

| | |
|---------------------|---|
| Zeitschrift: | Macolin : revue mensuelle de l'École fédérale de sport de Macolin et Jeunesse + Sport |
| Herausgeber: | École fédérale de sport de Macolin |
| Band: | 53 (1996) |
| Heft: | 6 |
| Artikel: | La science du sport au service de l'éducation physique : VO2 max et étude des effets d'un cycle d'endurance en milieu scolaire (1re partie) |
| Autor: | Billat, Véronique |
| DOI: | https://doi.org/10.5169/seals-998344 |

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

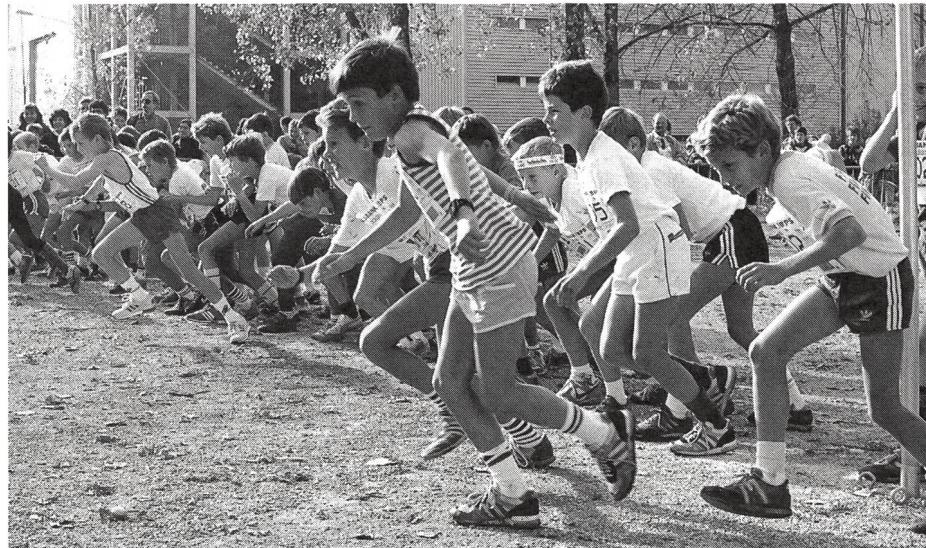
Download PDF: 12.01.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

La science du sport au service de l'éducation physique

VO₂ max et étude des effets d'un cycle d'endurance en milieu scolaire (1^{re} partie)

Véronique Billat, division STAPS, Université Paris XII



La course d'endurance, en athlétisme, demande une approche scientifique afin d'optimaliser la performance individuelle. C'est l'objet de la recherche de l'auteur qui s'est penché sur les méthodes d'entraînement, prenant en compte la vitesse à VO₂ max et la durée de la course à cette vitesse. (Ny)

L'exercice d'endurance connaît un engouement certain, depuis ces vingt dernières années. En France, par exemple, on recense quelques trois millions de coureurs de longue distance et près de 4500 épreuves de courses hors stade recensées dans de véritables «guides Michelin», donnant appréciation sur l'accueil, le parcours, l'organisation etc.

L'athlétisme donne un autre aspect de la pratique de la course d'endurance, plus intense, plus rationnelle, l'aventure humaine passant au second plan. Au regard des articles parus dans la même période au sein de la revue EPS, la connaissance de soi, de ses possibilités physiques, la gestion de celles-ci sont des objectifs clairement annoncés par les auteurs proposant des méthodes dans ce sens. Dans le même temps, la logique de l'activité athlétique, le demi-fond et le cross-country sont au centre du discours qui consiste à paramétriser la distance plutôt que la durée de course. L'environnement de cette pratique (le médecin, l'entraîneur, l'éducateur physique) doit faire face à la demande de conseils d'entraînement que le savoir-faire de terrain impose «par essai et erreur».

Sans rejeter cet empirisme qui a bien souvent inspiré des études plus formalisées, il est indispensable d'asseoir sur

des bases de connaissances plus précises les effets de l'exercice selon la durée et l'intensité de celui-ci, pour à terme, individualiser les charges d'entraînement qui trop souvent ne prennent pas suffisamment en compte l'aptitude physique du sujet et donc, à terme, sa santé. Les données d'entraînement et de leur effet

Véronique Billat, physiologiste, est maître de conférences en sciences et techniques des activités physiques et sportives à l'Université Paris XII. Elle fut internationale universitaire en athlétisme et vainqueur de la course Sierre-Zinal en 1982.

sur le potentiel aérobie de l'enfant qui sont publiées depuis ces 20 dernières années (voir tableau) négligent trop souvent une méthode d'entraînement qui prend en compte, à la fois, la vitesse à VO₂ max (appelée également vitesse maximale aérobie: VMA) et la durée de course à cette vitesse: le temps limite à VMA (tlim VMA). Cette dernière grandeur, peu mesurée, s'avère très différente pour des sportifs ayant pourtant des valeurs similaires de VO₂ max et de VMA. En terme d'exercice d'endurance, cette notion de

temps limite ou temps pendant lequel le sujet est capable de maintenir sa puissance maximale aérobie, est cependant essentielle à connaître pour définir les durées de l'entraînement intermittent. C'est un souci déjà ancien de caractériser le mieux possible la charge d'entraînement en terme d'intensité-durée par rapport aux possibilités du sujet, depuis les travaux de Hill (1927) puis de Taylor et al. (1955) ou d'Astrand (1960), qui les premiers ont défini et montré l'importance de la mesure de la consommation maximale d'oxygène (VO₂ max) pour l'appréciation de l'aptitude aérobie des sujets. Hill (1927) puis d'autres (Monod et Scherrer, 1965; Gleser et Vogel, 1973; Péronnet et Thibault, 1987) ont modélisé la relation intensité-durée de l'exercice qui illustre la mise en jeu de différentes voies métaboliques pour la resynthèse de l'ATP.

Le champ des sciences et techniques des activités physiques et sportives s'inscrit dans la nécessité de faire le lien entre les connaissances expérimentales qui négligent les variables indépendantes (l'exercice et son choix précis) au profit de la minutie apportée à la mesure des variables dépendantes que sont les paramètres physiologiques et leurs modifications. L'apport d'une dimension temporelle qui prend en compte le temps limite individuel à une vitesse donnée et notamment à VMA, permet d'affiner la maîtrise de l'exercice afin d'en mieux cerner les effets immédiats et à long terme.

Que connaît-on du temps d'épuisement à VO₂ max?

• La reproductibilité intra-individuelle du temps limite à VO₂ max

On sait que pour un sujet donné, le temps de maintien de sa consommation maximale d'oxygène (temps limite à 100% (VO₂ max) est reproductible d'une semaine à l'autre dans les mêmes conditions expérimentales (Billat et al., 1994a).

• La variabilité interindividuelle du temps limite à VO₂ max

La variabilité interindividuelle de ce temps limite à VO₂ max est grande puisque le temps limite est compris entre 4 et 11 minutes selon les sportifs, avec une valeur de consommation d'oxygène élevée ($75 \pm 5 \text{ ml.mn}^{-1}.\text{kg}^{-1}$). Le coefficient de variation est de 30% contre 6% pour VO₂ max et VMA.

Chez l'enfant de 14 à 16 ans, Gerbeaux et al. (1993) ont également mis en évidence une grande variabilité du temps limite à 100% de VMA.

• La relation inverse liant le temps limite à VMA et VO₂ max

Il a par ailleurs été montré que le temps limite à VMA avait tendance à être inversement corrélé au VMA (Billat et al., 1994d). Ceci correspond à une notion intuitive selon laquelle les sportifs ayant une consommation maximale d'oxy-

| Age (années) | Taille du groupe (sexe) | Type d'exercice | Intensité (FC bpm) ou vitesse (km/h) | Fréquence hebdomadaire | Durée (semaines) | VO ₂ max ml/min/kg | Δ % VO ₂ max | Auteurs | Remarques |
|--------------|-------------------------|---|---|------------------------|------------------|---|-------------------------|-----------------------------|--|
| 8-9 | 13 F | 800 m | FC max | 1 | 6 | 41,8 | +3,5 | Mocellin & Wasmund, 1973 | Pas de groupe contrôle |
| 8-9 | 11 M | course | FC max | 1 | 6 | 51,8 | +2,1 | | |
| 9-10 | 15 F | 1000 m | 200 | 2 | 7 | 47,3 | +3,4 | Mocellin & Wasmund, 1973 | Pas de groupe contrôle |
| 9-10 | 14 M | course | 194 | 2 | 7 | 54,2 | +3,1 | | |
| 9-10 | 24 F | Course 24 min | Vitesse max sur 24 minutes | 2, 3, 4 | 9 | 50,2 | -1,6 | Bar-Or, 1973 | Pas de groupe contrôle |
| 9-10 | 22 M | et jeux de balle | | 2, 3, 4 | 9 | 44,2 | +4,2 | Bar-Or, 1973 | |
| 8-12 | 16 M et F | *10-35 min de course (2 J); *45 min course et jeux | 185 | 4 | 12 | 55,6 | +7% | Lussier & Buskirk 1977 | Gain de 1,4% du groupe contrôle |
| 9-11 | 11 M et F | *10-35 min saut à la corde (2-3 J) *Jeux de balles (2 J) | 168 | 4-5 | 8 | 42,4 | +0,09 | Benedict et al. (1985) | Pas de groupe contrôle |
| 9-10 | 15 M | Vélo 4 × 4 min | 170-190 | 5 | 8 | 40,5 | +2 | Gatch et Byrd (1979) | Pas de groupe contrôle |
| 11-13 | 9 M | 12 min | 130-140 150-160 170-180 | 3 | 6 | 41 | +11 | Massicotte & Mac Nab (1972) | Seul le groupe entraîné à 170-180 (FC bpm) a un Δ VO ₂ max positif |
| 9-11 | 15 M/F | Natation de 2400 à 8000 m | 75% de la FC de réserve | 4 | 30 | 47,3 | +17 | Vaccaro & Mahon (1989) | Le groupe contrôle augmente son VO ₂ max (ml/min/kg) de 4,6% |
| 8-13 | 12 F | Course lente | ? | 4-5 | 6-12 | 41 | 18,3 | Brown et al. (1972) | Groupe contrôle |
| 11 | 6 M | 45 min course lente | ? | 3 | 6-12 | 40,5 | 10,3 | Ekblöm (1969) | Groupe contrôle |
| 9-11 | 15 M/F | 45 min course lente | ? | 4 | 24 | 42 | 10 | Vaccaro & Clarke (1978) | Groupe contrôle |
| 11-13 | 9 M | 60 min course lente | ? | 3 | 16 | 41 | 16 | Ericksson & Koch (1973) | Pas de groupe contrôle |
| 13 | 13 M | Football | — | 3-5 h hebdo | 24 | 55,7 | 0 | Baxter-Jones et al. (1993) | Pas de groupe contrôle |
| 11,4 | 12 M | Gymnastique | — | 15 h hebdo | 60 | 54,4 | 2,7 | Baxter-Jones et al. (1993) | Pas de groupe contrôle |
| 11,7 | 18 M | Natation | — | 9 h hebdo | 30 | 57,7 | +0,6 | Baxter-Jones et al. (1993) | Pas de groupe contrôle |
| 11,6 | 41 M | Tennis | — | 8 h hebdo | 60 | 54,1 | +1 | Baxter-Jones et al. (1993) | Pas de groupe contrôle |
| 10,2 | 28 M | Course intermittente | FC non précisée *3 × 600 m; R = 2,5 min *5 × 400 m; R = 2 min *6 × 150 m; R = 1,5 min | 3 séances hebdo | 9 | 54,2 vitesse 1 200 m 12,8 km/h avant et 14,3 km/h après | +8 +10% | Rotstein et al. (1986) | Groupe contrôle augmente sa vitesse sur 1200 m et son VO ₂ max de 1,5% (Δ non significatif) |
| 11,8 | 11 M | Football | ? | 3 | 9 | 49,8 | 0 | Berg et al. (1985) | Groupe contrôle |
| 12-13 | 7 M | Course lente et longue | ? | 3 | 12 | ? | FC sous max baisse | Shasby et Hagermann (1975) | Groupe contrôle |
| 10-15 | 14 M coureur | Course lente et longue | ? | 3 | 88 | 42 | 0 | Daniel et Oldridge (1971) | Pas de groupe contrôle |
| 7-9 | 11 M/F | Course lente et longue | 25 min | 4 | 12 | 41 | 0 | Gilliam et Freedson (1980) | Groupe contrôle |
| 10-12 | 13 M | Course | 1-3 min à 90% FC max (R = 1 min) | 4 | 8 | 49,8 | 0 | Stewart et Gutin (1976) | Groupe contrôle |

Tableau: Les principales études expérimentales publiées dans la littérature scientifique concernant l'effet des séances d'entraînement en endurance chez l'enfant.

gène élevée sont ceux qui la maintiennent le moins longtemps. En outre, ce temps de maintien de $\dot{V}O_2$ max est positivement corrélé à la capacité d'utiliser une fraction importante de la consommation maximale d'oxygène (% $\dot{V}O_2$ max) sans accumuler d'acide lactique (Billat et al., 1994c). Les sujets qui ont un temps limite long ont également un seuil d'accumulation d'acide lactique retardé lorsqu'ils accomplissent un exercice à intensité progressivement croissante. Chez l'enfant, Gerbeaux et al. (1992) n'ont pas trouvé de corrélation entre VMA et son temps limite ce qui les a conduits à conclure que «ces deux qualités sont différentes».

Que sait-on des causes d'arrêt d'un exercice dont l'intensité sollicite la consommation maximale d'oxygène ?

Des causes susceptibles d'être évoquées pour rendre compte de cette caractéristique, qu'elles soient cardiaques, ventilatoires, métaboliques, etc., l'une est vraisemblablement au centre de tous les processus physiologiques conduisant à l'arrêt de l'exercice maximal, c'est l'évolution de l'oxygène artériel. On sait depuis Dempsey et al. (1984) puis Williams et al. (1986) et Powers et al. (1988) qu'une relative désaturation artérielle est susceptible de s'installer au niveau de $\dot{V}O_2$ max, mais son importance varie avec les sujets puisque dans l'étude du groupe de Dempsey, par exemple, sur seize sujets sportifs de très haut niveau, huit présentaient des baisses de PaO_2 allant de 20 à 35 mmHg, quatre des baisses plus modestes, alors qu'elles étaient absentes chez les quatre derniers sujets. Les auteurs attribuaient ces modifications, pour l'essentiel, aux réductions des temps de transit pulmonaire, car peu d'éléments permettaient d'avancer d'autres hypothèses à l'origine des anomalies observées. D'autres travaux, dont certains plus récents (Caillaud et al., 1993) apportent des arguments aux hypothèses avancées par Dempsey et al. et soulèvent également l'éventualité d'une hypoventilation alvéolaire relative dans l'apparition de l'hypoxémie.

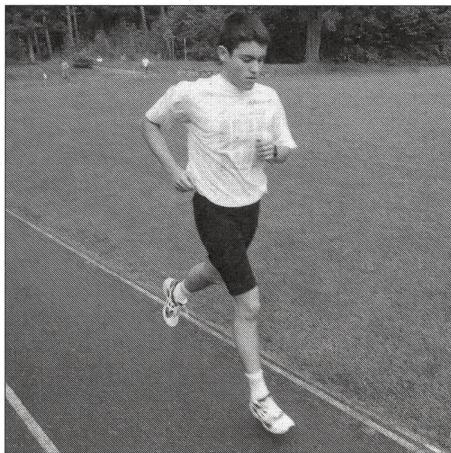
Dans une étude plus récente (Billat et al., 1995), l'hypoxémie induite par l'exercice (HIE) appréciée par une diminution d'au moins 15 mmHg de PaO_2 par rapport à une valeur contrôle mesurée au début de la période de maintien de l'exercice au niveau considéré est confirmée pour des exercices à charges constantes réalisés à 90, 100 et 105% de la puissance que sollicite $\dot{V}O_2$ max, mais avec une variabilité individuelle superposable à celle soulignée par les différents auteurs. Rapportée au temps limite à 90% de $\dot{V}O_2$ max (tlim 90), cette HIE était d'autant plus profonde que le tlim 90 était long.

Cette relation, qui est la seule établie pour rendre compte de la variabilité interindividuelle signalée précédemment, semble indiquer que certains sujets seraient mieux adaptés que d'autres à tolérer des hypoxémies non négligeables sur un temps long. Chez l'enfant, de telles études restent à faire, les questions éthiques sous-jacentes et la pose d'un cathéter artériel étant les principaux obstacles à leur réalisation.

Que sait-on des effets de l'entraînement sur le temps limite à VMA ?

Par ailleurs, l'influence de l'entraînement sur le temps limite à vitesse maximale aérobiose et VMA elle-même a été mesurée dans une étude longitudinale d'une saison sportive (10 mois), à intervalles réguliers de huit semaines, sur 20 coureurs de niveau régional (VMA = 20 ± 1 km/h) suivant un programme strict d'entraînement intermittent prenant en compte le temps limite individuel et la VMA réajustées toutes les huit semaines. La VMA et le temps limite augmentaient alternativement: la VMA augmentait et le temps limite à cette nouvelle VMA baissait, puis il réaugmentait alors que la VMA restait stable (données en cours de publication).

Cet article expose la mise en œuvre de ces connaissances dans le contexte de l'enseignement de l'éducation physique à l'école.



Objectif de la recherche

La question était de savoir si les cycles d'entraînement, pour améliorer la vitesse sur un 2000 m, sont liés au suivi d'un entraînement élaboré sur des repères précis d'intensité et de durée, versus l'entraînement «instinctif» pratiqué actuellement dans les établissements scolaires.

Il s'agit d'examiner l'effet d'un cycle d'endurance sur :

- l'aptitude et la performance aérobiose de l'enfant et,
- la capacité de l'enfant à gérer son potentiel physique dans la perspective de l'appropriation de l'exercice de longue durée dans sa vie d'adulte.

L'objectif spécifique est d'examiner l'influence de la quantité et de la qualité (repère de durée et de vitesse) de l'entraînement aérobiose sur :

- la performance, c'est-à-dire le temps mis pour couvrir un 2000 m;
- la perception de la difficulté de l'exercice (Rate of Perception on Exercise de Borg et al., 1982) et la gestion de son potentiel aérobiose (indice de régularité) par l'enfant de 11 ans (garçon et fille).

Bibliographie

- Astrand, I.: Aerobic work capacity in men and women with special reference to age. *Acta Physiol. Scand.* 49, (suppl. 169), 1960.
- Billat, V.; Pinoteau, J.; Petit, B.; Renoux, J.-C.; Koralsztein, J.-P.: Reproducibility of running time to exhaustion at $\dot{V}O_2$ max in sub-elite runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 26, pp. 254 à 257, 1994a.
- Billat, V.; Pinoteau, J.; Petit, B.; Renoux, J.-C.; Koralsztein, J.-P.: Validation d'une épreuve de temps limite à vitesse maximale aérobiose et à $\dot{V}O_2$ max. *Science & Sports* 9, pp. 3 à 12, 1994b.
- Billat, V.; Pinoteau, J.; Petit, B.; Bernard, O.; Koralsztein, J.-P.: Time to exhaustion at $\dot{V}O_2$ max and lactate steady-state velocity in sub-elite long-distance runners. *Arch. Int. Physiol. Biochim.* 102, pp. 10 à 15, 1994c.
- Billat, V.; Pinoteau, J.; Petit, B.; Bernard, O.; Koralsztein, J.-P.: Times of exhaustion at 100 % of velocity at $\dot{V}O_2$ max and modelling of the time-limit / velocity relationship in elite long-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 69, pp. 271 à 273, 1994d.
- Billat, V.; Pinoteau, J.; Petit, B.; Renoux, J.-C.; Koralsztein, J.-P.: Hypoxémie et temps limite à la vitesse aérobiose maximale chez des coureurs de fond. *Can. J. Appl. Physiol.* 20 (1), pp. 102 à 111, 1995.
- Caillaud, C.; Anselme, F.; Mercier, J.; Préfaut, C.: Pulmonary gas exchange and breathing pattern during and after exercise in highly trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 67, pp. 431 à 437, 1993.
- Dempsey, J.; Hanson, P.; Henderson, K.: Exercise-induced arterial hypoxemia in healthy persons at sea level. *J. Physiol. (Londres)* 355, pp. 161 à 175, 1984.
- Gerbeaux, M.; Jacquet, A.; Lefranc, J.-F.; Dierckens, J.-M.; Savin, A.; Savin, N.: Estimation de l'endurance aérobiose des élèves en milieu scolaire. *Science et Motricité* 17, pp. 26 à 32, 1992.
- Gleser, M.A.; Vogel, J.A.: Endurance capacity for prolonged exercise on the bicycle ergometer. *J. Appl. Physiol.* 34, pp. 438 à 442, 1973.
- Hill, A.V.: Muscular movement in man. New York, McGraw - Hill, 1927.
- Monod, H.; Scherrer, J.: The work capacity of synergy muscular groups. *Ergonomics* 8, pp. 329 à 338, 1965.
- Péronnet, F.; Thibault, G.: Analyse physiologique de la performance en course à pied: révision du modèle hyperbolique. *J. Physiol. (Paris)* 82, pp. 52 à 60, 1987.
- Powers, S.; Lawler, J.; Dodd, S.; Kirtley, M.; Landry, G.; McKnight, T.; Grinton, S.: Incidence of exercise-induced hypoxemia in elite athlete at sea level. *Eur. J. Appl. Physiol.* 58, pp. 298 à 302, 1988.
- Taylor, H.; Buskirk, E.; Henschel, A.: Maximal oxygen intake as an objective measure of cardiorespiratory performance. *J. Appl. Physiol.* 8, pp. 73 à 80, 1955.
- Williams, J.; Powers, S.; Stuart, M.: Hemoglobin desaturation in highly trained athletes during heavy exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18, pp. 168 à 173, 1986. ■ (Fin de la 1^{re} partie)