

La notion de transition aérobie - anaérobie

Sources : *Biologie de l'exercice musculaire*. J.R. Lacour. Masson, Paris, 1992.
Au nom du seuil, je vous arrête. Denis Riché, in *Sport et Vie* n° 44, 1997.
Physiologie et méthodologie de l'entraînement. Véronique Billat. DeBoeck Université, Paris, Bruxelles, 1998.
Comment faire parler l'acide lactique. Antoine Vayer, in *Sport et Vie* n° 61, 2000.
Physiologie de l'exercice musculaire. G.Millet, S.Perrey, Ellipses, Paris, 2005.

I. Définition

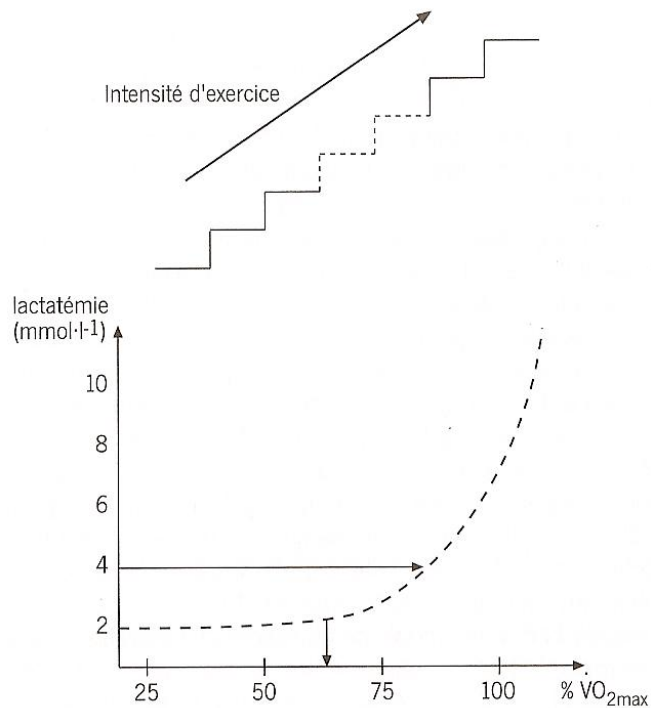
La consommation maximale d'oxygène ne peut être maintenue qu'un temps limité, de 4 à 12 minutes selon l'aptitude, et en moyenne autour de 6 min. C'est dans l'accumulation d'acide lactique qu'il faut voir les raisons de cette limitation dans le temps (cette accumulation s'accompagne d'une baisse du pH sanguin et musculaire par une augmentation de proton H^+ , ce qui perturbe les contractions musculaires). En effet, l'intensité d'exercice correspondant à VO_2max est une intensité où l'on observe une augmentation continue de la production d'acide lactique. Cette augmentation va rapidement provoquer une fatigue musculaire rendant la poursuite de l'exercice impossible au même niveau d'intensité.

La question qui se pose alors est de repérer l'intensité de l'effort au-delà de laquelle on s'épuise rapidement par accumulation d'acide lactique dans l'organisme. La notion de transition aérobie – anaérobie a été proposée pour rendre intelligible ce niveau d'intensité : il s'agit de l'intensité de travail à partir de laquelle la contribution du métabolisme anaérobie à la fourniture d'énergie augmente rapidement, avec une augmentation très marquée des concentrations sanguines en acide lactique. Deux points d'inflexion de l'évolution de la lactatémie en fonction de la puissance de l'exercice délimitent cette zone : → **le seuil aérobie** ou seuil lactique 1 (seuil d'apparition des lactates) ou seuil ventilatoire 1, qui correspondrait à une lactatémie égale à 2 mmol.l^{-1} ,

et → **le seuil anaérobie**, ou seuil lactique 2 (seuil d'accumulation des lactates) ou seuil ventilatoire 2, qui correspondrait à une lactatémie égale à 4 mmol.l^{-1} (d'après Keul et al., 1978 ; Kinderman et al., 1979). Notons que le seuil lactique sanguin n'est que le reflet du seuil lactique musculaire.

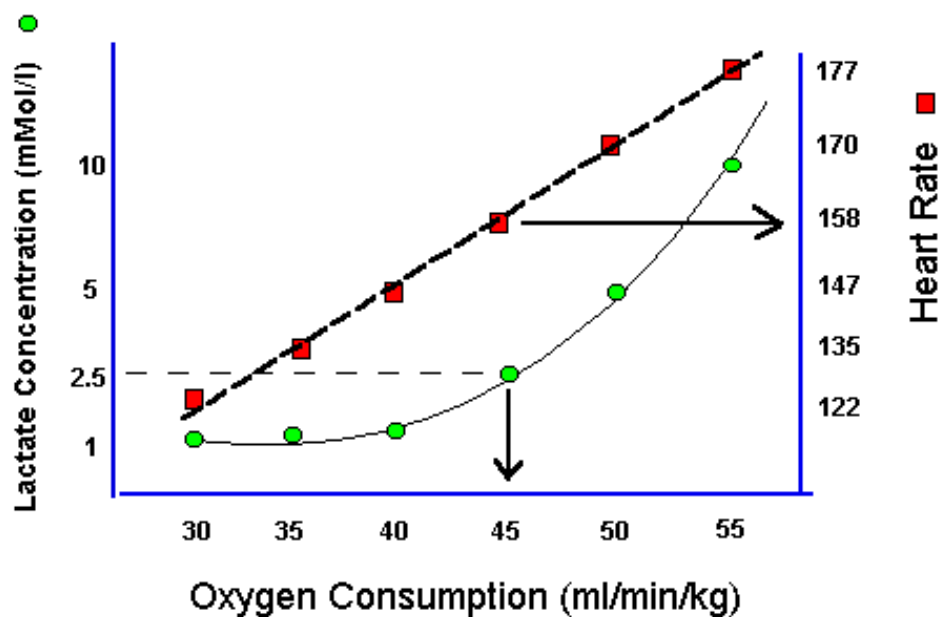
Passé le seuil anaérobie (seuil lactique 2, seuil ventilatoire 2), l'équilibre est rompu entre la vitesse de production et la vitesse d'élimination de l'acide lactique dans l'organisme. Dès lors, le sportif ne pourra pas maintenir sa puissance d'exercice au même niveau très longtemps (il est « dans le rouge »). Notons que la valeur de 4 mmol.l^{-1} correspond à une moyenne statistique et ne tient pas compte des différences interindividuelles, elle est donc largement remise en question aujourd'hui.

Mais si l'intensité de l'exercice se situe en-deçà du seuil anaérobie, l'effort pourra être maintenu à la même intensité beaucoup plus longtemps. D'autres paramètres interviendront alors pour limiter le maintien de la puissance d'exercice sur la durée (les réserves en glycogène musculaire ou les capacités de thermorégulation).



Les flèches représentent le seuil de 4 mmol.l^{-1} et le début de l'augmentation du lactate sanguin vers 60 % de max.

Figure 2-12. Évolution de la concentration du lactate sanguin lors d'un test incrémental mené jusqu'à $\dot{V}O_{2\text{max}}$



II. Valeurs

Sédentaire : seuil anaérobie vers 50% de $\dot{V}O_{2\text{max}}$.

Donc si $\dot{V}O_{2\text{max}} = 44 \text{ ml/min/kg}$, le seuil anaérobie correspond à une consommation d'oxygène de $22 \text{ ml.min.kg}^{-1}$.

Fréquence cardiaque au seuil = environ 150 rpm (chez un sujet de 20 ans).

Vitesse de course au seuil anaérobie = environ 10 km/h.

Coureur de fond de niveau régional : seuil anaérobie vers 80% de VO₂max

Donc si VO₂max = 70 ml.min.kg⁻¹, le seuil anaérobie correspond à une consommation d'oxygène de 56 ml/min/kg/

Fréquence cardiaque au seuil = environ 175 rpm.

Vitesse de course au seuil anaérobie = environ 17-18 km/h.

Sportif de haut niveau dans une discipline d'endurance : seuil anaérobie vers 90% de VO₂max.

Donc si VO₂max = 86 ml.min.kg⁻¹, le seuil anaérobie correspond à une consommation d'oxygène de 77 ml/min/kg.

Fréquence cardiaque au seuil = environ 185 rpm.

Vitesse de course au seuil anaérobie = environ 20 km/h.

Exemples avec 3 coureurs cyclistes amateurs : un coureur de niveau national et deux coureurs de niveau régional.

B.L. (26ans, 55 kg) : VO₂max = 4,51 l.min⁻¹ = 81 ml/min/kg.

PMA = 456 W,

FC max = 202 rpm,

Seuil anaérobie = 3,8 l.min⁻¹ = 69 ml/min/kg,

Puissance au seuil anaérobie = 396 W,

FC au seuil anaérobie = 189 rpm,

Seuil anaérobie = 84% de VO₂max.

S.G. (22ans, 67 kg) : VO₂max = 4,32 l.min⁻¹ = 69 ml/min/kg,

PMA = 453 W,

FC max = 184 rpm,

Seuil anaérobie = 3,5 l.min⁻¹ = 52 ml/min/kg,

Puissance au seuil anaérobie = 326 W,

FC au seuil anaérobie = 162 rpm,

Seuil anaérobie = 81% de VO₂max.

S.V. (23 ans, 61 kg) : VO₂max = 4,2 l.min⁻¹ = 68,5 ml/min/kg,

PMA = 398 W,

FC max = 189 rpm,

Seuil anaérobie = 3,4 l.min⁻¹ = 55,7 ml/min/kg,

Puissance au seuil anaérobie = 290 W,

FC au seuil anaérobie = 171 rpm,

Seuil anaérobie = 81% de VO₂max.

Selon Peter Keen, entraîneur de Chris Boardman, celui-ci aurait utilisé plus de 92% de VO₂max lors de son record de l'heure de 56,375 km.

III. Zone de transition et performance

Les étroites corrélations qui unissent l'intensité de l'exercice au niveau du seuil anaérobie et la performance à l'exercice de moyenne et de longue durée confèrent à cette notion un intérêt de premier ordre. En effet, plus la zone de transition est élevée, et plus la performance est bonne. Les corrélations obtenues avec la performance sont plus étroites que celles que l'on obtient à partir de VO₂max dès que la durée de l'effort dépasse 30 min.

La notion de transition aérobie – anaérobie détermine **l'endurance aérobie**, c'est à dire la capacité d'un organisme à maintenir un pourcentage élevé de sa consommation maximale d'oxygène

le plus longtemps possible. Un écart de quelques % entre deux sportifs constitue pour celui qui dispose du seuil anaérobie le plus élevé un atout considérable.

IV. Influences de l'entraînement

Le seuil anaérobie évolue de manière importante avec l'entraînement : chez l'adulte, c'est un paramètre plus sensible aux influences de l'entraînement que ne l'est la consommation maximale d'oxygène. Les améliorations obtenues sont en effet de 40% en moyenne (contre environ 15-20% pour $VO_2\text{max}$).

Il est possible d'assister à une amélioration de la performance en endurance sans augmentation de $VO_2\text{max}$ à condition que le seuil anaérobie s'élève. Lorsqu'un entraînement détermine un effet à la fois sur $VO_2\text{max}$ et sur la zone de transition, c'est sur cette dernière que l'effet le plus marqué sera le plus souvent observé.

L'intensité de l'entraînement doit être au moins égale à celle du seuil anaérobie pour observer une amélioration du potentiel aérobie (l'entraînement au niveau du seuil anaérobie va surtout améliorer la zone de transition, alors que l'entraînement au-dessus de ce seuil va surtout améliorer la consommation maximale d'oxygène). Pour Kinderman (1979), un entraînement au niveau du seuil aérobie entretient la condition physique des sujets, alors qu'un travail au niveau du seuil anaérobie permet l'augmentation de la capacité physique de l'individu. La connaissance de la fréquence cardiaque au seuil anaérobie est d'une grande importance car elle permet d'ajuster l'entraînement et donc de viser des adaptations physiologiques particulières.

V. Signification physiologique de la zone de transition aérobie - anaérobie

A propos de la zone transitionnelle aérobie – anaérobie, H.Monod et R.Flandrois soulignent que « *si ce fait n'est pas contesté, sa signification physiologique reste encore à démontrer* » (Physiologie du sport. Paris, Masson, 1997). Quant à Michel Rieu, il souligne que « *Trop d'incertitudes subsistent encore pour pouvoir accorder au concept de « seuil aérobie – anaérobie » une signification physiologique certaine* » (1986).

Sur les mécanismes explicatifs du seuil anaérobie, voir les hypothèses rassemblées par G.Millet et S.Perrey (*Physiologie de l'exercice musculaire*, Ellipses, Paris, 2005).

VI. Conclusion sur la transition aérobie – anaérobie

La transition aérobie – anaérobie est un très bon critère d'endurance, complémentaire de $VO_2\text{max}$ (elle détermine la capacité à utiliser le % le plus élevé possible de consommation d'oxygène sans accumulation excessive de lactate).

Elle est directement liée à l'aptitude aérobie du muscle.

Elle est plus sensible aux influences de l'entraînement que $VO_2\text{max}$.

Le seuil anaérobie est un paramètre important pour le contrôle de l'entraînement en endurance.

Actuellement, la technique ventilatoire de détermination semble donner des résultats plus fiables que la méthode mesurant l'acide lactique.

L'explication physiologique de cette notion est encore incertaine.