



# CONGRÈS MONDIAL



*Les modèles bioénergétiques utilisés jusqu'à présent pour les épreuves athlétiques de vitesse, concèdent aux mécanismes alactiques (hydrolyse des phosphates hauts en énergie) une prédominance sur les anaérobies lactiques ou excluent même le rôle de la glycolyse anaérobie, extrême qui n'a pas été prouvé expérimentalement.*

*Au cours de cette étude, un test expérimental progressif fut réalisé sur un groupe de 8 jeunes sprinters. Ceux-ci, à la plus grande vitesse possible, coururent un total de 6 sprints, d'une durée de 4 à 9 secondes, avec une augmentation d'une seconde à chaque sprint et avec des périodes intermédiaires de récupération complète. On préleva du sang sur le lobe hypérémiqne de l'oreille afin de déterminer la concentration de lactate au niveau des capillaires au cours du repos.*

*La plus haute concentration de lactate sanguin, en fonction de la durée du sprint, offre un schéma de type sigmoïde, avec une variabilité inter-individuelle notable. On observe une zone de hausse discrète d'accumulation de lactate au cours des 4-5 secondes initiales ( $X = 3.92 \pm 4.74 \text{ mmol.l}^{-1}$ ), une zone de transition avec un accroissement rapide, portant sur les 7<sup>e</sup> et 8<sup>e</sup> secondes ( $X = 9.15 - 10.63 \text{ mmol.l}^{-1}$ ) et une accumulation asymptotique à partir de ce moment, avec des valeurs élevées de lactacidémie au cours de la 9<sup>e</sup> seconde ( $X = 11.6 \text{ mmol.l}^{-1}$ ).*

*L'existence d'un point d'accroissement rapide de lactate à partir des 5<sup>e</sup> et 6<sup>e</sup> secondes initiales, nous amène à envisager empiriquement l'existence d'un « seuil alactique-lactique » (SAL) qui correspond à certains modèles bioénergétiques et qui peut revêtir certain intérêt dans le domaine de la valorisation fonctionnelle et de l'entraînement des sprinters.*

## Analyse de la transition anaérobie alactico- lactique sur des sprinters moyennant un test de « lactacidémie »

RODRIGUEZ F.A.  
Service de médecine du sport  
Institut Dexeus-Icatme  
MARTIN R.  
Fédération catalane d'athlétisme  
Traduit de l'espagnol par Mme A. Leduc

### INTRODUCTION

Les mécanismes de re-synthèse de l'ATP, pour la contraction musculaire, en situations métaboliques de « transition », c'est-à-dire, en état non stable, peuvent être traduits, selon Di Prampero, par l'équation suivante : (6)

$$\text{ATP} = \text{PC} + \text{bLa} + \text{cVO}_2$$

où PC représente la vitesse d'hydrolyse de la phosphocréatine, bLa la production d'acide lactique et  $\text{cVO}_2$  la consommation d'oxygène.

On admet généralement que, dans le cas d'un exercice de courte durée, la plus grande partie de l'énergie provient du mécanisme alactique et est limité par la capacité d'hydrolyse de l'ATP à cause de l'actomyosine (facteur limitatif de la puissance anaérobie alactique) et les quantités de PC présentes dans le muscle (facteur limitatif de la résistance anaérobie alactique c'est-à-dire de la durée de l'effort dans ces conditions métaboliques prédominantes). Dans un effort intense de quelques secondes, l'équation précédente se transforme en (6) :

$$\text{ATP} = \text{PC}$$

Les réserves d'ATP sont de l'ordre de  $5 \text{ mmol.kg}^{-1}$  de muscles frais et celles de PC sont de  $20 \text{ mmol.kg}^{-1}$  (7). La rapidité d'hydrolyse de l'ATP par l'actomyosine équivaut à environ  $3 \text{ mmol.PC.s}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  de muscle. Un calcul théorique nous permet d'établir que, comme il n'est pas possible d'épuiser les réserves musculaires de

l'ATP et PC complètement (il se produirait un état de « rigor mortis »), le temps maximum durant lequel un individu pourrait développer une puissance similaire se chiffre en 6-7 secondes (3).

Di Prampero (6) estime que le temps maximum d'exploitation du mécanisme anaérobie-alactique, à sa puissance maximum, est de 7.5 s. Fox et Mathews (8) estiment que toute activité physique d'intensité maximum, réalisée dans un temps égal ou inférieur à 6 secondes, exige, en priorité, l'obtention d'énergie de l'hydrolyse des phosphates à haute énergie.

Dans tous les cas, il est évident que la durée d'une épreuve de 100 m (10-11 secondes approximativement, pour les deux sexes, au niveau de l'élite mondiale) requiert nécessairement la participation des deux mécanismes anaérobies.

Le mécanisme aérobie, avec une période de latence au commencement de l'effort d'environ de 8 s et un temps de semi-réaction très long ( $t_{1/2} = 15-20 \text{ s}$ ), apporterait une quantité d'énergie très limitée et, dans tous les cas, non déterminante du rendement (6,9).

Quelques auteurs ont effectué des cal-

culs énergétiques, presque tous basés sur des données provenant de la recherche « in vitro », afin d'estimer la portée du rôle joué par les mécanismes de re-synthèse de l'ATP (tableau 1).

Il en ressort une grande dispersion des valeurs relatives obtenues qui oscillent, pour une épreuve de 100 m, entre 0 et 15 % pour le mécanisme aérobie, et entre 0 et 15 % pour le mécanisme anaérobie lactique. Du point de vue du modèle bioénergétique de rendement pour ces épreuves, de grande implication dans la programmation de l'entraînement, la différence est considérable.

Mader et Col (1) apportent une perspective plus ample, qui tient compte du principe de l'apport continu d'énergie (12). Selon leurs calculs, réalisés par simulation sur ordinateur, sur la base de données de Cavagna et Col (14), ils suggèrent que sur une épreuve de 100 mètres (10.31 s, 9.7 m.s<sup>-1</sup>), l'énergie obtenue au cours des 4-6 premières secondes provient du mécanisme ATP-PC, moment à partir duquel se produit une intense activation de la glycolyse anaérobie (Fig. 1). Ce modèle métabolique n'a pas été prouvé expérimentalement, mais il existe des données qui prouvent l'intense activation de la glycolyse, basées sur la découverte d'accroissements très significatifs de la concentration de lactate plasmatique sur des épreuves de 50 et 100 mètres (6.8 et 8.9 mmol.l<sup>-1</sup> respectivement (3)).

L'objectif de la présente étude est d'obtenir des informations expérimentales sur la dynamique de l'activation de la glycolyse anaérobie, en fonction de la durée du sprint, et d'analyser la transition anaérobie alactique-lactique par un test « sur le terrain » basé sur des techniques de détermination de la lactacidémie.

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

Un groupe de 8 jeunes sujets (17-22 ans), athlètes pratiquant des épreuves de vitesse sur distances courtes, (100 m, 200 m, et 110 m haies), à niveau national, dans les catégories junior et/ou senior, ont pris part à cette étude. Six sujets sont de sexe masculin et les deux autres de sexe féminin. Tous les participants ont été informés de l'objectif et des méthodes de cette étude et ont exprimé leur consentement.

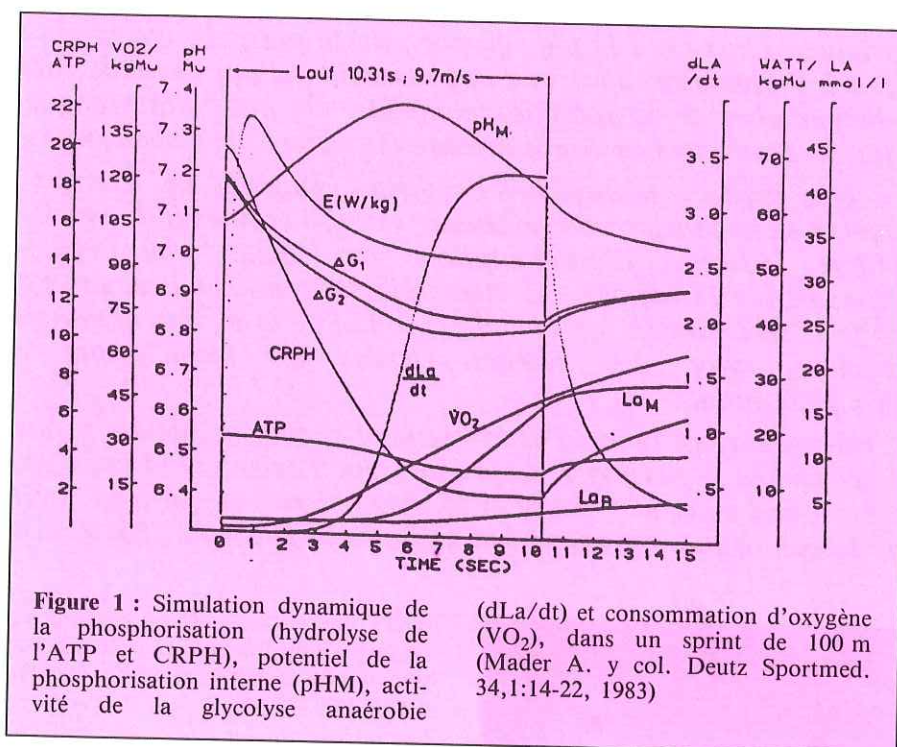
L'expérience s'est déroulée sur une piste d'athlétisme à surface synthétique (Tartan) et sur une ligne droite. Les sujets furent soumis à un entraînement doux la veille des épreuves, suivi, le jour « J », d'un échauffement général et spécifique préalable de 30 à 45 minutes, comme avant toute compétition.

**Tableau 1 :** Participation relative des mécanismes de résynthèse de l'ATP dans les courses de vitesse (100 m)

Auteur	Aérobie %	Anaérobie %	alactique %	lactique %
Astrand et Rodahl, 1977	15	85		
Dal Monte, 1983	0	100		
Fox y Mathews, 1981	0	100		
Keul (1)	2	98		
Arcelli, 1976	0	100	100	0
Volkov (2)	4	96	81	15
Zaciorskij (1)	4	96	81	15

(1) Cité en Vittori et col., 1980

(2) Cité en Proença, 1985.



**Figure 1 :** Simulation dynamique de la phosphorylation (hydrolyse de l'ATP et CRPH), potentiel de la phosphorylation interne (pHM), activité de la glycolyse anaérobie

(dLa/dt) et consommation d'oxygène (VO<sub>2</sub>), dans un sprint de 100 m (Mader A. y col. Deutz Sportmed. 34,1:14-22, 1983)

L'expérience consista en une série de courses, sur distances courtes, à vitesse maximum (sprints), avec un départ arrêté sur starters conventionnels. La durée des épreuves fut de 4 à 9 s avec une seconde supplémentaire à chaque course, de telle sorte que chaque sujet a couru 6 fois (t=4,5,6,7,8,9 s).

Le signal de départ et d'arrêt fut acoustique, au sifflet. La pause entre chaque course fut calculée afin d'obtenir une récupération complète (minimum 10 minutes entre les trois premiers sprints et minimum 15 minutes pour les trois dernières courses). La durée totale de l'expérience pour tous les sujets a été d'environ 90 minutes. La distance parcourue entre les signaux acoustiques, pour chaque course, a été déterminée par méthode visuelle directe et mesurée à l'aide d'un ruban métré, par deux assistants, avec une marge d'erreur de ± 1 mètre.

Immédiatement avant de commencer la série (après l'échauffement) et à la fin de chaque course, on effectua des prélèvements de sang pour analyses de lactate. Sur la base de tests préliminaires, le nombre de prélèvements et les temps de récupération, pour chaque série ont été établis selon le protocole suivant : un prélèvement immédiatement après chaque course (10 à 15 s) et un second au bout d'une minute de repos pour les trois dernières courses, et un troisième au bout de deux minutes pour les deux dernières courses. A la dernière course, on effectua un quatrième prélèvement au bout de trois minutes.

Les échantillons de 0.02 ml de sang capillaire du lobe de l'oreille hyperhémisée avec du « Finalgon » furent obtenus à l'aide de pipettes tubes microcapillaires calibrées (Boehringer-Mannheim RFA) et transférés immédiatement dans des récipients de réaction

Eppendorf de 1,5 ml avec couvercle, contenant 0,2 ml d'acide perchlorique 0,6 N, pour la déprotéinisation, et centrifugé 5 minutes à 15000 r.p.m. Les échantillons furent réfrigérés jusqu'à leur arrivée au laboratoire. La détermination de la concentration de lactate fut réalisée par la semi-microméthode enzymatique proposée par Mader (15), avec le réactif Lactate Test Combination (Boehringer-Mannheim). Pour tous les cas, on a pris en considération la valeur maximum de concentration plasmatique de lactate et on a établi des graphiques en fonction de la durée du sprint entre les signaux acoustiques. Comme information additionnelle, on représenta les valeurs de lactate par des graphiques en fonction de la distance parcourue entre chaque série.

## RÉSULTATS

Sur le tableau 2, sont représentées les valeurs de concentration plasmatique de lactate, pour chaque sujet, les valeurs moyennes et la déviation typique pour le groupe de sujets étudiés, ainsi que l'augmentation du lactate (LAC) au cours de chaque sprint. La valeur moyenne de repos, après l'échauffement, est de 2.19 mmol.l<sup>-1</sup> (±0.52). La concentration maximum de lactate sanguin (11,60 mmol.l<sup>-1</sup> (±1.25) est obtenue, après une course de 9 secondes, et elle ne laisse aucun doute sur l'intense activation de la glycolyse anaérobie.

Sur la figure 2, on peut observer l'évolution de la concentration plasmatique du lactate (mmol.l<sup>-1</sup>), exprimée en valeurs moyennes (±1s), en fonction de la durée du sprint, entre 4 et 9 s. La fonction ainsi obtenue est de type sigmoïde, avec une première phase de croissance discrète du lactate plasmatique (4-5 s),  $\bar{x}$  = 3.92-4.74 mmol.l<sup>-1</sup> ; une seconde phase d'élévation rapide jusqu'à la 6<sup>e</sup> et 7<sup>e</sup> secondes ( $\bar{x}$  = 9.15-10.63 mmol.l<sup>-1</sup>), et une troisième phase d'accumulation, plus modérée, à partir des 7<sup>e</sup> et 8<sup>e</sup> secondes de sprint (jusqu'à 11.6 mmol.l<sup>-1</sup> au sprint de 9 secondes).

Sur la figure 3, sont représentées les valeurs maxima individuelles de lactate en fonction du temps de durée de chaque sprint. On observe une constante dans le type de fonction et une variabilité individuelle notable quant au point où commence l'élévation rapide du lactate. A ce point, par similitude avec ce qui arrive dans la transition aérobie anaérobie (voir discussion), a été appelé « seuil alactique-lactique » (SAL). Cette variabilité se reflète également dans la dispersion maximum par rapport aux valeurs moyennes, qui se produit à partir du sprint de 5 secondes (voir tableau 1 et Fig. 2). Le temps

**Tableau 2 :** Concentration plasmatique maximum de lactate dans chaque sprint, selon sa durée

Sujet (F = fem.)	lactate (mmol.l <sup>-1</sup> )						
	Basal	4 s	5 s	6 s	7 s	8 s	9 s
1 (F)	1.42	1.92	3.03	4.46	8.10	11.31	12.21
2	1.90	3.39	3.99	4.56	7.46	8.64	10.28
3	2.32	4.31	5.21	7.56	11.45	11.95	12.28
4	2.14	4.03	4.53	8.78	9.21	10.71	11.40
5	1.98	3.53	4.64	7.31	9.74	11.70	12.10
6	2.95	4.96	5.81	7.85	9.31	10.99	12.98
7	2.89	4.92	6.17	6.56	10.60	11.49	12.34
8 (F)	1.94	4.31	4.50	5.78	7.35	8.21	9.24
x	2.19	3.92	4.74	6.61	9.15	10.63	11.60
sd	.52	.99	1.00	1.57	1.46	1.42	1.25
Δ LAC (x)	—	(1.73)	.82	1.87	2.54	1.48	.97

## MATÉRIEL ET MÉTHODES

### Sujets

- Sprinters (n = 8), 2 femmes
- Age. 17 à 22 ans
- Spécialistes de sprint (100, 200, et 110 haies)
- Niveau national junior et/ou senior.

### Méthodes

- Vitesse maximum sur tartan, départ arrêté
- Durée : t = 4, 5, 6, 7, 8 et 9 s
- Récup. : minimum 10 mn (t = 4, 5, 6), et 15 mn (t = 7, 8, 9)
- prise de lactate (LAC) :  
LAC1 (immédiate = 10-15 s)  
LAC2 (1 mn, en t = 7, 8, 9)  
LAC3 (2 mn, en t = 8, 9)  
LAC4 (3 mn, en t = 9)

