



## Lactates : « mode d'emploi ».

### INFO DOCUMENT :

Édité par le Département Sportif et Scientifique de la F.F.S

1<sup>ère</sup> version : septembre 2001 - Remise à jour : juillet 2002

Groupe de travail : Nicolas Coulmy, Laurent Schmitt, Marie Philippe Rousseaux Blanchi, Samuel Vergès.

## 1. INTRODUCTION

L'utilisation de la mesure de concentration sanguine de lactate (lactatémie) comme moyen d'évaluation et de contrôle de l'exercice physique est maintenant répandue dans le milieu sportif.

La complexité de la régulation du métabolisme du lactate a amené notamment un grand nombre d'auteurs à définir des paramètres pour préciser la notion de seuil lactique.

Ce document de synthèse a pour objectif de rappeler les bases théoriques des processus énergétiques qui sous-tendent le métabolisme du lactate et de re-préciser ainsi l'intérêt mais aussi les limites de la lactatémie utilisée comme aide au suivi de l'entraînement.

## 2. RAPPELS THEORIQUES

**Qu'est-ce que le « lactate », « l'acide lactique » ? Comment est-il produit ? Dans quelles conditions ?**

Lactates et acide lactique sont les étapes finales de la glycolyse anaérobie (schéma 1) dont les

substrats (♦) énergétiques sont le glucose et le glycogène ( $C_6H_{12}O_6$ ) et  $n(C_6H_{12}O_6)$ .

Afin de produire de l'énergie, ils doivent passer par le stade de G6P (Glucose -6-Phosphate).

La glycolyse commence au stade du G6P ; elle s'achève par la formation d'acide pyruvique alors que les ions  $H^+$  (♦♦) produits sont pris en charge par des transporteurs spécifiques le NAD -Nicotinamide Adénine Dinucléotide- ( $NAD + H^+ = NADH^+$ ).

**Les différentes étapes qui constituent la glycolyse ne nécessitent pas d'oxygène et permettent une production d'énergie.**

Suite à la glycolyse, l'acide pyruvique et les  $NADH^+$  produits peuvent s'engager dans deux voies différentes :

Lorsque la glycolyse est peu sollicitée, les  $NADH^+$  sont en quantité suffisante pour transporter tous les protons ( $NADH^+$ ) dans la mitochondrie. L'acide pyruvique, en se transformant en acétyl-Coenzyme A (acétyl-CoA) pénètre dans la

(♦) *Substrat* : substance chimique sur laquelle agit spécifiquement une enzyme.

(♦♦) *Rappel* : La concentration d'  $H^+$  caractérise le niveau d'acidité du milieu :  $pH = -\log(H^+)$



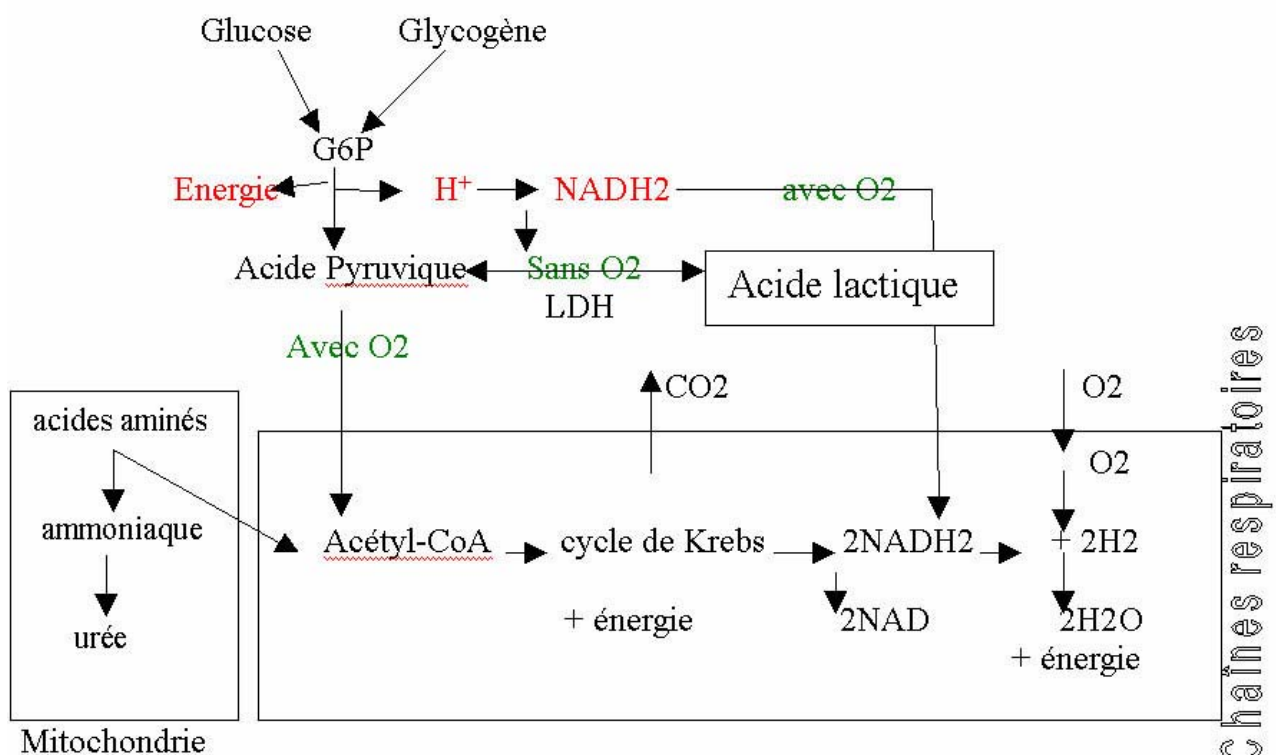
mitochondrie, et par le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire va produire de l'eau et de l'énergie (dont environ 25% seront utilisées pour la reconstitution de l'Adénosine Tri Phosphate musculaire).

Lorsque la vitesse de la glycolyse augmente, la production importante d'acide pyruvique et de NADH va entraîner la formation d'acide lactique ( $C_3H_6O_3$ ), car la capacité de prise en charge mitochondriale des NADH est dépassée.

- Acide lactique et lactate sont deux composés distincts. Au pH physiologique, il est

$H^+$ . Lorsqu'un ion  $H^+$  quitte l'acide lactique, il est remplacé par  $Na^+$  ou  $K^+$  pour former un sel et forme du lactate. Comme l'acide lactique se dissocie très rapidement de l'ion  $H^+$ , lactate et acide lactique sont deux termes souvent confondus.

- Par l'action de la LDH (enzyme lactate déshydrogénase), l'acide lactique peut se retransformer en acide pyruvique pour être utilisé alors comme substrat énergétique (lorsque l'intensité de l'exercice diminue et que les transporteurs de protons (NAD) peuvent amener tous les ions  $H^+$  dans la



entièrement dissocié en ion lactate et en ion

mitochondrie).

SCHEMA 1 : SITUATION DE LA GLYCOLYSE AU SEIN DU METABOLISME ENERGETIQUE

- Un des facteurs essentiels limitant la durée de l'exercice à haute intensité est l'accumulation de lactate et surtout de  $H^+$  dans les muscles et les liquides de l'organisme. Cette accumulation altère le fonctionnement enzymatique lors de la glycolyse, les échanges d'ions lors de la contraction musculaire et du déplacement de l'influx nerveux.
- Lorsque l'exercice augmente en intensité et en durée une accumulation sanguine d'ion ammonium peut apparaître par désamination de l'Adénosine Mono Phosphate en Inosine Mono Phosphate et  $NH_3$  (« voie rapide de dégradation de l'ATP »). L'épuration de l'ammoniac dans

l'organisme dépend fortement du foie mais le rein joue un rôle significatif dans l'élimination de l'urée provenant de la dégradation de l'ammoniac. L'accumulation de ce métabolite à l'exercice est associée à l'apparition de la fatigue par des mécanismes différents (Brouns et al, 1990) :

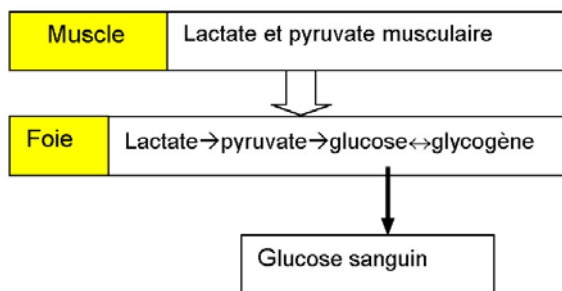
- Stimulation de la glycolyse
- Inhibition du métabolisme oxydatif et de la néoglucogénèse.

**En résumé : La production d'acide lactique est le témoin de l'intervention de la glycolyse anaérobie dans la production énergétique de reconstitution de l'ATP. Le sang ne représente qu'une zone de transition pour le lactate (Théorie des navettes de Brooks). La lactatémie (concentration de lactate dans le sang) est un reflet de la réalité cellulaire ; il s'agit en fait de la résultante de la différence du débit d'apparition et du débit d'élimination du lactate dans le compartiment sanguin.**

## 2.1. Devenir de l'acide lactique musculaire (clairance)

A l'issue de sa production musculaire, le lactate peut atteindre le compartiment sanguin et gagner différents organes ou diffuser dans les cellules voisines :

Le foie : permet la resynthèse de glucose à partir de l'acide lactique. C'est le cycle de Cori qui peut être induit par l'entraînement :



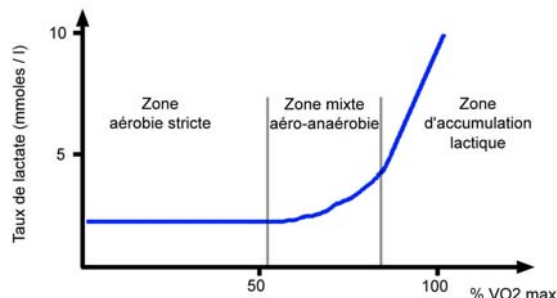
- Le cœur : riche en isoenzyme H de la Lactico-déshydrogénase (LDH), il permet d'oxyder l'acide lactique en acide pyruvique.

⇒ **L'intérêt des récupérations actives avec une fréquence cardiaque suffisamment élevée (60% FC Max) prend ici toute son importance même si l'élimination du lactate par cette voie ne correspondrait qu'à 10 % de l'élimination totale.**

- Les fibres oxydatives des muscles ou des zones du muscle moins sollicitées qui participent au catabolisme du lactate pour l'utiliser en tant que substrat énergétique. Ce sont ces deux dernières voies oxydatives d'élimination du lactate qui sont quantitativement les plus importantes.
- Le rein : si le lactate peut être excrété de manière peu importante dans l'urine et la sueur, son utilisation comme substrat au niveau des reins est plus important. Ainsi, la quantité de lactate retrouvée dans les urines est quasi nulle jusqu'à des lactatémies de 10mmol/l. Par contre, la particularité du rein au niveau du métabolisme du lactate est qu'il est un site où peut avoir lieu la néoglucogénèse (resynthèse d'unité glucidique à partir

d'intermédiaire métabolique), même si quantitativement la transformation du lactate en glucose au niveau du rein est très inférieure à celle du foie.

## 2.2. Relation entre lactatémie et intensité de l'exercice, la notion de « seuils lactiques ».



SCHEMA 2 : EXEMPLE THEORIQUE DE CINETIQUE DE LACTATEMIE PAR RAPPORT AU % DE VO<sup>2</sup> MAXIMALE.

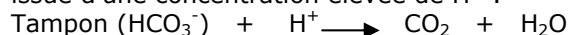
### 2.2.1. Zone aérobie stricte :

Les substrats énergétiques utilisés sont les lipides (jusqu'à 90% pour les sportifs d'endurance) et les glucides. Les ions H<sup>+</sup> libérés lors de la glycolyse sont tous transportés par les systèmes navettes NAD ( sous forme de NADH<sup>+</sup> ) dans la mitochondrie. Les quantités d'acide lactique produites équivalent aux quantités éliminées. La limite supérieure de cette zone d'intensité s'appelle « **seuil lactique** » (LT) « **ou seuil lactique 1 (SL1)** ». A partir de ce niveau d'intensité d'exercice, il va y avoir début d'augmentation de la lactatémie.

### 2.2.2. Zone aéro-anaérobie :

L'intensité de l'exercice augmente, la part d'utilisation de la glycolyse augmente (équilibre dans l'utilisation glucides / lipides), et les systèmes navettes de transport des protons commencent à être dépassés. Les ions H<sup>+</sup> en se combinant à l'acide pyruvique forme de l'acide lactique.

Cette production est limitée par l'intervention des substances tampons (bicarbonate...) qui, en se combinant avec les ions H<sup>+</sup> limitent l'acidose issue d'une concentration élevée de H<sup>+</sup> :



La limite supérieure de cette zone d'intensité d'exercice est appelée selon les auteurs « **seuil d'accumulation d'acide lactique** » (OBLA en anglais), « **seuil lactique** » (LT en anglais) ou « **seuil anaérobie** » (AT en anglais) ou encore « **seuil lactique 2 -SL2-** ».

### 2.2.3. Zone d'accumulation d'acide lactique.

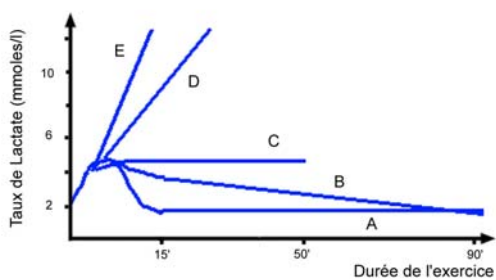
A partir de cette intensité d'exercice, la part d'utilisation de la glycolyse augmente fortement. A partir de 90 % de VO<sup>2</sup> Max (seuil variable

selon les sujets et leur entraînement) seuls les glucides sont utilisés comme substrats énergétiques. Le pouvoir tampon n'arrive plus à limiter la production d'acide lactique. Cette augmentation d'acidité va limiter la durée de l'exercice.

Au seuil d'accumulation lactique la durée de l'exercice à cette puissance est très variable et se situe entre 40 et 60 mn.

Au niveau de  $VO_2$  Max (à la PMA), cette durée moyenne sera voisine de 6 minutes avec une variabilité allant de 4 à 11 minutes.

### 2.3. Evolution de la lactatémie pendant l'exercice à différentes intensités



SCHEMA 3 : EXEMPLE THEORIQUE DE CINETIQUE DE LACTATEMIE SELON PLUSIEURS INTENSITES AU COURS DU TEMPS.

Le schéma 3 montre l'évolution de la lactatémie en fonction de cinq niveaux typiques d'intensité d'exercice au cours du temps (A, B, C, D, E). Ces intensités sont définies par les différents repères physiologiques décrits au chapitre 2.2.

**A :** l'intensité est inférieure (ou égale) au seuil lactique 1 ( LT ) :

Pendant les 15 premières minutes le taux de lactate s'élève puis redescend progressivement pour se stabiliser (lactate précoce). La glycolyse est dominante pendant les premières minutes de l'exercice, avant que la lipolyse se stabilise. Il faut attendre que l'équilibre lipolyse-glycolyse soit atteint, et que les lactates se stabilisent avant de procéder à une mesure de lactates qui puisse être significative du niveau d'intensité de l'exercice (15 minutes après le début de l'exercice ou fin d'entraînement à ce type d'intensité).

**B :** l'intensité est supérieure à LT (SL1) et inférieure à OBLA (SL2) :

La lactatémie en début d'exercice suit la même cinétique, mais ensuite la baisse du taux de lactates est très lente. Ce n'est qu'au bout d'une heure voire plus que la lactatémie sera inférieure à LT. L'intensité de l'exercice étant plus forte, la glycolyse est plus sollicitée, les transporteurs de protons sont au maximum de leur possibilité. Le pouvoir tampon est efficace et lutte contre l'acidose, en faisant progressivement baisser la concentration d'ions  $H^+$ . La part d'utilisation lipidique va aussi augmenter avec la durée de l'exercice.

Une mesure de lactates en fin de séance d'entraînement (1h30' par exemple) ne peut donc pas explorer le fonctionnement physiologique pendant la séance. On ne peut savoir dans ce cas si on a fait une séance inférieure ou supérieure au seuil lactique.

Seule la mesure réalisée 15 minutes après le début de la séance peut permettre d'évaluer le niveau physiologique d'entraînement.

**C :** l'intensité est au niveau du seuil d'accumulation lactique (OBLA) :

La lactatémie s'élève jusqu'au niveau du seuil (dans l'exemple proche de 4 mmoles / l), et se maintient pendant toute la séance aux alentours de cette concentration. Les systèmes navettes (NAD) ne peuvent transporter tous les ions  $H^+$  produits à la mitochondrie, le pouvoir tampon ( $HCO_3^-$ ) est efficace et limite dans une certaine mesure la production d'acide lactique. La fin de la séance est due non pas à une accumulation de  $La^-$ , mais à la baisse des réserves de glycogène musculaire et hépatique qui, en recrutant plus de lipides et surtout les acides aminés branchés -ou ramifiés- (valine, isoleucine, leucine) va engendrer les phénomènes de fatigue et la diminution des capacités de performance. La vitesse de déplacement ne peut plus être maintenue et chute rapidement. La lactatémie baisse alors également.

**D :** l'intensité est supérieure à OBLA, et inférieure à la puissance maximale aérobie (PMA) :

Le pouvoir tampon est dépassé et la lactatémie s'élève très rapidement. Le substrat énergétique utilisé est presque exclusivement composé de glucose et de glycogène.

Les fibres musculaires rapides (IIa et IIb) étant sollicitées de manière importante, la production d'ammoniaque s'élève (cause de fatigue importante). La fin de l'exercice est essentiellement due à une acidité trop importante pour maintenir l'activité musculaire.

**E :** l'intensité est au niveau de la PMA :

Mêmes observations que ci-dessus, mais il faut ajouter que la glycolyse (aérobie et anaérobie) est la principale voie énergétique utilisée (avec



éventuellement la dégradation des acides aminés en complément -Wagenmakers et al., 1990 ; Banister, 1990-). La lactatémie en fin d'exercice est le témoin du niveau de sollicitation de la glycolyse anaérobie.

Lorsque l'athlète est en forme, la lactatémie à la puissance maximale est haute, témoin d'une bonne utilisation de cette voie énergétique (Intérêt d'un entraînement axé sur ce système énergétique.)

Lorsqu'il y a méforme, fatigue ou pour un sujet dont le système anaérobie lactique est peu souvent sollicité, la lactatémie va rester à un niveau moyen ( 4 à 6 mmoles/l ) ce qui témoigne d'une incapacité physiologique à recruter de manière optimale ce système.

## 2.4. Quand et comment mesurer la lactatémie ?

Rappelons que la lactatémie est le résultat de la différence entre apparition et élimination du lactate sanguin. Elle n'est qu'un reflet de la concentration de lactate musculaire (inertie de diffusion lactate musculaire – lactate sanguin : délai de 1 à 2 mn).

### 2.4.1. Lactatémie maximale

Après un exercice d'intensité maximale aérobie ( PMA, compétition ski de fond) ou après un exercice maximal anaérobie lactique (compétition ski alpin).

La lactatémie s'élève très vite et est le témoin de l'utilisation de la glycolyse. Une concentration faible sera liée à une faible production énergétique, à un état de fatigue ou à un sous entraînement de ce système, une concentration importante à une bonne utilisation de ce système et à une bonne « forme » ou un entraînement effectif dans cette filière.

*Le protocole de prise de lactates doit toujours être le même afin de pouvoir effectuer des analyses comparatives.*

Par exemple, la prise de lactates peut être réalisée 3 à 5 minutes après la fin de l'exercice (pic de lactatémie ).

### 2.4.2. Lactatémie en récupération :

La lactatémie sera le témoin de la capacité de l'athlète à éliminer rapidement l'acidose : capacité du pouvoir tampon, système navettes des ions H<sup>+</sup> (NAD), quantité d'O<sub>2</sub> disponible au niveau musculaire, capacités de clairance. En général cela reflète le niveau « d'affûtage » de l'athlète.

La lactatémie effectuée en période de récupération offre un indice d'efficacité de la récupération finale ( par exemple prise de lactate à 3', 6', 10', 30' puis 3 heures après la fin de l'exercice) ou d'une séance spécifique de récupération (récupération active, massage, drainage, Electro-myo-stimulation , LPG ...).

Il est possible de fixer des normes de récupération par exemple pour les skieurs nordiques 40 % de la pente atteint à 15' et 70 % à 30 ` ; pour les skieurs alpins, 20 % à 15' et 60 % à 30 `.

### 2.4.3. Lactatémie à l'entraînement, séances continues :

Toujours la même recommandation : le protocole doit toujours être le même.

Par exemple : prélever 15 minutes après le début de la séance, afin d'évaluer le fonctionnement physiologique au cours de la séance.

Un rapport La-/FC qui augmente peut être le témoin d'une fatigue ou d'un défaut d'acclimatation au cours d'un stage d'altitude.

### 2.4.4. Lactatémie à jeun, le matin :

Elle pourrait être le témoin d'un état de fatigue ou d'une mauvaise acclimatation à l'altitude lorsqu'ils sont en augmentation (intérêt lors des stages longs en altitude).

### 2.4.5. Lactate et exposition au froid.

Quelques études font mention de l'influence du froid sur la lactatémie à l'exercice (Quirion et al., 1988 ; Therminarias et al., 1989). Il apparaît que la concentration de lactate sanguin est diminuée lors d'un exercice en ambiance froide (baisse de l'activité de la LDH) concomitant à une augmentation de la VO<sub>2</sub>. L'interprétation des résultats de lactatémie doit prendre en compte cette variation possible.

### 2.4.6. Lactate et manque de sommeil.

La privation de sommeil totale ou partielle n'a qu'une influence limitée sur la performance aérobie. Il semble au contraire que les exercices sollicitant la glycolyse anaérobie lactique soient perturbés à la suite d'une mauvaise nuit. Une hyper lactatémie à l'exercice aérobie est souvent observée à la suite d'une nuit perturbée (Mougin et coll., 1990) et la performance de type anaérobie diminue.

L'interprétation des résultats de lactatémie devra prendre en compte ce facteur dans le cadre de tests comparatifs longitudinaux ou de décalages horaires perturbants.

## 2.4.7. Lactate et age :

Chez l'enfant pré-pubère ou péri-pubère, le métabolisme de la glycolyse anaérobie lactique n'est pas mature. En effet, la production maximale de lactate est corrélée avec la production de testostérone (Bar Or, 1995) et l'importance de l'activité enzymatique (PFK). Ainsi la lactatémie sanguine et la concentration d'ions H<sup>+</sup> durant la récupération d'un exercice sub-maximal restent considérablement plus bas que chez l'adulte. Le seuil anaérobie de l'enfant est plus proche de VO<sub>2</sub>max que l'adulte.

L'interprétation de résultats de mesures de lactatémie effectuées sur cette population d'âge sont à considérer avec précaution. Leur utilité est d'ailleurs limitée.

## 2.5. Précautions à prendre pour le prélèvement sanguin en vue d'une mesure de lactatémie.

La prise de sang pour l'analyse de la lactatémie, même si le prélèvement sanguin est faible (de 4 à 20 microlitres selon les analyseurs), présente des risques pour la santé de l'athlète et du préleveur.

Afin de limiter au maximum ces risques et de faire un prélèvement de bonne qualité (garantissant une analyse juste du taux de lactates), il est fondamental de respecter les indications suivantes :

- **Lors de l'acquisition, étalonner l'appareil en laboratoire avec un analyseur suivi par un contrôle de qualité ou une analyse par spectrométrie de masse.**
- **Les appareils miniatures commercialisés ont une fiabilité (précision, reproductibilité des mesures,...) parfois faible. Il convient d'avoir un contrôle continu de la qualité de ces appareils.**
- **Garder l'appareil au chaud.**
- **Le préleveur doit porter des gants (protection médicale)**
- **En cas d'utilisation de lancettes : toujours utiliser une lancette neuve**
- **Essuyer et désinfecter le doigt (ou l'oreille) afin d'enlever toute trace de sueur (acide) avant de piquer, mais sans appuyer.**
- **Ne pas presser le doigt (ou l'oreille) afin de faire couler le sang (le résultat serait faux, trop élevé).**

**IMPORTANT :**  
**Toute personne autre que celles autorisées à pratiquer des prélèvements biologiques (médecin, infirmière, ...) ne peut, selon la réglementation en vigueur (loi Huriet), pratiquer ce type d'opération et ce, même dans le cadre du suivi de l'entraînement sportif.**

## BIBLIOGRAPHIE PRINCIPALE :

(Toutes les autres références citées dans le texte sont disponibles auprès du DSS).

- Billat V.L. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training, recommendations for long-distance running, *Sports Med.* 22(3) : 157-175, 1996.
- Brooks GA. Anaerobic threshold : review of the concept and direction of future research, *Med Sci Sports Exerc*, 17 : 22-31, 1985.
- Brooks G.A The lactate shuttle during exercise and recovery, *Med Sci Sports Exerc*, 18 : 360-368, 1986.
- Callier J ; Rouillon JD ; Rieu M ; Magnin P. Le proton : exercice et fatigue, *Science & Sports* 11 : 53-63, 1996.
- Walsh M.L ; Banister E.W. Possible mechanisms of the anaerobic threshold, a review. *Sports Med.* 5 : 269-302, 1988.

## LECTURE CONSEILLÉE :

- Billat V. *Physiologie et méthodologie de l'entraînement, de la théorie à la pratique*, Editions DeBoeck Université, 1998.
- Wilmore J.H ; Costill D.L. *Physiologie du sport. Exercices et activités musculaires*. Editions DeBoeck Université, 1998.

Le Département Sportif et Scientifique de la F.F.S. remercie vivement Jean Denis Rouillon pour sa contribution à la réalisation de ce document

Toute reproduction, même partielle de ce document est interdite sans autorisation du DSS de la Fédération Française de Ski.

INFORMATION :

Les documents « DTN infos » édités par le Département Sportif et Scientifique seront, dès mars 2004, disponibles en téléchargement sur le site de la F.F.S : <http://www.ffs.fr/>.

Pour tous renseignements supplémentaires contactez  
Nicolas Coulmy responsable du DSS : [nicolas.coulmy@ifrance.com](mailto:nicolas.coulmy@ifrance.com)

ou  
[css@ffs.fr](mailto:css@ffs.fr)

Toute reproduction, même partielle de ce document est interdite  
sans autorisation du DSS de la Fédération Française de Ski.

