

RÉPUBLIQUE DE CÔTE D'IVOIRE  
Union - Discipline - Travail

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE  
CHARGE DE L'ENSEIGNEMENT  
SECONDAIRE ET SUPÉRIEUR



**FACULTE DE MÉDECINE**

Année 1986 - 1987

N°

**FIABILITE ET REPRODUCTIBILITE  
D'UN TEST D'EFFORT A PALIERS CROISSANTS,  
EN DECUBITUS OU EN POSITION ASSISE,  
POUR APPRECIER L'APTITUDE PHYSIQUE  
DE L'ADULTE JEUNE ET SEDENTAIRE**

**THÈSE**

POUR LE

**DOCTORAT EN MÉDECINE**

(DIPLOME D'ÉTAT)

Présentée et soutenue publiquement le 29 Avril 1987

Par

**OUATTARA SOUALIHO**

INTERNE DES HÔPITAUX

Né le 20 Novembre 1958 à Man

PRESIDENT DE THESE : Monsieur le Professeur COULIBALY NAGBELE

MEMBRES DU JURY : Monsieur le Professeur C. ROUX

Monsieur le Professeur agrégé BOUTROS TONI

DIRECTEUR DE THESE : Monsieur le Professeur agrégé J. LONSDORFER

Avec la collaboration du Docteur P. BOGUI Assistant en Physiologie

CONSEIL AFRICAIN ET MALGACHE  
POUR L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
C. A. M. E. S. — OUAGADOUGOU  
Arrivée 07 JAN. 2002  
Enregistré sous n° 002686



LISTE DU PERSONNEL ENSEIGNANT  
DE LA FACULTE DE MEDECINE  
1986 - 1987

=====

**Doyens honoraires :** P. PENE - Th. Koffi ALLANGBA.

**Professeurs honoraires :** J. BADOUAL - J. BONHOMME - F. BONNET de PAILLERETS -  
A. BOURGEADE - M. BOUVRY - J.P. BUREAU - M. CLERC - G. DANON - P. DELORMAS -  
J. DOUCET - M. DUCHASSIN - H. GALLAIS - M. LEBRAS - R. LOUBIERE - D. METRAS -  
G. MORLIER - J.D. RAIN - R. RENAUD - J. RITTER - M. SANGARET - J. VILASCO.

DOYEN : A. YANGNI-ANGATE

ASSESEURS : F. KETEKOU Sié - A. KADIO - J. SOUBEYRAND.

**PROFESSEURS**

**1.- PROFESSEURS TITULAIRES**

M.M. ASSI ADOU	Jérôme	Pédiatrie
ATTIA	Yao Roger	Hépto-Gastro-Entérologie
AYE	Hippolyte	Maladies Infectieuses
BEDA	Yao Bernard	Médecine Interne
BERTRAND	Edmond	Cardiologie
BOHOUSSOU	Kouadio	Gynécologie-Obstétrique
BONDURAND	Alain	Anesthésie-Réanimation
CORNET	Lucien	Chirurgie Générale
COULIBALY	André	Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire
COULIBALY	Nagbélé	Pneumo-Phtisiologie
COWPLI-BONY	Kwassy Philippe	Anatomie-Chirurgie Générale
DIARRA	Samba	Gynécologie-Obstétrique
DJEDJE	André-Théodore	Radiologie
DJIBO	William	Traumatologie et Orthopédie
ESSOH NOMEL	Paul	Pédiatrie
ETTE	Ambroise	O.R.L.
ETTE	Marcel	Anatomie Pathologie
GUESSENND	Kouadio Georges	Médecine Sociale et Santé Publique
KEBE	Mémel Jean-Baptiste	Anatomie-Urologie
KETEKOU	Sié Ferdinand	Biochimie
LE GUYADER	Armand	Anatomie-Chirurgie Générale
ROUX	Constant	Chirurgie Infantile
SANGARE	Souleymane	Ophthalmologie
YANGNI-ANGATE	Antoine	Chirurgie Générale
YAO-DJE	Christophe	Urologie

## 2.- PROFESSEURS ASSOCIES

M.M. CABANNES	Raymond	Hémato-Immunologie
GIORDANO	Christian	Neurologie
HAEFFNER	Georges	O.R.L.
HAZERA	Max	Psychiatrie

## 3.- PROFESSEURS EN SERVICE EXTRAORDINAIRE

M. HEROIN	Pierre	Dermatologie
-----------	--------	--------------

## MAITRES DE CONFERENCES AGREGES

M.M. ABBY	Blaguet Clément	Radiologie
ANDOH	Joseph	Pédiatrie
ASSALE	N'Dri Georges	Parasitologie
BAMBA	Méma	O.R.L.
BESSARD	Germain	Pharmacologie
BOUTROS-TONI	Fernand	Biostatistique et Informatique Médicale
BRETTES	Jean-Philippe	Gynécologie-Obstétrique
COFFI	Dick Sylvain	Anesthésie-Réanimation
DAGO AKRIBI	Augustin	Anatomie Pathologie
DELAFOSSE	Roger Charles	Psychiatrie
DJEDJE	Mady Alphonse	Urologie
EHOUMAN	Armand	Histologie-Embryologie-Cytogénétique
EKRA	Alain	Cardiologie
GADEGBEKU	Anani Samuel	Stomatologie
KADIO	Auguste	Maladies Infectieuses
KANGA	Diékouadio	Pédiatrie
KANGA	Jean-Marie	Dermatologie-Vénérologie
KANGA	Miessan	Chirurgie Générale
KEITA	Cheick	Ophtalmologie
KEITA	Kader	Radiologie
KONE	Nouhoun	Gynécologie-Obstétrique
KOUAKOU	N'Zué Marcel	Rhumatologie
KOUAME	Konan	Pédiatrie
KOUASSI	Beugré	Neurologie
KOUASSI	Jean Claude	Chirurgie Générale
KOUASSI	Manassé	Stomatologie et Maxillo-Faciale
LAMBIN	Yves	Traumatologie et Orthopédie
LONSDORFER	Jean	Physiologie et Exploration Fonctionnelle

MAITRES DE CONFERENCES AGREGES (Suite)

M.M. MANLAN	Kassi	Hépto-Gastro-Entérologie
MOBIOT	Mandou	Chirurgie Infantile
N'DORI	Raymond	Cardiologie
N'DRI	Koffi Dominique	Anesthésie-Réanimation
N'GUESSAN	Henri Alexandre	Chirurgie Générale
N'GUESSAN	Konan Gabriel	Anatomie-Urologie
NIAMKEY	Ezani Kodjo	Médecine Interne
ODEHOURI	Koudou	Maladies Infectieuses
ODI	Assamoi	Cardiologie
OUATTARA	Kouamé	Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire
SANGARE	Amadou	Hématologie
SANGARE	Ibrahima	Urologie
SOMBO	Mambo	Immunologie
SOUBEYRAND	Jacques	Médecine Interne
TEA	Daignekpo	Immuno-Hématologie
Mme TIMITE	Adjoua	Pédiatrie
M. TURQUIN-TRAORE	Henri	Chirurgie Générale
Mme TOURE	Kharidiata	Gynécologie-Obstétrique
M. WAOTA	Coulibaly	Traumatologie et Orthopédie
Mme WELFFENS-EKRA	Christiane	Gynécologie-Obstétrique

CHEFS DE TRAVAUX

Mme DOSSO-BRETIN	Mireille	Bactériologie
M. N'GUESSAN	Isaïe	Biochimie
Mme THERIZOL-FERLY	Madeleine	Parasitologie

ASSISTANTS1.- ASSISTANTS DES HOPITAUX-CHEFS DE CLINIQUES DE FACULTE

M.M. ADAMA	Fany	Ophtalmologie
ADJOBI	Elloh	Gynécologie-Obstétrique
ADOH	Adoh	Cardiologie
ADZAXO	Kossi	Gynécologie-Obstétrique
AGUEHOUNDE	Cosme	Chirurgie Infantile
AKA KROO	Florent	Pédiatrie
Mlle AKE	Evelyne	Cardiologie
Mme AMANGOU-EHUA	Evelyne	Pédiatrie

ASSISTANTS DES HOPITAUX-CHEFS DE CLINIQUES DE FACULTE (Suite)

M.M. AMONKOU	Akpo	Anesthésie-Réanimation
ANOMA	Mathieu	Gynécologie-Obstétrique
ANONGBA	Danho Simplicie	Gynécologie-Obstétrique
AOUSSI	Eba	Maladies Infectieuses
ASSA	Alou	Stomatologie
ASSE	N'Dri Henri	Traumatologie Orthopédie
ASSOUMOU	Aka	Parasitologie
BAH	Zézé	Chirurgie Générale
Mlle BASSIMBIE	Jeannette	Immuno-Hématologie
M.M. BASSIT	Assad	Chirurgie Générale
BENIE	Tha Michel	Gynécologie-Obstétrique
Mlle BINLIN-DADIE	Renée	Anesthésie-Réanimation
M.M. BISSAGNENE	Emmanuel	Maladies Infectieuses
BOA	Yapo Félix	Neurologie
BOUCHEZ	Paul	Médecine Interne
CAMARA	Benoît	Médecine Interne
Mlle DANGUY-VANGAH	Elisabeth	P.P.H.
Mme DASYLVA-ANOMA	Sylvia	Chirurgie Infantile
M.M. DECHAMBENOIT	Gilbert	Neurologie
DIALLO	Amadou	Médecine Interne
DICK	Kobinan Rufin	Chirurgie Générale
DJANHAN	Yao	Gynécologie-Obstétrique
DJEHA	Djokouéhi	Dermatologie
DJESSOU	Prosper	Biochimie
DO REGO	Anicet	Pédiatrie
DRESSENN	Alice	Anesthésie-Réanimation
ECHIMANE	Kouassi	Chirurgie Générale
EHUA	Somian	Chirurgie Générale
EHOUE	Florent	O.R.L.
FADIGA	Dougoutiki	Pneumo-Phtisiologie
Mlle FAL	Arame	Chirurgie Générale
M.M. GNAGNE	Yadou Maurice	Anatomie-Chirurgie Générale
GNEBEI	Roger	Gynécologie-Obstétrique
GNONSAHE	Appolinaire	Anesthésie-Réanimation
GUEDEGBE	Félix	Traumatologie et Orthopédie
Mme HOUENOU	Yveline	Pédiatrie
M.M. HOUPHOUET	Kouakou	Gynécologie-Obstétrique
KACOU	Guikahué	Cardiologie
KADIO	Richard	Chirurgie Générale

ASSISTANTS DES HOPITAUX-CHEFS DE CLINIQUES DE FACULTE (Suite)

M.M. KASSANYOU	Salami	Anatomie-Chirurgie Générale
KATA	Kéké Joseph	Urologie
KOCOUA	Alexandre	Anatomie-Chirurgie Générale
KOFFI	Konan Julien	Médecine Sociale et Santé Publique
KOFFI	Kouakou	Anesthésie-Réanimation
KOFFI	Kouamé	Médecine Sociale et Santé Publique
KONAN	Yao Lucien	Chirurgie Générale
KONE	Drissa	Psychiatrie
KONE	Mamourou	Gynécologie-Obstétrique
KOUAKOU	Firmin	Gynécologie-Obstétrique
KOUASSI	Kanga Michel	Chirurgie Thoracique et Cardio-Vasculaire
KOUASSI	Konan Bertin	O.R.L.
LOKROU	Lohourignon	Médecine Interne
MALEOMBO	Jean-Pierre	Chirurgie Générale
MANZAN	Konan	Urologie
MENSAH	William	Cardiologie
MIGNONSIN	David	Anesthésie-Réanimation
MOREAU	Jacques	Maladies Infectieuses
Mme NAMA-DIARRA	Jeanne	Médecine Sociale et Santé Publique
M. N'DRI	N'Guessan	Médecine Interne
Mme N'DRI-YOMAN	Aya Thérèse	Gastro-Entérologie
Mlle NIOUPIN	Emma	Anesthésie-Réanimation
M.M. OUATTARA	Doignon	Médecine Interne
OUATTARA	Noël	Radiologie-Biophysique
OUEGNIN	Georges Armand	Urologie
OUHON	Jean	Parasitologie
OULAI	Soumahoro	Pédiatrie
PLO	Kouié	Pédiatrie
SAFEDE	Koné	Ophthalmologie
SEKA	Assi Rémi	Radiologie
SISSOKO	Jacques	Anesthésie-Réanimation
Mlle SONAN	Thérèse	Neurologie
Mme TAGLIANTE-SARACINO	Janine	Maladies Infectieuses
M.M. TOURE	Stanislas	Chirurgie Générale
TOUTOU	Toussaint	Médecine Interne
VARANGO	Guy	Chirurgie Générale
VARLET	Guy	Chirurgie Générale
YAPI	Achy	Pneumo-Phtisiologie

ASSISTANTS DES HOPITAUX-CHEFS DE CLINIQUES DE FACULTE (Suite)

M.	YAPOBI	Yves	Anesthésie-Réanimation
Mmes	YOBOUET-YAO	Pauline	Dermatologie
	YOFFOU-LAMBIN	Liliane	Ophthalmologie

2.- ASSISTANTS DE FACULTE-ASSISTANTS DES HOPITAUX

M.M.	ABISSEY	Agba	Hémato-Immunologie
	BOGUI	Pascal	Physiologie et Exploration Fonctionnelle
	DIE	Kacou Henri	Pharmacologie Clinique
	EDOH	Vincent	Bactériologie
	HONDE	Michel	Anatomie Pathologique
	KPLE	Faget Paul	Immuno-Hématologie
	ROLAND	Georges	Anatomie-Organogenèse
	SESS	Daniel	Biochimie
	Yao	Toutoukpo	Immuno-Hématologie

MAITRES-ASSISTANTS MONO-APPARTENANTS

Mme	DOSSO	Yolande	Physiologie et Exploration Fonctionnelle
M.	PALOMBO	Robert	Biophysique

CHEF DE TRAVAUX MONO-APPARTENANT

Mme	MONFORT	Marie-France	Biochimie
-----	---------	--------------	-----------

ASSISTANTS MONO-APPARTENANTS

Mme	SARIS	Laurence	Immuno-Hématologie
M.M.	N'KO	Marcel	Biochimie
	VALERY	Jean	Biochimie

CHARGES DE COURS

Mme	AGOH	Bernadette	Chimie
M.M.	BOGUI	Vincent	Physique
	RANCUREL	René	Mathématiques

JE DEDIE .....

LE PEU QUE JE SAIS  
C'EST A MON IGNORANCE  
QUE JE LE DOIS.

SACHA GUITRY

A MON PERE ET MA MERE

=====

Vous avez consenti à tant de sacrifices pour voir ce moment tant espéré. Puisse cette thèse vous apporter la satisfaction de vos longues années d'attente.

Soyez assurés de mon amour filial.

A MES ONCLES OBETON ET ISSIAKA

=====

Vous avez su jouer auprès de moi le rôle de père.

Vous avez su m'apporter le réconfort pendant mes moments difficiles.

L'intérêt que vous portez à ma personne m'oblige chaque jour à mieux faire pour devenir ce que vous souhaitez que je sois.

Vous demeurez toujours mes guides spirituels.

Soyez assurés de ma profonde et éternelle reconnaissance.

A MA FUTURE EPOUSE

=====

Que ce modeste travail te porte témoignage de ma profonde gratitude et de mon indéfectible amour.

" UN PEU DE TOI

UN PEU DE MOI

BEAUCOUP D'AMOUR

ET POUR TOUJOURS "

A AWA, MA FILLE

=====

Tu es mon bien le plus précieux. Mon vœux le plus cher est que ton courage dépasse un jour le mien.

A NOTRE PRESIDENT DE THESE

MONSIEUR LE PROFESSEUR COULIBALY NAGBELE

=====

- Chef de service de Pneumo-phtisiologie à la Faculté de Médecine
- Directeur de l'Institut National de la Santé Publique
- Officier du Mérite de la Santé Publique de Côte d'Ivoire
- Chevalier des Palmes Académiques Françaises
- Chevalier du Mérite National Français
- Membre du tableau des Experts Organisation Mondiale de la Santé pour la tuberculose et maladies respiratoires
- Secrétaire Général du Comité antituberculeux de Côte d'Ivoire
- Président de la région Afrique de l'Union Internationale contre la tuberculose.
- Officier de la Légion d'Honneur Française
- Chevalier de l'Ordre du BOMO (TOGO)

C'est dans votre service que j'ai effectué mes stages de 3ème et 4ème année. Je crois avoir appris énormément de choses, grâce à votre disponibilité et au dévouement de vos collaborateurs. En vous invitant à présider mon jury de thèse, je voudrais vous témoigner toute ma reconnaissance et le respect que je dois à mon Maître.

A NOTRE MAITRE ET JUGE MONSIEUR LE PROFESSEUR CONSTANT ROUX  
=====

- Professeur Titulaire de Chirurgie Infantile
- Chef de service de Chirurgie Infantile au CHU de Cocody
- Membre du bureau exécutif de la Fédération Internationale de Médecine Sportive (F.I.M.S.)
- Chirurgien des Hôpitaux
- Membre de la Société Française de Chirurgie Infantile  
(S.F.C.I.)
- Membre de la Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique (S.O.F.O.T.)
- C.E.S. de Biologie et de Médecine du Sport
  - . Faculté de Médecine de Paris : Université Pierre et Marie CURIE. PARIS IV.
  - . Faculté de Médecine de MONTPELLIER.
- Diplôme de Traumatologie Sportive
  - . Université Pitié-Salpêtrière. PARIS VIII.
- Secrétaire Général du Conseil Permanent de la Médecine du Sport des Pays d'Expression Française
- Membre représentant du Continent Africain à la Commission Médicale de la Fédération Internationale de Volley-Ball  
(F.I.V.B.)
- Président de la Commission Médicale de la Confédération Africaine de Volley-Ball (C.A.V.B.)
- Président Fondateur de l'Association Ivoirienne de Médecine du Sport (A.I.M.S.)
- Officier du Mérite Sportif Ivoirien
- Brevet Parachutiste

.../...

- Président de l'Union Africaine de Médecine Sportive

(U.A.M.S.)

- Paul Harris Fellow du Rotary International

- Médaille d'Or de la Société Française de Médecine  
du Sport (S.F.M.S.)

- Membre de la Commission médicale du comité olympique  
international

Votre perspicacité a désormais imposé définitivement la  
Médecine du Sport en Côte d'Ivoire.

Merci pour cette leçon de courage et de tenacité.

C'est vraiment un honneur et une joie de vous avoir comme juge.

A NOTRE MAITRE ET JUGE

MONSIEUR LE PROFESSEUR AGREGE BOUTROS-TONI

=====

- Professeur Agrégé en Biostatistique et Informatique Médicale.
- Chef de Service d'Epidémiologie, Biostatistiques, Biomathématiques et Informatique Médicale.
- Lauréat de l'Académie Nationale de Médecine.
- Docteur d'Etat en Sciences Naturelles.
- Docteur d'Etat en Biologie Humaine.

Vous avez suivi avec intérêt la progression de ce travail. Vous nous avez fait bénéficier de vos compétences exceptionnelles en mathématiques statistiques.

Nous ne saurions vous remercier assez pour cette aide bienveillante.

Puisse ce travail vous témoigner notre respectueuse gratitude.

A NOTRE MAITRE ET DIRECTEUR DE THESE  
MONSIEUR LE PROFESSEUR JEAN LONSDORFER  
=====

- Biologiste des Hôpitaux
- Chef du Service de Physiologie et d'Explorations  
Fonctionnelles
- Chevalier des Palmes Académiques
- Officier de l'Ordre du Mérite Sportif Ivoirien

Vous nous avez accueilli dans votre service voici bientôt  
quatre ans.

Nous avons travaillé auprès de vous avec ferveur.

C'est chez vous en tant que moniteur que nous avons appris  
la rigueur si nécessaire à la Science. Rigueur qui nous a  
permis aujourd'hui d'être interne des Hôpitaux.

Votre soutien ne nous a jamais manqué.

Votre instinct paternel n'a d'égal que votre humanisme  
exacerbé.

Vous vérifiez vraiment l'adage qui dit que "la modestie est  
l'apanage des grands hommes".

En tout cas nous ne désirons ardemment qu'une seule chose :  
pouvoir vous ressembler un jour.

P L A N

=====

CHAPITRE I : PRESENTATION DU SUJET DE THESE  
=====

- A - RAPPEL . . . . . p. 4
- B - BUTS DE NOTRE ETUDE . . . . . p.13

CHAPITRE II :  
=====

- A - SUJETS . . . . . p.16
- B - MATERIEL . . . . . p.17
- C - METHODE . . . . . p.22

CHAPITRE III : RESULTATS  
=====

- A - DONNEES ANTHROPOMETRIQUES . . . p.27
- B - ETABLISSEMENT GRAPHIQUE . . . . p.28
- C - RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LA FC p.33
- D - RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LE VE p.38
- E - RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LE STT p.42

CHAPITRE IV  
=====

- DISCUSSION . . . . . p.45

- CONCLUSION . . . . . p.64

BIBLIOGRAPHIE

SYMBOLES ET ABREVIATIONS

=====

- $\dot{V}E$  = Ventilation externe en litre  $kg^{-1}.minute^{-1}$
- $\dot{V}O_2$  = Consommation d' $O_2$  en ml STPD par kg de poids du sujet.
- $\dot{V}O_2$  Max = Consommation maximale d' $O_2$  lors de l'effort exhaustif.
- $\dot{V}CO_2$  = La production de  $CO_2$  en litre STPD par minute
- R = Quotient respiratoire =  $\frac{\dot{V}CO_2}{\dot{V}O_2}$  .
- $ERO_2$  = Equivalent respiratoire en  $O_2$  :  $\frac{\dot{V}E}{\dot{V}O_2}$  .
- FC = Fréquence cardiaque en battements par minute.
- STT = (Systolic Tension Time) = produit de la fréquence cardiaque par la pression systolique.
- W = Watts
- AT = (ANAEROBIC THRESHOLD) = Seuil Anaérobie (S.A.). exprimé en pourcentage de  $\dot{V}O_2$  Max. ou de la PMT.
- STPD = Standard Temperature Pressure Dryness.
- ATPS = Ambient Temperature Pressure Saturated.
- BTPS = Body Temperature Pressure Saturated.

# C H A P I T R E I

=====

## PRESENTATION DU SUJET DE THESE

---

### A - RAPPEL

1) LES BASES THEORIQUES DE L'EXERCICE  
MUSCULAIRE .

2) LES DIFFERENTES METHODES D'ETUDE  
DE L'APTITUDE PHYSIQUE.

### B - BUTS DE NOTRE ETUDE

## A - R A P P E L

=====

### 1) LES BASES THEORIQUES DE L'EXERCICE MUSCULAIRE

Tout exercice physique résulte de la combinaison de groupes musculaires anatomiquement distincts intervenant de manière synergique.

Le recrutement plus ou moins étendu des unités motrices et l'activation des myofibrilles qui les composent sont déterminés par l'intensité de l'exercice à réaliser. Le raccourcissement de chaque myofibrille est dû au glissement les uns sur les autres des filaments d'actine et de myosine . Cette variation de conformation est à l'origine du travail mécanique musculaire, et trouve ses sources d'énergie immédiates dans les liaisons phosphates riches en énergie. L'ATP (adénosine triphosphorique) est la principale source d'énergie du travail musculaire. Son hydrolyse en ADP et en phosphate inorganique libère la quantité d'énergie nécessaire à ce couplage mécano-chimique.

Les réserves intra-musculaires d'ATP étant faibles, sa reconstitution pendant le travail mécanique provient de trois processus :

- la dégradation de la phosphoryl-créatine (P.C.)
- la dégradation des substrats glucidiques
- la dégradation des acides gras.

La dégradation des substrats glucidiques est la principale source d'énergie pour les efforts à Intensité Croissante et de durée moyenne, c'est-à-dire inférieure à 20 minutes. La première étape glycogénolytique (puis glycolytique) ne nécessite pas d'O<sub>2</sub>. Elle favorise la formation de pyruvate.

- En présence d'O<sub>2</sub>, le catabolisme du pyruvate donne l'acétyl CoA qui entre dans le cycle tricarboxylique de Krebs, grand fournisseur d'énergie.

- En l'absence d'O<sub>2</sub>, la dégradation du pyruvate aboutit à la formation de l'acide lactique.

La production d'acide lactique augmente pendant l'exercice lorsque la composante glycolytique de la production d'énergie se développe à une vitesse telle que le NAD réduit, cytosolique ne peut être réoxydé suffisamment vite par la navette H<sup>+</sup> de la membrane mitochondriale, pour la combinaison ultime des H<sup>+</sup> cytosolique avec l'O<sub>2</sub> mitochondrial.

Par conséquent, le pyruvate devient le récepteur H<sup>+</sup> et est converti en lactate en réoxydant le NAD réduit cytosolique ce qui permet la poursuite du processus de glycolyse.

#### 1-1- LE SEUIL ANAEROBIE

- Au cours d'un effort à paliers d'intensité croissante la consommation d'O<sub>2</sub> ( $\dot{V}O_2$ ) augmente linéairement ; mais sa contribution à la dégradation des substrats glucidiques

devient de moins en moins importante à mesure que l'effort gagne en intensité.

Après une phase aérobie, l'organisme entre progressivement dans une phase à prédominance anaérobie dont témoigne l'augmentation régulièrement croissante de la lactatémie par transformation du pyruvate en lactate. Le niveau d'effort à partir duquel la vitesse d'augmentation du lactate sanguin excède sa vitesse de disparition est appelé seuil anaérobie (ANAEROBIC THRESHOLD des anglosaxons).

Durant ce type d'effort, la consommation d' $O_2$  ( $\dot{V}O_2$ ) la ventilation externe-minute ( $\dot{V}_E$ ) et le rejet de  $CO_2$  ( $\dot{V}CO_2$ ) mesurés à intervalles de temps réguliers présentent une évolution caractéristique permettant de repérer successivement la phase aérobie, puis anaérobie du protocole d'étude.

1-1-a) Pendant la phase aérobie

$\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}_E$  et  $\dot{V}CO_2$  augmentent parallèlement :

la  $\dot{V}_E$  répond aux besoins en  $O_2$  et le rejet de  $CO_2$  est proportionnel à la quantité d' $O_2$  utilisée.

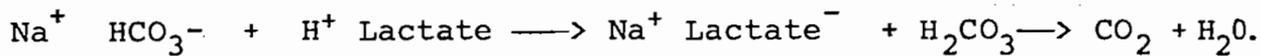
1-1-b) A partir d'un certain seuil, on assiste à une rupture de pente entre  $\dot{V}_E$  et  $\dot{V}CO_2$  d'une part, et  $\dot{V}O_2$  d'autre part.

La pente des droites de ventilation et de rejet de  $CO_2$  est plus élevée que celle de  $\dot{V}O_2$  prouvant que le stimulus

ventilatoire, et le rejet de  $\text{CO}_2$ , ne sont plus uniquement liés à la seule consommation d' $\text{O}_2$ .

Or ce changement de pente survient au moment où l'hyperlactatémie et l'acidose métabolique d'effort s'installent. On peut donc supposer que ce déséquilibre acido-basique est à l'origine d'un rejet supplémentaire de  $\text{CO}_2$  et par conséquent d'une stimulation ventilatoire renforcée.

Cette quantité supplémentaire de  $\text{CO}_2$  provient en effet du tamponnement de l'acide lactique par les bicarbonates selon la réaction :



Ainsi l'augmentation plus rapide de la  $\dot{V}$  à partir du Seuil Anaérobie est la conséquence des deux mécanismes compensateurs de l'hyperlactatémie : production supplémentaire de  $\text{CO}_2$  et prédominance d'ions  $\text{H}^+$  par abaissement de la réserve des bicarbonates plasmatiques.

Cette description simplifiée du seuil anaérobie est tirée des travaux de WASSERMANN et al. ( 27 ).

#### I-2- Application à la détermination de l'aptitude physique

Parmi les nombreux paramètres permettant de cerner l'aptitude physique d'un individu, trois sont fréquemment utilisés :

Le niveau maximal d'effort, W. Max) ; la consommation maximale d'O<sub>2</sub> ( $\dot{V}O_2$  Max) mesurée à ce même niveau, et le seuil anaérobie (SA), palier d'effort où apparaît l'hyperlactatémie.

Nous venons de voir que l'enregistrement simultané de  $\dot{V}O_2$ ,  $\dot{V}_E$  et  $\dot{V}CO_2$ , au cours d'un effort à intensité croissante permet de recueillir ces trois informations : le Seuil Anaérobie pouvant ainsi être déterminé à partir de la seule rupture de pente des paramètres  $\dot{V}_E$  et  $\dot{V}CO_2$  sans qu'il soit nécessaire de procéder à des prises de sang répétées pour doser le lactate produit.

## 2 - LES DIFFÉRENTES MÉTHODES D'ÉTUDE DE L'APTITUDE PHYSIQUE

---

Le développement de la physiologie de l'exercice musculaire a permis de mettre au point des tests d'aptitude physique de plus en plus élaborés : pratiqués chez l'homme sain, sédentaire ou sportif et chez le malade, ils contribuent en recueillant simultanément le maximum de paramètres à cerner les différents aspects physiologiques et physiopathologiques des régulations au cours de l'effort physique.

Ces tests d'effort peuvent être regroupés en trois grandes catégories.

- Effort à puissance constante ou effort rectangulaire :

l'intensité imposée ne variant pas du début à l'arrêt de l'effort.

- Effort à puissance variable, par exemple en créneau ou **SWEET** test (Square Wave Endurance Exercise Test) dont le niveau d'intensité alterne régulièrement, plateaux et pics tous deux définis à l'avance.

- Effort à puissance croissante ou effort triangulaire dont l'intensité croît d'une charge fixe par période définie.

De ces trois types d'effort, le dernier est particulièrement utile pour déterminer au cours d'un même examen la

PMT (Puissance Maximale Tolérée), la  $\dot{V}O_2$  Max et le Seuil Anaérobie (SA).

Au début de notre étude nous avons opté pour une épreuve par paliers, croissants de 50 watts toutes les trois minutes, à l'exemple de certains protocoles européens effectués en position assise.

Bien que la  $\dot{V}O_2$  Max et le seuil anaérobie soient nettement discernables pour l'analyse des données, la mesure de la PMT ou du moins de la puissance maximale aérobie (PMA) restait très imprécise compte-tenu de l'importance excessive de la charge (50 watts) et de la durée trop longue des paliers (Thèse de BOGUI, 1982).

Nous référant au protocole d'effort de K. WASSERMANN ( 29 ), la charge fut ramenée à 25 watts et les paliers à une durée d'une minute : la PMA fut beaucoup mieux cernée (Thèse de YACE, 1984). De plus cette étude nous avait permis de déterminer le Seuil Anaérobie à partir du STT : ce paramètre est le produit de la fréquence cardiaque x la pression systolique, d'où l'appellation anglo-saxonne de Systolic Tension Time.

En revanche, la réduction de la durée de chaque palier donnait une pente croissante d'effort élevé, rendant ce test difficile à effectuer pour les sédentaires et surtout pour les malades qui franchissent rarement le quatrième palier.

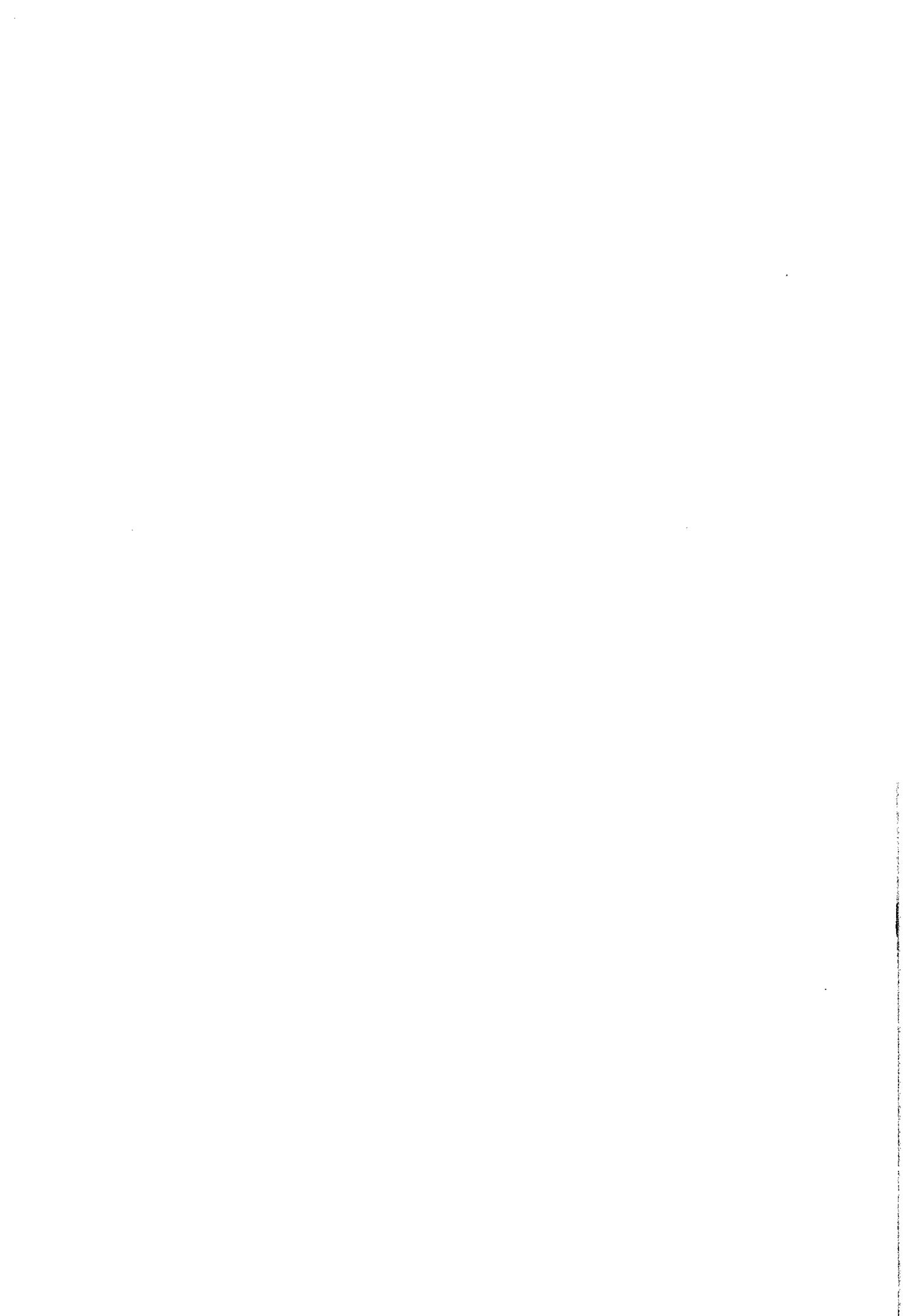
De plus, la durée trop brève de chaque palier ne nous permettait plus d'effectuer à temps la mesure des pressions hémodynamiques cardiaques droites et de prélever le sang veineux mêlé, indispensable pour l'appréciation fine de l'adaptation cardiovasculaire à l'effort, notamment le débit cardiaque selon le principe de Fick. Nous avons ainsi définitivement opté, dans ce protocole d'effort, pour des paliers d'une durée de 2 minutes avec une charge de 15 watts pour les anémiques chroniques, les drépanocytaires et les insuffisants cardiorespiratoires, et de 20 watts pour les sujets non malades, sédentaires ou sportifs.

Quel que soit leur type, tous nos tests d'effort ont été réalisés sur bicyclette ergométrique en décubitus dorsal. Cette modalité de pédalage n'est pas systématiquement adoptée dans tous les laboratoires d'Explorations Fonctionnelles : nous le justifions par la nature et la fréquence des prélèvements que nous souhaitons effectuer pendant l'épreuve. En particulier, l'exploration cardio-vasculaire comporte le recueil d'échantillons sanguins artériels et veineux mêlés et des variables hémodynamiques de la circulation pulmonaire qui imposent la mise en place par voie transcutanée et sous anesthésie locale, de matériel intraveineux (micro-cathéter cardiaque) et artériel (aiguille de Cournand).

La mise en place et surtout le maintien pendant tout l'effort, de ce matériel sur un sujet en décubitus dorsal ne

pose pratiquement pas de problèmes (meilleurs confort et sécurité), à l'inverse de la position assise ou debout. De plus cette position est toujours bien acceptée pour les patients qui la trouvent "adaptée" à leur "état de malade".

Aussi, par souci d'uniformité, cette position a été adoptée pour toutes les catégories de consultants, c'est-à-dire pour les sédentaires, sportifs et malades.



B - BUTS DE NOTRE ETUDE

=====

1) Déterminer de façon qualitative et quantitative les critères d'aptitude physique d'une population de référence.

1-1- De façon qualitative chez chaque individu :

-----

a) par l'étude du profil évolutif de certains paramètres cardio-vasculaires et ventilatoires qui sont :

- la fréquence cardiaque (Fc)
- la ventilation externe ( $\dot{V}E$ )
- la S T T
- le Seuil Anaérobie (S.A.) déterminé respectivement à partir de  $\dot{V}E$  et STT.

b) par l'étude de la reproductibilité de Fc

1-2- De façon quantitative

-----

a) par l'étude des valeurs MAXIMALES obtenues pour les différents paramètres :

- la fréquence cardiaque maximale
- la ventilation externe maximale
- la S T T Maximale.

b) par la recherche de l'influence de la position couchée ou assise sur ces valeurs maximales.

c) par l'appréciation de l'influence de ces mêmes positions sur l'évolution de ces mêmes paramètres au cours du même protocole d'effort.

## CHAPITRE II



- SUJETS
- MATERIEL
- METHODES

## A - LES SUJETS

=====

Notre travail porte sur trente-cinq jeunes ivoiriens de sexe masculin ; la plupart étant en fin d'études médicales ou en début de carrière médicale. Ils sont tous volontaires et motivés pour cette expérience dont ils connaissent le but et acceptent les modalités pratiques.

Les critères de sélection reposent sur le caractère sédentaire de leur mode de vie, à savoir le maintien d'une activité physique faible ou modérée sans prétention de compétition : quelques uns se livrent une à deux fois par semaine à des activités physiques à caractère ludique (football, maracana, footing en groupe), mais la plupart des sujets n'ont que peu ou pas d'activité sportive régulière. L'examen clinique de ces sujets permet d'exclure toute affection respiratoire ou cardiovasculaire. Par ailleurs, aucun sujet retenu n'a d'anomalie sévère de son hémoglobine ; les hémoglobinopathies AC et AS n'ont pas constitué un critère d'exclusion pour notre échantillonnage. Un accent particulier a été placé dans la motivation de ces sujets afin d'obtenir d'eux, des performances optimales : ceci pour pouvoir considérer les valeurs recueillies les plus élevées comme les valeurs maximales physiologiques du groupe.

B - MATERIEL

=====

1 - L'Oxycon Ox - 4 MIJNHARDT

C'est un analyseur à O<sub>2</sub> et à CO<sub>2</sub> doté d'un débit-  
mètre assisté par un ordinateur. Il permet d'obtenir moyennés  
toutes les 30 minutes les paramètres ventilatoires suivants :

a) Les paramètres mesurés

-----

- la ventilation externe  $\dot{V}_E$ , en BTPS\* ;
- le cycle ventilatoire par unité de temps ;
- la fraction d'O<sub>2</sub> dans l'air expiré ;
- la fraction de CO<sub>2</sub> dans l'air expiré ;

b) Les paramètres calculés, rapportés à la minute :

-----

- la consommation d'O<sub>2</sub>,  $\dot{V}O_2$  en litre/mn en STPD\*
- la consommation d'O<sub>2</sub>,  $\dot{V}O_2$  en ml par kg de poids du sujet, STPD.
- la production de CO<sub>2</sub> en litre/mn en STPD\*
- le quotient respiratoire :  $R = \frac{\dot{V}CO_2}{\dot{V}O_2}$
- l'équivalent respiratoire en O<sub>2</sub> :  
$$ERO_2 = \frac{\dot{V}_E}{\dot{V}O_2}$$
- le pouls d'O<sub>2</sub> :  $\frac{\dot{V}O_2}{F_c}$

- la fréquence respiratoire (FR) : nombre de cycles/minute.

\* BTPS et STPD sont les conditions de mesure des gaz en physiologie respiratoire. Les conditions physiques dans lesquelles se trouve le gaz dans les poumons sont dites BTPS (Body Temperature Pressure Saturated). Les conditions physiques normales ou standard dans lesquelles s'exprime un volume gazeux sont dites STPD (Standard Temperature Pressure Dryness).

2 - Une imprimante incorporée à l'Oxycon, transcrit toutes  
-----

les 30 secondes la moyenne de tous les paramètres mentionnés ci-dessus.

3 - Le Sphygmomanomètre mercurex carrier  
-----

Il permet de recueillir par méthode auscultatoire, la tension artérielle humérale et principalement la pression systolique pendant le déroulement du protocole.

4 - Le bicycle ergométrique "Gould Goudart BV" type 18070  
-----

Landoy  
-----

Il permet d'imposer une charge variable de 0 à 200 watts ou 0 à 400 watts selon les échelles et avec des variations minimales de 5 watts. Ces variations minimales de puis-

sance sont obtenues à l'aide d'un sélecteur de puissance qui lui est connecté. La réponse est presque immédiate avec une précision de 1%. La charge réelle correspond à la charge lue, pour des vitesses de rotation de 60 tours par minute (Rpm) ; le système de freinage est de type électromagnétique. Le bicycle peut permettre de réaliser les tests d'effort avec les membres inférieurs, en position ASSISE ou COUCHEE.

#### 5 - Le sport - tester PE 2500

C'est un cardio-fréquencemètre miniaturisé, à intégration automatique. Il comprend :

- un émetteur électronique de pulsations,
- une ceinture comportant des électrodes
- un récepteur micro-ordinateur sous forme de bracelet-montre.

Quatre fonctions sont disponibles :

- horaire
- chronomètre
- mesure de la fréquence cardiaque
- mémoire

Une touche permet de sélectionner le mode de fonctionnement désiré. Quand il est sélectionné sur le mode fréquence cardiaque, chaque pulsation apparaît sur le cadran ce qui permet un contrôle visuel du signal et si nécessaire son comptage.

## 6 - Reglage des appareils

Le réglage constitue le premier temps de la manipulation et il est effectué avant tout enregistrement. Il consiste à l'étalonnage de chaque appareil de mesure et à s'assurer de la transcription graphique correcte.

a) On procède d'abord à l'étalonnage de l'Oxycon Ox-4 : dès que l'appareil est branché, l'ordinateur est mis au programme de "calibrage" on effectue alors successivement :

- le calibrage de l'analyseur d'O<sub>2</sub>. Il doit alors apparaître 20,9% pour l'air ambiant,

- le calibrage de l'analyseur CO<sub>2</sub> : il doit alors apparaître la valeur 00,°° pour l'air ambiant. On vérifie l'étalonnage avec un gaz comme échantillon gazeux témoin de composition connue. Après ce calibrage on procède alors à la rentrée des données suivants au moyen des touches init/start.

- la date

- le numéro du sujet

- l'âge en année

- le sexe

- la taille en cm

- la surface corporelle en m<sup>2</sup>

- le poids en kg

- la pression atmosphérique.

- la fraction d'O<sub>2</sub> expiratoire
- la consommation minimale d'O<sub>2</sub> au repos.

finalement la touche "enter" permet à l'imprimante d'entrer en action.

L'appareil est maintenant au programme de mesure. Ces mesures s'effectuent toutes les 30 secondes ou 60 secondes selon l'ordre reçu par l'ordinateur.

La touche "stop" permet d'arrêter l'imprimante ;  
La touche "start" la remet en marche.

L'oxycon Ox-4 a donc des possibilités multiples mais pour des raisons techniques déjà évoquées nous ne rendrons compte que de la ventilation externe.

#### b) Le cardio-fréquencemètre

-----

Le sport-tester PE 2500 est d'une grande maniabilité car il est automatique et sans liaison extérieure par fil. Il est sélectionné sur le mode de fréquence cardiaque au moyen d'une touche.

## C - METHODE

=====

### 1) Plan d'exécution du protocole

Ce tableau 1 indique en détail les opérations simultanées à effectuer pour l'expérimentateur au cours des phases de repos et d'effort. Il est reporté sur une feuille quadrillée. Sur la ligne horizontale figure la nature des paramètres à recueillir. Ainsi de gauche à droite sont inscrits :

- la fréquence cardiaque
- la pression artérielle
- le systolic tension time = STT
- la ventilation externe
- la production de gaz carbonique
- la consommation d'O<sub>2</sub>
- le travail en watts/kg
- l'équivalent respiratoire
- le pouls d'O<sub>2</sub>

Les colonnes verticales indiquent les différents paliers en watt. Chaque palier multiple de 20 dure 2 minutes. Au cours de l'effort, la fréquence cardiaque et la pression artérielle systolo-diastolique sont relevées à la 45ème seconde de la dernière minute de chaque palier par l'opérateur tandis que les paramètres ventilatoires sont relevés toutes les 30 secondes par l'imprimante.

2) Préparation du sujet

Le sujet est convoqué dans le service à 8 heures en tenue de sport comportant :

- un maillot de corps
- un short
- une paire de chaussures de sport (basket ou tennis).

Le sujet est alors installé sur bicyclette ergométrique. Pour le test couché, la bicyclette ergométrique est placée de manière à permettre un pédalage horizontal. Au moment de l'effort, les pieds sont fixés dans les cales-pieds doublés pour des attaches talonnières. Les mêmes modalités sont respectées pour le test en position assise.

a) Branchement du sujet sur l'Oxycon Ox-4

Le sujet respire à travers un embout buccal relié à un système de double circuits protégés par des valves unidirectionnelles : l'une inspiratoire, l'autre expiratoire. Ainsi le sujet inspire l'air ambiant et l'air expiré parvient à l'analyseur par le circuit expiratoire. Un pince-nez assure l'occlusion nasale.

b) Recueil de la fréquence cardiaque et de la  
pression artérielle

L'émetteur du sport-tester et sa ceinture sont fixés autour du thorax, les électrodes placées en regard des

foyers mitral et tricuspideen. La fréquence cardiaque s'affiche automatiquement sur le récepteur placé à côté de l'opérateur. Quant à la pression artérielle, elle est prise au brassard par méthode auscultatoire.

### 3) Déroulement de l'expérience

Il impose la présence constante de deux personnes aux fonctions bien définies.

- l'une d'elles se charge de vérifier le bon fonctionnement de l'Oxycon, de manipuler l'ergomètre et de superviser le bon déroulement de l'épreuve.

- l'autre mesure la tension artérielle et relève sur une feuille cette valeur ainsi que celle de la fréquence cardiaque à chaque minute.

### 4) L'expérience proprement dite

Elle a lieu en salle climatisée, la température ambiante étant de 22 degrés C°, et l'hygrométrie relative de 55%.

\* Le recueil des paramètres de repos, est effectué pendant dix minutes au minimum. Les conditions de repos sont jugées sur la stabilité de la fréquence cardiaque, de la

pression artérielle et de la ventilation externe pendant au moins quatre minutes consécutives, puis les pieds des sujets sont attachés aux pédales du bicycle ergométrique.

\* Le recueil des paramètres à l'effort commence par une période d'échauffement dite de pédalage à vide (PAV) c'est-à-dire sans résistance (ergomètre en position zéro watt) à une vitesse de 60 tours/minute. La puissance sera majorée de 20 à 20 watts toutes les 2 minutes jusqu'à l'arrêt de l'effort par épuisement (volitional fatigue des anglosaxons) d'où le terme, souvent utilisé, d'effort exhaustif. Les mêmes paramètres qu'au repos, sont recueillis en enregistrement en continu pendant toute cette période.

L'épreuve est réalisée trois fois, à cinq jours d'intervalle en moyenne, toujours le matin entre neuf heures et midi. Les deux premières séances sont effectuées par tous les sujets en décubitus dorsal. Par contre, pour des raisons techniques, seulement 22 des 35 sujets ont été soumis à la troisième épreuve qui est exécutée en position assise.

#### Exploitation statistique des données

Pour apprécier la relation existant entre certains paramètres nous avons eu recours aux équations de régression linéaire avec détermination du coefficient de corrélation "r". Pour évaluer dans notre échantillonnage un changement significatif des valeurs obtenues entre les différents passages, nous avons utilisé le Test T non paramétrique de Wilcoxon du fait que notre effectif était inférieur ou proche de trente.

C H A P I T R E    I I I    : RESULTATS

=====

A -	DONNEES ANTHROPOMETRIQUES . . . . .	p.27
B -	ETABLISSEMENT GRAPHIQUE . . . . .	p.28
C -	RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LA FC . . .	p.33
D -	RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LE VÈ . . .	p.38
E -	RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LE STT . . .	p.42

NB : Toutes les valeurs des sujets sont représentées sous forme de dossiers individuels groupés en annexe.

## R É S U L T A T S

=====

### A- GENERALITES ET DONNEES ANTHROPOMETRIQUES DES SUJETS.

Nous rappelons en préalable à la description des résultats, que, pour des raisons techniques, seulement 22 des 35 sujets explorés en position couchée ont pu réaliser le protocole d'effort en position assise. Ceci amène à la constitution de deux groupes, l'un de 22 sujets l'autre de 35 sujets, le premier étant issu du second.

Les caractéristiques biométriques de ces 2 groupes sont reportées dans le tableau n° 2. L'analyse statistique ne révèle aucune différence significative pour chacun des paramètres biométriques. Ceci suggère donc que le groupe des 22 sujets est bien représentatif de l'ensemble des 35 sujets. Cependant, nous présenterons par prudence, pour chaque tableau de valeurs, les moyennes et écarts-types des différents paramètres étudiés pour les deux groupes de sujets, en signalant leur éventuelles différences significatives par un astérisque.

Les résultats seront abordés selon les 3 situations suivantes :

- d'abord ceux de la position couchée
- ensuite ceux de la position assise
- enfin la comparaison des résultats des 2 situations précédentes, permettant de juger de l'effet positionnel.

Pour chacune de ces 3 situations, nous envisagerons tour à tour la description des renseignements fournis par la fréquence cardiaque, la Ventilation Externe et le Temps de Tension Systolique (STT). L'analyse de ces paramètres rendra compte de leur profil évolutif et de leurs valeurs maximales.

B - ETABLISSEMENT DES GRAPHIQUES : PROBLEME POSE PAR LA  
DELIMITATION DES PALIERS D'EFFORT :

L'analyse de la FC, de la ventilation externe et du STT est, en premier lieu, effectuée à partir du profil évolutif de ces paramètres en fonction de la puissance imposée. Nous avons indiqué, dans le chapitre "méthodologie", que l'intensité de l'effort s'élevait toutes les 2 minutes d'une charge fixe de 20 watts, quel que soit le poids du sujet : cette charge fixe nous était imposée par la faible précision de notre sélecteur de charge gradué de 5 en 5 watts. En conséquence, il nous était impossible de choisir une charge fixe, rapportée au poids corporel, identique pour tous les sujets, solution idéale qui nous aurait permis d'imposer rigoureusement la même pente de charge à l'ensemble du groupe. Or, la pente de charge influence grandement la durée de l'épreuve d'effort :

dans notre travail, les sujets à poids élevé ont une pente de charge faible, ce qui majore artificiellement le temps de l'épreuve par rapport à celui des sujets de poids plus léger.

Ainsi, lorsque l'on tient compte simplement de la valeur brute de la puissance imposée, ou bien lorsqu'on la rapporte au poids corporel des sujets, la durée de l'épreuve apparaît significativement liée au poids du sujet. Pour les 35 sujets, l'équation de la droite de régression est de la forme

$$Y = 8,29 + 0,14 x \quad \text{avec } r = 0,4172 \quad (p < 0,05)$$

pour  $y$  = temps en minutes

$x$  = poids en kg.

Or, s'il est admis que la durée d'une épreuve est d'autant plus longue que le sujet est apte, en revanche on ne peut admettre que le poids soit un critère d'aptitude physique, c'est ce qui apparaît cependant lorsque l'on définit incorrectement les dimensions de comparaison.

Ainsi, les sujets 16 et 27 vont nous permettre d'illustrer cet argument : ces sujets ont respectivement une durée d'épreuve de 20 minutes et de 16 minutes, et des puissances maximales tolérées (PMT) de 200 watts et de 160 watts. Le sujet 16 semble être plus apte que le sujet 27. En fait, lorsque l'on rapporte la PMT au poids corporel les valeurs de PMT sont respectivement de 2,7 watts  $\text{kg}^{-1}$  et de 2,91 watts  $\text{kg}^{-1}$ , le sujet n°16 pesant 75 kg contre 55 pour le sujet n°27. Ainsi, après correction par le poids corporel, c'est le sujet 27 qui est en définitive plus apte que le sujet 16.

Cet exemple montre ainsi qu'il est illicite de comparer sur une colonne d'un tableau, ou de placer dans un même intervalle de puissance sur un graphique, la fréquence cardiaque respective de ces 2 sujets pour tous les paliers communs de puissance que celle-ci soit exprimée en valeur absolue ou secondairement rapportée au poids corporel du sujet. Ainsi par exemple, à 160 watts, la comparaison de leur FC respective conclurait à mettre en rapport une valeur maximale (celle du sujet 27) avec une valeur nettement sous maximale (celle du sujet 16), [respectivement 100% et 80% de leur  $PMT_{\bar{7}}$ ]. De même, la représentation graphique qui consiste à cumuler les valeurs de tous les sujets pour chaque palier de puissance brute procède de la même erreur.

Une telle exploitation à pour conséquence :

- \* un élargissement de l'écart-type autour de la valeur moyenne du paramètre étudié pour chaque palier,
  
- \* un affaiblissement de l'effectif des valeurs maximales en fin de tracé dû à leur dispersion dans les paliers sous-maximaux, comme l'illustre le Tableau n°2'

pour limiter les écueils liés à l'utilisation inévitable d'une charge fixe, nous avons rapporté préalablement toutes nos puissances au poids corporel.

L'étude au hasard de FC,  $\dot{V}E$  et STT pour une puissance  $kg^{-1}$  donnée, montre que les valeurs atteintes pour ces paramètres sont indépendantes du temps.

Ainsi Fc Max =  $143,6 + 1,23$  temps de l'épreuve  
en minute.

r = 0,2494      NS

n = 34.

Ce résultat suggère que le handicap créé par la différence de pente à laquelle sont soumis les sujets est largement compensée par la durée relativement longue de nos paliers.

Autrement dit, malgré les différences de pente de charge, les valeurs atteintes pour un palier donné exprimé en  $W.kg^{-1}$  par la fréquence cardiaque sont tout à fait comparables, les différences observées ne relevant pas du protocole mais plutôt de l'aptitude physique de chaque sujet. C'est pourquoi nous avons délimité des intervalles de puissance arbitrairement choisis, s'excluant mutuellement, et couvrant entièrement toute la gamme de puissance après avoir au préalable réparti les valeurs des paramètres étudiés en fonction de la puissance. La délimitation des intervalles exprimés en  $Watt.kg^{-1}$  ne s'est pas faite au hasard. Elle a tenu compte du poids moyen du groupe, délimitant ainsi des intervalles de 20 watts/66 kg soit  $0,30 W.kg^{-1} \pm 15$ .

Ainsi 11 intervalles ont découpé régulièrement l'axe des abscisses permettant de comparer les valeurs de FC, VE et STT pour des niveaux d'effort réellement comparables. Ceci a permis d'améliorer sensiblement la répartition des effectifs notamment en fin de tracé, condition indispensable pour juger correctement du profil évolutif des valeurs sous-maximales et maximales des différentes paramètres étudiés en fonction de la puissance imposée figure 2C.

En conclusion, cette réflexion sur le problème de la détermination des paliers que l'on voudra imposer au sujet montre que cette dernière doit être effectuée après et non avant d'avoir exprimé la puissance en  $\text{Watt kg}^{-1}$ . (Tableau 2A).

#### C-RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR L'ETUDE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE

- 1) Au cours des épreuves en position couchée : 1er passage ( $C_1$ ) et 2ème passage ( $C_2$ ).

Description de la relation FC/Puissance.  
-----

Lors des 2 passages successifs  $C_1$  et  $C_2$ , la fréquence cardiaque évolue chez tous les sujets de façon proportionnelle à la puissance imposée. Cette linéarité est illustrée par les tracés individuels et par les excellents coefficients de corrélation des droites individuelles de régression linéaire établis à partir de la relation Fréquence Cardiaque (Y) en battements par minute/Puissance imposée rapportée au poids corporel (x) donc en  $\text{W. kg}^{-1}$ .

Les valeurs moyennes des pentes, des ordonnées à l'origine et des coefficients de corrélation, obtenues à partir des équations de droite individuelles au cours de chaque passage sont reportées au tableau n°3. Elles montrent un coefficient de corrélation moyen de  $0,986 \pm 0,016$  au premier passage, et de  $0,987 \pm 0,013$  au deuxième passage. Compte tenu de

la linéarité, vérifiée, de la relation pour tous les sujets nous avons représenté le profil évolutif de cette relation FC/Puissance pour l'ensemble des 35 sujets (Figures N°1 et 2) et pour le groupe de 22 sujets (Figures n° 3 et 4).

L'équation de régression linéaire de l'ensemble des 22 sujets pour chaque passage est reportée au tableau n°4. On constate ainsi que leurs expressions sont très proches de celles obtenues avec la moyenne respective des pentes, ordonnées à l'origine et coefficient de corrélation des équations individuelles de régression linéaire.

Cependant, si l'ensemble du tracé est globalement linéaire, les figures 1, 2, 3 et 4 montrent que la relation fréquence/puissance imposée s'infléchit en fin de tracé, révélant une tendance un plafonnement de la fréquence cardiaque en fin d'effort.

La comparaison des équations de droite ne révèlent aucune différence significative entre le premier et le deuxième passage. En revanche, au niveau des valeurs maximales, la PMT du 2ème passage est significativement plus élevée que celle du 1er passage.

Les valeurs respectives de PMT de  $2,62 \text{ W.kg}^{-1}$  en  $C_1$  et de  $2,72 \text{ W.kg}^{-1}$  en  $C_2$  pour  $n = 22$  montrent qu'un sujet sur trois a réalisé un palier supplémentaire lors du 2ème passage.

Les FC atteintes lors des 2 passages  $C_1$  et  $C_2$  ne présentent pas, globalement, de différence significative. Cependant, la reproductibilité de la FC Max entre les deux positions répond à l'équation d'identité :

$$FC \text{ Max } C_2 = 0,54 FC \text{ Max } C_1 + 71,4$$

$$\text{avec } r = 0,5812 \text{ pour ddl} = 34.$$

De même, les reproductibilités de la fréquence cardiaque de repos et de la différence FC Max - FC repos sont du même ordre de gradient que celles de la FC Max. En effet, elles répondent respectivement aux équations de droite.

$$FC \text{ Repos} = 0,85 FC \text{ Repos } 1 + 7,97$$

$$\text{avec } r = 0,7417 \text{ pour } n = 34.$$

$$\Delta FC_2 = 0,64 \Delta FC_1 + 37$$

$$\text{avec } r = 0,6535 \text{ pour } n = 34.$$

Ces coefficients de regression montrent une certaine variabilité de la FC dans ces expressions maximales (FC Max et  $\Delta FC$ ), contrastant avec l'absence de différence significative entre les valeurs moyennes :

$$FC_{1_{\text{Max}}} = 163,9 \pm 11,8 \quad \text{et} \quad FC_2 \text{ Max} = 165 \pm 11,6, \text{ NS}$$

$$\Delta FC_1 = 95,2 \pm 15,5 \quad \text{et} \quad \Delta FC_2 = 98,3 \pm 15,3, \text{ NS}$$

malgré la reproductibilité globale du comportement de la FC/ Puissance imposée.

2) Au cours de la position assise - Effet Positionnel de la  
-----  
relation FC/puissance.

Le profil morphologique décrit en position couchée est similaire à celui rencontré en position assise, comme le montrent les figures 4, 5 et 15.

Leurs droites de régression respectives sont :

Position couchée:

$$FC = 29,2 \quad (w.kg^{-1}) \quad + \quad 82,2$$

Position assise :

$$FC = 30,7 \quad (w.kg^{-1}) \quad + \quad 88,9.$$

- On constate qu'il n'y a pas de différence statistique entre leur pente, ce qui confirme la similitude des profils morphologiques ;
  
- par contre il existe une différence statistique entre leur ordonnée à l'origine : le groupe en position assise présente une fréquence cardiaque systématiquement plus élevée dès le 1er palier d'effort et ce, pendant tout le déroulement de l'exercice ( cf Fig. 15 ).

3) Valeurs Maximales

- La FC Max des positions couchées ne sont pas significativement différentes. (Tableau n°5).

Par contre la FC Max en position assise est significativement plus élevée que la FC Max en position couchée.

(Test de WILCOXON).

D- ETUDE DE LA VENTILATION EXTERNE

=====

1°) FIABILITE DANS LA DETERMINATION DU SEUIL ANAEROBIE

Le changement de pente de la  $\dot{V}E$  qui permet d'objectiver la survenue du seuil anaérobie (SA) est retrouvé dans 100% des cas sur les tracés individuels quelle que soit la position du sujet. La valeur moyenne de la puissance à laquelle survient le changement de pente pour les mêmes 22 sujets est de : (cf Tableau n° 6).

-  $1,27 \pm 0,37 \text{ W.kg}^{-1}$  en position couchée 1er passage ( $C_1$ ) :  
donc à  $48\% \pm 12\%$  de la PMT.

-  $1,45 \pm 0,39 \text{ W.kg}^{-1}$  en position couchée 2ème passage ( $C_2$ ) :  
 $53\% \pm 15\%$  de la PMT

-  $1,52 \pm 0,38 \text{ W.kg}^{-1}$  en position assise soit  
 $54\% \pm 12\%$  de la PMT.

Le test de comparaison des moyennes fait apparaître une différence statistiquement significative,  $p < 5\%$ , entre le SA en position couchée (1er passage) et sa détermination en position assise.

En revanche aucune différence significative n'est observée entre le 2ème passage, couché, et la position assise.

On remarque par ailleurs que la valeur moyenne de SA obtenue par la détermination graphique pour l'ensemble du groupe est différente de la moyenne des seuils anaérobies individuels.

Cette approximation graphique n'a donc de valeur que pour révéler un changement de pente au sein du profil évolutif global de la relation  $\dot{V}E$ /Puissance de l'ensemble du groupe. En revanche, il ne permet pas de donner une indication numérique précise sur le niveau de puissance auquel il survient, mais constitue une bonne approche globale de la question.

## 2°) REPRODUCTIBILITE DANS LA DETERMINATION DU SEUIL ANAEROBIE

Le reproductibilité de la relation  $\dot{V}E$ /Puissance est bonne pour l'ensemble du groupe, comme le révèlent les figures 7, 8 et 9.

Cependant, au niveau individuel, l'examen des 3 passages successifs révèle un déplacement du seuil anaérobie d'un passage à l'autre. Sachant que la détermination du SA est faite à partir de critères graphiques nous admettons que la reproductibilité est :

Excellente lorsque le déplacement du seuil anaérobie est inférieur à  $0,15 \text{ W.kg}^{-1}$ , soit une erreur  $\leq 10\%$  dans la détermination du seuil. Ceci représente dans notre échantillonnage une imprécision respectivement de 6%, 5,5% et 5,3% de la PMT à laquelle le seuil anaérobie est reporté à chaque passage (2 fois couché 1 fois assis).

Correcte lorsque la fluctuation est comprise entre  $0,16$  et  $0,45 \text{ W.kg}^{-1}$ , soit une erreur comprise entre 10 et 30% de la mesure.

Elle représente alors une imprécision maximale respectivement de 17% ; 16,5% et de 16% pour chacun des passages  $C_1$ ,  $C_2$  et assis.

Enfin Mauvaise lorsque l'écart excède  $0,46 \text{ W.kg}^{-1}$ .

Le tableau n° 7 montre que nous obtenons une reproductibilité :

— Excellente dans 27% des cas entre SA  $(\dot{V}E) C_1$  et SA  $(\dot{V}E) C_2$  et dans 32% des cas entre SA  $(\dot{V}E) C_2$  et SA  $(\dot{V}E) A$

— Correcte dans 54% des cas entre SA  $(\dot{V}E) C_1$  et SA  $(\dot{V}E) C_2$  d'une part, dans 50% des cas entre SA  $(\dot{V}E) C_2$  et SA  $(\dot{V}E) A$  d'autre part.

— Mauvaise dans 18% des cas aussi bien entre les positions couchées qu'entre SA  $(\dot{V}E)^{C_2}$  et SA  $(\dot{V}E)^A$ .

### 3) Valeurs maximales

-----

Le tableau n° 5 des moyennes des valeurs maximales obtenues chez les 22 sujets montre que la ventilation externe atteint des valeurs élevées de l'ordre de :

$$1,14 \pm 0,20 \text{ l.kg}^{-1} \text{ en } C_1$$

$$1,19 \pm 0,23 \text{ l.kg}^{-1} \text{ en } C_2$$

$$1,23 \pm 0,27 \text{ l.kg}^{-1} \text{ en } A.$$

Le test des différences des moyennes montre l'absence de toute signification statistique pour les fluctuations observées lors des déterminations en position couchée ou assise.

Ces valeurs maximales peuvent être comparées aux valeurs théoriques de la Ventilation Maxima Minute que l'on peut déterminer à partir de la relation  $VMM_{th} = VEMS_{Théorique} \times 37$  où VEMS est le Volume Expiratoire Maximum qu'un sujet normal peut rejeter en 1 seconde, et 37 la fréquence maximale avec laquelle ce même sujet peut hyperventiler pendant 1 minute. La valeur à laquelle nous aboutissons, compte-tenu des caractères biométriques de notre population, est tirée de nos normes ivoiriennes soit :  $1,780 \pm 0,20 \text{ l.kg}^{-1}$  pour 22 sujets, et  $1,772 \pm 0,19 \text{ l.kg}^{-1}$  pour 35 sujets.

Ainsi lors des mesures effectuées soit en position couchée, soit assise, notre groupe utilise entre 62 et 69% de sa Ventilation Maximale Minute : différence non significative, et qui prouve que les sujets sont encore loin de leurs possibilités maximales, leur  $\dot{V}E$  n'est pas un facteur limitant !

#### E- RENSEIGNEMENTS FOURNIS PAR LE STT

=====

##### 1°) FIABILITE DE LA DETERMINATION DU SEUIL ANAEROBIE :

Le changement de pente du STT en fonction de la puissance n'est pas retrouvé de façon systématique chez tous les sujets. En effet, l'analyse des tracés individuels représentant la relation STT/Puissance met en évidence un changement de pente dans le groupe des 22 sujets, que :

- 15 fois soit dans 68% des cas en  $C_1$
- 16 fois soit " 73% " " en  $C_2$
- 15 fois soit " 68% " " A

Le STT ne permet donc la détermination du seuil anaérobie en moyenne que 2 fois sur 3. Il ne peut donc pas être retenu comme un paramètre fiable dans la détermination du seuil anaérobie, du moins dans le protocole de notre étude qui, nous le soulignons à nouveau, comportait des paliers d'effort de 2 minutes.

Cette conclusion est confirmée par l'analyse du profil évolutif global de la relation  $STT/W.kg^{-1}$  qui ne révèle pas de changement de pente.

## 2°) REPRODUCTIBILITE DE LA DETERMINATION DU SEUIL ANAEROBIE

Dans le groupe des 22 sujets, le changement de pente est authentifié de façon simultanée :

- 13 fois en  $C_1$  et  $C_2$
- 10 fois en  $C_1$   $C_2$  et A.

Donc lorsque ces 22 sujets effectuent 3 épreuves triangulaires comparables, la détermination du SA à l'aide de l'inflexion de la courbe de STT peut être obtenue au moins 1 fois dans 66% des cas.

Le tableau 7 révèle que la reproductibilité, lorsqu'elle existe, est, selon les critères énoncés pour la Ventilation Externe :

- Excellente dans 38% des cas entre C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> et dans 42% des cas entre C<sub>2</sub> et A.

- Correcte dans 54% des cas entre C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> et dans 50% des cas entre C<sub>2</sub> et A.

- Mauvaise dans 8% des cas entre C<sub>1</sub> et C<sub>2</sub> et entre C<sub>2</sub> et A.

La reproductibilité de la détermination du Seuil Anaérobie, est donc acceptable, lorsqu'elle existe, dans 92% des cas.

### 3°) LES VALEURS MAXIMALES DE STT

Le tableau général des valeurs maximales indique que le STT moyen en fin d'épreuve est dans le groupe des 22 sujets, de :

- 34800  $\pm$  4800 en C<sub>1</sub>

- 34720  $\pm$  3800 en C<sub>2</sub>

- 38000  $\pm$  4000 en A.

Le test des différences de moyenne ne montre aucune différence entre ces valeurs suggérant que la sollicitation cardiaque a été la même au cours des trois passages.

CHAPITRE IV



DISCUSSION

Examinons à présent les différentes informations apportées par l'analyse des paramètres dont nous venons de décrire l'évolution générale au cours de notre protocole d'effort à paliers d'intensité croissante.

Nous discuterons successivement les résultats de :

- la Fréquence Cardiaque
- la Ventilation Externe
- le S.T.T.

Dans notre protocole on retrouve l'évolution caractéristique de la fréquence cardiaque en fonction de la puissance imposée décrite dans la littérature chez les sujets sédentaires : linéarité jusqu'aux paliers sous maximaux où la droite s'incurve et devient parallèle à l'axe des abscisses. ( 1B' ).

Le segment linéaire qui regroupe les 9 premiers paliers de notre protocole, soit 80% de l'épreuve totale, est défini par une équation de droite, spécifique de chaque passage.

Dans notre étude, les équations de droite calculées lors de chaque passage révèlent une pente de droite globale semblable lors des 3 épreuves. Cette pente témoigne de l'intensité avec laquelle le protocole d'effort suscite la sollicitation cardiaque. Elle permet donc de définir le degré d'aptitude physique moyenne du groupe (1C). La faible variation des pentes d'un individu à l'autre montre l'homogénéité relative de notre échantillonnage au plan de l'aptitude physique, nous permettant de considérer notre groupe de sujets comme un groupe de référence . Leur performance modeste les classe bien dans la catégorie des sédentaires ( 1B ).

D'autre part puisque l'aptitude physique d'un individu est une constance relative dans le temps, la valeur de cette pente se devait d'être retrouvée non modifiée par le changement de position. Par contre, la valeur de l'ordonnée à l'origine subit des fluctuations inter-individuelles importantes. (cf tableau 3 ).

Cette ordonnée à l'origine reflète, à notre sens, l'état d'entraînement du sujet ayant une aptitude physique donnée. On sait, en effet, que l'entraînement s'accompagne d'une réduction de la fréquence cardiaque pour tous les paliers d'effort (1A) mais ne modifie pas ou peu la pente de la relation FC/P. Nous allons illustrer cette hypothèse en individualisant 2 sujets de notre étude, l'un ayant une activité physique régulière, l'autre une inactivité chronique ! Les n° 13 et 3 correspondent parfaitement à cette situation. L'examen de leur équation de droite montre :

- Pour le sédentaire peu actif (n°3)  $FC = 30,5 W.kg^{-1} + 97$

- Pour le sédentaire très actif (n°13)  $FC = 32,8 W.kg^{-1} + 64,3$

On rappelle que l'équation de droite moyenne de l'ensemble du groupe est de :

$FC = 30,04 W.kg^{-1} + 82,4$  avec un intervalle de confiance de 14,5 battements par minute.

On voit donc que le sujet n°3 se situe juste au-dessus de la limite supérieure de la zone de confiance du fait de son ordonnée à l'origine élevée à 97 [ $>82,4 + 14,5$ ] et de sa pente identique à celle de l'ensemble du groupe. Au contraire, l'ordonnée à l'origine basse à 64,3 b.min<sup>-1</sup> du sujet n°13 pour une pente semblable à celle du groupe, maintient sa relation FC/P au-dessous de la limite inférieure de l'intervalle de confiance.

La situation graphique de cette relation par rapport à l'évolution de l'ensemble du groupe est révélatrice de l'état de la condition physique de ce sujet. Au total, pour un sédentaire réalisant notre protocole, la simple représentation de son équation de régression linéaire sur le graphique comportant l'évolution de référence de notre groupe pour la relation FC/P permet de juger rapidement la condition physique du sujet.

L'application directe de cette conclusion concerne les patients anémiques, drépanocytaires, et atteints d'effection cardio-respiratoire dont on veut effectuer un bilan fonctionnel dans le cadre d'une mise à jour de leur état clinique ou dans celui d'un bilan préopératoire. L'évolution de la relation FC/P à partir de notre protocole fournira des renseignements précieux sur ce bilan fonctionnel en permettant d'apprécier l'importance de la modification éventuelle de cette relation grâce aux 2 critères qui sont :

- la valeur de la pente de la droite, normalement égale à  $29,65 \pm 5,02$  , dont la hausse traduit l'inaptitude physique du sujet. (cf Tableau 3).
- la valeur de l'ordonnée à l'origine normalement de  $82,4 \pm 14,5$  dans notre groupe de référence, d'autant plus élevée que le sujet est en mauvaise condition physique.

Ainsi, l'expression de cette relation calculée dans un groupe de 3 sujets drépanocytaires SS de même tranche d'âge ayant subi le même protocole est de la forme :

$$FC = 37,8 W.kg^{-1} + 89,1 \quad r = 0,8817 \text{ pour ddl} = 12.$$

Il semble donc que ces sujets drépanocytaires réalisent notre protocole avec une inaptitude physique relative traduite par la valeur élevée de la pente 37,8 pour  $N=30,04$ . Par contre, leur ordonnée à l'origine est subnormale, témoignant d'un état de condition physique de ces sujets dont l'exploration a été faite à distance de toute crise vaso-occlusive. Une étude similaire de plus grande envergure est actuellement en cours d'exploitation chez des sujets anémiques masculins de même tranche d'âge.

Enfin une étude en cours d'exploitation réalisée avec un protocole en décubitus de 25 watts chaque minute par J.LONSDORFER, P.BOGUI, A.LONSDORFER, C.DAH, B.PIGEARIAS et I.SOFO montre le même décalage de l'ordonnée à l'origine dans 3 groupes d'aptitude physique différente ; d'où la relation FC fonction de  $W.kg^{-1}$  chez :

6 SPORTIFS	20,97 (W) + 82,7
11 SEDENTAIRES	20,30 (W) + 95,2
7 DREPANOCYTAIRES SC	20,09 (W) + 101,5

Les 3 équations de droite respective des 3 passages couché 1, couché 2 et assis ont, nous l'avons vu, une expression de leur équation de droite relativement similaire, à l'ordonnée à l'origine près. Celle-ci est significativement plus élevée en position assise qu'en position couchée. Par principe, pour la comparaison assis-couché, nous ne retiendrons que le 2ème passage de la position couchée car bien que l'effort soit reproductible dans cette position, la performance réalisée au 2ème passage est meilleure. Nous attribuons ce résultats au fait que le sujet connaissait alors le protocole éliminant la

composante émotive liée à la découverte du protocole en  $C_1$ ; compte tenu que l'effort en position assise a toujours été réalisé après les positions couchées, les conditions d'effort de  $C_2$  et de A nous paraissent similaires.

L'élévation de l'ordonnée à l'origine observée chez tous les sujets lors du passage en position assise ne traduit pas une baisse relative de l'aptitude physique à réaliser l'épreuve par rapport à la position couchée. En effet, BEVEGARD et al. ont montré que tant chez le sédentaire (10) que chez le sportif (2), la position assise entraîne un réaménagement des facteurs d'adaptation cardiovasculaires et hémocirculatoires à l'effort par rapport à la position couchée. Ce réaménagement se manifeste par le développement, pour un même niveau d'effort, d'un index cardiaque plus bas en position assise. Celui-ci est assuré paradoxalement par une fréquence cardiaque plus élevée du fait d'un volume d'éjection systolique plus faible qu'en position couchée.

L'équation générale de la relation FC/P du groupe en position assise est de la forme.

$$FC = 29,36 W.kg^{-1} + 90,4$$

L'équation du sujet  $n = 13$  obtenue lors de la réalisation de l'effort dans cette position

$$FC = 33,36 W.kg^{-1} + 66,1$$

montre que le critère de l'état de forme de ce sujet, à savoir une ordonnée à l'origine basse, est bien retrouvé conformément à celui identifié en position couchée.

La curvilinearité de la relation FC/P en fin d'effort est également décrite par certains auteurs ( 1B ) qui la juge spécifique des sujets non entraînés. Cette évolution reflèterait une inaptitude du coeur à produire au palier d'effort exhaustif une augmentation supplémentaire du débit cardiaque, notamment par le biais d'une augmentation du volume systolique (ANDERSEN 1A).

Dans cette situation où la fréquence cardiaque avoisine 180 battements par minute, l'élévation de la FC est contrebalancée en grande partie par la baisse du volume d'éjection systolique du fait d'une réduction du temps et du volume du remplissage ventriculaire (23). Un élargissement supplémentaire de la différence artériovoineuse en  $O_2$  assurerait le maintien ou l'élévation de la  $\dot{V}O_2$  proche des valeurs maximales.

Quoi qu'il en soit, ce comportement asymptotique de la relation FC/P en fin d'épreuve témoigne d'un plafonnement de la FC, signe indirect de l'obtention de la FC maximale. Cette valeur de FC Max. est de l'ordre de  $166,9 \pm 12,3$  en position couchée et de  $178,1 \pm 9,3$  en position assise. Les données de la littérature donnent des équations de prédiction variables selon les auteurs (1A, 1B, 12).

A titre d'exemple celle de ÅSTRAND (1B).

FC Max. =  $220 - \text{Age}$  (en années) avec 10 batt.min. comme écart-type.

et celle de ANDERSEN (1A)

$FC \text{ Max.} = 210 - 0,65 \times \text{âge (en années)}$

sont les plus connues.

Ces équations n'ont été établies que pour les efforts en position assise. Elles donnent pour notre groupe une valeur moyenne de  $220 - 27 \text{ ans} = 193 \text{ batt.min.}$  avec des valeurs extrêmes à 2 écarts-types de 173 et de 213 batt.min. Aussi nos résultats ne concordent pas avec ces données, puisque notre moyenne de FC Max. en position assise est significativement plus basse à  $178,1 \pm 9,3 \text{ batt.min.}$  Ces différences peuvent être attribuées à la définition retenue de la FC Max.

En effet la détermination de ces relations avec l'âge a été obtenue en prenant comme valeur de FC Max, la valeur la plus élevée enregistrée pendant l'épreuve d'effort, quelle que soit la durée pendant laquelle cette valeur a pu être maintenue. Lorsque l'on examine certaines courbes de la relation FC/P rapportées dans la littérature, on se rend compte que cette valeur de FC Max. n'a été maintenue que quelques secondes (5,13). La signification physiologique de cette fréquence cardiaque max., appelée de façon plus évocatrice "Pic de Fréquence Cardiaque / Heart rate peak (16)" est aussi imprécise que l'état de déséquilibre physiologique dans lequel se trouve le sujet au moment de l'enregistrement de cette valeur. Aussi avons-nous préféré adopter la notion de fréquence cardiaque maximale effective définie par RUSHMER (23) qui correspond à une valeur comprise entre 170 à 180 batt.min. En effet, au delà de ces valeurs, la tachy-

cardie ne permet plus un temps de remplissage ventriculaire correct, la FC augmentant au détriment d'une baisse du volume d'éjection systolique.

La détermination de cette FC Max effective dans notre protocole retient comme critère essentiel, le maintien de la FC à sa valeur la plus élevée pendant au moins une minute. Ce critère, sévère et tout à fait arbitraire, représente pour nous la garantie d'une signification physiologique de notre FC Maximale en rapport avec un niveau d'effort toléré. Au delà, la frontière entre la réalisation d'un effort dans des conditions physiologiques et extra-physiologiques ne devient plus nette. Si ce critère est discutable chez le sportif qui se doit de donner le maximum de lui-même pour réaliser ces performances, en revanche il permet de définir chez le sédentaire sain et surtout chez le malade un niveau d'effort proche du maximum physiologiquement tolérable.

Les valeurs maximales de la FC en position couchée, outre leur bonne reproductibilité entre les 2 passages, sont significativement plus basses que celles en position assise. La baisse moyenne est de l'ordre de 7% environ, ce qui est conforme aux données de la littérature (1A,1B;1,2,21); mais celles-ci indiquent une différence approximative d'environ 10 à 15% entre les 2 positions, sans précision véritable quant aux valeurs de FC Max en position couchée.

On peut faire disparaître cette différence lorsque le sujet réalise simultanément en position couchée un effort des membres supérieurs et inférieurs ( A1, 3 ).

Cette valeur moyenne de  $166 \pm 12,1$  batt.min est proche de celle ( $167 \pm 9,7$  batt.min.<sup>-1</sup>) qui a été déterminée à STRASBOURG (France) sur un groupe de Médecins en collaboration avec un travail thématique de notre Laboratoire.

En revanche, elle est nettement supérieure à celle obtenue dans les mêmes conditions chez des sujets anémiques hémodialysés ( $150,8 \pm 6,7$ ), de même que chez des drépanocytaires majeurs.

La constatation de cette baisse systématique de la FC Max dans ces groupes de patients, par rapport à nos valeurs de référence en position couchée, motive l'exploration hémodynamique de ces patients afin d'en comprendre les bases physiopathologiques. Cette étude est en cours d'exploration dans notre Laboratoire.

APPORTS DE LA MESURE DE LA VENTILATION EXTERNE ( $\dot{V}E$ )  
=====

ET DU STT A LA DÉTERMINATION DU SEUIL ANAÉROBIE (SA)  
=====

1) DEFINITION DU CONCEPT DE S.A.  
-----

Depuis une decennie le concept de Seuil Anaérobie a trouvé un regain d'intérêt grâce à plusieurs travaux qui montraient que l'aptitude aux exercices d'endurance était bien corrélée avec la valeur de ce seuil. Ainsi TANAKA et MATSUURA (25) ont bien prouvé que les performances lors d'épreuves prolongées comme le marathon étaient d'autant meilleures que la survenue du SA était tardive. D'où l'extension de l'utilisation de ce concept non seulement aux domaines d'un entraînement sportif rationnel et de la biologie du sport, mais aussi à ceux de la physiopathologie de l'exercice physique et du réentraînement à l'effort.

Le terme de seuil anaérobie (anaerobic threshold) fut d'ailleurs introduit en 1964 par WASSERMAN et McILROY (26) à l'occasion d'une étude portant sur l'aptitude physique de certains cardiaques : Ils définissent ainsi ce seuil comme le niveau d'effort le plus élevé, et donc la valeur de  $\dot{V}O_2$  la plus élevée, qu'un individu peut atteindre sans qu'augmente de manière significative sa lactatémie basale. Les travaux ultérieurs de WASSERMAN et de ses collaborateurs développèrent les implications de ce concept :

- En 1967 ( 27 ) et 1973 ( 28 ) ils montrent la relation entre l'apparition de l'hyperlactatémie d'effort et le changement de pente observé au niveau de la ventilation externe ( $\dot{V}E$ ) : au cours d'un effort à intensité croissante l'augmentation de la lactatémie signe le recours croissant du sujet à un métabolisme anaérobie ; la neutralisation par les bicarbonates de l'acidose métabolique ainsi produite provoque un rejet supplémentaire de  $CO_2$  ( $\dot{V}CO_2$ ) qui nécessite parallèlement une plus grande ventilation. D'où la simultanéité entre le changement de pente de  $\dot{V}CO_2$  et  $\dot{V}E$  d'une part et la survenue de la lactatémie d'effort d'autre part.

Ce contrôle ventilatoire de l'équilibre acide-base sera prouvé de manière très élégante en 1975 par ces mêmes auteurs ( 29 ) : ils observent que des sujets ayant subi une résection du corpuscule carotidien (pour asthme sévère) présentent, pour un même niveau d'effort, une moindre hyperventilation que des sujets sains ; chez les malades opérés la stimulation ventilatoire provoquée par l'action des ions  $H^+$  (acidose métabolique lactique) sur les chémorécepteurs carotidiens ne peut plus se manifester.

Dès lors la plupart des auteurs testant l'aptitude physique selon un protocole d'effort à intensité croissante s'accordent à reconnaître la rupture de pente de la  $\dot{V}E$  (et de la  $\dot{V}CO_2$ ) comme un bon critère pour détecter le Seuil Anaérobie de manière non-invasive - c'est-à-dire sans prélèvement sanguin destiné à doser la lactatémie.

Dans l'article paru en 1981 ( 32 ) WASSERMAN, WHIPP et J.A. DAVIS présentent une excellente synthèse sur ce concept de Seuil Anaérobie et sur ses implications métaboliques et respiratoires, et définissent les critères à respecter pour sa détection ( $\dot{V}E$ ,  $\dot{V}CO_2$ , dissociation entre les rapports  $\dot{V}E/\dot{V}CO_2$  et  $\dot{V}E/\dot{V}O_2$ ).

2) REPRODUCTIBILITE DANS LA DETECTION DU S.A. PAR LA  $\dot{V}E$  :  
-----

Par trois contrôles (2 couchés et 1 assis) chez les 22 sujets de notre étude nous n'avons pas trouvé de différence dans la détermination du SA (exprimé en  $W.kg^{-1}$ ) lors des 2 examens successifs effectués en position couchée. Cette constatation est en accord avec celles de WASSERMAN et al. ( 28 ), DAVIS J.A. et al ( 8 ). En revanche la valeur du seuil atteinte en position ASSISE, est significativement ( $p < 5\%$ ) plus élevée que celle atteinte par le même sujet lors de son premier test en position couchée ( $C_1$ ) : 1,52 contre 1,27  $W.kg^{-1}$ . Mais les Puissances Maxima Tolérées (PMT) développées dans les deux situations ne sont pas statistiquement différentes, si bien que la fluctuation du rapport SA( $\dot{V}E/PMT$ ) de 54% (  $\pm 11,2\%$  ) à 48% (  $\pm 12\%$  ) n'est pas significative.

Nous retiendrons néanmoins qu'en valeur absolue, lors d'un premier test d'effort, un sujet peut présenter une variation de sa valeur de SA qui pour l'ensemble du groupe considéré s'établit entre 8 et 9,5%.

Cette variation reste dans les fluctuations admises en ergospirométrie ( 31 ) et relève aussi bien de l'effet "1er test" que de la variabilité biologique de chaque individu; mais ce phénomène doit être pris en compte lorsqu'on utilise le test triangulaire pour contrôler les effets objectifs d'un entraînement ou d'une rééducation (LONSDORFER et al.(17).

3) SOURCES D'ERREURS DANS LA DETECTION DU SA VENTILATOIRE :

a) La détermination du S.A. moyen à partir des ventilations d'un groupe de sujets nécessite tout d'abord la détermination de la S.A. de chaque individu ; puis l'on procède au calcul de la moyenne statistique du groupe en prenant en compte chaque valeur individuelle : c'est la raison pour laquelle nous avons insisté sur la discordance apparente dans notre étude entre la représentation graphique du phénomène et nos données calculées.

Par ces calculs nous confirmons la démonstration faite en 1983 par J.A. DAVIS et al ( 10 ) en réponse à une controverse soulevée en 1981 par H.A. DAVIS et G.C. GASS (7). Ces derniers, ayant effectué d'emblée la moyenne des valeurs individuelles, obtenaient des valeurs de SA avec une approximation de l'ordre de 500 ml de  $\dot{V}O_2$  - et contestaient ainsi la fiabilité des critères proposés par WASSERMAN et al.( 32 ).

b) L'intensité et la durée des paliers imposés au cours de cet effort par "increments" changent d'un auteur à l'autre selon la population qu'il désire tester, et cette différence pourrait être source de controverse. Mais WASSERMAN et al. en 1973 ( 28 ), HUGHSON et GREEN en 1982 ( 14 ) et YOSHIDA en 1984 ( 37 ) ont prouvé que des paliers de 1 à 4 minutes ne modifiaient pas le moment de survenue du Seuil Anaérobie : ceci conforte nos résultats (paliers de 20 watts et de 2 minutes) et ceux également obtenus à Abidjan par BOGUI ( 4 ) et OTAYECK ( 20 ) avec des paliers de 50 watts et 3 minutes, et YACE ( 35 ) avec des paliers de 25 watts et 1 minute.

Il convient à nouveau de souligner que les valeurs d'intensité doivent être exprimées en Watts rapportés au poids du corps, ce qui permet de comparer l'allure évolutive globale des paramètres d'un groupe à l'autre quels que soient les paliers choisis pourvu que leur augmentation successive soit régulière et identique.

En définitive la reproductibilité "test-retest" dans la détermination du SA avec le seul critère ventilatoire s'avère excellente dans notre étude (  $r = 0,982$  ) tant dans le protocole COUCHE, qu'ASSIS ; nous confirmons ainsi les constatations de DAVIS H.A. et al ( 9 ), CAIOZZO et al ( 6 ) et POWERS et al ( 22 ).

4) CORRESPONDANCE ENTRE S.A., VENTILATOIRE ET S.A. LACTATEMIE

Notre étude étant non-invasive nous n'avons donc pas disposé des valeurs de lactatémie qui permettent d'objectiver le seuil à partir duquel le sujet présente une hyperlactatémie par anaérobiose relative, authentifiant ainsi l'hyperventilation contemporaine de ce seuil.

Mais cette corrélation avec la lactatémie artérielle a été étudiée au service de Physiologie par BOGUI ( 4 ), OTAYECK ( 20 ) et YACE ( 35 ) : ils ont trouvé une excellente correspondance (0,978 à 0,987) entre le seuil SA déterminé chez les mêmes sujets respectivement à partir du critère ventilatoire ( $\dot{V}E$ ) et métabolique (Lactatémie artérielle). Ces résultats corroborent ceux de YOSHIDA et al ( 36 ) et CAIOZZO et al ( 6 ).

Rappelons cependant comme l'ont souligné WASSERMAN et WHIPP en 1975 ( 29 ) et WHIPP et MAHLER en 1980 ( 33 ) que la "sensibilité " du signal ventilatoire ( $\dot{V}E$ ) peut être atténuée lorsque les paliers sont d'une durée prolongée, c'est à dire supérieure ou égale à 4' : durant ce type de palier en effet un "régime stable" peut être ébauché avec tamponnement "isocapnique" du lactate. L'inflexion de la courbe  $\dot{V}E$  devient alors moins franche et une dissociation peut être observée entre le SA ( $\dot{V}E$ ).. qui parfois est peu discernable, et le seuil anaérobie objectivé par l'hyperlactatémie. (WASSERMAN et al 1978 ( 31 ) ; SCHEEN et al 1981 ( 24a)).

Cette dissociation peut également rendre compte des 18% de cas où nous avons considéré comme "mauvaise" la concordance entre le SA (VE) déterminé en position COUCHEE et celui déterminé en position ASSISE.

Au total cependant, de l'ensemble de notre étude sur la validité de la VE comme critère de détection du SA il ressort que nos résultats s'intègrent de manière très satisfaisante dans le programme des études effectuées au Laboratoire de Physiologie : BOGUI ( 4 ) ; OTAYECK (20) YACE ( 35 ) et LONSDORFER ( 17 ).

De même les normes que nous proposons répondent à celles admises en Europe et en Amérique du Nord : ÅSTRAND et al ( 1B ), MONOD et al ( 18 ), SCHEEN et al ( 24a ). Nos valeurs de SA sont donc bien représentatives d'une population d'adultes jeunes et sédentaires pour laquelle nous disposons à présent de critères de certitude quant à la fiabilité du test, sa reproductibilité et donc les marges de fluctuation à prendre en compte dans toute interprétation de ce Seuil.

#### 5) LES RESULTATS OBSERVES PAR L'EXPLOITATION DU STT

---

appellent les mêmes commentaires et corroborent les résultats de YACE (35) : selon le classement proposé par ce dernier notre population entre dans le groupe III, c'est-à-dire un groupe de sujets "moyennement performants avec sollicitation intense, disproportionnée par rapport à la performance physique".

En effet cet auteur trouve un STT de  $34.200 \pm 2.850$  pour une PMT de  $2,69 \pm 0,15 \text{ W.kg}^{-1}$  et notre étude sur 22 sujets rapporte des valeurs de STT fluctuant de  $34.800 \pm 4.800$  (en 1er passage couché) à  $38.000 \pm 4.000$  (en position assise) pour une PMT comprise entre  $2.62 \pm 0,31$  (couché) et  $2.80$  (assis). Ainsi cet indice de l'adaptation myocardique à l'effort musculaire rend bien compte d'une population sédentaire peu apte à poursuivre un effort à intensité croissante jusqu'à "épuisement". Nos résultats confirment que la détection simultanée et du SA ( $\dot{V}E$ ) et de la valeur absolue du STT constitue une excellente approche "non-invasive" de l'aptitude physique et surtout de la capacité d'endurance d'un individu : c'est cette contribution que nous souhaitons avoir pu apporter par notre thèse.

C O N C L U S I O N

=====

CONCLUSION DE LA THESE

=====

Les objectifs que nous nous étions assignés au début de cette étude, à savoir la fiabilité et la reproductibilité des critères d'aptitude physique à partir d'un test d'effort standardisé, ont tous été atteints : En effet, les résultats tirés des 2 épreuves d'effort en position couchée ont montré :

- une bonne reproductibilité du profil évolutif et des valeurs maximales de la fréquence cardiaque, de la ventilation externe et du Systolic Tension Time (S.T.T.),

- une tendance nette au plafonnement de la FC en fin d'effort suggérant le caractère maximal de la puissance tolérée.

Par ailleurs, l'aspect positionnel de l'effort révèle un profil évolutif semblable des différents paramètres ventilatoires et circulatoires entre les 2 positions assis-couché.

La position ne semble pas modifier les principaux critères d'aptitude physique, c'est-à-dire la PMT et le niveau d'effort auquel survient le seuil anaérobie.

Toutefois, la position assise s'accompagne d'une translation linéaire vers le haut du profil évolutif de la FC, dont témoigne l'ordonnée à l'origine plus élevée de la droite

de régression linéaire globale. Cette translation vers le haut aboutit à une fréquence cardiaque maximale plus élevée pour une même PMT. Ainsi, la FC Max moyenne du groupe est-elle à 166 min<sup>-1</sup> en position couchée soit proche de (190-Age). Ces résultats suggèrent que la relation FC Max = 220-Age, déterminée chez les sportifs par ÅSTRAND et al. ne semble pas s'appliquer aux sujets sédentaires soumis à notre protocole.

Ces résultats obtenus sur un groupe homogène de sujets sédentaires jeunes, constitueront pour ce protocole les valeurs de référence du sujet jeune ivoirien. Elles permettront alors de pouvoir juger de l'aptitude physique relative de tout consultant par rapport à ce groupe, notamment des sujets sportifs, mais aussi et surtout des malades souffrant d'affection respiratoire, cardiaque ou atteints d'hémoglobinopathies. Une étude similaire a été entreprise dans un groupe de gendarmes commandos de même tranche d'âge dont la moitié de l'effectif est hétérozygote porteur du trait drépanocytaire AS. Les résultats en cours d'exploitation seront exposés par notre camarade de promotion YAO AMPOH dans la thèse de doctorat en médecine qu'il soutiendra le mois prochain. De plus, une étude hémodynamique sur le même protocole a déjà été réalisée par P. BOGUI sur des sujets sédentaires et sur 5 sujets anémiques chroniques lors d'un stage à Strasbourg (France). La confrontation de nos résultats avec ces différents travaux permettra de mieux cerner la sollicitation de la chaîne de transport de l'oxygène et les facteurs limitants au cours de ce protocole d'effort.

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



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

=====

1A - ANDERSEN K.L., SHEPHARD R.J., DENOLIN H. et al.

Fundamentals of exercise testing.

Geneva, World Health Organization 1971.

1B - ÅSTRAND P.O. et RODAHL K.

Précis de physiologie de l'exercice musculaire.

Masson 2ème édition 1980, 507p.

1C - BEVEGARD S., HOLMGREN A. and JONSSON B.

The effect of body position on the circulation at Rest and During Exercise, With Special Reference to the Influence on the Stroke Volume.

Acta Physiol. Scand. 1960, 49, pp.279-298.

- 2 - BEVEGARD S., HOLMGREN A. and JONSSON B.

Circulatory Studies in Well Trained Athletes at Rest and During Heavy Exercise, With Special Reference to Stroke Volume and the Influence of Body Position.

Acta Physiol. Scand., 1963, 57, pp.26-50.

- 3 - BEVEGARD S., FREYSCHUSS U. and STRANDELL T.

Circulatory adaptation to arm and leg exercise in supine and sitting position.

J. Appl. Physiol., 1966, 21 (1) pp. 37-46.

- 4 - BOGUI P.

Détermination du Seuil Anaérobie, un test global d'aptitude physique cardiorespiratoire: Premières normes chez l'Ivoirien.

Fac. de Médecine d'ABIDJAN (RCI),  
1982-83, Thèse n°413.

- 5- BRIKCI A., SAÏDI D.

Comparaison de l'évolution de la fréquence cardiaque en fonction de charges de puissance de travail croissante, chez cinq groupes de sportifs de différentes disciplines par rapport à un groupe d'étudiants non entraînés.

Médecine du Sport, 1978, 52, (5), p.11-271 à 15-275.

- 6- CAIOZZO V.J., DAVIS J.A., ELLIS J.F., AZUS J.L.,  
VANDAGRIFF R., PRIETTO C.A., and McMASTER W.C.

A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold.

J. Appl. Physiol., 1982, 53, p.1189-1189.

- 7- DAVIS H.A., and GASS G.C.

The anaerobic threshold as determined before and during lactic acidosis.

Eur. J. Appl. Physiol., 1981, 47, p.141-149.

- 8- DAVIS J.A., VODAK P., WILMORE J.H., VODAK J.,  
and KURTZ P.

Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise.

J. Appl. Physiol. 1976, 41, p.544-550.

- 9- DAVIS J.A., FRANK M.H., WHIPP B.J., and WASSERMAN K.  
Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men.  
J. Appl. Physio, 1979, 46, p.1039-1046.
- 10- DAVIS J.A., CAIOZZO V.J., LAMARRA N., ELLIS J.F.,  
VANDAGRIFF R., PRIETTO C.A., and McMASTER W.C.  
Does the gas exchange anaerobic threshold occur at a fixed blood lactate concentration of 2 or 4 mM.  
Int. J. Sports Med., 1983, 4, p.89-93.
- 11- FREYSCHUSS U. and STRANDELL T.  
Circulatory adaptation to one and two legs exercise in supine position.  
J. Appl. Physiol., 1968, 23 (5), pp.511-515.
- 12- HANSEN J.E., SUE D.Y., WASSERMAN K.  
Predicted values for Clinical Exercise Testing.  
Am. Rev. Respir. Dis., 1984, 129, Suppl.S49-S55
- 13- HUGHES R.L., CLODE M., EDWARDS R.H.T., GOODWIN T.,  
and JONES N.L.  
Effect of inspired O<sub>2</sub> on cardiopulmonary and metabolic responses to exercise in man.  
J.Appl.Physiol., 1968, 24 (3), pp. 336-347.

14- HUGHSON R.L., and GREEN H.J.

Blood acid-base and lactate relationships studied  
by ramp work tests.

Med. Sci. Sports. Exerc., 1982, 14, pp. 297-302.

15- JONES N.L., CAMPBELL E.J.M.

Cardiovascular adaptations to Exercise In Clinical  
Exercise Testing.

Second Edition 1982, pp.32-51. W.B.

Sanders Company.

16- KANSTRUP INGE-LIS and EKBLÖM Björn

Blood Volume and hemoglobin concentration as  
determinants of maximal aerobic power.

Med. Sci. Sports Exerc., 1984, 16 (3) pp.256-262.

17- LONSDORFER J., BOGUI P., LONSDORFER A., FREUND H.,  
PIGEARIAS B., et VALERY J.

Détermination de l'aptitude physique.

Ann. Université Abidjan, 1984, XVIII, 219-237.

18- MONOD H., FLANDROIS R.

Physiologie du Sport : Bases physiologiques des  
activités physiques et sportives.

Edition MASSON 1985, 216 p.

- 19- MORAND P., GRANGER G., PADAOUI H., LORIN C.

Interprétation des variations de la Fréquence Cardiaque au cours d'une épreuve d'effort maximum chez le sportif de compétition, guide et surveillance de l'entraînement.

Médecine du Sport, 1978, 52 (1), p.11 à 17.

- 20- OTAYECK A.

Le Seuil Anaérobie : Intérêt de ce test d'aptitude physique cardio-respiratoire dans certaines Hémoglobinopathies.

Fac. de Médecine d'ABIDJAN (R.C.I.)

1982-83. Thèse n°413.

- 21- PERONNET Fr. PERRAULT H.

Volumes ventriculaires à l'exercice dynamique en position debout et couchée : rôles du mécanisme de FRANK-STARLING et de la contractilité du myocarde dans l'ajustement du volume d'éjection systolique. Mise au point.

Médecine du Sport, 1985, 59 (5) pp.22-254, 28-260.

- 22- POWERS S.K., DODD S., and GARNER R.

Precision of ventilatory and gas exchange alterations as a predictor of the anaerobic threshold.

Eur.J.Appl.Physiol., 1984, 52, 173-177.

- 23- RUSHMER .  
The cardiac reserve and congestive heart failure  
Chap. 15 p. 506-515 in  
Cardiovascular Dynamics. 3rd Edition, 1970 - 559 p.  
W.B. SAUNDERS COMPANY.
- 24a- SCHEEN A., JUCHMES J. and CESSION-FOSSION A.  
Critical analysis of the anaerobic threshold during  
exercise at constant work loads.  
Eur. J. Appl. Physiol. 1981, 46, 367-377.
- 24b- STONE H.L., and LIANG I.Y.S.  
Cardiovascular Responses and control during Exercise.  
Am. Rev. Rtspir. Dis., 1984, 129, Suppl. S13 - S16.
- 25- TANAKA K. and MATSUURA Y.  
Marathon performance, anaerobic threshold, and  
onset of blood lactate accumulation.  
J. Appl. Physiol., 1984, 57, 640-643.
- 26- WASSERMAN K., and McILROY M.B.  
Detecting the threshold of anaerobic metabolism  
in cardiac patients during exercise.  
Am. J. Cardiol., 1964, 14, 844-852.
- 27- WASSERMAN K., VAN KESSEL A.L., and BURTON G.G.  
Interaction of physiological mechanisms during  
exercise.  
Am. J. Appl. Physiol., 1967, 22, 71-85.

- 28- WASSERMAN K., WHIPP B.J., KOYAL S.N., and BEAVER W.L.  
Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise.  
J. Appl. Physiol., 1973, 35, 236-243.
- 29- WASSERMAN K., and WHIPP B.J.  
Exercise physiology in health and disease.  
Am. Rev. Respir. Dis., 1975, 112, 219-249.
- 30- WASSERMAN K., WHIPP B.J., KOYAL S.N., and CLEARY M.G.  
Effect of carotid body resection on ventilatory and acid-base control during exercise.  
J. Appl. Physiol., 1975, 39, 354-358.
- 31- WASSERMAN K.  
Breathing during exercise.  
New Engl. J. Med., 1978, 298, 780-785.
- 32- WASSERMAN K., WHIPP B.J., and DAVIS J.A.  
Respiratory physiology of exercise :  
metabolism, gas exchange, and ventilatory control  
In : MTP International Review of Physiology -  
Respiratory Physiology III, J. Widdicombe (Ed.).  
Baltimore, MD. University Park Press, 1981, pp.149-211.

33- WHIPP B.J., and MAHLER M.

Dynamics of pulmonary gas exchange during exercise.

In : Pulmonary Gas Exchange, J.B. West (Ed.).

New York : Academic Press, 1980, Vol.II, pp.33-96.

34- WOODSON R.

Effect of acute and established anemia on O<sub>2</sub>  
transport at rest, submaximal and maximal work.

J. Appl. Physiol., 1978, 44, pp. 36-43.

35- YACE F.

Evolution ventilatoire et cardio-circulatoire  
au cours d'un exercice physique à intensité  
croissante : étude du produit :  
fréquence cardiaque x pression systolique  
(Systolic Tension Time : STT).

Fac. de Médecine d'ABIDJAN (R.C.I.)

1983-1984, Thèse n°564.

36- YOSHIDA T., NAGATA A., MURO M., TAKEUCHI N., and  
SUDA Y.

The validity of anaerobic threshold determination  
by a Douglas bag method compared with arterial  
blood lactate concentration.

Eur. J. Appl. Physiol., 1981, 46, 423-430.

37- YOSHIDA T.

Effect of exercise duration during incremental exercise on the determination of anaerobic threshold and the onset of blood lactate accumulation.

Eur. J. Appl. Physiol., 1984, 54, p. 196-199.

# S E R M E N T      D ' H I P P O C R A T E

=====

EN PRÉSENCE DES MAÎTRES DE CETTE ÉCOLE ET DE MES  
CHERS CONDISEIPLES, JE PROMETS ET JE JURE, AU NOM DE L'ÊTRE  
SUPRÊME, D'ÊTRE FIDÈLE AUX LOIS DE L'HONNEUR ET DE LA  
PROBITÉ DANS L'EXERCICE DE LA MÉDECINE. JE DONNERAI MES SOINS  
GRATUIT À L'INDIGENT ET JE N'EXIGERAI JAMAIS DE 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 À CORROMPRE  
LES MOEURS NI À FAVORISER LES CRIMES.

RESPECTUEUX ET RECONNAISSANT ENVERS MES MAÎTRES,  
JE RENDRAI À LEURS ENFANTS L'INSTRUCTION QUE J'AI REÇUE DE  
LEUR PART.

QUE LES HOMMES M'ACCORDENT LEUR ESTIME SI JE SUIS  
FIDÈLE À MES PROMESSES, QUE JE SOIS COUVERT D'OPPROBRE ET  
MÉPRISÉ DE MES CONFRÈRES SI J'Y MANQUE.

---

RÉPUBLIQUE DE COTE D'IVOIRE  
Union - Discipline - Travail

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE  
CHARGE DE L'ENSEIGNEMENT  
SECONDAIRE ET SUPÉRIEUR



## FACULTE DE MÉDECINE

Année 1986 - 1987

N°

# FIABILITÉ ET REPRODUCTIBILITÉ D'UN TEST D'EFFORT A PALIERS CROISSANTS, EN DECUBITUS OU EN POSITION ASSISE, POUR APPRÉCIER L'APTITUDE PHYSIQUE DE L'ADULTE JEUNE ET SEDENTAIRE

# THÈSE

POUR LE

DOCTORAT EN MÉDECINE

(DIPLOME D'ÉTAT)

Présentée et soutenue publiquement le 29 Avril 1987

Par

**OUATTARA SOUALIHO**

INTERNE DES HÔPITAUX

Né le 20 Novembre 1958 à Man

## ANNEXE

PRESIDENT DE THESE : Monsieur le Professeur COULIBALY NAGBELE

MEMBRES DU JURY : Monsieur le Professeur C. ROUX

Monsieur le Professeur agrégé BOUTROS TONI

DIRECTEUR DE THESE : Monsieur le Professeur agrégé J. LONSDORFER

Avec la collaboration du Docteur P. BOGUI Assistant en Physiologie

A N N E X E S



- TABLEAUX

- FIGURES

T A B L E A U X





	AGE en année	POIDS en kg	TAILLE en cm	SURFACE CORPORELLE en m <sup>2</sup>
n = 22	26,9 ± 3,1	66,3 ± 8,4	173,5 ± 7,1	1,80 ± 0,14
n = 35	26,8 ± 2,6	66,02 ± 7,8	172,7 ± 6,4	1,79 ± 0,13

TABLEAU N° 2 : CARACTERISTIQUES BIOMETRIQUES DES  
SUJETS ETUDIES.

n = nombre de sujets.

TABLEAU 2 :

Effectifs des paramètres par intervalle suivant que la délimitation de ces intervalles ait été effectuée avant ou après rapport de la puissance imposée au poids corporel.

Palier	n°1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Après n=34	34	34	32	34	32	30	27	30	20	17	7
Avant n=34	34	34	34	34	34	34	32	27	18	9	1
Après n=22	22	22	20	22	21	22	17	20	15	14	6
Avant n=22	22	22	22	22	22	22	22	21	15	6	1

n = nombre de sujets.

	1er PASSAGE C <sub>1</sub>		2ème PASSAGE C <sub>2</sub>		n = 22
	n = 22	n = 35	n = 22	n = 35	
b	86,29 ± 14,53	88,43 ± 17,45	84,80 ± 13,74	85,63 ± 16,12	87,75 ± 20,33
a	29,47 ± 7,09	29,47 ± 6,38	29,65 ± 5,02	30,02 ± 4,99	32,46 ± 7,58
r	0,986 ± 0,016	0,982 ± 0,019	0,987 ± 0,013	0,986 ± 0,013	0,986 ± 0,014

TABLEAU N° 3 : MOYENNES ET ECART-TYPES DES PARAMETRES DES DROITES DE REGRESSION INDIVIDUELLES ETABLIES DU 1er AU DERNIER PALIER D'EFFORT :

$$Y = Fc b \cdot \text{min}^{-1}$$

$$X = W \cdot \text{kg}^{-1}$$

r = coefficient de corrélation

n = nombre de sujets

C<sub>1</sub>, C<sub>2</sub> = 1ère et 2ème épreuve en position couchée.

a = perte

b = ordonnée à l'origine

	1er PASSAGE (couché)	2e PASSAGE (couché)	3e PASSAGE (assis)
b = Ordonnée à l'origine	86,9	82,4	90,4
a Pente	28,15	30,04	29,36
r = coefficient de corrélation	0,95	0,86	0,79
Intervalle de Confiance ( <u>IDC</u> )	13,6	14,5	19,4
Ecart-type de I.D.C.	<u>±</u> 1,2	<u>±</u> 1,2	<u>±</u> 1,5

TABLEAU N° 4 : EVOLUTION GLOBALE DE LA FREQUENCE CARDIAQUE  
DES 22 SUJETS EN FONCTION DE LA PUISSANCE  
IMPOSEE.

T A B L E A U      N° 5

---

PMT      =    Puissance Maximale Tolérée

FC        =    Fréquence Cardiaque

$\dot{V}E$       =    Ventilation Externe en litre par kg

STT      =    Systolic Tension Time = FC x pression systolique

n         =    nombre de sujets

$C_1, C_2$  =    positions couchées

A         =    position assise.

TABLEAU DES VALEURS MAXIMALES

	$C_1$	$C_2$	A	$C_1 - C_2$	C-A
PMT n=22	2,62 $\pm$ 0,31	2,72 $\pm$ 0,34	2,80 $\pm$ 0,34	<2%	NS
n=35	2,52 $\pm$ 0,38	2,59 $\pm$ 0,41	—		
FC Max n=22	164,8 $\pm$ 13,9	166,6 $\pm$ 12,1	178,1 $\pm$ 9,3	NS	<0,01
n=35	163,9 $\pm$ 11,8	165 $\pm$ 11,6	—		
FC Repos n=22	68,1 $\pm$ 10,1	63,6 $\pm$ 7,9	72,3 $\pm$ 10,9	NS	—
n=35	68,9 $\pm$ 11,3	66,5 $\pm$ 12,9	—		
VE l.kg <sup>-1</sup>	n=35	1,10 $\pm$ 0,23	1,11 $\pm$ 0,21	NS	NS
	n=22	1,14 $\pm$ 0,20	1,19 $\pm$ 0,20		
STT n=22	34800 $\pm$ 4800	34700 $\pm$ 3800	38000 $\pm$ 4000		
FC n=22	96,7 $\pm$ 14,9	102,6 $\pm$ 11,6	105,9 $\pm$ 11,6		

TABLEAU N° 5

T A B L E A U    N° 6    :

Valeurs du seuil anaérobie au cours des différents passages et déterminées à partir de  $\dot{V}E$  ou de STT.

$C_1$  ,  $C_2$  = 1ère et 2ème épreuve en position couchée

n = nombre sujets

S.A. = Seuil Anaérobie

$\dot{V}E$  = Ventilation Externe

STT = Systolic Tension Time

PMT = Puissance Maximale Tolérée

	SA (VE) Watt.kg <sup>-1</sup>	SA (STT) Watt.kg <sup>-1</sup>	$\frac{SA (VE)}{PMT}$ %	$\frac{SA (STT)}{PMT}$ %
C <sub>1</sub> n =	1,27 ± 0,37 22	1,27 ± 0,24 15	48% ± 12% 22	49,3% ± 0,09% 15
C <sub>2</sub> n =	1,45 ± 0,39 22	1,35 ± 0,42 16	53% ± 15% 22	49,1% ± 13,6% 16
Assis n =	1,52 ± 0,38 22	1,26 ± 0,25 15	54% ± 11,2% 22	46,3% ± 0,20% 15
C <sub>1</sub> n =	130 ± 0,33 34		50% ± 12% 34	
C <sub>2</sub> n =	1,43 ± 0,35 34		54% ± 12% 34	

TABLEAU N° 6 :

T A B L E A U N° 7 : Reproductibilité du seuil anaérobie.

S.A. = Seuil Anaérobie

$\dot{V}E$  = Ventilation Externe

$C_1$  ,  $C_2$  = 1er et 2ème passage en position couchée

A = Passage en position assise

n = Nombre de sujets et pourcentage par rapport  
au groupe.

Effectif	Ecart		
	$\text{Ecart} < 0,15 \text{ W.kg}^{-1}$	$0,16 < \text{Ecart} < 0,45 \text{ W.kg}^{-1}$	$\text{Ecart} > 0,46$
$\text{SA}(\dot{\text{VE}})C_1 / \text{SA}(\dot{\text{VE}})C_2 / \text{W.kg}^{-1}$ n = 22	6 sujets (27%)	12 sujets (54%)	4 sujets (18%)
$\text{SA}(\dot{\text{VE}})C_2 / \text{SA}(\dot{\text{VE}})A$ n = 22	7 sujets (32%)	11 sujets (50%)	4 sujets (18%)
$\text{SA}(\text{STT})C_1 / \text{SA}(\text{STT})C_2$ n = 13	5 sujets (38%)	7 sujets (54%)	1 sujet (8%)
$\text{SA}(\text{STT})C_2 / \text{SA}(\text{STT})A$ n = 12	5 sujets (42%)	6 sujets (50%)	1 sujet (8%)

TABLEAU N°7

PALIER

	1er	2eme	3eme	4eme	5eme	6eme	7eme	8eme	9eme
$C_1 - C_2$									
n =	20	19	17	24	21	22	16	18	13
t =	73	57	30	113	79	82	44	67	39
Seuil de signifi- cation.	NS	NS	<0,05	NS	NS	NS	NS	NS	NS
$C_2 - A$									
n =	22	22	20	23	22	20	14	19	16
t =	97	60	55	67	61	35	11	45	23
Seuil de signifi- cation.	NS	<0,05	NS	<0,05	<0,05	<1%	<1%	<0,05	<0,02

TABLEAU N° 8 : TEST DE COMPARAISON DES VALEURS DES FREQUENCES CARDIAQUES ENTRE LES DIFFERENTS PASSAGES AU NIVEAU DE CHAQUE PALIER D'EFFORT. (Test de Wilcoxon)

n = nombre de différence.

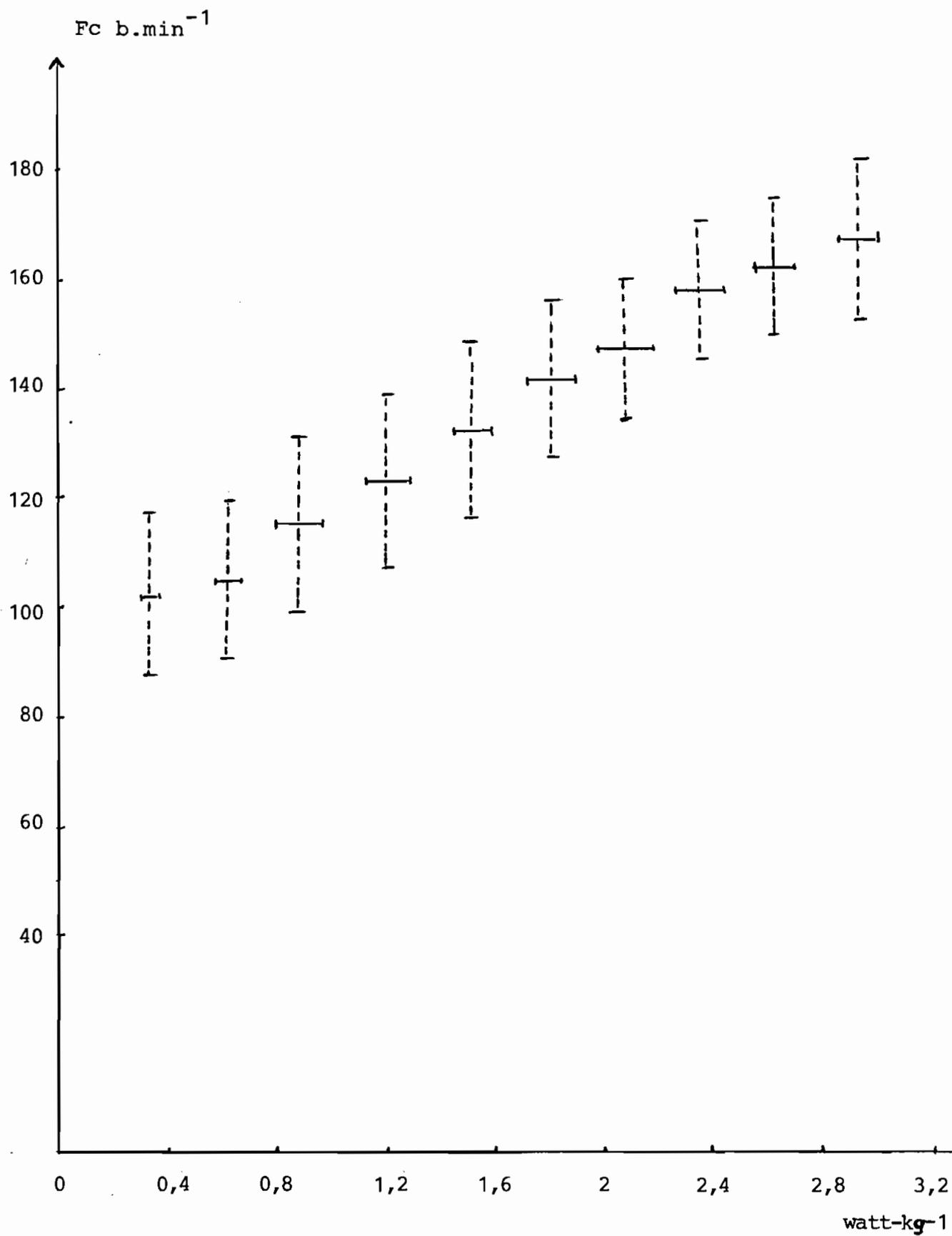
F I G U R E      N° 1 :

---

Evolution de la Fréquence Cardiaque (FC b.min<sup>-1</sup>)  
en fonction de la puissance en Watt, kg<sup>-1</sup>  
au cours du 1er passage COUCHE, chez les 35 sujets.

FIGURE N° 1

Fc (C<sub>1</sub>) = 35 sujets.



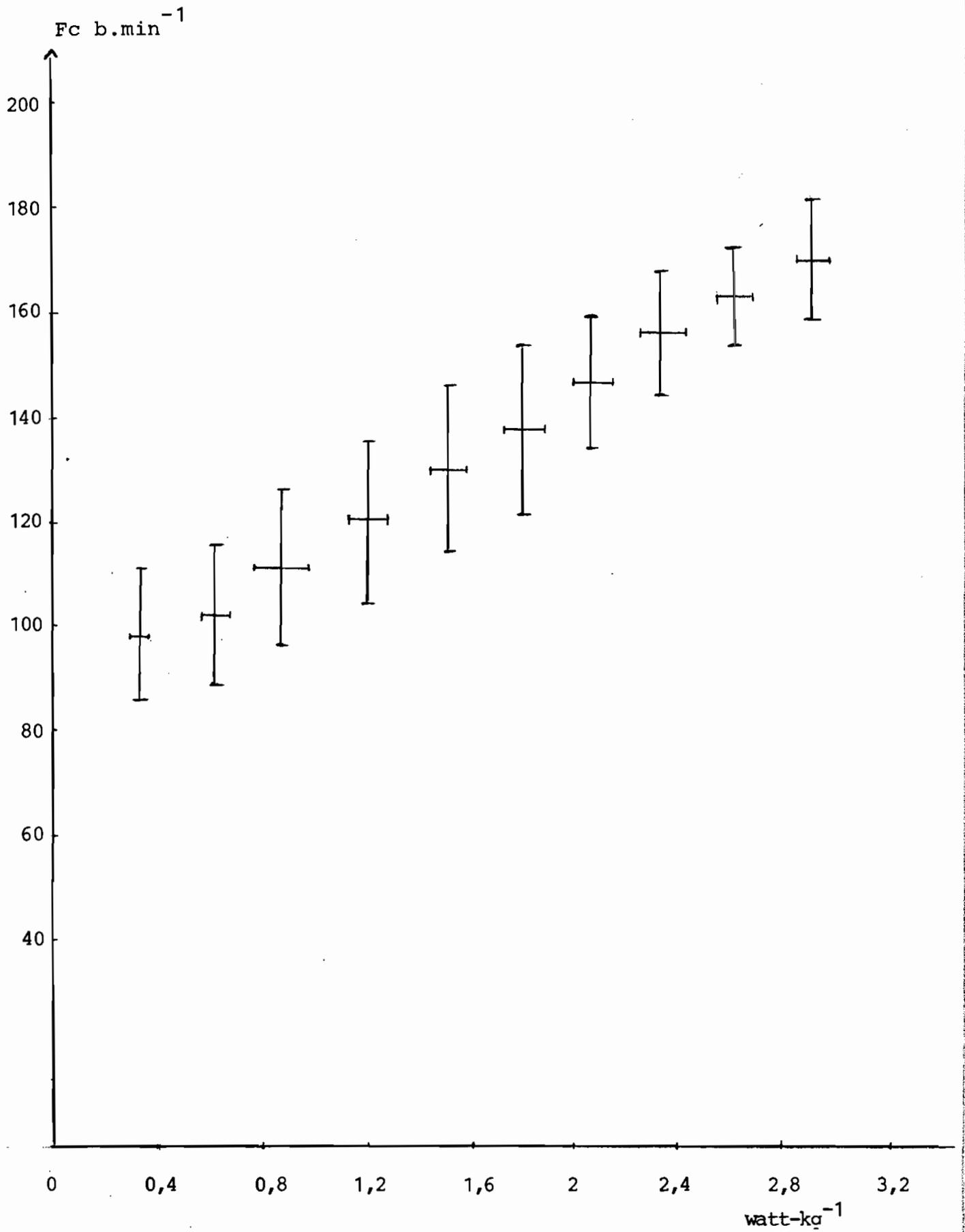
F I G U R E   N °   2 :

---

Evolution de la Fréquence cardiaque ( $Fc \text{ b.min}^{-1}$ )  
en fonction de la puissance en Watts  $\text{kg}^{-1}$   
au cours du 2ème passage COUCHE, chez 35 sujets.

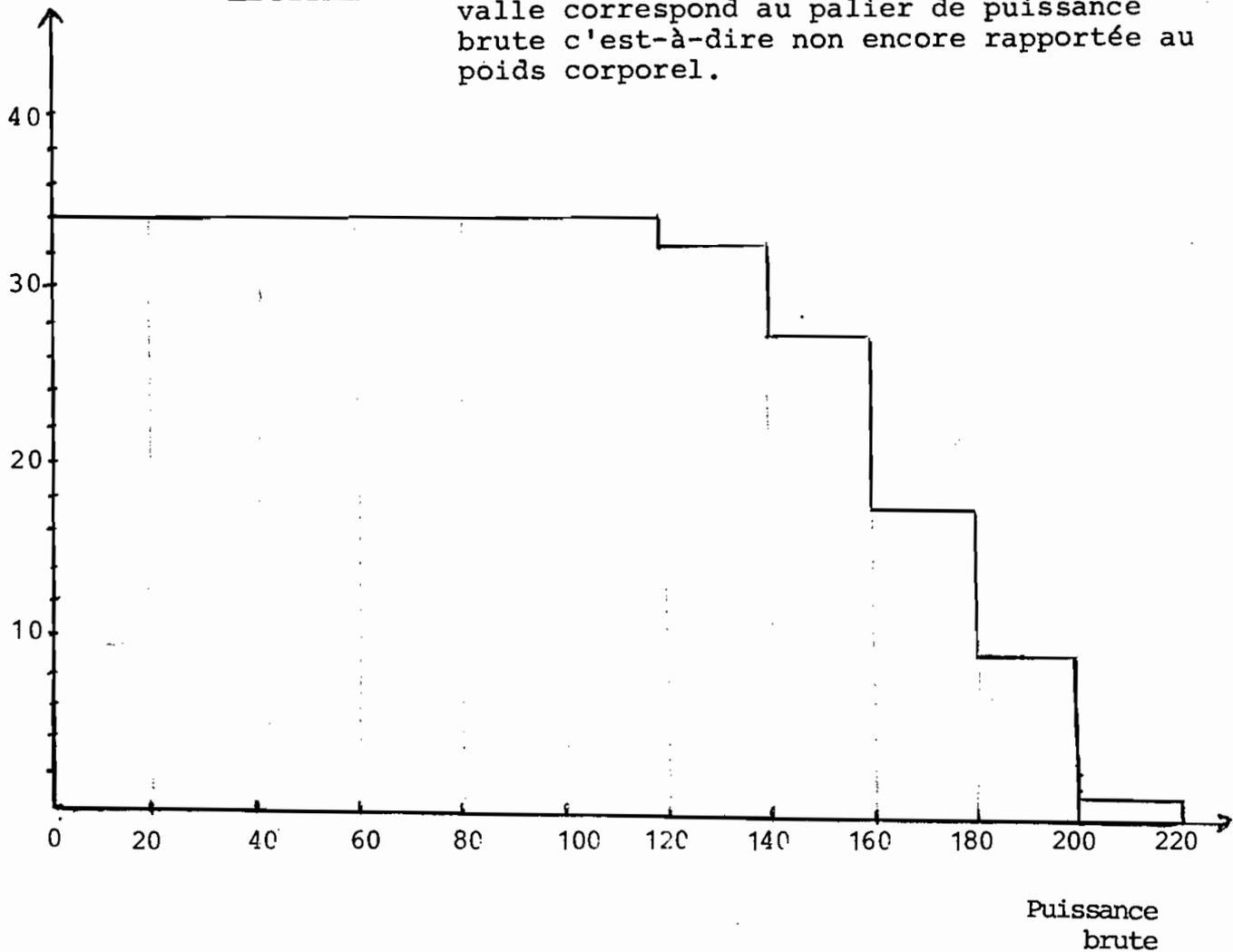
FIGURE N° 2

Fc (C<sub>2</sub>) = 35 sujets.



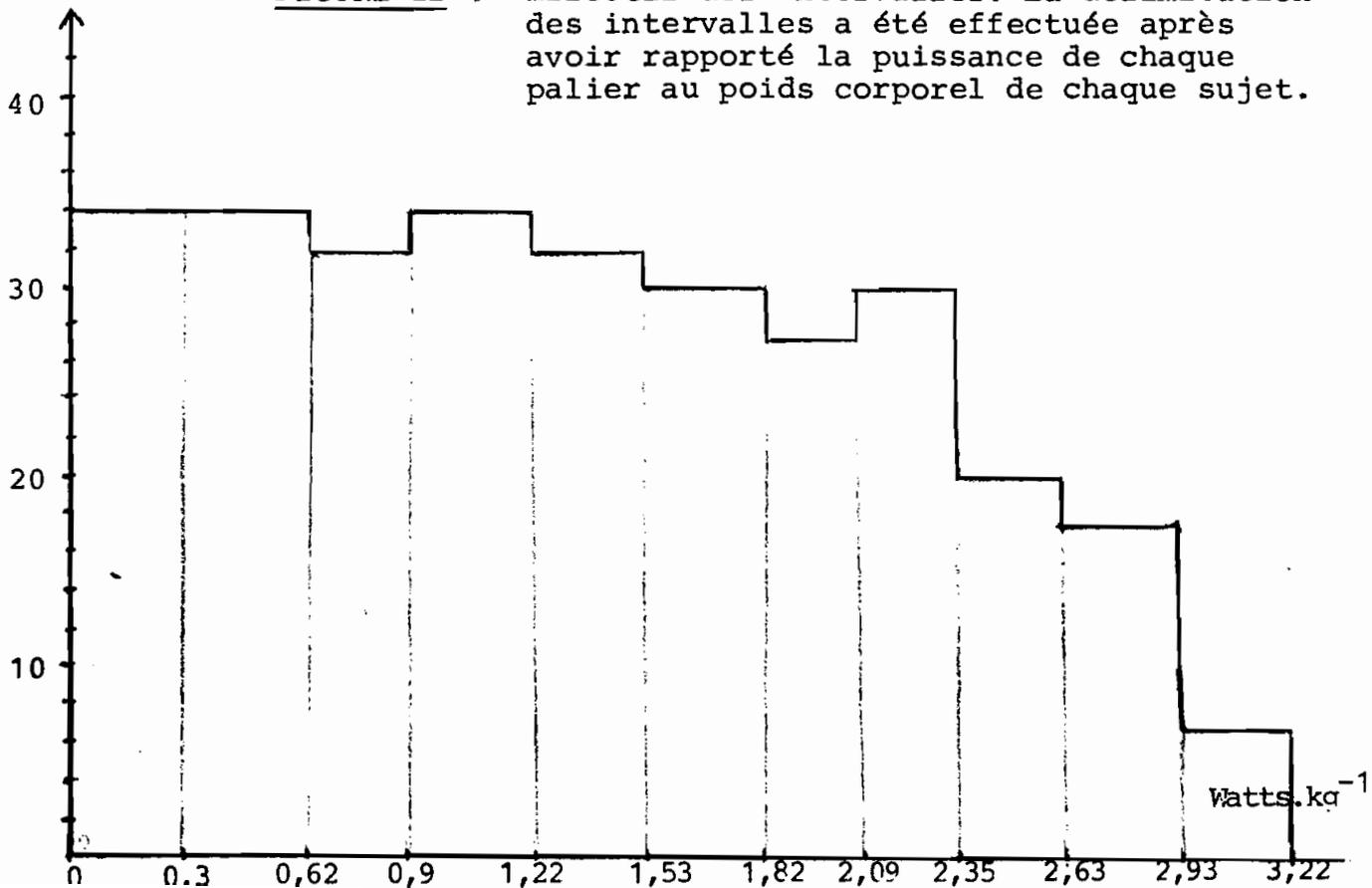
Effectifs

FIGURE 2A : Effectif des intervalles. Chaque intervalle correspond au palier de puissance brute c'est-à-dire non encore rapportée au poids corporel.



Effectifs

FIGURE 2B : Effectif des intervalles. La délimitation des intervalles a été effectuée après avoir rapporté la puissance de chaque palier au poids corporel de chaque sujet.



F I G U R E    N° 3    :

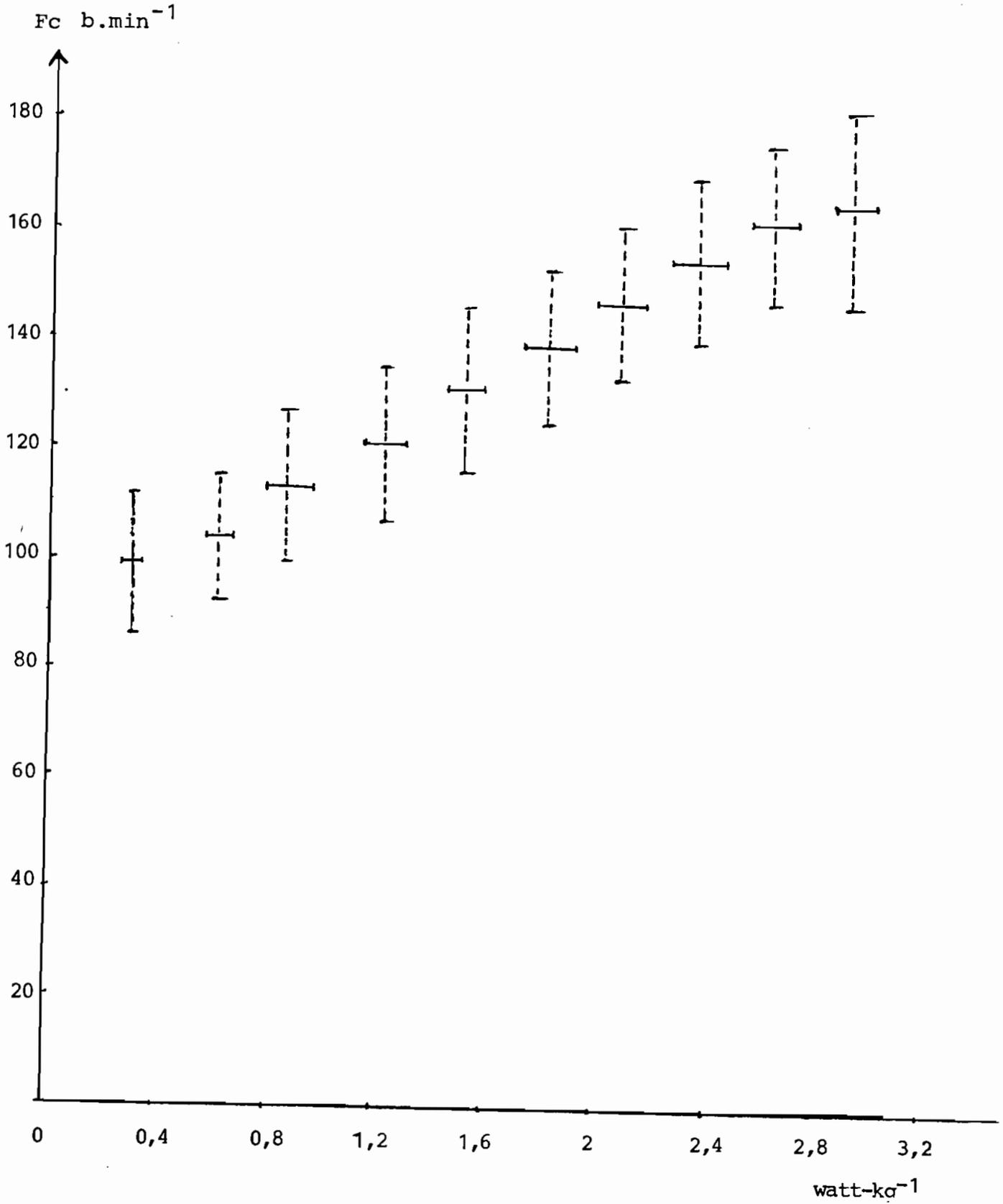
---

Evolution de la Fréquence Cardiaque (FC b.min<sup>-1</sup>)  
en fonction de la puissance en watts.kg<sup>-1</sup>  
au cours du 1er passage COUCHE chez 22 sujets.

FIGURE N°3

$Fc_1 / \text{watt} \cdot \text{kg}^{-1} = 22 \text{ sujets.}$

$$Fc_1 = 28 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} + 86,9$$



F I G U R E   N ° 4   :

Evolution de la Fréquence cardiaque ( $F_c$  b.min<sup>-1</sup>)  
en fonction de la puissance en Watts kg<sup>-1</sup>  
au cours du 2ème passage COUCHE, chez 22 sujets.

FIGURE N°4

Fc (C<sub>2</sub>) = 22 sujets

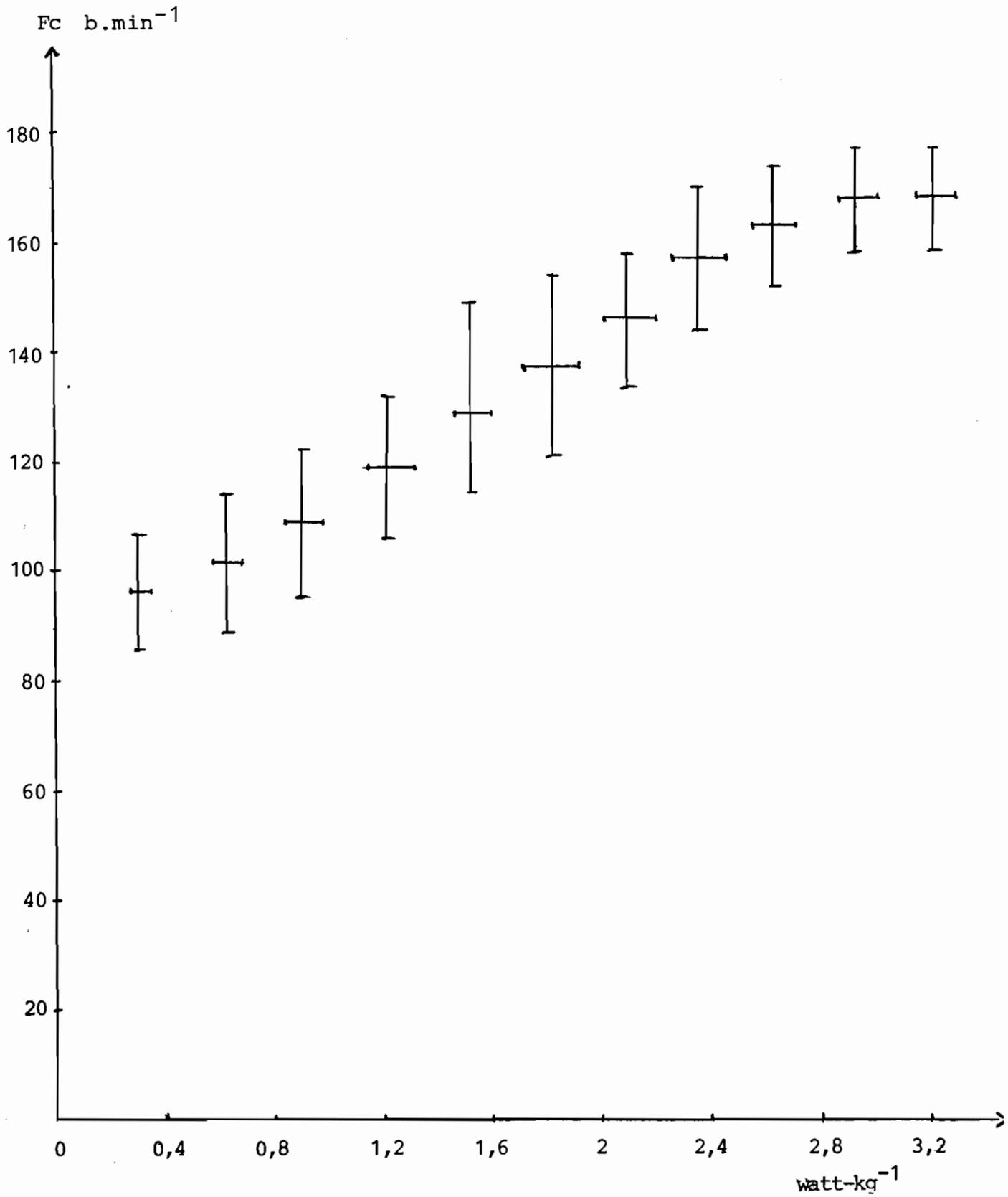


FIGURE N° 5 :

---

Evolution de la Fréquence cardiaque ( $F_c$  b.min<sup>-1</sup>)  
en fonction de la puissance en Watts.kg<sup>-1</sup>  
au cours du passage ASSIS (A) chez 22 sujets.

FIGURE N° 5

Fc (A) = 22 sujets

$$Y = 29,36 x + 90,4$$

intervalle de confiance = 13,1

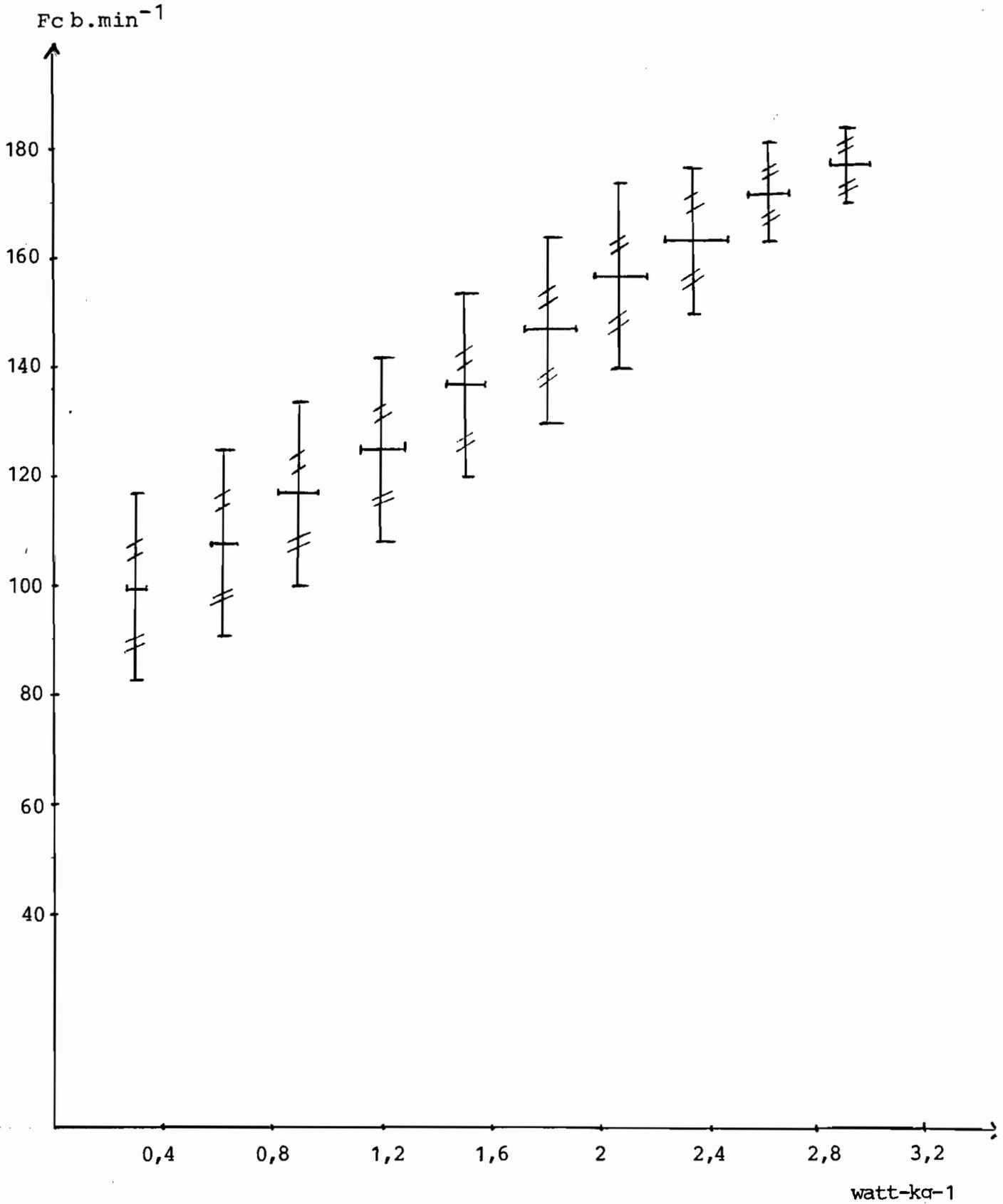


FIGURE N° 6 :

---

Evolution de la Ventilation Externe ( $\dot{V}E$  l.min<sup>-1</sup>)  
en fonction de la puissance en Watts.kg<sup>-1</sup>  
au cours du 1er passage COUCHE, chez 35 sujets.

PMT = Puissance Maximale Tolérée

SA = Seuil Anaérobie.

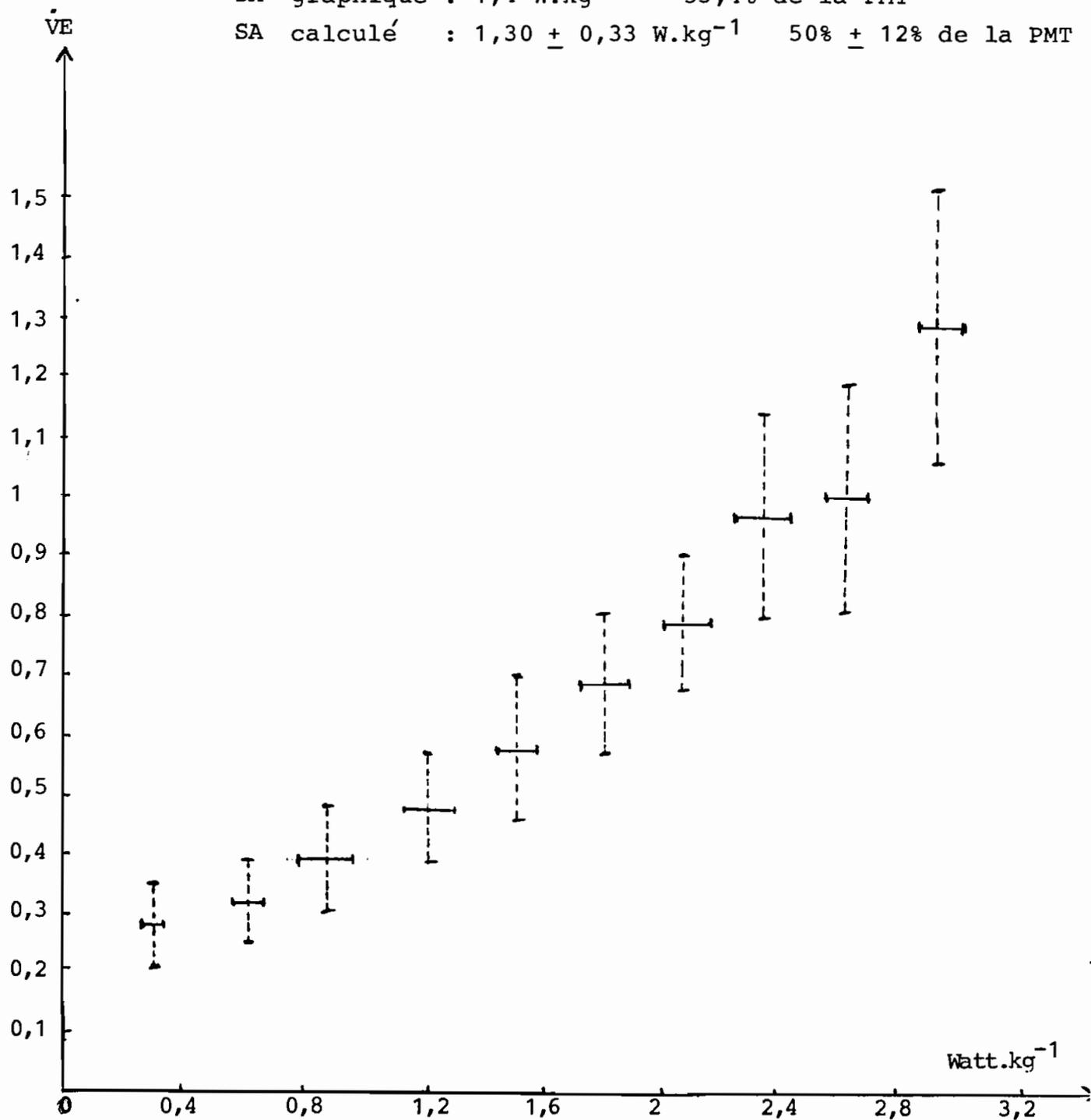
FIGURE N° 6

$\dot{V}E (C_1)$  35 sujets

n = 35

SA graphique :  $1,4 \text{ W.kg}^{-1}$  53,4% de la PMT

SA calculé :  $1,30 \pm 0,33 \text{ W.kg}^{-1}$   $50\% \pm 12\%$  de la PMT



F I G U R E N° 7 :

---

Evolution de la Ventilation Externe ( $\dot{V}E$  l.min<sup>-1</sup>)  
en fonction de la puissance en Watts.kg<sup>-1</sup>  
au cours du 2ème passage COUCHE chez l'ensemble  
des 35 sujets.

PMT = Puissance Maximale Tolérée

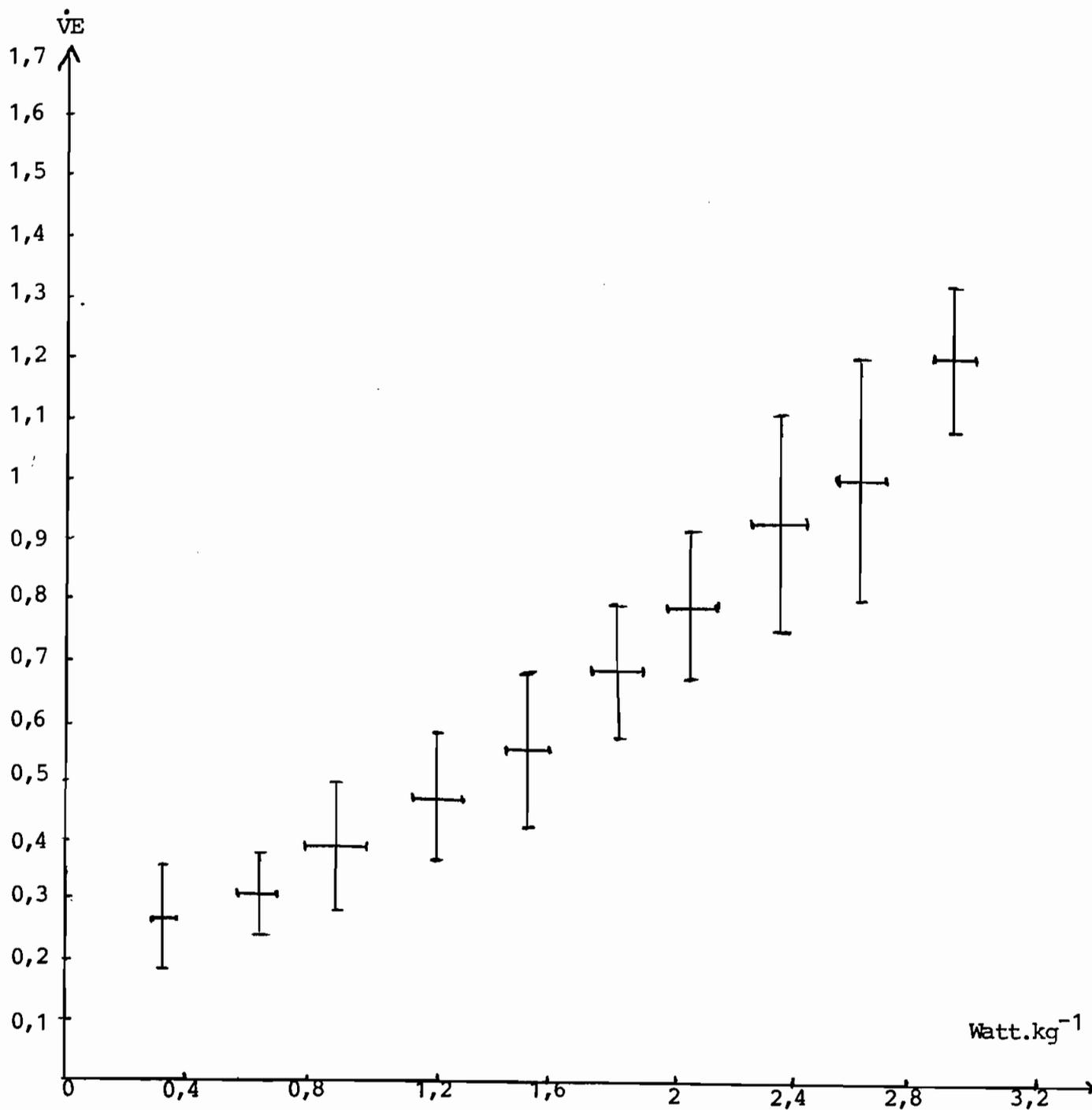
SA = Seuil Anaerobie

FIGURE N°7

$\dot{V}E (C_2)$       35 sujets

SA graphique = 1,54       $W.kg^{-1}$       52% de la PMT

SA calculé =  $1,43 \pm 0,35$   $W.kg^{-1}$        $54\% \pm 12\%$   
de la PMT



F I G U R E   N° 8 :

---

Evolution de la ventilation externe ( $\dot{V}E$  l.min<sup>-1</sup>)  
en fonction de la puissance en watts.kg<sup>-1</sup>  
au cours du 1er passage COUCHE chez 22 sujets.

PMT = Puissance Maximale Tolérée

SA = Seuil Anaerobie

FIGURE N°8

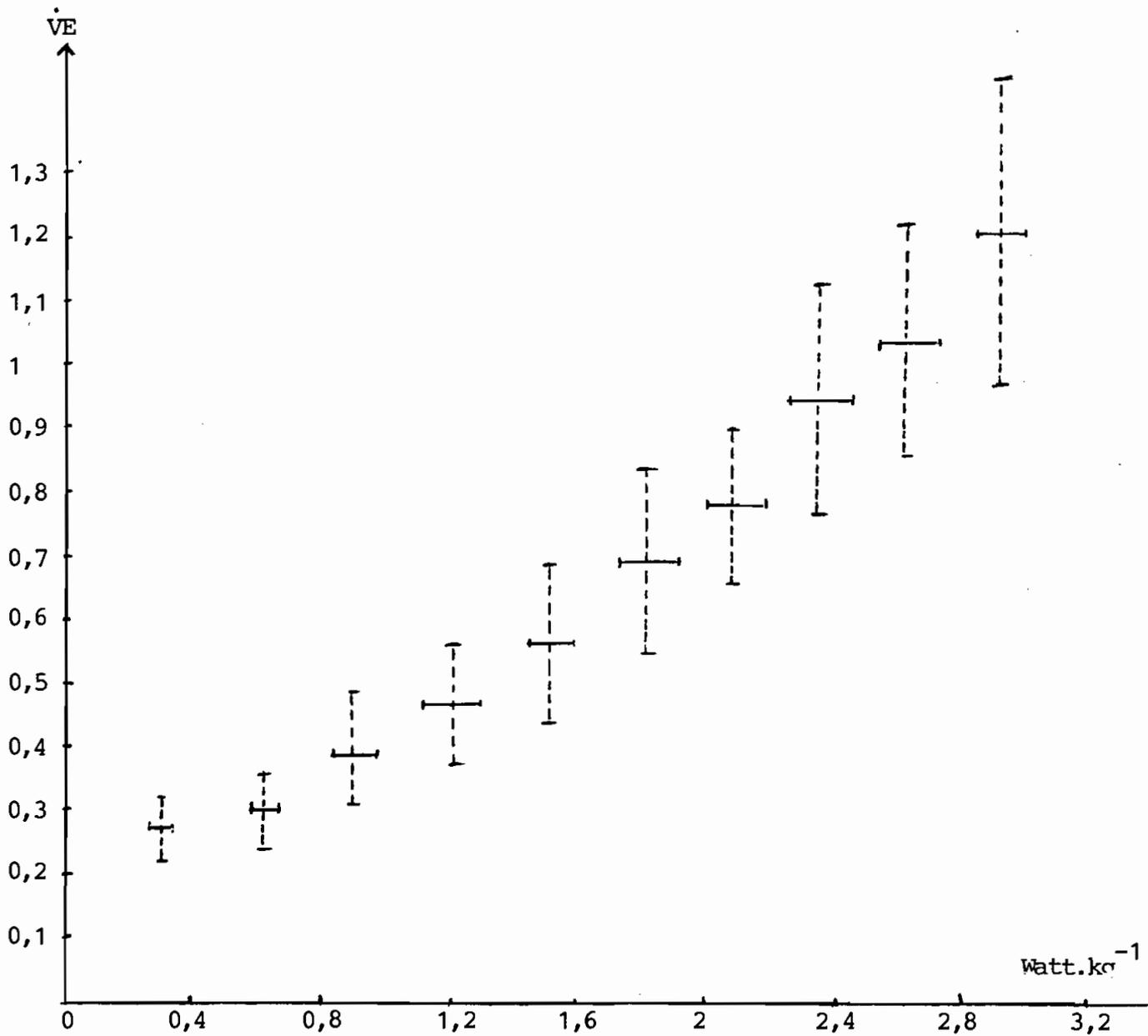
$\dot{V}E (C_1)$  22 sujets

n = 22

SA graphique =  $1,44 \text{ W.kg}^{-1}$  55% de la PMT

SA calculé =  $1,27 \pm 0,37 \text{ W.kg}^{-1}$

48%  $\pm$  12% de la PMT



F I G U R E N° 9 :

Evolution de la Ventilation Externe ( $\dot{V}E$  l.min<sup>-1</sup>)  
en fonction de la puissance en watts.kg<sup>-1</sup>  
au cours du 2ème passage COUCHE chez 22 sujets.

PMT = Puissance Maximale Tolérée

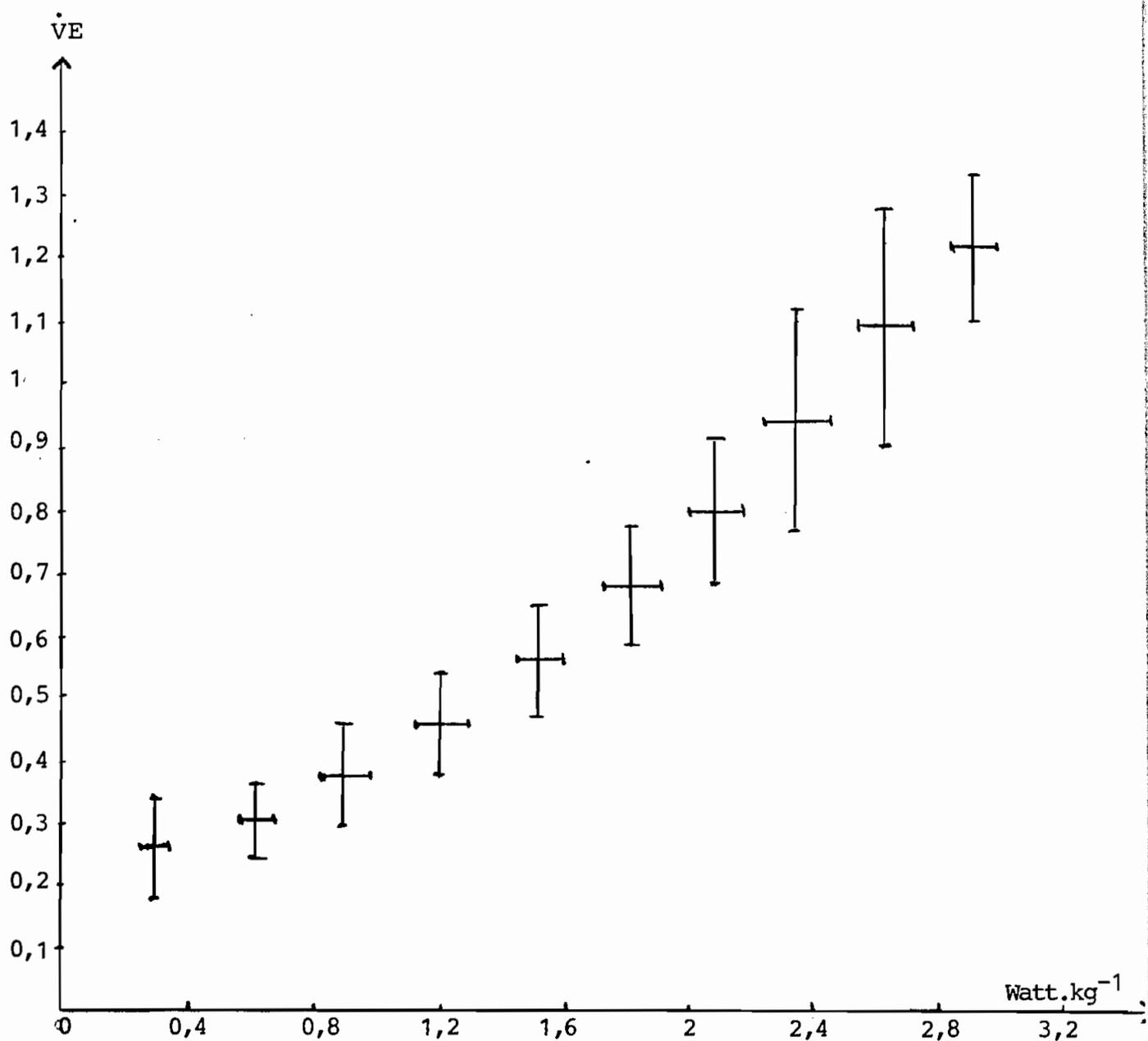
SA = Seuil Anaerobie.

FIGURE N°9

$\dot{V}E (C_2)$  22 sujets

SA graphique =  $1,39 \text{ W/kg}^{-1}$  51% de la PMT

SA calculé =  $1,45 \pm 0,39 \text{ W/kg}^{-1}$   $53\% \pm 15\%$  PMT



F I G U R E    N° 10 :

---

Evolution de la ventilation externe ( $\dot{V}E$  l.min<sup>-1</sup>)  
en fonction de la puissance en watts.kg<sup>-1</sup>  
au cours du passage ASSIS chez 22 sujets.

PMT = Puissance Maximale Tolérée

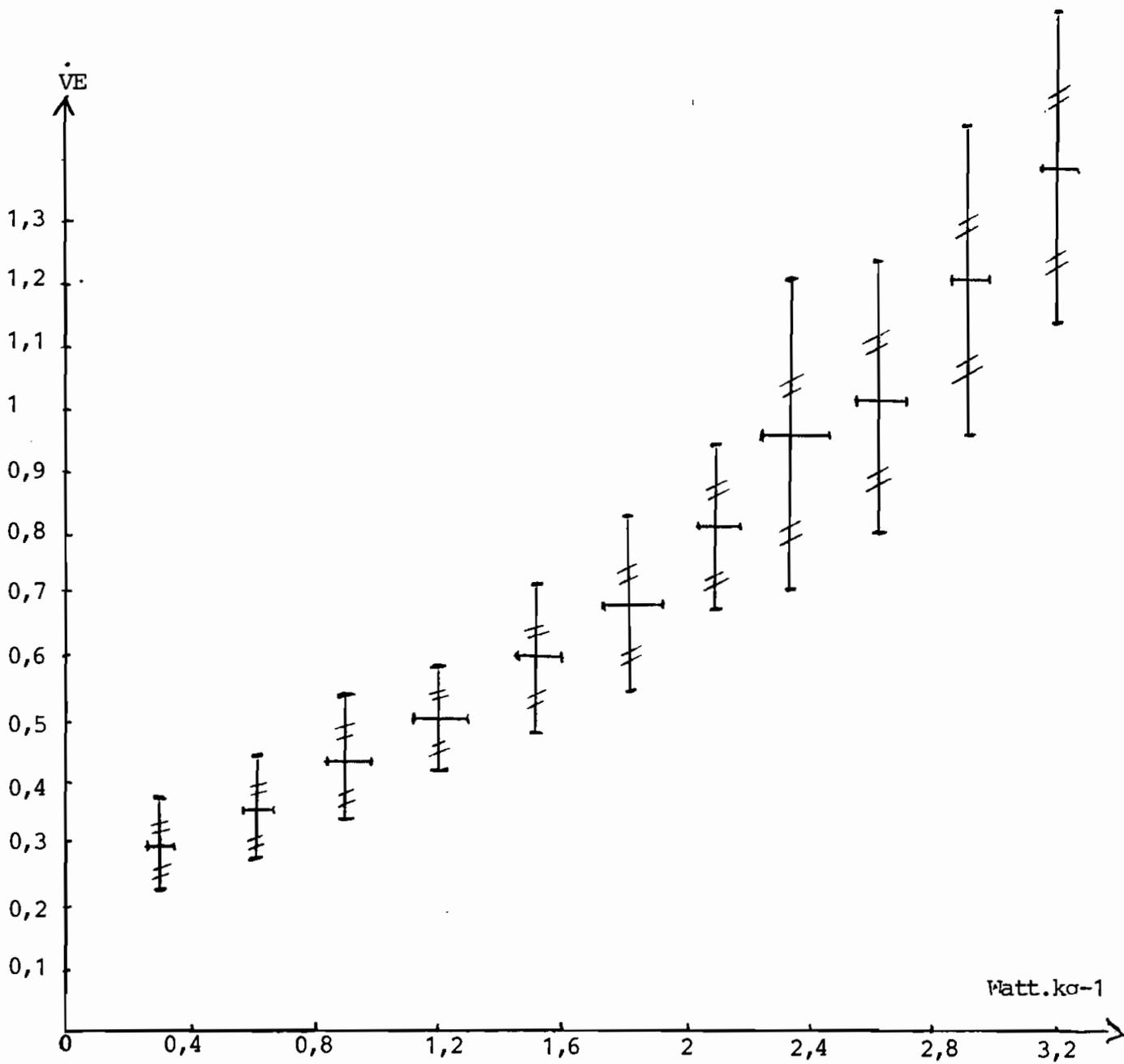
SA = Seuil Anaérobie

FIGURE N° 10

$\dot{V}E$  (A) 22 sujets

SA graphique =  $1,38 \text{ W.kg}^{-1}$  49,3% de la PMT

SA calculé =  $1,52 \pm 0,38 \text{ W.kg}^{-1}$  de la PMT.



F I G U R E   N° 11 :

---

Evolution du Systolic Tension Time (STT)  
en fonction de la puissance en  $\text{watts.kg}^{-1}$   
au cours du 1er passage COUCHE chez 22 sujets.

PMT = Puissance Maximale Tolérée

SA = Seuil Anaerobie

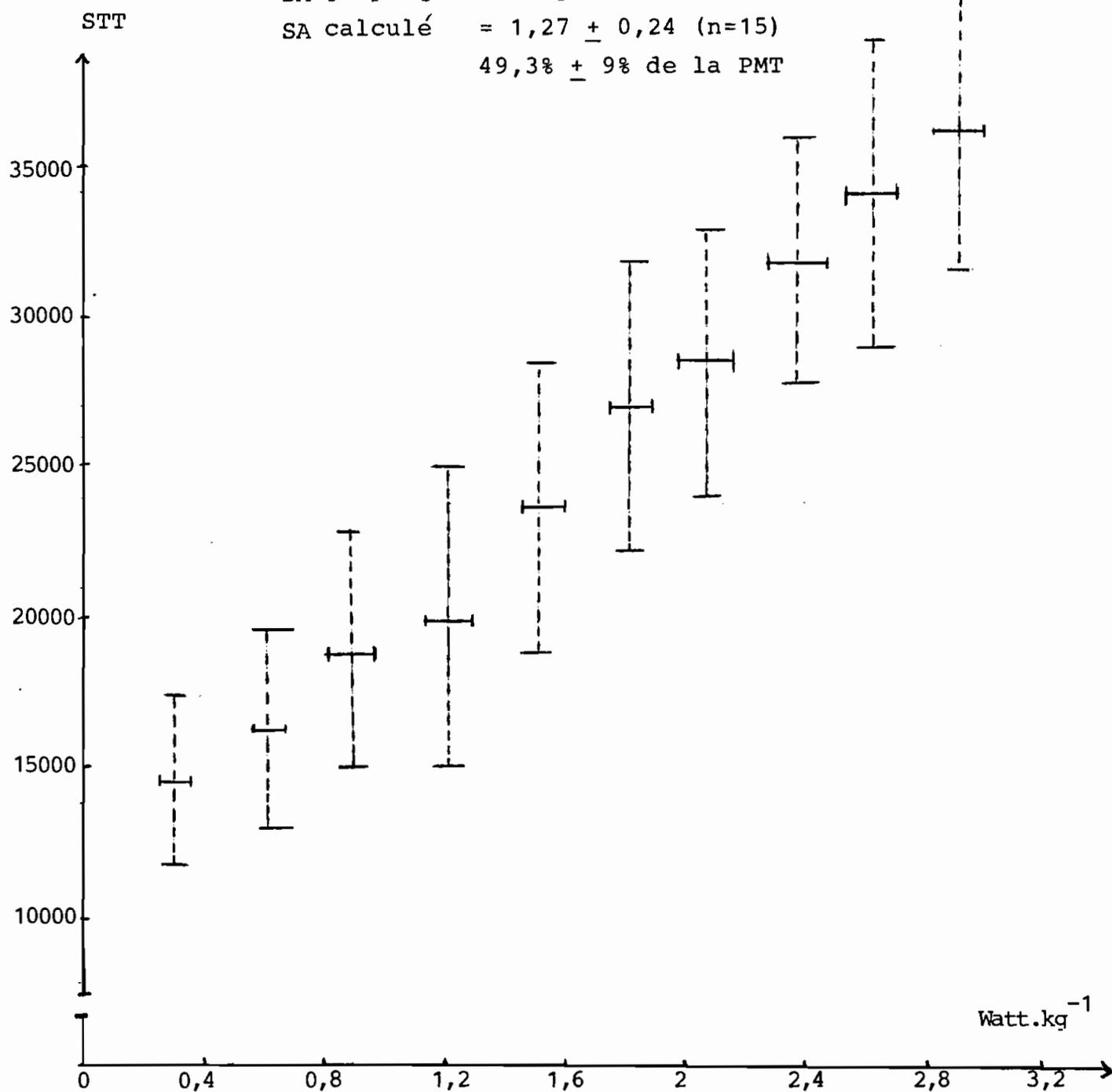
FIGURE N°11

STT (C<sub>1</sub>) 22 sujets

SA graphique = W.kg<sup>-1</sup> (n=22)

SA calculé = 1,27 ± 0,24 (n=15)

49,3% ± 9% de la PMT



F I G U R E N° 12 :

---

Evolution du Systolic Tension Time (STT)  
en fonction de la puissance en  $\text{watts.kg}^{-1}$   
au cours du 2ème passage COUCHE chez 22 sujets.

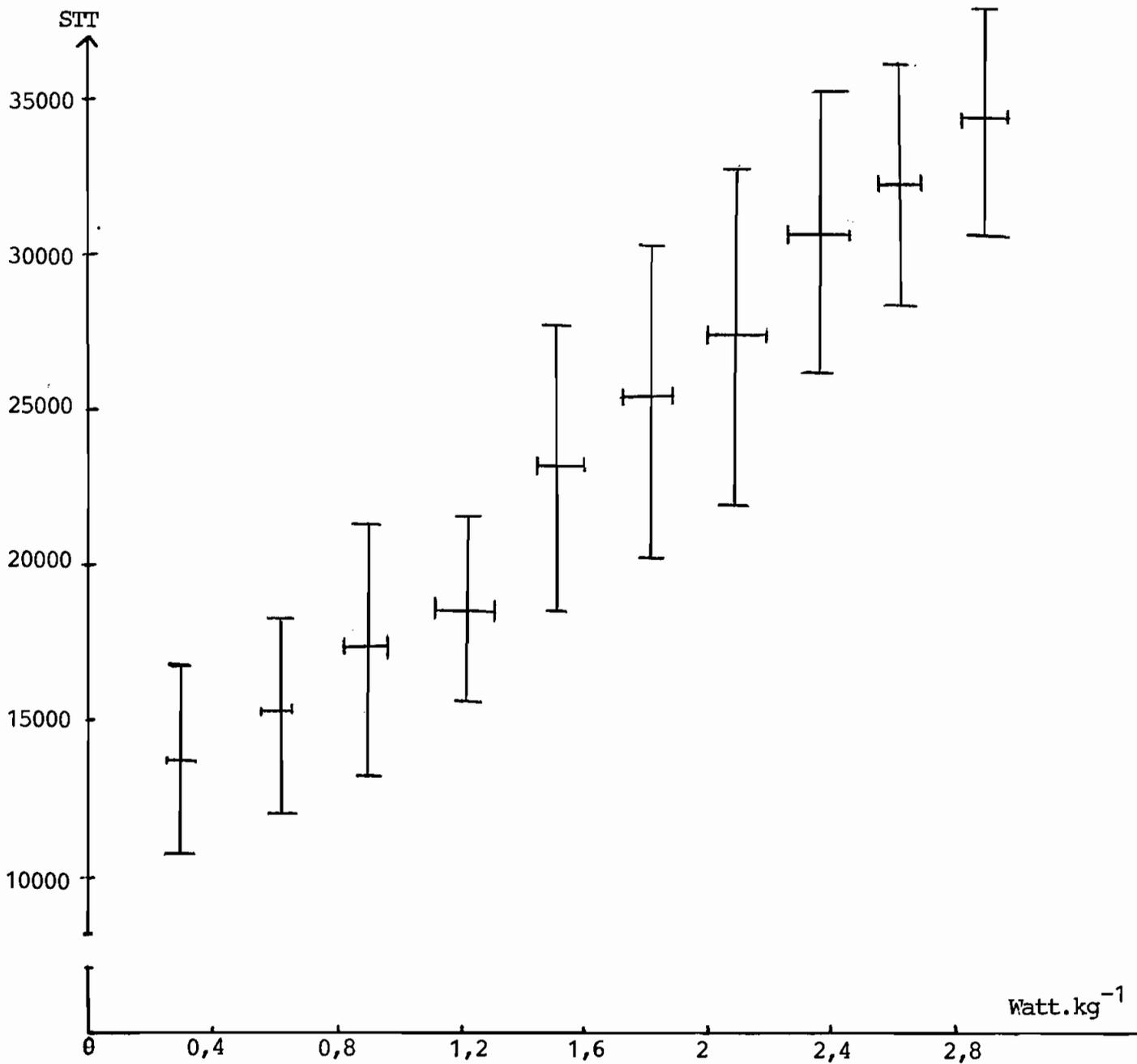
PMT = Puissance Maximale Tolérée

SA = Seuil Anaerobie

FIGURE N°12

STT ( $C_2$ )      22 sujets

SA graphique :  $0,74 \text{ W.kg}^{-1}$       25% de la PMT  
SA calculé :  $1,35 \pm 0,42$       (n=18)  
 $49,1\% \pm 13\%$  PMT



F I G U R E   N° 13 :

Evolution du Systolic Tension Time (STT)  
en fonction de la puissance en  $\text{watts.kg}^{-1}$   
au cours du passage ASSIS chez 22 sujets.

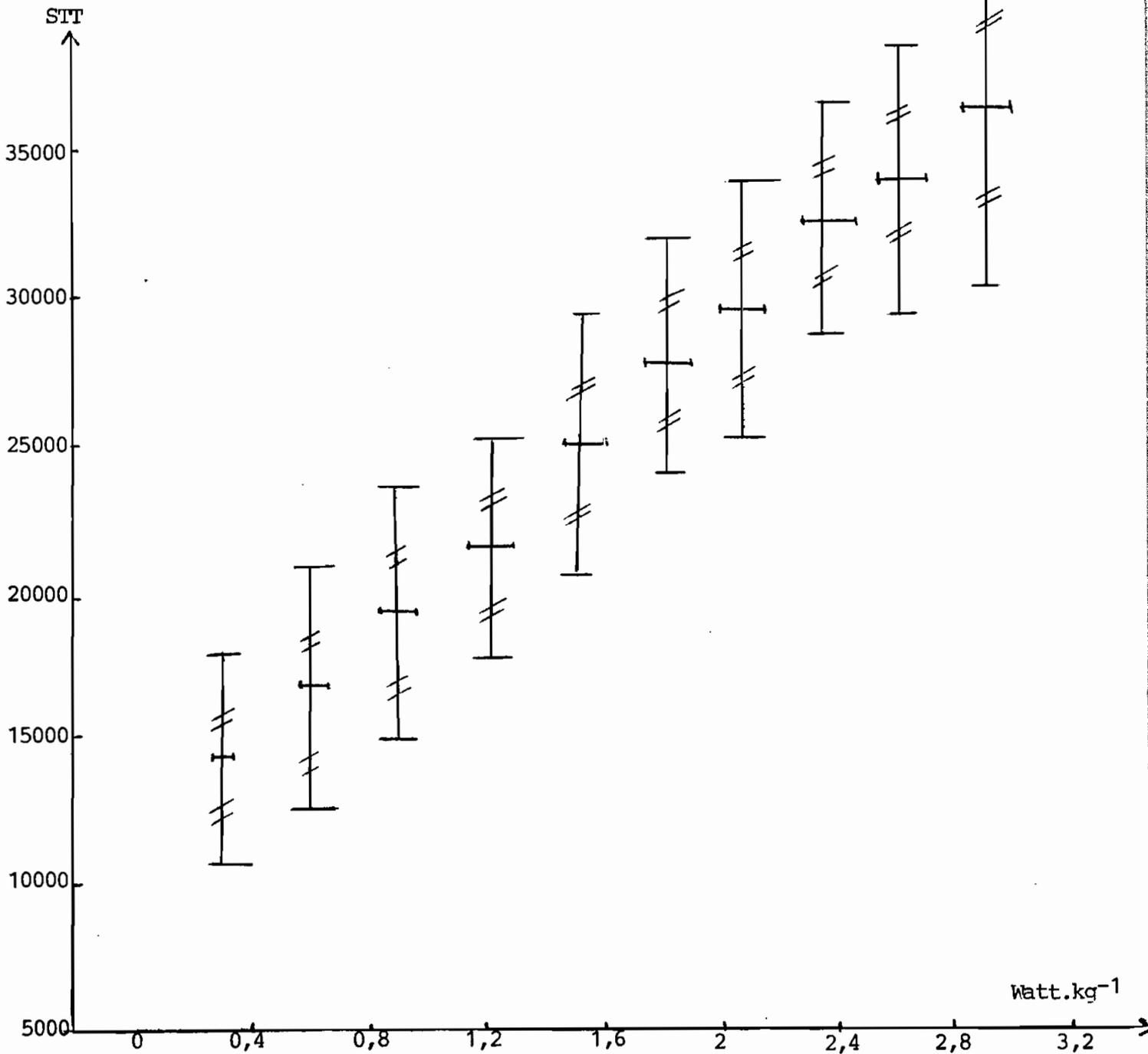
PMT = Puissance Maximale Tolérée

SA = Seuil Anaerobie

FIGURE N°13

STT (A) 22 sujets

SA graphique =  $1,04 \text{ W.kg}^{-1}$  36% de la PMT  
SA calculé =  $1,26 \pm 0,25 \text{ W.kg}^{-1}$   
 $46,3 \pm 10\%$  de la PMT



F I G U R E   N° 14 :

---

Comparaison graphique : Fréquence cardiaque  
premier passage (couché)

- Fréquence cardiaque 2e passage (couché)  
chez 22 sujets.

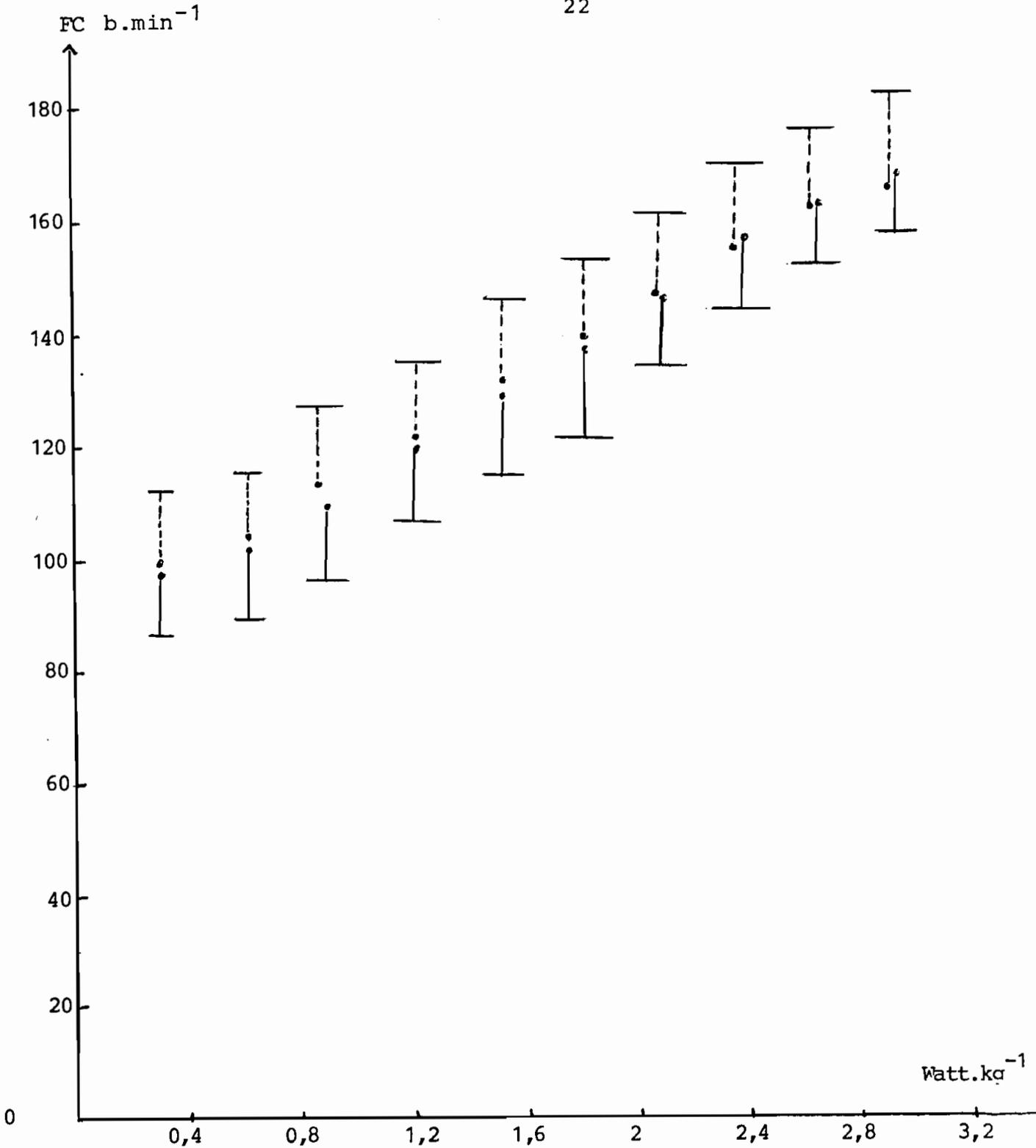
FIGURE N°14

FC<sub>1</sub> : 

moyenne et écarts-type.

FC<sub>2</sub> : 

22



F I G U R E   N° 15 :

---

Comparaison graphique : Fréquence cardiaque  
2ème passage (couché)

- Fréquence cardiaque  
passage Assis chez 22 sujets

FIGURE N° 15

FC (A):  Moyenne et  
écart-type

FC (C<sub>2</sub>): 

22 sujets

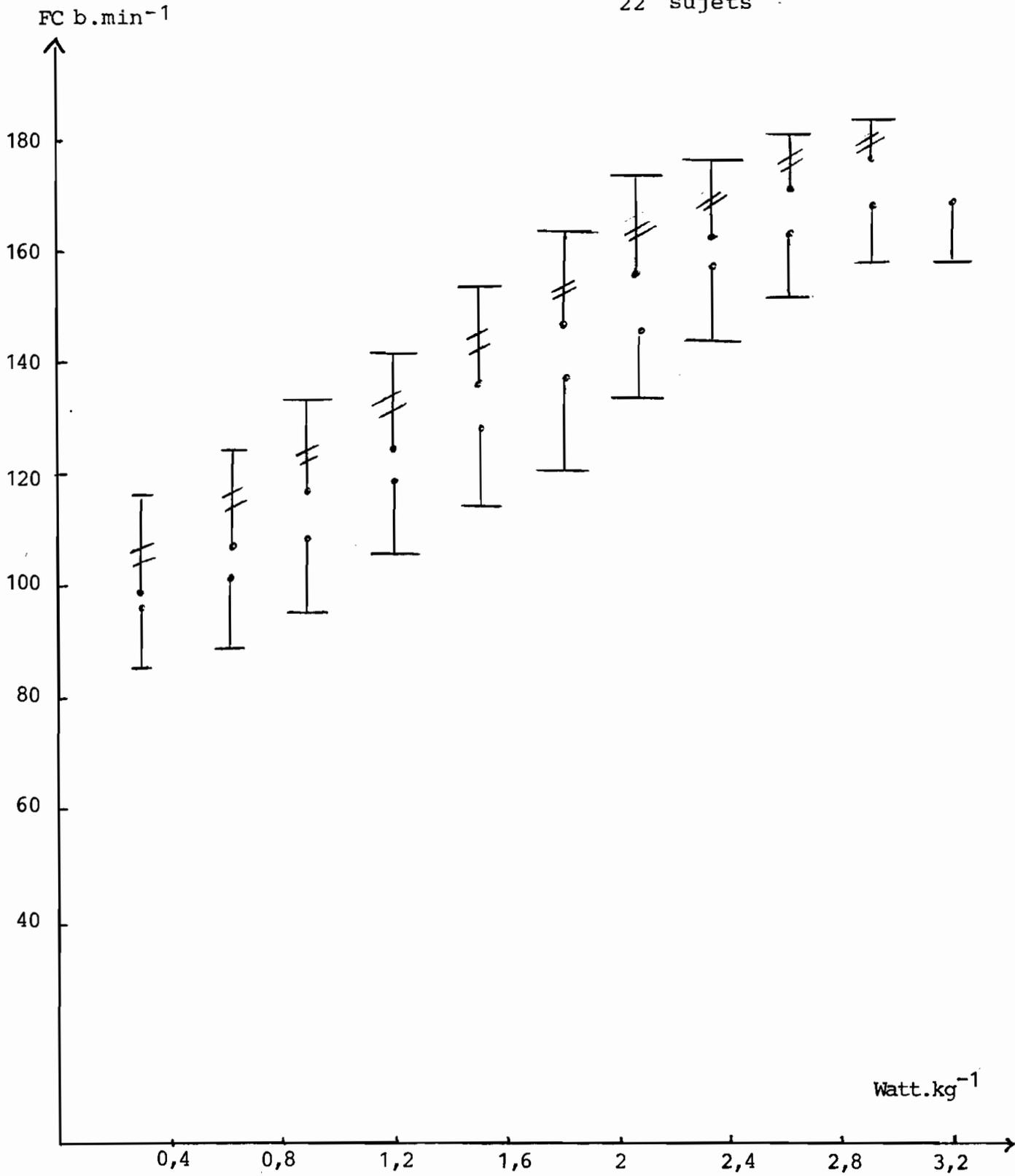


FIGURE N° 16 :

---

Comparaison graphique : Fréquence 1e passage (couché  
- Fréquence cardiaque 2e passage  
(couché) chez 35 sujets.

FIGURE N° 16

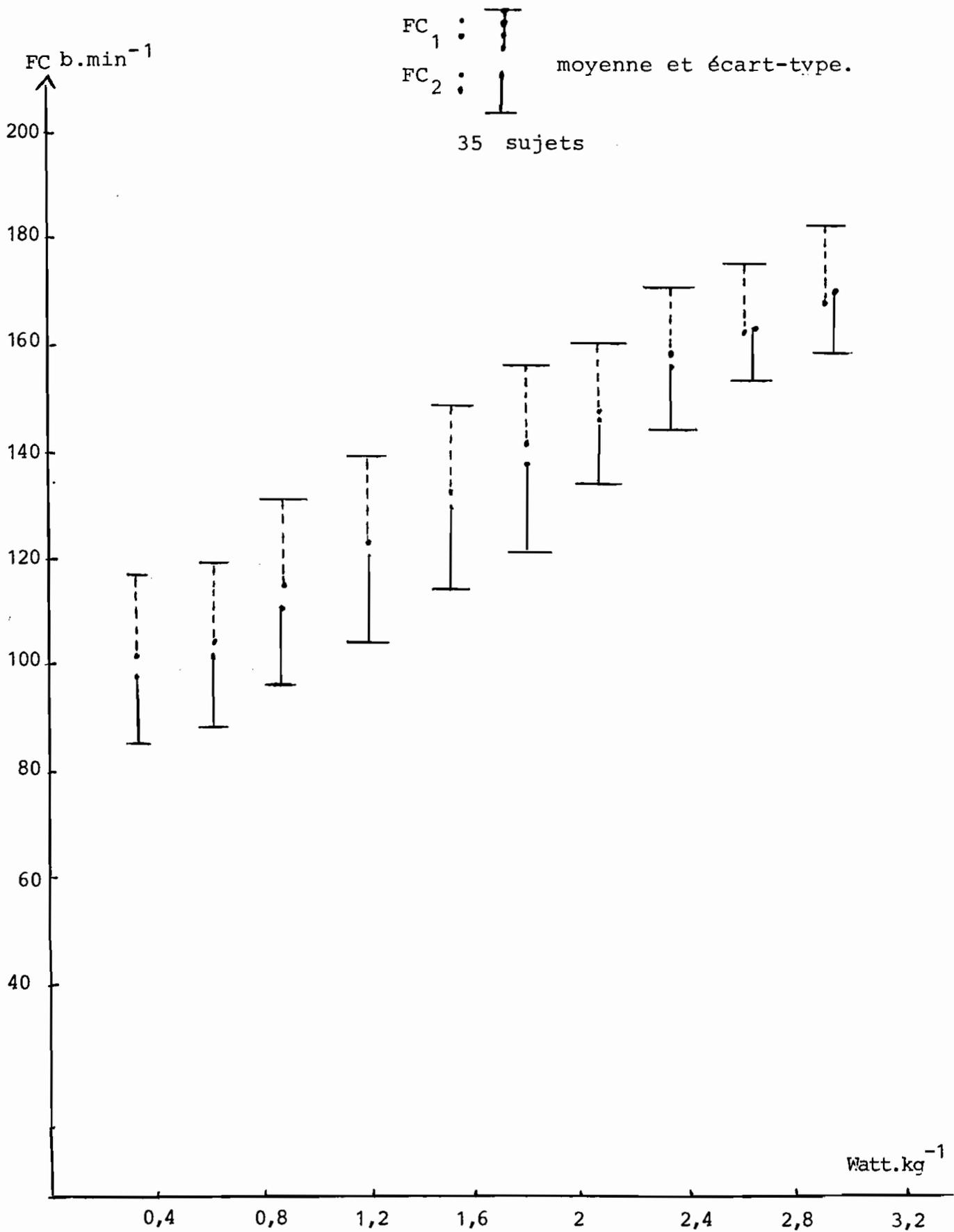


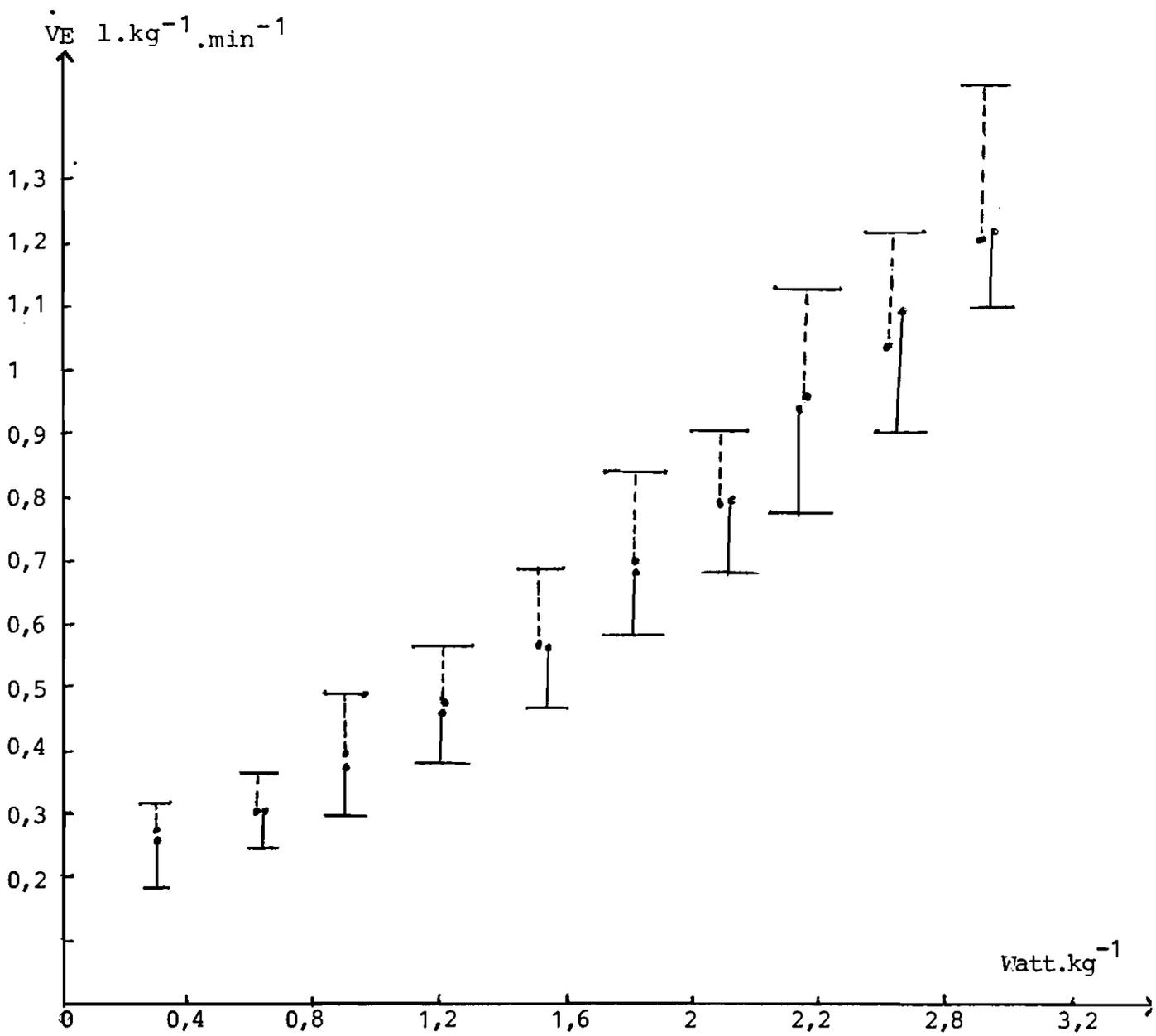
FIGURE N° 17 :

Comparaison graphique : Ventilation Externe  
1er passage (couché).

Ventilation Externe  
2ème passage (couché) chez 22 sujets.

FIGURE 17

$\dot{V}E (C_1)$  :  moyenne et écart-type  
 $\dot{V}E (C_2)$  :  22 sujets.



F I G U R E   N ° 1 8 :

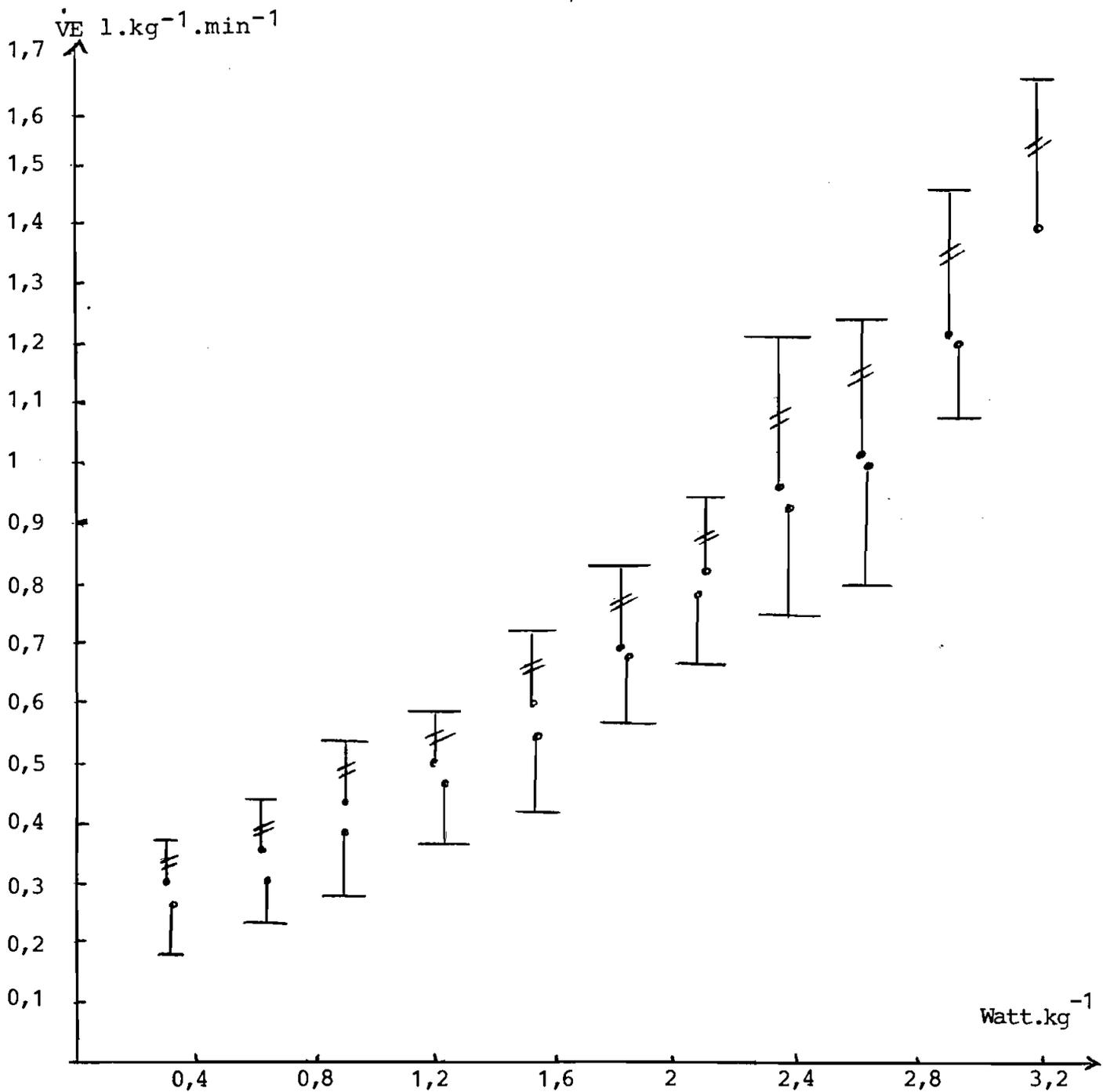
---

Comparaison graphique : Ventilation Externe  
2ème passage (couché)

Ventilation Externe passage ASSIS  
chez 22 sujets.

FIGURE N° 18

22 sujets  $\dot{V}E$  (A) :  moyenne et écart-type  
 $\dot{V}E$  (C<sub>2</sub>) : 



F I G U R E      N° 19 :

Comparaison graphique : Ventilation Externe  
1er passage (couché)

Ventilation Externe 2e passage (couché)  
chez l'ensemble des 35 sujets.

FIGURE N° 19

$\dot{V}E (C_1)$  :  Moyenne et écart-type.  
 $\dot{V}E (C_2)$  : 

35 sujets

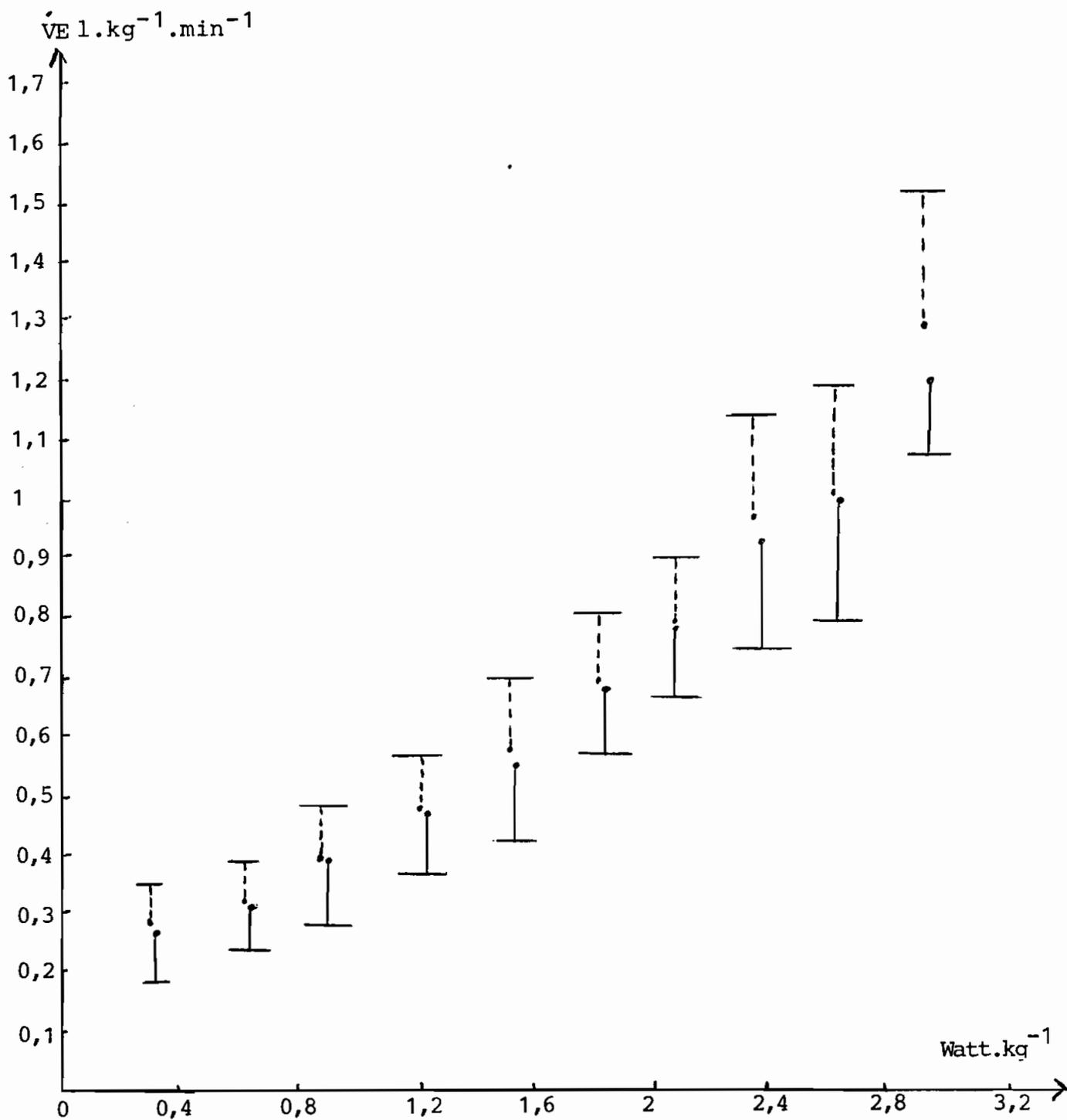


FIGURE N° 20 :

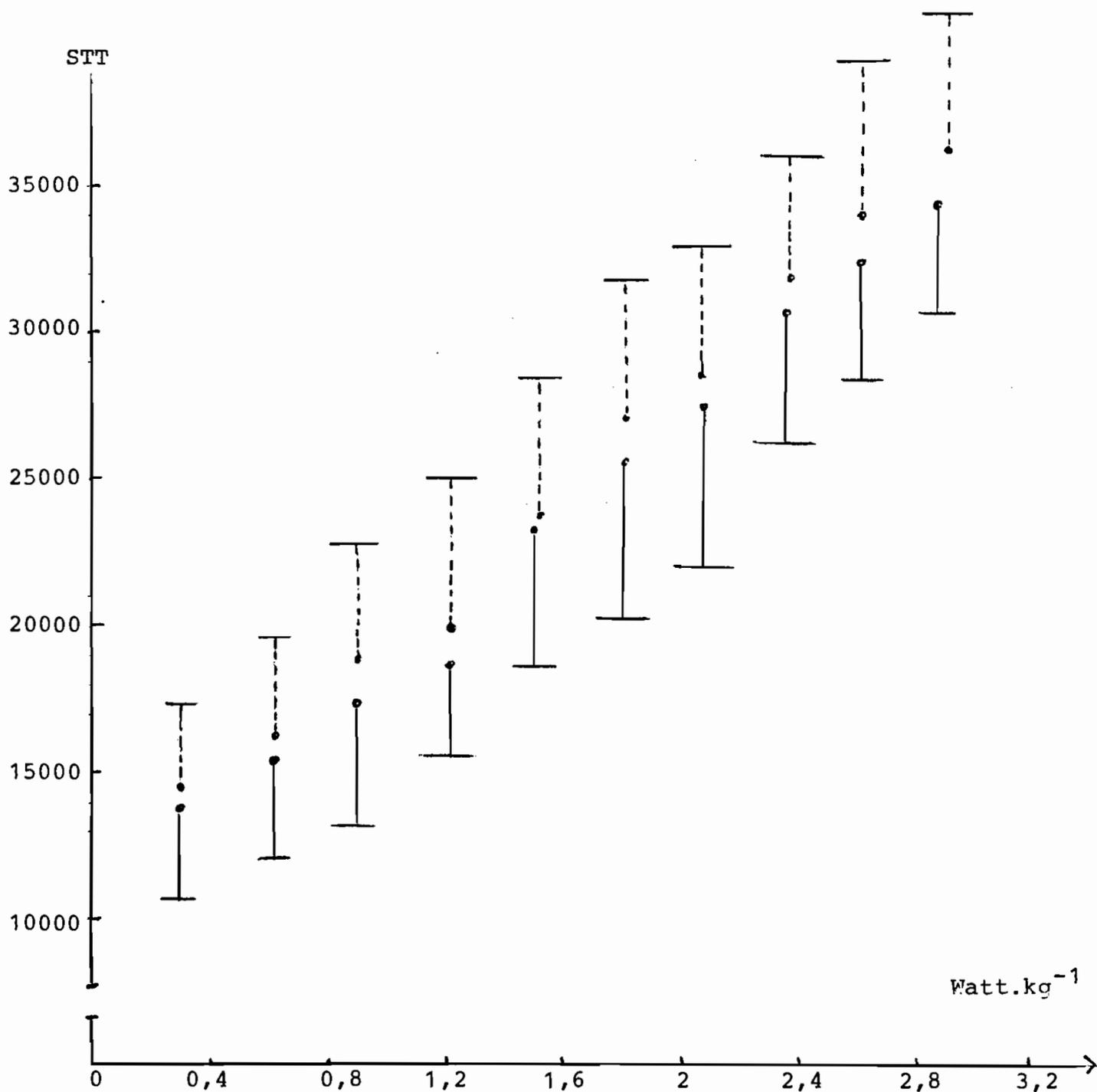
Comparaison graphique : Systolic tension time  
1er passage (couché)

Systolic tension time 2ème passage  
(couché) chez 22 sujets.

FIGURE N° 20

STT ( $C_1$ ) :  moyenne et écart-type  
STT ( $C_2$ ) : 

22 sujets.



F I G U R E      N° 21    :

---

Comparaison graphique : Systolic tension time  
2ème passage (couché)

Systolic tension time passage ASSIS  
chez 22 sujets.

FIGURE N°21

STT (A) :  Moyenne et écart-type.  
STT (C<sub>2</sub>) : 

22 sujets

