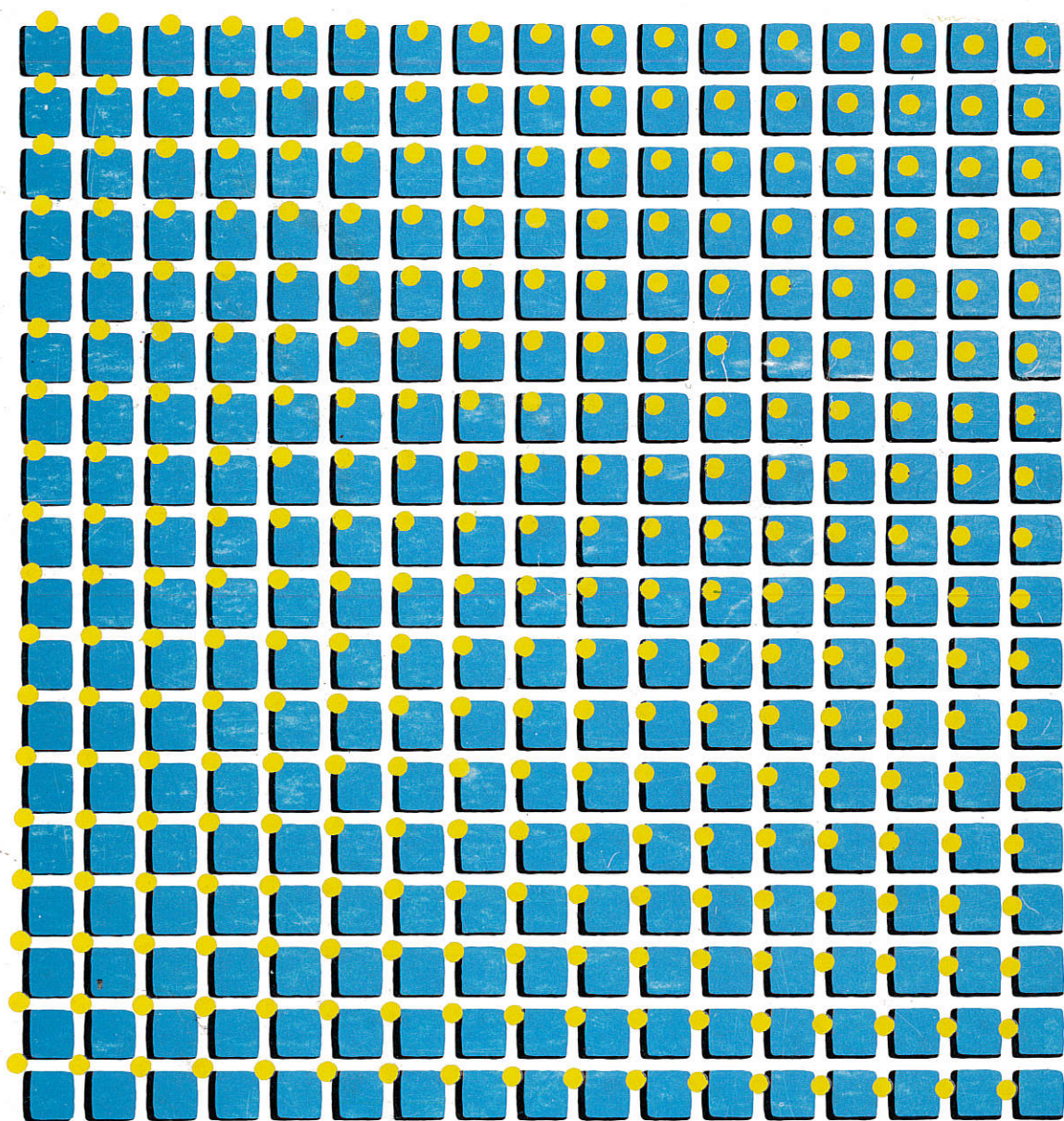


INSEP

EVALUATION DE LA VALEUR PHYSIQUE

TRAVAUX ET RECHERCHES EN E.P.S.



n°7 octobre 1984

LES EPREUVES D'EFFORT EN PHYSIOLOGIE

EPREUVES ET MESURES DU POTENTIEL AEROBIE

Dans la plupart des recherches portant sur les effets physiologiques de l'exercice ou de l'entraînement, la consommation d'oxygène constitue une référence très souvent utilisée pour en exprimer l'intensité énergétique. Augmentée jusqu'à son plateau maximal (ou $\dot{V}O_2$ max), elle constitue un excellent critère d'appréciation de l'aptitude physique de l'individu. De plus, la relation existant entre la performance de longue durée et l'importance du $\dot{V}O_2$ max peut être déterminante dans le choix d'une pratique sportive précise. Enfin, un $\dot{V}O_2$ max élevé, en permettant des entraînements plus intensifs et une meilleure récupération post-exercice, peut aussi intervenir indirectement dans la qualité des performances, même de courte durée.

Étant donné les fonctions ubiquitaires du $\dot{V}O_2$ max, sa mesure a fait l'objet de très nombreuses recherches, et les épreuves-tests qui en résultent constituent d'intéressants moyens à la disposition du praticien (physiologiste, médecin, professeur d'éducation physique, entraîneur, kinésithérapeute...).

Tenant compte de leurs objectifs habituels et de la diversité de leurs possibilités matérielles, l'objet de cette étude est de proposer un choix de techniques de mesures directes ou indirectes de laboratoire et d'épreuves de terrain les plus classiquement utilisées.

Georges CAZORLA

Programme Évaluation
Mission Recherche
INSEP

Luc LÉGER

Professeur Ph. D.
Département d'Éducation Physique
Université de Montréal

Jean-François MARINI

Professeur
Programme Évaluation
Mission Recherche
INSEP

Dans de nombreuses activités physiques et disciplines sportives, la relation existant entre la performance de longue durée et la consommation maximale d'oxygène (ou $\dot{V}O_2$ max) est un fait bien établi. Un $\dot{V}O_2$ max élevé favorise non seulement la performance de longue durée mais, en permettant des charges d'entraînement plus importantes, peut indirectement favoriser aussi la qualité de toutes les autres performances. De même un bon transport et une bonne utilisation cellulaire de l'oxygène jouent un rôle très important dans la récupération post-exercice, et est un gage d'une bonne capacité physique générale non seulement du sportif, mais aussi de l'enfant et de l'adulte non compétiteur.

Enfin, dans la plupart des recherches portant sur les effets physiologiques de l'exercice ou de l'entraînement, l'augmentation de la consommation maximale d'oxygène constitue un des critères objectifs souvent retenu pour apprécier l'amélioration de la condition physique. Pour l'ensemble de ces raisons, la mesure directe ou l'estimation du $\dot{V}O_2$ max devrait normalement faire partie de toute bonne batterie d'épreuves d'évaluation de la capacité physique générale ou spécifique des sujets jeunes ou plus âgés, sédentaires ou sportifs.

Définition du $\dot{V}O_2$ max

Nous savons que l'homme ne peut être trop longtemps privé d'oxygène. La sollicitation de ses réserves énergétiques en condition d'anaérobiose ne constitue qu'une étape de transition qui répond à des procédures

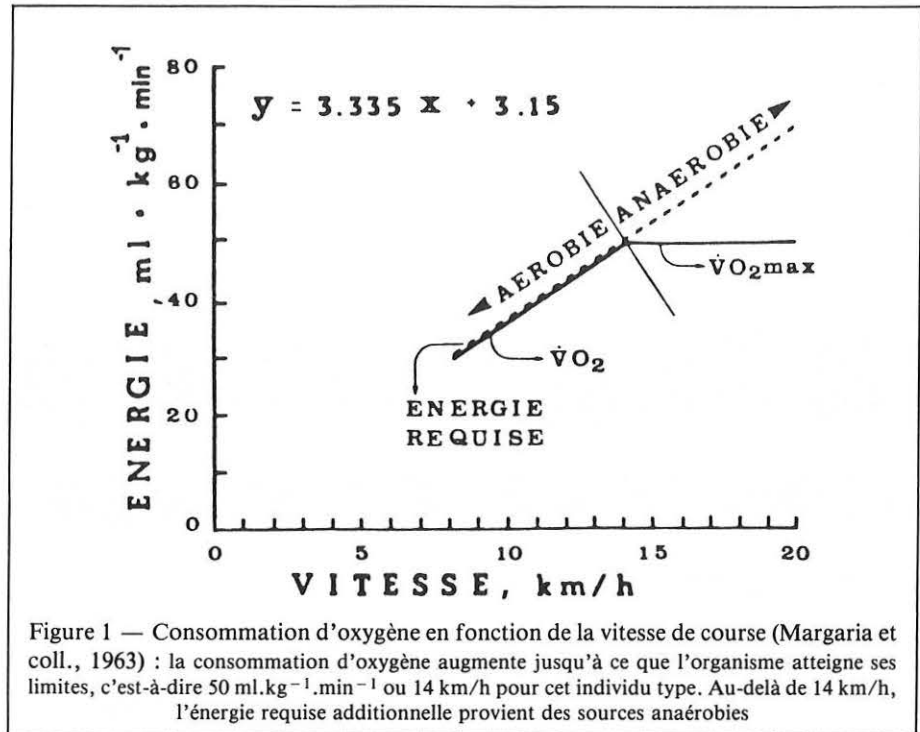
d'urgence. Dès lors qu'un exercice d'intensité exhaustive se prolonge au-delà de deux ou trois minutes, ce sont les processus oxydatifs qui permettent l'essentiel de l'approvisionnement énergétique. Ils s'accompagnent d'une baisse de l'intensité de l'exercice qui correspond aux valeurs limites des possibilités :

- de transport par le système cardiovasculaire,
 - d'utilisation par les cellules musculaires actives de l'oxygène véhiculé.
- Les deux facteurs ci-dessus conditionnent la consommation maximale d'oxygène.

Cette valeur limite peut être atteinte d'une manière diamétralement opposée en commençant un exercice à une intensité faible que l'on augmente progressivement par paliers. Dans ces conditions, la consommation d'oxygène augmente simultanément et linéairement pour assurer l'énergie supplémentaire requise, jusqu'au moment où à chaque nouveau palier, ne corresponde plus une augmentation de la consommation d'oxygène (fig. 1). On dit alors que le sujet a atteint sa consommation maximale d'oxygène (ou $\dot{V}O_2 \max$). C'est ce type d'épreuve physique qui est généralement utilisé pour obtenir la puissance maximale aérobie (ou PMA) d'un sujet dans des conditions expérimentales contrôlées.

Se référant à la mesure de la consommation maximale d'oxygène, nous avons utilisé, jusque là, les symboles $\dot{V}O_2 \max$ et PMA. Le $\dot{V}O_2$ exprime le volume (V) d'oxygène (O_2) consommé par minute (le point sur le V). La PMA est la puissance à laquelle le $\dot{V}O_2 \max$ est atteint.

Selon l'objectif, le niveau de précision requis et l'âge des sujets auxquels elle s'adresse, l'évaluation du $\dot{V}O_2 \max$ peut se faire par mesures directes ou mesures indirectes. Dans ce deuxième cas, il s'agit plus d'une estimation à partir de mesures que d'une mesure proprement dite. L'estimation du $\dot{V}O_2 \max$ utilise la relation linéaire qui existe entre les



fréquences cardiaques, les différentes intensités d'exercice et les $\dot{V}O_2$ infra-maximaux (inférieurs à $\dot{V}O_2 \max$ (1) correspondant).

Les expressions : stamina, capacité fonctionnelle de travail (PWC pour «physical working capacity» où \dot{W} signifie travail par unité de temps), capacité cardiorespiratoire, ou cardiovasculaire, organique, oxydative, sont aussi couramment utilisées en relation avec la capacité aérobie.

Ces mêmes qualificatifs sont précisés en adjoignant les termes puissance et endurance. Enfin, certains préconisent l'expression endurance intégrale pour signifier l'endurance aérobie. Pour éviter toute ambiguïté, nous nous en tiendrons dans ce texte aux notions de $\dot{V}O_2 \max$ ou PMA pour désigner respectivement la consommation maximale d'oxygène et la puissance à laquelle elle est atteinte.

Unités d'écriture du $\dot{V}O_2 \max$ et de la PMA

Plus un sujet est grand et de poids important, plus sa consommation maximale d'oxygène est normalement élevée. Ceci n'est pas surprenant dès lors qu'une plus grande masse musculaire consomme plus d'oxygène, ce qui ne constitue pas,

pour autant, un indicateur suffisant de sa capacité physique. Pour mieux apprécier cette dernière, il serait en effet indispensable de ramener le volume d'oxygène consommé au poids de la masse musculaire ou, à défaut, comme le proposent les physiologistes, au kilogramme de poids corporel.

Les unités de mesure peuvent donc s'exprimer différemment, soit en valeur brute ou litre par minute (l.min⁻¹), soit en valeur relative, c'est-à-dire par millilitre par minute et par kilogramme de poids corporel (ml.kg⁻¹.min⁻¹). La valeur relative peut aussi s'écrire : ml.kg⁻¹ min⁻¹, (ml/kg) / min, ml / (kg × min), alors que ml/kg/min est incorrecte, cette dernière formulation pouvant signifier aussi ml/(kg/min).

La PMA devrait toujours être exprimée en watts; cependant, pour la course, la nage et le cyclisme, la vitesse exprimée en km/h, en m/min ou en m/s, est aussi admise.

Considérations générales sur les techniques de mesure du $\dot{V}O_2 \max$

En fonction des objectifs de l'évaluation, de l'âge des personnes évaluées et du matériel disponible, le $\dot{V}O_2 \max$ peut être mesuré au cours d'un exer-

(1) Voir article précédent : CAZORLA (G.), LÉGER (L.), MARINI (J.F.).- Épreuves et mesures du potentiel anaérobie.

cice selon plusieurs protocoles. Nous examinerons tout à tour quels sont les outils et protocoles les plus classiquement utilisés en laboratoire, et ceux que l'éducateur physique peut utiliser dans sa pratique quotidienne sur le terrain.

Pour espérer atteindre la valeur maximale de sa consommation d'oxygène, un sujet doit solliciter au minimum 70 % de sa masse musculaire totale. Pour ce faire, les deux ergomètres les plus classiquement utilisés en laboratoire sont le tapis roulant et l'ergocycle, qui sollicitent les masses musculaires importantes des membres inférieurs (tabl. 1).

Les valeurs de $\dot{V}O_2$ max les plus élevées sont obtenues sur tapis roulant; cependant, la puissance fournie pendant l'épreuve de course n'est calculée qu'indirectement. Elle peut être évaluée à partir du nomogramme de Margaria et coll., 1963 (fig. 2) qui permet, dans un premier temps, d'extrapoler la dépense énergétique totale qui, elle-même, par l'intermédiaire d'un rendement musculaire arbitrairement fixé à 20-25 %, permet à son tour d'apprécier la puissance. Cet ensemble d'approximations interdit donc la précision de la mesure.

Le cycloergomètre donne des valeurs de $\dot{V}O_2$ max en moyenne plus basses que le tapis roulant (92 à 96 %) avec des sujets non spécialistes. Il offre cependant d'incontestables avantages. Le travail fourni par le sujet peut être en effet directement obtenu par lecture sur «cadran analyseur» équipant actuellement toutes les bicyclettes ergométriques. En outre, comme le buste et les membres supérieurs demeurent relativement immobiles au cours de cette épreuve, surveillance électrocardiographique et prélèvements sanguins en sont facilités.

Notons encore que la consommation maximale d'oxygène devrait être déterminée, chez le sportif spécialisé, à partir de la discipline habituellement pratiquée ou d'une épreuve qui s'en rapproche le plus.

Ces deux ergomètres sont classiquement utilisés aussi bien pour mesurer directement le $\dot{V}O_2$ max que pour

TYPES D'ERGOMÈTRES				
Tableau 1 — Avantages comparés des épreuves d'aptitude physique*				
	Type d'épreuve			
	Marches	Bicyclette droite	Bicyclette inclinée	Tapis roulant
A. FACILITÉ D'EXÉCUTION				
Nécessité d'un entraînement préalable	+++	++	-	+++ a
Obtention d'un $\dot{V}O_2$ élevé	++	++	±	+++
Rendement du sujet au $\dot{V}O_2$ max	+	++	+	+++
Facilité d'étalonnage de l'appareil	b	++ c	++ c	+ ou ± e
		- - d	- - d	
Facilité de mesure de la puissance appliquée	++ f	+++	+++ f	g
Facilité d'obtention des données suivantes pendant l'épreuve maximale :				
ECG	±	++	++	±
Pression sanguine	- -	++	+++	-
Échantillon de sang	- - -	++	+++	±
Ventilation et consommation d'oxygène	±	++	++	+
Nécessité de prévoir des soins d'urgence b	+	-	+++	- - -
Facilité de respiration	+++	++	+	+++
Obtention d'un accroissement presque continu de l'effort b	±	++ c	++ c	++ ou ± e
		+++ d	+++ d	
B. ABSENCE DE CARACTÉRISTIQUES INDÉSIRABLES				
Danger	+++ ou ± i	+	+++	- -
Habilité requise du sujet	+	+	-	++ i
Fatigue musculaire locale aux charges élevées	+	-	- -	++
Présence d'un personnel expérimenté	++	++	++	±
Coût de l'équipement	+++	++ c	+ c	- - -
		- - d	- - d	
Entretien (y compris l'étalonnage)	+++	++ c ± d	++ c ± c	±
Bruit	+++	±	±	- -
Encombrement b	+++	+	-	- - -
Commodité du transport b	+++	++ c ± d	± c - - d	- - -
Nécessité d'un branchement électrique b	b	++ c	++ c	- - -
		- - d	- - d	
Coordination neuromusculaire	-	-	+	- -
Contrôle de la puissance b	- -	- c ++ d	- c ++ d	+++
<p>* Tableau tiré du rapport d'une réunion OMS sur les épreuves d'effort dans leurs rapports avec la fonction cardiovasculaire (<i>Org. mond. Santé Sér. Rapp. techn.</i>, 1968, N° 388, p. 11). Les quatre types d'épreuves sont classés d'après les critères figurant dans la première colonne. Le signe +++ indique l'épreuve la plus facile à exécuter, la plus satisfaisante et qui comporte le moins de caractères indésirables. Le signe - - - indique l'épreuve la plus difficile, la moins satisfaisante, et qui comporte le plus grand nombre de caractères indésirables. Le niveau intermédiaire est représenté par le signe ±. Plus une épreuve compte de signes + (ou moins elle compte de signes -) dans l'ensemble du tableau, moins elle soulève de difficultés.</p> <p>a Épreuve plus difficile lorsque la vitesse est grande et la pente forte.</p> <p>b Pas d'étalonnage.</p> <p>c Type à friction.</p> <p>d Type électrique.</p> <p>e La normalisation de l'angle est facile mais celle de la vitesse est plus délicate.</p> <p>f Moins facile à la puissance maximale.</p> <p>g Permet seulement une estimation.</p> <p>h Facteur d'importance secondaire.</p> <p>i Augmente avec la vitesse.</p>				

l'estimer indirectement à partir des relations = $\dot{V}O_2 - FC -$ puissance de travail.

□ LES TECHNIQUES DE MESURE DIRECTE DU $\dot{V}O_2$ MAX

Les techniques de mesure directe du $\dot{V}O_2$ max donnent les résultats les plus exacts, c'est-à-dire que les erreurs systématiques et aléatoires peuvent être réduites à leur minimum, à condition de bien étalonner les appareils de mesure, de se conformer à un protocole rigoureux et de vérifier les critères physiologiques qui permettent de juger si le sujet a véritablement atteint son $\dot{V}O_2$ max.

Vérification des ergomètres

Il faut en effet vérifier le plus souvent possible :

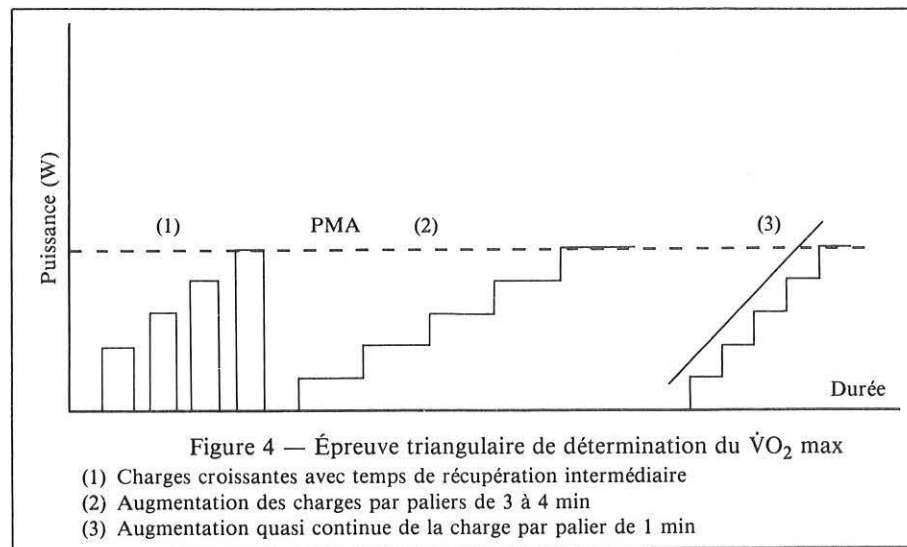
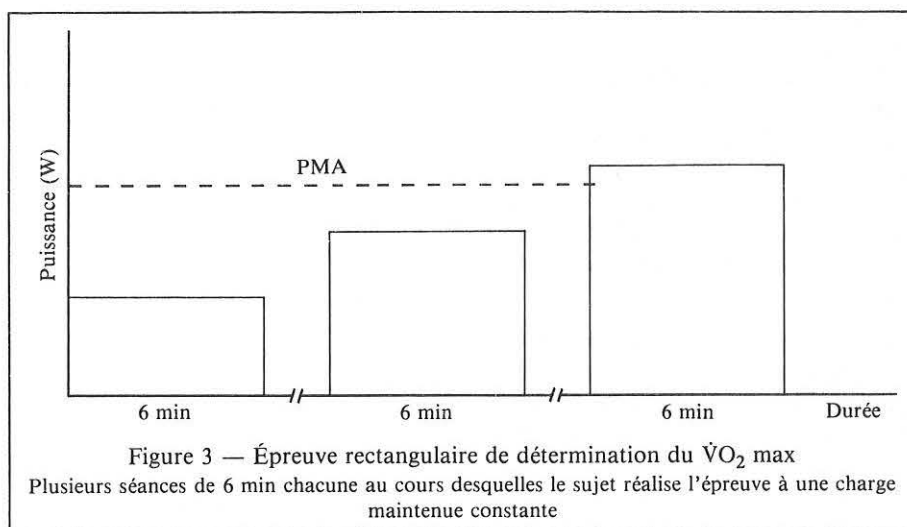
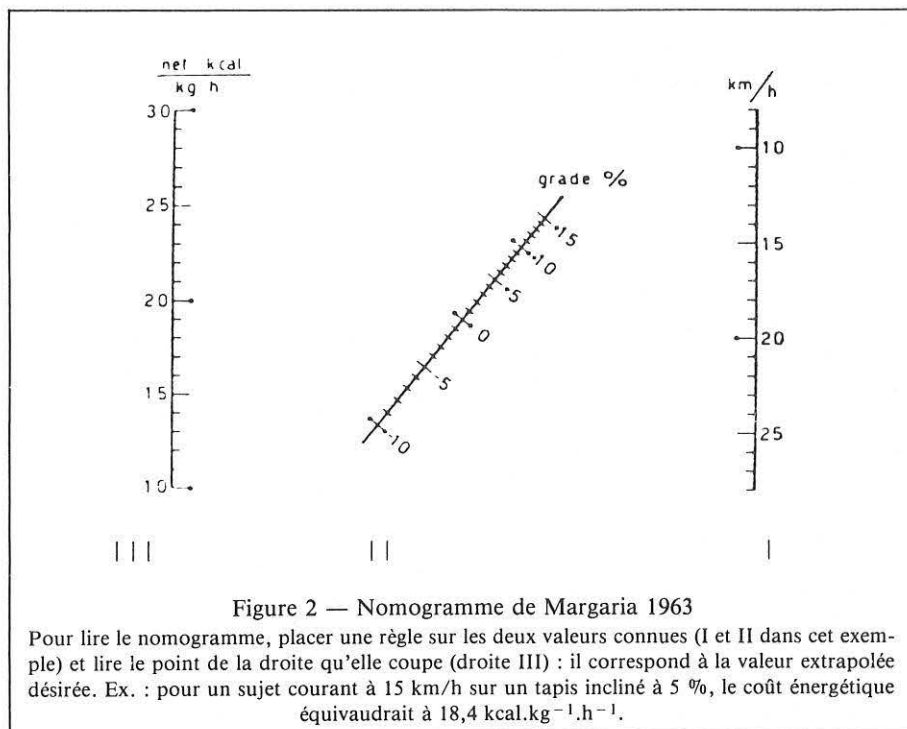
— pour le cycloergomètre, l'exactitude du tarage, le zéro en absence de tout système de frein (mécanique ou électro-magnétique), le réglage de la selle et, au cours de l'épreuve, le rythme correct du pédalage (soit par un compteur de coups, soit par un métronome);

— pour le tapis roulant, la vitesse de déroulement du tapis et l'exactitude des pourcentages de pente imposés.

Protocoles de l'épreuve

L'épreuve elle-même consiste à amener le sujet à l'état le plus élevé de sa consommation d'oxygène. La durée nécessaire dépend du protocole choisi. Quelle que soit sa nature, il doit être précédé d'un échauffement d'une durée minimale de 6 minutes élevant la fréquence cardiaque du sujet à une valeur comprise entre 120 et 150. L'évaluateur peut alors utiliser soit une épreuve dite *rectangulaire*, c'est-à-dire qu'une puissance unique de travail est demandée par séance — son augmentation requiert dans ce cas plusieurs séances de 6 minutes chacune (fig. 3) — soit une épreuve dite *triangulaire* permettant d'obtenir le $\dot{V}O_2$ max au terme d'une seule épreuve.

Dans ce cas, la puissance du travail est augmentée progressivement par paliers de 1, 2 ou 3 minutes (fig. 4) jusqu'au moment où le sujet s'arrête parce qu'il ne peut plus aller au-delà. Une période de récupération active



(travail entre 40 et 50 % de la PMA) est fortement recommandée en fin d'épreuve.

Critères physiologiques indispensables pour savoir si le $\dot{V}O_2$ max a été atteint

Les motivations que requiert ce type d'épreuve peuvent parfois faire arrêter le sujet avant que son $\dot{V}O_2$ max soit atteint, c'est pourquoi il est indispensable de se fonder sur les critères suivants :

— Fréquence cardiaque (FC) = FC max théorique qui selon Astrand (1954) devrait correspondre à 220 battements par minute moins l'âge du sujet (220 - l'âge).

Toutefois, comme nous le verrons ultérieurement, à cause des variations interindividuelles, ce seul critère serait insuffisant.

— Quotient respiratoire:

$$(QR = \frac{V CO_2}{VO_2}) \geq 1.05$$

— Lactate sanguin ≥ 9 mmol/l-1 chez l'adulte et ≥ 8 mmol chez l'enfant.

— Valeur maximale du $\dot{V}O_2$; possible à vérifier lorsque, à la fin de l'épreuve, après un repos de 1 minute, il est demandé au sujet de réaliser un dernier palier de 1 à 2 minutes à une puissance supérieure à la PMA.

Appareils de mesure

Les appareils de recueil et de mesure des gaz expirés dépendent de la technique choisie, qui peut être, soit en circuit fermé, soit en circuit ouvert.

• Technique en circuit fermé

Le sujet évalué respire ici l'air contenu dans un spiromètre. Les gaz expirés lui sont ensuite restitués après leur passage dans un dispositif contenant de la chaux sodée ou du KOH qui absorbe le CO₂. A chaque mouvement respiratoire correspond un spirogramme qui traduit en fait l'O₂ consommé par le sujet. L'alignement de tous les cycles respiratoires est matérialisé par une droite dont la pente fournit le $\dot{V}O_2$ (fig. 5).

Si ce procédé évite le calcul du $\dot{V}O_2$, il exige par contre une respiration régulière, et entraîne un appauvrissement progressif en O₂ de l'air inspiré incompatible avec une durée prolongée de l'épreuve.

De plus, l'ensemble du dispositif présente des résistances d'autant plus grandes que le débit ventilatoire s'élève. Ces inconvénients lui font préférer les techniques en circuit ouvert plus conformes aux conditions de l'exercice.

• Techniques en circuit ouvert

Elles sont de deux ordres : soit par le recueil des gaz expirés dans des sacs de Douglas, soit par mesures automatiques.

□ Technique par recueil dans des sacs de Douglas

Les gaz expirés sont recueillis dans des sacs imperméables d'une contenance habituelle de 100 l, pendant une durée rigoureusement chronométrée. La porosité des sacs et l'exactitude du chronomètre doivent être régulièrement contrôlés.

Les fractions d'O₂ et CO₂ expirées (FE_{O₂} et FE_{CO₂}) sont déterminées par des analyseurs appropriés (analyseur

paramagnétique d'O₂ et analyseur à infrarouge de CO₂ par exemple). Leur étalonnage doit être aussi régulièrement effectué à l'aide d'un gaz étalon préalablement contrôlé par la technique de Scholander.

Le volume des sacs est mesuré par un spiromètre étalonné (spiromètre de Tissot par exemple).

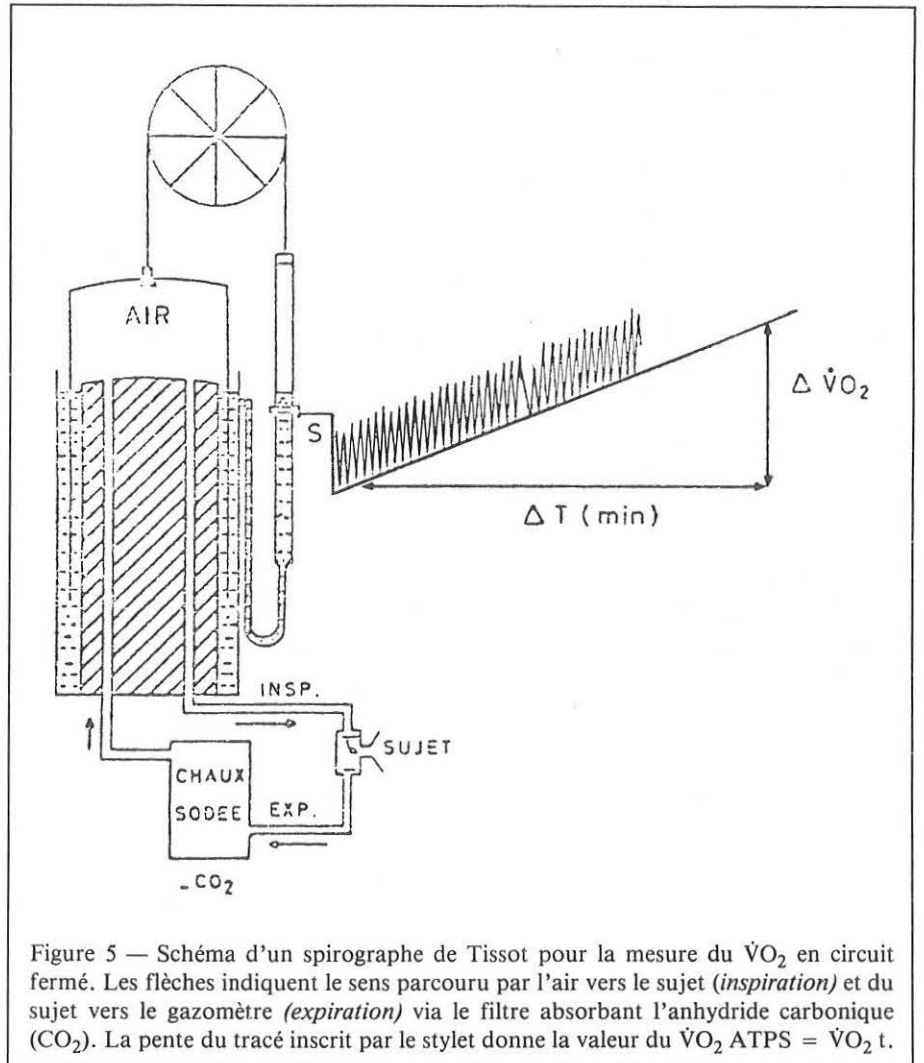
Connaissant le débit expiré $\dot{V}E$

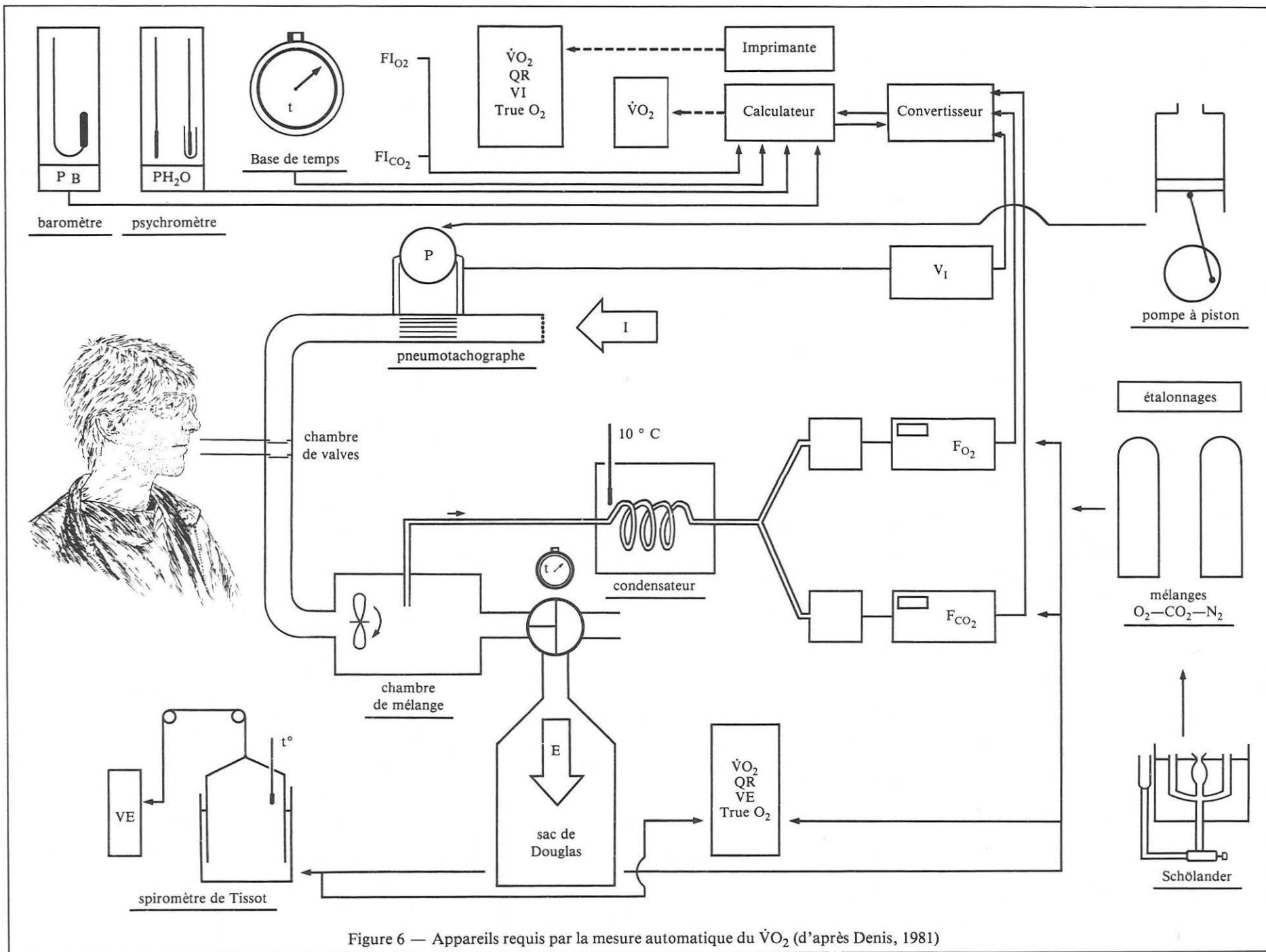
$$\left(\frac{\text{Volume du sac} \times 60}{\text{durée de prélèvement (s)}} = \dot{V}E \text{ (l.min}^{-1}\text{)} \right)$$

les fractions d'O₂ consommé, de CO₂ produit, et les conditions de température et de pression des lieux d'analyses, on peut alors calculer le $\dot{V}O_2$ (l.min⁻¹) (voir calculs en annexe).

□ Technique par mesures automatiques

Afin d'éviter toutes les étapes précédentes (recueil des gaz dans des sacs de Douglas, mesure du volume, analyse des fractions d'O₂ et de CO₂,



Figure 6 — Appareils requis par la mesure automatique du $\dot{V}O_2$ (d'après Denis, 1981)

calculs du VE et du $\dot{V}O_2$), une chaîne d'appareils électroniques placés en série permet actuellement d'accéder aux $\dot{V}O_2$ grâce à un ordinateur dont les calculs intègrent toutes les données requises (débit inspiratoire = V_i ; fractions d' O_2 inspiré : F_{iO_2} ; fractions d' O_2 et CO_2 expiré : F_{EO_2} et F_{ECO_2} ; température, pression) (voir fig. 6 pour l'appareillage et annexe pour les calculs).

Cette technique nécessite cependant un contrôle régulier de chacun des appareils car une seule imprécision peut être à l'origine de résultats finaux aberrants. Le contrôle global de cette technique nécessite un robinet en dérivation permettant de prélever en aval de la chambre de mélange

(fig. 6) les gaz expirés. Recueillis dans des sacs de Douglas, ils permettent alors le calcul du $\dot{V}O_2$ par la technique décrite ci-dessus.

La mesure directe fait donc appel à un appareillage coûteux et sophistiqué exigeant d'être manipulé par un personnel hautement qualifié. De plus, la nature de l'effort qu'elle demande est peu compatible avec un état de santé fragile, et à proscrire aux personnes présentant des facteurs de risques cardio-vasculaires.

Dans le cadre d'un programme d'évaluation d'adultes âgés de plus de 35 ans ou d'enfants de moins de 12 ans, les mesures indirectes sous-maximales sont plus indiquées et généralement plus utilisées.

□ LES TECHNIQUES DE MESURE INDIRECTE DU $\dot{V}O_2$ MAX

Les épreuves permettant d'obtenir indirectement le $\dot{V}O_2$ max utilisent les liaisons linéaires existant entre le $\dot{V}O_2$, la puissance de l'exercice et la FC (fig. 10). Pour être crédibles, ces épreuves doivent toujours être accompagnées de l'équation de la pente de la droite établissant la liaison entre la FC ou la puissance de travail et le $\dot{V}O_2$:

$$y = ax + b \text{ dans laquelle,}$$

$$y = \dot{V}O_2 \text{ et}$$

$$x = FC \text{ ou puissance.}$$

Ces épreuves peuvent être *maximales* et présenter les limites et les risques d'administration indiqués ci-dessus

Quelques valeurs normatives de consommation maximale d'oxygène mesurée par méthodes directes

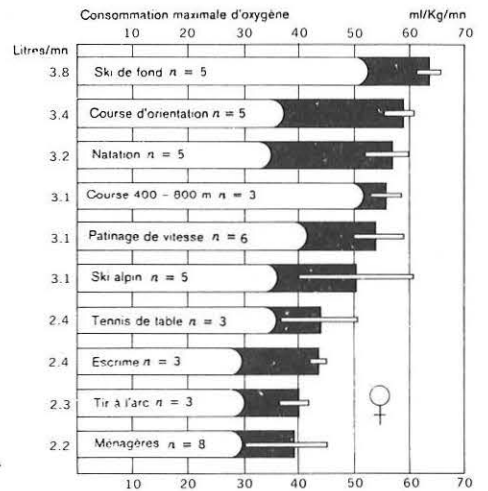
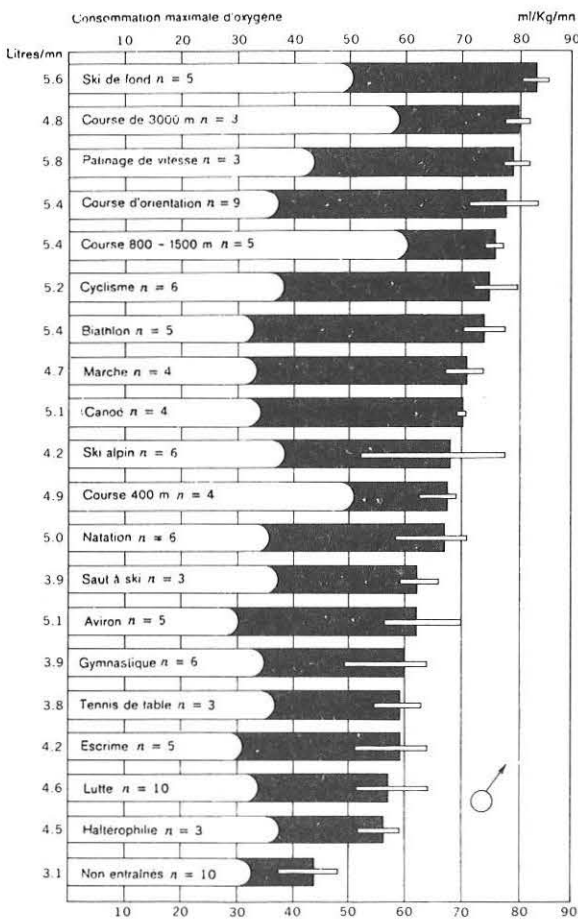


Figure 8 —

Figures 7 et 8 — Consommation maximale d'oxygène moyenne, exprimée en millilitres par kg de poids corporel et par minute, des équipes (a) masculines et (b) féminines suédoises des différentes disciplines sportives

Le trait blanc horizontal à l'extrémité de chaque barre représente l'écart-type; n = nombre de sujets mesurés. A gauche est également indiquée la consommation d'oxygène moyenne, exprimée en litres par minute (D'après Saltin et P.O. Astrand, 1967)

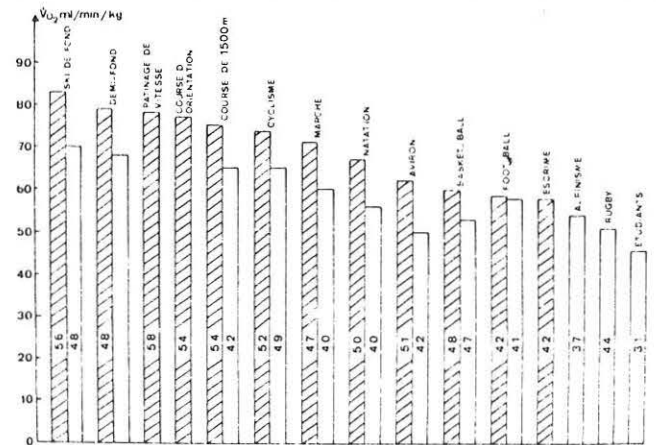


Figure 9 — La consommation maximale d'oxygène chez différents groupes d'athlètes

D'après Saltin et Astrand (1967) (rectangles hachurés) et résultats personnels sur des athlètes de niveau national (rectangles blancs). Les valeurs dépendent du type d'activité; elles sont d'autant plus élevées que l'exercice habituellement pratiqué est plus intense et plus prolongé (Extrait de Lacour et Flandrois, 1977)

Quelques valeurs normatives de consommation maximale d'oxygène mesurée par méthodes directes																		
Age	Taille (cm)			Poids (kg)			$\dot{V}O_2$ max (l.min ⁻¹)			$\dot{V}O_2$ max (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)			FC à $\dot{V}O_2$ max (bat. min ⁻¹)			QR à $\dot{V}O_2$ max		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	n = 21	n = 14	n = 12															
10-11	142.7	142.4	147.5	35.6	35.4	39.5	1.74	1.98	2.31	49.1	57.4	58.39	200	199	197	1.12	1.08	1.00
	1.9	2.0	8.7															
12	147.7	147.7	159.0	37.6	40.4	48.9	1.77	2.24	2.59	47.8	56.7	53.25	200.5	205	189	1.13	1.10	1.00
	1.3	1.4	11.3															
13	155.1	159.0	165.5	44.1	48.1	53.4	2.10	2.88	3.29	47.8	60.2	61.78	199.5	196	189	1.23	1.09	1.02
	1.3	2.8	9.0															
14	164.9	165.5	172.0	52.9	54.7	59.5	2.34	3.28	3.71	43.9	61.1	62.62	198	206	186	1.16	1.13	1.01
	2.2	2.5	6.0															
15	166.4	174.3	174.8	55.0	61.1	63.2	2.68	3.54	3.84	48.9	58.3	60.94	200	201	185	1.33	1.13	1.03
	1.4	2.1	5.8															
16	169.6	172.7	177.4	59.1	63.9	67.2	2.69	3.99	4.28	46.1	61.7	63.68	201	197	185	1.30	1.11	1.06
	1.1	1.6	5.8															
17			n = 7															
			180.5			70.6			4.65			65.12						182
18			n = 24															
			183.5			74.7			4.74			63.70						182
		5.6			6.9			0.48			6.66						8	0.08

I : populations de non sportifs; II: populations de nageurs niveau club. Valeurs obtenues par Flandrois et coll. (1982) à partir d'une épreuve sur bicyclette ergométrique; III : populations de nageurs niveau national. Valeurs obtenues par Cazorla (1982) à partir de mesures directes au cours de la nage.

Tableau 2 — Ensemble des valeurs biométriques et fonctionnelles de jeunes gens français sportifs et non sportifs

Age	Taille (cm)			Poids (kg)			$\dot{V}O_2$ max (l.min ⁻¹)			$\dot{V}O_2$ max (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)			FC à $\dot{V}O_2$ max (bat. min ⁻¹)			QR à $\dot{V}O_2$ max		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
	n = 21	n = 14	n = 14															
10-11	148.8	146.0	151.7	37.0	36.1	41.3	1.47	1.89	2.25	40.0	53.2	55.13	200	207	194	1.16	1.05	0.98
	1.4	1.5	10.8															
12	148.0	151.3	158.6	38.1	40.0	47.1	1.55	2.10	2.67	40.9	56.5	57.11	203	199	191	1.18	1.05	1.01
	1.3	2.3	6.6															
13	157.5	160.3	161.0	47.5	48.8	48.8	1.70	2.41	2.76	36.0	48.1	57.12	202	200	191	1.24	1.11	0.99
	1.6	2.1	5.8															
14	157.1	165.1	163.6	45.3	52.4	52.7	1.66	2.84	2.80	35.7	53.5	53.31	201	198	191	1.28	1.06	1.01
	1.6	1.1	5.5															
15	162.4	161.6	166.2	50.6	52.3	54.4	1.83	2.66	2.91	36.4	51.0	53.90	201	195	190	1.34	1.12	1.02
	1.6	1.5	5.2															
16	159.1	164.5	166.3	49.4	54.7	52.9	1.89	2.87	2.85	35.7	53.5	54.05	202	197	187	1.24	1.07	1.05
	1.5	1.2	5.6															
17 et +			n = 13															
			171.4			60.9			3.49			58.07						188
		5.0			6.7			0.35			7.69						8	

I : populations de non sportives; II: populations de nageuses niveau club. Valeurs obtenues par Flandrois et coll. (1982) à partir d'une épreuve sur bicyclette ergométrique; III : populations de nageuses niveau national. Valeurs obtenues par Cazorla (1982) à partir de mesures directes au cours de la nage.

Tableau 3 — Ensemble des valeurs biométriques et fonctionnelles de jeunes filles françaises sportives et non sportives

ou, pour pallier ces inconvénients, être *sous-maximales* (<à $\dot{V}O_2$ max), c'est-à-dire qu'elles utilisent généralement dans ce cas la relation FC - $\dot{V}O_2$, et la simultanéité supposée du plafonnement du $\dot{V}O_2$ max et de la FC max. Cette relation est établie pour chaque sujet à partir d'au moins deux exercices sous-maximaux, puis extrapolée jusqu'à la FC max théorique.

On peut donc constater que la technique indirecte de prédiction du $\dot{V}O_2$ max à partir d'épreuves sous-maximales est entachée de nombreuses imprécisions qu'il est bon de rap- peler.

Facteurs d'erreurs liés aux mesures indi- rectes

Les principaux facteurs d'erreurs sont dus à la relation FC - $\dot{V}O_2$ sur laquelle se fondent ces épreuves, car la FC comme le $\dot{V}O_2$ sont soumis à des variations interindividuelles importantes.

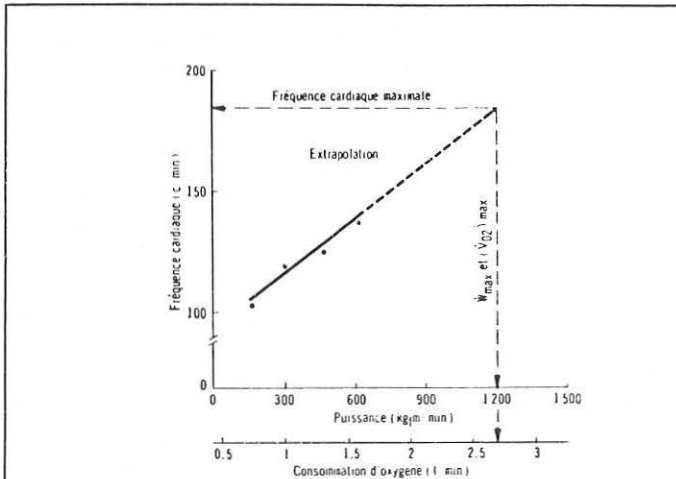
Erreurs liées aux variations interindi- viduelles de la FC

— La FC max peut varier dans un même groupe d'âge de $\pm 10\%$. L'extrapolation de la pente FC - $\dot{V}O_2$ peut donc aussi bien surestimer que sous-estimer le $\dot{V}O_2$ max de certains sujets (fig. 11).

— La FC max peut être affectée par l'état de *forme* des sujets, baissant pour les jeunes adultes et augmentant pour les plus vieux en bonne *forme* physique, vers une FC max commune située à environ 185 b/min. Il faudrait donc connaître l'état de forme du sujet avant l'épreuve et n'est-ce pas là l'objet de l'évaluation?

— Pour la majorité des sujets sédentaires la FC max «plafonne» avant le $\dot{V}O_2$ max, ce qui a pour effet de sous-estimer le $\dot{V}O_2$ max prédit (fig. 12).

— Dans certains cas, il n'y a pas linéarité entre FC et $\dot{V}O_2$, mais une relation exponentielle (fig. 13).



*Adapté de Lange Andersen & Smith Sivertsen (1966).

Figure 10 — Extrapolation linéaire du $\dot{V}O_2$ max et de la puissance maximale (\dot{W}_{max}) à partir de la puissance et de la fréquence cardiaque sous-maximales (Andersen et coll., 1971)

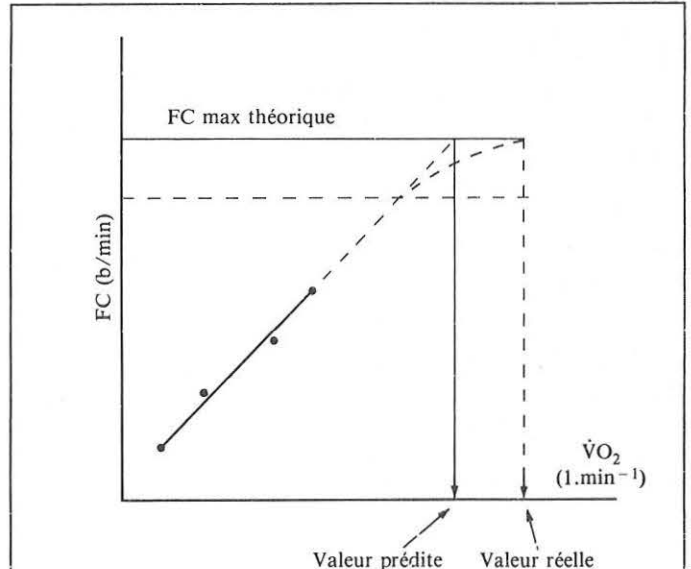


Figure 12 — La FC «plafonne» souvent plus tôt que le $\dot{V}O_2$

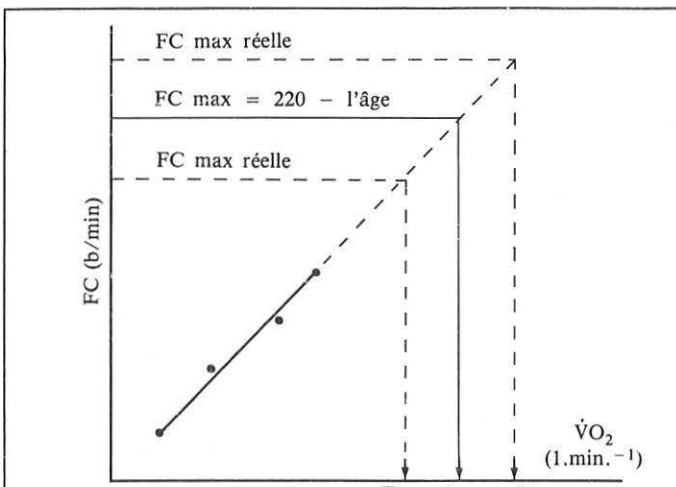


Figure 11 — Variations de la FC max au sein d'un même groupe d'âge ($\pm 10\%$)

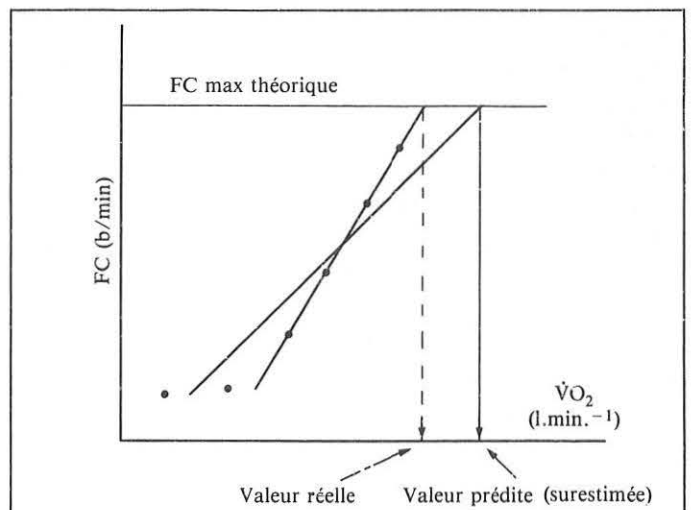


Figure 13 — L'augmentation de la FC par rapport au $\dot{V}O_2$ représente parfois une courbe à deux pentes. Les valeurs les plus faibles de FC devraient être exclues de toute extrapolation

L'extrapolation ne devrait être réalisée qu'à partir de la pente rectiligne de la courbe (valeurs \geq à 140 batt.min⁻¹).

— D'une journée à l'autre et pour un même sujet, la FC atteinte à une même puissance de travail peut varier de $\pm 10\%$. Il faudrait recommencer plusieurs fois la même mesure et faire une moyenne, ce qui n'est pas pratique.

— Pour un même sujet, la FC atteinte à une même puissance de travail peut varier aussi en fonction des conditions de passation de l'épreuve (fig. 10) et de celles dans lesquelles se présente le sujet. La FC est plus exacte si certaines conditions présidant à l'administration de l'épreuve sont respectées : aération et température constante du local, et, précédant l'épreuve, abstinence d'alcool (3 h), de nourriture (2 h), de cigarette (1 h), de drogues, d'exercices physiques fatigants (6 h) et état émotionnel stable du sujet.

— La façon de mesurer la FC joue aussi un rôle très important. Le tracé électrocardiographique est l'idéal, il permet de compter exactement les espaces RR et de mesurer la FC. Le cardi tachomètre comptabilise parfois des artefacts électriques, affectant l'exactitude de la mesure. La moyenne de plusieurs mesures est ici indispensable. Pour une erreur de 1 battement, l'évaluation de la FC par palpation manuelle pendant une période de 10 à 15 s, équivaut à une erreur totale de 6 à 4 battements, lorsque le résultat est ramené à la minute.

A l'aide d'un chronomètre précis au 1/10, il est plus exact de mesurer le temps nécessaire pour 30 battements et de calculer ensuite la FC.

— Le moment de la prise des pulsations affecte l'exactitude du $\dot{V}O_2$ max prédit. Si la FC est mesurée pendant la récupération, elle doit être prise entre la 5^e et la 15^e seconde après l'exercice. De plus, dans ce cas, il faut l'augmenter de 10 % avant de procéder au calcul permettant de prédire le $\dot{V}O_2$ max. Cette correction ne vaut toutefois que pour les FC comprises en 120 et 160 b/min.

Erreurs liées aux variations inter individuelles du $\dot{V}O_2$

— Pour certaines activités, telle la natation, le coût énergétique varie trop d'un individu à l'autre, pour qu'elles puissent être utilisées lors d'épreuves indirectes.

— La même remarque est valable pour la course, lorsque l'épreuve s'adresse à de jeunes sujets du même groupe d'âge mais présentant des caractéristiques morphologiques très inégales (période pubertaire).

— La mesure indirecte du $\dot{V}O_2$ est assujettie à une erreur de $\pm 6\%$ entre les individus. Le fait d'attribuer la même dépense d'énergie à tous pour une même puissance de travail surestime ou sous-estime donc systématiquement certains sujets. Ces variations ne représentent pas un écueil lorsqu'il s'agit d'établir des normes (c'est la moyenne qui compte dans ce cas), mais deviennent plus problématiques lorsqu'il s'agit d'une évaluation individuelle.

— Non seulement la mesure indirecte du $\dot{V}O_2$ varie d'un sujet à l'autre (erreur systématique), mais encore elle varie pour un même sujet d'une journée à l'autre de 5 %, ce qui entraîne une erreur aléatoire qui ne pourrait être éliminée qu'en effectuant plusieurs épreuves ou encore en effectuant une épreuve sous-maximale directe.

Erreurs liées à la relation FC - $\dot{V}O_2$

Dans certaines épreuves le $\dot{V}O_2$ max est prédit à partir d'une seule FC sous-maximale (Astrand-Ryhming). Cela voudrait dire que pour des sujets de même capacité aérobie et de même âge, la FC serait la même pour une puissance de travail donnée. Cependant, tout comme pour la FC, il existe d'importantes variations interindividuelles de la relation FC - $\dot{V}O_2$ qui peuvent aller de $\pm 10\%$ pour les valeurs maximales, à $\pm 20\%$ pour les valeurs sous-maximales. On peut considérer en effet que chaque sujet a sa propre courbe FC - $\dot{V}O_2$ et, en conséquence, la technique de l'extrapolation linéaire (minimum 2 paliers) est meilleure que la technique proposée

par Astrand et Ryhming (1 seul palier d'effort).

D'une manière générale, il ne faut pas vouloir obtenir d'une mesure indirecte plus que ce pourquoi elle a été créée. Les sources d'erreurs relevées ci-dessus sous entendent qu'elles peuvent soit se cumuler, soit se contrebalancer, de sorte que le résultat final demeure individuellement incertain. Le $\dot{V}O_2$ max prédit s'accompagne toujours d'un risque d'erreur pouvant aller de $\pm 6\%$ pour les épreuves maximales à $\pm 20\%$ pour les épreuves sous-maximales. Les épreuves indirectes demeurent très utiles dans le cadre d'études normatives et lorsqu'il s'agit d'avoir une appréciation globale sur la capacité aérobie d'un individu, mais elles sont insuffisantes lorsque la précision est impérativement requise. Elles sont donc non seulement fonction des objectifs que s'assigne l'évaluateur mais aussi des conditions matérielles disponibles, de l'âge, de l'état de forme et de la santé de l'évalué; c'est pourquoi nous nous proposons d'examiner quelques unes des épreuves indirectes les plus classiquement utilisées en laboratoire et celles que l'homme de terrain peut appréhender dans sa pratique quotidienne.

Quelques épreuves indirectes de prédiction du $\dot{V}O_2$ max

Pour déterminer la capacité aérobie, les épreuves les plus classiquement employées en laboratoire utilisent la bicyclette, le banc, la marche et la course sur tapis roulant plus ou moins incliné. Sur le terrain, c'est la course, soit sur piste, soit en navette sur une aire d'évolution, qui obtient le plus de succès.

Ces épreuves peuvent être *progressives* et comprendre des paliers d'intensité de plus en plus élevée, ou *non progressives* avec un seul palier le plus intense possible; *continues*, c'est-à-dire sans période de repos intermédiaire, ou *discontinues* avec des périodes de récupération intermédiaire permettant, en outre, de suivre certains paramètres physiologiques impossibles à obtenir en cours d'épreuves. Dans ce dernier cas, les

paliers doivent être plus longs, pour permettre au sujet d'atteindre un état stable d'échange respiratoire et de travail cardiaque.

Actuellement, il semble que les épreuves progressives continues bénéficient de la plus grande faveur en raison de leur sécurité accrue et de la qualité des résultats obtenus.

□ ÉPREUVES DE LABORATOIRE

Les épreuves de Harvard, Ruffier, Dickson, Schneider, Tuttle, Lian, Martinet, Master, Crampton, basées en général sur des paramètres de récupération (FC ou/et pression sanguine), nullement prédictives du $\dot{V}O_2$ max, peu valides et peu fidèles, sont désormais délaissées au profit d'épreuves plus récentes. Il en est de même de la capacité vitale qui n'est aucunement représentative du $\dot{V}O_2$ max.

Si on examine la littérature, il est difficile de recenser toutes les épreuves actuellement utilisées tant il existe de protocoles. Toutes les combinaisons possibles entre épreuves indirectes maximales ou sous-maximales, progressives ou non-progressives, continues ou discontinues, vitesse et % de pente de tapis roulant, vitesse et résistance de révolutions avec les différentes bicyclettes ergométriques utilisées (Monark ou Fleish), hauteur et rythme de montée sur banc (ou step test), sujets sédentaires normaux et coronariens, sujets actifs et non actifs... induisent autant d'épreuves particulières dont la description dépasserait largement le cadre du présent exposé (1 bis). Cependant, pour aider le choix du praticien, nous nous contenterons de proposer la classification qui va suivre.

Épreuves réservées aux adultes non-entraînés

Pour limiter les risques liés à d'éventuels problèmes cardiovasculaires, seules les épreuves indirectes sous-maximales doivent être retenues.

Nous ne citerons ici que les plus classiques.

• Utilisation d'un cycloergomètre (type Von Döbeln à freinage mécanique, marque Monark)

□ Épreuve d'Astrand-Ryhming (1954) corrigée en fonction de l'âge
 Cette épreuve comprend un effort standard d'environ 6 min pendant lesquelles le sujet doit pédaler à un rythme de 50 révolutions par min contre une résistance de freinage de 75 W pour les femmes et de 100 W pour les hommes (non entraînés). Le réglage de la résistance est guidé par la FC qui doit être obligatoirement

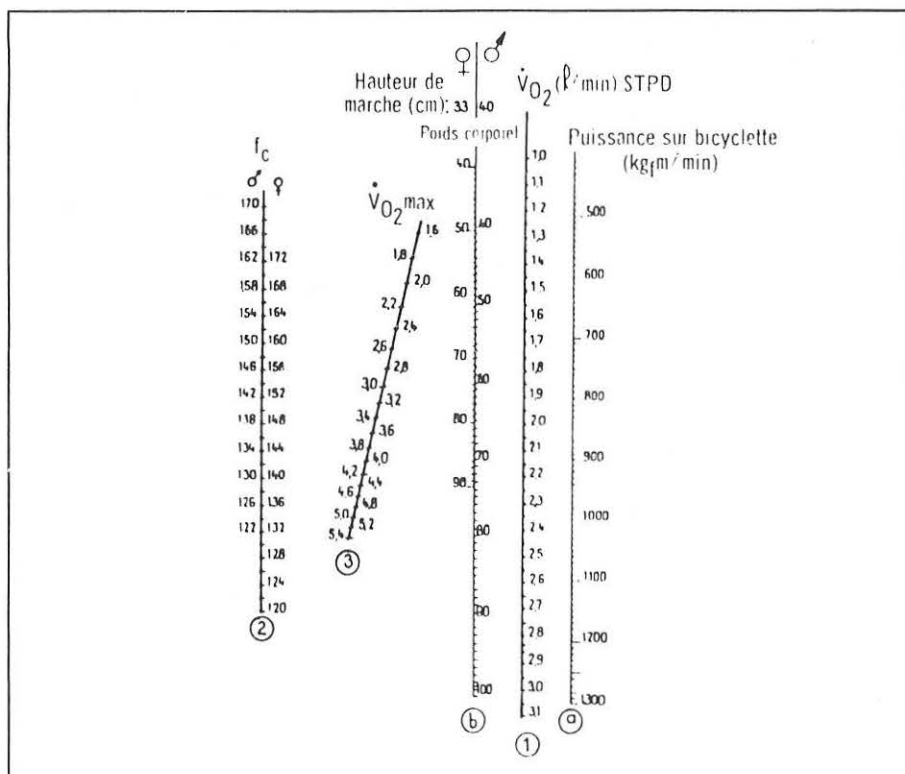
supérieure à 130 b/min. Si la FC n'a pas dépassé 130 b/min après 3 à 4 min, la charge doit être progressivement augmentée. Connaissant la FC et la charge de travail, en apportant les facteurs de correction «Y» dus à l'âge, «x» =

entre 15 et 35 ans :
 $Y = 1.2725 - 0.0115 x$
 au-dessus de 35 ans :
 $Y = 1.127 - 0.00733 x$

Le $\dot{V}O_2$ max peut être estimé à partir du nomogramme déterminé par les auteurs (fig.14) ou, pour les amateurs de calculs (...) à partir des équations en encadré.

1 — Équation de prédiction du $\dot{V}O_2$ max = Épreuve Astrand-Ryhming (1954)
 - Relation $\dot{V}O_2$ (y = % $\dot{V}O_2$ max) et FC (x : b/min)
 - Hommes : $y = 0.769 x - 48.5$; femmes : $y = 0.769 x - 56.1$
 - Coût énergétique (y, l/min) et puissance de l'effort (x = watt) de 50 à 175 W : $y = 0.3 + 0.012 x$; de 200 à 400 W : $y = -0.14 + 0.0146 x$

2 — Équation modifiée par Von Döbeln, Astrand et Bergstrom (1967) :
 $\dot{V}O_2 \text{ max} = 1.29 (P (FC - 60)^{-1}) 0.5_x - 0.0088 A$
 P = puissance de l'effort sous-maximal ($kp \cdot m^{-1} \cdot min^{-1}$ kilogramme poids par mètre et par minute ($1kp \cdot m^{-1} \cdot min^{-1} = 0.1635 \text{ watts}$))
 FC = fréquence cardiaque b/min
 A = âge du sujet en années



*Adapté de Flandrois (1968).

Figure 14 — Nomogramme d'Astrand et Ryhming
 Consommation maximale d'oxygène au cours d'une épreuve de montée de marches ou de pédalage

(1 bis) Nous conseillons aux lecteurs intéressés par leur description et leur utilisation de se référer aux différents fascicules publiés par le Comité KINO-QUÉBEC sur le dossier évaluation 1981 : Tests d'évaluation de la condition physique de l'adulte (TECPA) : Capacité Aérobie.

Exercice n°	1 = ♂ + ♀	2 = ♂ + ♀	3 = ♂ + ♀	4 = ♂ + ♀	5 = ♀	6 ♀ 5 ♂	6 ♂	7 ♂
Rythme, montées/min	11	14	17	19	20	22	24	26
Métronome, cycles/min	66	84	102	114	120	132	144	156
$\dot{V}O_2$ correspond ^t (prédict) ml.kg ⁻¹ min. ⁻¹	15.16	18.06	21.52	24.20	25.65	28.83	32.41	36.43
FC enregistrées								

Tableau 5 — Correspondance entre les différents rythmes de montées et les $\dot{V}O_2$ calculés

• Utilisation d'un banc (step-test)

□ *Épreuve d'Astrand-Ryhmig* (1954)

Le principe de cette épreuve est identique à la précédente mais il s'agit ici de monter à une cadence de 22.5 montées-descentes par minute sur un banc de 33 cm pour les femmes et de 40 cm pour les hommes. L'exercice se fait en 4 temps (monter 1 pied, puis l'autre, descendre 1 pied, puis l'autre); un métronome réglé à 90 coups/min assure le rythme de 22.5 montées/min. Les calculs sont identiques à ceux précédemment décrits, le nomogramme pouvant être utilisé aussi (fig. 14).

D'autres épreuves utilisent aussi le banc : nous ne retiendrons que l'épreuve sur banc à double marche de 20 cm du physitist canadien, et celle de Margaria et coll. (1965) sur banc simple de 30 et de 40 cm.

□ *Physitist canadien*

L'épreuve consiste à monter et à descendre consécutivement les deux marches de 20 cm d'un même banc durant des paliers de 3 min à des rythmes allant de 11 à 26 montées-descentes par min (tabl. 5). La FC est enregistrée au cours de la dernière minute de chaque palier. Trois, voire quatre paliers sont nécessaire pour prédire le $\dot{V}O_2$ max à partir des $\dot{V}O_2$ calculés par l'équation :

$$Y(\dot{V}O_2 = \text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}) = 7.967 \cdot X - 0.05844 \text{ (montées/min)}$$

et de la FC correspondant à chaque palier. Connaissant la FC max théorique (220 - l'âge), le $\dot{V}O_2$ max peut être prédit par une simple règle de trois *.

Pour les évaluateurs allergiques aux calculs, un tableau de correspondances (tabl. 5) peut être utilisé pour obtenir les $\dot{V}O_2$.

□ *Épreuve de Margaria et coll.*

(1965) : montées - descentes sur banc de 30 ou de 40 cm

Le banc de 30 cm est réservé aux sujets âgés de moins de 17 ans et de plus de 50 ans, le banc de 40 cm, aux sujets âgés de 18 à 50 ans.

Le principe et les calculs du $\dot{V}O_2$ max sont les mêmes que ceux décrits ci-dessus, mais la durée de chaque palier est de 4 min et le rythme peut varier de 15 à 40 montées / min (tabl. 6).

Les $\dot{V}O_2$ correspondant à chaque palier peuvent être calculés soit à partir des équations :

$$\text{banc de 30 cm : } \dot{V}O_2 \text{ (ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}) = 5.2 + 0.845 \text{ (rythme)}$$

$$\text{banc de 40 cm : } \dot{V}O_2 \text{ (ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}) = 6.23 + 1.052 \text{ (rythme)}$$

soit à partir des trois nomogrammes proposés par les auteurs (fig. 15-16-17).

Les épreuves sur banc (ou step-test) introduisent un nouveau facteur d'erreur lié à la dimension des membres inférieurs; c'est pourquoi, lorsqu'un cycloergomètre ou un tapis roulant sont disponibles, il est préférable de les utiliser.

• Utilisation d'un tapis roulant

□ *Épreuve de marche de Shepard* (1969)

Cette épreuve consiste à marcher pendant des paliers de 4 min sur un tapis roulant dont la vitesse de déroulement a été fixée à 5 km/h et dont la pente peut varier entre 0 et 17,5 % (tabl. 7).

Pour une pente donnée, le $\dot{V}O_2$ atteint est calculé par l'équation :

$$\dot{V}O_2 \text{ (ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}) = 22.068 + 1.1507 \text{ (\% pente)}$$

ou obtenu par le nomogramme proposé par Shepard (fig. 18).

Chacune des épreuves sous-maximales précédentes sont prioritairement réservées aux adultes sédentaires âgés de plus de 35 ans. Les risques d'accidents cardio-vasculaires étant accrus à partir de cet âge, il est fortement conseillé de ne retenir que les intensités de travail les plus faibles.

Les FC qui permettent de guider le choix de cette (ou ces) intensité(s) ne doivent pas dépasser 150 bat/min avec les adultes présentant des risques d'affections cardiovasculaires. Il faut cependant bien garder à l'esprit que plus l'intensité d'une

Paliers n°	1	2	3	4	5	6
Rythme (montées/min)	18.0	22.5	27.5	31.5	36.0	40.0
Métronome (cycles/min)	72.	90.	110.	126.	144.	160.
$\dot{V}O_2$ correspondant au : (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)						
— Banc de 30 cm	20.41	24.21	28.44	31.82	35.62	39.00
— Banc de 40 cm	25.17	29.90	35.16	39.37	44.10	48.31
FC correspondante b/min						

Tableau 6 — Correspondances entre les différents rythmes de montées et les $\dot{V}O_2$ calculés avec les bancs de 30 et 40 cm (Margaria et coll., 1965)

* $\frac{\dot{V}O_2 \text{ correspondant au palier} \times \text{FC max théorique (220 - l'âge)}}{\text{FC correspondant au palier}}$

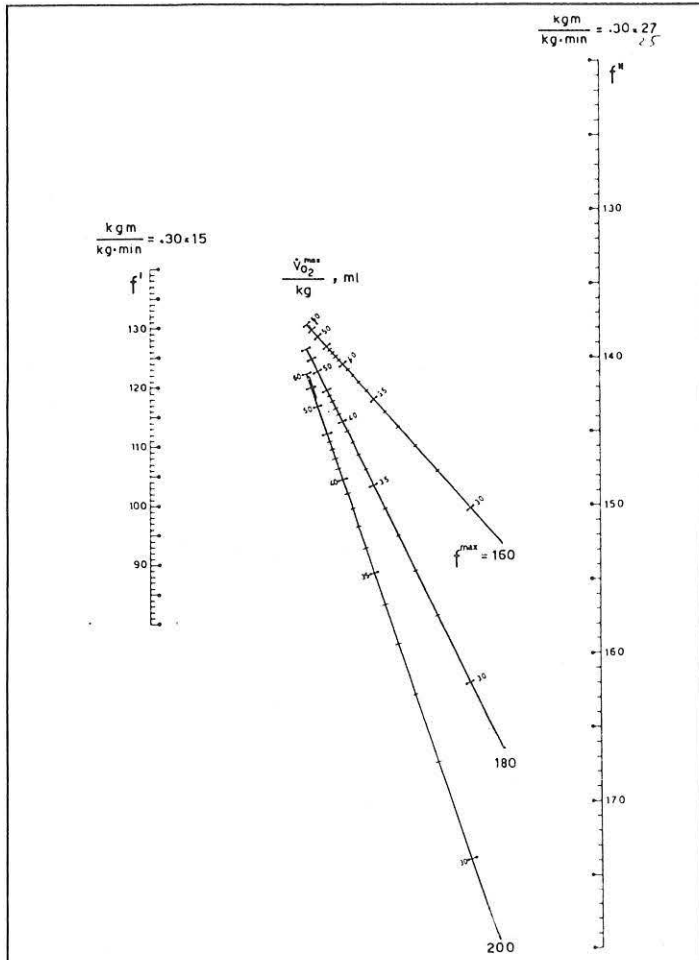


Figure 15 — Nomogramme pour prédire le $\dot{V}O_2$ max à partir de la fréquence cardiaque à deux rythmes sous-maximaux ($f' = 15$ et $f'' = 25$ montées/min) sur banc de 30 cm (Margaria et coll., 1965)

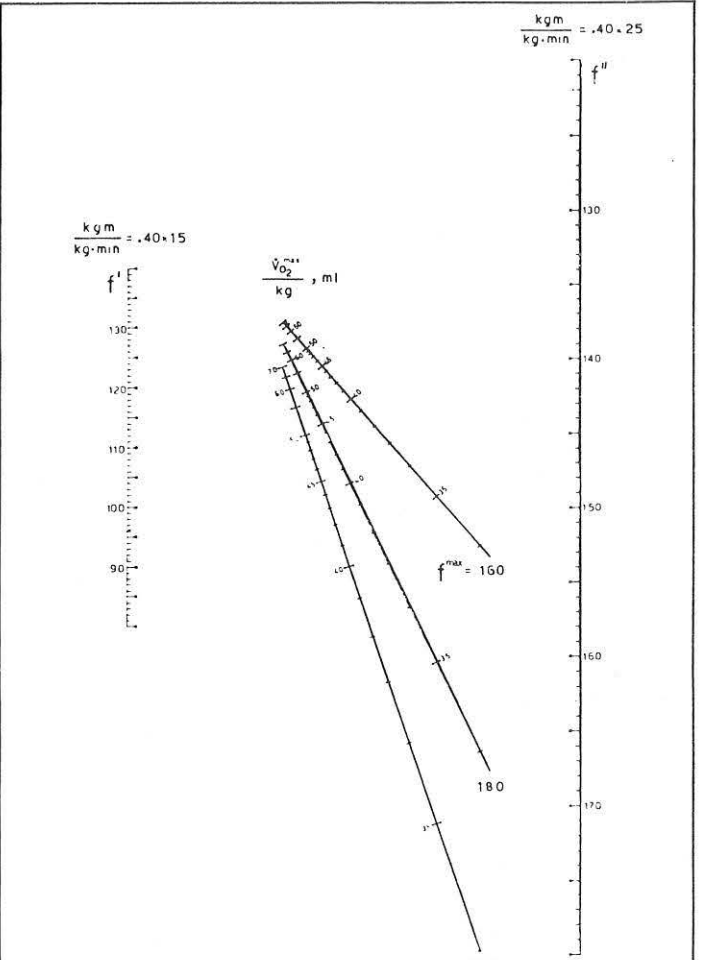


Figure 16 — Nomogramme pour prédire le $\dot{V}O_2$ max à partir de la fréquence cardiaque à deux rythmes sous-maximaux ($f' = 15$ et $f'' = 25$ montées/min) sur banc de 40 cm (Margaria et coll., 1965)

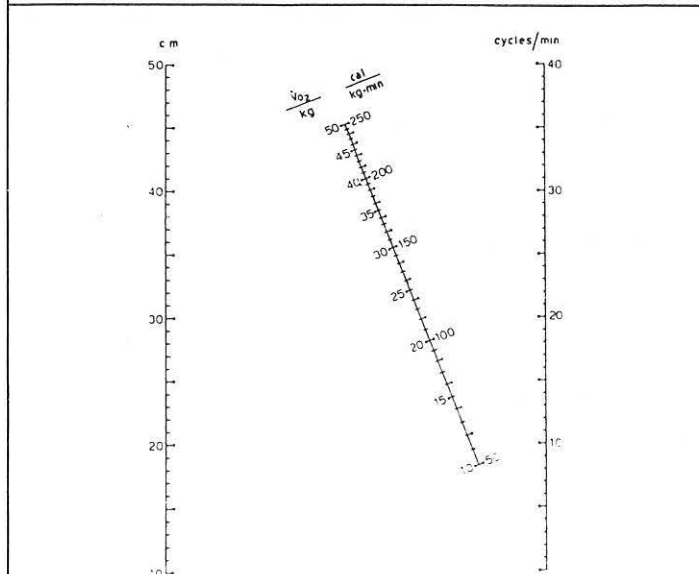


Figure 17 — Nomogramme pour déterminer le coût énergétique sur banc simple en fonction de la hauteur du banc et de la fréquence de montée (Margaria, Aghemo et Rovelli, 1965)

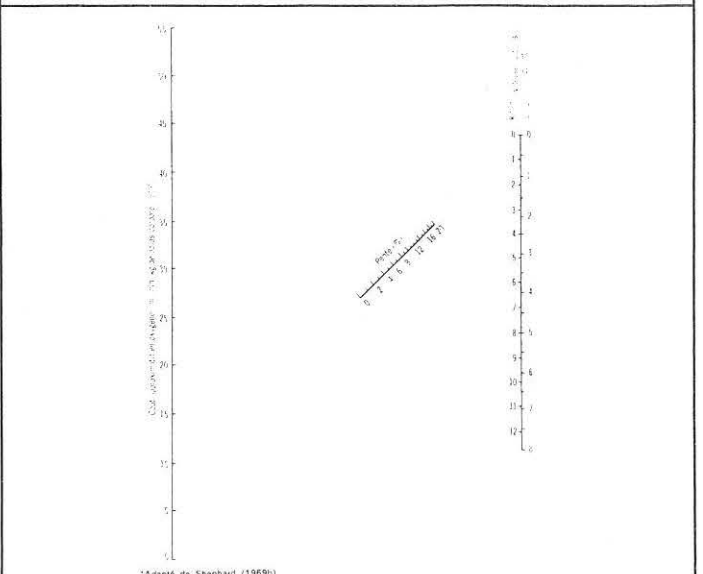


Figure 18 — Nomogramme pour déterminer le coût énergétique de la course en fonction de la vitesse et de la pente du tapis roulant (Shephard, 1969)*

* Tiré de Andersen et coll., 1971.

Paliers n°	1	2	3	4	5	6	7	8
Pente, % à 5 km/h	0	2.5	5.0	7.5	10.0	12.5	15.0	17.5
$\dot{V}O_2$ correspondant (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	22.0	24.9	27.8	30.7	33.6	36.5	39.3	42.2
FC correspondante b/min								

Tableau 7 — Correspondances entre les différents % de pente du tapis roulant et les $\dot{V}O_2$ calculés. Les FC enregistrées individuellement à chaque palier sont à transcrire dans les cases vides (d'après Shepard, 1969)

épreuve sous-maximale est faible, plus difficile devient l'extrapolation à sa valeur maximale et donc plus aléatoires sont les $\dot{V}O_2$ max ainsi prédits. Pour augmenter la valeur de la prédiction, il est par contre nécessaire d'augmenter l'intensité de l'épreuve et, lorsqu'il s'agit d'une épreuve à plusieurs paliers, la FC du dernier d'entre eux devra être proche de sa valeur maximale théorique.

Épreuves recommandées aux sujets bien portants

Lorsqu'une meilleure prédiction du $\dot{V}O_2$ max est requise, nonobstant l'absence de matériel de mesures directes, les épreuves indirectes, progressives, continues, et maximales sont les plus indiquées.

Elles consistent à réaliser le plus grand nombre de paliers possibles utilisant le banc, le cycloergomètre ou le tapis roulant. L'effet demandé est obtenu à partir d'une intensité de travail augmentant lentement et progressivement par paliers de 1, 2 ou 3 minutes selon le protocole utilisé.

Le $\dot{V}O_2$ max est prédit indirectement par le coût énergétique que requiert le dernier palier réalisé. Il correspond à la valeur limite de la capacité aérobie du sujet évalué, ou PMA Ceci indique que la valeur prédictive de l'épreuve aura préalablement été validée en comparant la mesure indirecte à la mesure directe du $\dot{V}O_2$ max.

L'intensité maximale nécessitée lors du dernier palier induit les limites d'une telle épreuve. La capacité anaérobie, la motivation et le rendement mécanique des sujets peuvent en effet influencer sur les résultats.

Il existe un très grand nombre

d'épreuves indirectes, progressives, continues et maximales permettant de prédire le $\dot{V}O_2$ max; nous ne retiendrons dans cette étude que la classification proposée par le dossier Évaluation 1981 du Comité Kino-Québec (TECPA) (2).

• Épreuves sur tapis roulant

La marche

□ *Épreuve modifiée de Balke, Fox, Naughton et Haskell* (1971)

Pour une vitesse constante de marche de 90 m/min, débutant avec une pente de 0 %, la progression de cette épreuve consiste à augmenter de 2 % la pente du tapis toutes les 2 minutes. Tenant compte des nombreuses versions de cette épreuve, il est indispensable de préciser le protocole choisi (ex : épreuve modifiée de Balke et coll., 1971, 90 m/min, 2 %, 2 min). La valeur la plus importante du $\dot{V}O_2$ max pouvant être prédite à partir du dernier palier n'est ici que de 56 ml.min⁻¹.kg⁻¹.

□ *Épreuve du Centre EPIC de Ferguson et Gauthier* (1971)

Très semblable à la précédente, cette épreuve présente l'avantage d'éviter des pentes excessivement élevées, la progression de l'effort étant obtenue par augmentation de la vitesse de marche au-delà d'une pente de 20 %.

La marche et la course

□ *Épreuve de l'Université de Montréal, Léger* (1976)

A l'exception de la vitesse qui peut être augmentée en cours d'épreuve pour passer de la marche à la course, le protocole de cette épreuve est semblable à celui du Centre EPIC. Il permet d'évaluer des sujets qui peuvent

atteindre des $\dot{V}O_2$ max de 76.3 ml.min⁻¹.kg⁻¹.

□ *Épreuve de Mc Gill University, Montgomery* (1981)

Dans cette épreuve l'élévation progressive de la pente est limitée à 10 %. C'est ensuite l'augmentation de la vitesse de déroulement du tapis qui permet d'obtenir la PMA. Cette épreuve permet aussi bien d'évaluer les sujets sédentaires auxquels seule la marche est proposée, que les sujets très actifs pouvant atteindre 81 ml.min⁻¹.kg⁻¹.

La course

□ *Épreuve de course à vitesse constante, Léger* (1981)

La vitesse retenue est fonction de l'état de forme «apparente» du sujet. Elle peut être choisie entre 9.5 et 16 km/h et reste ensuite constante durant l'épreuve. Seule la pente augmente jusqu'à une valeur maximale de 15 %. Le $\dot{V}O_2$ max correspondant au dernier palier peut se situer entre 57.4 et 93.1 ml.min⁻¹.kg⁻¹.

□ *Épreuve de course à pente constante, Léger* (1981)

Seule la vitesse augmente de 1 km/h par palier. La pente, choisie entre 0, 5 et 10 %, en fonction de l'état de forme du sujet, de la puissance de l'ergomètre et de la sécurité requise, reste constante durant toute la durée de l'épreuve. Les $\dot{V}O_2$ max atteints au dernier palier peuvent se situer entre 80.3 et 90.6 ml.min⁻¹.kg⁻¹.

• Épreuve sur bicyclette ergométrique

Avec le cycloergomètre, le poids des sujets affecte directement les valeurs obtenues au cours de l'épreuve; c'est pourquoi il est indispensable d'individualiser les progressions en tenant compte du poids de l'évalué.

Généralement, les variations inter-individuelles du coût énergétique, en fonction de la puissance de l'exercice sur cycloergomètre, sont de l'ordre de 6 %.

Les régressions puissance- $\dot{V}O_2$ comparées entre les différents protocoles sur bicyclette sont cependant très voisines, ce qui n'est pas le cas avec l'épreuve de course sur tapis roulant.

(2) Idem. Cf. fascicule B.7.- *Capacité aérobie. Protocoles progressifs maximaux et indirects sur ergocycle*

et tapis roulant, dans lequel une excellente étude critique et une revue bibliographique complète sur les

différentes épreuves d'évaluation de la capacité aérobie sont réalisées.

Les études comparatives des résultats inter-épreuves sont donc tout à fait possibles lorsque la bicyclette ergométrique est utilisée, ce qui constitue un avantage important.

□ *Épreuve de l'«International Biological Programme»* (1969)

Le $\dot{V}O_2$ max est initialement prédit au moyen d'une épreuve sous-maximale. Puis, en fonction du résultat, l'effort est prolongé à 70 % du $\dot{V}O_2$ max prédit avec une progression de 200 kpm/min par palier de 2 min (200 kpm/min = 32.7 watts).

□ *Épreuve de Hartung et Mc Miller* (1978)

Réalisée à une intensité élevée (80 rpm), cette épreuve s'adresse surtout aux sujets bien entraînés. Après un échauffement de 3 min à 60 rpm, elle débute par un palier correspondant à une puissance de 140 watts. La progression est ensuite assez rapide : 40 watts par palier, ce qui, selon le poids du sujet, équivaut à une estimation de l'ordre de 6 à 8 ml.kg⁻¹.min⁻¹ par palier.

• **Épreuves de banc ou «step-tests»**

□ *Épreuve de banc à hauteur et vitesse variables de montées-descentes, Balke et Skinner* (1969)

Cette épreuve requiert un banc, ou mini-escalier à 4 marches de 10, 20, 30 et 40 cm. La progression de chaque palier, d'une durée respective de 3 min, est assurée par l'élévation de la hauteur du banc jusqu'à 40 cm, puis par l'accélération du rythme des montées-descentes. Ce rythme est fixé à 30 montées-descentes/min durant les quatre premiers paliers et augmenté ensuite à 34.5, 40, 46, 50, ce qui correspond chaque fois à une dépense énergétique supplémentaire d'environ 7 ml.min⁻¹.kg⁻¹.

Le $\dot{V}O_2$ max qu'il est possible d'évaluer par cette épreuve ne peut atteindre que 58.8 ml.min⁻¹.kg⁻¹ au dernier palier, ce qui exclut l'évaluation d'athlètes présentant une puissance aérobie élevée.

□ *Épreuve de banc de 40 cm à vitesse de montées-descentes variable, Léger* (1981)

Contrairement à l'épreuve précédente, la hauteur de la marche est fixée uniquement à 40 cm; la progres-

sion est assurée par l'accélération du rythme des montées-descentes à chaque palier, dont la durée propre est fixée à 2 min. A chaque palier correspond une augmentation de la dépense d'énergie d'environ 3,5 ml.min⁻¹.kg⁻¹, jusqu'au maximum possible de 58.8 ml.min⁻¹.kg⁻¹ au dernier palier. Cette épreuve ne convient donc pas non plus aux athlètes de haut niveau.

Hormis les épreuves de banc qui, à la limite, peuvent être utilisées sans investissement trop coûteux, toutes les épreuves indirectes précédentes requièrent un matériel lourd que l'on ne peut rencontrer que dans les laboratoires moyennement équipés. De plus, ajoutée à l'imprécision relative de leurs résultats, la passation individuelle qu'elles imposent les rendent difficilement accessibles à l'homme de terrain. Sans cesse confronté aux urgences de sa pratique, il lui importe en effet de pouvoir utiliser des outils simples, facilement accessibles et dont la qualité des résultats ne cède en rien à ceux obtenus en laboratoire.

□ **ÉPREUVES DE TERRAIN**

Parmi les activités physiques les plus naturelles de l'homme, la course figure incontestablement au meilleur rang. De plus, utilisant les masses musculaires des membres inférieurs, elle permet de solliciter pleinement l'efficacité du système de transport de l'oxygène. Il n'est pas étonnant alors de trouver une grande corrélation entre le $\dot{V}O_2$ max et les courses de longue durée allant du 1500 m au 10 000 mètres.

• **Épreuves de courses de longue durée**

□ *Épreuve de Margaria et coll.* (1975)

Si l'on excepte les facteurs techniques ou tactiques, on peut estimer que le vainqueur de courses de longue durée est celui qui parvient à parcourir une des distances précédentes (de 1500 à 10000 m) à la vitesse moyenne la plus élevée. Or, d'après Margaria et coll. (1975), la distance maximale «d» couverte en un temps «t» et ne sollicitant que les processus aérobie est donnée par la relation : $d = 5 (\dot{V}O_2 \text{ max} - 6) t$.

Il est cependant assez rare de ne pas solliciter d'une manière concomitante la glycolyse anaérobie. Celle-ci intervient chaque fois que la vitesse de course dépasse l'intensité pour laquelle seule l'énergie fournie provient des processus aérobie (à partir environ de 75 à 85 % de $\dot{V}O_2$ max selon le niveau d'entraînement des sujets). L'énergie libérée par la glycolyse anaérobie étant approximativement égale à l'énergie libérée par le $\dot{V}O_2$ max en 1 min (Margaria et coll., 1971), l'équation devient : $d = 5(\dot{V}O_2 \text{ max} - 6)t + 5\dot{V}O_2 \text{ max}$. On peut en déduire qu'une distance «d» peut donc être parcourue en une durée «t» d'autant plus courte que le $\dot{V}O_2$ max est élevé.

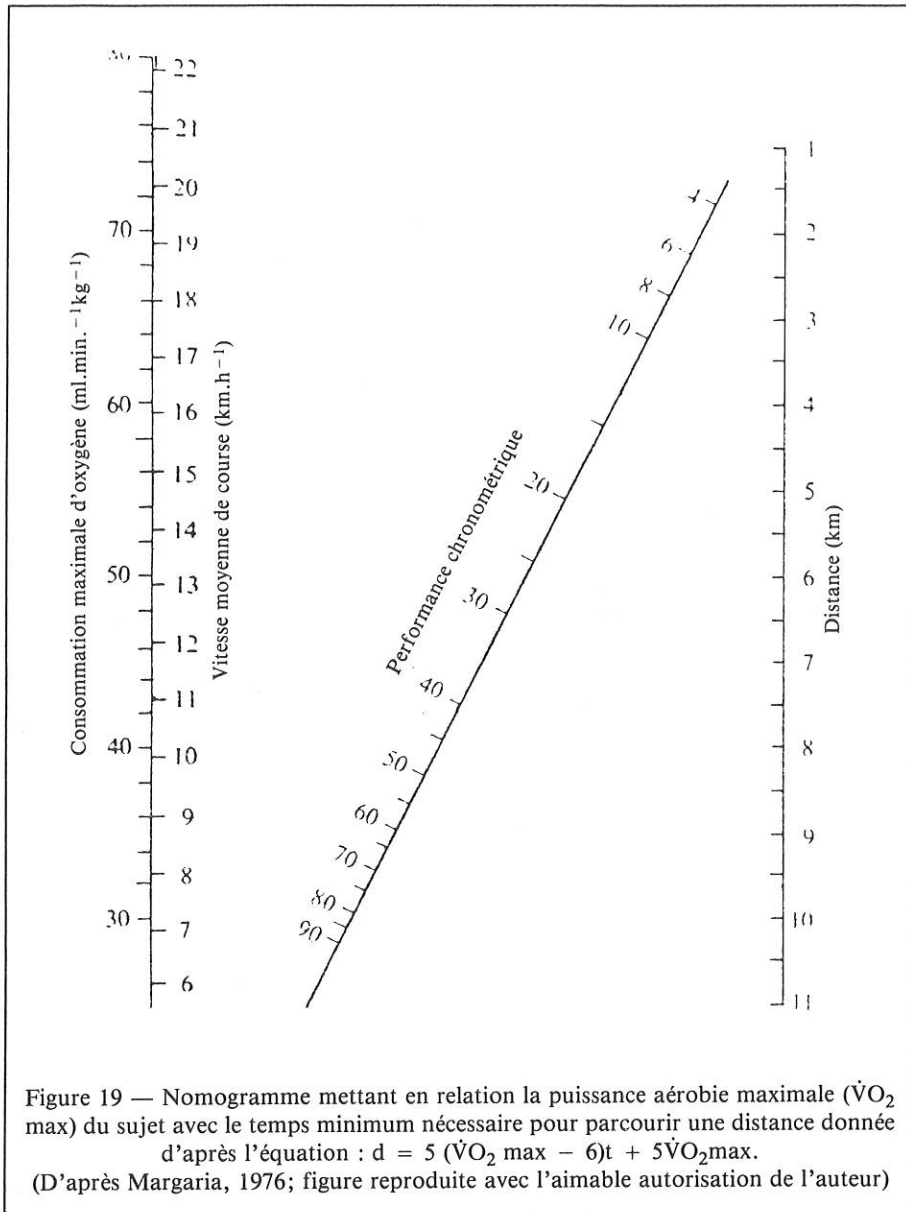
A partir de la seconde équation, Margaria et coll. ont élaboré un nomogramme mettant en relation le $\dot{V}O_2$ max des sujets et les performances qu'ils pouvaient atteindre sur des distances au moins supérieures à 1000 m. Inversement, et c'est ce qui peut intéresser le praticien, les $\dot{V}O_2$ max des sujets peuvent être estimés à partir de la simple connaissance de leur record sur une des distances précédentes (fig. 19). L'établissement d'un record est cependant subordonné à une bonne capacité physique : il est donc réservé aux athlètes bien entraînés qui ne constituent qu'un faible pourcentage de la population à évaluer.

□ *Épreuve de course de 12 minutes de Cooper* (1968)

C'est pourtant du même principe que procède l'épreuve populaire de 12 min de course proposée par Cooper. Cette épreuve est surtout recommandée aux personnes de moins de 35 ans, ou/et à celles qui ont suivi un programme progressif d'entraînement durant un minimum de six semaines.

La simplicité de son principe a contribué à son succès. Il s'agit en effet de parcourir en courant (l'alternance en marchant est admise), la plus grande distance possible en 12 minutes.

12 minutes est la durée limite pour laquelle un sujet peut maintenir une activité à une intensité proche de la PMA. Ce type d'exercice est donc principalement limité par le $\dot{V}O_2$ max et celui-ci est prédit par la distance



parcourue en 12 min au moyen de l'équation suivante :

$Y = 22.351X - 11.288$ dans laquelle
 $Y = \dot{V}O_2 \text{ max}$ (exprimé en $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$)

$X =$ distance maximale parcourue en 12 min (exprimée en km).

Cette équation n'est cependant pas valide pour prédire les $\dot{V}O_2$ max des sujets de moins de 18 ans ou du troisième âge, mais la distance parcourue en 12 min demeure un bon indice de la capacité aérobie de tous les sujets. Des tables de conversion valables pour les sujets de plus de 18 ans permettent d'obtenir rapidement les $\dot{V}O_2$ max prédits (tabl. 8). De même, en fonction du sexe, de l'âge des sujets et de la distance parcourue,

d'autres tables permettent d'apprécier qualitativement leur condition physique (tabl. 9).

Indépendamment des critiques déjà formulées à l'égard des épreuves de prédiction indirecte du $\dot{V}O_2$ max, l'épreuve de Cooper présente des limites qui lui sont propres : les résultats peuvent en effet être influencés par la capacité anaérobie, la motivation, le rendement mécanique et la plus ou moins bonne connaissance du rythme optimum de course des sujets.

D'autre part, les faibles corrélations obtenues entre les $\dot{V}O_2$ max directs et les distances parcourues par les femmes et par les populations homogènes montrent que cette épreuve n'est

pas suffisamment discriminatoire et fiable pour être retenue comme moyen de prédiction du $\dot{V}O_2$ max.

Elle demeure en revanche un bon procédé pour évaluer la condition physique d'un sujet et pour apprécier l'amélioration de son endurance aérobie au décours d'une période d'entraînement.

□ Épreuve de course sur 2 400 m de Cooper

Le principe de cette épreuve est identique au précédent, mais il s'agit ici de parcourir 2 400 m dans le temps le plus court possible. Un tableau récapitulatif établi en fonction du sexe, de l'âge et du temps réalisé permet d'apprécier qualitativement le niveau de condition physique du sujet (tabl. 10)

Limites de signification et inconvénients des épreuves de Cooper

Les épreuves de 12 min de course et du 2 400 m de course de Cooper offrent l'incontestable avantage d'être simples mais requièrent un apprentissage et un entraînement préalables pour pouvoir maîtriser le rythme de course le mieux adapté à la capacité aérobie de chaque sujet. Les corrélations avec le $\dot{V}O_2$ max diffèrent selon l'âge, le sexe (plus faible chez les femmes et chez les enfants) et l'homogénéité du groupe. Dans le cas des groupes homogènes, ces épreuves ne sont que faiblement corrélées avec le $\dot{V}O_2$ max et n'apparaissent pas comme discriminatoires. Elles le deviennent en revanche avec les groupes hétérogènes tels les hommes non sportifs âgés de 20 à 50 ans.

D'autre part, ces épreuves imposent dès le début une intensité de course élevée et autorisent ensuite une alternance entre la course et la marche, ce qui rend impossible l'estimation de leur rendement énergétique, course et marche étant de ce point de vue très différentes.

Ces premiers éléments indiquent qu'il ne faut pas chercher à utiliser les épreuves de Cooper pour prédire le $\dot{V}O_2$ max, mais utiliser tout simplement la distance parcourue en 12 min ou le temps réalisé pour parcourir 2 400 m comme indice de la capacité aérobie du sujet.

Aux limites relatives à la prédiction

du $\dot{V}O_2$ max s'ajoutent deux inconvénients supplémentaires :

— faire courir une personne à une vitesse immédiatement élevée n'est pas sans risque pour les sujets peu entraînés ou présentant un système cardiovasculaire fragile;

— par ailleurs, la durée totale de l'épreuve et les variations de la vitesse de course ne permettent pas d'accéder à la connaissance de la vitesse correspondant à la PMA. La course de 12 min ou le 2 400 m de Cooper ne sont en fait que des épreuves d'évaluation de l'endurance et non de la puissance aérobie du sujet. Or, si le développement rationnel de la capacité aérobie d'un sujet est envisagé, il importe en priorité de connaître sa PMA. Selon les objectifs des séances d'entraînement, cette donnée est indispensable pour déterminer ensuite les vitesses correspondant aux

Distance parcourue en 12 min		$\dot{V}O_2$ max	Distance parcourue en 12 min		$\dot{V}O_2$ max
Nbre de tours	km	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	Nbre de tours	km	ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹
4 00	1.6	24.5 *	7	2.8	51.3
4 1/4	1.7	26.7 *	7 1/4	2.9	53.15
4 1/2	1.8	28.9	7 1/2	3.0	55.8
4 3/4	1.9	31.2	7 3/4	3.1	58.0
5	2.0	33.4	8	3.2	60.2
5 1/4	2.1	35.6	8 1/4	3.3	62.5 *
5 1/2	2.2	37.9	8 1/2	3.4	64.7 *
5 3/4	2.3	40.1	8 3/4	3.5	66.9 *
6	2.4	42.3	9	3.6	69.2 *
6 1/4	2.5	44.6	9 1/4	3.7	71.4 *
6 1/2	2.6	46.8	9 1/2	3.8	73.8 *
6 3/4	2.7	49.1	9 3/4	3.9	75.9 *

* Valeurs extrapolées car l'étude de Cooper se limitait entre 29 et 60 ml.min⁻¹.kg⁻¹

Tableau 8 — Épreuve de 12 minutes de course de Cooper sur une piste de 400 m.

Les $\dot{V}O_2$ max sont prédits à partir de :

$$Y \text{ (ml.min}^{-1}\text{.kg}^{-1}\text{)} = 22.351 \text{ (distance en km)} - 11.288$$

FORME PHYSIQUE	AGE (en années)					
	13-19	20-29	30-39	40-49	50-59	plus de 60
I. Très mauvaise (hommes)	< 2,100*	< 1,950	< 1,900	< 1,850	< 1,650	< 1,400
(femmes)	< 1,600	< 1,550	< 1,500	< 1,400	< 1,350	< 1,250
II. Mauvaise (hommes)	2,100 - 2,200	1,950 - 2,100	1,900 - 2,100	1,850 - 2,000	1,650 - 1,850	1,400 - 1,650
(femmes)	1,600 - 1,900	1,550 - 1,800	1,500 - 1,700	1,400 - 1,600	1,350 - 1,500	1,250 - 1,400
III. Moyenne (hommes)	2,200 - 2,500	2,100 - 2,400	2,100 - 2,350	2,000 - 2,250	1,850 - 2,100	1,650 - 1,950
(femmes)	1,900 - 2,100	1,800 - 1,950	1,700 - 1,900	1,600 - 1,800	1,500 - 1,700	1,400 - 1,600
IV. Bonne (hommes)	2,500 - 2,750	2,400 - 2,650	2,350 - 2,500	2,250 - 2,500	2,100 - 2,300	1,950 - 2,150
(femmes)	2,100 - 2,300	1,950 - 2,150	1,900 - 2,100	1,800 - 2,000	1,700 - 1,900	1,600 - 1,750
V. Très bonne (hommes)	2,750 - 3,000	2,650 - 2,850	2,500 - 2,700	2,500 - 2,650	2,300 - 2,550	2,150 - 2,500
(femmes)	2,300 - 2,450	2,150 - 2,350	2,100 - 2,250	2,000 - 2,150	1,900 - 2,100	1,750 - 1,900
VI. Excellente (hommes)	> 3,000	> 2,850	> 2,750	> 2,650	> 2,550	> 2,500
(femmes)	> 2,450	> 2,350	> 2,250	> 2,150	> 2,100	> 1,900

Tableau 9 — Test de 12 minutes (marche ou course) — Distance (en km) parcourue en 12 min

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

Tableau 10 — Test de course sur 2 400 m — Temps (en mn)

pourcentages du $\dot{V}O_2$ max à solliciter.

L'ensemble des inconvénients précédents peut être pallié par l'utilisation d'épreuves indirectes, progressives, continues et maximales qui présentent en outre l'avantage d'indiquer la PMA (ou vitesse de course atteinte au $\dot{V}O_2$ max).

Épreuves indirectes progressives, continues et maximales

Ces épreuves évaluent indirectement et de façon très satisfaisante la consommation maximale d'oxygène. Elles utilisent les mêmes principes que les épreuves progressives indirectes sur tapis roulant. Leur passation collective, leur déroulement très progressif et les nombreuses données qu'elles fournissent contribuent au vif succès qu'elles rencontrent actuellement au Canada, en France et dans bien d'autres pays.

Le principe commun de leur protocole est simple : courir le plus longtemps possible en respectant la vitesse imposée, laquelle est augmentée au moyen d'une bande magnétique émettant des sons à intervalles réguliers. A chaque son, le sujet doit se trouver au niveau d'un des points de repère placés à distances données. Le sujet est ainsi amené de la marche vers la course de plus en plus rapide jusqu'à une vitesse limite personnelle à partir de laquelle il ne peut plus suivre une nouvelle accélération. Chaque changement de vitesse correspond à un nouveau palier, et chaque palier peut durer une ou deux minutes selon l'épreuve choisie.

L'intensité et la durée de l'effort sont principalement limitées par le métabolisme aérobie. Le $\dot{V}O_2$ max est prédit indirectement en attribuant au dernier palier le coût énergétique moyen de la vitesse de course atteinte. Lorsque l'évalué s'arrête, il lui suffit de retenir le palier correspondant annoncé par l'enregistrement magnétique et de lire sur le tableau de l'épreuve le coût énergétique équivalent (tabl. 11, 12 et 13). En fonction des aires d'évolution disponibles, l'épreuve peut se dérouler

selon les protocoles suivants : sous la forme d'une course-navette avec des paliers de 1 ou de 2 min, et sur une piste de 200, 300 ou 400 m.

□ *Épreuve de course navette de 20 m à paliers de 2 min* (Léger, 1981) Cette épreuve convient à toute personne ne pouvant bénéficier d'une piste de 200 m ou plus (joueurs de sports collectifs, joueurs de tennis, scolaires...)

La course navette est délimitée par deux lignes parallèles tracées à 20 m l'une de l'autre (lignes de touche d'un terrain de hand-ball) (fig. 20). La cassette pré-enregistrée du protocole de l'épreuve (3) donne les sons correspondant au passage sur chaque ligne ainsi que tous les renseignements nécessaires.

Si le sujet est en avance par rapport au son, il doit ralentir son allure et, inversement, lorsqu'il est en retard. Cet ajustement constant à la vitesse imposée ajoute à l'intérêt pédagogique et à l'aspect ludique de l'épreuve. D'autre part, la bande magnétique donne toutes les instructions au fur et à mesure du déroulement du test, ce qui rend son utilisation extrêmement simple.

Le sujet retient le numéro du palier auquel il s'est arrêté. Il lui suffit alors d'en lire la correspondance sur le tableau (tabl. 11).

Exemple : si un sujet s'arrête au palier 15 1/4, son $\dot{V}O_2$ max prédit est :

$$52.5 + \frac{(3.5)}{4} = 53.375 \text{ arrondi à } 53.40 \text{ ml.min}^{-1}.\text{kg}^{-1}.$$

Sa vitesse de course correspondant au $\dot{V}O_2$ max (ou PMA) s'élève à 12.29 km/h ou 204.8 m/min ou encore 3.41 m/s, et la durée totale de l'épreuve est égale à 16 min + 2 min/4 = 16 min30 s. Son excellente corrélation ($r = 0.84$) entre le nombre de paliers effectués ou la vitesse maximale et le $\dot{V}O_2$ max mesuré directement au cours de l'épreuve, démontre sa validité et permet de calculer son équation de prédiction ($Y = 5.857 X - 19.458$; $Y = \dot{V}O_2$ max exprimé en $\text{ml.min}^{-1}.\text{kg}^{-1}$ et $X =$ vitesse du dernier palier effectué exprimé en km/h). De plus, son indice de fidélité $r = 0.875$ indique une reproductibilité acceptable. Les caractéristiques précédentes placent cette épreuve au premier rang de tous les tests indirects, y compris ceux se déroulant en laboratoire.

Les caractéristiques du protocole de l'épreuve navette de 1 min sont réunies dans le tableau 12.

Il faut toutefois remarquer que les deux épreuves précédentes ne prédisent que les $\dot{V}O_2$ des sujets adultes. Pour les enfants et adolescents une

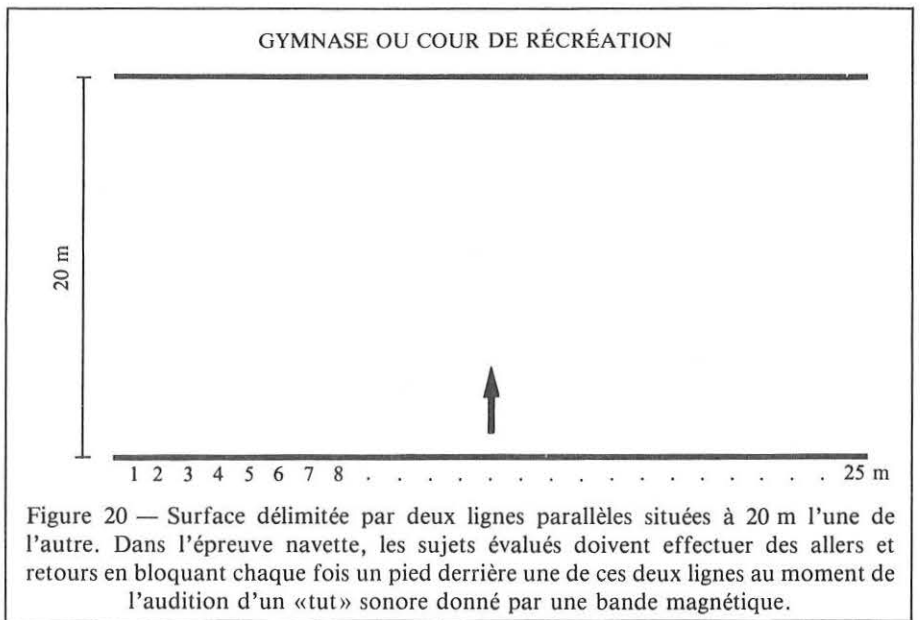


Figure 20 — Surface délimitée par deux lignes parallèles situées à 20 m l'une de l'autre. Dans l'épreuve navette, les sujets évalués doivent effectuer des allers et retours en bloquant chaque fois un pied derrière une de ces deux lignes au moment de l'audition d'un «tut» sonore donné par une bande magnétique.

(3) Il est possible de se procurer les cassettes des différentes épreuves aux adresses suivantes :

LÉGER (L.).- Département d'Éducation Physique - Université de Montréal - Bd Edouard Montpetit - Montréal - Province du Québec - Canada.

CAZORLA (G.).- C.R.E.P.S. de Bordeaux. 653 cours de la Libération - 33405 Talence Cedex

Paliers Met.	VO ₂ max** ml/kg min	Temps min	Vitesse			Temps Fractionné s/20 m*
			km/h	m/min	m/s	
7	24.5	2	7.51	125.1	2.08	9.693
9	31.5	4	8.70	145.0	2.42	8.276
10	35.0	6	9.30	155.0	2.58	7.744
11	38.5	8	9.90	164.9	2.75	7.276
12	42.0	10	10.49	174.9	2.91	6.862
13	45.5	12	11.09	184.8	3.08	6.492
14	49.0	14	11.69	194.8	3.25	6.160
15	52.5	16	12.29	204.8	3.41	5.860
16	56.0	18	12.88	214.7	3.58	5.589
17	59.5	20	13.48	224.7	3.74	5.341
18	63.0	22	14.08	234.6	3.91	5.114
19	66.5	24	14.68	244.6	4.08	4.906
20	70.0	26	15.27	254.6	4.24	4.714
21	73.5	28	15.87	264.5	4.41	4.537
22	77.0	30	16.47	274.5	4.57	4.372
23	80.5	32	17.07	284.4	4.74	4.219

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

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

Tableau 11 — Épreuve progressive de course navette de 20 m à paliers progressifs de 2 min (Léger, 1981)

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

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

Tableau 12 — Épreuve progressive de course navette de 20 m avec paliers de 1 minute (Léger, mai 1981)

Palier min	Vitesse maximale km h ⁻¹	Prédiction $\dot{V}O_2$ max, ml kg ⁻¹ min ⁻¹ selon la vitesse, km h ⁻¹ et l'âge, années**												
		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	≥ 18
1	8.5	46.9*	45.0*	43.0*	41.1*	39.1*	37.2*	35.2*	33.3*	31.4*	29.4*	27.5*	25.5*	23.6*
2	9.0	49.0	47.1	45.2	43.4	41.5*	39.6*	37.8*	35.9*	34.1*	32.2*	30.3*	28.5*	26.6*
3	9.5	51.1	49.3	47.5	45.7	43.9	42.1	40.3*	38.5*	36.7*	35.0*	33.2*	31.4	29.6
4	10.0	53.1	51.4	49.7	48.0	46.3	44.6	42.9	41.2	39.4*	37.7*	36.0	34.3	32.6
5	10.5	55.2	53.6	51.9	50.3	48.7	47.0	45.4	43.8	42.1	40.5	38.9	37.2	35.6
6	11.0	57.3	55.7	54.2	52.6	51.1	49.5	47.9	46.4	44.8	43.3	41.7	40.2	38.6
7	11.5	59.4	57.9	56.4	54.9	53.4	52.0	50.5	49.0	47.5	46.0	44.6	43.1	41.6
8	12.0	61.5	60.1	58.6	57.2	55.8	54.4	53.0	51.6	50.2	48.8	47.4	46.0	44.6
9	12.5	63.5	62.2	60.9	59.6	58.2	56.9	55.6	54.2	52.9	51.6	50.3	48.9	47.6
10	13.0	65.6*	64.4*	63.1*	61.9*	60.6*	59.4*	58.1	56.9	55.6	54.4	53.1	51.9	50.6
11	13.5	67.7*	66.5*	65.3*	64.2*	63.0*	61.8*	60.6*	59.5*	58.3	57.1	56.0	54.8	53.6
12	14.0	69.8*	68.7*	67.6*	66.5*	65.4*	64.3*	63.2*	62.1*	61.0	59.9	58.8	57.7	56.6
13	14.5	71.9*	70.8*	69.8*	68.8*	67.8*	66.8*	65.7*	64.7*	63.7*	62.7*	61.6	60.6	59.6
14	15.0	73.9*	73.0*	72.0*	71.1*	70.2*	69.2*	68.3*	67.3*	66.4*	65.4*	64.5	63.6	62.6*
15	15.5	76.0*	75.1*	74.3*	73.4*	72.5*	71.7*	70.8*	69.9*	69.1*	68.2*	67.3*	66.5*	65.6*
16	16.0	78.1*	77.3*	76.5*	75.7*	74.9*	74.1*	73.4*	72.6*	71.8*	71.0*	70.2*	69.4*	68.6*
17	16.5	80.2*	79.5*	78.7*	78.0*	77.3*	76.6*	75.9*	75.2*	74.5*	73.8*	73.0*	72.3*	71.6*
18	17.0	82.3*	81.6*	81.0*	80.3*	79.7*	79.1*	78.4*	77.8*	77.2*	76.5*	75.9*	75.3*	74.6*
19	17.5	84.3*	83.8*	83.2*	82.7*	82.1*	81.5*	81.0*	80.4*	79.9*	79.3*	78.7*	78.2*	77.6*
20	18.0	86.4*	85.9*	85.4*	85.0*	84.5*	84.0*	83.5*	83.0*	82.5*	82.1*	81.6*	81.1*	80.6*

** Age : 6 ans = 6.0 à 6.9 etc.

Vitesse : km h⁻¹ = 8 ± 0.5 palier, nombre ou minutes

$\dot{V}O_2$ max : mlkg⁻¹min⁻¹ = 31.025 + 3.238 vitesse, km h⁻¹ - 3.248 âge.années + 0.1536 vitesse × âge

Les valeurs avec * sont extrapolées au-delà de ± 2 s, intervalle expérimental des données.

Tableau 13 — Prédiction du $\dot{V}O_2$ max d'après un test progressif de course navette de 20 mètres (D. Mercier, L. Léger, J. Lambert, mai 1983)

étude récente (Mercier et coll., 1983) propose les $\dot{V}O_2$ max extrapolés à partir de la vitesse du dernier palier effectué dans l'épreuve navette de 1 min (tabl. 12 et 13).

Limites des épreuves navette de 20 m

Les résultats obtenus peuvent être légèrement affectés par la capacité anaérobie, la motivation et le rendement mécanique. De plus les allers-retours maintes fois répétés peuvent non seulement lasser mais aussi sous-estimer le $\dot{V}O_2$ max par rapport à celui obtenu par épreuve maximale progressive sur grand terrain. En effet, il se peut que le fait de se bloquer à chaque ligne de 20 m entraîne une mise en réserve d'énergie élastique dans les muscles sollicités. L'énergie élastique ou «énergie gratuite» serait alors restituée au cours de chaque 20 m de course, ce qui pourrait partiellement expliquer les valeurs sensiblement plus faibles des $\dot{V}O_2$ max ainsi obtenus. Enfin, d'une manière générale la course sur piste recueille la préférence des athlètes coureurs et notamment des spécialistes de course de demi-fond et de fond.

□ Épreuve progressive de course sur piste (Léger et Boucher, 1981)

Le principe de cette épreuve demeure identique à celui des deux épreuves précédentes, mais il s'agit de courir autour d'une piste de 200, 300, 400 m étalonnée tous les 50 m (fig. 21).

Le $\dot{V}O_2$ max est prédit à partir de l'équation suivante :

$$y = 14.49 + 2.143x + 0.0324x^2$$

dans laquelle y est le $\dot{V}O_2$ max exprimé en $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$ et x la vitesse atteinte au dernier palier réalisé exprimée en km/h.

Le $\dot{V}O_2$ max peut être lu aussi sur le tableau 14.

L'inconvénient majeur de cette épreuve est qu'elle requiert un magnétophone puissant ou une sonorisation du stade où se trouve la piste. Cependant, pour éviter cet écueil, l'évaluateur peut placer un magnétophone normal sur le porte-bagages d'une bicyclette et ainsi conduire en le précédant le groupe d'évalués.

Exemples d'utilisation des épreuves progressives de course

Hormis les inconvénients mineurs précédents, les épreuves indirectes continues progressives et maximales, de course navette et de course sur piste présentent l'incomparable avantage d'accéder aux nombreux renseignements permettant de planifier plus rationnellement un programme

de remise en forme du sédentaire ou d'entraînement de l'athlète.

Pour améliorer sa capacité aérobie, il est recommandé de courir 2 à 3 fois par semaine à une intensité sollicitant 70 à 80 % de sa PMA. De même, pour l'athlète, l'intensité à laquelle il désire s'entraîner dépend de l'importance accordée à telle ou telle composante de la performance. Par exem-

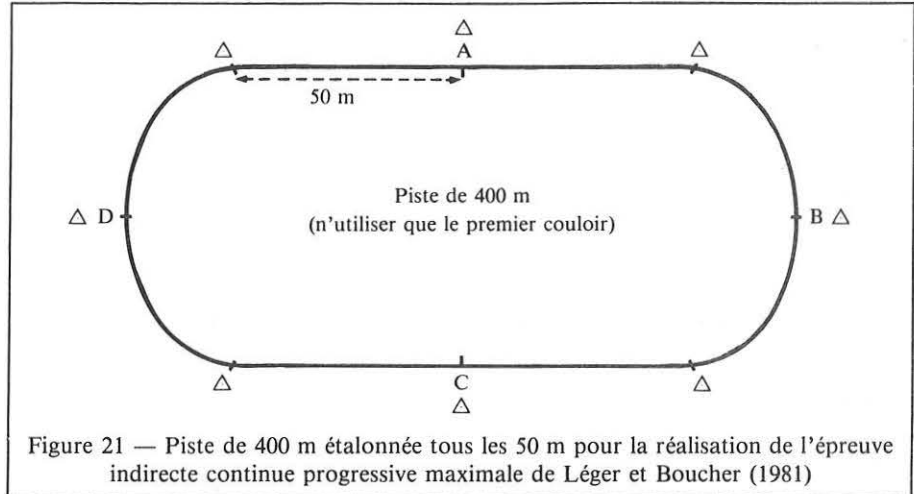


Figure 21 — Piste de 400 m étalonnée tous les 50 m pour la réalisation de l'épreuve indirecte continue progressive maximale de Léger et Boucher (1981)

Palier Met.	$\dot{V}O_2^*$ $\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$	Durée min	Vitesse		Temps fractionné sur 50 m (s)
			$\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$	$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	
5	17.5	2	6.00	1.67	30.000
7	24.5	4	7.10	1.97	25.350
9	31.5	6	7.16	1.99	25.140
10	35.0	8	8.48	2.36	21.226
11	38.5	10	9.76	2.71	18.442
12	42.0	12	11.00	3.06	16.364
13	45.5	14	12.21	3.39	14.742
14	49.0	16	13.39	3.72	13.443
15	52.5	18	14.54	4.04	12.380
16	56.0	20	15.66	4.35	11.494
17	59.5	22	16.75	4.65	10.746
18	63.0	24	17.83	4.95	10.095
19	66.5	26	18.88	5.24	9.534
20	70.0	28	19.91	5.53	9.041
21	73.5	30	20.91	5.81	8.608
22	77.0	32	21.91	6.09	8.215
23	80.5	34	22.88	6.36	7.853

* Validé pour les sujets âgés de 18 ans et plus

Tableau 14 — Épreuve progressive sur piste (paliers de 2 min)
Léger - Boucher (1981)

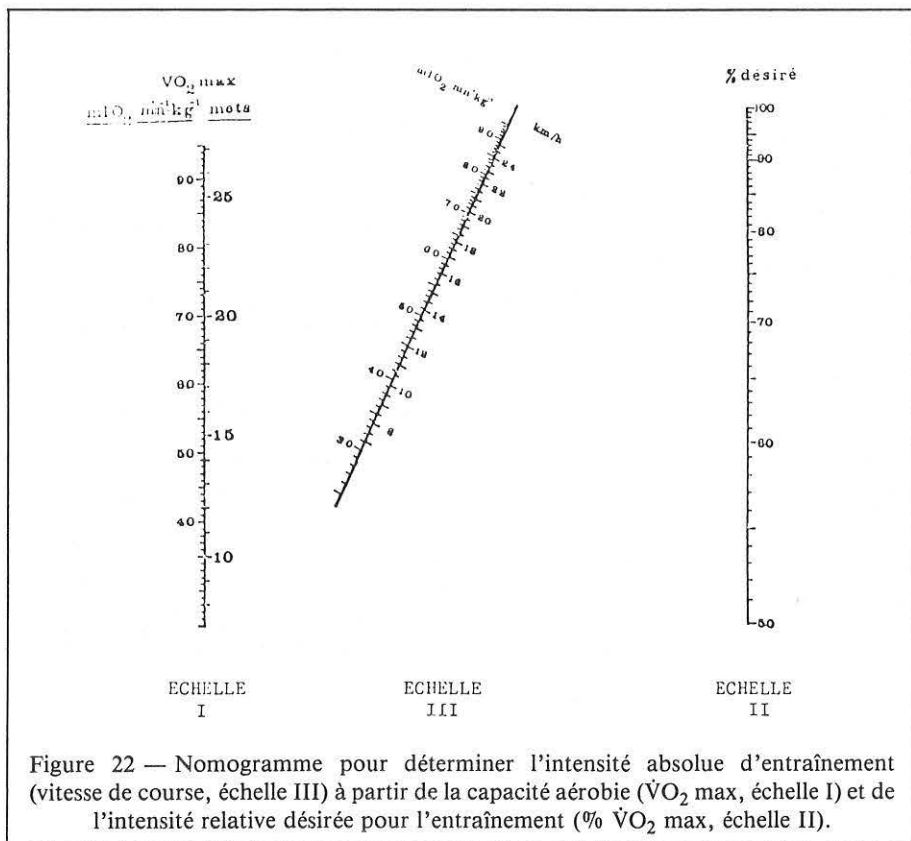


Figure 22 — Nomogramme pour déterminer l'intensité absolue d'entraînement (vitesse de course, échelle III) à partir de la capacité aérobie ($\dot{V}O_2 \text{ max}$, échelle I) et de l'intensité relative désirée pour l'entraînement (% $\dot{V}O_2 \text{ max}$, échelle II).

ple, un coureur de demi-fond qui souhaite travailler sur des distances longues pour développer son endurance aérobie sans trop accumuler de lactate, une intensité correspondant à 70 % de son $\dot{V}O_2 \text{ max}$ est recommandée. S'il veut au contraire s'habituer à supporter des concentrations lactiques importantes, des pourcentages plus élevés lui sont conseillés. Bref, dans l'entraînement actuel, il est toujours fait référence au pourcentage de PMA, mais combien de sujets connaissent-ils vraiment leur $\dot{V}O_2 \text{ max}$ et leur PMA? Cette question peut désormais, avec une marge d'erreur limitée, obtenir une réponse positive sans avoir recours aux épreuves de laboratoire.

De plus, Mercier et Léger (mai 1980) ont mis au point un nomogramme (fig. 22) permettant d'obtenir immédiatement les vitesses de course correspondant aux pourcentages de $\dot{V}O_2 \text{ max}$ souhaités. Il est cependant nécessaire de connaître préalablement son $\dot{V}O_2 \text{ max}$, et ceci est tout à fait possible grâce aux trois épreuves précédemment décrites. Ces épreuves, ajoutées à l'exploitation du nomogramme, forment un tout très

intéressant pour l'entraîneur qui désormais bénéficie d'un outil de «terrain» simple, facilement accessible et d'une précision tout à fait convenable.

Exemple d'utilisation

Commencer d'abord par la passation collective d'une des trois épreuves progressives précédentes. Puis déterminer l'intensité relative à laquelle s'entraîner. En se référant à la figure 22, noter sur l'échelle verticale de gauche (I) votre $\dot{V}O_2 \text{ max}$ et, sur celle de droite (II), l'intensité relative souhaitée. Relier ensuite ces deux points d'une droite, celle-ci croise l'échelle oblique (III) en un point qui donne directement la vitesse de course ainsi précisée. Par exemple, si un sujet dont le $\dot{V}O_2 \text{ max}$ est de $70 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ désire s'entraîner à 70 % de sa consommation maximale d'oxygène, sa vitesse de course sera de 13.7 km/h. Enfin, pour trouver l'équivalent de cette vitesse de course exprimée en temps de passage pour la distance qui convient le mieux à l'entraînement, se reporter à la figure 23 : 4 min 28 s au km ou 1 min 48 au 400 m pour la vitesse précédente soit 13.7 km/h.

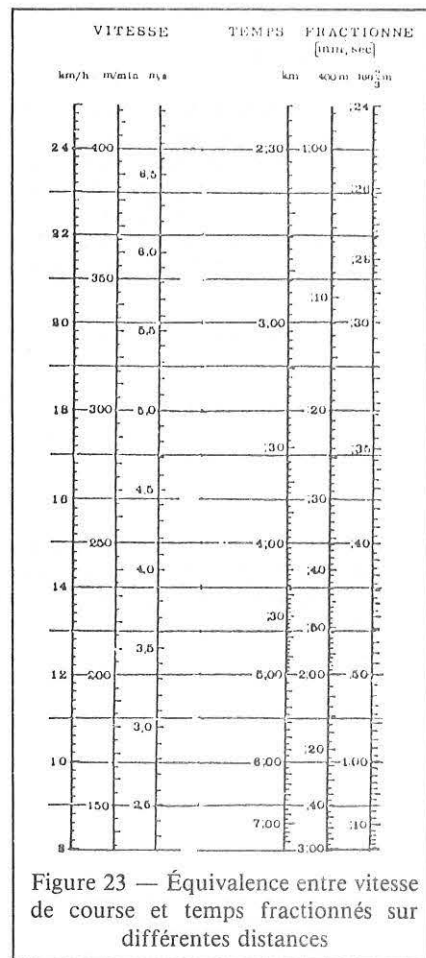


Figure 23 — Équivalence entre vitesse de course et temps fractionnés sur différentes distances

Conclusion

Le volume de cet article montre à l'évidence l'importance que l'évaluation accorde à la connaissance de la capacité aérobie. Parce qu'elle est le reflet de la consommation cellulaire de l'oxygène, elle donne de bonnes indications sur l'état fonctionnel des éléments de la chaîne qui assure son transport de l'environnement à la cellule : systèmes ventilatoire et surtout cardio-vasculaire, considérés à juste titre comme les facteurs fondamentaux de ce qu'il est de coutume d'appeler capacité physique.

Sans prétendre être exhaustif, selon la population à évaluer, les objectifs de l'évaluation et les moyens disponibles, nous souhaitons que l'évaluateur puisse trouver dans cette étude l'épreuve et la mesure les mieux adaptées à ses besoins. Dans le cas contraire, il pourra compléter cette information par la lecture des références bibliographiques qui l'accompagnent.

CALCULS DE $\dot{V}O_2$.

Lorsque le sujet réalise son épreuve, les conditions ambiantes (température, pressions barométrique et en vapeur d'eau) sont sujettes à variations. Il faut donc convertir les mesures obtenues dans ces conditions en mesures standard : c'est ce qui est exprimé par les initiales ATPS (Ambient Temperature and Pressure, Saturated) et STPD (Standard Temperature and Pressure, Dry — c'est-à-dire à 0° Celcius ou 273° Kelvin, 760 mmHg et sans pression de vapeur d'eau).

La conversion des volumes s'établit à partir de la formule suivante :

$$V \text{ STPD} = V \text{ ATPS} \times \underbrace{\frac{(P_b - P_{H_2O})}{(760 - 0)} \times \frac{(273 + 0)}{(273 + T_a)}}_{\text{Facteur STPD}} \quad (1)$$

Le calcul de V STPD requiert donc la connaissance de la pression barométrique (Pb), de la pression en vapeur d'eau (PH₂O), et de la température ambiante (Ta). La PH₂O n'est nécessaire que si $\dot{V}O_2$ est calculé à partir du volume inspiré (technique par mesures automatiques)

— Calcul du $\dot{V}O_2$ à partir du VE (technique Sac de Douglas)

$$\dot{V}O_2 = VE \cdot STPD \frac{(1 \cdot FE_{O_2} - FE_{CO_2})}{1 \cdot FI_{O_2} - FI_{CO_2}} \times FI_{O_2} - FE_{O_2} \quad (2)$$

Comme dans l'air ambiant,

O₂ inspiré = 20.93 % et CO₂ inspiré = 0.03 % : l'équation (2) devient

$$\dot{V}O_2 = VE_{STPD} 0.2648 (1 - FE_{O_2} - FE_{CO_2}) - FE_{O_2} \text{ oxygène vrai expiré ou «True oxygen» E}$$

— Calcul du $\dot{V}O_2$ à partir de V₁ (technique automatique)

$$\dot{V}O_2 = VI \text{ STPD} \frac{FI_{O_2} (1 - FE_{CO_2}) - FE_{O_2} (1 - FI_{CO_2})}{1 - FE_{O_2} - FE_{CO_2}} \text{ oxygène vrai inspiré = «True oxygen» I}$$

Pour le développement complet de ces calculs voir notamment :

- LÉGER (L.).- Principes de la mesure de la consommation d'oxygène en circuit ouvert et calorimétrie indirecte. Département d'E.P.S., Université de Montréal.
- DENIS (C.).- Aspects pratiques des quelques épreuves d'aptitude bioénergétiques. Laboratoire de physiologie de l'activité physique. Faculté de Médecine de St-Étienne.

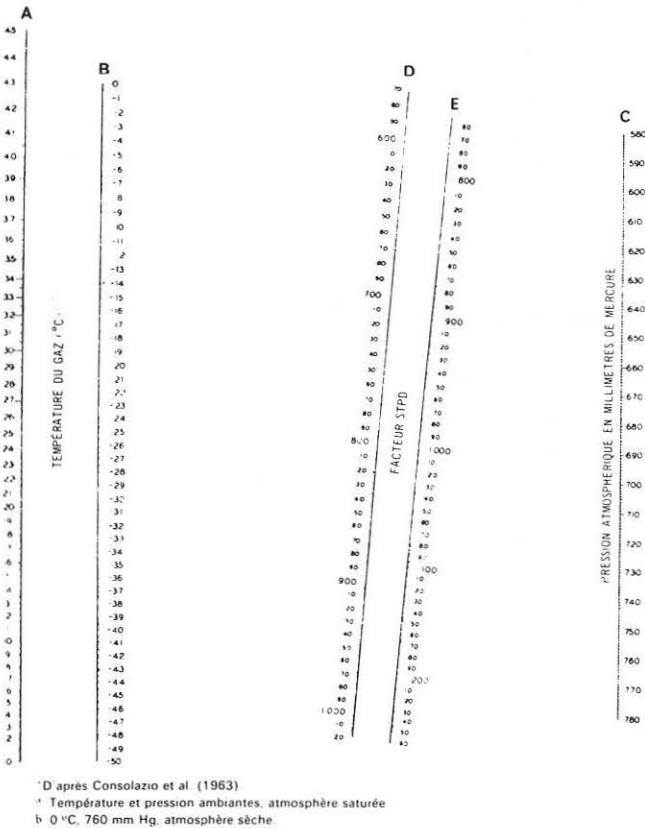


Figure 24 — Nomogramme indiquant le facteur à utiliser pour transformer un volume ATPS^a en volume STPD^b

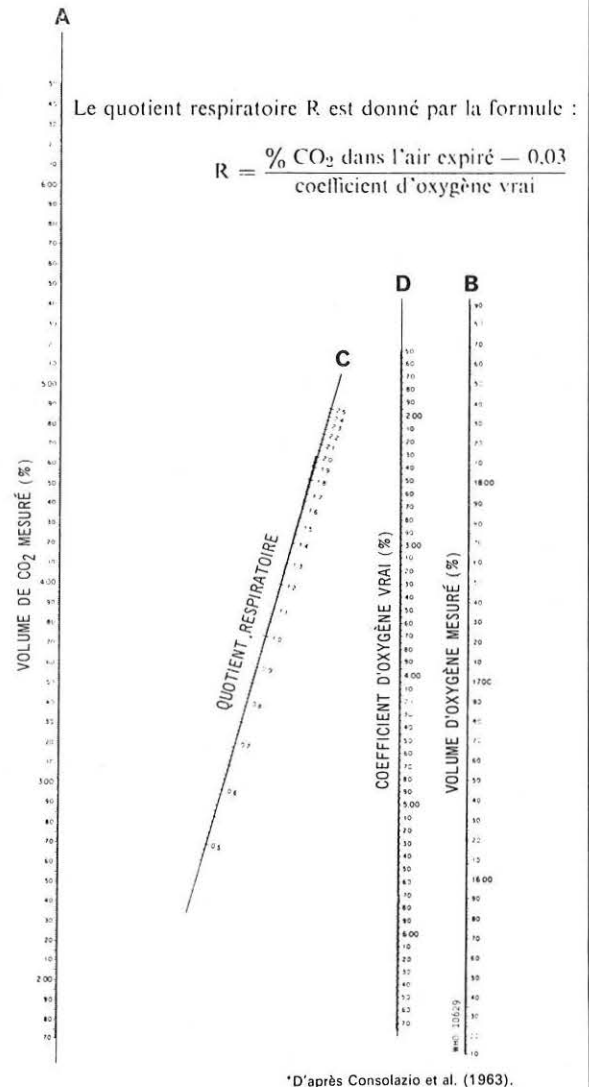


Figure 25 — Détermination du quotient respiratoire et du coefficient d'oxygène vrai à partir de l'analyse de l'air expiré

Vue d'ensemble sur les épreuves d'évaluation de la capacité aérobie : élaboration, validation et limites de signification.

- ALDERMAN (R.B.).- Interindividual differences in heart rate response to bicycle ergometer work. *Research Quarterly*, 1967, 38, pp. 322-330.
- American College of Sports Medicine.- Guidelines for Graded Exercise Testing and Exercise Prescription. Philadelphia : Lea & Febiger, 1975 et 1980.
- Am. Heart Ass.- Exercise Testing and Training of Apparently Healthy Individuals : A Handbook for Physicians.- New York : Am. Heart Ass., 1972.
- American Medical Association, Committee on Exercise and Physical Fitness, Is your patient fit? A simple supplementary test for evaluating a patient's fitness. *J. Am. Med. Ass.*, 1967, 211, pp. 131-132.
- ANDERSEN (K.L.), SHEPHARD (R.J.), DENOLIN (H.), VARNAUSKAS (E.), MASIRONI (R.).- Fundamentals of exercise testing. Genève : W.H.O., 1971.
- ANDERSEN (K.L.), SHEPHARD (R.J.), DENOLIN (H.), VARNAUSKAS (E.), MASIRONI (R.).- Les épreuves d'effort : principes fondamentaux.-Genève : O.M.S., 1971.
- Association canadienne d'hygiène publique.- Rapport final - Test normalisé de la condition physique pour la santé au travail.- Ottawa : C.P.H.A., 1978.
- ASTRAND (I.).- Physiological methods for estimating the physical work capacity in workers especially of the older age groups. *Ergonomics*, 1957, 1, n° 2, pp. 129-136.
- ASTRAND (P.O.), RYHMING (I.).- A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during sub-maximal work. *J. Appl. Physiol.*, 1954, 7, pp. 218-221.
- ASTRAND (P.O.), SALTIN (B.).- Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise.- *J. Appl. Physiol.*, 1961 16, pp. 971-976.
- ASTRAND (P.O.).- Work tests with the bicycle ergometer.- Varberg (Suède) : Monark-Crescent AB, 1967.
- ASTRAND (P.O.), RODAHL (K.).- Manuel de physiologie de l'exercice musculaire.- Paris : Masson et Cie, 1972.
- BAILEY (D.A.), SHEPHARD (R.J.), MIRWALD (R.L.), Mc BRIDE (C.A.).- A current view of canadian cardiorespiratory fitness. *Can. Med. Ass. J.*, 1974, 111, pp. 25-30.
- BALEY (D.A.), SHEPHARD (R.J.), MIRWALD (R.L.).- Validation of a self administered home test of cardiorespiratory fitness. *Can. J. Appl. Spt. Sci.*, 1976, n° 1, pp. 67-68.
- BALKE (B.), WARE (R.W.).- An experimental study of «physical fitness» of air force personnel, *U.S. Armed Forces. Med. J.*, 1959, 10, pp. 675-688.
- BALKE (B.).- A simple test for the Assessment of physical fitness. Cari report 63-6. Oklahoma City : Civil aeromedical research institue, Federal Aviation Agency, 1963.
- BAUMGARTNER (T.A.), JACKSON (A.S.).- Measurement for Evaluation in Physical Education.- Boston : Houghton Mifflin Co., 1975.
- BILLINGS (G.E.).- Measurement of human capacity for aerobic muscular work.- *J. of Appl. Physiol.*, 1960, 15, p. 1001.
- BISSONNETTE (R.).- Évaluation en éducation physique.- Université de Sherbrooke, 1979.
- BOLONCHUK (W.W.).- Ergometric reproducibility of the cardiopulmonary response to exercise. *Research Quarterly*, 1969, 40, pp. 845-847.
- BONEN (A.).- An evaluation of the fitness test. *Can. J. Public. Health*, 1975, 66, pp. 288-290.
- BOTTIN (R.), DEROANNE (R.), PETIT (J.M.), PIRNAY (F.), JUCHMES (J.).- Comparaison de la consommation maximale d'O₂ mesurée à celle prédite en fonction de la F.C., au moyen du nomogramme d'Astrand. *Revue Éducation Physique*, 1966, 6, n° 4, pp. 224-228.
- BOUCHARD (C.), GODBOUT (P.), MONDOR (J.C.), LEBLANC (C.).- Specificity of maximal aerobic power. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1979, 40, pp. 85-93.
- BRUCE (R.A.).- Exercise testing of patients with coronary heart disease. *Ann. Clin. Res.*, 1971, 3, pp. 323-332.
- BRUCE (R.A.), KUSUMI (F.), HOSMER (D.).- Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am. Heart J.*, 1973, 85, pp. 546-562.
- BRUCE (R.A.).- Methods of exercise testing. *Am. J. Cardiol.*, 1974, 33, pp. 715-720.
- BURKE (E.A.).- A factor analytic investigation into the validity of selected field tests of physical working capacity. Doctoral Dissertation, Temple University, 1973.
- BURRIS (B.J.).- Measurement of aerobic capacity in college women. Unpublished Doctor's dissertation, University of Wisconsin, 1970.
- Canada, Santé et Sport Amateur, Physitest normalisé - Normes et notes en percentiles. Ottawa, 1979.
- Cartier (D.).- Essai sur l'élaboration d'un instrument de mesure et d'évaluation de l'aspect bio-moteur des étudiants de niveau secondaire. Novembre 1977.
- CLARKE (H.H.).- Application of measurement to health and physical education. Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1976.
- CAZORLA (G.), MONTPETIT (R.R.), FOUILLOT (J.P.), CERVETTI (J.P.).- Étude méthodologique de la mesure directe de la consommation maximale d'oxygène au cours de la nage. *Cinésologie*, 1982, XXI, pp. 33-40.
- CONSOLAZIO (F.C.), JOHNSON (R.E.), PECORA (L.J.).- Physiological measurements of metabolic functions in man. New-York : Mc Graw-Hill Book Co, 1963.
- DAVIES (D.T.M.).- Limitations to the prediction of maximum oxygen intake from cardiac frequency measurements. *J. Appl. Physiol.*, 1968, 24, pp. 700-706.
- DENIS (C.).- Aspects pratiques de quelques épreuves d'aptitude bioénergétique. Saint-Étienne : Faculté de Médecine, Laboratoire de Physiologie de l'activité physique, 1981.
- DEVRIES (H.A.), KLAFFS (C.E.).- Prediction of maximum oxygen intake from submaximal tests. *J. Sports med. phys. fitness*, 1965, 5, pp. 207-214.
- ELLESTAD (M.H.).- Stress testing. Principles and practice.- Philadelphia : Davis Co, 1975.
- EPIC.- Le bilan de ma condition physique (livret remis aux membres EPIC à la suite de leur évaluation), 1979.
- FARDY (P.S.), HELLERSTEIN (H.K.).- A comparison of continuous and intermittent progressive multistage exercise testing. *Med. Sci. Sports*, 1978, 10, n° 1, pp. 7-12.
- FLANDROIS (R.), PUCCINELLI (R.), HOUDAS (Y.), LEFRANÇOIS (R.).- Comparaison des consommations d'O₂ maximum mesurées et théoriques d'une population française. *J. Physiol. (Paris)*, 1962, 54, p. 337.
- FOX (E.L.).- A simple, accurate technique for predicting maximal aerobic power. *J. Appl. Physiol.*, 1973, 35, pp. 914-916.
- FROELICHER (V.F.), BRAMMELL (H.), DAVIS (G.), NOGUERA (I), STEWART (A.), LANCASTER (M.C.).- A comparison of the reproducibility and physiologic response to three maximal treadmill exercise protocols. *Chest*, 1974, 65, pp. 512-517.
- GIRANDOLA (R.N.), KATCH (F.I.), HENRY (F.M.).- Prediction of oxygen intake from ventilation, and oxygen intake and work capacity from heart rate during heavy exercises. *Research Quarterly*, 1971, 42, pp. 362-373.
- GIVONI (B.), GOLDMAN (R.F.).- Predicting metabolic energy cost. *J. Appl. Physiol.*, 1971, 30, n° 3, pp. 429-433.
- GLASSFORD (R.G.), BAYCROFT (G.H.Y.), SEDGWICK (A.W.), MACNAB (R.B.J.).- Comparison of maximal oxygen uptake values determined by predicted and actual methods. *J. Appl. Physiol.*, 1965, 20, n° 3, pp. 509-513.
- HEBRAL (D.).- Analyse critique des principales méthodes de détermination de l'aptitude physique. Comparaison entre la consommation maximale d'oxygène, diverses épreuves fonctionnelles et données biométriques. Thèse de doctorat en médecine. Faculté mixte de médecine et de pharmacie de Lyon, 1967.
- JETTÉ (M.), THODEN (J.S.), GAUTHIER (R.).- Aerobic exercise prescription intensity in terms of maximal working capacity. *Can. J. Public Health*, 1975, 66, pp. 465-467.
- JOPKE (T.).- Choosing an exercise testing protocol. *Physician Sportsmed*, 1981, 9, pp. 141-144, 146.
- LACOUR (J.R.), FLANDROIS (R.), DENIS (C.).- Les tests d'effort. *In* : Sports et sciences, 1981, Paris : Vigot, 1981, pp. 239-261.
- LÉGER (L.).- Principes de la mesure de la consommation d'oxygène en circuit ouvert et calorimétrie indirecte. Département d'éducation physique et sportive. Université de Montréal.
- Mc ARDLE (W.D.), ZWIREN (L.), MAGEL (J.R.).- Validity of the postexercise heart rate as means of estimating heart rate during work of varying intensities. *Res. Quat.*, 1969, 40, n° 3, pp. 523-528.
- MC ARDLE (W.D.), KATCH (F.I.), PECHAR (G.S.).- Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle test for max $\dot{V}O_2$. *Med. Sci. Sports*, 1973, 5, n° 3, pp.156-160.
- MAKSUD (M.G.), COUTTS (K.D.).- Comparison of a continuous and discontinuous graded treadmill test for maximal oxygen uptake. *Med. Sci. Sports*, 1971, 3, pp. 63-65.
- MARGARIA (R.), AGHEMO (P.), ROVELLI (E.).- Indirect determination of maximum O₂ consumption in man. *J. Appl. Physiol.*, 1965, 20, pp. 1070-1073.
- MARGARIA (R.), AGHEMO (P.), SASSI (G.).- Lactic acid production in supramaximal exercise. *Pflügers Arch*, 1971, 326, pp. 152-161.
- MARGARIA (R.), AGHEMO (P.), PINERAS-LIMAS (F.).- A simple relation between performance and running and maximal aerobic power. *J. Appl. Physiol.*, 1975, 38, (2), pp. 351-352.
- MARGARIA (R.).- Biomechanics and energetics of muscular exercise. Oxford : Oxford University Press, 1976.
- MARITZ (J.S.), MORRISON (J.F.), PETER (J.), STRYDOM (N.B.), WYNDHAM (C.H.).- A practical method of estimating and individual's maximal oxygen intake. *Ergonomics*, 1961, 4, pp. 97-122.
- MARTINET (A.).- Épreuve fonctionnelle circulatoire. Appréciation de la puissance de réserve du cœur. *Presse Médicale*, 1916, 4, pp. 27-29.
- MASTER (A.), OPPENHEIMER (E.T.).- A simple exercise tolerance test for circulatory efficiency with standard tables for normal individuals. *Am. J. Med. Sci.*, 1929, 177, pp. 223-243.
- METZ (K.F.), ALEXANDER (J.F.).- Estimation of maximal oxygen intake from submaximal work parameters. *Research Quarterly*, 1971, 42, pp. 187-193.
- MITCHELL (J.), SPROULE (B.), CHAPMAN (C.).- The physiological meaning of the maximal oxygen intake test. *J. Clin. Invest.*, 1958, 37, pp. 538-546.
- NAGLE (J.F.), BEDECKI (T.G.).- Use of the 180 heart rate response as a measure of circulo-respiratory capacity. *Research Quarterly*, 34, pp. 361-369.
- OBREE (H.L.), STEVENS (C.), NELSON (T.), AGNEVIK (G.), CLARK (R.T.).- Evaluation of the AAHPER youth fitness test. *J. Sports Med. Physical Fitness*, 1965, 5, pp. 67-71.
- PITTELOUP (J.J.).- La détermination de la capacité de travail chez le médecin praticien : bases théoriques et applications pratiques. *Praxis*, 1963, 39, pp. 1173-1177.
- POLLOCK (M.L.), BOHANNON (R.L.), COOPER (K.H.), AYRES (J.J.), WARD (A.), WHITE (S.P.), LINNERUD (A.C.).- A comparative analysis of four protocols for maximal stress testing. *Am. Heart J.*, 1976, 92, pp. 39-46.
- ROWELL (L.B.), TAYLOR (H.L.), WANG (Y.).- Limitations to prediction of maximal oxygen intake. *J. Appl. Physiol.*, 1964, 19, pp. 919-927.
- ROWELL (L.B.), TAYLOR (H.L.), SIMONSON (E.), CARLSON (W.S.).- The physiologic fallacy of adjusting for body weight in performance of the Master two-step test. *Am. Heart J.*, 1965, 10, pp. 461-465.
- RYHMING (I.).- A modified Harvard step test for the evaluation of physical fitness. *Arbeitsphysiol.*, 1953, 15, pp. 235-247.
- SHEPHARD (R.J.), ALLEN (C.), BENADE (A.J.S.), DAVIES (C.T.M.), DI PRAMPERO (P.E.), HEDMAN (R.), MERRIMAN (J.E.), MYHRE (K.), SIMMONS (R.).- Standardization of submaximal exercise tests. *Bull. Wld. Hlth. Org.*, 1968, 38, pp. 765-775.
- SHEPHARD (R.J.).- Computer programs for solution of the Astrand nomogram and the calculation of a body surface area. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 1970, 10, pp. 206-216.
- SHEPHARD (R.J.).- For exercise testing, please. A review of procedure available to the clinician. *Bull. Physiol. Path. Resp.*, 1970, 6, pp. 425-474.
- SHEPHARD (R.J.).- Endurance Fitness.-Toronto : University of Toronto Press, 1977.
- SHEPHARD (R.J.), COX (M.), COREY (P.), SMYTH (R.).- Some factors affecting accuracy of Canadian Home Fitness Test scores. *Can. J. Appl. Spt. Sci.*, 1979, 4, n° 3, pp. 205-209.
- TAYLOR (H.L.), BUSKIRK (E.), HENSCHER (A.).- Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J. Appl. Physiol.*, 1955, 8, pp. 73-80.
- TAYLOR (H.L.), WONG (Y.), ROWELL (L.), BLOMQUIST (G.).- The standardization and interpretation of submaximal and maximal tests of working capacity. *Pediatrics*, 1963, 32, pp. 703-722.
- Tennessee Heart Ass.- Physician Handbook for Evaluation of Cardiovascular and Physical Fitness.- Nashville : Tenn. Heart Ass., 1970.

- TERASLINNA (P.), ISMAIL (A.H.), MAC LEOD (D.F.).- Nomogram by Astrand and Ryhming as a predictor of maximum oxygen intake. *J. Appl. Physiol.*, 1966, 21, n° 2, pp. 513-515.
- TERRY, JAMES WENDELL. 1930.- Development of a regression equation to predict workload for the Astrand-Ryhming Test.- Kingsville (Tex.), 1972.
- TORNVALD (G.).- Assessment of physical capabilities. *Acta Physiol. Scand.*, 1963, 58, Suppl. 201, 102 p.
- TUTTLE (W.W.).- The use of the pulse-ratio test for rating physical efficiency. *Research Quarterly*, 1931, 2, pp. 5-17.
- WALHUND (H.).- Determination of the physical working capacity. *Acta Med. Scand.*, 1948, 132, suppl. 215.
- WEINER (J.S.), LOURIE (J.A.).- Human biology. A Guide to Field Methods, International Biological Programme Handbook No 9. Oxford : Blackwell Sci Publ., 1969.
- WILMORE (J.H.).- The influence of motivation on PWC and performance. *J. of Appl. Physiol.*, 1968, 24, pp. 459-463.
- WILSON (P.K.), WINGA (E.R.), EDGETT (J.W.), GUSHIKEN (T.T.).- Policies and Procedures of a Cardiac Rehabilitation Program -Immediate to long-term Care.- Philadelphia : Lea et Febiger, 1978.
- WYNDHAM (C.H.).- Submaximal tests for estimating maximum oxygen intake. *Can. Med. Ass. J.*, 1967, 96, pp. 736-742.
- WYNDHAM (C.H.), STRYDOM (N.B.), VAN GRAAN (C.H.), VAN RENSBORG (A.J.), ROGERS (G.G.), GREYSON (J.S.), VAN DER WALT (W.H.).- Estimating the maximum aerobic capacity for exercise. *South African Med. J.*, 1971, 45, pp. 53-57.
- WYNDHAM (C.H.).- The validity of physiological determination. In : Larson, L. A. Fitness, Health and Work capacity : International Standard for Assessments.- New York : Macmillan, 1974, pp. 308-343.
- YUHASZ (M.S.).- Physical fitness and sports appraisal laboratory manual.- University of Western Ontario, 1977.
- Step-test**
- BROUHA (L.), GRAYBIEL (A.), HEATH (C.W.).- The step test. A simple method of measuring physical fitness for hard muscular work in adult man. *Rev. Can. Biol.*, 1943, 2, pp. 86-91.
- COTTEN (D.J.).- A modified step test for group cardiovascular testing. *Research Quarterly*, 1971, 42, pp. 91-95.
- DAY (J.A.P.).- A statistical investigation of the Rhyming step test. *Research Quarterly*, 38, pp. 538-543.
- DUNN (J.M.).- An investigation of the Ohio State University step test as an instrument for assessing the cardiovascular efficiency of 13-18 year old boys. Master's thesis, Northern Illinois University, 1969.
- KATCH (V.L.), KATCH (F.I.).- The relationship between aerobic power and measured work-output on a progressive step increment bicycle ergometer test. *Med. Sci. Sports*, 1973, 5, n° 1, pp. 22-28.
- KURUCZ (R.L.), FOX (E.L.), MATHEWS (D.K.).- Construction of a submaximal cardiovascular step test. *Research Quarterly*, 1969, 40, pp. 115-122.
- LÉGER (L.), ASSELIN (L.), CARTIER (D.), MASSICOTTE (D.), SOULIÈRE (D.).- Physitest canadien. Fascicule B-3 de la série Tests d'évaluation de la condition physique. Comité Kino-Québec sur dossier évaluation 1981. Gouvernement du Québec. Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche.
- MALMEJAC (J.), DUGUE (D.), VOISIN (P.).- Sur quelques résultats concernant le step-test (test de l'escalier). Épreuve d'aptitude cardiaque à l'effort. *Med. Aero.*, 1948, 3, pp. 45-51.
- MANAHAN (J.E.), GUTIN (B.).- The one-minute step test as a measure of 600 yard run performance. *Research Quarterly*, 1971, 42, pp. 173-177.
- MARLEY (W.P.), LINNERUD (C.A.).- A three-year study of the Astrand-Ryhming step-test. *Research Quarterly*, 1977.
- MONTROYE (H.J.), WILLIS (P.W.), CONNINGHAM (D.A.), KELLER (J.B.).- Heart rate response to a modified Harvard step-test : males and females, age 10-69. *Research Quarterly*, 1969, 40, pp. 153-162.
- NAGLE (F.S.), BALKE (B.), NAUGHTON (J.P.).- Gradational step-tests for assessing work capacity. *J. Appl. Physiol.*, 1965, 20, pp. 745-748.
- NORDESJÖ (L.O.).- Estimation of the maximal work rate sustainable for 6 minutes using a simple - level load or stepwise increasing loads. *Uppsala I Med. Sci.* 1974, 79, pp. 45-50.
- RYHMING (I.).- A modified Harvard step-test for evaluation of physical fitness. *Int. Z. Angew. Physiol.*, 1953, 15, pp. 235-250.
- SHEPHARD (R.J.).- The relative merits of the step test, bicycle ergometer, and treadmill in the assessment of cardiorespiratory fitness. *Int. Z.*
- SHEPHARD (R.J.).- The prediction of maximal oxygen consumption using a new progressive step test. *Ergonomics*, 1967, 10, n° 1, pp. 1-15.
- STAMFORD (B.A.).- Step increment versus constant load tests for determination of maximal oxygen uptake. *Europ. J. Appl. Physiol.*, 1976, 35, pp. 89-93.
- WITTEN (C.).- Construction of a submaximal cardiovascular step test for college females. *Research Quarterly*, 1973, 44, pp. 46-50.
- Ergoecy et bicyclette normale**
- ASTRAND (P.O.).- Work Tests with the Bicycle Ergometer.- Varberg : Monark Crescent AB, 1967.
- Canada, Recreation Canada. Fitness and Amateur Sport Branch, Health and Welfare.-Astrand's Bicycle Test for Prediction of Maximal Oxygen Uptake.- Ottawa, 1974.
- CUMMING (G.R.), CUMMING (P.M.).- Bicycle ergometer studies in children. *Pediatrics*, august 1963, pp. 202-208.
- DÖBELN (W. von).- A simple bicycle ergometer. *J. Appl. Physiol.*, 1954, 7, pp. 222-224.
- LÉGER (L.), ASSELIN (L.), CARTIER (D.), MASSICOTTE (D.), SOULIÈRE (D.).- Test Astrand-Ryhming sur bicyclette ergométrique. Fascicule B-1 de la série Tests d'évaluation de la condition physique chez l'adulte, Kino-Québec, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, 1982a.
- NIEMELA (K), PALATSI (I.), LINNA-LUOTO (M.), TAKKUNEN (J.).- Criteria for maximum oxygen uptake in progressive bicycle tests. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1980, 44, pp. 51-59.
- WILMORE (J.H.).- Maximal oxygen intake and its relationship to endurance capacity on a bicycle ergometer. *Research Quarterly*, 1969, 40, pp. 203-210.
- Course sur tapis roulant**
- ELLESTAD (M.H.), ALLEN (W.), WAN (M.C.K.), KEMP (G.).- Maximal treadmill stress for cardiovascular evaluation. *Circulation*, 1969, 39, pp. 517-522.
- FROELICHER (V.), LANCASTER (M.).- The prediction of maximal oxygen consumption from a continuous exercise treadmill protocol. *Am. Heart J.*, 1974, 87, pp. 445-450.
- MARGARIA (R.), CERRETELLI (P.), AGHEMO (P.), SASSI (G.).- Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.*, 1963, 18, pp. 367-370.
- POLLOCK (M.L.), BOHANNON (R.L.), COOPER (K.H.), AYRES (J.J.), WARD (A.), WHITE (S.R.), LINNERUD (A.C.).- A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Am. Heart J.*, 1976, 92, pp. 39-46.
- SHEPHARD (R.J.).- A nomogram to calculate the oxygen-cost of running at slow speeds. *J. Sport Med. Phys. Fitt.*, 1969, 9, pp. 10-16.
- VOLKOV (N.I.), SHIRKOVATS (E.A.), BORILKEVITCH (V.E.).- Assessment of aerobic and anaerobic capacity of athletes in treadmill running test. *Europ. J. Appl. Physiol.*, 1975, 34, pp. 121-130.
- Études comparatives : step-test, cycloergomètre, tapis roulant.**
- BRUCE (R.A.).- Methods of exercise testing. Step-test, bicycle, treadmill, isometrics. *Am. J. Cardiology*, 1974, 33, pp. 715-720.
- DAMOISEAU (J.), DEROANNE (R.), PETIT (J.M.).- Consommation maximale d'oxygène aux différents ergomètres. *J. Physiol.*, (Paris), 1963, 55, pp. 235-236.
- HERMANSEN (L.), EKBLOM (B.), SALTIN (B.).- Cardiac output during submaximal and maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1970, 29, n° 1, pp. 82-86.
- HERMANSEN (L.), SALTIN (B.).- Oxygen uptake during maximal treadmill and bicycle exercise. *J. Appl. Physiol.*, 1969, 26, n° 1, pp. 31-37.
- KASCH (F.W.), PHILLIPS (N.H.), ROSS (W.O.), CARTER (J.E.L.), BOYER (J.L.).- A comparison of maximal oxygen uptake by treadmill and step-test procedures. *J. Appl. Physiol.*, 1966, 21, n° 4, pp. 1387-1388.
- LACOUR (J.R.), FLANDROIS (E.D.), HEBRAL (D.), RIOTTE (M.).- Étude expérimentale de quelques épreuves de détermination indirecte de l'aptitude physique. *J. Physiol. (Paris)*, 1966, 58, n° 2, pp. 244-245.
- Mc ARDLE (W.D.), MAGEL (J.R.).- Physical work capacity and maximum oxygen uptake in treadmill and bicycle exercise. *Med. Sci. Sports*, 1970, 2, n° 3, pp. 118-123.
- MICHAEL (E.D.), DURBIN (J.V.), WORMSLEY (J.), WHITELAW (S.G.), NORGAN (N.G.).- Selection of a fifteen-minute work load on a treadmill and bicycle. *Research Quarterly*, 1972, 43, pp. 451-460.
- SHEPHARD (R.J.).- The relative merits of the step test, bicycle ergometer, and treadmill in assessment of cardio-respiratory fitness. *Int. Z. angew. Physiol. einsch. Arbeitsphysiol.*, 1966, 33, pp. 217-230.
- SIME (W.E.), WHIPPLE (I.T.), BERKSON (D.M.), Mac INTYRE (W.C.), STAMLER (J.).- Reproducibility of heart rate at rest and in response to submaximal treadmill and bicycle ergometer test in middle-aged men. *Med. Sci. Sports*, 1972, 4, n° 1, pp. 14-17.
- Physitest canadien**
- Association des professionnels de l'activité physique du Québec.- Le Physitest Canadien. *Actua* (Bull. Information de l'APAPQ), 1975, pp. 4-5.
- BONEN (A.), GARDNER (J.), PRIMROSE (J.), QUIGLEY (R.), SMITH (D.).- An evaluation of the Canadian home fitness test. *Can. J. Appl. Spt. Sci.*, 1977, 2, pp. 133-136.
- Canada, Santé et Sport amateur.- Le physitest canadien. Guide du moniteur.- Ottawa, 1976.
- Canada, Santé et Sport amateur.- La physitrousse (Disque et documentation).- Ottawa, 1976.
- Canada, Santé et Sport amateur.- Physitest normalisé. Normes et notes en percentiles.- Ottawa, 1979.
- Canada, Santé et Sport amateur.- Physitest normalisé. Manuel technique.- Ottawa, 1979.
- Canada, Santé et Sport amateur.- Physitest normalisé. Physirègle.- Ottawa, 1979.
- Canada, Santé et Sport amateur.- Physitest normalisé. Rapport d'évaluation.- Ottawa, 1979.
- CUMMING (G.L.).- The Canadian Home Fitness Test (A letter). *Can. Med. Ass. J.*, 1976, 115, pp. 328-384.
- CUMMING (G.L.), GLENN (J.).- Evaluation of the Canadian Home Fitness Test in middle-aged men. *Can. Med. Ass. J.*, 1977, 117, pp. 346-349.
- JETTÉ (M.), CAMPBELL (J.), MONGEON (J.), ROUTHIER (R.).- The Canadian Home Fitness Test as a predictor of aerobic capacity. *Can. Med. Ass. J.*, 1976, 114, pp. 680-682.
- JETTÉ (M.).- An exercise prescription for use in conjunction with the Canadian Home Fitness Test. *Can. J. Public Health*, 1975, 66, pp. 461-464.
- JETTÉ (M.).- The standardized test of fitness in occupational health : a pilot project. *Can. J. Publ. Health*, 1978, 69, pp. 431-438.
- JETTÉ (M.).- A comparison between predicted VO₂ max from the Astrand procedure and the Canadian Home Fitness Test. *Can. J. Appl. Spt. Sci.*, 1979, 4, n° 3, pp. 214-218.
- LÉGER (L.), ROWAN (C.).- Cadences du Physitest canadien enregistrées sur cassette et sur disque (données non publiées, mars 1981).
- SHEPHARD (R.J.), BAILEY (D.A.), MIRWALD (R.L.).- Development of the Canadian Home Fitness Test. *Can. Med. Ass. J.*, 1976, 114, pp. 675-679.
- SHEPHARD (D.A.E.).- Home testing of fitness of Canadians. *Can. Med. Ass. J.*, 1976, 114, pp. 662-664, 679.
- SHEPHARD (R.J.), COX (M.), COREY (P.), SMYTH (R.).- Some factors affecting accuracy of Canadian Home Fitness Test scores. *Can. J. Appl. Spt. Sci.*, 1979, 4, n° 3, pp. 205-209.
- Course de longue durée (12 min de Cooper)**
- CARTIER (D.).- La course de 12 minutes (Cooper). Cahier B-1-1978, Ministère de l'Éducation du Québec, 1978.
- COLEMAN (A.E.).- Validity of distance runs with elementary school children. Conference, Southern District Convention of AAHPER, Norfolk, 1974. (Cité par Baumgartner et Jackson, 1975).
- COOPER (K.H.).- A mean of assessing maximal oxy-

- gen intake. *J. Am. Med. Ass.*, 1968, 203, pp. 201-204.
- COOPER (K.H.).- Correlation between field and treadmill testing as a mean of assessing maximal oxygen. Symposium du CISM (1968).
- COOPER (K.H.).- *The New Aerobics*.- New York : Bantam, 1974.
- COOPER (K.H.).- Oxygène à la carte.- Dammarie-les-Lys : SDT, 1981.
- DISCH (J.G.).- A factor analytic study of runs involving speed and endurance. Master's thesis, University of Houston, 1970.
- DOOLITTLE (T.L.), DOMINIC (J.A.C.), DOOLITTLE (J.).- The reliability of selected cardiorespiratory field tests with adolescent female population.- *Am. Corrective Therapy J.*, 1969, 23, n° 5, pp. 135-138.
- DOOLITTLE (T.L.), BIGBEE (R.).- The twelve-minute run-walk : a test of cardiorespiratory fitness of adolescent boys. *Research Quarterly*, 1968, 39, n° 3, pp. 491-492.
- GREGORY (J.D.).- The relationship of the twelve-minute run to maximum oxygen intake. Master's thesis, Mankato State College, 1970.
- GUTIN (B.), KEITH (R.), STEWART (K.).- Relationship among submaximal heart rate, aerobic power, and running performance in children. *Research Quarterly*, 1976, 47, pp. 537-539.
- MARTIN (B.J.).- The reliability and validity of the twelve-minute run-walk test for high school girls. M.S. Physical Education, University of Idaho, 1971 (Abstract : 188 dans AAHPER, Completed Research, Vol. 14, 1972).
- JESSUP (C.T.), TOLSON (H.), TERRY (J.W.).-«Prediction of maximal oxygen intake from Astrand-Ryhming test, 12-minute run, and anthropometric variables using stepwise multiple regression», *Am. J. Physiol. Med.*, 1974, 53, n° 4, pp. 200-207.
- KATCH (F.I.), Mac ARDLE (W.D.), CZULA (R.), PECHAR (G.S.).- Maximal oxygen intake, endurance running performance, and body composition in college women. *Research Quarterly*, 1973, 44, pp. 301-312.
- LÉGER (L.), ASSELIN (L.), CARTIER (D.), MASSICOTTE (D.), SOULIERE (D.).- Test de course de 12 minutes de Cooper. Fascicule B-4 de la série Tests d'évaluation de la condition physique de l'adulte, Kino-Québec, Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, 1982 c.
- MAKSUD (M.G.), COUTTS (K.D.).- Application of the Cooper run-walk test to group males. *Research Quarterly*, 1971, 42, n° 1, pp. 54-59.
- MASSICOTTE (D.).- Application d'un test pratique pour la prédiction de la consommation maximale d'oxygène chez des étudiants du cours secondaire. Thèse de maîtrise non publiée. Université d'Ottawa, 1970.
- MASSICOTTE (D.).- Application of a practical test to predict the maximal oxygen intake of high school boys. In : Training Scientific Basis and Application.- Springfield : Thomas, 1972, pp. 76-86.
- WANAMAKER (G.S.).- A study of the validity and reliability of the twelve-minute run under selected motivational condition. Conference, Seattle AAHPER Convention, April 1970. (Cité par Gregory, J.D., 1970).
- WHITE (J.A.).- An investigation of the relationship between the aerobic capacity of undergraduate college women and their performances of walk-run field tests of eight, ten and twelve minutes duration. Mémoire, Eugene, Oregon, 1973.
- WILEY (J.F.), SHONER (L.G.).- Prediction of max $\dot{V}O_2$ intake from running performances of untrained young men. *Research Quarterly*, 1972, 43, pp. 83-93.
- WYNDHAM (C.H.).- Submaximal test for estimating maximum oxygen intake. *Can. Med. Ass. J.*, 1967, 96, pp. 736-745.
- Évaluation de la capacité aérobic à partir d'épreuves de course à paliers progressifs**
- LÉGER (L.), BOUCHER (R.).- An indirect continuous running multistage field test : the Université de Montréal Track Test. *Can. J. Appl. Sports Sci.*, 1980, 5, pp. 77-84.
- LÉGER (L.).- Test progressif de course navette de 20 m pour évaluer la capacité aérobic. Rapport présenté au Service de la recherche du Ministère du Loisir, de la Chasse et de la Pêche du Québec, janvier 1981.
- LÉGER (L.), LAMBERT (J.), MERCIER (D.).- Predicted $\dot{V}O_2$ max and maximal speed for a multistage 20 m shuttle run in 7000 children aged 6-17. Départements d'éducation physique et de médecine sociale et préventive, Université de Montréal, P.Q., Canada, janvier 1983.
- MERCIER (D.), LÉGER (L.), LAMBERT (J.).- Relative efficiency and predicted $\dot{V}O_2$ max in children. Département d'éducation physique et de médecine sociale et préventive. Université de Montréal, P.Q., Canada, janvier 1983.
- MERCIER (D.), LÉGER (L.).- Détermination et contrôle de l'intensité d'entraînement du coureur. *Track and field journal*, février 1982, n° 20.
- Évaluation de la capacité aérobic selon l'âge, le sexe et le pays des sujets**
- ADAMS (F.H.), LINDE (L.M.), MIYAKE (H.).- The physical working capacity of normal school children in California. *Pediatrics*, July 1961, 28, pp. 55-64.
- ADAMS (F.H.),...- The physical working capacity of normal school children : Swedish city and country. *Pediatrics*, August 1961, pp. 243-257.
- ALDERMAN (R.B.).- Age and sex differences in PWC-170 of Canadian school children. *Research Quarterly*, March 1969, 40, pp. 1-10.
- ALLARD (C.), GOULET (C.), CHOQUETTE (G.), DAVID (P.).- Submaximal work capacity of a French-Canadian male population. Raab, W. (ed.) *Prevention of ischemic heart disease*.-Illinois : Thomas, 1976.
- ASTRAND (I.).- Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand.*, 1960, 49, suppl. 169.
- ASTRAND (P.O.).- Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age.- Copenhagen : Ejnar Munksgaard, 1952.
- BALKE (B.), WARE (R.).- The present status of physical fitness in the air force. *USAF School of Aviation Med.*, 1959, pp. 59-57.
- BALKE (B.).- An experimental study of physical fitness of air force personnel. *U.S. Armed Forces Med. J.*, 1959, 10, pp. 675-688.
- BAR (C.).- Approche physiologique de la condition physique chez l'enfant.- Paris : INSEP, 1978 (Mémoire pour le diplôme de l'INSEP).
- BONNARDEAUX (J.L.), BONNEAU (J.), JOHNSON (F.).- Étude de la condition physique d'une population masculine de la région de Montréal. *L'union médicale du Canada*, 1976, 105, pp. 1632-1638.
- CAHPER. The physical work capacity of Canadian children (aged 7 to 17), 1968, p. 62.
- CAHPER. The physical fitness performance and work capacity of Canadian adults (aged 18 to 44 years), 1969, p. 69.
- CAZORLA (G.).- La consommation maximale chez le nageur. Mesure directe dans l'eau du $\dot{V}O_2$ max de 308 sujets âgés de 10 à 18 ans et plus. Rapport de recherche INSEP, 1983.
- CORBIN (Ch.B.).- Relationships between physical working capacity and running performances of young boys. *Research Quarterly*, 1972, 43, pp. 235-238.
- CUMMING (G.R.), KEYNES (R.).- A fitness performance test for school children and its correlation with physical working capacity and maximal oxygen uptake. *Can. Med. Ass. J.*, 1967, 96, pp. 1262-1269.
- CUMMING (G.R.).- Correlation of athletic performance with pulmonary function in 13 to 17 years old boys and girls. *Med. Sci. Sports*, 1969, 1, n° 3, pp. 140-143.
- DANIELS (J.), OLDRIDGE (N.).- Changes in oxygen consumption of young boys during growth and running training. *Med. Sci. Sports*, 1971, 3, n° 4, pp. 161-165.
- DILL (D.B.), MYHRE (L.G.), GREER (S.M.), RICHARDSON (J.C.), SINGLETON (K.J.).- Body composition and aerobic capacity of youth of both sexes. *Med. Sci. Sports*, 1972, 4, n° 4, pp. 198-204.
- DÖBELN (W.von), ASTRAND (I.), BERGSTROM (A.).- An analysis of age and other factors related to maximum oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.*, 1967, 22, n° 5, pp. 934-938.
- DOOLITTLE (T.L.), DOMINIC (J.A.C.), DOOLITTLE (J.).- The reliability of selected cardiorespiratory field tests with adolescent female population. *Am. Corrective Therapy J.*, 1969, 23, n° 5, pp. 135-138.
- FLANDROIS (R.), PUCCINELLI (R.), LACOUR (J.R.), HEBRAL (D.).- Étude expérimentale de l'aptitude physique sur une population de jeunes gens de 20 ans et considérations sur la valeur de certaines épreuves fonctionnelles. *Soc. Med. Militaire Française*, 1965, 8, pp. 435-458.
- FLANDROIS (R.), LACOUR (J.R.).- L'aptitude physique chez le jeune universitaire français. Comparaison de différents tests avec la consommation maximale d'oxygène. *Schweiz Zeitsch Für Sport Med.*, 1966, 14, pp. 49-55.
- FLANDROIS (R.), GRANDMONTAGNE (M.), MAYET (M.H.), FAVIER (R.), FRUTOSO (J.).- La consommation maximale d'oxygène chez le jeune Français, sa variation avec l'âge, le sexe et l'entraînement. *J. Physiol. (Paris)*, 1982, 78, pp. 186-194.
- GUTIN (B.), KEITH (R.), STEWART (K.).- Relationship among submaximal heart rate, aerobic power and running performance in children. *Research Quarterly*, 1976, 47, pp. 537-539.
- HEBBELINCK (M.), BORMS (J.), CLARYS (J.).- La variabilité de l'âge squelettique et les corrélations avec la capacité de travail chez les garçons de cinquième année primaire. *Mouvement* (revue de la Fédération d'éducation physique du Québec), 1971, 3/2, pp. 125-135.
- HERMANSEN (L.), ANDERSEN.- Aerobic work capacity in young Norwegian men and women. *J. of Appl. Physiol.*, 1965, 20, pp. 425-431.
- HODGKINS (J.), SKUBIC (V.).- Cardiovascular efficiency test scores for college women in the United States. *Research Quarterly*, 1963, 34, pp. 454-461.
- HOWELL (M.L.), MACNAB (R.B.J.).- The physical work capacity of Canadian children aged 7 to 17. *Canadian Association for Health, Physical Education and Recreation*, 1968.
- HYDE (Rodney C.).- The Astrand-Ryhming nomogram as a predictor of aerobic capacity for secondary school students. Thesis, University of Alberta, 1965.
- IKAI (M.), KITAGAWA (K.).- Maximum oxygen uptake of Japanese related to sex and age. *Med. Sci. Sports*, 1972, 4, n° 3, pp. 127-131.
- LANDRY (F.), CARRIÈRE (S.), POIRIER (L.), LEBLANC (C.), GAUDREAU (J.), MOISAN (A.), CARRIER (R.), POTVIN (R.).- Observations sur la condition physique du Québécois. *Union Med. Canada*, 1980, 109, pp. 1-8.
- LARCHER (C.), DUFOUR (H.).- Valeur physique de la population française. Enfants de cours moyen 1^{re} année. Secteur efficacité cardiovasculaire. *Annales ENSEPS*, 1975, n° 7, pp. 19-25.
- MC ARDLE (W.), KATCH (F.), PECHAR (G.), JACOBSON (L.), RUCK (S.).- Reliability and interrelationships between maximal oxygen intake physical work capacity and step scores in college women. *Med. Sci. Sports*, 1972, 4, n° 4, pp. 182-186.
- MC DONOUGH (J.R.), KUSUMI (F.), BRUCE (R.A.).- Variations in maximal oxygen intake with physical activity in middle aged men. *Circulation*, 1970, 41, pp. 743-751.
- MARLEY (W.P.), LINNERUD (A.C.).- Astrand-Ryhming step-test norms for college students. *Brith. J. Sports Med.*, 1976, 10, n° 2, pp. 76-79.
- MATSUI (H.), MIYASHITA (M.), MIURA (M.), KOBAYASHI (K.), HOSHIKAWA (T.), KAMEI (S.).- Maximum oxygen intake and its relationship to body weight of Japanese adolescents. *Med. Sci. Sports*, 1972, 4, n° 1, pp. 29-32.
- NAGLE (F.), PELLEGRINO (R.).- Changes in maximal oxygen uptake in high school runners over a competitive track season. *Research Quarterly*, 1971, 42, pp. 456-459.
- PATE (R.R.).- Oxygen cost of walking, running and cycling in boys and men. *Med. Sci. Sports Exercise*, 1981, 13, n° 2, pp. 123-124, (abstract).
- SHEPARD (R.J.), ALLEN and all.- The working capacity of Toronto School Children. *Canad. Med. Assoc. J.*, 1969, 100, pp. 560-566.
- SHEPARD (R.J.), PIMM (P.).- Physical fitness of Canadian physical education students with a note on international differences. *Brith. J. Sports Med.*, 1975, 9, n° 4, pp. 165-174.
- SIDNEY (K.Y.), SHEPARD (R.J.).- Maximum and submaximum exercise test in men and women in the seven, eight and ninth decades of life. *J. Appl. Physiol.*, 1977, 43, n° 2, pp. 280-287.
- TROUILLO (P.).- Contribution à l'étude des performances à la course de distance chez les enfants de 12 à 15 ans. Capacité de travail 170 et épreuves de longueurs (ou durées) différentes de 1200 mètres à 30 minutes.- Paris : INSEP, 1978. (Mémoire pour le diplôme INSEP).
- WILMORE (J.H.), SIGERSETH (P.O.).- Physical work capacity of young girls, 7-13 years of age. *J. of Appl. Physiol.*, 1967, 22, pp. 923-928.