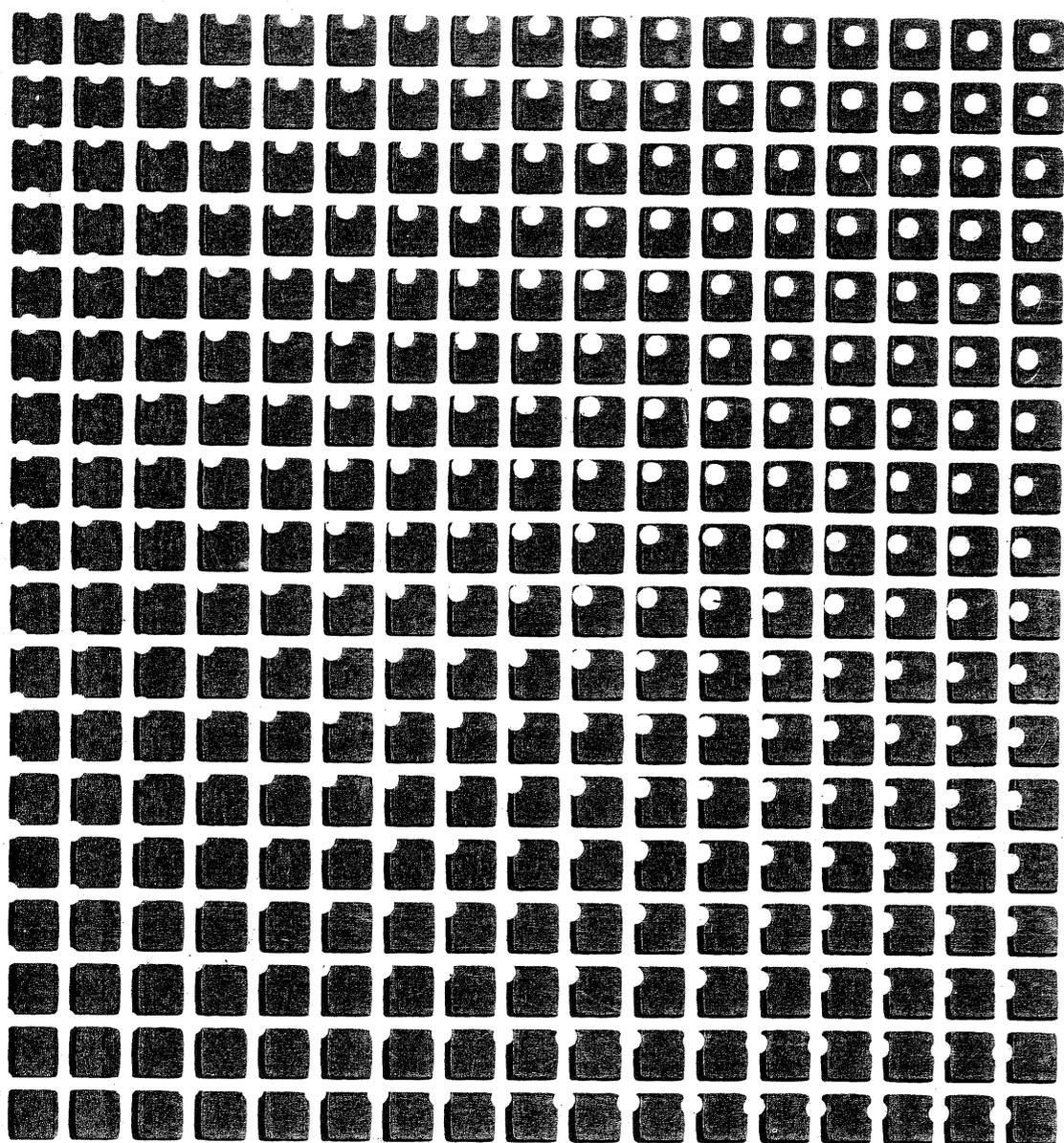


INSEP

EVALUATION DE LA VALEUR PHYSIQUE

TRAVAUX ET RECHERCHES EN EPS.



n°7 octobre 1984

LES EPREUVES D'EFFORT EN PHYSIOLOGIE

EPREUVES ET MESURES DU POTENTIEL ANAEROBIE

Dans de nombreuses activités sportives, l'aptitude à la performance dépend pour beaucoup des capacités anaérobies alactiques et lactiques. Bien que, par souci de compréhension, ces deux métabolismes soient souvent abordés dogmatiquement d'une manière séparée, leur frontière n'est que très théorique, ce qui explique les difficultés de leur évaluation. La mise au point et la validation des épreuves qui tentent d'évaluer leurs caractéristiques se heurtent aussi à la nécessité de comparer les résultats obtenus à ceux de mesures invasives, ce qui peut aussi expliquer leur nombre actuel assez restreint et les limites importantes de leur signification. Tenant compte de ces réserves, l'objet de cet article est de recenser quelques unes des mesures directes et indirectes de laboratoire et de terrain qui permettent d'apprécier leurs caractéristiques principales — puissance et endurance — et de discuter les limites de leur interprétation.

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

A chaque instant, le niveau de condition physique d'un sujet peut se traduire non seulement par la réalisation d'une performance (note 1) mais également par le résultat de mesures de laboratoire ou de terrain. Dans cette perspective, des batteries d'épreuves psychologiques, physiologiques, biomécaniques... permettent d'explorer l'«état» dans lequel se trouve le sujet à un moment donné, et de mieux cerner les facteurs qui le sous-tendent. D'une manière simplifiée, ces facteurs peuvent être proposés selon une chronologie proche de celle du schéma de la motricité qui semble être induite par :

- une *commande motrice* qui sollicite spécifiquement certaines unités contractiles,
- une *capacité bioénergétique* qui permet de fournir l'énergie chimique nécessaire à la contraction,
- une *capacité biomécanique* qui restitue l'énergie chimique au milieu extérieur, sous forme de mouvements, gestes, techniques, actions ou conduites motrices.

Guidée par l'ajustement continu de la commande nerveuse centrale, la motricité dépend donc aussi du potentiel énergétique, du système neuromusculaire qui le sollicite et de l'appareil ostéo-articulaire qui en constitue le support.

L'objet de ce travail est d'étudier les outils de mesure de la capacité bioénergétique que l'on peut définir comme la potentialité de l'organisme à alimenter, quelles que soient les

(1) Dans cette étude le terme «performance» est envisagé dans son acception large. Il exprime «être capable de...» sans viser pour autant le haut niveau.

intensités et les durées du travail musculaire, les myofilaments en Adénosine TriPhosphate (ATP).

Ces mesures peuvent être *directes*, c'est-à-dire étudier la cause et l'effet immédiat, ou *indirectes*; elles permettent alors d'estimer le résultat à partir d'intermédiaires dont on connaît les liaisons à la fois avec la cause et avec l'effet. Ces mesures utilisent des outils de laboratoire ou de terrain pour étudier d'une manière standardisée «hors situation» ou «en situation spécifique» les sollicitations énergétiques d'une épreuve donnée.

Biopsie musculaire et détermination du potentiel énergétique (note 2)

Grâce à la biopsie musculaire (photo 1) et aux analyses histochimiques qui lui font suite, il est désormais possible d'établir une relation directe entre, d'une part la répartition prédominante d'un type de fibres, les substrats utilisés, le métabolisme préférentiel et, d'autre part, les capacités énergétiques requises par une activité sportive : les sujets dotés de muscles à fort pourcentage de fibres à contraction rapide qui consomment de plus grandes quantités d'ATP par unité de

temps, ont plus de chance d'exceller dans les activités exigeant force explosive et vitesse. Au contraire, ceux dont le pourcentage de fibres à contraction lente est nettement plus élevé ont plus d'avenir dans les sports de longue durée qui requièrent un important approvisionnement en oxygène (fig. 1 et 2).

Aussi est-il important de bien évaluer les aptitudes dominantes d'un sujet, pour l'aider à choisir les activités sportives dans lesquelles il a le plus de chances de réussir et le type d'entraînement qui lui convient le mieux.

La biopsie musculaire et les analyses biochimiques des prélèvements ont permis, en outre, d'étudier les effets de l'exercice et de l'entraînement sur les réserves bioénergétiques constituées par trois sources principales :

- les phosphagènes,
- les unités glycosyl utilisées avec ou sans oxygène,
- les triglycérides.

Si la biopsie apporte les renseignements les plus précis, elle ne peut toutefois être multipliée sans inconvénient et demeure rigoureusement réservée au domaine de la recherche.

Il est cependant possible d'accéder à certaines de ces informations par l'utilisation de mesures directes ou indirectes des métabolismes mis en jeu, au cours d'épreuves de laboratoire ou de terrain dont l'intensité et la durée ont été préalablement stan-

dardisées. On peut distinguer ainsi les épreuves qui ont pour but de mesurer ou d'estimer la capacité respective des sources énergétiques :

— *anaérobie alactique* qui, en absence d'oxygène, utilise les réserves musculaires d'ATP et de CP et ne produit donc pas d'acide lactique;

— *anaérobie lactique* qui, toujours en absence totale ou partielle d'oxygène, dégrade le glycogène musculaire et le glucose circulant pour fournir l'ATP requise. L'ensemble des réactions que nécessite cette voie métabolique ou «glycolyse anaérobie» s'accompagne de la formation d'acide lactique;

— *aérobie*, qui nécessite la présence d'oxygène pour finir d'oxyder dans les mitochondries le glycogène et les acides gras et pour fournir de grandes quantités d'ATP.

Notions de base, définitions et unités de mesure

Chaque source énergétique est caractérisée par une capacité, une inertie de mise en jeu, une puissance maximale et une endurance.

La capacité, ou contenance du système, est la quantité totale d'énergie disponible. Dans une épreuve physique, elle peut tout aussi bien se manifester par un débit maximal ou puissance maximale, ou par un débit sous-maximal prolongé ou endu-

(2) Lire notamment : MARINI (J.F.), LÉGER (L.), CAZORLA (G.).- De la biopsie musculaire à l'étude des métabolismes énergétiques.- Dans le présent document.

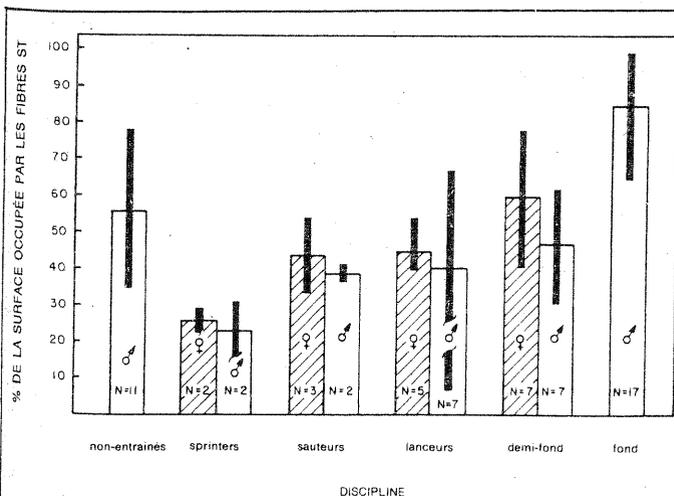


Figure 1 — Pourcentage de la surface totale occupée par les fibres ST (Slow Twitch ou fibres à contraction lente) dans les échantillons musculaires prélevés chez des athlètes de différentes disciplines. (D'après Costill (D.L.), 1980)

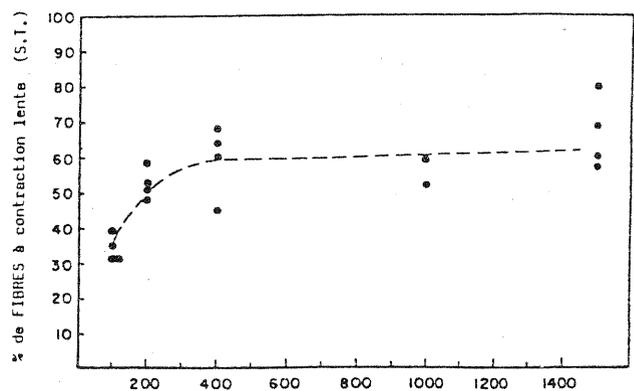


Figure 2 — Pourcentage de fibres à contraction lente chez quelques nageurs spécialisés de différentes distances de compétition. (D'après Costill (D.L.), 1980)

rance, l'un ou l'autre devant être précisé.

Dans le système international, l'unité de mesure de la capacité est le joule (J) (note 3).

La *puissance maximale* équivaut au débit maximal ou quantité d'énergie susceptible d'être fournie par unité de temps.

L'unité de mesure est le watt ou le kcal/min ou encore le kilogramme-mètre/min

1 watt = 1 joule par seconde = 0,01433 kcal/min = 6,12 kgm / min

L'*endurance* est définie par la faculté de maintenir le plus longtemps possible un certain pourcentage de la puissance. La connaissance de la puissance maximale est donc nécessaire pour mesurer l'endurance d'un métabolisme. Toutefois, dès lors que la durée est judicieusement choisie, un exercice peut solliciter l'endurance d'un système sans qu'il soit indispensable d'en connaître la puissance.

L'*inertie* est le délai nécessaire afin que le système entre en jeu d'une manière prépondérante pour assurer l'essentiel de l'apport énergétique à l'exercice.

Enfin, il est de coutume d'utiliser la puissance maximale aérobie (PMA) pour déterminer l'intensité d'un exercice. Ainsi sont qualifiés de supra-maximaux, de maximaux ou d'infra-maximaux les exercices dont les intensités sont respectivement supérieures, égales ou inférieures à la PMA.

Évaluation du potentiel anaérobie alactique

Le processus anaérobie alactique permet de fournir des exercices intenses de courtes durées. Il semble actuellement bien admis que l'ATP et la CP constituent les sources énergétiques principales de ce type d'exercice. Selon cette interprétation :

• sa *capacité*, qui dépend du total des réserves du phosphagène (ATP-CP), ne peut être évaluée que par analyses

biochimiques consécutives à la biopsie musculaire; cependant, celle-ci n'étant pas envisageable au cours de l'exercice, un ensemble d'épreuves d'estimation de ce métabolisme est utilisé en laboratoire et sur le terrain;

• sa *puissance* serait atteinte à partir de 2 à 3 secondes et pourrait être maintenue jusqu'à la 7^e et 8^e seconde.

• son *endurance* est généralement appréciée par l'étude de la décroissance de sa puissance, par des épreuves dont la durée est prolongée jusqu'à 15 à 20 secondes. Cette durée est d'autant plus courte que l'intensité de l'épreuve est plus élevée. De plus, le métabolisme anaérobie étant sollicité durant cette période d'une manière de plus en plus prépondérante, il est très difficile d'évaluer la part exacte qui revient à chacune de ces deux premières sources énergétiques.

• la *capacité totale* des réserves énergétiques anaérobies alactiques est très faible et dépend pour beaucoup du pourcentage de fibres à contraction rapide d'un muscle et de son niveau d'entraînement. Les chiffres les plus souvent cités se situent aux environs de 200 kcal/kg ou, exprimés en équivalent de consommation d'oxygène (1 litre d'O₂ ≈ 5 kcal), à 40 ml/kg d'O₂. La puissance dépend aussi des deux facteurs précédents. Chez le sédentaire, elle peut s'élever à 750 kcal.kg⁻¹.min⁻¹ (soit 150 ml kg⁻¹.min⁻¹) et, chez le sprinter de haut niveau et très entraîné, à 1000 kcal.kg⁻¹.min⁻¹ (soit 200 ml.kg⁻¹.min⁻¹), ce qui explique pourquoi le type d'exercice qu'elle induit ne peut être que d'une durée relativement courte.

Parmi les épreuves qui permettent d'apprécier la puissance et la capacité de cette source énergétique, il est possible d'opérer une classification entre les épreuves qui requièrent un matériel plus ou moins sophistiqué et qui ne sont donc accessibles qu'aux centres d'évaluation équipés, et les épreuves de «terrain», beaucoup plus accessibles à tous.

□ ÉVALUATION DE LA PUISSANCE

Épreuves de laboratoire

D'une manière générale, les deux ergomètres les plus classiquement utilisés dans les centres d'évaluation sont l'ergocycle et les marches d'escalier, les épreuves qu'ils induisent se limitant surtout à l'appréciation de la puissance explosive des membres inférieurs.

Épreuves d'Ayalon, Inbar et Bar-Or

Cette épreuve consiste à exécuter le plus rapidement possible un coup de pédale unique contre une résistance standard sur une bicyclette ergométrique. Son freinage mécanique est assorti d'un chronomètre précis au 1/100 de seconde, intégré au pédalier. Deux options peuvent être retenues :

— avec une résistance absolue de 2,90 kg pour tous les sujets,

— ou avec une résistance relative de 40 g par kilogramme de poids du corps de chaque sujet.

Trois essais sont exécutés, c'est la moyenne qui compte. Elle est calculée en kgm/min ou en W pour la première option, et en kgm / min.kg⁻¹ ou W/kg pour la deuxième (note 4).

La population expérimentale qui permit aux auteurs de proposer les normes préliminaires (tabl. 1) était composée de 15 sujets masculins non entraînés âgés de 19 à 21 ans. Malgré l'homogénéité de l'âge, les résultats doivent être retenus avec réserves en attendant l'évaluation d'une population quantitativement plus importante. La fidélité du test est excellente puisqu'elle se situe à 0.92 pour le mode absolu, (2,90 kg pour tous), et à 0.93 pour le mode relatif (40 g/kg de poids du sujet). La corrélation entre les deux modes est aussi très élevée : 0.91, ce qui signifie que l'un ou l'autre des deux protocoles peut être choisi indifféremment.

Les auteurs ont montré aussi de bonnes corrélations entre leur épreuve et celle de Margaria-Kalamen sur escalier : 0.78 avec le mode absolu et 0.75 avec le mode relatif (significatif à

(3) Cependant en physiologie on utilise plutôt la calorie et son multiple, la kilocalorie (kcal *) pour mesurer les quantités de chaleur libérées ou consom-

mées lors des réactions énergétiques dans l'organisme. * kcal = 10³ cal = 4,186 joules.

(4) 1 kilogramme-mètre/min = 0.165 watt (1 W = 6.12 kgm/min).

0.01) ce qui indique que ces deux types d'épreuves semblent évaluer la même qualité physique.

	Puissance (mode relatif) Kgm / min	Poids kg
Moyenne...	2820.8 ± 507.6	71.9 ± 7.9
Erreur type	131.6	2.0

Tableau 1 — Valeurs normatives (n = 15 ♂) de l'épreuve d'évaluation de la puissance explosive des membres inférieurs, d'Ayalon et coll. (1974).

Épreuve de Margaria-Kalamen (fig. 3)
Après une course d'élan de six mètres, ce test consiste à monter trois par trois et le plus rapidement possible les marches d'un escalier équipé de deux cellules photo-électriques, situées à la troisième et à la neuvième marche.

La hauteur de chaque marche étant de 174 mm, et la durée du test connue, on calcule la puissance développée en utilisant la formule :

$$P = \frac{p \times d}{t}$$

dans laquelle :

- P est la puissance (kg. m/s)
- p le poids (kg)
- d la hauteur entre la 3^e et la 9^e marche (1,05 m)
- t la durée de l'épreuve (s).

Exemple : pour un sujet pesant 75 kg et ayant réalisé l'épreuve en 49 centièmes de seconde, la puissance de ses membres inférieurs serait de :

$$P = \frac{75 \times 1.05}{0.49} = 161 \text{ kg m/s}$$

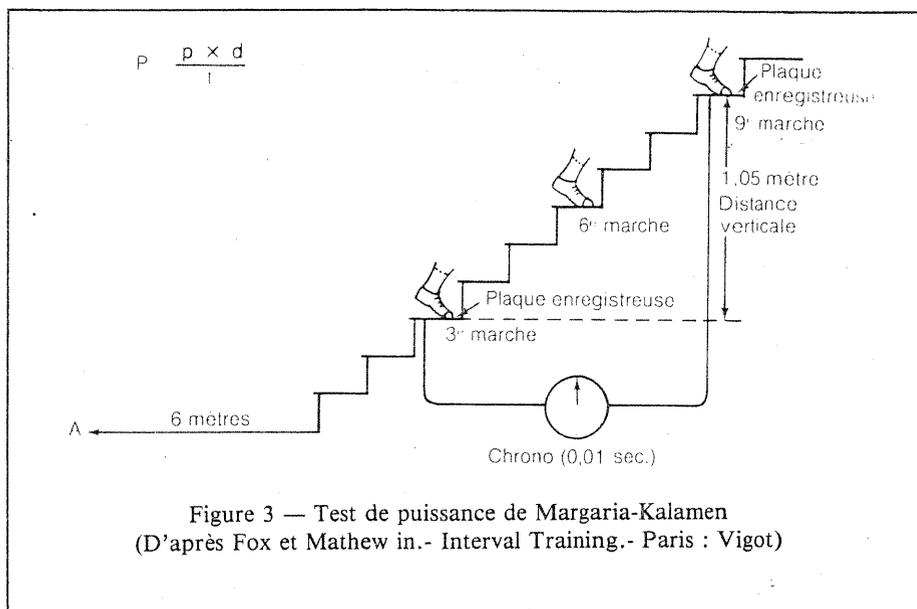


Figure 3 — Test de puissance de Margaria-Kalamen (D'après Fox et Mathew in.- Interval Training.- Paris : Vigot)

Margaria et coll. (1966) et Kalamen (1968) proposèrent un guide d'appréciation de la puissance obtenue par cette épreuve selon l'âge et le sexe des sujets (tabl. 2).

Autres épreuves

D'autres épreuves utilisant le tapis roulant incliné à 10 % (Dal-Monte et Léonardi, 1977) et la bicyclette ergométrique (Pirnay et Crielaard, 1979) ont permis à Lacour et coll. (1981) d'établir un tableau de synthèse faisant apparaître des délais d'atteinte de la puissance maximale et des durées de son maintien, sensiblement identiques (tabl. 3).

En revanche, malgré leur relative homogénéité, les puissances obtenues par Margaria se montrent les plus élevées.

Épreuves de terrain

D'une manière générale toutes les épreuves faisant intervenir une intensité exhaustive d'une durée inférieure à 7 secondes peuvent être imaginées. Nous retiendrons le test de détente verticale ou Sargent-test et les tests de vitesse gestuelle maximale.

Saut de Sargent modifié par Lewis et interprété par le nomogramme de Lewis. Le test consiste à mesurer la détente verticale d'un sujet (fig. 4) compte tenu de son poids.

□ **Matériel**

Une planche verticale de 2 m graduée en cm à partir d'une hauteur située à 1,50 m du sol et jusqu'à un maximum de 3,50 m. Pour éviter tout accident éventuel cette planche doit

Hommes						Femmes					
Classification	Catégorie d'âge (années)					Classification	Catégorie d'âge (années)				
	15-20	20-30	30-40	40-50	Plus de 50		15-20	20-30	30-40	40-50	Plus de 50
Médiocre	Moins de 113**	Moins de 106**	Moins de 85**	Moins de 65**	Moins de 50**	Médiocre	Moins de 92**	Moins de 85**	Moins de 65**	Moins de 50**	Moins de 38**
Passable	113-149	106-139	85-111	65-84	50-65	Passable	92-120	85-111	65-84	50-65	38-48
Moyen	150-187	140-175	112-140	85-105	66-82	Moyen	121-151	112-140	85-105	66-82	49-61
Bon	188-224	176-210	141-168	106-125	83-98	Bon	152-182	141-168	106-125	83-98	62-75
Excellent	Plus de 224	Plus de 210	Plus de 168	Plus de 125	Plus de 98	Excellent	Plus de 182	Plus de 168	Plus de 125	Plus de 98	Plus de 75

** kg.m/s

Tableau 2 — Guide d'interprétation des résultats obtenus proposé par Margaria et Kalamen.

D'après Kalamen J. : Measurement of maximum muscular power in man. Doctoral Dissertation, Ohio State University, 1968; et d'après Margaria R.P., Aghemo et Rovelli E. : Measurement of muscular power (anaerobic) in man. *J. Appl. Physiol.*, 1966, 21, 1662-1664.

être accrochée à 15 cm en avant de la verticale d'un mur.

□ *Protocole*

Le sujet, de profil par rapport à la planche, place ses pointes de pieds sur une ligne située à 30 cm en avant de la projection verticale de la planche. Les extrémités des doigts sont passées à la craie. Le bras du côté du mur est levé en extension maximale, talons au sol, l'extrémité du majeur imprime une première marque (a) sur la planche. Sans prendre d'élan, de la position jambes fléchies, le sujet saute aussi haut que possible. Le bras en extension imprime une nouvelle marque sur la planche (b).

La détente verticale est la distance entre les deux marques extrêmes d (cm) = b - a.

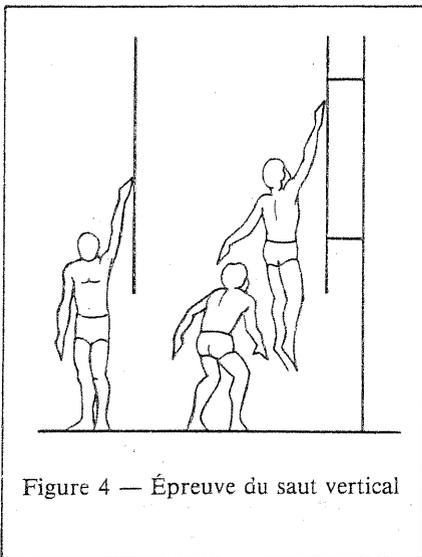


Figure 4 — Épreuve du saut vertical

□ *Résultats*

La hauteur d'un saut n'est un indice de puissance que si l'on tient compte du poids déplacé. En effet la puissance (P) étant égale au rapport du travail (T) par le temps (t), ce qui peut s'écrire :

$$P = \frac{T}{t} \quad (1)$$

et le travail étant le produit de la force (F = poids du sujet) par la distance (d = hauteur du saut)

$$T = F \times D \quad (2)$$

l'équation (1) devient alors

$$P = \frac{F \times d}{t}$$

Comme il n'est apparemment pas tenu compte du temps, le saut vertical ne mesurerait en fait que le travail (T).

Auteurs de l'épreuve	Délai d'atteinte de la puissance max (s)	Durée de maintien de la puissance max (s)	Puissance max. (watts. kg ⁻¹)
Margarita et coll.	1,5 à 2	4 à 5	15
Ayalon et coll. (P. max. fournie pendant 30 s)	1,5 à 2	4 à 5	8,5
Pirnay et Crielaard	2 à 3	4	10,1
Dal Monte et Léonardi	2 à 4	3 à 5	11,3

Tableau 3 — Caractéristiques de la production d'énergie lors des épreuves sollicitant le débit maximal de puissance (Lacour et coll. 1981).
(Reproduit avec l'aimable autorisation des auteurs)

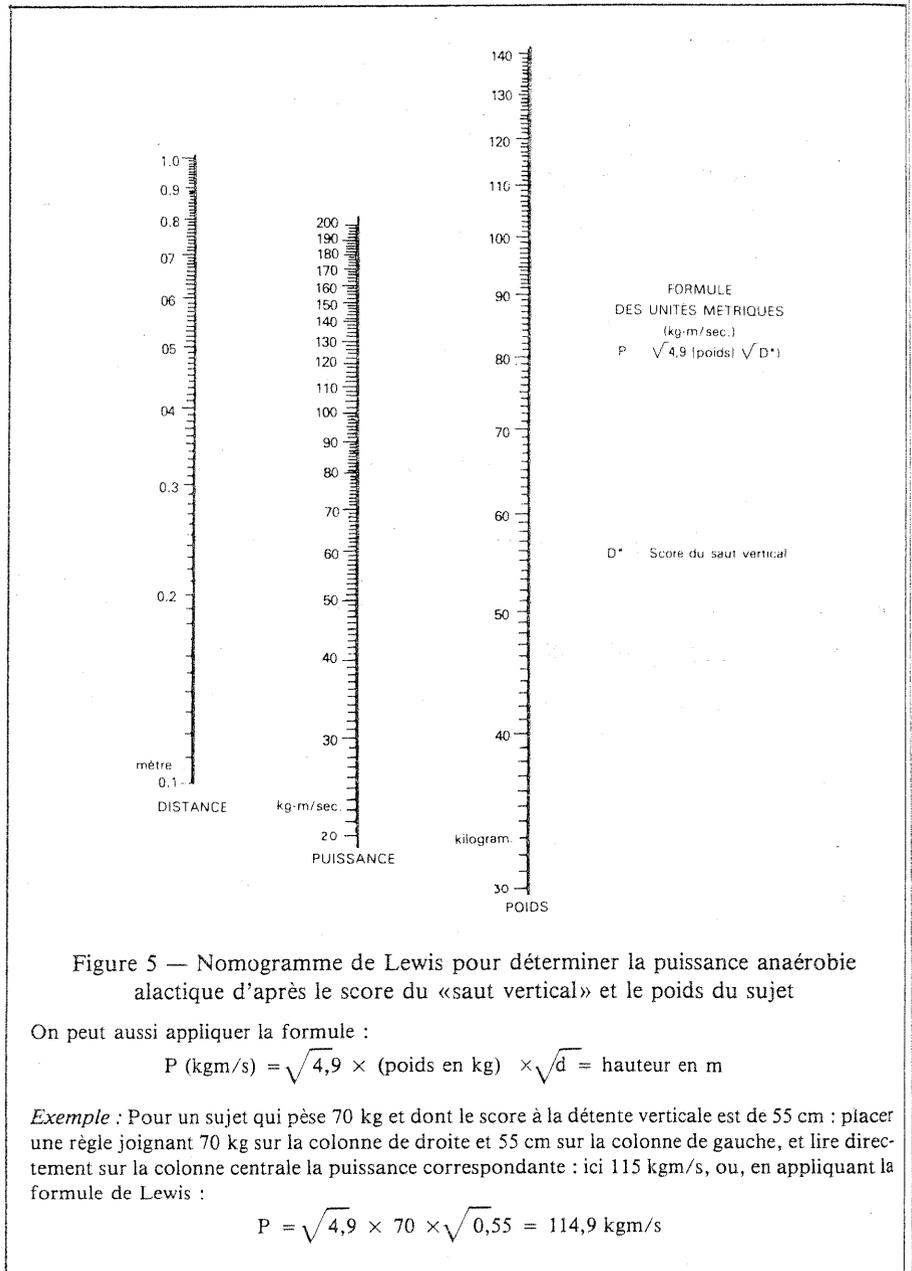


Figure 5 — Nomogramme de Lewis pour déterminer la puissance anaérobie alactique d'après le score du «saut vertical» et le poids du sujet

On peut aussi appliquer la formule :

$$P \text{ (kgm/s)} = \sqrt{4,9 \times (\text{poids en kg}) \times \sqrt{d}} = \text{hauteur en m}$$

Exemple : Pour un sujet qui pèse 70 kg et dont le score à la détente verticale est de 55 cm : placer une règle joignant 70 kg sur la colonne de droite et 55 cm sur la colonne de gauche, et lire directement sur la colonne centrale la puissance correspondante : ici 115 kgm/s, ou, en appliquant la formule de Lewis :

$$P = \sqrt{4,9 \times 70 \times \sqrt{0,55}} = 114,9 \text{ kgm/s}$$

Cependant, à cause de l'accélération verticale qui est constante, il est possible de calculer t. C'est ce que fait le

nomogramme de Lewis (fig. 5) qui donne la puissance à partir de la hauteur du saut et du poids du sujet.

Épreuve des 10 bonds verticaux de Georgesco et coll. (1977)

Dans ce test, il s'agit d'exécuter, pieds joints, 10 bonds verticaux successifs aussi haut que possible en réduisant au minimum le contact avec le sol entre deux bonds. La capacité maximale alactique se calcule à partir de la formule :

$$\frac{p \times h \times 1.5}{t}$$

dans laquelle :

p = le poids du corps (kg),

h = la hauteur moyenne des 10 bonds (en m),

t = la valeur moyenne du temps de contact avec le sol entre les 10 bonds, 1.5 = un coefficient, introduisant dans le calcul l'effort de freinage requis pendant la première partie de la reprise de contact avec le sol pour ralentir la chute suivant le bond précédent.

Des normes ont été établies par les auteurs pour des populations non entraînées de garçons et de filles âgés de 7 à 21 ans.

Mesure de la puissance mécanique à partir d'une série de sauts verticaux (Bosco et coll., 1983 (23)*)

Bien que la classification de cette épreuve s'avère difficile (utilisation d'un matériel réservé aux laboratoires bien équipés, mesure à la fois de la capacité alactique et de la puissance anaérobie lactique), comme elle procède du même principe que l'épreuve de Georgesco et coll. (1977), il semble opportun de présen-

ter les deux épreuves à la suite l'une de l'autre.

A partir de l'équation :

$$\bar{W} = \frac{g^2 \cdot Tf \cdot 60}{4n(60 - Tf)}$$

les auteurs mesurent la puissance mécanique totale : contraction + élasticité musculaire des membres inférieurs (\bar{W} = watt/kg de poids corporel), au cours d'une épreuve consistant à réaliser le plus grand nombre possible de bonds verticaux (n) sur une plate-forme de force. Celle-ci permet d'enregistrer les durées cumulées pendant lesquelles les pieds du sujet évalué quittent le sol (Tf). g^2 représente la constante gravitationnelle des sauts verticaux, estimée à 9.81 m.s⁻².

Comparés aux résultats obtenus par Ayalon, Inbar et Bar-Or (1974) et Margaria et coll. (1966), ceux de cette épreuve sont significativement plus élevés, traduisant, selon les auteurs, la prise en compte de la composante élastique qui entre en jeu dans les sauts successifs.

Autres épreuves de vitesse gestuelle spécifique

Leur principe est simple : il s'agit de mesurer soit le nombre de gestes spécifiques réalisés, soit la distance parcourue pendant une durée très courte jamais supérieure à 10 secondes.

On peut aussi tout simplement chronométrer des sprints sur courtes distances.

□ Sprints de 30, 40 ou 45 m départ lancé

De bonnes corrélations ont été établies entre les résultats de l'épreuve de Margaria-Kalamen et les distances

de courses précédentes (17) *, ce qui semble indiquer que l'ensemble de ces épreuves mesure la même dimension métabolique (et/ou la même qualité musculaire).

Fox et Mathews présentent des normes pour des sujets non entraînés de 15 à plus de 50 ans (tabl. 4); de même, le service Évaluation INSEP a établi des normes et des barèmes pour sujets entraînés de 13 à 25 ans (note 5).

□ Le «push up» ou «pompe», le «sit-up» ou redressement assis et le lever latéral d'un des membres inférieurs (6).

Pour pouvoir apprécier la puissance alactique des trois parties principales du corps, membres supérieurs, tronc et membres inférieurs, dans ces tests on mesure aussi, soit le nombre de mouvements réalisés en 10 s, soit la durée nécessaire pour effectuer correctement 10 de ces mouvements.

□ ÉVALUATION DE L'ENDURANCE

Par les épreuves précédentes, l'entraîneur peut être rapidement renseigné non seulement sur la puissance anaérobie alactique de ses athlètes, mais aussi sur la vitesse gestuelle spécifique exhaustive définie comme vitesse *étalon*. Grâce à l'étude de sa décroissance en fonction de l'allongement de la durée, il est possible d'évaluer les limites des autres métabolismes. C'est ce principe qu'utilisent certains auteurs

* Les numéros entre () renvoient à la bibliographie en fin d'article.

(5) Table de cotation de la valeur physique de sportifs de 13 à 25 ans.

Classification	Hommes					Classification	Femmes				
	Catégorie d'âge (années)						Catégorie d'âge (années)				
	15-20	20-30	30-40	40-50	Plus de 50		15-20	20-30	30-40	40-50	Plus de 50
Médiocre	Plus de 7,1*	Plus de 7,8*	Plus de 9,0*	Plus de 10,8*	Plus de 13,0*	Médiocre	Plus de 9,1*	Plus de 10,0*	Plus de 11,5*	Plus de 13,8*	Plus de 16,5*
Passable	7,1-6,8	7,8-7,5	9,0-8,6	10,8-10,3	13,0-12,4	Passable	9,1-8,4	10,0-9,2	11,5-10,6	13,8-12,7	16,5-15,2
Bon	6,7-6,5	7,4-7,1	8,5-8,1	10,2- 9,7	12,3-11,6	Bon	8,3-7,9	9,1-8,7	10,5-10,0	12,6-12,0	15,1-14,4
Excellent	Moins de 6,5	Moins de 7,1	Moins de 8,1	Moins de 9,7	Moins de 11,6	Excellent	Moins de 7,9	Moins de 8,7	Moins de 10,0	Moins de 12,0	Moins de 14,4

* = secondes

Tableau 4 — Guide d'interprétation pour les 45 mètres sprint avec 13 mètres d'élan

(2.3.5.6.7.10) pour déterminer notamment l'endurance du processus anaérobie alactique.

Pour notre part, nous suggérons l'étude de la décroissance de la vitesse de course ou même de la nage jusqu'à 20 s, après avoir déterminé la vitesse étalon. Généralement, on observe chez les sujets non entraînés une première décroissance entre la 6^e et la 9^e seconde. Le rapport =

$$\frac{\text{Vitesse d'une course } 10 \text{ s} \leq x < 20 \text{ s}}{\text{vitesse étalon}}$$

donne d'utiles renseignements sur l'endurance du système. Plus ce rapport tend vers 1, plus l'endurance est importante.

Exemple : si un nageur parcourt un 25 m en 12.81 s, (vitesse = 1.95 m/s) alors que sa vitesse étalon chronométrée sur 10 m de nage est de 2 m/s (5 s pour parcourir 10 m) son rapport

$$\frac{\text{Endurance}}{\text{Puissance}} \text{ est de } = \frac{1.95}{2.00} = 0.975$$

ce qui exprime que son endurance alactique est très bonne. L'évolution de ce rapport au décours d'une saison d'entraînement permet d'apprécier l'impact de l'entraînement sur l'endurance alactique. Cette même démarche peut être utilisée pour apprécier l'évolution de l'endurance des autres sources énergétiques.

□ LIMITES DE LA SIGNIFICATION DES ÉPREUVES «ALACTIQUES»

L'ensemble des tests précédents ne donne que des indications fondées sur la connaissance de la rapidité de l'utilisation et de l'épuisement des réserves du phosphagène. On peut en effet penser que ce sont les réserves d'ATP-CP immédiatement disponibles qui fournissent l'énergie utilisée par les contractions musculaires intenses de courte durée, mais aucune mesure directe n'en a apporté la preuve formelle.

Il faut noter d'autre part que les facteurs morphologiques peuvent ajouter à l'efficacité mécanique de la réponse à une épreuve; de même que l'efficacité du système neuromusculaire et l'élasticité du muscle peuvent influencer sur les résultats.

Notons enfin que seule la puissance de «crête» du système ATP-CP est appréciée par les différentes épreuves standardisées, mais aucun renseignement n'est fourni sur la quantité totale des réserves disponibles. Il est vrai que les frontières entre deux métabolismes n'existent que théoriquement. Dans un exercice de 20 à 30 secondes il est en effet très difficile de connaître avec précision la part de l'énergie assurée respectivement par les phosphagènes et la glycolyse anaérobie. C'est pourquoi l'évaluation de la capacité de ces deux métabolismes est toujours matière à controverse.

Évaluation du potentiel anaérobie lactique

Dès lors qu'une partie des réserves en phosphagène (environ 50 %) est utilisée, et que l'apport d'oxygène aux fibres actives est insuffisant (début d'exercice et exercices supra-maximaux), la contraction musculaire est énergétiquement alimentée par la dégradation (ou catabolisme) du glycogène.

Le catabolisme d'une molécule de glycogène libère trois molécules d'ATP mais s'accompagne d'une production de deux molécules de lactate.

L'évaluation de la glycolyse anaérobie s'avère très complexe car, des deux témoins dont nous disposons classiquement, l'un, la dette d'oxygène ne correspond pas uniquement à la capacité anaérobie lactique, l'autre, le taux de lactate sanguin est, comme toute concentration plasmatique, le résultat d'une production cellulaire et d'une utilisation organique, ce qui ne permet pas de savoir avec précision ce qui, en fait, est mesuré.

La mesure de la capacité du métabolisme anaérobie lactique doit donc toujours être relativisée. Tout au plus, lactatémie plasmatique et dette d'oxygène permettent des approximations souvent utilisées pour mettre en évidence la spécificité métabolique d'un exercice et pour contrôler, chez le même athlète, les effets de l'entraînement au cours d'une saison sportive.

□ MESURE DES CONCENTRATIONS DU LACTATE PLASMATIQUE

□ Technique

100 microlitres de sang artérialisé sont prélevés au niveau de l'extrémité de l'index ou du lobe de l'oreille préalablement vasodilaté par une pommade révulsive. Le sang est immédiatement déprotéinisé à froid par de l'acide perchlorique et, après centrifugation, le surnageant est mis à incuber pendant une heure à 25° C avec les substances qui permettent le dosage du lactate. Ce dernier est effectué par méthode enzymatique, dont le principe est le suivant :

□ Principe

La lactico-deshydrogénase (LDH) catalyse la réaction d'oxydation du lactate en pyruvate par le nicotinamide adénine dinucléotide (NAD)

$$\text{Lactate} + \text{NAD} + \underline{\text{LDH}} \text{ pyruvate} + \text{NADH} + \text{H}^+ \quad (1).$$

Pour orienter la réaction dans le sens d'une oxydation complète du lactate en pyruvate, on la couple avec une autre réaction qui requiert la présence en excès de L glutamate et de l'enzyme glutamate pyruvate transaminase (GPT).

$\text{Pyruvate} + \text{L glutamate} \rightarrow \text{L. alanine} + \alpha \text{ ceto glutarate}$. Par spectrophotométrie, la densité optique du complexe est ensuite comparée à une solution *blanche* et une solution étalon puis, à partir de l'application de la loi de Lambert-Beer et par un calcul (voir «encadré»), on obtient les concentrations (exprimées en mmoles/l) du lactate plasmatique.

□ Résultats

Couplée à d'autres paramètres à caractère soit physiologique comme la fréquence cardiaque, la consommation d'oxygène, soit / et physique comme la vitesse de course ou de nage, le pourcentage de pente d'un tapis roulant et la durée d'un exercice (fig. 6), la lactatémie peut donner un reflet de la participation de la glycolyse anaérobie au cours ou à l'issue d'un exercice.

Elle permet de déterminer :

— la zone de transition à partir de laquelle le lactate commence à

s'accumuler dans l'organisme, marquant pour certains auteurs la limite aérobie-anaérobie ou *plancher* du début d'accumulation lactique. Pour ce faire, on étudie la lactatémie en fonction d'une intensité (vitesse ou puissance) de travail progressivement croissante au cours d'une épreuve à paliers standardisés. Cette zone se situerait d'après Keul (15) entre 2 et 4 mmoles l⁻¹.

— le *plafond* d'accumulation lactique ou quantité maximale pouvant s'accumuler dans l'organisme, qui indique la limite anaérobie supportable par le sujet. On peut obtenir ce résultat, soit à l'issue d'un exercice épuisant de 3 minutes, soit par l'itération toutes les 3 ou 4 min, d'un exercice épuisant d'une durée de 1 à 2 min. Les valeurs extrêmes quelquefois enregistrées avoisinent 30 mmol.kg⁻¹ et 25 mmol.l⁻¹ respectivement pour le muscle et le sang (note 6). Il est à remarquer à ce propos que les concentrations plasmatiques ne donnent qu'un reflet incomplet de la production réelle du lactate cellulaire (fig. 7). Cependant, pour un même sujet participant à la même épreuve à plusieurs moments d'une saison sportive, la lactatémie peut correctement renseigner sur l'impact de l'entraînement sur le métabolisme sollicité.

□ MESURE DE LA DETTE MAXIMALE D'OXYGÈNE

Dès que l'apport d'oxygène à la cellule est débordé (début d'exercice et exercice supra-maximal), l'organisme utilise ses propres réserves (phosphagène et glycogène) et contracte en conséquence un déficit provisoire, qu'il remboursera dès la fin du travail musculaire (fig. 8). Connaissant les quantités d'oxygène qui correspondent :

- à la reconstitution des réserves d'oxygène (cellulaires et sanguines) de l'organisme : environ 1 litre
- à celle du phosphagène : environ 1,5 l,

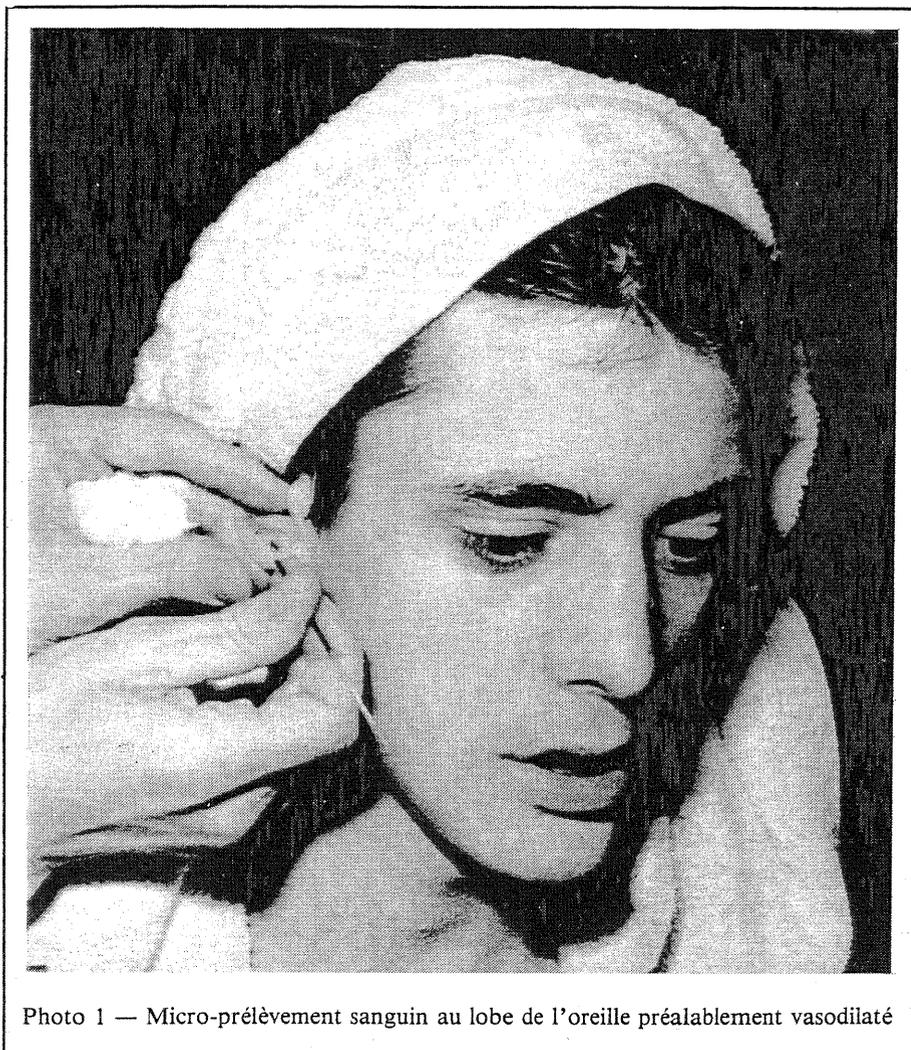


Photo 1 — Micro-prélèvement sanguin au lobe de l'oreille préalablement vasodilaté

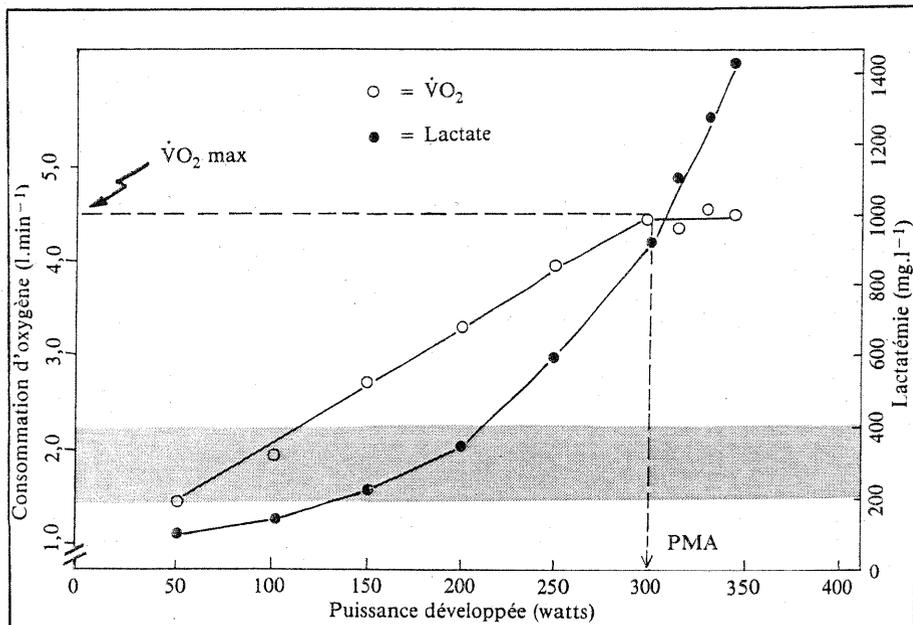


Figure 6 — Évolution de la lactatémie et du $\dot{V}O_2$ en fonction de l'augmentation de la puissance de l'exercice (La partie hachurée représente la limite théorique à partir de laquelle le lactate s'accumule, ou zone de transition aérobie-anaérobie)

(6) Une mole de lactate pèse 90 g; comme la production de 1 g de lactate équivaut d'après Margaria et coll. (1971) à la consommation de 50 ml d'O₂ ou 250 cal, il est donc possible de calculer la capacité énergétique du processus anaérobie lactique = 30 mmol/kg = 135 ml d'O₂/kg = 33,75 kcal 1/kg de muscle.

— à l'augmentation de la sollicitation des muscles ventilatoires et cardiaque et à l'élévation de la thermolyse : environ 1,5 l.

On peut indiquer que 4 litres d'oxygène environ seraient nécessaires pour rembourser la « dette alactique », le supplément constituerait alors la « dette lactique ».

□ Mesure

On mesure d'abord la consommation d'oxygène au repos complet ($\dot{V}O_2$ de repos) puis, après un échauffement musculaire standardisé (50 à 60 % de PMA pendant 5 à 8 min), on propose à l'évalué une épreuve supramaximale de 2 à 3 minutes d'une puissance correspondant à 130 % de la PMA (note 7) qui l'amène à l'épuisement. Dès l'arrêt de l'exercice, alors que le sujet est au repos complet, pendant 30 minutes à 1 heure les gaz expirés sont recueillis dans des sacs de Douglas.

□ Calcul

On calcule alors la totalité de l'oxygène consommé ($\dot{V}O_2$ de récupération). La « dette lourde d'oxygène » correspond à la différence : $\dot{V}O_2$ de récupération moins $\dot{V}O_2$ de repos; la dette lactique à celle de : dette lourde d'oxygène moins dette alactique soit environ 4 l d' O_2 .

Exemple du calcul de la dette lactique pour une dette lourde de 12 l d'oxygène.

$\dot{V}O_2$ de récupération - $\dot{V}O_2$ de repos = 12 l d' O_2 (dette lourde),
dette lourde (12 l) - dette alactique (4 l d' O_2) = 8 l d' O_2 .

8 litres d'oxygène sont donc nécessaires pour métaboliser l'acide lactique produit. Ils correspondent à la *dette lactique*.

A partir des travaux de Krebs (1964) qui montrèrent que 22,4 l d' O_2 peuvent assurer le métabolisme d'environ 180 g d'acide lactique, la production de cet acide peut être estimée : environ 64 g dans notre exemple. Comme selon Margaria (1971) la production de 1 g de lactate équivaut à la consommation de 50 ml d' O_2 , 64 g équivalent à 3,2 litres d' O_2 consommé seulement.

La loi de Lambert-Beer permet de calculer la densité optique (E) d'une solution à partir de la formule :

$$E = \log \frac{I_0}{I} \text{ dans laquelle :}$$

I_0 représente l'intensité de la lumière incidente et I l'intensité de la lumière transmise.

Ce paramètre varie avec la solution qui absorbe une partie d'autant plus importante de la lumière incidente que sa concentration est élevée. Le rapport :

$$\frac{E \times \text{dil}}{e \times d} \text{ dans lequel :}$$

$e \times d$

dil représente la dilution totale de l'échantillon

e le coefficient d'extinction et

d la distance parcourue par le faisceau lumineux du spectrophotomètre à travers l'échantillon,

permet enfin d'obtenir la concentration de la substance dans la solution.

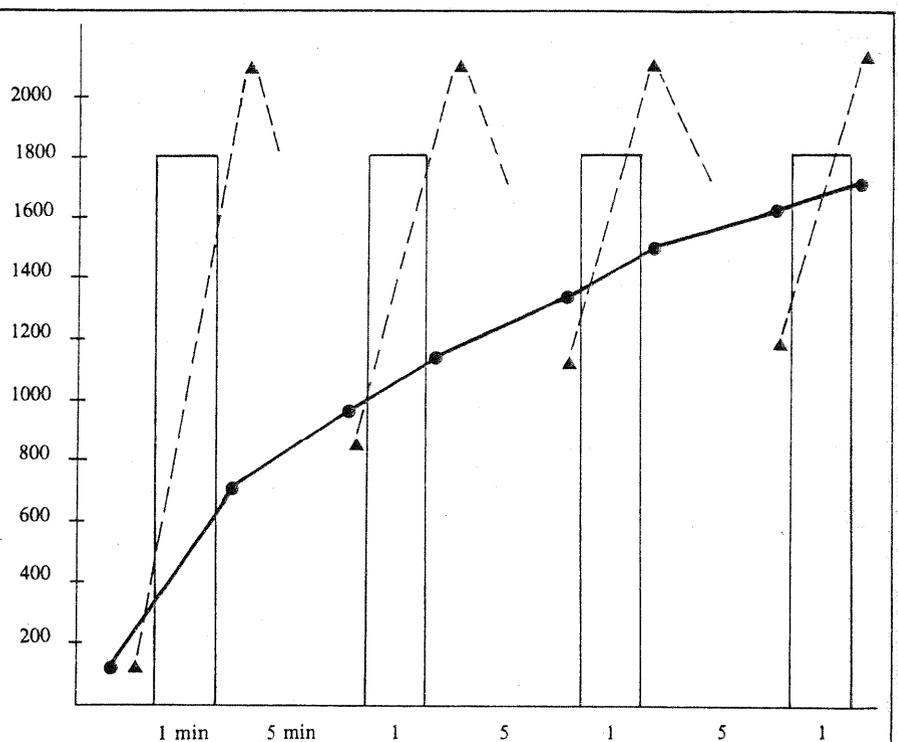


Figure 7 — Évolution du lactate musculaire (▲) par rapport au lactate plasmatique (●) au cours d'un exercice intermittent comprenant des séquences de travail épuisant de 1 min et des séquences de repos de 5 min

Le lactate musculaire atteint chaque fois des concentrations maximales qui semblent être le facteur limitant de l'exercice, alors que le lactate plasmatique continue de diffuser dans les différents « espaces lactiques » de l'organisme.

Comme le font remarquer Lacour et coll. (1981), il en résulte que la dette lactique que doit payer l'organisme apparaît deux fois plus élevée que le déficit contracté au cours de l'exercice. A l'issue d'un exercice amenant le sujet à l'épuisement entre deux et trois minutes (puissance de l'exercice comprise entre 120 et 130 % de

PMA), le déficit correspond à la *capacité anaérobie lactique*.

□ Résultats

Les résultats ne peuvent être qu'une suite d'approximations théoriques, car la valeur de la dette alactique, de même que le pourcentage de participation aérobie en début d'exercice,

(7) Les durées et les puissances dépendent du niveau d'entraînement et de spécialisation du sujet.

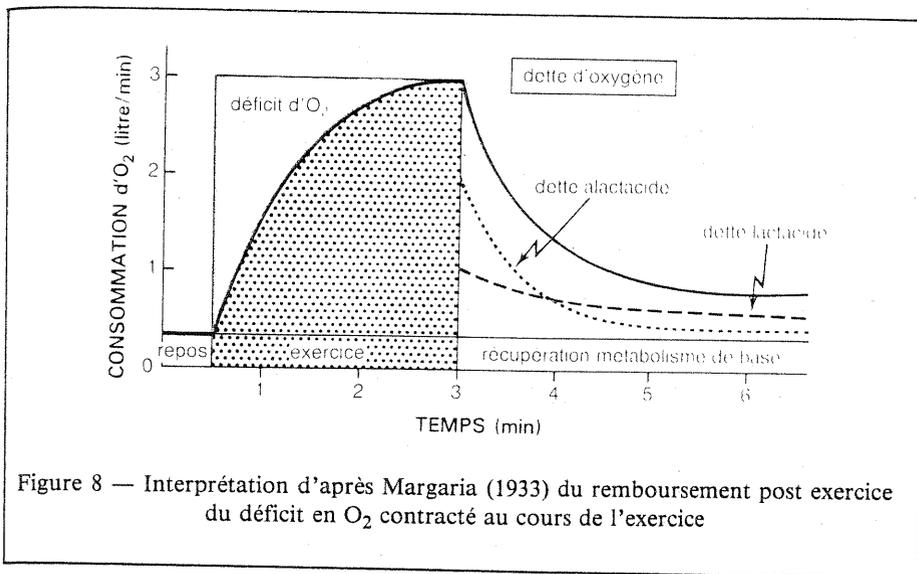


Figure 8 — Interprétation d'après Margaria (1933) du remboursement post exercice du déficit en O₂ contracté au cours de l'exercice

varient d'un individu à l'autre. La dette lactique ne peut donc être utilisée que pour comparer les résultats d'un même sujet au décours d'une saison sportive.

Cependant, les valeurs les plus élevées ont été relevées chez les athlètes spécialisés dans les épreuves de 1 à 2 minutes de durée. Elle est beaucoup plus faible chez le sujet jeune et décroît avec l'âge. Les valeurs moyennes sont de 4 à 5 litres chez les jeunes sujets de 14-15 ans, de 8 à 9 litres chez l'adulte jeune sédentaire et supérieures à 20 litres chez les athlètes spécialisés.

Pour éviter les prélèvements sanguins et gazeux que nécessitent la lactatémie et la dette d'O₂, plusieurs épreuves de laboratoire et de terrain peuvent être proposées. Toutes procèdent de la décroissance de la puissance alactique ou vitesse gestuelle *étalon* précédemment étudiée.

□ ÉVALUATION DE LA PUISSANCE

La puissance de la glycolyse anaérobie est mise en jeu par des exercices supra-maximaux amenant le sujet à l'épuisement au bout de 30 à 50 s. La puissance maximale est généralement obtenue entre 30 et 40 s. Ce sont ces principes qui ont présidé à l'élaboration d'épreuves de *laboratoire* nécessitant un matériel spécial, et d'épreuves de *terrain*, les deux ayant pour point commun la faiblesse de leur validité.

Épreuves de «laboratoire»

Épreuve pour les membres inférieurs d'Ayalon et coll. (1974).

□ Principe

Cette épreuve consiste à accomplir sur un cycloergomètre le plus grand nombre de révolutions en 30 s contre une résistance supra-maximale standard établie en fonction du poids corporel (40 g/kg de poids). On admet que le type d'effort requis soit limité principalement par la glycolyse anaérobie. La puissance obtenue exprimée en kgm/min correspond à la puissance moyenne mesurée pour 30 s.

L'endurance lactique et la puissance alactique peuvent aussi être évaluées. La première correspond au nombre maximal de révolutions en 30 s, ou travail total (exprimé en kgm), réalisé en 30 s. La seconde, à la puissance maximale enregistrée pendant la fraction de 5 s la plus rapide des 30 s. Elle s'exprime en kgm/min.

□ Protocole

Après un échauffement et un repos de 1 min, le signal de départ est donné. Il s'agit d'un départ *lancé*. Au signal, le sujet commence à pédaler le plus vite possible sans aucune résistance et, dans les 4 s, celle-ci est augmentée à 40 g par kg de poids. C'est à partir de ce moment que l'épreuve commence réellement (compte-tours à zéro et départ du chronomètre pour la période de 30 s). Il faut alors noter le nombre de révolutions réalisées toutes les 5 s; faire le décompte à voix haute et encourager le sujet.

□ Matériel

Les auteurs utilisent l'ergocycle de Fleish dont chaque révolution correspond à une distance théorique de 10 m. Pour les évaluateurs qui utilisent l'ergocycle Monark (6 m par révolution), il convient d'augmenter la résistance à 66,67 g/kg de poids pour travailler à une puissance équivalente.

□ Résultats

La population étudiante comprenait 15 sujets masculins non entraînés, âgés de 19 à 21 ans. La fidélité, donc la reproductibilité de l'épreuve, est excellente ($r = 0.91$) et les premières normes obtenues par les auteurs sont présentées aux tableaux 5 et 6.

n = 15 ♂	Puissance moyenne sur 30 s (kgm/min)	Poids
Moyenne	3607.3 ± 240.7	71.9 ± 7.9
Erreur type de la moyenne	60.5	2.0

Tableau 5 — Premières normes de la puissance anaérobie lactique des membres inférieurs, obtenues par Ayalon et coll. (1974).

Lors de travaux complémentaires, Bar-Or et Inbar (1978) ont établi d'intéressantes corrélations entre trois courses (40, 300 et 600 m) et, respectivement, la puissance maximale et l'endurance anaérobie lactique (tabl. 6).

Épreuve d'évaluation de la puissance lactique des membres supérieurs d'Ayalon et coll. (1974)

□ Principe

Le protocole et le principe de cette épreuve sont identiques au précédent, à l'exception toutefois :

- de la technique du pédalage qui est effectué avec les membres supérieurs, le sujet étant assis en position stable, sur une selle dont la hauteur a été fixée de façon à ce que l'axe du pédalier se situe au niveau des épaules de l'évalué,
- et de la puissance du pédalage, fixée à 30 g par kg de poids corporel pour un cycloergomètre de Fleish, et à 50 g pour la bicyclette ergométrique Monark.

□ **Résultats**

Les sujets de l'expérimentation étaient les mêmes que ceux de l'épreuve avec les membres inférieurs. La fidélité élevée ($r = 0.93$) de cette épreuve indique sa très bonne reproductibilité. Les premières normes obtenues par les auteurs sont résumées dans le tableau 7.

Épreuves de «terrain»

La glycolyse anaérobie permet de fournir un travail supramaximal qui, selon son intensité, peut être poursuivi entre 30 s (puissance) et 3 min (capacité). Dans les deux cas, c'est la trop forte acidoïse musculaire qui bloque la contraction. L'évaluation de la puissance suggère d'utiliser des épreuves supramaximales de durées incluses entre 30 et 50 s; celle de la capacité utilisera préférentiellement des épreuves de durées comprises entre 2 et 3 min. Le travail fourni ne doit pas être limité par des problèmes d'apprentissage, d'où le choix d'exercices de réalisation simple ou faisant partie de la technique habituelle des sujets considérés.

La même épreuve, assortie de durées variables, peut donc être retenue; la totalité du travail réalisé, l'intensité maximale et la décroissance de cette

intensité peuvent respectivement renseigner sur la capacité, la puissance et l'endurance du système; c'est pourquoi, bien que n'entrant pas dans la logique de la chronologie de cette étude, nous les envisageons ensemble dans le chapitre ci-dessous.

Épreuves de course à pied

Les prises de performances chronométrées sur les distances suivantes peuvent utilement renseigner sur les caractéristiques du processus anaérobie lactique. Selon l'âge, le sexe et le niveau d'entraînement des sujets : capacité entre 600 et 800 m; puissance entre 200 et 300 m; endurance : distances intermédiaires courues entre 94 et 98 % de la puissance : 300, 400 ou 500 m...

Épreuves de nage

Elles dépendent de l'âge, du sexe, du niveau technique et d'entraînement du sujet et bien sûr du style de nage retenu (tabl. 8).

Épreuve sur bicyclette

Les mêmes conditions évoquées pour les épreuves précédentes sont aussi valables ici. La capacité lactique peut s'apprécier par la distance de 2 km parcourue à vitesse maximale et la puissance par un 800 m.

Remarque : comme pour les résultats obtenus par l'évaluation du potentiel anaérobie alactique, nous suggérons d'étudier l'évolution du rapport

$$\frac{\text{vitesse de l'épreuve}}{\text{vitesse étalon}}$$

pour mieux apprécier puissance, capacité et endurance du système lactique au cours d'une saison sportive.

Épreuve du 500 m de Lémon

□ *Protocole :* sur une piste étalonnée de 50 en 50 m, courir un 500 m à la vitesse la plus élevée possible. Chronométrer le deuxième et le dernier 50 m.

On calcule alors la différence entre les deux performances chronométriques enregistrées et on multiplie le score obtenu par 10. L'objectif est d'obtenir le résultat le plus faible possible. On admet qu'une forte décroissance de la vitesse entre les deux 50 m est liée à une importante accumulation lactique au niveau des muscles actifs, ce qui constituerait la limite anaérobie lactique du sujet.

Exemple : si un sujet court le deuxième 50 m en 6.9 s et le dernier en 7.8 s son score serait : $7.8 - 6.9 = 0.9 \times 10 = 9$ points.

L'évolution de ce score au cours d'une saison sportive (à la condition

n = 35 12.0 ± 1.7 ans		Distance de course 40 m 300 m 600 m		
Puissance maximale AN Lactique	Puissance moyenne sur 30 révolutions	0.84	0.85	0.76
	Nbre maximum de révolutions sur 30 s	0.70	0.83	0.76

Tableau 6 — Corrélations entre caractéristiques anaérobies lactiques et trois distances de course (Bar-Or et Inbar, 1978)

	Distances (m)		
	Capacité	Puissance	Endurance : distances intermédiaires puissance - capacité
Crawl	250	50 à 75	100 - 150 - 200...
Papillon	200	50	100 - 125 - 150...
Dos	200	50	100 - 125 - 150...
Brasse	175 - 200	40 à 50	75 - 100 - 150...

Tableau 8 — Distances proposées aux nageurs spécialisés et entraînés pour évaluer leurs caractéristiques spécifiques anaérobies lactiques

n = 15 ♂	Puissance moyenne sur 30 s kgm/min	Poids kg
Moyenne + écart type Erreur type	1854.5 ± 181.7 46.9	71.9 ± 7.9 2.0

Tableau 7 — Normes préliminaires de l'épreuve d'évaluation de la puissance lactique des membres supérieurs, d'Ayala et coll. (1974)

	watts	kgm/min	rotations/min	K *
Homme	400	2 400	124 - 128	3.2
Femme	350	2 100	104 - 108	3.3

* Cycloergomètre Monark à 6 m par révolution de pédalier.

Tableau 9 — Protocole requis par l'épreuve de De Bruyn - Prevost (1975)

que l'évalué joue bien le jeu chaque fois) permet d'apprécier les effets de l'entraînement.

Selon ces mêmes principes, la puissance et la capacité de la glycolyse anaérobie peuvent être appréciées par groupes musculaires (nombre de «pompes», «d'abdominaux», de levers latéraux d'un membre inférieur...) (note 8) ou par la répétition de gestes spécifiques d'une activité sportive donnée.

□ ÉVALUATION DE L'ENDURANCE

En ce qui concerne le potentiel anaérobie lactique, il est difficile de dissocier clairement l'endurance de la capacité du processus. En effet, dans les deux cas, l'«intensité» requise est très voisine de celle de la puissance; il n'y a donc pas lieu de les différencier.

Épreuve de De Bruyn-Prévost (1975)

L'objectif de cette épreuve est de mesurer le travail lactique total.

□ Principe

Mesurer la durée maximale pendant laquelle un sujet est capable de pédaler sur un ergocycle à une puissance standard (rythme + freinage) établie en fonction du sexe, et prendre les pulsations cardiaques en fin d'épreuve pendant 3 minutes.

□ Protocole

Le matériel, nécessaire pour réaliser cette épreuve, comprend un cycloergomètre à freinage mécanique ou électro-magnétique, un métronome et un indicateur de vitesse, un compte-tours cumulatif solidaire du pédalier et un chronomètre. Après échauffement et ajustage de la hauteur de la selle, l'intensité de l'exercice est fixée à 400 W pour les hommes et à 350 pour les femmes, pour

un rythme de pédalage fixé respectivement entre 124 et 128 et entre 104 et 108 rotations par minute (tabl. 9).

Au cours de l'épreuve, il faut enregistrer :

- 1 — La durée nécessaire (en secondes) pour atteindre le rythme cible.
- 2 — La durée totale pendant laquelle le sujet a maintenu le rythme cible.

Après l'arrêt de l'épreuve, pendant la récupération, enregistrer le nombre de pulsations par séquence de 15 s situées à 1, 2 et 3 min.

□ Calcul

Après avoir enregistré les données de l'épreuve : puissance cible (watts), rotations/min cible, rotations/min réelles moyennes, nombre total de rotations, le travail total (J), les fréquences cardiaques à 1, 2 et 3 min (b/min), on calcule l'indice I : $I = \text{Durée totale de l'épreuve} / \text{délai initial} \times (FC_1 + FC_2 + FC_3)$ et l'indice II ($II = \text{Durée totale de l'épreuve} / \text{délai initial}$).

De Bruyn et Prévost en ont établi les normes préliminaires, présentées dans le tableau 10, avec une population totale de 12 sujets = 6 jeunes filles + 6 jeunes gens. De plus, ces auteurs ont calculé le niveau de corrélation des deux indices avec la concentration de lactate mesurée à l'issue de l'épreuve et les performances réalisées sur 100, 200 m et en cross-country (tabl. 11).

Ces corrélations établies avec une population très limitée (r significatif à 0.01 et 0.001 pour des valeurs respectives ≥ 0.66 et 0.78), font apparaître des niveaux de liaison assez différents avec les garçons et les filles, et certaines incohérences notamment avec l'indice II et le 100 m chez les jeunes filles.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) AYALON (H.), INBAR (O.), BAR-OR (O.).- Relationship among measurements of explosive strength and anaerobic power. In : NELSON (R.C.), MAREHOUSE (C.A.) (eds). International Series on Sport Sciences, Vol. 1. *Biomechanics IV - Proceedings of the Fourth International Seminar on Biomechanics*, Baltimore : University Park Press, 1974, pp. 572-577.
- (2) BAR-OR (O.), INBAR (O.).- Relationships among anaerobic capacity, sprint and middle distance running of schoolchildren. In : SHEPHARD (R.J.), LAVALLÉE (H.) (eds), *Physical Fitness assessment*, Springfield: Thomas, 1978, pp. 142-147.
- (3) BENARI (E.), INBAR (O.), BAR-OR (O.).- The aerobic capacity and maximal anaerobic power of 30 to 40 years old men and women. In : LANDRY (F.), ORBAN (W.A.R.) (eds). *Biomechanics of Sports and Kinanthropometry*. Proceedings of the International Congress of Physical Activity Sciences, Québec : 1976, Miami : Symposium Specialists, Inc., 1978, pp. 427-433.
- (3') COSTILL (D.L.).- Compte rendu de conférence. *Special Sport Natation n° 1*, Paris : INSEP, 1980.
- (4) CUMMING (G.R.).- Correlation of athletic performance and aerobic power in 12 to 17 years old children with bone age, calf muscle, total body potassium, heart volume and two indices of anaerobic power. In : BAR-OR (O.) (ed). *Proceedings of the 4th International Symposium on Pediatric Work Physiology*, Wingate Institute, 1975, pp. 109-134.
- (5) DAL MONTE (A.), LEONARDI (L.M.).- Nouvelle méthode d'évaluation de la puissance anaérobie maximale alactacide.- Congrès Groupement Latin Médecine du Sport, Nice : 1977, pp. 39-42.
- (6) DE BRUYN, PREVOST (P.).- Essai de mise au point d'une épreuve anaérobie sur la bicyclette ergométrique. *Médecine du sport*, 1975, 49, n° 4, pp. 202-206.
- (7) GEORGESCO (M.), ALEXANDRESCO (C.), FOZZA (C.), DIMITRIU (V.), CHEREBETIU (G.), NICOLAESCO (V.).- Capacité d'effort anaérobie chez les non-entraînés âgés de 7 à 21 ans. *Médecine du sport*, 1977, 51, n° 3, pp. 147-152.
- (8) HEBBELINCK (N.).- Réactions cardio-respiratoires au cours d'un travail épuisant répété chez l'homme normal. In : HORNOF, SCHMID (eds), *Poumon, respiration et sport*, Prague : Littér. Méd. Tchec., 1965, pp. 195-220.
- (9) HEBBELINCK (N.).- Ergometry in physical training research. *J. Sports Med. Phys. Fit.*, 1969, 9, n° 2, pp. 69-79.

n = 12 (6♂, 6♀)	Indice I	Indice II	Délai (s)	Durée (s) totale
Homme	11.2 ± 4.4	4.58 ± 2.0	11 ± 2.8	46 ± 9.9
Femme	8.9 ± 3.4	3.5 ± 1.4	11.6 ± 2.8	38.5 ± 5.4

Tableau 10 — Résultats préliminaires obtenus par De Bruyn et Prévost (1975) avec 12 étudiants en éducation physique âgés de 19 à 22 ans.

	Lactate		100 m		200 m		Cross	
	♂	♀	♂	♀	♂	♀	♂	♀
Délai	0.69	0.64	0.32	0.41	0.70	0.04	0.74	0.66
Durée	0.65	0.67	0.57	0.59	0.92	0.28	0.70	0.84
Indice I	0.69	0.76	0.47	0.54	0.75	0.23	0.84	0.86
Indice II	0.64	0.71	0.49	0.21	0.84	0.26	0.69	0.87

Tableau 11 — Niveaux de corrélation obtenus entre l'épreuve de De Bruyn-Prévost et le lactate plasmatique produit, le 100 m, le 200 m et le cross-country (r significatif à 0.01 et 0.001 pour des valeurs ≥ 0.66 et 0.78)

(8) Ces épreuves ont été abordées dans le chapitre *Évaluation de la capacité anaérobie alactacide*.

- (10) INBAR (O.), AYALON (A.), BAR-OR (O.).- Relationship between tests of anaerobic capacity and power. *Israel J. Med. Sci.*, 1974, 10, p. 290 (abstract).
- (11) INBAR (O.), BAR-OR (O.).- The effect of intermittent warm-up on 7-9 years old boys. *Europ. J. Appl. Physiol.*, 1975, 34, pp. 81-90.
- (12) INBAR (O.), DOTAN (R.), BAR-OR (O.).- Aerobic and anaerobic components of a thirty second supermaximal cycling task, Congrès annuel de l'American College of Sports Medicine, Anakeim, Maz, 1976, (abstract). *Med. Sci. Sports*, 1976, 8, n° 1, p. 51.
- (13) INBAR (O.), BAR-OR (O.).- Relationships of anaerobic and aerobic arm and leg capacities to swimming performance of 8-12 years old children. In : LAVALLEE (H.H.), SHEPHARD (R.J.) (eds). *Frontiers of Activity and Child Health*. Québec : Pélican, 1977, pp. 283-292.
- (14) KALAMEN (J.).- Measurement of Maximum Muscular Power in Man. Doctoral dissertation. The Ohio State University, 1968.
- (15) KEUL (J.), KINDERMANN (W.), SIMON (G.).- La transition aérobie-anaérobie lors de la pratique de certains sports. Comptes rendus du Colloque de Nice : énergétique et sports de compétition, 4 novembre 1978.
- (16) LACOUR (J.R.), FLANDROIS (R.), DENIS (C.).- Les tests d'effort. In : *Sports et Sciences*, Paris : Vigot, 1981, pp. 235-269.
- (17) MATHEWS (D.K.), FOX (E.L.).- The physiological basis of physical education and athletics. Philadelphia : Saunders, 1976, p. 499.
- (18) MORAND (P.H.), GRANGER (G.), RADAORNI (H.), LORIN (C.).- Détermination du seuil anaérobie. Applications à l'entraînement des sportifs. Congrès Groupement Latin Médecine du Sport, Nice, 1977, pp. 57-58.
- (19) MARGARIA (R.), EDWARDS (H.T.), DILL (B.).- The possible mechanism of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction. *Am. J. Physiol.*, 1963, 106, pp. 689-714.
- (20) MARGARIA (R.), AGHEMO (P.), ROVELLI (E.).- Measurement of muscular anaerobic power in man. *J. Appl. Physiol.*, 1966, 21, pp. 1662-1664.
- (21) PIRNAY (F.), CRIELAARD (J.M.).- Mesure de la puissance anaérobie alactique. *Médecine du sport*, 1979, 53, pp. 13-16.
- (22) TANCHE.- Tests jugeant des efforts courts et intenses. *Cinésiologie*, 1977, n° 63, pp. 39-48.
- (23) BOSCO (C.), LUHTANEN (P.), KOMI (P.V.).- A simple method for measurement of mechanical power in Jumping. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 1983, 50, pp. 273-282.

Limites de signification des mesures et épreuves anaérobies lactiques

Nous avons déjà indiqué les limites de la lactatémie et de la dette d'oxygène.

La molécule de lactate diffuse inégalement dans les différents compartiments liquidiens de l'organisme à partir desquels son devenir est multiple : on sait que, même au cours de l'exercice, une certaine quantité peut être retransformée en glycogène (cellules hépatiques et musculaires), une autre totalement oxydée (cellules myocardiques et musculaires) ou/et encore transaminée en alanine, enfin une petite quantité serait éliminée par la sueur.

La quantité qui demeure dans le sang n'est donc que le reflet indirect et imparfait de la production cellulaire réelle. Elle-même dépend des caractéristiques musculaires et du niveau d'entraînement du sujet. Autrement dit, la lactatémie n'est qu'un moyen peu précis d'évaluation de la capacité anaérobie alactique (figure 7).

La dette d'oxygène «lactique» ne peut être calculée que grâce à une série d'approximations qui, de plus, sont très variables d'un individu à l'autre ! En effet, il est difficile de déterminer la part de la dette «lourde» due aux métabolismes alactique et aérobie et celle à distribuer à la dette lactique, sans connaître la nature des fibres musculaires sollicitées et la valeur de la consommation maximale d'oxygène du sujet.

Cet ensemble de raisons doit inciter à conserver à l'égard de leur interprétation les réserves de rigueur.

Les difficultés d'interprétation des résultats inhérentes aux épreuves indirectes d'évaluation de la

glycolyse anaérobie sont souvent induites par ce qui constitue leurs limites implicites. Elles peuvent être d'ordre :

— *psychologique* car les sujets non motivés ne vont pas jusqu'au bout de leurs possibilités;

— *physiologique*, la consommation maximale d'oxygène jouant un rôle d'autant plus important que la durée de l'exercice se situe au-delà de 30 s (à des intensités supramaximales, 90 à 95 % de la consommation maximale d'oxygène peuvent être sollicités dès la première minute). Inversement, plus la durée de l'épreuve est courte, plus intervient la capacité alactique;

— et enfin *biomécanique*, car les rapports segmentaires, la taille et le poids du sujet, de même que l'apprentissage technique de certaines tâches complexes, peuvent infléchir les résultats et les rendent difficilement comparables d'un individu à l'autre.

Bien que les résultats de ces épreuves soient entachés d'une certaine imprécision, ils permettent néanmoins de donner d'assez bonnes indications individuelles. Répétés à intervalles réguliers, ils peuvent apprécier l'impact d'un programme d'entraînement sur le métabolisme anaérobie lactique principalement sollicité dans toutes les activités physiques et sportives d'une durée comprise entre 30 s et 3 min.

Toutefois et enfin, la passation de ces épreuves, qui requièrent un effort violent, ne devrait être envisagée que pour les sportifs et être proscrite aux enfants et aux personnes sédentaires et plus âgées. Le meilleur indicateur de l'aptitude énergétique étant pour ces dernières la valeur de leur potentiel aérobie.