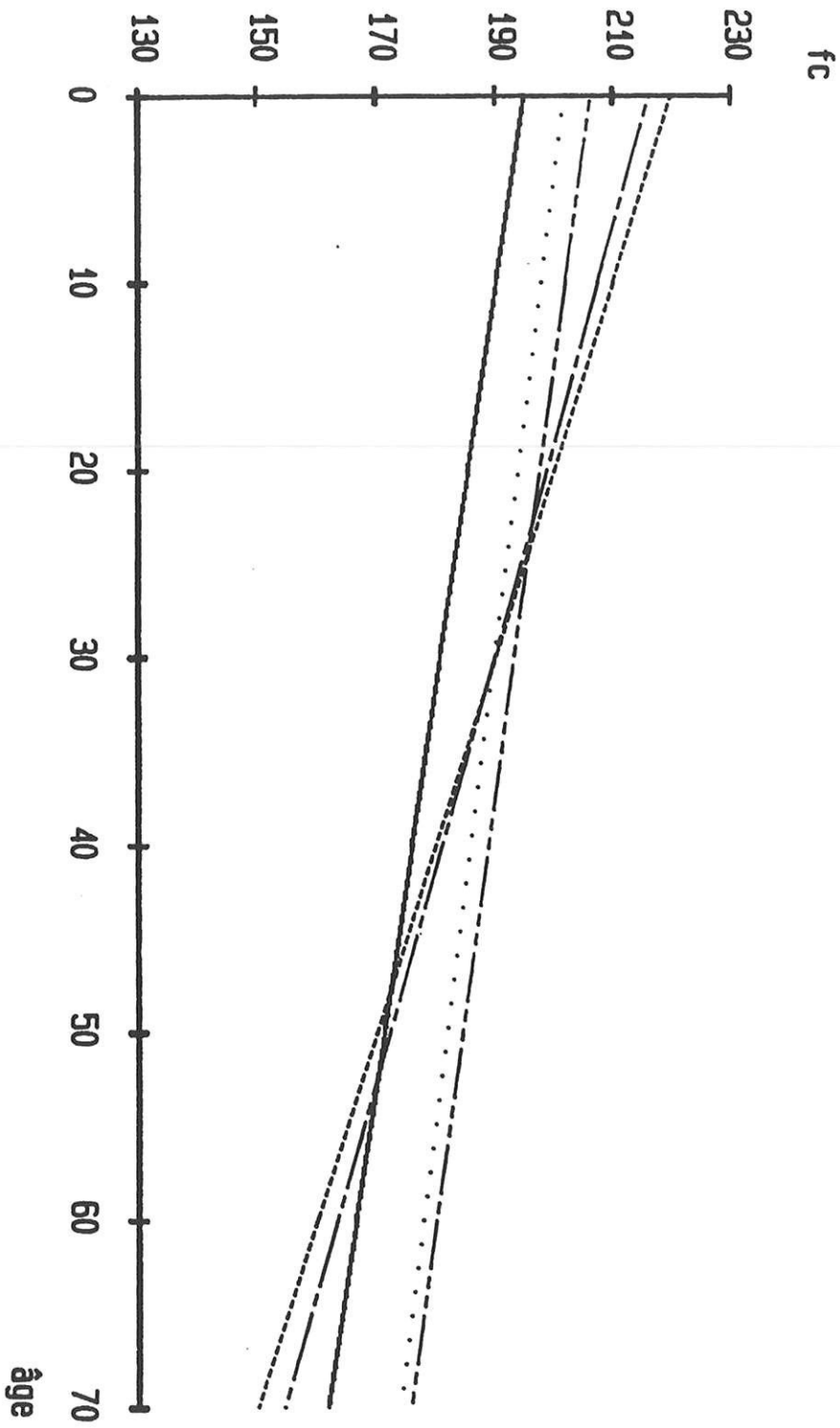
l'âge est exprimé en année et Fc est exprimée en bpm

$(195 - 0,467 \times \text{âge}) = \text{FMT}$ déterminée à partir de l'ensemble des observations (381 sujets)

La prévision et la précision individuelle de $\dot{V}O_2$ Max. "calculé ajusté" ($\dot{V}O_2$ Max. théorique pour la population étudiée) sont exprimées dans les figures 24 et 25. La prévision est donnée par l'expression "2" (cf. 5-7 et tableau XXVII). La précision est de l'ordre de $4,8 \text{ ml}O_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ pour la population étudiée chez qui $\dot{V}O_2$ Max. moyen avoisine $57 \text{ ml}O_2 \text{ min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

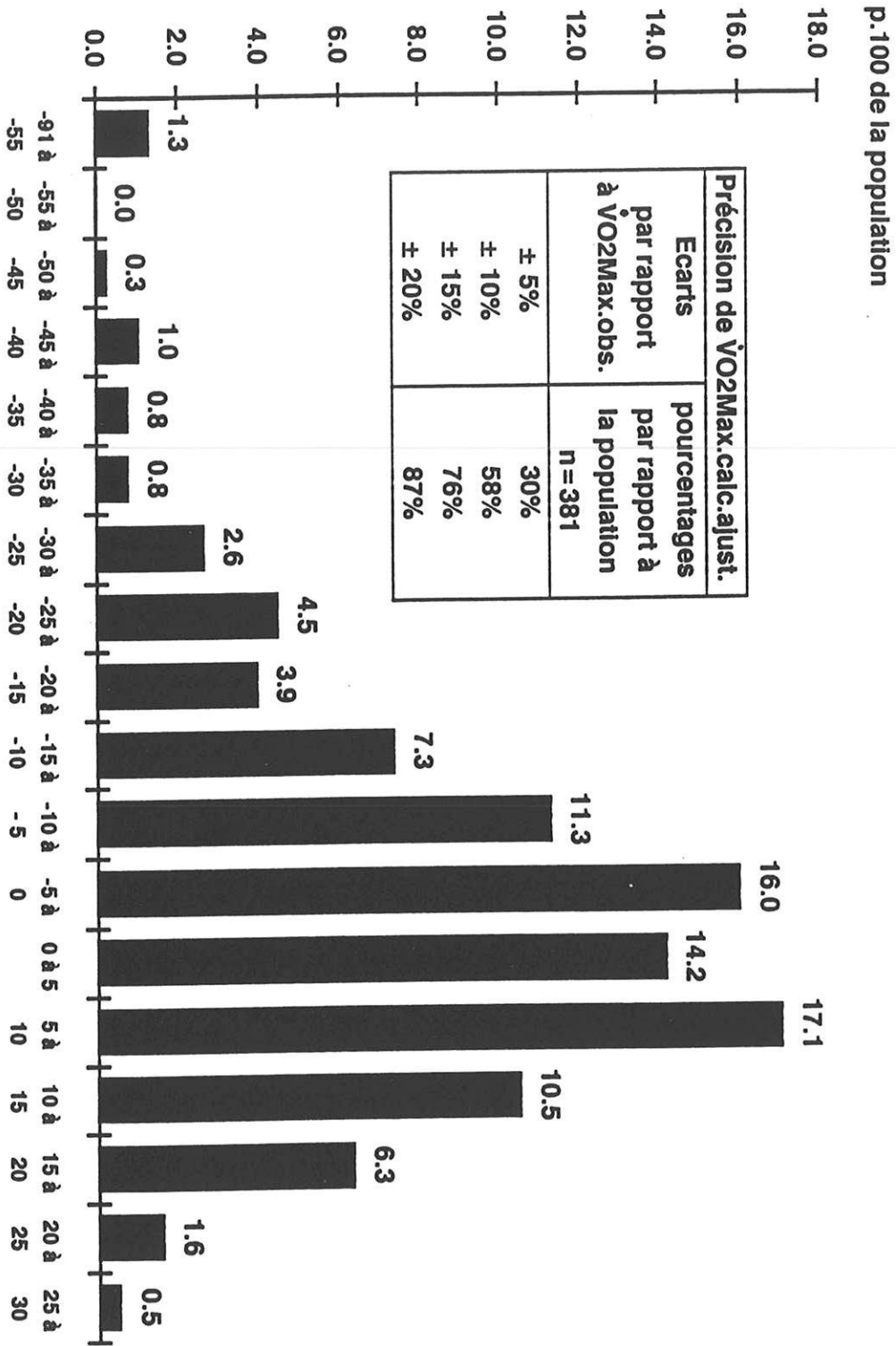
Le tableau XXVIII situe le présent mode de prévision de $\dot{V}O_2$ Max. par rapport aux données de la Littérature.

Figure 23 - Expression de la fréquence cardiaque maximale en fonction de l'âge selon différents auteurs.



··· Alabouvette
 - · - Scheffield (H)
 - - - Scheffield (F)
 - - - Astrand
 — Chassain

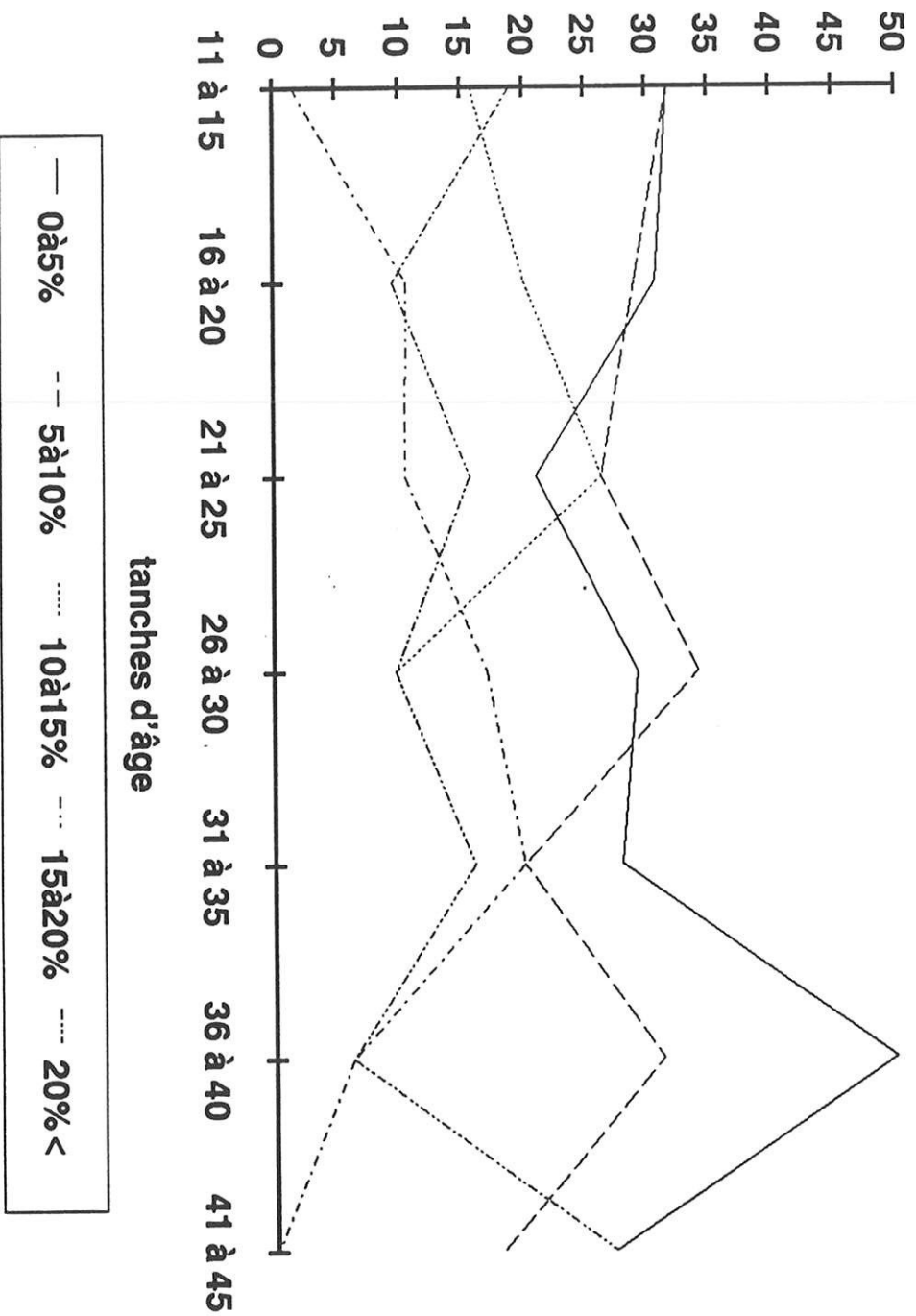
Figure 24 - Expression de la précision de $\dot{V}O_2$ Max. "calculé ajusté" individuelle par rapport à la mesure directe $\dot{V}O_2$ Max. "observé".



écarts en p.100 : 100

$\dot{V}O_2$ Max.obs. - $\dot{V}O_2$ Max.calc.ajust.

Figure 25 - Expression en pourcentage de la variation existant entre $\dot{V}O_2$ Max. "calculé ajusté" individuelle par rapport à la mesure directe $\dot{V}O_2$ Max. "observé" et ceci en regard de chaque tranche d'âge de 5 ans entre 10 et 45 ans.



Âge	10-15	15-20	20-25	25-30	30-35	35-40	40-45	Moyenne
Ecart type	4,1	4,9	4,6	5,2	9,1	3,0	3,5	4,9
Précision en p.100	7,5	8,7	7,7	8,6	15,3	5,2	5,9	8,4

Tableau XXVII.-Précision et écart-type de VO₂ Max. calculé ajusté par tranche d'âge
(précision moy. de 4,8 ml.mn⁻¹.kg⁻¹ pour notre population chez qui VO₂Max. avoisine 56,76 ml.mn⁻¹.kg⁻¹)

	Margarita	Sjostrand *	Harvard Step test *	Astrand *	Cooper	Léger	Chassain
Nombre de sujets	62	16	16	16		91	381
Âges	9 < < 47	20 < < 26	20 < < 26	20 < < 26			10 < < 60
Coefficient de corrélation		0,877	0,766	0,736	0,760	0,840	0,575
Ecart type ml.kg ⁻¹ .m ⁻¹		± 4,74	± 6,35	± 3,59	± 5,60	± 10,80	± 4,8
Erreur %	± 10 %	± 9,4 %	± 12,7 %	± 9,3 %			± 8,4 %

Tableau XXVIII - Révision de VO₂ Max. par rapport aux données de la littérature avec la précision et l'écart type pour chaque détermination.

* Estimation d'après Herbert et coll 1965.

7 - Conclusion

Le tableau XXIX peut être, en quelque sorte, considéré comme le résumé et la conclusion de ce travail. Résumé concernant le protocole suivi, la population observée, les grandeurs directement connues fréquence cardiaque maximale, $\dot{V}O_2$ Max. directement mesuré chez chaque individu et critères de validités retenues : quotient respiratoire, lactatémie en fin de mesure... ; conclusion également, en ce qui concerne la démarche conduisant successivement à $\dot{V}O_2$ FMT et $\dot{V}O_2$ calculé "ajusté", représentant en somme $\dot{V}O_2$ Max. indirect (ou théorique) de la population observée. Conclusion donc de cette démarche en fonction de l'âge des sujets avec l'ordre de grandeur des erreurs inévitables en rapport ici avec la méthode d'estimation sous-maximale mixte ; mixte parce que comportant au moins deux mesures directes de $\dot{V}O_2$ couplées à fc à la fin des 1er et 3ème échelons de puissance au cours d'une épreuve d'effort de forme triangulaire. Conclusion enfin en ce qui concerne la validité générale de deux relations habituellement bien acceptées par la communauté scientifique et particulièrement par celles des cardiologues dans leur appréciation des épreuves dites maximales de "nature" cardiologique :

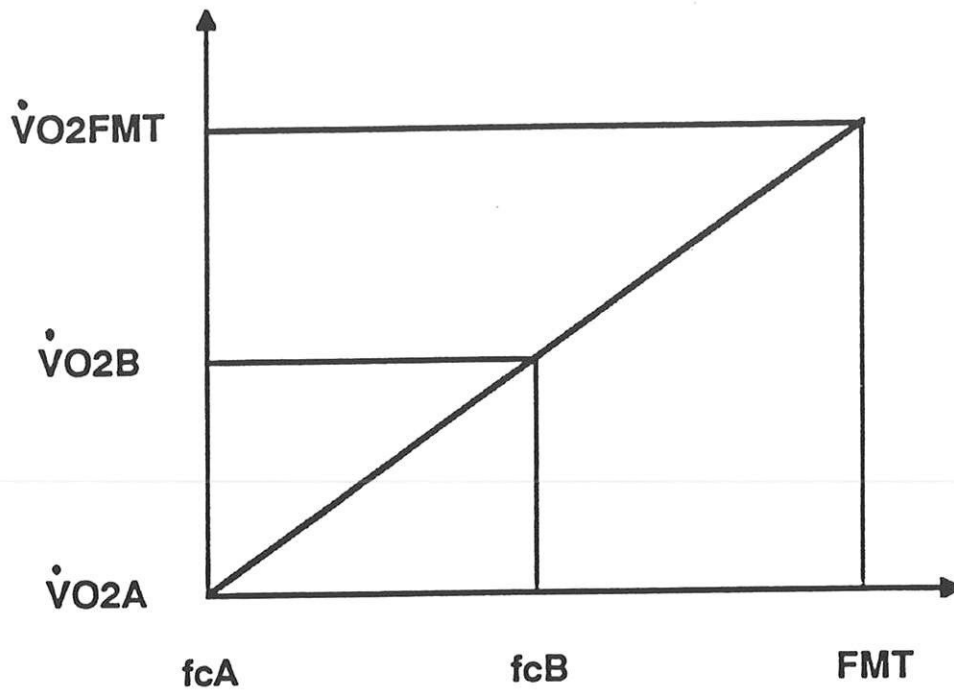
- la 1ère relation, celle de fc Max. en fonction de l'âge, qui n'est pas nécessairement celle d'Astrand surtout chez le sujet âgé chez qui justement l'exploration de type cardiologique est la plus fréquente ;

- la 2ème relation celle concernant fc et $\dot{V}O_2$ en progression linéaire jusqu'à FMT et $\dot{V}O_2$ Max. Celle-ci qui sans aucun doute subit des exceptions et cela très probablement et particulièrement chez le sujet jeune et entraîné, ce qui rend relativement aléatoire toute estimation de $\dot{V}O_2$ Max. basée sur le principe général de linéarité entre fc et $\dot{V}O_2$.

Tableau XXIX

Tranche d'âge (ans)		10 - 15	15 - 20	20 - 25	25 - 30	30 - 35	35 - 40	40 - 45
n1		63	179	38	41	25	16	11
Age	Moyenne	13.55	17.58	23.21	27.46	32.88	38	43.36
	Ecart type	1.42	1.2	1.42	1.55	1.51	1.37	1.69
fc	Moyenne	189	186	185	183	180	181	168
	Ecart type	8	8	10	8	7	8	11
R	Moyenne	1.08	1.08	1.09	1.10	1.09	1.08	1.09
	Ecart type	0.05	0.05	0.06	0.07	0.06	0.05	0.06
VO2Max observée	Moyenne	5,2	5,6	6,4	6,1	5,9	6,0	5,4
	Ecart type	0,7	0,9	0,9	0,7	0,8	0,6	1,0
VO2Max FMT	Moyenne	4,9	5,3	5,9	6,1	5,9	5,5	5,8
	Ecart type	0,8	1,0	1,0	1,1	1,9	0,6	0,7
VO2Max calc, ajustée	Moyenne	5,4	5,6	5,9	6,0	5,9	5,7	5,9
	Ecart type	0,4	0,5	0,5	0,5	0,9	0,3	0,4
n2		140	53	17	27	16	8	3
Age	Moyenne	14.60	17.64	23.41	27.74	32.69	37.38	42.33
	Ecart type	0.51	1.19	1.37	1.43	1.49	1.19	2.31
Lactate	Moyenne	9.68	10.21	10.08	9.98	9.82	9.73	9.50
	Ecart type	1.09	1.59	1.52	1.40	1.32	1.16	1.34

ANNEXE I

Figure 19 : DETERMINATION DE $\dot{V}O_{2FMT}$ 

$$\frac{fc_B - fc_A}{FMT - fc_A} = \frac{\dot{V}O_{2B} - \dot{V}O_{2A}}{\dot{V}O_{2FMT} - \dot{V}O_{2A}}$$

$$(\dot{V}O_{2FMT} - \dot{V}O_{2A}) * \frac{(fc_B - fc_A)}{(FMT - fc_A)} = (\dot{V}O_{2B} - \dot{V}O_{2A})$$

$$(\dot{V}O_{2FMT} - \dot{V}O_{2A}) = \frac{(FMT - fc_A)}{(fc_B - fc_A)} * (\dot{V}O_{2B} - \dot{V}O_{2A})$$

$$\dot{V}O_{2FMT} = (\dot{V}O_{2B} - \dot{V}O_{2A}) * \frac{(FMT - fc_A)}{(fc_B - fc_A)} + \dot{V}O_{2A}$$

ANNEXE II

Tableau XI

Pg 1 N°	âge	fc Max Obs	$\dot{V}O_2$ Max ml.min-1.Kg-1	R	Lactate mmol.l-1
1	11	188	44	1.02	
2	11	188	55	1.07	
3	11	196	56	1.05	
4	11	176	55	1.01	
5	11	192	39	1.07	
6	11	198	51	1.04	
7	12	184	45	1.10	
8	12	188	52	1.15	
9	12	184	49	1.06	
10	12	186	50	1.13	
11	12	195	53	1.11	
12	12	190	55	1.14	
13	12	194	52	1.14	
14	12	194	46	1.07	
15	12	198	53	1.05	
16	12	199	65	1.02	
17	12	200	54	1.05	
18	13	192	52	1.03	
19	13	193	52	1.03	
20	13	186	61	1.09	
21	13	190	56	1.02	
22	13	192	40	1.04	
23	13	192	47	1.09	
24	13	186	45	1.11	
25	13	168	63	1.06	
26	13	182	38	1.01	
27	13	196	40	1.11	
28	14	200	53	1.13	
29	14	200	58	1.14	
30	14	200	59	1.10	10.28
31	14	195	59	1.10	
32	14	178	53	1.12	
33	14	190	54	1.02	8.35
34	14	196	49	1.01	
35	14	178	56	1.04	8.50
36	14	192	38	1.01	8.90
37	14	182	52	1.04	
38	14	184	62	1.09	
39	14	182	46	1.11	
40	15	194	44	1.17	
41	15	180	60	1.09	
42	15	190	61	1.12	
43	15	182	59	1.04	10.38
44	15	180	64	1.09	10.24
45	15	180	60	1.06	
46	15	196	47	1.08	
47	15	182	45	1.00	
48	15	178	56	1.03	
49	15	180	36	1.13	
50	15	192	43	1.02	

Tableau XII

Pg 2 N°	âge	fc Max Obs	VO ₂ Max ml.min-1.Kg-1	R	Lactate mmol.l-1
51	15	190	55	1.04	
52	15	188	40	1.17	
53	15	195	57	1.19	
54	15	198	48	1.06	
55	15	202	59	1.06	11.70
56	15	188	42	1.03	
57	15	168	59	1.03	
58	15	188	47	1.11	8.50
59	15	190	57	1.04	
60	15	192	55	1.06	9.70
61	15	188	49	1.14	10.25
62	15	194	53	1.12	
63	15	188	50	1.09	
64	16	182	57	1.02	
65	16	185	44	1.01	
66	16	192	49	1.07	
67	16	170	32	1.03	
68	16	180	61	1.07	
69	16	184	65	1.12	
70	16	198	40	1.05	
71	16	196	59	1.15	
72	16	190	52	1.11	
73	16	185	50	1.11	
74	16	196	52	1.06	
75	16	195	65	1.04	
76	16	198	68	1.07	8.90
77	16	194	68	1.07	
78	16	194	68	1.07	
79	16	196	51	1.00	
80	16	188	59	1.17	11.01
81	16	192	63	1.17	10.98
82	16	190	55	1.09	9.50
83	16	190	51	1.15	
84	16	202	50	1.00	
85	16	180	45	1.03	
86	16	182	46	1.06	
87	16	186	38	1.06	
88	16	180	41	1.13	
89	16	182	35	1.02	
90	16	190	53	1.05	10.35
91	16	195	61	1.06	9.05
92	16	169	59	1.00	8.33
93	16	180	39	1.06	10.30
94	16	164	62	1.08	10.90
95	16	182	55	1.20	11.50
96	16	180	55	1.11	9.00
97	16	160	26	1.04	
98	16	188	52	1.08	
99	16	174	52	1.16	
100	16	200	56	1.12	

Tableau XIII

Pg 3 N°	âge	fc Max Obs	VO ₂ Max ml.min ⁻¹ .Kg ⁻¹	R	Lactate mmol.l ⁻¹
101	16	198	54	1.06	
102	16	190	45	1.22	
103	17	173	51	1.09	
104	17	172	47	1.14	
105	17	190	38	1.11	
106	17	190	52	1.11	
107	17	185	41	1.11	
108	17	176	48	1.10	
109	17	186	53	1.07	
110	17	200	56	1.05	9.78
111	17	185	61	1.03	10.27
112	17	194	68	1.05	11.03
113	17	180	59	1.07	10.28
114	17	188	63	1.07	9.18
115	17	202	56	1.09	
116	17	190	68	1.09	9.34
117	17	198	65	1.02	
118	17	184	58	1.08	
119	17	185	61	1.01	
120	17	186	59	1.02	
121	17	194	61	1.12	
122	17	180	65	1.05	
123	17	198	49	1.14	
124	17	196	49	1.00	
125	17	193	51	1.04	
126	17	190	45	1.15	
127	17	185	58	1.04	
128	17	198	73	1.07	
129	17	172	67	1.04	
130	17	178	61	1.02	
131	17	196	59	1.05	
132	17	172	58	1.13	
133	17	190	53	1.07	
134	17	186	50	1.08	
135	17	174	52	1.06	
136	17	174	40	1.05	
137	17	170	38	1.12	
138	17	170	39	1.02	
139	17	194	44	1.16	
140	17	180	64	1.09	
141	17	195	62	1.07	
142	17	200	50	1.09	9.50
143	17	190	60	1.14	14.30
144	17	179	63	1.05	15.28
145	17	180	63	1.07	
146	17	192	63	1.03	8.80
147	17	184	67	1.12	10.00
148	17	190	50	1.03	
149	17	190	52	1.12	
150	17	186	55	1.08	10.45

Tableau XIV

Pg 4 N°	âge	fc Max Obs	VO ₂ Max ml.min-1.Kg-1	R	Lactate mmol.l-1
151	17	196	55	1.02	8.85
152	17	180	51	1.03	
153	17	184	57	1.06	9.58
154	18	192	66	1.09	9.53
155	18	196	63	1.10	8.80
156	18	176	57	1.06	
157	18	184	49	1.17	
158	18	188	52	1.11	
159	18	196	63	1.09	
160	18	194	48	1.17	
161	18	185	52	1.16	
162	18	200	60	1.17	
163	18	196	58	1.10	
164	18	185	56	1.01	
165	18	188	71	1.09	9.95
166	18	172	54	1.00	
167	18	185	60	1.10	
168	18	180	64	1.05	
169	18	188	68	1.08	
170	18	185	60	1.02	
171	18	181	46	1.09	
172	18	186	59	1.04	
173	18	188	62	1.04	
174	18	198	61	1.05	
175	18	188	73	1.12	
176	18	183	62	1.08	
177	18	198	67	1.08	
178	18	183	54	1.12	
179	18	188	54	1.15	
180	18	182	56	1.10	
181	18	178	36	1.04	
182	18	190	50	1.09	
183	18	186	53	1.07	
184	18	180	52	1.08	
185	18	192	71	1.09	
186	18	188	65	1.04	8.10
187	18	190	73	1.08	8.28
188	18	191	53	1.08	8.40
189	18	192	69	1.12	9.80
190	18	192	73	1.00	10.03
191	18	184	66	1.06	10.90
192	18	200	56	1.17	13.10
193	18	190	52	1.07	10.50
194	18	168	47	1.11	
195	18	182	47	1.07	
196	18	190	48	1.04	
197	18	189	57	1.07	
198	18	188	60	1.04	
199	18	185	46	1.10	
200	18	186	55	1.02	9.16

Tableau XV

Pg 5 N°	âge	fc Max Obs	VO ₂ Max ml.min-1.Kg-1	R	Lactate mmol.l-1
201	18	188	54	1.06	11.40
202	18	194	63	1.10	8.65
203	18	195	66	1.05	
204	19	190	55	1.05	
205	19	180	51	1.06	
206	19	190	60	1.19	14.31
207	19	185	56	1.14	12.33
208	19	180	64	1.04	12.88
209	19	182	68	1.04	10.94
210	19	186	58	1.09	
211	19	188	67	1.09	
212	19	175	68	1.08	
213	19	185	66	1.09	
214	19	185	47	1.06	
215	19	185	65	1.05	10.20
216	19	188	65	1.17	9.64
217	19	184	66	1.07	9.32
218	19	186	64	1.05	
219	19	188	72	1.07	
220	19	172	42	1.00	
221	19	165	50	1.10	
222	19	188	72	1.07	8.70
223	19	186	54	1.06	10.88
224	19	190	50	1.09	10.00
225	19	190	50	1.17	
226	19	220	60	1.20	
227	19	172	62	1.08	
228	19	184	53	1.15	11.40
229	20	194	52	1.17	
230	20	185	47	1.11	
231	20	178	66	1.01	10.17
232	20	188	73	1.09	8.00
233	20	192	62	1.11	
234	20	184	66	1.13	
235	20	190	51	1.16	
236	20	196	61	1.07	
237	20	188	63	1.14	
238	20	172	54	1.06	
239	20	185	65	1.00	10.30
240	20	186	43	1.07	
241	20	170	56	1.01	
242	20	180	72	1.09	
243	21	176	64	1.01	
244	21	190	66	1.02	
245	21	192	67	1.18	10.80
246	21	176	54	1.12	
247	22	182	68	1.01	
248	22	180	61	1.07	
249	22	194	83	1.17	11.18
250	22	200	82	1.20	8.97

Tableau XVI

Pg 6	âge	fc Max	$\dot{V}O_2$ Max	R	Lactate
N°		Obs	ml.min-1.Kg-1		mmol.l-1
251	22	190	71	1.14	9.17
252	22	190	57	1.14	14.35
253	22	190	50	1.13	9.30
254	22	188	51	1.12	
255	22	186	51	1.05	
256	22	166	51	1.09	
257	22	186	60	1.08	
258	23	182	72	1.08	
259	23	203	67	1.04	10.13
260	23	172	67	1.07	
261	23	183	73	1.12	
262	23	158	62	1.00	
263	23	182	66	1.11	9.90
264	23	198	70	1.05	
265	24	186	71	1.10	8.39
266	24	178	68	1.05	9.89
267	24	182	63	1.16	
268	24	189	69	1.12	8.70
269	24	174	58	1.02	8.97
270	25	176	63	1.08	
271	25	184	54	1.22	
272	25	183	65	1.13	12.25
273	25	180	45	1.16	
274	25	192	70	1.05	9.45
275	25	190	68	1.03	
276	25	192	70	1.05	9.45
277	25	184	66	1.09	9.00
278	25	180	72	1.15	
279	25	181	51	1.11	11.40
280	25	196	64	1.07	
281	26	188	63	1.09	
282	26	194	71	1.02	9.60
283	26	180	53	1.09	
284	26	186	52	1.16	
285	26	190	55	1.22	
286	26	184	59	1.11	11.53
287	26	184	56	1.15	9.80
288	26	180	58	1.00	
289	26	170	61	1.04	8.65
290	26	190	48	1.14	
291	26	180	57	1.00	11.45
292	26	190	49	1.20	12.50
293	27	186	65	1.14	
294	27	200	69	1.05	8.40
295	27	195	72	1.07	10.54
296	27	184	66	1.16	10.14
297	27	184	73	1.07	11.18
298	27	184	63	1.16	10.15
299	27	178	63	1.09	8.25
300	27	165	57	1.11	11.70

Tableau XVII

Pg 7	âge	fc Max	$\dot{V}O_2$ Max	R	Lactate
N°		Obs	ml.min-1.Kg-1		mmol.l-1
301	27	180	63	1.03	8.04
302	28	190	70	1.06	
303	28	178	58	1.02	
304	28	176	60	1.03	8.28
305	28	190	56	1.03	10.80
306	28	170	65	1.16	
307	28	188	53	1.09	9.20
308	28	180	53	1.26	9.72
309	28	190	71	1.06	8.60
310	28	174	39	1.06	
311	29	192	59	1.16	
312	29	188	68	1.09	9.57
313	29	174	65	1.09	
314	29	178	67	1.14	
315	29	186	65	1.10	12.00
316	29	163	54	1.12	9.93
317	30	176	60	1.31	11.76
318	30	186	65	1.11	9.79
319	30	178	67	1.14	11.76
320	30	176	53	1.04	8.05
321	30	184	66	1.03	8.04
322	31	184	58	1.08	11.55
323	31	190	67	1.06	9.86
324	31	179	66	1.08	
325	31	162	53	1.19	
326	31	184	66	1.05	8.18
327	31	168	41	1.08	8.32
328	32	180	70	1.06	8.27
329	32	174	54	1.03	8.70
330	32	174	44	1.17	
331	32	170	60	1.12	9.93
332	32	174	54	1.02	8.69
333	32	178	72	1.03	11.00
334	33	188	67	1.13	10.13
335	33	178	62	1.11	
336	33	184	63	1.10	10.01
337	34	188	54	1.06	
338	34	186	62	1.13	9.90
339	34	186	63	1.03	
340	34	185	65	1.13	10.55
341	34	173	53	1.15	
342	35	182	62	1.20	11.57
343	35	180	56	1.00	
344	35	190	67	1.04	8.23
345	35	182	41	1.20	
346	35	182	58	1.11	12.20
347	36	184	54	1.09	8.50
348	36	196	63	1.09	8.96
349	36	196	68	1.18	11.36
350	37	184	67	1.06	

Tableau XVIII

Pg 8 N°	âge	fc Max Obs	$\dot{V}O_2$ Max ml.min-1.Kg-1	R	Lactate mmol.l-1
351	37	176	44	1.04	
352	38	168	60	1.01	8.99
353	38	170	52	1.05	
354	38	174	61	1.13	9.50
355	38	177	58	1.14	
356	38	188	57	1.08	9.37
357	38	182	57	1.01	9.43
358	39	176	62	1.15	
359	39	180	58	1.11	11.70
360	40	180	66	1.02	
361	40	178	64	1.10	
362	40	180	67	1.02	
363	41	156	54	1.15	
364	41	154	59	1.18	10.94
365	41	172	60	1.08	9.25
366	43	176	54	1.04	
367	43	168	46	1.04	
368	44	180	65	1.06	
369	44	180	51	1.14	
370	45	180	59	1.08	
371	45	164	55	1.12	8.30
372	45	148	29	1.00	
373	45	172	57	1.05	
374	46	175	47	1.10	8.06
375	46	166	46	1.20	11.71
376	46	162	45	1.11	
377	47	170	51	1.00	8.03
378	52	172	55	1.11	11.83
379	53	168	38	1.00	
380	58	176	32	1.11	10.00
381	60	180	31	1.25	9.90

Tableaux XI à XVIII - Ensemble des observations directement réalisées âge, fc Max., $\dot{V}O_2$ Max., R (quotient respiratoire), L (lactatémie) des 381 sujets du CRMS de LIMOGES pris en compte par l'étude.

N°	âge ans	Poids kg	Palier min.	H/F	FMT APC	Echelon 1		Echelon 3		VO2FMT	
						fc A	VO2 A	fc B	VO2 B	l.min-1	ml/min/kg
1	11	50	2	H	190	112	0.70	150	1.58	2.50	50
2	11	30	2	H	190	113	0.76	155	1.23	1.62	54
3	11	36	2	H	190	127	0.85	158	1.26	1.68	47
4	11	28	2	F	190	104	0.53	134	0.86	1.47	53
5	11	30	2	F	190	125	0.59	153	0.82	1.12	37
6	11	33	2	H	190	125	0.73	158	1.12	1.50	45
7	12	32	2	H	189	131	0.60	172	1.15	1.38	43
8	12	41	2	H	189	116	0.89	180	2.07	2.24	55
9	12	42	2	F	189	139	1.22	164	1.72	2.23	53
10	12	43.6	2	F	189	150	1.36	181	2.02	2.20	50
11	12	45.5	2	F	189	135	1.38	171	2.10	2.47	54
12	12	47	2	F	189	139	1.53	167	2.06	2.48	53
13	12	37.3	2	H	189	116	0.76	156	1.24	1.64	44
14	12	39.2	2	H	189	121	0.85	151	1.26	1.78	46
15	12	39	2	H	189	103	0.65	133	1.11	1.97	51
16	12	39	2	H	189	100	0.68	129	1.14	2.10	54
17	12	34	2	H	189	122	0.72	147	1.08	1.69	50
18	13	50.7	2	H	189	119	0.92	150	1.61	2.48	49
19	13	35	2	H	189	113	0.68	156	1.23	1.65	47
20	13	53	2	H	189	119	1.41	143	1.80	2.55	48
21	13	49	2	H	189	114	1.02	146	1.62	2.42	49
22	13	39.8	2	H	189	117	0.81	138	1.19	2.11	53
23	13	63	2	H	189	114	1.06	134	1.56	2.93	47
24	13	43	2	F	189	133	0.89	170	1.55	1.89	44
25	13	52	2	H	189	119	1.74	159	2.36	2.82	54
26	13	59	2	H	189	130	0.92	168	1.62	2.00	34
27	13	33	2	H	189	139	0.64	171	1.03	1.25	38
28	14	68	2	H	188	148	2.03	181	2.86	3.05	45
29	14	64.8	2	H	188	159	2.14	186	3.18	3.27	51
30	14	54	4	H	188	139	1.66	177	2.36	2.57	48
31	14	50.5	2	H	188	140	1.65	175	2.43	2.73	54
32	14	49	2	H	188	115	0.92	140	1.61	2.95	60
33	14	51	3	H	188	104	1.01	136	1.74	2.94	58
34	14	42	2	H	188	107	0.58	143	1.22	2.03	48
35	14	60	3	H	188	98	1.08	121	1.75	3.71	62
36	14	67.3	3	H	188	129	1.20	169	1.91	2.25	34
37	14	52.1	2	H	188	107	0.98	138	1.16	1.45	28
38	14	61.6	2	H	188	96	1.16	124	1.79	3.24	53
39	14	57	2	H	188	109	1.04	143	1.93	3.12	55
40	15	56	2	F	188	117	0.85	160	1.60	2.09	37
41	15	72	2	H	188	127	2.13	150	3.09	4.67	65
42	15	67	2	H	188	122	1.91	152	2.69	3.62	54
43	15	64	3	H	188	122	1.45	142	2.30	4.25	66
44	15	65	3	H	188	124	1.96	152	2.88	4.06	62
45	15	66	2	H	188	138	1.92	162	2.72	3.59	54
46	15	67.5	2	F	188	130	1.61	160	2.46	3.25	48
47	15	57	2	H	188	104	0.91	129	1.58	3.16	55
48	15	63	2	H	188	102	1.17	131	1.96	3.51	56
49	15	63	2	F	188	120	0.98	157	1.58	2.08	33
50	15	80	2	H	188	130	1.16	168	2.12	2.62	33

TABLEAU XX

N°	âge ans	Poids kg	Palier min.	H/F	FMT APC	Echelon 1		Echelon 3		VO2FMT	
						fc A	VO2 A	fc B	VO2 B	l.min-1	ml/min/kg
51	15	55	2	H	188	103	1.23	158	2.18	2.70	49
52	15	56.2	2	H	188	128	0.69	161	1.47	2.11	37
53	15	68.5	2	H	188	122	1.39	162	2.41	3.07	45
54	15	47	2	H	188	145	1.29	190	2.08	2.04	43
55	15	57	3	H	188	122	1.20	149	1.92	2.96	52
56	15	65	2	H	188	105	1.27	135	2.04	3.40	52
57	15	60	3	H	188	97	1.28	135	2.26	3.63	60
58	15	54	3	F	188	132	1.09	163	1.44	1.72	32
59	15	41	2	H	188	105	0.88	137	1.45	2.36	58
60	15	62	2	H	188	122	1.26	167	2.29	2.77	45
61	15	72	2	H	188	98	1.23	138	2.07	3.12	43
62	15	73.6	2	H	188	107	1.27	139	2.13	3.45	47
63	15	72.5	2	H	188	107	1.32	130	2.20	4.42	61
64	16	69	2	H	187	116	1.21	145	1.84	2.76	40
65	16	71.3	2	H	187	101	1.19	170	1.97	2.17	30
66	16	58	2	H	187	110	0.95	134	1.52	2.79	48
67	16	105	2	H	187	96	1.14	115	1.94	4.99	48
68	16	65	2	H	187	121	1.62	153	2.72	3.91	60
69	16	64.4	2	H	187	131	1.93	155	2.65	3.62	56
70	16	72.2	2	F	187	143	1.42	185	2.36	2.42	33
71	16	52	2	H	187	127	1.23	168	1.95	2.29	44
72	16	44	2	F	187	138	1.33	162	1.82	2.34	53
73	16	47	2	F	187	152	1.54	175	2.06	2.34	50
74	16	49	2	F	187	164	1.81	178	2.21	2.48	51
75	16	67	3	H	187	98	1.14	140	2.21	3.42	51
76	16	72	3	H	187	110	1.39	152	2.47	3.38	47
77	16	70.3	2	H	187	112	1.44	148	2.56	3.79	54
78	16	70	2	H	187	112	1.44	148	2.56	3.79	54
79	16	66	2	H	187	121	1.00	146	1.64	2.70	41
80	16	67	3	H	187	132	1.81	164	2.70	3.35	50
81	16	69	4	H	187	127	1.71	150	2.50	3.79	55
82	16	69	3	H	187	139	1.80	168	2.56	3.07	45
83	16	73	2	H	187	142	1.91	165	2.89	3.85	53
84	16	69	2	H	187	130	1.20	161	2.07	2.81	41
85	16	40.5	2	H	187	107	0.93	136	1.59	2.76	68
86	16	64	2	H	187	117	1.09	156	2.05	2.83	44
87	16	51.4	2	F	187	128	0.80	167	1.46	1.81	35
88	16	58	2	F	187	113	0.90	150	1.49	2.09	36
89	16	68.7	2	F	187	116	1.03	148	1.64	2.39	35
90	16	60	3	H	187	116	1.24	146	1.93	2.88	48
91	16	63	3	H	187	115	1.25	134	1.94	3.88	62
92	16	60	3	H	187	99	1.33	133	2.44	4.22	70
93	16	69	2	F	187	131	1.37	155	1.74	2.24	32
94	16	62	2	H	187	138	1.85	173	2.92	3.36	54
95	16	51	3	H	187	128	1.27	165	2.32	2.96	58
96	16	63	3	H	187	125	1.70	150	2.59	3.92	62
97	16	122	2	H	187	112	1.45	127	2.12	4.82	40
98	16	71	2	H	187	119	1.36	147	2.23	3.49	49
99	16	76	2	H	187	107	1.07	132	2.04	4.19	55
100	16	58	2	H	187	110	0.93	142	1.54	2.41	42

TABLEAU XXI

N°	âge ans	Poids kg	Palier min.	H/F	FMT APC	Echelon 1		Echelon 3		VO2FMT	
						fc A	VO2 A	fc B	VO2 B	l.min-1	ml/min/kg
101	16	61	2	H	187	102	0.91	136	1.62	2.70	44
102	16	53	2	F	187	135	1.19	170	1.79	2.09	39
103	17	68	2	H	187	94	1.18	126	1.97	3.48	51
104	17	55.7	2	H	187	94	0.82	122	1.49	3.05	55
105	17	55	2	F	187	123	0.81	159	1.45	1.95	35
106	17	63.5	2	H	187	110	1.11	145	1.94	2.94	46
107	17	68.3	2	H	187	115	1.28	152	2.21	3.09	45
108	17	58	2	H	187	97	1.12	126	1.65	2.77	48
109	17	65.7	3	H	187	106	1.42	157	2.62	3.33	51
110	17	50	3	H	187	144	1.36	189	2.29	2.25	45
111	17	71	3	H	187	135	2.21	152	3.30	5.55	78
112	17	71	4	H	187	138	2.37	169	3.26	3.78	53
113	17	69	3	H	187	125	1.78	157	3.07	4.28	62
114	17	68.5	4	H	187	128	1.95	156	2.90	3.95	58
115	17	51	2	H	187	125	1.49	182	2.38	2.46	48
116	17	67.1	2	H	187	138	2.34	161	2.97	3.68	55
117	17	56	2	H	187	145	2.22	174	2.84	3.12	56
118	17	71.4	2	H	187	147	3.13	178	3.90	4.12	58
119	17	67.5	2	H	187	140	2.35	159	3.04	4.06	60
120	17	64	2	H	187	140	2.34	162	3.10	3.96	62
121	17	65	2	H	187	164	2.57	171	2.97	3.89	60
122	17	60	2	H	187	124	2.20	152	2.72	3.37	56
123	17	47	2	F	187	160	1.53	188	2.00	1.98	42
124	17	50	2	F	187	171	2.08	192	2.38	2.31	46
125	17	52	2	F	187	168	1.91	186	2.38	2.41	46
126	17	59	2	F	187	168	2.06	180	2.57	2.87	49
127	17	56	2	F	187	149	1.60	178	2.57	2.87	51
128	17	58	3	H	187	100	1.40	148	2.53	3.45	59
129	17	62	2	H	187	103	1.14	127	2.07	4.40	71
130	17	72	2	H	187	98	1.10	121	2.11	5.01	70
131	17	62	2	H	187	115	1.53	150	2.41	3.34	54
132	17	70	2	H	187	115	2.06	155	2.87	3.52	50
133	17	68	2	H	187	120	1.19	150	1.88	2.73	40
134	17	77	2	H	187	110	1.55	137	2.10	3.12	41
135	17	64.5	2	H	187	92	1.16	130	2.07	3.44	53
136	17	56	2	F	187	109	0.89	139	1.41	2.24	40
137	17	66	2	F	187	73	0.97	112	1.51	2.55	39
138	17	50	2	F	187	118	0.90	147	1.57	2.49	50
139	17	57	2	F	187	119	0.81	162	1.54	1.96	34
140	17	66	2	H	187	119	1.57	149	2.82	4.40	67
141	17	74	2	H	187	120	1.25	142	2.15	3.99	54
142	17	77	3	H	187	108	1.22	138	2.22	3.85	50
143	17	77	3	H	187	95	1.28	129	2.23	3.85	50
144	17	73	3	H	187	94	1.46	121	2.43	4.80	66
145	17	63	2	H	187	105	1.28	130	2.15	4.13	66
146	17	52	3	H	187	145	1.67	168	2.71	3.57	69
147	17	56	2	H	187	122	1.75	146	2.55	3.92	70
148	17	67	2	H	187	100	1.02	130	1.92	3.63	54
149	17	75	2	H	187	117	1.17	141	2.18	4.12	55
150	17	69	2	H	187	101	1.28	138	2.06	3.09	45

TABLEAU XXII

N°	âge ans	Poids kg	Palier min.	H/F	FMT APC	Echelon 1		Echelon 3		VO2FMT	
						fc A	VO2 A	fc B	VO2 B	l.min-1	ml/min/kg
151	17	47	2	F	187	138	1.07	167	1.56	1.90	40
152	17	47	2	F	187	129	0.91	162	1.49	1.93	41
153	17	60.7	3	H	187	120	1.04	144	1.92	3.50	58
154	18	60	3	H	187	102	1.25	136	2.09	3.34	56
155	18	57	3	H	187	104	1.28	143	2.16	3.14	55
156	18	84	2	H	187	131	2.31	148	3.34	5.68	68
157	18	65	2	H	187	104	1.10	148	1.97	2.73	42
158	18	64	2	H	187	113	1.40	135	1.99	3.37	53
159	18	58	3	H	187	132	1.71	172	2.66	3.01	52
160	18	69	2	H	187	115	1.25	139	1.79	2.86	41
161	18	62	2	H	187	121	1.65	175	2.74	2.97	48
162	18	61	2	H	187	122	1.74	167	2.48	2.80	46
163	18	66	3	H	187	123	1.64	176	3.07	3.35	51
164	18	66	2	H	187	118	1.92	160	2.69	3.18	48
165	18	56	2	H	187	139	2.24	163	2.85	3.45	62
166	18	70	2	H	187	150	2.75	165	3.51	4.60	66
167	18	65	2	H	187	147	2.20	160	3.04	4.76	73
168	18	61	2	H	187	137	1.89	156	2.80	4.26	70
169	18	68	2	H	187	132	2.45	151	2.98	3.97	58
170	18	67	2	H	187	134	2.40	166	3.17	3.66	55
171	18	48	2	F	187	170	1.82	181	2.21	2.41	50
172	18	64	3	H	187	123	1.63	163	2.79	3.47	54
173	18	77	3	H	187	129	2.02	157	3.10	4.24	55
174	18	73.5	3	H	187	124	1.39	164	3.10	4.06	55
175	18	63	3	H	187	124	2.19	163	3.81	4.79	76
176	18	65	3	H	187	114	1.45	144	2.52	4.04	62
177	18	76.6	2	H	187	113	1.59	153	2.71	3.65	48
178	18	70	2	H	187	111	1.83	143	2.44	3.27	47
179	18	64	2	H	187	83	1.01	123	1.93	3.39	53
180	18	69	2	H	187	123	1.42	141	2.21	4.21	61
181	18	102.4	2	H	187	108	1.29	128	2.20	4.86	48
182	18	104	2	H	187	109	1.50	134	2.36	4.17	40
183	18	67.7	2	H	187	109	1.24	140	2.14	3.49	52
184	18	69	2	H	187	91	1.08	114	1.67	3.53	51
185	18	57.6	2	H	187	115	1.79	142	2.54	3.78	66
186	18	73.2	3	H	187	113	1.54	145	2.29	3.26	45
187	18	71.4	3	H	187	87	1.57	125	2.62	4.32	61
188	18	60	3	H	187	104	1.28	154	2.29	2.95	49
189	18	63	3	H	187	112	1.39	136	2.33	4.31	68
190	18	56	3	H	187	108	1.24	144	2.42	3.81	68
191	18	60	3	H	187	106	1.20	148	2.12	2.96	49
192	18	69	3	H	187	156	1.89	189	2.75	2.69	39
193	18	57.9	3	F	187	146	2.01	170	2.29	2.48	43
194	18	80	2	H	187	85	1.17	113	1.98	4.11	51
195	18	73	2	H	187	99	1.16	130	2.10	3.81	52
196	18	68	2	H	187	90	1.23	134	2.19	3.34	49
197	18	70	2	H	187	89	1.19	133	2.05	3.10	44
198	18	81	2	H	187	98	1.47	127	2.59	4.89	60
199	18	68	2	H	187	112	1.14	147	2.06	3.10	46
200	18	67	2	H	187	113	1.34	138	2.12	3.63	54

TABLEAU XXIII

N°	âge ans	Poids kg	Palier min.	H/F	FMT APC	Echelon 1		Echelon 3		VO2FMT	
						fc A	VO2 A	fc B	VO2 B	l.min-1	ml/min/kg
201	18	68	2	H	187	110	1.24	146	2.17	3.22	47
202	18	71	3	H	187	78	1.19	98	1.94	5.26	74
203	18	73	2	H	187	98	1.29	129	2.22	3.95	54
204	19	71	2	H	186	132	1.80	158	2.71	3.69	52
205	19	70	2	H	186	103	1.27	133	2.02	3.35	48
206	19	62	4	H	186	143	1.93	185	3.11	3.14	51
207	19	61.8	3	H	186	120	1.61	156	2.47	3.19	52
208	19	78	3	H	186	118	2.02	153	3.51	4.92	63
209	19	78.5	4	H	186	124	2.21	157	3.79	5.18	66
210	19	67	2	H	186	115	1.25	150	2.54	3.87	58
211	19	61	2	H	186	135	2.41	147	2.76	3.90	64
212	19	61	2	H	186	145	2.50	157	3.00	4.21	69
213	19	63	2	H	186	150	2.93	162	3.56	4.82	77
214	19	48	2	F	186	163	1.73	180	2.17	2.33	48
215	19	76	3	H	186	117	2.05	155	3.39	4.49	59
216	19	71	3	H	186	106	1.56	150	2.78	3.78	53
217	19	75	3	H	186	96	1.48	135	2.60	4.07	54
218	19	77	2	H	186	108	1.48	135	2.42	4.20	55
219	19	70.4	2	H	186	107	1.52	135	2.61	4.60	65
220	19	65	2	H	186	120	1.22	148	2.01	3.08	47
221	19	82	2	H	186	123	2.47	150	3.32	4.46	54
222	19	60	3	H	186	104	1.28	140	2.29	3.58	60
223	19	65	3	H	186	108	1.56	140	2.51	3.88	60
224	19	64	3	F	186	111	0.90	148	1.83	2.79	44
225	19	68	2	H	186	140	1.67	170	2.44	2.85	42
226	19	69	2	H	186	134	1.85	168	2.63	3.04	44
227	19	65	2	H	186	121	2.03	140	2.68	4.26	65
228	19	66	2	H	186	92	1.14	129	1.94	3.17	48
229	20	69	2	H	186	114	1.14	151	2.93	4.60	67
230	20	55.6	2	H	186	132	1.76	163	2.17	2.47	44
231	20	72	3	H	186	123	2.40	159	4.22	5.57	77
232	20	58	3	H	186	97	1.33	136	2.43	3.83	66
233	20	76.5	2	H	186	105	1.49	144	2.63	3.85	50
234	20	62	2	H	186	98	1.36	139	2.41	3.60	58
235	20	75	2	H	186	122	1.53	166	2.66	3.16	42
236	20	62	3	H	186	116	1.35	160	2.43	3.06	49
237	20	67	2	H	186	114	1.58	151	2.68	3.71	55
238	20	64	2	H	186	104	0.97	137	2.06	3.67	57
239	20	67	3	H	186	127	2.22	150	2.93	4.03	60
240	20	94	2	H	186	112	1.72	145	2.64	3.77	40
241	20	67	2	H	186	101	1.33	114	1.82	4.52	67
242	20	65	2	H	186	109	1.27	131	2.23	4.61	71
243	21	78	2	H	185	92	1.32	128	2.48	4.32	55
244	21	73	2	H	185	93	1.44	118	2.46	5.20	71
245	21	61	3	H	185	116	1.34	141	2.07	3.36	55
246	21	72	2	H	185	100	1.21	128	2.07	3.83	53
247	22	81	2	H	185	99	1.38	118	2.38	5.89	73
248	22	72	2	H	185	95	1.33	127	2.45	4.47	62
249	22	61	3	H	185	101	1.34	134	2.46	4.18	69
250	22	63	3	H	185	100	1.30	132	2.37	4.13	66

TABLEAU XXIV

N°	âge ans	Poids kg	Palier min.	H/F	FMT APC	Echelon 1		Echelon 3		VO2FMT	
						fc A	VO2 A	fc B	VO2 B	l.min-1	ml/min/kg
251	22	63	3	H	185	94	1.00	128	2.10	3.93	62
252	22	72	3	H	185	101	1.31	133	1.98	3.06	43
253	22	73	3	H	185	116	1.38	142	2.16	3.44	47
254	22	70	2	H	185	112	1.29	132	1.88	3.43	49
255	22	84.5	2	H	185	108	1.40	134	2.24	3.88	46
256	22	72	2	H	185	111	1.12	135	2.40	5.05	70
257	22	75	2	H	185	129	2.61	159	3.32	3.93	52
258	23	58	2	H	184	135	2.44	155	3.19	4.29	74
259	23	68	3	H	184	113	1.45	154	2.96	4.07	60
260	23	63	3	H	184	82	1.46	123	2.55	4.18	66
261	23	67.5	2	H	184	106	1.55	137	2.72	4.50	67
262	23	65	2	H	184	79	1.17	108	1.91	3.85	59
263	23	82	3	H	184	79	1.27	111	2.36	4.85	59
264	23	69.3	2	H	184	122	1.42	154	2.43	3.38	49
265	24	58	5	H	184	130	2.41	154	2.98	3.69	64
266	24	66	3	H	184	105	1.61	136	2.84	4.73	72
267	24	72	2	H	184	102	1.31	127	2.23	4.32	60
268	24	63	3	H	184	111	1.44	138	2.44	4.13	66
269	24	79	3	H	184	84	1.42	109	2.60	6.13	78
270	25	73.5	2	H	183	85	1.38	130	2.58	4.00	54
271	25	78	2	H	183	100	1.28	129	2.30	4.21	54
272	25	75.5	5	H	183	89	1.36	135	2.55	3.80	50
273	25	88	2	H	183	138	2.45	158	3.18	4.10	47
274	25	64	3	H	183	116	1.34	156	2.27	2.90	45
275	25	62	2	H	183	104	1.31	136	2.41	4.04	65
276	25	64	3	H	183	116	1.34	156	2.27	2.90	45
277	25	63	3	H	183	97	1.29	126	2.21	4.03	64
278	25	64	2	H	183	106	1.11	129	2.03	4.20	66
279	25	81	3	H	183	121	1.90	146	2.88	4.34	54
280	25	63	2	H	183	101	1.19	150	2.23	2.94	47
281	26	71	2	H	183	100	1.25	132	2.32	4.02	57
282	26	56.5	5	H	183	129	1.98	160	2.68	3.20	57
283	26	65	2	H	183	98	1.28	145	2.48	3.45	53
284	26	81	2	H	183	99	1.98	135	2.91	4.15	51
285	26	81	2	H	183	122	2.06	141	2.79	4.40	54
286	26	72	2	H	183	110	1.28	143	2.37	3.68	51
287	26	70	2	H	183	92	1.19	126	2.15	3.75	54
288	26	61	2	H	183	86	1.12	112	1.95	4.21	69
289	26	77	3	H	183	77	1.25	95	2.11	6.31	82
290	26	81	2	H	183	129	1.96	145	2.74	4.58	57
291	26	70	3	H	183	142	2.07	178	3.10	3.24	46
292	26	71	3	H	183	124	1.91	170	2.83	3.09	43
293	27	70	2	H	182	108	1.38	145	2.46	3.55	51
294	27	57	5	H	182	142	2.34	175	2.77	2.87	50
295	27	63	5	H	182	162	3.05	180	3.59	3.66	58
296	27	65	3	H	182	108	1.37	145	2.45	3.54	54
297	27	74	3	H	182	104	1.42	127	2.31	4.45	60
298	27	70	3	H	182	101	1.34	124	2.35	4.91	70
299	27	65.5	3	H	182	88	1.19	119	2.05	3.81	58
300	27	68	3	H	182	110	2.14	140	3.16	4.60	68

TABLEAU XXV

N°	âge ans	Poids kg	Palier min.	H/F	FMT APC	Echelon 1		Echelon 3		VO2FMT	
						fc A	VO2 A	fc B	VO2 B	l.min-1	ml/min/kg
301	27	77	3	H	182	82	1.25	109	2.35	5.34	69
302	28	64.2	2	H	182	122	2.09	137	2.57	4.01	62
303	28	52.6	5	F	182	131	1.85	162	2.40	2.75	52
304	28	78	3	H	182	104	2.15	132	3.19	5.04	65
305	28	70	3	H	182	104	1.29	146	2.57	3.66	52
306	28	65	2	H	182	119	2.18	145	3.24	4.74	73
307	28	70	3	H	182	103	1.08	137	2.02	3.26	47
308	28	73	3	H	182	119	2.16	152	3.20	4.14	57
309	28	57	3	H	182	126	1.75	144	2.30	3.46	61
310	28	71	2	H	182	100	1.13	129	1.88	3.25	46
311	29	72.5	2	H	181	117	1.31	147	2.58	4.04	56
312	29	65.5	5	H	181	147	2.67	164	3.44	4.23	65
313	29	54	2	H	181	134	2.04	145	2.43	3.72	69
314	29	63	2	H	181	89	1.49	126	2.59	4.24	67
315	29	65	3	H	181	115	2.12	140	3.15	4.86	75
316	29	78	3	H	181	94	1.26	110	2.10	5.85	75
317	30	72	4	H	181	115	1.97	135	2.96	5.23	73
318	30	69	3	H	181	123	1.86	157	3.22	4.18	61
319	30	67	3	H	181	118	1.85	135	3.10	6.48	97
320	30	65	3	H	181	107	1.38	139	2.37	3.67	56
321	30	72	3	H	181	100	1.25	129	2.42	4.52	63
322	31	72	4	H	180	131	2.11	158	3.10	3.92	55
323	31	67	5	H	180	155	3.16	174	3.84	4.07	61
324	31	64	3	H	180	89	1.27	122	2.22	3.90	61
325	31	74	2	H	180	87	1.26	112	2.50	5.90	80
326	31	74	3	H	180	97	1.25	131	2.43	4.15	56
327	31	73	3	H	180	135	2.10	156	2.54	3.05	42
328	32	63	5	H	180	138	2.70	150	3.15	4.28	68
329	32	68	3	H	180	104	1.44	128	2.28	4.10	60
330	32	73	2	H	180	125	1.50	148	2.74	4.47	61
331	32	64	3	H	180	101	1.14	134	2.17	3.61	56
332	32	69.5	3	H	180	106	1.36	139	2.35	3.58	52
333	32	78	3	H	180	74	1.39	105	2.34	4.64	59
334	33	62.4	3	H	180	123	1.45	157	2.62	3.40	54
335	33	64	2	H	180	109	1.17	146	2.31	3.34	52
336	33	74	5	H	180	128	2.74	156	3.73	4.56	62
337	34	60	3	H	179	122	1.09	158	2.27	2.96	49
338	34	65	3	H	179	105	1.38	149	2.63	3.48	54
339	34	69	2	H	179	100	1.27	136	2.07	3.03	44
340	34	69	3	H	179	114	1.49	147	2.42	3.32	48
341	34	54	2	F	179	98	0.98	130	1.72	2.85	53
342	35	65	3	H	179	127	1.88	162	3.12	3.71	57
343	35	56	2	H	179	104	1.11	145	2.20	3.09	55
344	35	68	2	H	179	115	1.39	137	2.59	4.86	71
345	35	73	2	H	179	102	1.22	140	1.92	2.63	36
346	35	67	3	H	179	146	2.27	165	2.94	3.42	51
347	36	70.4	2	H	178	115	1.51	144	2.22	3.06	43
348	36	68	5	H	178	155	3.19	174	3.66	3.76	55
349	36	67	3	H	178	129	1.95	165	3.13	3.56	53
350	37	61	2	H	178	122	1.98	146	2.64	3.51	58

TABLEAU XXVI

N°	âge ans	Poids kg	Palier min.	H/F	FMT APC	Echelon 1		Echelon 3		VO2FMT	
						fc A	VO2 A	fc B	VO2 B	l.min-1	ml/min/kg
351	37	73.3	2	H	178	91	1.18	110	1.77	3.87	53
352	38	67	5	H	177	137	2.48	153	3.09	4.01	60
353	38	70	2	H	177	109	1.25	135	2.08	3.43	49
354	38	65	2	H	177	94	1.25	129	2.21	3.53	54
355	38	73	2	H	177	137	2.83	162	3.58	4.04	55
356	38	71	3	H	177	98	1.34	145	2.57	3.41	48
357	38	68	3	H	177	97	1.24	141	2.41	3.37	50
358	39	61	2	H	177	103	1.31	137	2.44	3.76	62
359	39	61	3	H	177	110	1.32	150	2.51	3.31	54
360	40	58	2	H	176	117	1.85	137	2.55	3.92	68
361	40	59	2	H	176	138	2.38	156	2.92	3.53	60
362	40	58.5	2	H	176	134	2.51	152	2.99	3.64	62
363	41	72	2	H	176	96	1.60	122	2.77	5.19	72
364	41	72	3	H	176	86	1.28	117	2.50	4.81	67
365	41	64	3	H	176	97	1.06	120	1.83	3.70	58
366	43	57	2	H	175	118	1.07	143	2.11	3.44	60
367	43	61	2	H	175	137	2.09	150	2.57	3.49	57
368	44	64	2	H	174	119	2.18	138	2.64	3.52	55
369	44	69.5	2	H	174	130	1.52	150	2.51	3.72	53
370	45	66	2	H	174	145	2.54	162	3.11	3.51	53
371	45	57.5	2	H	174	105	1.33	135	2.17	3.26	57
372	45	89	2	H	174	96	1.09	116	1.83	3.97	45
373	45	68	2	H	174	96	1.13	121	2.03	3.94	58
374	46	70	3	H	173	90	1.55	134	2.65	3.64	52
375	46	67	3	H	173	83	1.07	118	2.17	3.91	58
376	46	67	2	H	173	80	1.08	100	1.51	3.09	46
377	47	70.8	3	H	173	90	1.00	126	1.95	3.19	45
378	52	65.2	3	H	171	93	1.27	140	2.58	3.43	53
379	53	52.5	2	H	170	123	1.12	139	1.56	2.42	46
380	58	70	2	H	168	111	0.81	132	1.28	2.08	30
381	60	84	4	H	167	83	0.70	100	1.25	3.41	41

TABLEAU XXVII

Tableaux XX à XXVII - Ensemble des valeurs permettant le calcul de VO2 FMT pour les 381 sujets considérés à partir de deux paliers de puissance sous-maximale et le résultat obtenu.

BIBLIOGRAPHIE

ALABOUVETTE G, BERTHOLON M, HELFRE G, CHATARD JC.

Effort maximal, fréquence cardiaque maximale et lactatémie en électrocardiographie d'effort. Etude comparative
Arch. Mal. Coeur n° 12, p.1301-1306, 1984.

ALABOUVETTE G et Coll.

Aptitude physique, état cardiovasculaire et entraînement de fond chez le sujet de plus de 60 ans.

La Revue de Gériatrie n° 10, p.456-462, 1987.

ASTRAND I.

Degree of Strain during Building Work as Related to Individual Aerobic Work Capacity.

Ergonomics, 10, 293, 1967.

ASTRAND I.

Aerobic Working Capacity in Men and Women in Some Professions.

Forsvarsmedicin, 3, 163, 1967.

ASTRAND P.O., RYHMING I.

A normogram of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub maximal work.

Jour. Appl. Physiol. n° 7, p.218, 1954.

ASTRAND P.O.

Heart rate during muscular work in man exposed to prolonged hypoxia.

Jour. Appl. Physiol. n° 13, p.75-80, 1958.

ASTRAND P.O., RHODHAL K.

Maximal heart rate during work in older men.

Jour. Appl. Pysiol. tome 14, p.562-566, 1959.

ASTRAND P.O., SALTIN B.

Maximal oxygen uptake and heart rate in various type of muscular activity.

Jour. Appl. Physiol. n° 16, p.977-981, 1961.

ASTRAND P.O., SALTIN B, STENBERG J.

Cardiac out put during maximal and sub maximal work.

Jour. Appl. Physiol. n° 19, p.268-274, 1964.

ASTRAND P.O., RODAHL K.

Manuel de physiologie de l'exercice musculaire.

Masson, p.140-408, 1973.

ASTRAND P.O.

Quantification of exercise capability and evaluation of physical capacity in man.

Progress in cardiovascular diseases n°1, p.51-67, 1976.

ASTRAND P.O., RHODAL K.

Textbook of work physiology.

Physiological bases of exercise.

Third edition p.295-387, 1986.

ASTRAND P.O.,SALTIN B.

Maximal oxygen uptake in athletes.

Jour. Appl. Physiol. n° 3, 1967.

BOUCHARD C, GODBOUT P, MONDER JC. and LEBLANC C.

Specificity of maximal aerobic power.

Jour. Appl. Physiol. Tome 40, 1979.

BOTTIN R, DEROANNE R, PETIT JM, PIRNAY F.

Comparaison de la consommation maximale d'O₂ mesurée à celle prédite en fonction de la fréquence et en fonction du normogram d'Astrand.

Revue d'éducation physique n° 4, p.224-228, 1968.

CARTER R.

Age and Body size of olimpic athletes.

Science in Sport n° 5, p.225-231, 1991.

CHASSAIN A. P.

Méthode d'approche objective de la tolérance de l'organisme à l'effort.

Application à la mesure des puissances critiques de la fréquence et de la lactatémie.

Science et Sports, p.41-48, 1986.

COUSTEAU J.P.

Cardiologie sportive.

Masson, p.1 à 344, 1987.

CAMUS G. , MONOD H.

Validité de la capacité aérobie maximale chez l'homme.

Jour. Physiol. Tome 69, p.1699, 1974.

DAVIS J.A.

Limitations of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements.

Jour. Appl. Physiol. n° 24, p.700-706, 1968.

DAVIES CTM. and YOUNG K.

Effects of external loading on short turn power output in children and young male adults.

Jour. Appl. Physiol. Tome 52, p.351-354, 1984.

DAVIES CTM.

Limitation to the prediction of maximum oxygen uptake from cardiac frequency measurements.

Jour. Appl. Physiol. Tome 24, p.700-706, 1968.

DAVIES H.A., KLAF C.H.

Prediction of maximal oxygen uptake from sub maximal test.

Jour. Sport Medical Physical Fitness Tome 5, p.207-214, 1965.

DI PRAMPERO P.E.

Aspects Energétiques de la performance humaine.

Bioénergétique de l'exercice musculaire.

Michel RIEU, PUF, p.376, 1988.

FLANDROIS R., PUCCINELLI R., HOUDAS Y., LEFRANCOIS R.

Comparaison des consommations d'O₂ maximum mesurées et théoriques d'une population française.

Jour. Physiol. Tome 54, p.337, 1962.

FLANDROIS R., GRAND MONTAGNE M., MAYET MH., FAVIER R.

La consommation d'oxygène chez le jeune français, sa variation avec l'âge, le sexe et l'entraînement.

Jour. Physiol. Tome 68, p.166-194, 1982.

FRAISSE F., DESNUS B.

La consommation maximale d'O₂ des sportifs de haut niveau de moins de 20 ans.

Science et Sports Vol.6, p.25-36, 1991.

FREEDSON P.S., ZWIREN L.D.

Estimation of $\dot{V}O_2$ Max. A comparative Analysis of five exercise tests.

Research Quarterly for exercise and sport n°62, p.73-81, 1991.

FOX E.L.

A simple accurate technique for prediction maximal aerobic power.

Jour. Appl. Physiol. 54, p.914-916, 1973.

FOX E.L. et MATHEWS D.K.

Base Physiologiques de l'activité physique.

Vigot Edition France, p.9-51 ;p.123-171;1984.

GARLANDO F., KOHL J., KOLLER E.A..

Effect of coupling the breathing and cycling rythmes on oxygen uptake during bicycle ergometry.

European Jour. Appl. Physiol. Tome 54, p.497-501, 1985.

GUILLET R., GENETY J., BRUNET -GUEDJ E.

Abrégés.

Masson, p.44-83 ; 115-118, 1984.

GIRANDOLAR N., KATCH F., HENRY F.M.

Prediction of oxygen intake from ventilation and oxygen intake and work capacity from heart rate during heavy exercises.

Research Quanterly 42, p.362-373, 1971.

HARICHAUX P.

Exploration fonctionnelle d'effort chez l'enfant. Données actuelles et travaux personnels.

Médecine et Hygiène, p.2072-2078, 1987.

HANS-WESSEL U., RONALD L.S., CHRISTIAN K.B. MILTEN H.P.

Breath by breath variations of FRC. Effect an VO_2 and VCO_2 measured at the morth.

American Physiological Society, p.1122-1126, 1979.

ISSEHKUTZ B., BIRKHEAD N.C., RODHAL K.

Use of respiratory quotients in assesement of aerobic work capacity.

Jour. Appl. Physiol. 17, p.47-50, 1962.

JANSSON E.

ATP and IMP in single human muscle fibres after high density exercise.

Clinical Physiology Vol.7, p.337-345, 1987.

KLISSOURA V., PIRNAY F. and PETIT J.M..

Jour. Appl. Physiol.

Vol.35, n°2, Août 1973.

LARS HERMANSEN, BJORN EKBLUM and BENGT SALTIN.

Cardiac output during sub maximal and maximal treadmill and bicycle exercise.

Jour. of Appl. Physiol. Vol.29, p.82-86, 1970.

LACOUR J.R., FLANDROIS R.

Les tests d'efforts.

Sport et Sciences Vigot, p.239-261, 1981.

LEGER L.

Principe de la mesure de la consommation d'oxygène en circuit ouvert et calorimétrie en directe.

Département d'éducation physique et sportive, Université de Montréal.

LEGER L., CAZORLA G.

Epreuves d'effort en physiologie.

Travaux et recherches en EPS, p.93-118, octobre 1984.

LEGER L.

La relation pourcentage de fréquence max, pourcentage de VO₂ max en fonction de l'âge, du sexe et de l'ergomètre.

Science et Sports Vol.6, 1991.

MAC ARDLE W.D., KATCH F., KATCH V.

Exercice physiologie.

Leact Febiger, 2ème éd., 1986.

MAC ARDLE W.D.and Coll.

Reliability and interrelationships between maximal oxygen uptake, physical work capacity and step test in college women.

Science et Sports, p.4-182, 1972.

MAGEL J.R. and Coll.

Specificity of swim training on maximum oxygen uptake.

Jour. Appl. Physiol., Tome 38, p.151-197.

MARGARIA R., AGHEMO P. et ROVELLI E.

Indirect détermination of maximal O₂ consumption in man.

Jour. Appl. Physiol. Tome 20, p.1070-1073, 1984.

MARGARIA R., CERRETELLI P., AGHEMO P. and SASSI G.

Energy cost of running.

Jour. Appl. Physiol. Tome 18, p.367-370, 1963.

MARITZ J.S., MORISON J.F.

A practical method of estimating an individual's maximal oxygen intake

Ergonomics Tome 4, p. 97, 1961

MARQUET P., KINIFFO F., CHASSAIN A.P.

Apports et limites des épreuves d'effort chez le sujet sain à partir de 60 ans.

RBM Vol.11, n° 5, p.291-294, 1989.

McARDLE W.D., KATCH F., PECHAR G.S.

Reliability and interrelationships between maximal oxygen intake physical work capacity and step test score in college women.

Medicine and science in sport n° 4, p.182-186, 1972.

McARDLE W.D., KATCH F., KATCH V.

Exercise physiology, Energy, nutrition and physical performance.

Lea and Febiger, Philadelphia, 1986.

MENIER R., KINIFFO F., ANTONINI M.T., CHASSAIN A.P.,

DALMAY F., LANUSSE Y., LEMAIRE F., MARQUET P.

Adaptation respiratoire et circulatoire aux activités physiques.

Médecine du Sport, Tome 63, n° 2, Mars 1989.

MONOD H., FLANDROIS R.

Physiologie du sports.

Masson, 2ème édition, p.1-53 ; p.197-207, 1989.

MORTON R.H.

Delayed or accelerated oxygen uptake kinetics in the transition from prior exercise.

Jour. Appl. Physiol. Tome 62, Vol.2, p.844-846, 1987.

PATTON J.F., DUGGAN A.

Upper and lower body anaerobic power comparison between biathletes and control subject.

Jour. Sport Med. Tome 8, p.94-98, 1987.

PERES G., VANDEWALLE H. et MONOD H.

Comparaison de trois méthodes de mesure de puissance maximale anaérobie des membres inférieurs.

Cinésiologie Tome 27, p.241-249, 1988.

PERONNET F.

Physiologie du marathonien.

La Recherche n° 201, p.920-930, 1988.

DI PRAMPERO P.E., PEETERS L., MARGARIA R.

Alactic O₂ and lactic acid production after exhausting exercise in man.

Jour. Appl. Physiol. Vol.34, n° 5, p.628-632, 1973.

**REYBROUCK T., GHESQUIERE J., CATTART A., FAGARD A.,
AMERY A.**

Ventilatory thresholds during short and long exercises.

American Physiological Society, p.1694-1700, 1983.

ROVELL L.B., TAYLOR H.L., WANG Y.

Limitations to prediction of maximal O₂ uptake.

Jour. Appl. Physiol. Tome 19, p.919-927, 1964.

RUFFIER J.E.

Traité pratique de gymnastique médicale.

Physiol. Ed. Paris, 1950.

RYHMING I.

A modified Howard step test for the evaluation of physical fitness.

Arbeitsphysiol 815, p. 235-247, 1953.

SALTIN B. and Coll.

Reponse to exercise after bed rest and after training.

Circulation, 38, suppl.7, 1968.

SCHEFFIELD L.T., HOLT J.H., REEVES T.J.

Exercise graded by heart rate in electrographic testing for angina pectoris.

Circulation Tome 32, p.622-629, 1965.

SHEPHARD R.J.

For exercise testing please, a review of procedure available to the clinician.

Physiol. Path. Resp. Tome 6, p.425-474, 1970.

SJODIN B. and SVEDENHAG J.

Applied Physiology of marathon running.

Sport et Médecine Tome 2, p.83-99, 1985.

TERASLINNA P., ISMAIL A.H., MAC LEOD D.F.

Normogram by Astrand and Ryhming as a predictor of maximum oxygen intake.

Jour. Appl. of Physiol. Tome 2 (21), p.513-515, 1960.

VAN DER WALT W.H. et WYNDHAM C.H.

An equation for prediction of energy expenditure of walking and running.

Jour. Appl. of Physiol. Tome 34 (5), p.559-563, 1973.

VANDERVALLE H. et FRIEMEL F.

Tests d'évaluation de la puissance maximale des métabolismes aérobie et anaérobie.

Science et Sports Tome 4, p.265-279, 1989.

**VIDALIN H., FELLMAN N., LEYMONIE R., BEDU M., MICHEL J.
FANGET M., COUDER T.J.**

Consommation maximale d'oxygène directe et indirecte. Fréquence
cardiaque maximale réelle et théorique.

Science et Sports Tome 4, p.71-77, 1989.

VICTOR S., KATCH V., WELTMAN A.

Relation ship between anaerobie lower out put, anaerobie capacity and
aerobie power.

Ergonomics Vol.22, n° 3, p.325-332, 1979.

**WYNDHAN C.H., STRYDOM N.B., MARITZ J.S., MORISAN J.F.,
PETER J., POTGIETER Z.U.**

Maximum O₂ intake and maximum, heart rate.

Jour. Appl.of Physiol. Tome 14, p.927-936, 1959.

WYNDHAN C.H.

Submaximal tests for estimating maximum oxygen intake.

Canadian Med. Asso. J. Vol.96, p.736-742, 1967.

ZWIREN L.D., FREEDSON P.S., WARD A.

Estimation of VO₂ Max. : A Comparative Analysis of Five Exercise
Tests.

Research Quarterly for Exercise and Sport, Vol. 62, n° 1, p.73-78, 1991.

TABLE DES MATIERES

		<u>PAGES</u>
1-	Introduction	11
2-	Consommation maximale d'oxygène ($\dot{V}O_2$ Max.) et fréquence cardiaque maximale (fc Max.) : observations directes	15
2-1-	Consommation maximale d'oxygène : définition et signification	16
2-2-	Mesure directe de $\dot{V}O_2$ Max.	16
2-3-	Intérêt de $\dot{V}O_2$ Max.	19
2-4-	Fréquence cardiaque maximale et consommation maximale d'oxygène	20
2-4-1-	Fréquence cardiaque maximale et âges des sujets	20
2-4-2-	Fréquence cardiaque, consommation d'oxygène et puissance d'exercice	22
2-4-2-1-	Relation fc - \dot{W}	22
2-4-2-2-	Relation $\dot{V}O_2$ - \dot{W}	23
2-4-2-3-	Eventualité d'une évolution différente de fc et $\dot{V}O_2$ en fonction de la puissance d'exercice au voisinage de $\dot{V}O_2$ Max.	24
2-4-2-4-	Variation de " $\dot{V}O_2$ Max" (et fc Max.) avec les conditions de mesures et les conditions biologiques	26
2-4-2-4-1-	$\dot{V}O_2$ Max. et les conditions de mesure	26
2-4-2-4-2-	$\dot{V}O_2$ Max. et les conditions biologiques	27
3-	Détermination indirecte de $\dot{V}O_2$ Max	29
3-1-	Incertitudes des différents modes de détermination	30
3-2-	$\dot{V}O_2$ Max. indirect et épreuves sous-maximales	30

3-2-1-	L'épreuve d'Astrand et Ryhming (1954)	31
3-2-2-	Evaluation indirecte de $\dot{V}O_2$ Max. par détermination de la relation fréquence cardiaque-puissance d'exercice	33
3-2-3-	Autres épreuves de Laboratoire	34
3-2-3-1-	Le sujet élève - et abaisse - de façon régulière son propre centre de gravité (utilisation d'un banc ou d'un escalier)	34
3-2-3-1-1-	L'épreuve d'Astrand et Ryhming	34
3-2-3-1-2-	Le Physitest Canadien	35
3-2-3-1-3-	L'épreuve de Margaria	36
3-2-3-1-4-	L'épreuve du banc à hauteur et vitesse variables de Balke et Skinner (1969)	37
3-2-3-1-5-	L'épreuve d'un banc de 40 cm à vitesse de montées et de descentes variables (Léger 1981)	38
3-2-3-2-	Mesures sur tapis roulant	38
3-2-3-2-1-	L'épreuve de marche de Schepard (1969)	38
3-2-3-2-2-	Modifications de l'épreuve de Schepard	39
3-2-3-2-2-1-	Epreuve modifiée de Balke, Fox, Naughton, Haskell (1971)	39
3-2-3-2-2-2-	Epreuve du Centre EPIC de Fegusse et Gauthier (1971)	39
3-2-3-2-2-3-	Epreuve de l'Université de Montréal (Léger 1976)	39
3-2-3-2-2-4-	Epreuve de McGill (Montgomery University)	40
3-2-3-2-3-	Autres épreuves sur tapis roulant (Léger 1981)	40
3-2-3-2-3-1-	Epreuve de course à vitesse constante	40
3-2-3-2-3-2-	Epreuve de course à pente constante	40
3-2-3-3-	Autres épreuves sur bicyclette ergométrique	41
3-2-3-3-1-	Epreuve de l'International Biological program (1969)	41
3-2-3-3-2-	Epreuve de Hartung et Mc Miller (1978)	41

3-2-3-3-3-	Sjostrand test	41
3-3-	Epreuves maximales sur le terrain	42
3-3-1-	Epreuve de course de longue durée (Margaria et coll., 1975)	42
3-3-2-	L'épreuve de course à pied en 12 minutes de Cooper (1968)	43
3-3-3-	Autre épreuve de course à pied de Cooper : l'épreuve de course sur 2 400 mètres	45
3-3-4-	Les tests maximums à intensité progressive	46
3-3-4-1-	Le test progressif de l'Université de Montréal : test de Léger et Boucher (1981)	46
3-3-4-2-	Epreuve de course-navette de 20 minutes par paliers de 2 minutes (Léger 1981)	48
3-3-4-3-	Intérêts des tests progressifs	48
4-	Protocole expérimental	50
4-1-	L'objectif	51
4-2-	Caractéristiques de la population de référence	51
4-2-1-	Le sexe	51
4-2-2-	L'âge	52
4-2-3-	Les disciplines sportives représentées	53
4-3-	Les mesures effectuées	54
4-3-1-	Matériels utilisés	55
4-3-1-1-	Les ergomètres	55
4-3-1-1-1-	Protocoles de mesure selon l'ergomètre	56
4-3-1-2-	Matériel de mesure des échanges gazeux respiratoires	57
4-3-1-3-	Mesure de la fréquence cardiaque	57
4-3-1-4-	Mesure de la lactatémie	58
4-3-2-	Recueil des observations	58

4-3-	Les observations retenues	59
4-4-	Traitement des observations retenues	59
5-	Résultats	61
5-1-	Justification des observations retenues	62
5-2-	Etablissement de la relation f_c Max. en fonction de l'âge à partir des observations retenues	62
5-3-	Expression de $\dot{V}O_2$ Max. directe en fonction de l'âge chez la population retenue	63
5-4-	Recherche d'une expression donnant $\dot{V}O_2$ Max indirecte en fonction de l'âge et de deux couples de mesures sous-maximales de f_c et $\dot{V}O_2$ directes au cours d'un protocole d'effort triangulaire	63
5-5-	Expression de $\dot{V}O_2$ FMT en fonction de l'âge	64
5-6-	$\dot{V}O_2$ Max. directe en fonction de $\dot{V}O_2$ FMT	65
5-7-	Prévision de $\dot{V}O_2$ Max en fonction de l'âge et de deux couples de mesures de f_c et $\dot{V}O_2$ en régime sous-maximal	66
6-	Discussion	74
6-1-	f_c Max. en fonction de l'âge	75
6-2-	$\dot{V}O_2$ Max. directe et $\dot{V}O_2$ FMT	76
6-3-	$\dot{V}O_2$ Max. calculé ajusté	78
7-	Conclusion	83
	Annexe I	86
	Annexe II	88
	Bibliographie	105
	Table des matières	121

SERMENT D'HIPPOCRATE

En présence des maîtres de cette école, de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la médecine.

Je donnerai mes soins à l'indigent et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail.

Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés, et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser les crimes.

Reconnaissant envers mes maîtres, je tiendrai leurs enfants et ceux de mes confrères pour des frères et s'ils devaient entreprendre la Médecine ou recourir à mes soins, je les instruirai et les soignerai sans salaire ni engagement.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné à jamais de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honoré à jamais parmi les hommes. Si je le viole, et que je me parjure, puissè-je avoir un sort contraire.

Résumé

A partir de 381 mesures de $\dot{V}O_2$ Max. directement effectuées au CRMS de Limoges, ces trois dernières années, mesures retenues après justification selon les critères habituels de validité de $\dot{V}O_2$ Max.

Deux propositions sont faites à l'issue de ce travail :

- la 1ère concerne une prévision de FMT reposant sur un échantillonnage de population nettement supérieur à ceux observés dans la Littérature ;

- la 2ème concerne un mode de prévision mixte (direct et indirect) de $\dot{V}O_2$ Max. à partir de l'âge du sujet à l'issue de trois paliers d'exercices en régime sous-maximal.

MOTS CLES :

Fréquences cardiaques maximales (FMT)

Consommations maximales d'oxygène ($\dot{V}O_2$ Max.)