Evaluation du potentiel énergétique des coureurs de haut niveau : relations entre des tests de laboratoire et la performance sur 400m

Anne-Marie Heugas, Jeannick Brisswalter

▶ **To cite this version:**

Anne-Marie Heugas, Jeannick Brisswalter. Evaluation du potentiel énergétique des coureurs de haut niveau : relations entre des tests de laboratoire et la performance sur 400m. AEFA, 1995, 138, pp.34-37. hal-02049318

HAL Id: hal-02049318
https://insep.hal.science//hal-02049318

Submitted on 26 Feb 2019

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Evaluation du potentiel énergétique des coureurs de haut niveau :

Relation entre des tests de laboratoire et la performance sur 400 m

PAR HEUGAS ANNE-MARIE - BRISSWALTER JEANNICK

Cette étude a été menée dans le cadre du diplôme de l'INSEP grâce à la collaboration de Fernand Urtebise, Pierre Bonvin et Hervé Stéphan. Je tiens à remercier également les athlètes qui, malgré leur emploi du temps déjà bien rempli, ont accepté de participer à des tests qui n'étaient pas toujours très agréables.

Introduction

L'objectif de notre étude était de confronter une population d'athlètes spécialistes de 400-400 m haies à deux tests mesurant la capacité anaérobie. Ces deux tests étaient effectués sur tapis roulant avec pente et sans pente. Il s'agissait d'étudier la relation entre les résultats obtenus lors de ces tests et la performance sur 400 mètres. En effet, la recherche de l'amélioration de la performance sur 400 m nécessite la connaissance approfondie des phénomènes énergétiques sollicités par cette épreuve, et des adaptations physiologiques qui s'y rattachent.

La course de 400 mètres est considérée comme une épreuve de vitesse prolongée. D'un point de vue physiologique, elle est qualifiée d'effort supramaximal car l'athlète développe une puissance supérieure à celle qui peut être soutenue par les voies oxydatives aérobies. La production énergétique anaérobie, et plus particulièrement la glycolyse anaérobie, constitue alors la principale source d'énergie pour assurer le débit maximal de resynthèse de l'ATP. La performance d'un athlète est donc déterminée par la quantité d'énergie qu'il peut fournir par ces voies anaérobies et par la puissance maximale (débit d'énergie) qu'il peut soutenir pendant toute la durée de l'activité.

Peu de recherches ont porté sur les caractéristiques du métabolisme anaérobie lactique lors d'une course de 400 m et encore moins concernant des athlètes d'un haut niveau de performance dans cette discipline. Il est en effet difficile d'étudier en laboratoire comme sur le terrain, l'impact physiologique d'un tel effort. Il est également difficile d'élaborer un protocole expérimental qui reproduise les conditions de la compétition. Cette difficulté est accrue par le fait qu'il s'agit d'efforts supramaximaux exhaustifs où la motivation constitue un facteur important de la performance. C'est pourquoi, le seul indice utilisé par les différentes études menées sur le terrain pour caractériser la production énergétique anaérobie est la lactatémie c'est-à-dire la concentration de l'acide lactique dans le sang. Le taux d'acide lactique est en effet étroitement lié à la vitesse de course soutenue pendant l'effort (Schnabel et Kindermann, 1979, 1983).

Nous avons utilisé deux tests qui s'appuient sur des indices de nature différente pour mesurer la capacité anaérobie : le test supramaximal de Schnabel et Kindermann (1983) qui est le test de référence lorsqu'on s'intéresse aux coureurs de 400 m de haut niveau puisque c'est le seul test qui a été proposé pour ce type de population. Ce test repose sur la mesure du taux maximal de lactates sanguins. L'autre test s'appuie sur un indice respiratoire : le déficit maximal d'oxygène (DO2 max) (Medbo et al, 1988). Ce test n'a jamais été testé sur une population d'athlètes de haut niveau. Lors de ces deux tests un autre indice a été mesuré : le temps limite qui est le temps d'épuisement à l'effort.

Le but de notre travail est d'essayer de répondre aux questions suivantes :

- les résultats des tests réalisés sur tapis roulant peuvent-ils refléter la performance sur 400 mètres ?
- les paramètres physiologiques retenus lors des tests supramaximaux permettent-ils d'orienter l'entraînement ?

Méthodes

• Sujets :

La population étudiée se compose de 12 athlètes, hommes, d'une moyenne d'âge de 22 ans, spécialistes de course de 400 m plat et 400 m haies. Leurs caractéristiques sont résumées dans le tableau 1. Leurs performances les situent à un niveau national et international. Tous ces athlètes s'entraînent en moyenne cinq fois par semaine.

• Protocole expérimental :

Tous les athlètes ont effectué un test de détermination du VO2 max et deux tests supramaximaux T1 et T2.

- Le test de détermination du VO2 max s'est déroulé peu de temps après la reprise de l'entraînement (octobre).

Tableau 1 : Caractéristiques des sujets *(* performance sur 400 m haies)*

SUJETS (n = 12)	TAILLE (cm)	POIDS (kg)	AGE (ans)	PERFORMANCES (secondes)
B.F	176	64	20	48.15
B.P	182	74	23	47.50
C.C	172	69	20	46.00
D.G	180	66	20	48.92
D.S	186	79	23	48.13*
G.D	182	69	25	48.35
J.A	183	81	24	46.31
J.-C.T	189	84	22	46.58
N.H	187	79	29	47.25
N.D	178	68	23	50.51*
N.R	174	64	21	47.15
R.P	190	78	22	47.09
MOYENNE	**181,6**	**73,09**	**22**	**46.30**
ECART TYPE	**5,82**	**7,11**	**2,57**	

• Le test supramaximal T1 est réalisé sur tapis roulant avec une pente de 7,5 % et une vitesse constante de 22 km.h^{-1}. Il se compose d'une première course dite "courte" de 40 s (inertie de tapis comprise), et d'une seconde course où l'athlète doit "tenir" le plus longtemps possible, c'est-à-dire courir jusqu'à l'épuisement. Ces deux courses sont séparées par une récupération passive de 45 minutes. Avant chaque test, les athlètes effectuent un échauffement composé d'un footing (15 minutes), d'assouplissements, d'étirements et d'accélérations. Toutes les courses (footing, accélérations) sont courues sur le tapis roulant afin de favoriser l'accoutumance au tapis roulant avec et sans pente.

Un prélèvement sanguin est fait au niveau du lobe de l'oreille avant le début du test afin de mesurer la lactatémie de repos puis 3, 5 et 7 minutes après l'arrêt de l'exercice. La fréquence cardiaque est enregistrée pendant toute la durée de l'effort.

Nous avons mesuré, lors de ce test, le pic maximal de lactates sanguins après la course de 40 s (ΔL40) puis après la course allant jusqu'à l'épuisement (Lâ max) et le temps d'épuisement (tlim).

La mesure du temps limite présente plusieurs difficultés, liées à l'instrumentation de mesure, au caractère subjectif de la sensation de fatigue ou encore aux problèmes de coordination motrice dus à la course sur tapis roulant.

Dans notre étude, nous avons tenté de remédier à ces différents problèmes. Tout d'abord, la mesure du temps limite est réalisée à chaque test par le même expérimentateur. Elle est effectuée à vitesse constante indépendamment de l'inertie du tapis roulant pour atteindre la vitesse recherchée. Les sujets sont encouragés oralement par les expérimentateurs et, parfois même par les entraîneurs.

Les paramètres Lâ max et tlim nous ont permis de calculer la vitesse de production du lactate (Lâ max/tlim).

• Le test T2 est une épreuve supramaximale avec une pente de 3 % et une intensité égale à 130 % de Vit max (vitesse atteinte à VO2 max). Il existe aujourd'hui un consensus pour dire qu'un tapis roulant avec une pente de 3 % correspond en fait à des conditions normales de course sur piste et, par là même, sans pente.

Par ailleurs, des pré-tests réalisés avec des athlètes de même niveau que notre population, nous ont permis de déterminer une intensité d'exercice qui épuise les athlètes en au moins 2 minutes, temps nécessaire selon Medbo et al (1988) pour mesurer le déficit maximal d'oxygène.

Le test fait suite au même type d'échauffement que lors du test T1. L'épreuve commence après une période de récupération. La vitesse du tapis roulant est fixée à une intensité égale à 130 % de Vit max. La consommation d'oxygène est mesurée pendant toute la durée de l'effort. Il s'agit alors, pour l'athlète, de courir jusqu'à l'épuisement. Le temps de course est chronométré à partir du moment où le tapis démarre (utilisation d'une cellule photo-électrique).

Un prélèvement sanguin est effectué à l'arrêt de l'exercice puis 3, 5 et 7 minutes après. La fréquence cardiaque est enregistrée pendant toute la durée de l'effort. Le déficit maximal d'oxygène (DO2 max) est exprimé en équivalent d'oxygène (ml 02.kg^{-1}).

Il est obtenu en faisant la différence entre la consommation théorique d'oxygène (02 requis en ml.kg^{-1}) à des intensités supramaximales, ici 130 % de VO2 max, et l'oxygène total réellement consommé pendant tout l'effort (VO2 cumulé en ml.kg^{-1}) *(Figure 1)*.

Le délai séparant les deux tests supramaximaux est compris dans un intervalle de 2 à 5 jours maximum. Les athlètes s'engageaient à n'effectuer que des entraînements légers entre ces deux tests. Les périodes de passage ont été déterminées avec la collaboration des entraîneurs et se sont déroulées en décembre (avant les compétitions en salle).

Tableau 2 : Caractéristiques du métabolisme aérobie chez des coureurs de 400 m - 400 m/haies

Sujets (n = 12)	VO2 Max (ml.kg-1.min-1)	Fc Max (batt.min-1)	Vit Max (km.h-1)	Pic de Lactates (mmol.l-1)
B.F	62,0	205	18,05	10,0
B.P	66,6	195	16,45	9,9
C.C	62,0	205	18,52	11,0
D.G	63,4	181	17,86	13,1
D.S	66,4	208	20,07	12,0
G.D	56,2	181	18,29	10,1
J.A	60,4	201	19,00	10,2
J.-C.T	57,6	182	17,90	9,4
N.H	56,1	189	19,20	9,0
N.D	60,2	203	20,30	13,2
N.R	66,4	197	18,80	15,8
R.P	64,9	186	17,51	12,0
Moyenne	**61,8**	**194,1**	**18,48**	**11,3**
Ecart type	**3,8**	**2,9**	**1,07**	**0,6**

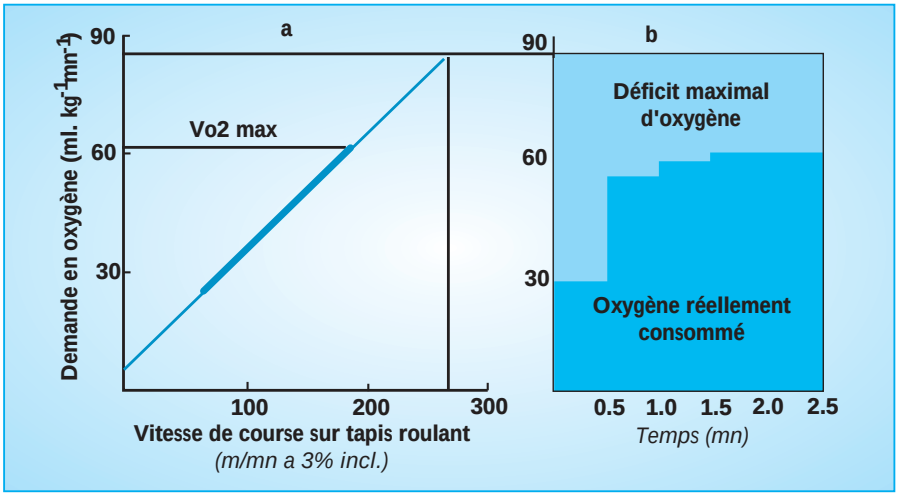


Figure 1 : *Représentation schématique de la procédure de calcul du déficit maximal d'oxygène selon Medbo et al (1988) :*

a) extrapolation de la relation entre la consommation d'oxygène et la vitesse de course sur tapis roulant (vitesses submaximales) ; b) course jusqu'à l'épuisement.

Le DO2 max (partie claire) est la différence entre l'oxygène requis théorique calculé à partir de la droite de regression (a) et l'oxygène réellement consommé pendant l'effort (partie sombre).

Relation entre les indices retenus et la performance sur 400 mètres

Compte tenu de la forte homogénéité de notre population et des performances, les performances réalisées au cours de la saison estivale 1992 sont converties en points d'après la table hongroise (FIFA).

• Relation entre le VO2 max et la performance :

Les valeurs des paramètres respiratoires (VO2 max, fréquence cardiaque maximale, vitesse maximale de course et pic de lactates) mesurées lors du test de détermination du VO2 max, sont indiquées dans le tableau 3.

Nous avons obtenu un VO2 max moyen de 61,8 ± 3,8 ml.kg^{-1}. min^{-1}. Cette valeur est comparable à celles que l'on obtient d'habitude avec ce type de population. Mais elle n'est pas corrélée avec la performance. Cet indice ne permet donc pas de différencier le niveau de performance de ces athlètes.

• Relation entre le DO2 max et la performance :

Les valeurs du DO2 max, indiquées dans le tableau 3, sont en moyenne de 64,9 ml.kg-1 pour un tlim de 98,2 s. Nous n'avons pas observé de corrélation entre le DO2 max et la performance *(tableau 5).* De plus, Medbo, un physiologiste suédois, a obtenu des valeurs de DO2 max semblables avec des groupes de sujets non entraînés. Il apparaît donc que cet indice ne permet pas de différencier les groupes d'athlètes selon leur spécialisation sportive et à fortiori selon leur niveau de performance.

Par contre, on peut distinguer les populations en fonction du temps d'atteinte du DO2 max. En effet, l'étude de la courbe de la consommation d'oxygène pendant l'effort *(Figure 2),* montre que chaque athlète atteint un plateau de consommation d'oxygène à partir de la 44ème seconde. La consommation réelle de chaque athlète reste donc constante jusqu'à la fin du test (plateau jusqu'à l'épuisement).

Comme la consommation théorique est constante puisque la vitesse ne varie pas, on considère que le déficit d'oxygène est lui aussi constant et maximal à partir de 44 secondes. Or chez des sujets non entraînés ou ne suivant pas un entraînement sportif régulier, le DO2 max n'atteint un plateau ou ne devient constant qu'au bout de 2 minutes.

Cette courbe de consommation d'oxygène en fonction du temps d'effort fait également apparaître une sollicitation rapide et importante du métabolisme aérobie jusqu'à des valeurs proches de VO2 max (en moyenne 90,7 %).

Tableau 3 : Evolution des paramètres respiratoires relevés lors du test T2 (test sans une pente, vitesse du tapis égale à 130 % de Vmax).

Sujets (n = 12)	Oxygene consommé cumulé (ml.kg^{-1})	Oxygene requis (ml.kg^{-1})	DO2 max (ml.kg^{-1})	Pic de VO2 (ml.kg l min^{-1})	Pic de VO2 (%VO2max)
X SD	90.66 ± 23.71	155.63 ± 40.21	64.97 ± 20.84	56.01 ± 5.27	90.71 ± 6.73

Tableau 4 : Valeurs moyennes du temps limite (tlim) et des paramètres sanguins (ΔL40, Lâ max, Lâ/tlim) relevées lors des deux tests T1 (avec une pente de 7,5 %, vitesse de 22 km.h-1) et du T2 (sans pente et une vitesse égale à 130 % de VO2 max) pour l'ensemble de la population.

Sujets (n = 12)	Tlim (s)	ΔL40 (mmol.l-1)	Lâ max (mmol.l-1)	Lâ/tlim (mmol.l-1 s.-1)
Test T1 ***X*** SD	118,0 ± 25,19	4,45 ± 1,34	12,71 ± 1,70	0,137 ± 0,03
- **Test T2** ***X*** SD	98,2 ± 16,56		12,00 ± 2,31	0,144 ± 0,03

*(la différence entre les deux est significative pour * P<0.05, ** P<0.025, *** P<0.01).*

Figure 2 : Courbe de la consommation moyenne d'oxygène en fonction du temps limite enregistré lors du test (T2) (consommation moyenne d'oxygène ; écart type).

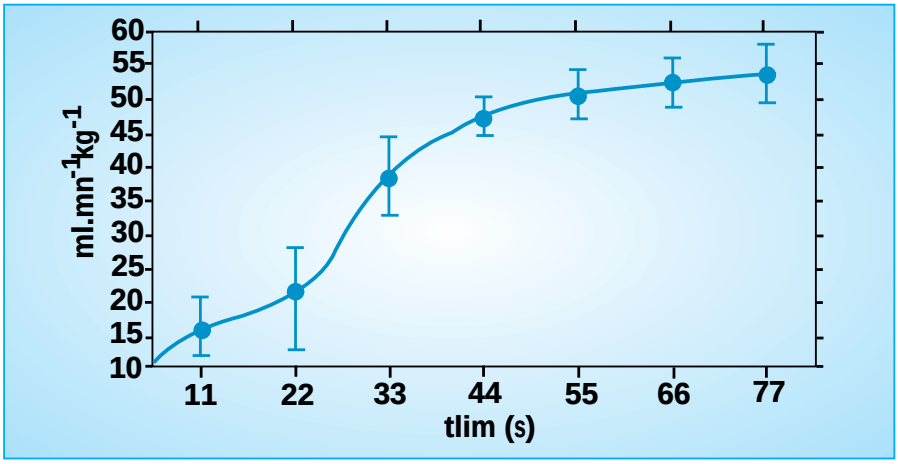


Tableau 5 : corrélations entre la performance et les paramètres retenus lors des test de laboratoire.

Variables corrélées (y)	Corrélation (r)
VO2 cumulé	0.17
tlim T2	0.22
Pic VO2 (%)	0.24
VO2	– 0.29
Lâ max/tlim T2	– 0.40
Lâ max T2	– 0.41
VO2 max	– 0.42
Lâ max T1	– 0.54
tlim T1	0.44
ΔL40	– 0.74 P<0.01
DO2 max	0.44
Lâ max/tlim T2	– 0.88 P<0.01

• Relation entre le taux de lactates et la performance

Les valeurs moyennes de lactatémie (Lâ max) pour les tests T1 et T2 sont respectivement de 12,00 ± 2,31 et 12,71 ± 1,70 mmol.l-1 *(tableau 4).* Cette différence n'est pas significative entre les deux tests. Les valeurs de ΔL40 (pic de lactate maximal après la course de 40 s) enregistrées lors du test T1 sont de 4,45 mmol.l-1.

Dans notre étude, seuls les paramètres L40 et Lâ/tlim (vitesse de production du lactate) sont liés à la performance *(tableau 5).* On constate qu'à une vitesse de course constante de 22 km.h-1 (pente 7,5 %), et dans un temps donné (40 secondes), les athlètes les plus performants ont la production la plus faible de lactates. Ainsi, par exemple, le meilleur athlète de la population, DS, produit le taux le plus faible de lactates 2,70 mmol.l-1. Cet indice permet donc de différencier les athlètes selon leur niveau de performance.

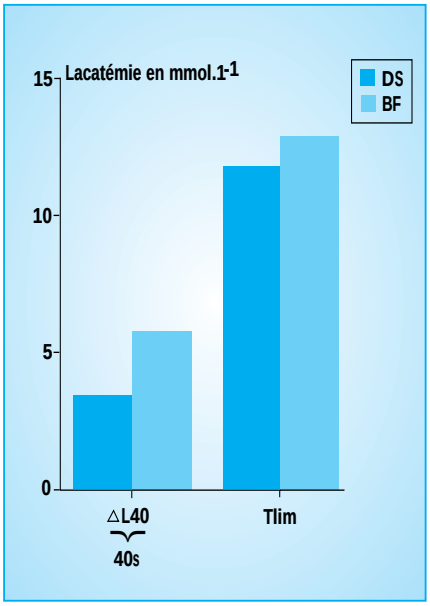
On peut penser que les coureurs de 400 m les plus performants produisent moins de lactates au début de l'épreuve du fait d'une sollicitation rapide du métabolisme aérobie. Mais les résultats lors du test T2 infirment cette hypothèse. En effet, nous avons vu à partir de l'étude des paramètres respiratoires, qu'en 40 secondes, la plupart des athlètes n'avaient pas atteint leur consommation maximale d'oxygène (plateau de consommation). Il semble donc qu'une sollicitation immédiate et plus grande du métabolisme anaérobie alactique (réserves de phosphagènes) soit la cause de cette faible production de lactates chez les meilleurs athlètes. Les athlètes les plus performants sur 400 m ont donc une capacité alactique plus importante. Ces résultats sont en accord avec ceux de Schnabel et Kindermann (1983). Selon Rehunen et al. (1982), ceci ne serait pas dû à l'augmentation de la teneur du muscle en phosphocréatine mais plutôt à une meilleure aptitude à utiliser la phosphocréatine des fibres de type I.

Par ailleurs, nous constatons que les athlètes les plus performants ont une lactatémie maximale identique aux autres athlètes après une course jusqu'à épuisement. Mais cette lactatémie maximale semble évoluer différemment puisqu'ils produisent moins de lactates au temps 40 s (ΔL40) *(Figure 3).* Il semble donc que la vitesse de production du lactate soit plus élevée chez les meilleurs athlètes puisqu'ils "rattrapent" les autres.

De plus, la vitesse de production de lactate (Lâ/tlim) étant corrélée avec la performance, on peut effectivement penser qu'il y a un effet retardé de l'apparition de lactates par l'utilisation plus importante des phosphagènes.

Ces athlètes sont donc capables de solliciter de façon importante leur métabolisme anaérobie alactique.

Figure 3 : Comparaison des pics de lactatémie lors des deux épreuves du test T2 pour deux sujets DS et BF.



Il faut souligner que lors de cette période de tests, l'ensemble des athlètes faisaient des séances de côtes (sur distance de 250 m) et, parallèlement à ces séances, certaines athlètes (les plus performants) effectuaient également un gros travail de musculation orienté vers un travail de force explosive évoluant par la suite vers de l'endurance explosive. Ce travail de musculation a peut-être favorisé une meilleure sollicitation du système anaérobie chez les athlètes les plus performants. Ce travail de musculation n'influence pas le Lâ max puisqu'aucune différence significative n'apparaît entre les athlètes.

En conclusion, au vu de nos résultats, les qualités de puissance semblent caractériser les athlètes d'un haut niveau de performance. Aussi, on peut penser qu'un entraînement spécifique au 400 m doit être orienté vers un travail de puissance avec ce type de population. Malheureusement, il n'a pas été possible d'étudier l'effet de l'entraînement sur la capacité anaérobie car il est difficile d'isoler tous les facteurs de la performance. Néanmoins, plusieurs tendances sont à dégager, qui peuvent avoir une influence sur le type d'entraînement suivi.

Bien que la consommation maximale d'oxygène ne soit pas un indice discriminant, l'étude de l'évolution de la consommation d'oxygène pendant un effort supramaximal permet néanmoins de caractériser une population de haut niveau. Les athlètes à ce niveau de performance sollicitent rapidement et de façon importante le métabolisme aérobie. En effet, ils atteignent un pic de consommation maximale d'oxygène dès la première minute d'effort. Cela nous semble justifier chez ce type de coureurs des procédures d'entraînement telles que le travail de côtes sur des distances relativement courtes.

Enfin, le taux maximal de lactate ne constitue pas un indice pertinent puisque quelle que soit la pente du tapis, il n'y a pas de relation avec la performance. Par contre, la lactatémie obtenue après une course de 40 secondes (pente de 7,5 % et une vitesse de 22 km.h-1) permet de différencier le niveau de performance puisque les meilleurs athlètes produisent peu de lactates. Peut-être faut-il voir ici un effet du type d'entraînement suivi.

On peut donc penser qu'un entraînement spécifique sur 400 mètres doit être orienté vers un travail de puissance.

Adresse pour correspondance :

Heugas A.M., UFR Staps Paris V, 1 rue Lacretelle - 75015 Paris

BIBLIOGRAPHIE

• Hermansen L, Mdebo (1984)
The relative significance of aerobic and anaerobic processes during maximal exercise of short duration. In Marconnet et al. (Eds) Med and sports sci : physiological chemistry of training and detraining 17:56-57

• Heugas AM, Brisswalter J, Legros P (accepté, à paraître ; 1995)
Evaluation de la capacité anaérobie à partir du déficit maximal d'oxygène chez des sprinters d'un haut niveau de performance. Sciences et sports

• Heugas AM (1993)
Evaluation du potentiel énergétique des coureurs de 400 mètres de haut niveau : relation entre les résultats des tests de laboratoire et la performance sur le terrain. Diplôme INSEP

• Lacour JR (1992)
Aspects énergétiques du métabolisme anaérobie. In Biologie de l'exercice musculaire Ed Masson

• Medbo JI, Mohn AC, Tabata I, Bahr R, Vaage O, Sejersted OM (1988)
Anaerobic capacity determined by accumulated O2 deficit. J appl physiol 64 : 50-60

• Schnabel A, Kindermann W (1983)
Assessment of anaerobic capacity in runners. Eur J appl Physiol 89 : 191-201.