

L'endurance

Georges Gacon, professeur d'EPS, ex-entraîneur national de demi-fond

Trop commode, la notion d'endurance est souvent employée à tort et à travers, et, à force de vouloir tout dire, elle n'évoque finalement plus rien. L'endurance est un exemple frappant de ces notions qui, toujours associées à d'autres, génèrent un champ d'application particulièrement vaste. Lorsque l'on tente de dresser un panorama exhaustif de ces champs d'application, deux risques principaux surgissent alors :

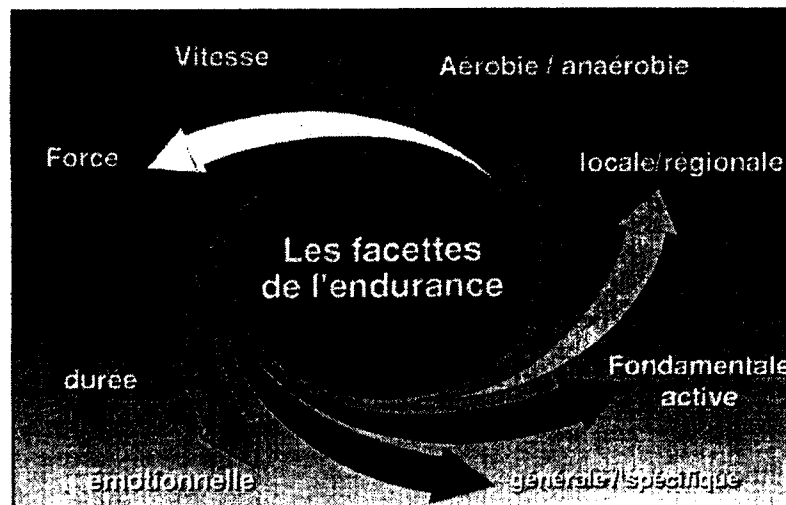
- établir des raccourcis caricaturaux qui ne font qu'effleurer le sujet ;
- présenter un concept trop vague, avec une liaison théorie-pratique inopportune.

Pour tenter de pallier à ces inconvénients, nous avons restreint l'exposé à la course d'endurance. À cet effet, il s'agit :

- de dégager ce que dissimule la banale notion d'endurance et de faire ressortir ce qui relie ou éloigne les bases scientifiques et empiriques afin de déboucher sur des applications pratiques valides (G. Gacon) ;
- puis d'envisager son utilité en EPS (E. Van Praagh) ;
- et enfin d'identifier les moyens nécessaires à son amélioration (M. Gerbeaux, H. Assadi, L. Vivier, J.-F. Pontier, M. Vinzant et al.).

Selon son implication dans une activité donnée, l'endurance peut revêtir diverses formes :

- en fonction de la quantité de muscles engagés, on distingue l'endurance locale, régionale et générale ;
- à partir d'une référence métabolique, on distingue l'endurance aérobie, ou anaérobie ;
- à partir d'une référence temporelle, on distingue l'endurance de courte, moyenne, ou longue durée, et l'épreuve qui s'y réfère est qualifiée d'épreuve d'endurance ou de Marathon ;
- s'il y a association avec d'autres qualités physiques, il peut s'agir d'endurance-force, d'endurance-vitesse, etc. ;
- on peut parler d'endurance généralisée ou d'endurance spécifique par rapport à une spécialité donnée ;
- l'endurance psychologique ;
- à partir d'une référence technico-sportive, on parlera d'endurance fondamentale ou d'endurance active.



En demi-fond, l'endurance est définie par l'aptitude à soutenir longtemps un niveau donné de mobilisation des ressources fonctionnelles.

Toutefois, à la lumière de certaines données récentes, il semble que l'on puisse remettre en question quelques-unes de ces facettes, comme la

notion d'endurance générale, à qui l'on confère un grand pouvoir de transférabilité.

Il semble de plus en plus probable que les effets de l'amélioration de l'endurance soient à rechercher dans la capacité des cellules musculaires, et de leurs mitochondries, à utiliser plus efficacement

l'oxygène qui leur arrive et à l'employer dans les processus métaboliques de libération d'énergie. Ainsi, les adaptations primaires interviendraient d'abord au niveau des muscles impliqués dans l'activité musculaire, puis, dans un second temps, au niveau du système circulatoire.

L'endurance d'un point de vue pratique : questions préalables

1. Comment lier les données tirées de l'expérience de terrain avec celles des scientifiques, afin d'optimiser sa pratique ?
2. À quoi sert l'endurance ? Comment l'évaluer ?
3. Existe-t-il des principes de travail plus efficaces que d'autres ? Quelles orientations pédagogiques, quelles durées et fréquences de travail faut-il adopter ?
4. A-t-on suffisamment le temps et les moyens d'améliorer l'endurance au cours des séances d'EPS ?
5. Comment objectiver les effets des aspects non énergétiques de l'endurance ?

Les questionnements des chercheurs et des théoriciens

1. Quelles sont les bases physiologiques clairement identifiées et utiles (ou non) au praticien ?
2. À quels types de mesures ou de critères peut-on se référer pour optimiser la pratique ? La notion de seuil est-elle valide pour objectiver l'endurance ?
3. Comment identifier les relations entre les propriétés mécaniques des muscles et leur capacité d'endurance ?

Les trois orientations principales du groupe d'études

1. De quelle endurance s'agit-il ?
2. Quels sont les liens entre son amélioration et ses effets sur la santé ?
3. Comment et sous quelles formes peut-on la travailler ?

1. L'endurance, ses faux synonymes, ses mythes

Dans notre domaine, il est difficile de ne pas être confronté à des contradictions aussi persistantes que celles de la terminologie des notions d'entraînement. Tant dans le sport civil qu'en éducation physique à l'école, les notions d'endurance, d'aérobie, de PMA, de VMA, de capacité aérobie, de puissance aérobie, sont largement employées sans être toujours clairement perçues. De leur cohérence dépendra la réussite de la pédagogie de l'entraînement.

1.1 La consommation maximale d'oxygène (ou $\dot{V}O_2\max$)

Le $\dot{V}O_2\max$ d'un individu est le volume maximal d'oxygène qu'il peut consommer par unité de temps au cours d'un exercice suffisamment intense pour le conduire jusqu'à l'épuisement, mettant en jeu une masse musculaire passablement importante. On peut dire qu'il représente la cylindrée du moteur aérobie, dont le rôle est aussi important pour la performance elle-même que pour la faculté à supporter l'entraînement.

Un $\dot{V}O_2\max$ insuffisamment performant va non seulement restreindre la possibilité d'acquiescer une qualité de la vie et une « santé » optimales, mais aussi contrarier l'efficacité de toute activité physique, avec limitation de la portée des récupérations. En demi-fond, il est clair que c'est le facteur de la performance le plus important.

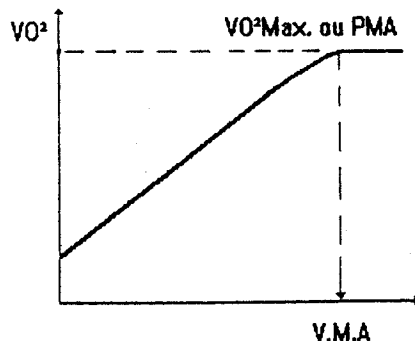


Figure 1 : relation entre le $\dot{V}O_2\max$ et la VMA

1.2 Endurance, aérobie, capacité aérobie

D'une manière générale, l'endurance renvoie à la notion de fatigue repoussée et au temps limite sans cesse dépassé. Or la durée de fonctionnement d'un système énergétique est le résultat du rapport entre la capacité énergétique et la puissance.

Au niveau théorique, les systèmes énergétiques sont constitués de deux caractéristiques qui les différencient : d'une part la puissance, et d'autre part la capacité. On a coutume de distinguer alors :

- la *puissance* énergétique, qui est la *quantité d'énergie utilisable par unité de temps* ;
- la *capacité* énergétique, qui est la *quantité totale d'énergie* disponible qu'on peut fournir.

Sur le plan fonctionnel, elles remplissent des rôles bien spécifiques et possèdent des facteurs limitants bien particuliers, les uns étant plutôt qualitatifs (enzymes), les autres plutôt quantitatifs (grandeurs des réserves) et, dans ces conditions, il est normal de les différencier. Toutefois, lors de l'effort, il semble difficile de faire fonctionner une puissance

donnée sans dépenser une certaine quantité d'énergie, ce qui signifie qu'il est quasiment impossible de les dissocier en pratique.

1.3 Type d'effort lent et long, opposé à la résistance, développant la cavité !

L'antinomie endurance/résistance est maintenant définitivement révolue, de même que leurs conséquences à caractère cavitaire ou pariétal.

1.4 Transférabilité « réelle ou factice » !

Alors que l'on pensait que l'endurance était le facteur de la performance le plus transférable de tous, la tendance actuelle tend à s'orienter plutôt vers une spécificité, les adaptations fonctionnelles liées à l'effort ne se manifestant que dans les muscles impliqués dans l'activité motrice.

1.5 L'endurance peut-elle entraîner un effet destructeur chez l'enfant ?

Dans un article provocateur, notre collègue P. Sprecher a souligné, sans argument vraiment tangible d'ailleurs, le rôle destructeur de l'endurance en période pré-pubertaire et pubertaire. Or, il est clair que si certains irresponsables ont provoqué des abus en faisant courir des marathons à des enfants très jeunes, il n'existe aucune commune mesure avec la course que l'on peut effectuer en milieu scolaire, même lorsqu'il s'agit de courir vingt ou trente minutes en continu. Il ne faut pas confondre la course hors stade excessive et le développement du potentiel maximal aérobie, qui doit être une priorité éducative absolue, pour autant que l'on tienne compte des caractéristiques propres à chaque niveau de développement.

2. L'endurance et le système aérobie

L'endurance est la capacité physique permettant à un coureur de maintenir le plus longtemps possible

un pourcentage élevé de sa puissance maximale aérobie ($\dot{V}O_2\text{max}$)

2.1 Les trois étages du système aérobie

Ce système est l'association de trois grands maillons où vont se situer les principaux facteurs limitants, en fonction du niveau de pratique et de l'âge. Ces trois maillons principaux sont l'appareil respiratoire, l'appareil circulatoire et les muscles impliqués dans l'effort.

- Extraction de l'oxygène de l'air
- Transport de l'oxygène jusqu'aux muscles actifs
- Utilisation locale de l'oxygène

2.2 Utilisation locale de l' O_2

- Densité des mitochondries
- Activité des enzymes mitochondriales
- Concentration des substrats énergétiques
- Réserves de myoglobine

3. Critères et mesures de l'endurance

Le critère le plus courant pour évaluer l'endurance est le temps pendant lequel l'homme est en mesure de soutenir une intensité donnée.

Cette mesure directe consiste à mesurer le temps limite pour une intensité donnée qui est directement liée à la puissance critique (puissance qu'un organisme donné peut théoriquement maintenir indéfiniment). De Gleser et Vogel mesurent l'endurance à partir de la relation $\text{Log}(t) = A \times \text{Puissance de l'effort} / \dot{V}O_2\text{max} + B$, ou $P = \dot{V}O_2 / \dot{V}O_2\text{max}$ (les paramètres A et B pouvant être considérés comme l'expression de la capacité d'endurance qui caractérise un individu).

Au niveau des praticiens, on peut se contenter du quotient capacité/puissance, donc du temps limite.

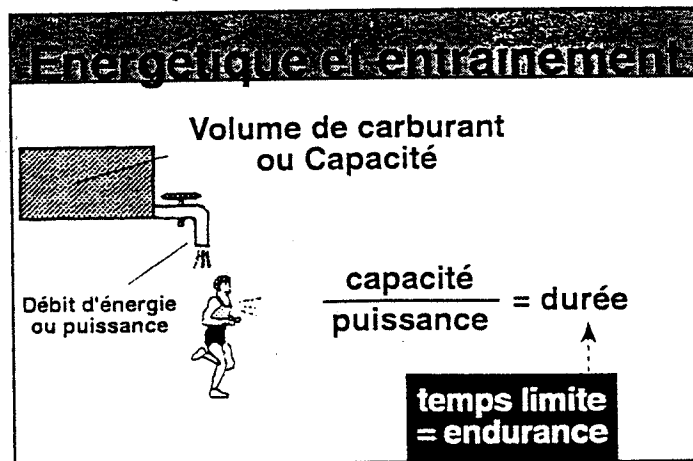


Figure 1

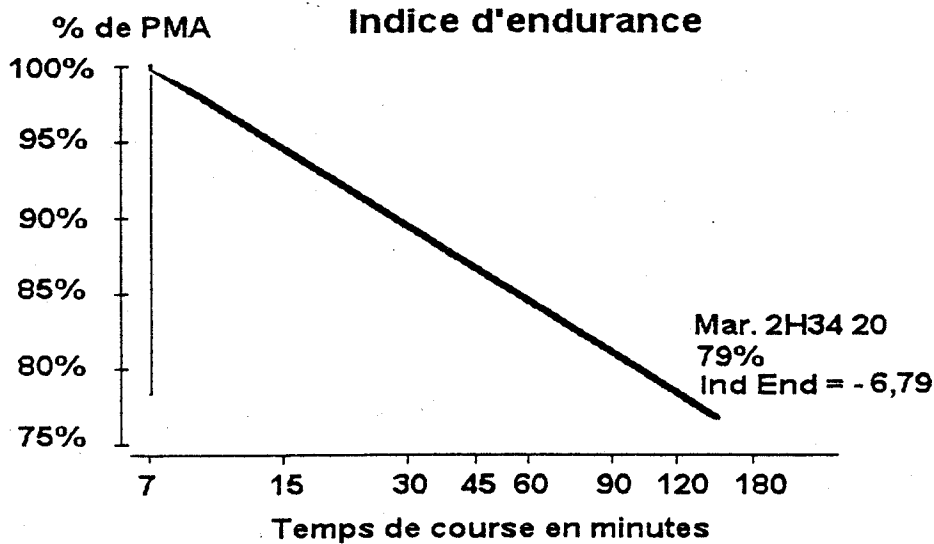
À l'école, seule la mesure du temps limite, issue du test TMI (G. Gacon et H. Assadi, *Revue EP.S* n°222, 1983), que l'on appelle maintenant test EMA 100 (M. Gerbeaux et al., 1995), permet de mesurer plus ou moins précisément l'endurance. En fait, chez les praticiens, on constate une terrible dérive d'utilisation : d'une part elle a remplacé progressivement l'APS demi-fond, et d'autre part elle recouvre tout ce qui est durable, en s'appuyant davantage sur des idées reçues que sur des notions validées.

L'endurance est la capacité de maintenir longtemps un pourcentage élevé de sa puissance maximale aérobie. (F. Peronnet, G. Thibaut et al.).

Mais cette définition n'est pas pratique, comme se plaît à le souligner F. Peronnet. En effet, elle ne permet de comparer deux sportifs que dans deux cas bien particuliers, d'une part si l'on sait qu'ils soutiennent la même puissance relative pendant des durées différentes, d'autre part si l'on sait qu'ils soutiennent des puissances relatives différentes

pendant la même durée. Donc, un coureur qui maintient 90 % de la PMA pendant trente minutes est plus endurant qu'un autre qui ne soutiendrait ce même pourcentage relatif que vingt minutes. Inversement, pour une durée identique, le coureur le plus endurant est celui qui soutient le pourcentage de PMA le plus élevé. Ces conditions étant rarement réunies, elles ont conduit l'équipe québécoise à chercher autre chose. Ils ont montré que le pourcentage de la PMA qui est maintenu par un sportif diminue avec le temps de course, et ceci de manière linéaire, si le temps porté en abscisse n'est pas indiqué de manière linéaire mais avec une échelle de type logarithmique. L'endurance peut alors se définir par la pente de la droite ainsi tracée lorsque la durée des épreuves est supérieure à sept minutes. Cette caractéristique objective fournit alors cette superbe définition que G. Thibault et F. Peronnet nous recommandent de ne pas retenir :

L'endurance est la diminution du pourcentage de la puissance maximale aérobie lorsque le temps de course est multiplié par 2,71828.



Ryun = -9,37 Aouita = -5,98 Barrios = -3,38 Mota = -3,10

Figure 2 : indice d'endurance

Ainsi définie, l'endurance est un chiffre, au même titre que $\dot{V}O_2\max$. L'endurance la plus élevée serait donc égale à zéro, ce serait celle d'un « martien » qui pourrait courir un marathon à la même vitesse qu'un 3 000 mètres... Ce qui est important c'est que, dans ces conditions, l'endurance est indépendante du $\dot{V}O_2\max$.

Cette définition, pourtant particulièrement précise, n'est pas facile d'utilisation, et sa connotation mathématique la rend quelque peu repoussante aux yeux des praticiens. Il faut noter que la première définition n'est pas non plus retenue dans le cadre scolaire.

La mesure indirecte consiste à mesurer :

– soit la baisse de rendement moteur au cours de l'épreuve, par exemple le temps à partir duquel on observe une baisse de la vitesse de déplacement ou de l'amplitude gestuelle (diminution de la longueur des foulées, G. Gacon in « La course d'endurance », 1983) ;

– soit la dérive pulsative, témoin d'une mauvaise endurance et/ou la bradycardie d'effort, témoin d'une meilleure économie fonctionnelle et d'une bonne endurance.

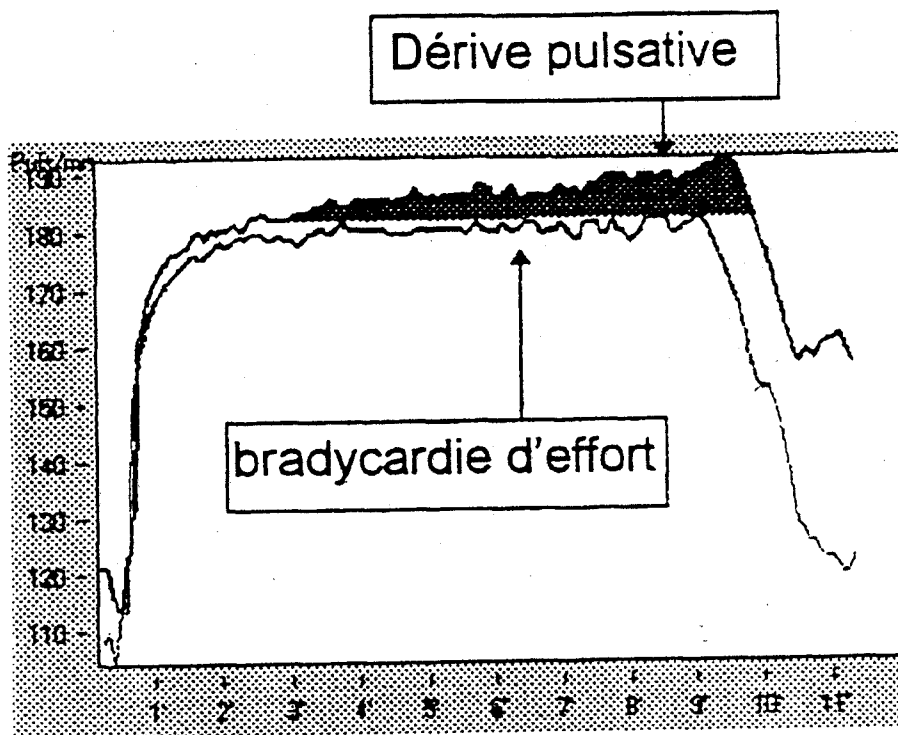


Figure 3 : expressions indirectes de l'endurance

4. Perspectives pédagogiques

La course de moyenne et longue durée ne défraie pas les chroniques à l'école. Les écueils pédagogiques se situent à plusieurs niveaux :

- à travers l'objectif du cycle, il est important d'impliquer les élèves et de les sensibiliser aux multiples avantages qu'ils capitaliseront lorsqu'ils auront une condition physique au-dessus de la moyenne. En effet, sans la notion de performance, trop souvent délaissée en milieu scolaire, on réduit et inhibe la motivation intrinsèque qui conditionne le dépassement de soi ;

- au niveau de sa durée et de sa place dans la programmation de l'établissement, il est souhaitable que le cycle de demi-fond soit précédé d'un cycle (ou phase préparatoire) de mise en condition physique et technique. Ce cycle sera à double facette et comportera, d'une part une mise en condition physiologique et, d'autre part, une préparation athlétique axée sur la force spécifique de l'appui. Tout cela en vue de construire des appuis plus solides et de qualité technique correcte, ce qui réduira la dépense énergétique ;

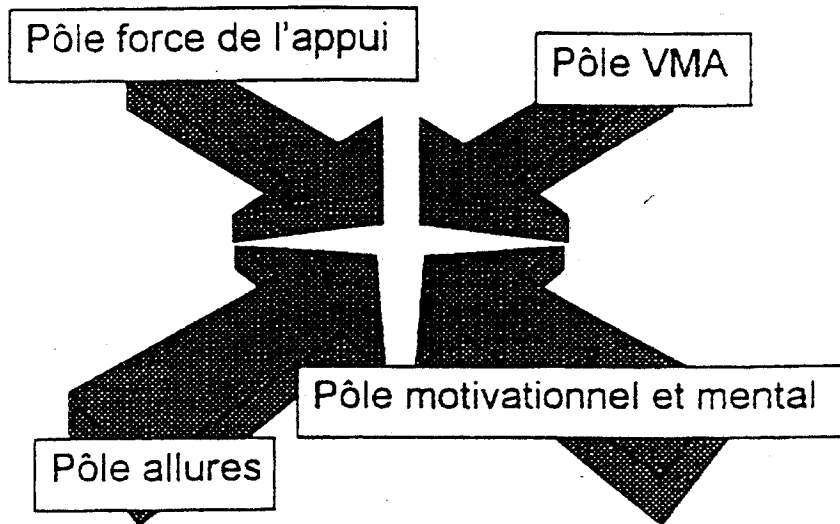
- au niveau de l'élaboration du contenu des exercices, il s'agit d'ajuster l'intensité et la durée des exercices au niveau des élèves. Il en est de même pour la progression de la difficulté, qui doit se calquer sur les niveaux respectifs et la motivation intrinsèque des élèves. La notion de performance n'est pas nécessairement associée à l'idée de compétition. Performance signifie : évaluer un niveau de départ et rechercher son dépassement pour atteindre un niveau supérieur. La recherche du dépassement de soi est génératrice d'énergie motivationnelle et d'intérêts pour l'activité.

5. En pratique, que faut-il changer ?

Il est indispensable de dépasser le mythe de la course lente, uniforme et donc rébarbative, et surtout de refuser son aspect pseudo-destructeur.

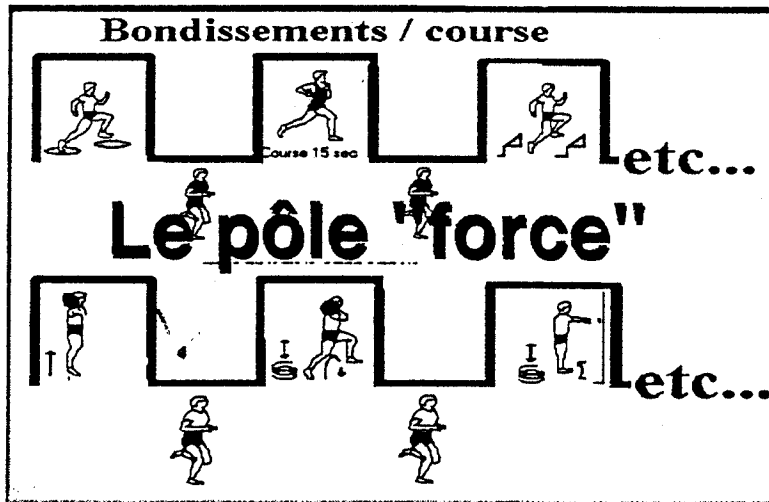
5.1 Comment développer les aptitudes aérobies ?

Nous recommandons quatre pôles pédagogiques :



5.1.1 Le pôle force spécifique de l'appui

Cette option est certainement l'aspect le plus original, puisque le travail de force de l'appui précède le travail d'allures classique.



Son but est de préparer et d'améliorer les capacités morphologico-fonctionnelles des muscles spécifiques à la course.

Il s'agit d'améliorer la force propulsive par des exercices multiformes qui s'articulent autour de trois grands thèmes respectant les principes moteurs énoncés par A. Piron.

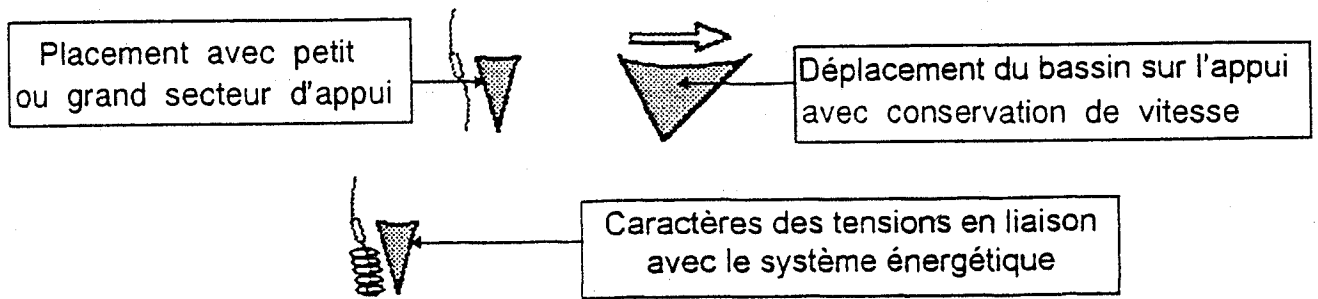


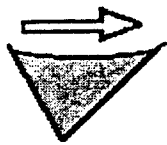
Figure 4 : les thèmes pédagogiques issus des principes moteurs d'A. Piron

L'entraînement sera réalisé sous forme de circuits comprenant différents ateliers, avec une sollicitation adéquate de la PMA. L'idéal – qui se fait en club – est de mesurer la FC pour situer le degré de sollicitation de la VMA.

a) Exercices où l'on recherchera plutôt le *passage du bassin sur l'appui*.

Il s'agit alors de foulées bondissantes, décalées, croisées, avec ou sans cerceaux, en côte ou sur le plat, etc.

Passage bassin



au sol sans repères



lattes



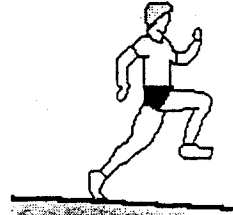
cerceaux



haies basses



en côte



en descente



avec corde

Figure 5 : exemples d'exercices de foulées bondissantes

G. Gacon, 1994 [logiciel Pro.Pulses Force 1.0 sous Windows © CardiSport Dijon]

Il est possible de combiner des foulées bondissantes et des appuis « arrivée 2 pieds » ou sous forme de cloche-pied. L'exercice peut être réalisé avec support musical (la musique « disco » convient parfaitement).

b) Exercices où l'on recherchera plutôt le placement de la chaîne musculaire

Les exercices les plus courants sont les « skips », qu'il ne faut pas confondre avec les montées de genoux.

Il s'agit d'enfoncer le sol verticalement. La montée des genoux n'est pas un objectif technique, elle est la conséquence du geste. De ce fait, son amplitude

est limitée. Lors de ces gammes, il faut faire un grand nombre d'appuis et non pas rechercher une grande vitesse de déplacement.

Les variantes consistent à utiliser des lattes, des cônes bas, des cordes à sauter, auxquelles on peut ajouter un support rythmique (musique « disco », boîte à rythme).

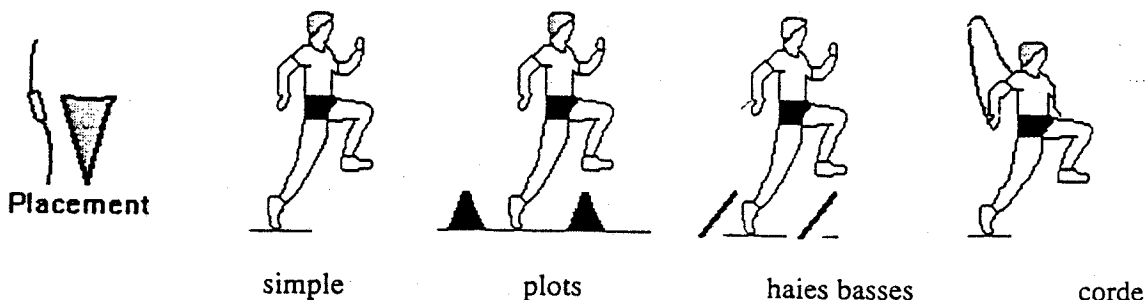


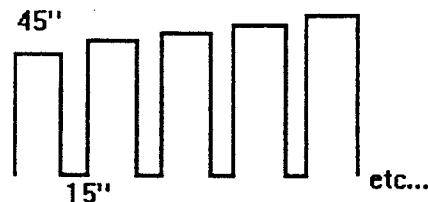
Figure 6 : exemples d'exercices de la famille des skips

G. Gacon, 1994 [logiciel Pro.Pulses Force 1.0 sous Windows © CardiSport Dijon]

5.1.2 Le pôle vitesse maximale aérobie (ou vitesse $\dot{V}O_2\text{max}$)

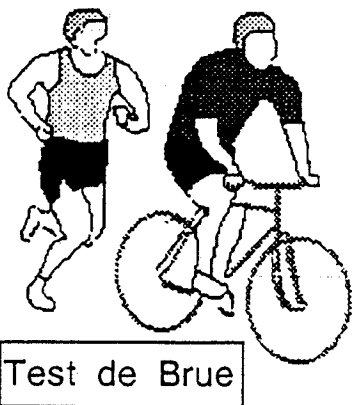
Il vise d'une part l'amélioration du système énergétique, et plus particulièrement la capacité d'oxygénation des muscles spécifiques pour une meilleure économie fonctionnelle (meilleure dissipation de la chaleur et suppression des dérives), et exige, d'autre part, une évaluation de la vitesse maximale aérobie, qui est la vitesse pédagogique de référence. La qualité du développement aérobie passe par une évaluation des exigences de travail et doit présenter une progression entre le point de départ et le point d'arrivée. La progression doit être adaptée pour répondre à la fois au niveau physique et à la motivation de tous. En effet, l'évaluation de la VMA est très parlante, puisqu'elle permet à chaque élève d'appréhender immédiatement ses limites aérobie en termes de vitesse horaire. Dans ces conditions, elle devient une notion familière, facile à gérer.

Pour l'enseignant, en ce qui concerne l'élaboration des exercices, l'évaluation de la VMA fournit la dimension « intensité », à laquelle il conviendra d'adjoindre la dimension « volume », expression de l'endurance spécifique du moment. Le test 30/30 stabilisé (Cf. *Revue EPS* n°222) ou le test 45/15 progressif (© G. Gacon, 1994) sont tout à fait adaptés pour évaluer la VMA.



Le test 45/15 progressif © Georges Gacon, 1994. Évaluation de la VMA (vitesse maximale aérobie) sous forme intermittente

Le test débute à 8 km/h pour les enfants et les débutants adultes, à 10 km/h pour les sportifs confirmés. Il s'agit de parcourir une succession de distances données correspondant à une vitesse imposée de plus en plus élevée. La croissance est de 0,5 km/h par cycle d'une minute (45 secondes de course à la vitesse imposée, puis 15 secondes de récupération sans exigence d'intensité, donc sous forme marchée ou trottinée). Lorsqu'un élève ne peut plus arriver au repère au sol imposé, il doit être arrêté. La dernière vitesse maintenue correctement est la vitesse maximale aérobie. Du fait de son caractère intermittent, ce test surestime légèrement la VMA de l'ordre d'1 à 0,5 km/h, néanmoins, il permet d'avoir une base de départ pour l'ensei-



gnant. Après l'évaluation de la PMA, envisageons les caractéristiques fonctionnelles d'un type d'exercice particulièrement efficace.

5.2 Intermittent et PMA

L'intermittent est le type même d'exercice idéal. C'est un procédé d'entraînement spécialement adapté à l'amélioration de la puissance du système aérobie, son aspect « turbo » étant particulièrement approprié.

Pour y parvenir, il faut réunir trois conditions :

- L'intensité des séquences de travail doit être suffisamment élevée pour solliciter notablement la $\dot{V}O_2$ max et d'une durée relativement courte afin que la couverture énergétique soit assurée par la myoglobine, ce qui permettra de maintenir l'intensité sans baisse de régime, d'où la valeur moyenne de 30 secondes.

- La durée des séquences de récupération doit être suffisamment réduite pour que le degré de sollicitation de $\dot{V}O_2$ max reste le plus élevé possible, d'où la valeur moyenne de 30 secondes.

- La durée totale (ou le nombre de séquences enchaînées) doit être suffisamment longue pour stimuler correctement le système aérobie, d'où la valeur moyenne de 6 à 8 minutes. Les travaux expérimentaux (Astrand et al. ; Karlson et al.) montrent que, pour de l'intermittent 10/20 (10 secondes de travail suivies de 20 secondes de récupération), l'oxygène transporté associé à celui qui est extrait de la myoglobine suffisent à la couverture des besoins. Dans ces conditions, il n'y a donc pas de déficit d'oxygène et pas de formation d'acide lactique.

L'intermittent est donc globalement « alactique ».

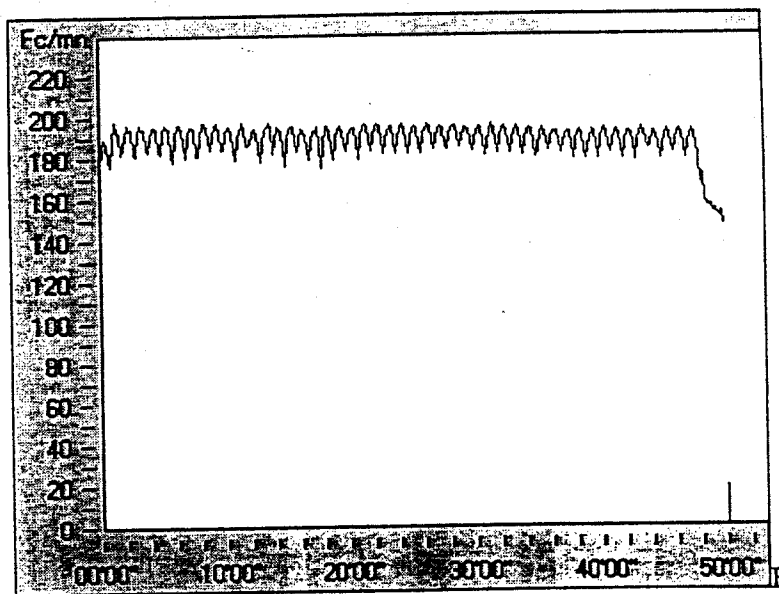
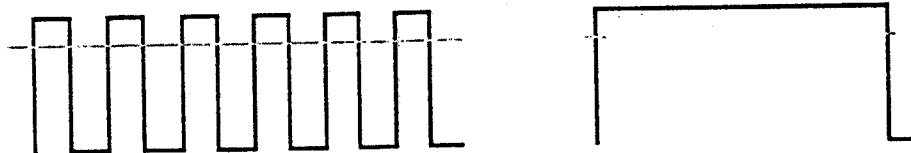


Figure 7 : 30/30 chez un élève de CM₂

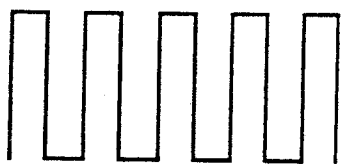
Toutefois, au niveau pédagogique, il ne s'agit pas d'opter uniquement pour ce type de travail, mais d'alterner et de combiner les exercices continus et les exercices intermittents.

Construire le continu à partir de l'intermittent. Des crêtes de l'intermittent au continu, partir sur les bases de durée de 2/3 de l'intermittent.

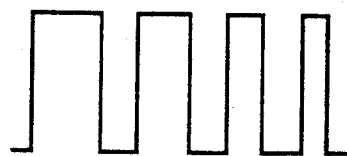


Principales formes de travail

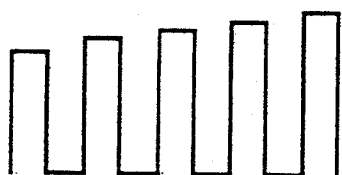
Plusieurs formes d'exercices sont possibles :



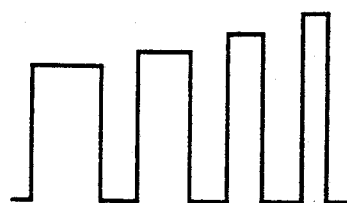
Intensité uniforme et durée constante



Intensité uniforme et durée décroissante



Intensité progressive et durée constante



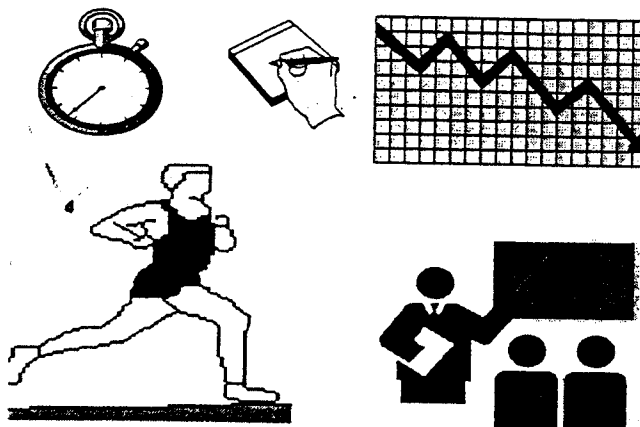
Intensité progressive et durée décroissante

- L'option *intensité* consiste à augmenter la vitesse horaire de 0,5 à 1 km/h ou à parcourir 10 mètres supplémentaires en 30 secondes si l'exercice est de l'intermittent 30/30. Il faut tendre vers la réalisation du même nombre de répétitions qu'au préalable.
- L'option *volume* consiste à augmenter le nombre de répétitions sans varier l'intensité. Quand le volume est jugé suffisant, on passe à nouveau à l'option intensité, et ainsi de suite.

5.2.1 Le pôle allures

Il s'agit d'acquérir la notion d'espace-temps en liaison avec une juste répartition des efforts.

L'utilisation de tableau d'allures permet de visualiser le profil de sa course et d'avoir un retour immédiat sur sa propre prestation.



Pour aller encore plus loin, il est clair que l'efficacité de la foulée passe par l'obtention d'une force spécifique de l'appui la meilleure possible et il est tout à fait possible de procéder à l'amélioration de la force spécifique de l'appui en liaison avec l'optimisation du système aérobie.

Il s'agit de concilier deux impératifs :

- d'une part améliorer la force propulsive de l'appui ;
- d'autre part solliciter le système aérobie au niveau optimal ou à PMA.

Puisqu'il y aura entraînement conjoint, il faut vérifier qu'il ne se produit pas d'interférence ou d'incompatibilité entre les deux options et, en ce qui concerne l'amélioration du système aérobie, il faut opter pour la forme de travail adéquate, autrement dit celle qui permet de travailler à haut régime aérobie tout en limitant la fatigue.

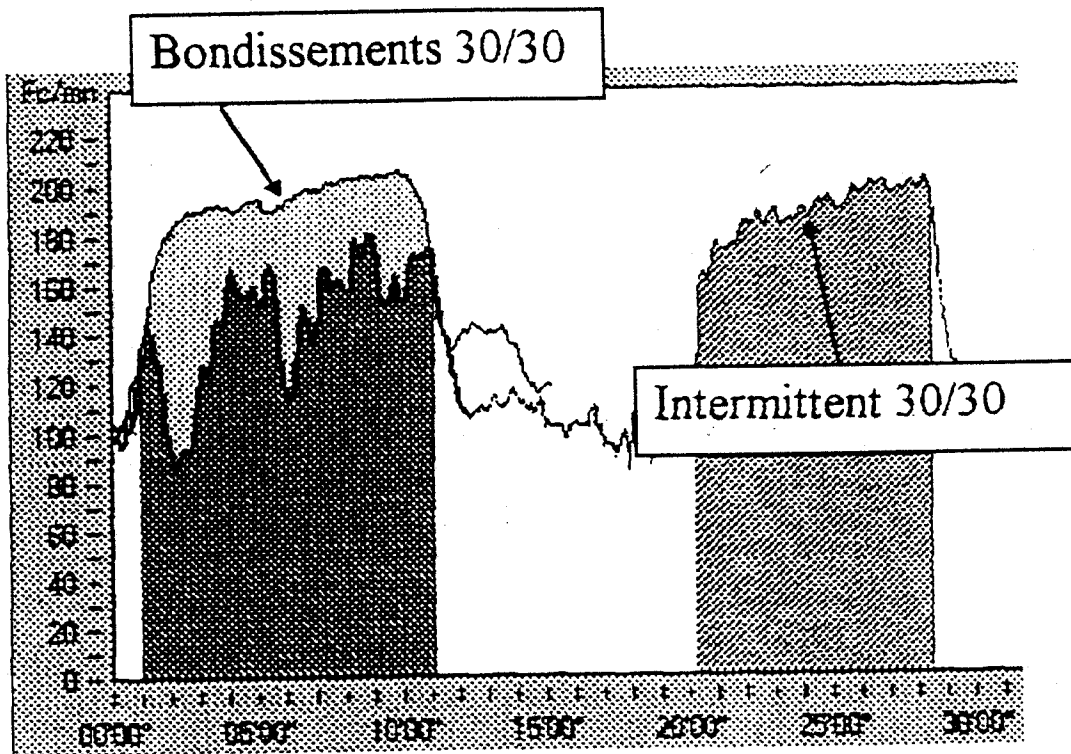


Figure 8 : évolution de la FC dans trois types d'exercices

5.2.2 Le pôle motivation

L'amélioration de la motivation intrinsèque s'accomplit notamment par la compréhension du travail effectué. Le conflit entre les facteurs énergétiques et motivationnels est lié à un niveau de condition physique très faible. L'aptitude à résister au manque de motivation résultera de l'intensité relative de la motivation et des facteurs perturbateurs. Dans une certaine mesure, porter un certain intérêt au demi-fond est un phénomène socio-éducatif. Trop souvent, il est dénaturé, car on n'a pas compris qu'il s'agissait de la discipline idéale pour développer, à son plus haut niveau, le système de transport et d'utilisation de l'oxygène, qui est une composante vitale de la santé et de la qualité de la vie. Ainsi, ce développement doit constituer une priorité éducative ; l'enseignant n'a pas le droit de délaisser ce volet éducatif sous prétexte que les enfants ne seront pas spécialement motivés par l'activité. Il n'y a donc pas lieu de demander aux enfants s'ils aiment ou non l'endurance, pour ne pas dire le demi-fond, terme dont ils n'ont jamais entendu parler ou qu'ils connaissent mal. Il faut savoir également que la motivation pour ce genre d'activité implique un certain niveau physique et que sa construction prend du temps. L'effort admet

des variations dans son intensité et dépend en dernière analyse de la force relative de deux facteurs, qui sont la capacité à affronter la situation et les exigences de cette situation. Or, pour affronter une telle situation, il faut posséder un minimum de condition physique, et c'est là tout le problème. Sans condition physique, on trouve l'effort pénible et insurmontable et, sans consentir d'efforts, on ne peut pas construire la condition physique nécessaire qui rendrait l'effort plus facile, donc motivant. L'enfant n'est pas assez patient, il veut tout immédiatement, ce qui est contradictoire avec le demi-fond.

6. L'endurance de demain

S'il est classiquement admis que les limites de l'endurance ne se trouvent pas au niveau du cœur, mais plutôt dans les possibilités d'adaptation des muscles engagés dans l'effort, d'autres fondements physiologiques de l'endurance ne sont toujours pas parfaitement identifiés. Il serait intéressant de disposer de plus d'informations sur les relations entre les propriétés mécaniques des muscles et leur capacité d'endurance et plus particulièrement sur l'endurance musculaire locale qui assure le maintien

d'une amplitude de foulée correcte. Lorsqu'un coureur ralentit en fin de course au fil de l'installation de la fatigue, il le doit principalement à une diminution de la longueur des foulées et non pas à celle de sa fréquence. Par ailleurs, la créatine phosphate, en

jouant le rôle d'une navette énergétique entre les mitochondries et les éléments contractiles, ouvre une voie tout à fait originale dans un cadre aérobie.

Éléments de bibliographie

- Astrand (P.-O.), Rodhal (C.), *Précis de physiologie de l'exercice musculaire*, Masson, Paris, 1960.
- Astrand (I.) et Astrand (P.-O.) et al., « Myoglobin as an oxygen-store in man », in *Acta scand. physiol.*, vol. 48, 1960.
- Brue (F.), *Le test de vitesse maximale aérobie*, rapport CERB, n°85, 1985.
- Brue (F.), Philippe (Y.) Léger (L.), « Une variante du test de piste de l'université de Léger et Boucher », in *Bulletin médical de la FFA*, 1985.
- Cavagna (G.) et al., « The mechanics of sprint running », in *J. Physiol.*, n°217, 1973.
- Costill (D.-L.), *La course de fond, approche scientifique*, Vigot, Paris, 1981.
- Fox (E.-L.), Mathews (D.-K.), *Bases physiologiques de l'activité physique*, Vigot, Paris, 1984.
- Gacon (G.), *La course d'endurance*, CRDP de Dijon, 1983.
- Gacon (G.), « Demi-fond et vitesse maximale aérobie », in *Revue AEFA*, n°120, 1990.
- Gacon (G.), « Le « 30/30 », prototype de l'entraînement « intermittent » en demi-fond », in *Revue AEFA*, n°130, 1993.
- Gacon (G.) « L'enfant et la course sur route », in *Revue FFA*, n° spécial, 1990.
- Hahn (E.), *L'entraînement sportif des enfants*, Vigot, Paris, 1987.
- Henrikson (J.), « Cellular metabolism and endurance », in *Endurance in sport Blackwell scientific publi.*, London.
- Karlsson (J.), Saltin (B.), « Oxygen deficit and muscle metabolites in intermittent exercise », in *Acta physiol.scand.*, vol.82, 1971.
- Keul (J.), « The relationship between circulation and metabolism during exercise », in *Med. and sci. in sports*, vol. 5, n°4, 1973.
- Lacour (J.-R.), Montmayer (A.), Dormois (D.), Gacon (G.), Padilla (S.), Viale (C.), « Validation de l'épreuve de mesure de la vitesse maximale aérobie dans un groupe de coureurs de haut niveau », in *Science et motricité*, n°7, 1989, p. 3-8.
- Léger (L.), *Test progressif et maximal aérobie de course sur piste de l'université de Montréal*, 1985.
- Luhtanen (P.) et Komi (P.-V.), « Mechanical factors influencing running speed Enr. », in *J. Physio*, n°38, 1978.
- Mac Ardle, *Physiologie de l'activité physique*, Vigot, Edisem.
- Matveiev (L.-P.), *Aspects fondamentaux de l'entraînement*, Vigot.
- Matveiev (L.-P.), *La base de l'entraînement*, Vigot.
- Montmayer (A.), André (P.), « Informatisation des tests de terrain basés sur la vitesse de course », rapport CERB n°89-08 et 09, 1985.
- Peronnet (F.), *Physiologie appliquée de l'exercice musculaire*, Vigot, Paris, 1980.
- Peronnet (F.), « Physiologie du marathonien », in *La recherche*, n°201, vol.19, 1988, p. 920-930.
- Peronnet (F.), *Le marathon 2 Decarie*, Vigot, 1991.
- Rieu (M.) et al., *Bioénergétique de l'exercice musculaire et de l'entraînement physique*, PUF, 1988.
- Rieu (M.) et al., *Fréquence cardiaque et exercice physique*, Bul. soc. Med., Paris, 1983.
- Sprecher (P.), « Non à l'endurance en périodes pré-pubertaire et pubertaire », in *Revue AEFA*, n°134.
- Weineck (J.), *Manuel d'entraînement*, Vigot, Paris, 1986.