

"Approche moderne du travail aérobic "

TESTS DE TERRAIN POUR EVALUER L'APTITUDE AEROBIE ET UTILISATION DE LEURS RESULTATS DANS L'ENTRAINEMENT

Georges CAZORLA

Laboratoire de Physiologie EA 518 & Laboratoire Evaluation Sport Santé et Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique
Université Victor Segalen Bordeaux 2

AVANT PROPOS :

Les trois objectifs du présent article portent respectivement sur : 1) l'étude critique des tests de terrain susceptibles d'évaluer chacune des deux principales composantes de la *capacité aérobic* : la *puissance aérobic maximale fonctionnelle (PAMF)* et l'*endurance aérobic(EA)* 2) les possibilités auxquelles la connaissance de la *vitesse aérobic maximale (VAM)* donne accès, et 3) les utilisations possibles des résultats des tests de terrain pour orienter et contrôler les intensités des exercices et de l'entraînement.

QUELQUES DEFINITIONS PREALABLES

Nous venons d'utiliser quatre concepts qui seront ensuite largement repris dans la présente étude, aussi, afin d'éviter toute éventuelle ambiguïté ou erreur d'interprétation il convient d'en proposer préalablement les définitions que nous leur attribuerons.

La capacité aérobic représente la quantité totale d'énergie potentielle susceptible d'être fournie par voie oxydative. Comme elle dépend des réserves totales de substrats utilisables (ou « carburant » de l'organisme) : glycogène, glucose circulant, acides gras libres, voire même dans certaines circonstances, acides aminés... et bien sûr, de la totalité de l'oxygène (ou « comburant ») utilisé pour leur combustion, son évaluation directe est impossible. Par contre on peut indirectement en apprécier l'importance par l'évaluation de ses deux composantes que sont : la puissance maximale et l'endurance.

La puissance aérobic maximale (P.A.M.) est la quantité maximale d'oxygène qu'un organisme peut utiliser *par unité de temps* (généralement par minute) au cours d'un exercice musculaire intense et d'une durée égale ou supérieure à quatre minutes. Elle correspond au $VO_2 \text{ max}$

(V = débit ; O_2 = oxygène ; max = maximal) ou consommation maximale d'oxygène.

L'endurance aérobic (E.A.) est la *fraction* ou le *pourcentage* de $VO_2 \text{ max}$ ou de la P.A.M. ou encore de la vitesse aérobic maximale (V.A.M.) susceptible d'être maintenu au cours d'une épreuve d'une *durée donnée*. Par exemple courir pendant 12 min (test de Cooper) ou un 5000, un 10000, un 20000 m, un semi-marathon ou un marathon et calculer ensuite à quel pourcentage moyen de la V.A.M. correspond la performance réalisée.

L'E.A. est aussi la durée d'une activité susceptible d'être maintenue à un *pourcentage donné* de $VO_2 \text{ max}$, de la P.A.M. ou de la V.A.M. Par exemple fixer un pourcentage de la V.A.M. (85, 90, 95 ou 100 %) et chronométrer la durée maintenue à cette vitesse.

Dans les deux cas, l'évaluation de l'endurance aérobic nécessite donc de connaître préalablement la puissance aérobic maximale ou bien la vitesse aérobic maximale.

La vitesse aérobic maximale (V.A.M.) ou puissance aérobic maximale fonctionnelle (P.A.M.F.) est la vitesse limite atteinte à $VO_2 \text{ max}$. Elle résulte de l'interaction de trois fac-

teurs : 1- de VO₂max, 2- du rendement de la locomotion utilisée : course, cyclisme, natation... encore défini comme *efficacité ou économie de locomotion* utilisée et 3- de la motivation pour pouvoir l'atteindre VO₂max au cours d'une épreuve intense et prolongée (figures 1 et 2).

L'économie de locomotion (de course, de nage, de pédalage...) représente l'énergie requise pour se déplacer à une vitesse donnée ou mieux, à un pourcentage donné de VO₂max ou de la V.A.M. Le sujet le plus « économe » ou présentant le meilleur rendement sera celui qui dépensera le moins d'énergie pour se déplacer sur une distance donnée à une vitesse donnée.

1- EVALUATION DE LA P.A.M. ET DE LA V.A.M.

Depuis 1982, date à laquelle nous avons introduit en France les épreuves progressives de course permettant d'évaluer sur le terrain la puissance aérobie maximale fonctionnelle et d'extrapoler VO₂max (Léger et Boucher, 1980 ; Léger et Lambert, 1982), à la très populaire épreuve de douze minutes de course et de marche de Cooper (1968) essentiellement utilisée jusqu'alors, se sont ajoutés de nombreux autres tests aux protocoles et aux objectifs plus ou moins proches.

Devant cette abondance, nombreux sont les praticiens qui, aujourd'hui, s'interrogent avant de choisir le test correspondant le mieux à leur(s) besoin(s) et à leur(s) moyen(s).

L'objet de notre présentation est d'abord, de tenter de les aider à établir leur choix en toute connaissance de causes et ensuite, de leur suggérer quelques utilisations possibles des résultats obtenus. Pour ce faire, nous passerons préalablement chacune des épreuves les plus connues au tamis méthodologique constitué par quatre critères d'appréciation : **la pertinence, la validité, la fidélité et l'accessibilité**. Cette étude critique devrait permettre d'établir un classement avant d'explorer deux pistes d'utilisation possible des résultats obtenus : l'une à partir de la référence principalement recherchée : la vitesse aérobie maximale (VAM), l'autre avec la relation vitesse-fréquence cardiaque (FC) issue d'une des épreuves retenues.

ÉTUDE CRITIQUE DE SIX TESTS

Nous avons écarté de notre étude deux tests dont la seule valeur est la facilité de leur mise en œuvre : le test des italiens Conconi et al., 1982 et, celui baptisé par ses auteurs français Channon et Stephan (1985) : « Control aerobic training » ou C.A.T. test. Par contre, leur niveau de validité et de fidélité, deux des critères majeurs de la fiabilité d'un test, n'ont pu résister aux critiques méthodologiques et aux expertises expérimentales (voir notamment Brue et Montmayeur, 1988 ; Léger 1988 ; Lacour et al., 1987 ; Cazorla, 1990 ; Jones et Doust, 1997).

Six autres tests qui résistent à cette première critique font l'objet de la présente expertise. Il s'agit des tests :

- de la plus grande distance parcourue en 12 min de Cooper, 1968 :
- progressif de course navette de Léger et Lambert (1982),
- progressif de course sur grand terrain de Léger et Boucher (1980),
- progressif Vam-éval de Cazorla et Léger (1993),
- progressif de course derrière cycliste de Brue (1985),
- progressif de course à paliers de 3 min, ou test de l'Université de Bordeaux 2 (TUB₂, Cazorla 1990).

Niveau de pertinence

Le niveau de pertinence est dicté par l'objectif ou les objectifs que se fixe l'utilisateur d'un test donné. C'est d'ailleurs à cet endroit que l'on observe les plus grandes confusions, aussi faut-il se poser les bonnes questions relatives à ses utilisations possibles.

S'agit-il d'établir un simple diagnostic initial sur le niveau de développement de la capacité aérobie ? Dans ce cas seul un indice de l'aptitude aérobie suffit et n'importe lequel des six tests précédents peut être retenu.

Veut-on évaluer la puissance aérobie maximale d'un ou de plusieurs sujets ? Hormis le test de Cooper, tous les autres le permettent avec cependant une meilleure validité obtenue avec les tests navette de *20 m de Léger et al. (1985)*.

S'agit-il encore d'obtenir une vitesse limite référence ou vitesse aérobie maximale (VAM) afin de mieux orienter et contrôler les intensités d'entraînement ? Dans ce cas un simple indice aérobie ne suffit plus. Ne disposant que d'un chronomètre et de distances, l'enseignant d'EPS, l'entraîneur et le sportif ont surtout besoin de références chronométriques pour élaborer les contenus de leurs entraînements. Plus que la connaissance de VO₂max, c'est celle de la vitesse limite de course atteinte à VO₂max ou vitesse aérobie maximale (VAM) qui leur est indispensable. A partir de cette vitesse, peuvent facilement être programmées les intensités et les durées optimales utiles de course et être connues leurs répercussions physiologiques. *Les tests progressifs de course sur piste : Vam-éval, Léger et Boucher, Brue et TUB₂ peuvent parfaitement répondre à ce type d'utilisation.*

S'agit-il enfin d'obtenir non seulement la VAM mais aussi d'explorer les vitesses intermédiaires correspondant aux limites des mises en jeu métaboliques aérobie, anaérobie et mixte ainsi que les réponses cardiaques en état stable et au cours d'intervalles de récupération ? *Dans ce cas le TUB₂ permet de répondre à ces différents objectifs.*

Le tableau 1 ci-dessous récapitule la pertinence du choix éventuel des six différents tests.

TESTS	RÉSULTATS	OBJECTIFS (*)				
		ICA	PAM	VO ₂ max	VAM	PMT
.12min de course : .2400 m : Cooper	Plus grande distance parcourue	oui	non	non	Non	Non
	Plus petite durée	oui	non	non	Non	Non
.course navette 20m Leger et al.	Dernier palier complété	oui	oui	oui	non	Non
.course sur piste Léger et Boucher	Dernier palier complété	oui	oui	oui	oui	Non
vaméval Cazorla et Léger	Durée dans le dernier palier	oui	oui	oui	oui	Non
.Course-derrière cycliste, Brue	Durée dans le dernier palier	oui	oui	non	oui	Non
.TUB ₂ : paliers 3 min, Cazorla,	Durée dans le dernier palier	oui	oui	oui	oui	Oui

Tableau 1 : Pertinence du choix d'un test. Le choix dépend des objectifs de l'utilisateur. (*) ICA : indice de capacité aérobie ; PAM : puissance aérobie maximale ; VO₂ max : consommation maximale d'oxygène ; VAMS : Vitesse aérobie maximale spécifique. PMT : plages métaboliques transitionnelles.

Niveau de validité

Il s'agit ici d'avoir la preuve expérimentale que chacun des tests sélectionnés mesure effectivement ce qu'il est censé évaluer. Le niveau de corrélation calculé entre le facteur directement mesuré et le résultat du test permet de vérifier sa validité. Si la corrélation est élevée, connais-

sant le résultat du test il est permis d'extrapoler le facteur à évaluer. L'inverse est aussi possible.

Selon les deux objectifs principaux assignés aux tests précédents, peut-on affirmer qu'ils mesurent effectivement VO_2 max et la vitesse aérobie maximale ?

Validité et VO_2 max

Bien que la connaissance de VO_2 max ne s'avère pas indispensable aux entraîneurs, aux éducateurs et aux sportifs, certaines épreuves sont très fortement corrélées à VO_2 max. Elles permettent d'extrapoler la consommation maximale d'oxygène avec un risque inférieur à la plupart des tests indirects de laboratoire. En fonction de l'âge des sujets, la course navette de Léger et al. (1985) présente un niveau de corrélation compris entre 0,70 (n = 188 enfants) et 0,90 (n = 77 adultes).

L'épreuve de course sur grand terrain (Léger et Boucher, 1980) n'est par contre validée que pour prédire le VO_2 max de sujets adultes (r = 0,96 ; n = 25 adultes). Par contre le résultat de ce test permet aussi une très bonne prédiction des performances de demi-fond (r = 0,96 ; n = 23 adultes) et de fond (r = 0,96 ; n = 24 adultes). Il en est de même du test de Brue (1985) : r (1500m) = 0,96 ; n = 12 et r (3000m) = 0,91 ; n = 11. Ces trois tests sont donc respectivement validés pour prédire VO_2 max (navette et course sur piste) et la performance de longue durée (course sur piste et Brue), ce qui n'est pas le cas du test de Cooper qui, selon les populations étudiées et selon les auteurs, présente des niveaux de corrélation non significatifs (r : 0.24) à très significatifs (r: 0.94). Cette grande variabilité interdit d'adopter sans réserve cette épreuve pour prédire VO_2 max.

Validité et VAM

Le concept de vitesse aérobie maximale (VAM) ou vitesse limite atteinte à VO_2 max (Vmax) suscite un grand intérêt chez les entraîneurs, les enseignants d'EPS et les sportifs. La connaissance de cette vitesse chez un individu donné n'est cependant pas aussi simple qu'elle en a l'air. En effet, la VAM dépend non seulement de multiples interactions biomécaniques et physiologiques (figure 1) mais aussi du protocole du test censé l'obtenir (figure 2).

Au nombre des interactions, le VO_2 max, le rendement énergétique encore défini comme l'économie de course (Sjödén et Svendsen, 1985 ; Daniels, 1985 ; Ouvrier-Buffer, 1988 ; Peronnet, 1988 ; Morgan et al, 1989 ; Lacour, 1990) et ...la motivation en sont les principales. Ainsi la VAM résulte à la fois de l'économie de course et du VO_2 max. Connaissant la VAM, VO_2 max ne peut être extrapolé qu'en tenant compte de l'économie de course qui, selon les individus peut varier entre $\pm 5\%$.

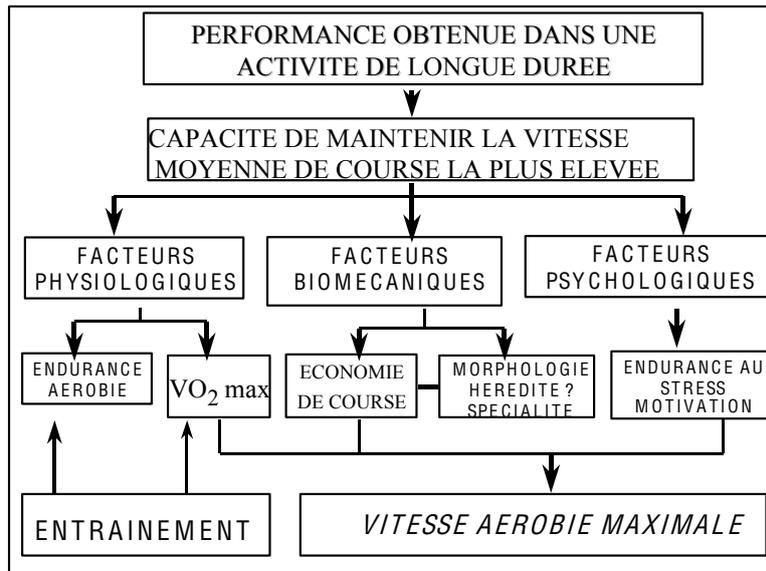


Figure 1 Différentes inter-actions à l'origine de la performance au ½ marathon et au marathon

Un autre point et non des moindres est que la Vam peut aussi varier en fonction du protocole du test. D'une manière générale, plus l'augmentation de la vitesse des paliers est brutale et de courte durée, plus la Vam a des chances d'être surestimée. Dans ce cas, une part importante de la Vam est liée à la production anaérobie de l'énergie.

A l'inverse, plus la durée du protocole est importante, plus la Vam risque d'être sous estimée probablement à cause des effets de la fatigue qui limitent la poursuite de l'exercice.

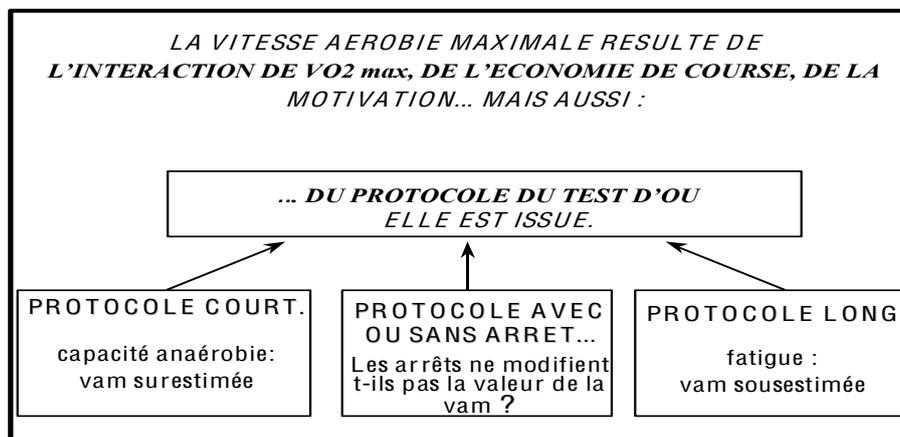


Figure 2 Différentes conditions expérimentales susceptibles de surestimer ou de sous estimer la vitesse aérobie maximale à l'issue d'épreuves triangulaires habituellement utilisées.

En s'appuyant sur le protocole de Daniels et al, 1984, c'est de cette hypothèse qu'ont procédé nos travaux pour vérifier si la vitesse aérobie maximale correspondait à une et à une seule réalité. Dans un premier temps au moyen d'une épreuve, très courte avec incrémentation en rampe, nous avons mesuré directement les VO₂max de 17 étudiants sportifs volontaires. Les VO₂max obtenus devenaient les valeurs références (100%). Nous avons mesuré ensuite les VO₂ correspondant à cinq paliers de 6min courues à vitesse infra maximale avant que ces étudiants passent dans un ordre aléatoire quatre des tests précédents : Léger-Boucher, Tub2,

Vam-éval et Brue. Comme l'indique la figure 3, à partir de la régression linéaire obtenue avec les cinq paliers infra maximaux et leurs vitesses de course, nous avons extrapolé la vitesse correspondant à VO₂max (V max). Les résultats sont présentés par la figure 3 et dans le tableau 2. Ces résultats montrent une vam extrapolée de 17,32km/h.

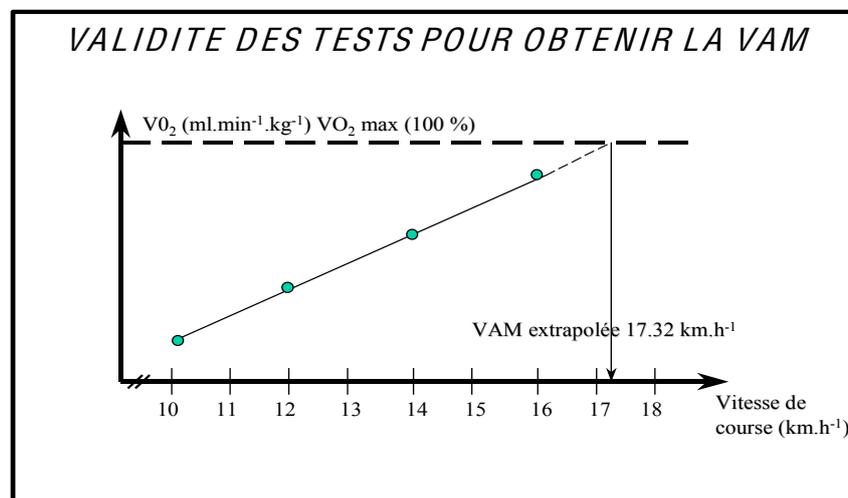


Figure 3 : La linéarité de la relation VO₂ vitesses infra maximales de course permet d'extrapoler la Vam.

En fonction des protocoles utilisés, on peut constater cependant que les Vam obtenues à partir des tests TUB2 et Vam-éval se rapprochent le plus de la Vmax référence : $17,32 + 0,96 \text{ km.h}^{-1}$. En outre dans cette même étude nous avons obtenu des Vmax spécifiques au CAT- test supérieures de $1,5 \text{ km.h}^{-1}$ par rapport à la Vmax référence !

Les Vam obtenues peuvent s'échelonner entre $17,2 \pm 1,1 \text{ km.h}^{-1}$ avec le test sur piste de Léger et Boucher et $17,8 \pm 0,9 \text{ km.h}^{-1}$ avec le test derrière cycliste de Brue, 1895 (tableau 2 ci-dessous) ce qui constitue un handicap certain lorsque l'on veut utiliser la Vam comme référence pour planifier les intensités d'entraînements ou pour mesurer l'endurance aérobie d'une personne (Péronnet 1988, Péronnet et al. 1991, Billat et Koralztein 1996).

	Léger - Boucher	Vam-éval	Vam extrapolée	Tub 2	Brue
Vam km/h ⁻¹	17.2 ± 1.1	17.3 ± 1.1	17.32 ± 0.96	17.4 ± 1.	17.8 ± 0.9

Tableau 2 : Vam (?) obtenues par les mêmes sujets (n = 17) aux quatre tests. Différence significative $p < 0,05$ (test wilcoxon) entre Léger-Boucher et Brue.

Autrement dit, il existe autant de Vam qu'il existe de protocoles, ce qui peut expliquer pourquoi des différences souvent importantes sont obtenues au niveau des durées pendant lesquelles les sujets évalués sont capables de courir à 100% de leur Vam. Rappelons que l'endurance aérobie étant définie comme «*le pourcentage de la puissance aérobie maximale (ici représentée par la Vam) susceptible d'être maintenu le plus longtemps possible* » de

nombreux auteurs utilisent la durée de course à 100% de Vam pour l'évaluer (Billat et al. 1994, Berthoin et al. 1995). Selon Péronnet et al. 1991, la durée de course à 100% de VAM obtenue avec le test de Léger-Boucher serait de 7 min avec des sujets moyennement endurants. Il est évident que cette durée devrait être inférieure en utilisant les autres tests et plus particulièrement le test de course derrière cycliste de Brue (1985) et *a fortiori* le C.A.T. test qui surestime de façon importante la Vam.

Aussi, afin d'éviter les actuelles confusions, nous suggérons d'utiliser le concept de *Vam spécifique* en précisant le test avec lequel elle a été obtenue (ex : Vam Léger-Boucher, Vam Tub₂, Vam-éval, Vam Brue) plutôt que le concept unique de Vam qui peut prêter à certaines confusions.

Remarque :

1• Le test Vam-éval a été élaboré pour rendre le test Léger et Boucher plus accessible et plus précis. La pente d'augmentation de l'intensité étant rigoureusement la même : ½ km.h⁻¹ par palier de 1 min à la place de 1 km.h⁻¹ par palier de 2 min, le test Vam-éval bénéficie indirectement du niveau de validité du test de Léger et Boucher. Par contre les Vam obtenues s'avèrent plus précises au ½ km.h⁻¹ près avec le test Vam-éval.

2• Une étude très récente (Hourcade 1997) ne montre aucune différence significative entre les Vam obtenues au Vam-éval et celles obtenues au TUB₂. On peut donc indifféremment utiliser ces deux tests pour obtenir la Vam.

1 - Vam-éval – 1, Léger et Boucher, 3 - Tub ₂ , 4 Derrière cycliste
--

Tableau 3 : Classement final selon la précision de la Vam obtenue

Niveau de fidélité

Le niveau de fidélité d'un test est défini par les résultats obtenus par les mêmes sujets passant deux fois le même test à peu de jours d'intervalle. Le test est dit fidèle lorsque les résultats entre test et re-test demeurent stables : pas de différence significative et corrélation proche de 1. Hormis le test de Cooper, la standardisation rigoureuse et enregistrée sur bande sonore des tests progressifs de course navette de 20 m, de course sur piste (Léger-Boucher, Vam-éval, Tub₂) et de course derrière cycliste, leur confère une bonne fidélité externe, à la condition de vérifier la vitesse de défilement de la chaîne ou du magnétophone utilisé et de faire passer le même test dans les mêmes conditions environnementales (piste, climat, heure de la journée...). Remarquons cependant que le niveau de fidélité interne (propre au sujet) peut varier entre deux tests lorsque l'évalué découvre le test pour la première fois. Chez des enfants et des adolescents nous avons trouvé une étendue de différences en plus lors du re-test allant de 5 à 10 % liée uniquement à l'effet « découverte » voire à l'apprentissage. Ensuite, les résultats demeurent très stables. En conséquence, il est donc recommandé de n'enregistrer que les meilleurs résultats (souvent obtenus au deuxième test).

Niveau d'accessibilité.

Les tests les plus accessibles sont ceux dont le protocole n'exige pas ou peu de compétence particulière, pas ou peu de matériel, dont la durée est la plus réduite possible, qui autorise une évaluation collective et ne nécessite que peu d'évaluateurs.

L'accessibilité est donc liée aux caractéristiques habituelles de la pratique de l'activité physique sur les lieux où elle se déroule : stade, salle de sport et des matériels qui s'y trouvent déjà. En fonction de ces critères nous avons établi une hiérarchie de niveaux d'accessibilité des différents tests expertisés : Tableau 4.

test : 1= le plus accessible 6 = le moins accessible	Matériel nécessaire	compréhension et réalisation du protocole	Durée	nombre d'évalués à la fois	nombre d'évaluateurs
1· Cooper	1 piste + 1 chronomètre	Très facile	12 min	10 à 20 max	1
2· Course navette 20 m	1 surface plane 15 X 22 m 1 cassette enregistrée 1 magnétoscope	Facile et bien expliqué	15 à 20 min	dépend de la longueur des lignes parallèles	1
3· Vam-éval	1 piste multiple de 20 m 1 cassette enregistrée 1 magnétophone + amphi	Facile et bien expliqué	10 à 20 mn	possibilité d'évaluer jusqu'à 100 personnes	1 ou + suivant le nombre d'évalués
4· Course sur piste de Léger-Boucher	1 piste multiple de 20 m 1 cassette enregistrée 1 magnétophone + amphi	Facile et bien expliqué, vitesse parfois difficile à ajuster	10 à 30 min	Possibilité d'évaluer jusqu'à 50 personnes	1 ou + suivant le nombre d'évalués
5· TUB ₂	+ cardiofréquence mètre + prélèvements	Facile et bien expliqué	10 à 30 min	Fonction du nombre de cardiofréquence mètres et du nombre de préleveurs habilités :	Minimum 1
6· Course derrière cycliste	1 parcours plat 1 bicyclette adaptée 1 enregistrement	Facile mais évaluateur habitué à la fréquence de pédalage	10 à 25 min	Possibilité d'évaluer 4 à 6 personnes	Minimum 2

Tableau 4 : Hiérarchie argumentée du niveau d'accessibilité

Ainsi, le test de Cooper présente un excellent niveau d'accessibilité, la course navette et le Vam-éval un très bon, sensiblement meilleur que l'épreuve de course sur piste de Léger-Boucher et le TUB₂ mais nettement meilleur que le test progressif de course derrière cycliste qui nécessite une bicyclette adaptée et un cycliste habitué à pédaler à des cadences imposées. Afin d'en améliorer le niveau d'accessibilité ainsi que la précision de ses résultats, c'est à la demande d'une part : des enseignants d'éducation physique et d'autre part de la Fédération Française d'Athlétisme que nous avons modifié le protocole du test de Léger et Boucher sans rien changer à son niveau de validité. Pour mieux ajuster la vitesse de course, nous avons placé les bornes-repères à 20 m les unes des autres autour d'une piste au lieu de 50 m comme prévu dans le protocole initial ; Cette distance est aussi plus facile à mesurer au moyen du double décimètre que possèdent généralement enseignants et entraîneurs et permet facilement de tracer une piste multiple de 20 m (200, 220, 240 m) sur n'importe quel terrain de football ou de rugby (cf. Cazorla et Léger 1993).

De plus, l'augmentation de la vitesse de un demi km.h⁻¹ à chaque minute à la place de 1 km.h⁻¹ toutes les deux minutes, permet non seulement d'obtenir une Vam plus précise mais aussi d'augmenter la vitesse de chaque palier de façon plus discrète et mieux adaptée aux possibilités des enfants et des adolescents.

En résumé, en prenant en compte les niveaux de pertinence, de validité, de fidélité et d'accessibilité, pour les tests qui permettent d'obtenir une Vam utilisable pour l'entraînement nous proposons le classement final suivant (Tableau 5)

Épreuves	Validité	Fidélité	Accessibilité	Classement
Vam-éval	2	1	1	1 ^{er} ex
Léger-Boucher	1	1	2	1 ^{er} ex
TUB ₂	2	1	2 3	3 ^{ème}
Course der-rière cycliste	2	1		4 ^{ème}

Tableau 5 : Classement final des tests susceptibles de mesurer une Vam

2- QUE PERMET LA CONNAISSANCE DE LA VAM ?

Outre la possibilité d'évaluer l'endurance aérobie, la connaissance de la Vam s'avère aussi très utile pour au moins quatre raisons :

- elle autorise l'extrapolation de VO_2 max
- elle permet de prédire les performances potentielles de course, à la condition bien sûr de s'entraîner correctement.
- elle donne des indications sur les intensités à envisager dans les séances d'entraînement.
- elle permet aussi de mieux gérer les vitesses utiles d'entraînement.

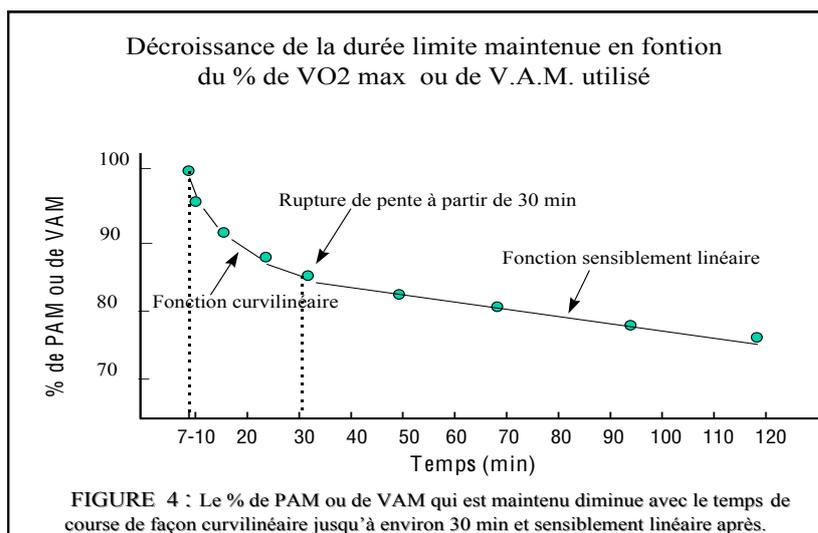
Envisageons ces différents cas de figure :

2-1 VAM ET EVALUATION DE L'ENDURANCE AEROBIE

Parmi les nombreuses techniques susceptibles d'évaluer l'endurance aérobie nous ne retiendrons que celles utilisant la durée limite maintenue à un pourcentage de VO_2 max ou de Vam , l'Index d'endurance aérobie de Péronnet et Thibeau (1984) et l'Indice d'endurance aérobie que nous utilisons nous-mêmes (Cazorla,1990).

Durée limite maintenue à un pourcentage de Vam

Il semble que les premiers travaux ayant permis de mettre en évidence les aspects curvilinéaires de la relation entre le pourcentage de VO_2 max utilisé et la durée d'une course (Figure 4), soient à attribuer à Costill et Fox (1969) et à Astrand et Rodhal (1970) . Avant eux, Monod et Scherrer (1965) avaient montré le même phénomène à l'échelle musculaire locale. Cette curvilinéarité n'est cependant observable que pour des durées inférieures ou égales à 30 min. Au delà, dans sa partie distale, cette même relation s'apparente plutôt à une fonction linéaire (Figure 4).



C'est à partir de ce modèle que Saltin (1973) proposa une équation de forme linéaire utilisable uniquement pour des durées comprises entre 30 et 300 minutes:

$$\% \text{ VO}_2 \text{ max} = 0.94 - 0.001 t \text{ (min)}$$

Ainsi, pour une course qui durerait trois heures (180 min) un athlète serait théoriquement capable de maintenir 76 % de son VO₂ max.

Pour les ultra marathonniens Davies et Thompson (1979) ont eux aussi calculé une équation dans laquelle « t » est exprimé en heures :

$$\% \text{ VO}_2 \text{ max} = 91.24 - 3.79 t + 0.08 t^2$$

Ainsi, pour un ultra marathon qui durerait 8 heures, un coureur serait capable de maintenir 66 % de son VO₂ max .

Pour les durées plus courtes correspondant aux performances réalisées sur des distances comprises entre le 400m et le marathon, c'est-à-dire surtout dans la partie curvilinéaire de la relation % de VO₂ max - durée, s'appuyant sur une analyse mathématique issue de performances réalisées par 311 sujets de niveaux hétérogènes, Léger, Mercier et Gauvin (1986) proposèrent les équations suivantes :

- Si $t < 4.6$ min :.....In Y = 4.93 - 0.186 In X
- Si $4.6 < t < 70.4$ min :.....In Y = 4.79 - 0.096 In X
- Si $70.4 < t < 173.7$ min :.....In Y = 4.90 - 0.121 In X
- Si $t > 173.7$ min :.....In Y = 5.08 - 0.156 In X

Equation dans lesquelles Y est le % de VO₂max et X la durée limite exprimée en minutes.

Ainsi il est possible de calculer le % de VO₂max par exemple pour les durées respectives de 2 min = 121.6 % ; 60 min = 81.2 % ; 120 min = 75.3 % et 180 min = 71,5 %.

Développées toujours par Léger, Mercier et Gauvin (1986) mais aussi par Montmayer et Villaret (1989) deux autres équations montrent de très bonnes corrélations entre les valeurs obtenues et les valeurs prédites. Respectivement $r = 0.94$ et 0.93 avec les équations suivantes :

$$Y = 126.69 - 11.056 \ln X \text{ (Léger et al.) et } Y = 109.837 \ln X^{-0.202} \text{ (Montmayer et Villaret ; 1989)}$$

Dans ces modèles, il est raisonnable de penser que des facteurs différents sont mis en jeu en fonction des durées limites. Pour les durées inférieures à 4.6 min les facteurs neuromusculaires et le métabolisme anaérobie doivent probablement constituer les principaux facteurs

limitants. Pour les durées comprises entre 5 et 70 min, le VO₂max mais aussi les réserves en glycogène conditionnent vraisemblablement les exercices et notamment les courses correspondantes. Entre 70 et 173 min la vitesse moyenne de course dépend non seulement de VO₂max mais aussi de l'oxydation des graisses. Au-delà de 173 min, de l'interaction de l'oxydation des graisses, de la capacité de thermorégulation et de la gestion de l'équilibre hydrominéral dépend la qualité de la performance. Autrement dit l'importance relative de la P.A.M. et donc de la vitesse aérobique maximale pour prédire la performance est inversement proportionnelle à la distance (ou à la durée) de cette dernière alors que celle de l'endurance aérobique augmente de façon symétrique (Mercier et Léger, 1986 ; Péronnet et Thibault, 1988).

Une autre façon d'appréhender l'endurance aérobique est de chronométrer la durée de maintien d'un pourcentage donné de la Vam. Nombreuses sont les études qui ont envisagé de mesurer directement cette durée au cours d'un protocole rectangulaire de course sur tapis roulant ou sur piste à des pourcentages de Vam différents ou bien de la calculer (Tableau 6).

Références	Course	Protocole	% de Vam	E.A.(min)
Costill (1970)	Tapis roulant	Mesure	95 + 3	30 + 1
Costill et al. (1973)	Tapis roulant	Mesure	86.1 + 3.9	56.3 + 6.3
Higgs (1973)	Tapis roulant	Mesure	100	4.63
Volkov et al. (1975)	Tapis roulant	Mesure	100	5.4 + 3.25
Briggs (1977)	Tapis roulant	Mesure	95	8.6 + 1.4
Reybrouck et al. (1986)	Tapis roulant	Mesure	91.3	22.9 + 20.9
Péronnet et al. (1987)	Piste	Calcul	100	7
Montmayer et Villaret (1989)	Piste	Calcul	100	4.5
Lacour et al. (1990)	Piste	V 3000m	100	8.7
Padilla et al. (1992)	Piste	Calcul	100 Homme et Femme	8.4 + 2.1 7 + 2.2
Ramsbottom (1992)	Piste	Mesure	Homme : 90 Femme : 82	18.7 ± 1.27 21.8 ± 1.98
Pepper et al. (1992)	Tapis roulant	Mesure	98 111	7.2 ± 2.8 3.4 + 1.4
Billat et al.(1994-1995)	Tapis roulant	Mesure	90 100 100 100	17.6 ± 4.5 6.7 ± 1.88 5.5 ± 1.5 2.9 ± 0.7

TABLEAU 6 : Synthèse des résultats des principales études portant la durée limite de maintien d'un pourcentage de la vitesse aérobique maximale. On remarquera la disparité de ces durées.

La disparité des résultats obtenus témoigne probablement du niveau différent d'endurance aérobique des populations évaluées mais peut être due aussi au choix de l'épreuve utilisée pour obtenir la vitesse aérobique maximale. Cet aspect n'est jamais discuté alors que, selon l'épreuve, cette dernière peut être sous ou surestimée (cf paragraphe 2-2, figures 2 et 3, et tableau 2), entraînant de ce fait une plus ou moins longue durée limite maintenue à un pourcentage donné de la V.A.M.

Pour notre part, avec une population constituée de 319 jeunes garçons et filles âgés de 8 à 15 ans et en utilisant 100% de leur Vam obtenue au test vam-éval nous avons mesuré sur piste une durée limite moyenne de 5.48 ± 1.56 min (données non publiées).

A des fins de comparaison il est donc indispensable de mieux standardiser l'épreuve amenant les sujets à leur Vam (nous suggérons les tests Vam-éval ou Tub2) et de conserver

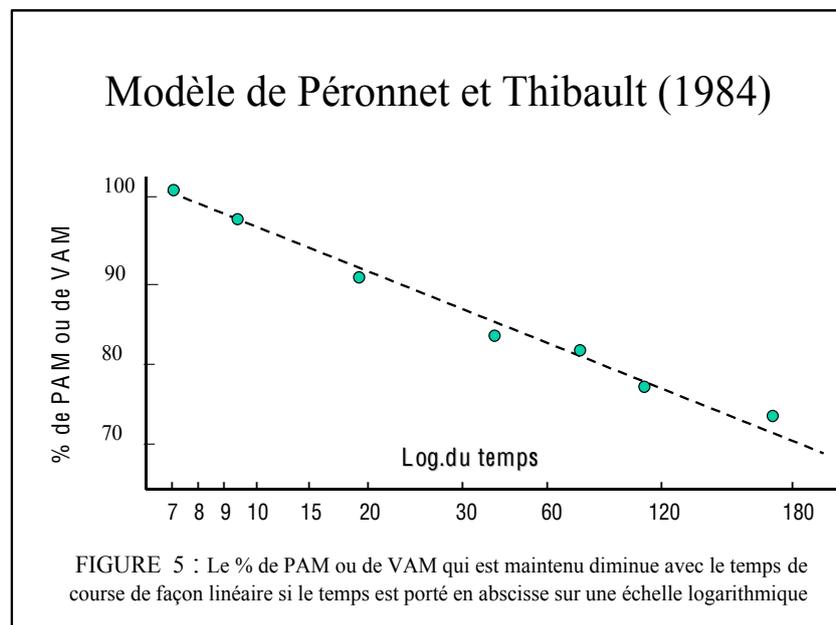
ensuite toujours ces mêmes épreuves et les mêmes pourcentages de la Vam obtenue dans un délai maximum d'une semaine avant le test d'endurance.

Bien que ces modèles constituent des points de repère intéressants pour juger de l'endurance aérobie d'un sujet **par rapport à une norme**, leur aspect le plus contestable est de ne pas considérer l'endurance aérobie comme une capacité physiologique spécifique susceptible d'être très fortement améliorée par l'entraînement (Gleser et Vogel,1973 ;Mayes et al ,1987) et donc très différente d'un sujet à l'autre. En outre dans le cas du suivi des effets de l'entraînement sur l'endurance aérobie, plutôt qu'une norme, ce sont aussi les résultats du sportif comparé à lui-même qu'il convient de prendre en compte pour en analyser les différences. En effet comme l'ont montré Mayes et al.(1987), après six semaines d'entraînement, la durée limite de course à 80 % de VO₂max peut être améliorée de 284 % chez des sujets qui présentaient une activité normale (sans activité physique particulière ni entraînement) avant cette période d'entraînement.

Par ailleurs, il n'est pas exceptionnel que des athlètes très endurants soient capables de courir un marathon à une vitesse moyenne située entre 80 et 85 % de leur Vam (Costill et al.,1973, alors que, selon les modèles précédents, ce pourcentage devrait se situer entre 75 et 76 % !

L'Index d'Endurance : I.E. (Péronnet et Thibault, 1984 ; 1987).

Partant de ces critiques, Péronnet et Thibault (1984,1987) ont développé un concept dans lequel l'endurance est considérée comme une entité propre à chaque individu. L'originalité de leur modèle est d'exprimer la durée limite du maintien de course à des pourcentages différents de la Pam.(ou de la Vam) en abscisse sur une échelle logarithmique. Dans ces conditions la relation % de Vam- durée limite n'est plus curvilinéaire (Figure 4) mais totalement linéaire (Figure 5).



L'endurance peut être calculée à partir de la pente de la droite de décroissance de la relation ainsi obtenue, selon l'équation proposée par les auteurs :

$$I.E.= (100 - \% V.A.M.) / (\ln 7 - \ln t)$$

Dans laquelle ln 7 est le logarithme naturel de 7min, durée limite théorique de maintien de la Vam et ln t est celui d'une performance quelconque de longue durée exprimée en minute.

Prenons l'exemple de deux coureurs possédant la même Vam : 21 km.h⁻¹ mais dont l'un court le marathon en 2h 25min (ou 145min) et l'autre en 2h 35min (ou 155min) ce qui représente des vitesses moyennes de : 42195m/145 = 291 m.min⁻¹ (ou 17.46 km.h⁻¹) et de 272.2 m.min⁻¹ (ou 16.33 km.h⁻¹). Ces vitesses représentent respectivement elles-mêmes 83.1% et 77.8% de leur Vam. Leur I.E. respectif est donc :

$$(100 - 83.1) / (1.946 - 4.977) = - 5.58 \text{ pour le premier}$$

$$\text{et } (100 - 77.8) / (1.946 - 5.040) = - 7.17 \text{ pour le second}$$

Ainsi, plus la pente décroissante (exprimée en conséquence par un chiffre négatif) est faible, meilleure est l'endurance. De cette façon l'endurance est découplée de la Pam de la Vam ou de VO₂max et constitue une capacité en elle-même dont Péronnet et al.(1991) proposent une échelle d'appréciation, elle-même issue de l'évaluation de populations aux niveaux d'endurance très hétérogènes (Tableau 7)

	Endurance très élevée	Endurance élevée	Endurance moyenne	Endurance faible	Endurance très faible
Indice d'endurance	- 4	- 6	- 8	- 10	- 12

Tableau 7 : Echelle d'appréciation du niveau d'endurance à partir du calcul de l'Index d'Endurance de Péronnet et Thibault (1984 ;1987). D'après Péronnet et al. (1991).

Même si ce modèle permet de façon concrète de calculer l'endurance, le choix d'une durée de maintien de la Vam pendant 7 min constitue son point faible. Il suffit en effet que deux coureurs soient réellement capables de maintenir des durées différentes pour que leur pente respective de décroissance soit modifiée et donc que soit modifié leur Index d'Endurance.

L'Indice d'Endurance Aérobie : I.E.A. (Cazorla,1990)

A des fins pédagogiques, pour notre part, nous utilisons un indice au calcul plus accessible aux jeunes scolaires. Pour obtenir cet indice nous proposons d'abord de mesurer la Vam et ensuite d'enregistrer une performance de longue durée comme la plus grande distance courue pendant 12, 15, 20 ou 30 min. Nous calculons alors le rapport : (vitesse moyenne tenue pendant la durée choisie / Vam) x 100 ce qui constitue L'I.E.A. de chaque évalué. Plus le pourcentage obtenu tend vers 100 meilleure et l'endurance spécifique du sujet. En supposant qu'au delà d'une période de 10 semaines d'entraînement la Vam demeure stable, il est ainsi possible d'objectiver l'amélioration subséquente de la seule endurance aérobie pour apprécier ses effets sur la performance.

Prenons l'exemple d'un coureur débutant dont la Vam a été mesurée à 15 km.h⁻¹ et qui réussit à parcourir 2750m au test de 12min de Cooper. Son I.E.A. est :

$$2750\text{m} / 12\text{min} = 229.17\text{m.min}^{-1} \text{ ou } (13.75 \text{ km.h}^{-1} \cdot 100) / 15 = 91.67\%$$

$$\text{Ou encore : } (2750\text{m} / 3000\text{m (distance théorique qu'il aurait parcourue en 12min à sa Vam)}) \cdot 100 = 91.67\%$$

2 · 2 VAM ET EXTRAPOLATION DE VO₂max

Nombreux sont les auteurs qui ont proposé des équations de prédictions de VO₂max (ml·min⁻¹· kg⁻¹) à partir de la connaissance de la Vam (tableau 8 ci-dessous).

Références	Équations de prédiction Y = VO ₂ ml·min ⁻¹ · Kg ⁻¹ . V= Vitesse de course en km.h ⁻¹ .	VO ₂ max prédit avec une VAM de 20 km.h ⁻¹	
		(1) sans correction	(2) avec correction
Astrand, 1952	Y = 2.93.V + 9.33	67,9	72,1
Balke, 1963	Y = 2.86. V + 10.2	67,4	71,6
Margaria et al 1963	Y = 3.33. V + 3.5	70,1	74,3
Shephard, 1963	Y = 2.98. V + 7.6	67,2	71,4
Pugh, 1970	Y = 2.979.V + 4.245	63,8	68,0
Costill et al. 1973	Y = 4.2.V - 15,24	63,8	73,0
Costill et al. 1973	Y = 3.4.V - 5.24	62,8	67,0
ACSM, 1975	Y = 3.0625.V + 5.25	66,5	70,7
Bransford et Howley 1977	Y = 340.V. - 0.51	67,5	71,7
Mc Miken et Daniel 1976	Y = 2.867.V + 5.363	62,7	66,9
Mayhew, 1977	Y = 3.318.V - 0.82	65,5	69,7
ACSM, 1980	Y = 3.3478.V + 3.275	70,2	74,4
Léger et Boucher 1980	Y = 14.49 + 2.143.V + 0.0324 V ²	-	70,31 (*)
Léger et Mercier 1983	Y = 1.353 + 3.163.V + 0.0122586 V ²	-	69,5 (*)
Léger et Mercier 1983	Y = 2.209 + 3.163.V + 0.000525 542 V ³	-	69,7 (*)
Léger et Mercier 1983	Y = 3.5 V	-	70 (*)

Tableau 8 : Équation de prédiction de VO₂max en fonction de la vitesse de course et résultat à partir de l'hypothèse d'une Vam de 20 km.h⁻¹ . 1 = résultat sans corrections obtenu à partir de la course sur tapis roulant 2 = résultat avec corrections en tenant compte de la résistance de l'air (Pugh, 1971 : VO₂ + 0.000525542 V³(*) équation valide pour les tests de terrain.

Celle de Léger et Mercier (1983) qui résume l'ensemble des équations précédentes pour calculer une équation moyenne VO₂ max (ml·min⁻¹ · kh⁻¹) = 3,5 X Vam (km.h⁻¹) s'avère la plus simple. Les résultats admettent cependant une marge d'erreur liée à l'économie de course, dont nous rappelons que la différence interindividuelle peut s'inscrire dans une limite de ± 5 %.

2.3 VO₂ max et VAM PREDITE

A l'inverse, connaissant VO₂max à partir de l'équation précédente, il est donc possible d'estimer la Vam.

Équation 1 = $\frac{VO_2\text{max (ml}\cdot\text{min}^{-1}\text{ kg}^{-1})}{3.5} = V_{am}$ (km·h⁻¹)... qui est la seule référence dont le sportif a besoin !

Plusieurs autres auteurs ont aussi tenté d'extrapoler la V_{am} (définie souvent aussi comme v VO₂ max ou V_{max} ou encore MAS = maximal aerobic speed) en utilisant des protocoles spécifiques.

Utilisant la performance établie sur 1 500 m, Lacour et al. 1989 proposent l'équation :

$$\text{Équation 2} = \text{MAS (m}\cdot\text{s}^{-1}) = 0.97 \cdot V_{1500} \text{ (m}\cdot\text{s}^{-1}) - 0.47$$

dans laquelle V₁₅₀₀ est la vitesse moyenne obtenue sur le 1500 m, alors que di Prampéro (1986) calcule la vitesse obtenue à VO₂ max (V.à.max) à partir du rapport F VO₂ max/C dans lequel F est la fraction de VO₂max qui peut être soutenue pendant la durée totale d'une course et C le coût énergétique de la course. Rappelons que le coût énergétique exprimé en ml d'O₂ par kg de masse corporelle et par mètre parcouru (ml·kg⁻¹·m⁻¹), correspond au rapport de la consommation d'O₂ nette (VO₂ - VO₂ de repos) sur la vitesse (m·min⁻¹).

$$VO_2 - VO_2 \text{ de repos (ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1})$$

$$\text{Équation 3} = C \text{ (ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-1}) = \frac{\text{-----}}{V \text{ (m}\cdot\text{min}^{-1})}$$

Le protocole de di Prampéro nécessitant plusieurs mesures à vitesse stabilisée pendant 6 min (steady-state) s'avère très lourd à mettre en oeuvre, aussi, adaptant la méthodologie originale de di Prampéro, Lacour et al. (1990 et 1991) proposent une extrapolation de la V.à. max à partir de l'équation :

$$\text{Équation 4} = V_{a \text{ max (m}\cdot\text{min}^{-1})} = [VO_2 \text{ max (ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}) - 5 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}] \cdot C$$

$$\text{Équation 5} = \text{ou } V_{a \text{ max (m}\cdot\text{s}^{-1})} = [VO_2 \text{ max (ml}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}) - 0.083 \text{ ml}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}] \cdot C^{-1}$$

(*) 5 ml·min⁻¹·kg⁻¹ et 0.083 ml·s⁻¹·kg⁻¹ étant la valeur de VO₂ de repos standard calculée par Medbo et al (1988).

Remarquons que l'utilisation de ces équations entraîne aussi des variations assez importantes de la V_{am} extrapolée, (Billat et Koralsztein, 1996). Par exemple, celle proposée par Léger et Mercier (1983) qui ne tient pas compte des variations inter individuelles du coût énergétique, peut aussi bien surestimer les V_{am} de sujets à mauvais rendement de course que sous estimer celle de sujets énergétiquement très économes.

2.4 PERFORMANCES ET % DE VAM SOLLICITÉS

Plusieurs études : Thibaut et Mercier, 1981 ; Léger et al., 1985 ; Villaret, 1988 ; Montmayeur et Villaret, 1990 ; ont permis de préciser à quels pourcentages de V_{am} se couraient les différentes distances de compétitions. Ces indications constituent d'excellentes orientations pour l'entraînement spécifique en fonction des performances visées. (Tableau 9).

Distances de compétition	% Vam Course sur piste	Corrélations Vam – Perf.
400 m	145 à 155	
800 m	120 à 125	r = . 72 (n = 40)
1000 m	105 à 115	r = . 92 (n = 105)
1500 m	101 à 111	r = . 92 (n = 105)
2000 m	98 à 102	r = . 95 (n = 71)
3000 m	95 à 100	r = . 98 (n = 69)
5000 m	90 à 95	r = . 98 (n = 69)
10 000 m	85 à 90	r = . 88 (n = 108)
20 000 m	80 à 88	r = . 88 (n = 108)
marathon	75 à 84	r = . 85 (n = 108)

Tableau 9 : Pourcentages de Vam susceptibles d'être maintenus pendant les différentes distances de compétition et corrélations entre Vam et vitesses auxquelles ont été réalisées ces performances

L'étude de ce tableau met en évidence une corrélation qui augmente jusqu'à la distance de 3 000 m courue entre 95 et 100 % de Vam et qui diminue ensuite. Ceci peut traduire respectivement la complémentarité plus ou moins importante du métabolisme anaérobie entre le 800 et le 2000 m et celle de l'endurance aérobie à mesure que la distance augmente au-delà de 3000 m. D'une façon générale, cette dernière distance semble la plus proche de la Vam chez les coureurs de demi-fond bien entraînés et peut éventuellement servir de critère de Vam uniquement pour cette population. Pour les autres sportifs, la Vam peut être atteinte entre 2000 et 3000m. Ceci n'est valable que pour les spécialistes de course de demi fond ou de fond et toute une gamme de distances est possible entre 2000 et 3000m pour atteindre la Vam, ce qui ne confère pas une précision suffisante aux résultats souvent aléatoires ainsi obtenus pour indiquer que cette vitesse moyenne atteinte peut se substituer à la Vam.

2-5 VAM ET PREDICTION DE PERFORMANCES

Outre l'extrapolation de VO_2max , la connaissance de la Vam peut aussi permettre de « prédire » avec une assez bonne précision les performances susceptibles d'être atteintes en course si, bien sûr, le sportif s'entraîne correctement pour développer spécifiquement les capacités physiologiques et techniques requises par la performance visée et si son efficacité de course n'est pas trop défailante.

A partir du tableau 10, si le sportif est âgé de 18 ans ou plus et s'il connaît sa Vam ou son VO_2max , selon les régressions calculées par Mercier et Léger (1982 a et b) et Léger et al. (1984), il peut prédire les performances potentielles depuis le 800 m jusqu'au marathon.

Par exemple, si sa Vam est $18 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$, ce qui correspond à un VO_2max extrapolé ou mesuré en laboratoire de $63 \text{ ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}$, à la condition de s'entraîner spécifiquement, il peut espérer atteindre (avec une marge d'erreur possible de 5 à 7% en plus ou en moins) les performances suivantes : 2 min 17 s au 800 m ; 2 min 59 s au kilomètre ; 4 min 50 s au 1 500 m ; 6 min 42 s au 2 000 m ; 10 min 38 s au 3 km ; 18 min 30 s au 5 km ; 39 min 18 s au 10 km ; 1 h 47 s au 15 km ; 1 h 22 min 46 s au 20 km ; 1 h 26 min 50 s au 21 km et 3 h 8 min 6 s au marathon.

Si le sportif n'atteint pas ces performances c'est probablement que sa capacité anaérobie lactique (ou capacité de produire de l'acide lactique et de supporter une forte acidose musculaire) n'est pas suffisamment développée pour les distances courtes inférieures au 3 000 m, ou bien que son endurance aérobie n'a pas été assez bien développée pour maintenir une vitesse élevée sur des distances longues, ou/et qu'il présente une médiocre économie de course. Ainsi, la prédiction de la performance à partir de la connaissance de la Vam peut renforcer la motiva-

tion pour atteindre ou dépasser la performance cible et indirectement mettre en évidence certaines carences au niveau des différents facteurs dont dépend la performance (Figure 1)

VAM km · h ⁻¹	VO ₂ max ml.min ⁻¹ kg ⁻¹	PERFORMANCES POTENTIELLES (h : min : s) selon différentes distances de course (m)										
		800	1000	1500	2000	3000	5000	10000	15000	20000	30000	42195
14	49.0	2:59	3:56	6:30	9:05	14:28	25:20	56:15	1:27:23	1:59:22	3:15:43	4:54:07
15	52.5	2:46	3:38	5:59	8:20	13:16	23:11	50:47	1:18:46	1:47:29	2:53:20	4:17:48
16	56.0	2:35	3:24	5:32	7:43	12:15	21:23	46:17	1:11:42	1:37:45	2:35:33	3:49:28
17	59.5	2:26	3:11	5:09	7:10	11:23	19:50	42:30	1:05:47	1:29:38	2:21:05	3:26:44
18	63.0	2:17	2:59	4:50	6:42	12:38	18:30	39:18	1:00:47	1:22:46	2:09:06	3:08:06
19	66.5	2:10	2:49	4:32	6:17	9:58	17:20	36:33	56:29	1:16:52	1:59:57	2:52:34
20	70.0	2:03	2:40	4:17	5:56	9:23	16:18	34:10	52:45	1:11:45	1:50:18	2:39:23
21	73.5	1:57	2:32	4:03	5:36	8:52	15:23	32:04	49:29	1:07:17	1:42:49	2:28:05
22	77.0	1:51	2:25	3:50	5:19	8:24	14:34	30:12	46:36	1:03:20	1:36:17	2:18:16
23	80.5	1:46	2:18	3:39	5:07	7:59	13:50	28:33	44:01	59:30	1:30:32	2:09:41
24	84.0	1:42	2:12	3:29	4:49	7:36	13:10	27:04	41:43	56:41	1:25:26	2:02:06
25	87.5	1:37	2:06	3:20	4:36	7:15	12:34	25:44	39:39	53:51	1:20:53	1:55:21

Tableau 10 : A partir de la connaissance de la Vam il est possible d'extrapoler VO₂ max et de prédire les performances de course susceptibles d'être atteintes (d'après Mercier et Léger, 1982 a et b)

2-6 VAM ET ORIENTATION DE L'ENTRAÎNEMENT

Quel que soit l'objectif poursuivi :

- améliorer simplement sa condition physique et sa santé
- être quotidiennement plus actif sans ressentir une fatigue excessive,
- soutenir des exercices intenses de longue durée,
- mieux récupérer entre deux ou plusieurs exercices intenses ou encore après ce type d'exercice,
- supporter des charges importantes d'entraînement,
- mieux réussir en compétitions de longues durées.

...il y a toujours nécessité de développer les deux composantes de la capacité aérobie : la puissance aérobie maximale (Pam) et l'endurance aérobie (EA).

Le développement de la Pam tente d'élever le potentiel individuel au niveau de son « plafond génétique ». Celui de l'EA recherche à maintenir pendant les plus longues durées possibles un pourcentage d'intensité proche de ce « plafond ». Il est évident que plus ce « plafond » est élevé, meilleure en sera l'EA si, bien sûr, un entraînement spécifique lui est aussi consacré.

Selon les motivations et surtout les sportifs à entraîner, le développement de l'une ou de l'autre (ou encore les deux) composante(s) devient prioritaire. Par exemple, chez les adultes non compétiteurs qui recherchent avant tout « le bien être », l'amélioration de l'endurance comme un des vecteurs de la condition physique générale est bien évidemment la plus importante alors que pour les coureurs de 800, 1500, 3000 et 5000 m, le développement de la puissance aérobie maximale s'avère capital. Concernant le coureur de longue distance (demi-fond, semi-marathonien) le développement de ces deux qualités a une égale importance.

Ainsi, une analyse des motivations individuelles ou des exigences de la pratique compétitive est préalablement indispensable pour orienter en conséquence la préparation physique générale et l'entraînement spécifique.

Le développement de l'endurance et de la puissance aérobie maximale est cependant soumis à des principes communs qu'il convient de bien connaître.

D'une manière schématique, ces principes peuvent être résumés par le sigle mnémotechnique du « **F.A.I.T.P.A.S** » dans lequel, « **F** » représente la fréquence, « **A** » l'assiduité, « **I** » l'intensité « **T** » le temps à consacrer aux différents contenus. « **P** », la progressivité des durées et des intensités, « **A** » l'alternance du Travail et de la récupération et « **S** » la spécificité. Dans un premier temps, examinons ce que recouvre chacune de ces conditions pour envisager ensuite les moyens de les mettre en oeuvre.

La fréquence

Plusieurs études permettent de penser que plus la durée totale d'un programme d'entraînement est longue et plus fréquentes sont les séances prévues hebdomadairement, plus importants et durables seront les bénéfices obtenus. Ceci s'avère particulièrement vrai pour les programmes d'endurance (Pollock, 1973 ; Fox et al., 1975). La fréquence des séances dépend elle-même de l'intensité et de la durée de leurs contenus. Si l'intensité dépasse 75% de la Vam, voire 80% pour les sujets très entraînés et, est maintenue plus d'une heure trente, à cause de la durée nécessaire pour reconstituer les réserves en glycogène très largement utilisées, voire presque totalement épuisées, les séances devront être organisées à environ 48 heures l'une de l'autre.

Pour développer la puissance aérobie maximale, tout indique que six entraînements hebdomadaires de quinze à vingt minutes valent mieux que deux de trente minutes, trois de quarante cinq minutes, deux ou qu'une d'une heure trente. Les phénomènes d'épuisement et de reconstitution des réserves énergétiques et ceux de limite d'activation des grandes fonctions sont à l'origine et expliquent très bien ces fréquences. D'une manière concrète, nous conseillons :

- une séance quotidienne du travail prioritaire de l'endurance pour les coureurs de fond et les marathoniens ;
- au sein de trois des séances précédentes, consacrer vingt à trente minutes au développement de la puissance aérobie maximale ;
- deux séances de vingt minutes chacune constituent la limite inférieure du maintien des acquis et de l'entretien de la capacité aérobie, mais ne permet pas d'amélioration spectaculaire.

L'assiduité

Rien n'est plus désolant que de constater les fluctuations ou les arrêts complets après des périodes consacrées au développement de la capacité aérobie. Bien sûr, la maladie et la blessure sont deux des cas de force majeure. Tous les spécialistes de la physiologie de l'exercice sont unanimes pour souligner qu'en matière de condition physique, le bénéfice est assez long et difficile à acquérir, relativement aisé à entretenir, mais très facile à perdre ! Une période d'inactivité de quatre semaines ou plus, oblige à reprogrammer une progression d'entraînement dont le plateau optimal ne sera atteint que sept à huit semaines plus tard. Donc, même pendant les périodes d'interruption de la saison sportive, il serait très souhaitable de maintenir une ou mieux, deux séances hebdomadaires pour entretenir les acquis.

L'intensité

L'intensité de l'exercice est le point le plus délicat à gérer. Il peut cependant bénéficier de la connaissance de la Vam. Il dépend bien sûr des capacités individuelles qu'il convient de bien connaître préalablement, d'où la nécessité de toujours débiter une saison sportive par une séance d'évaluation de la Vam, ensuite contrôler périodiquement et réajuster les intensités de travail à partir des résultats d'évaluations à la fois de la Vam et de l'endurance.

Concernant la capacité aérobie, l'accent doit être mis prioritairement sur les améliorations des systèmes ventilatoire et cardiovasculaire qui assureront une bonne diffusion et un bon trans-

port de l'oxygène. Cette amélioration exige de débiter un programme d'entraînement à des intensités faibles (environ à 65% à 70% de sa Vam), maintenues le plus longtemps possible (trente minutes à une heure trente).

Ces intensités-durées sont les plus favorables pour améliorer la diffusion alvéolo-capillaire de l'oxygène, pour permettre un meilleur remplissage - contraction du cœur, pour recruter un grand nombre de capillaires sanguins musculaires jusque là non fonctionnels, augmenter la perfusion des territoires actifs et la combustion des réserves lipidiques comme substrat énergétique du travail musculaire.

Ensuite, après trois à six semaines, il est nécessaire d'augmenter hebdomadairement l'intensité des séances (par exemple de 2 à 3% de la Vam) pendant les quatre premières semaines avant d'aborder en alternance avec les exercices développant l'endurance aérobie ceux qui permettent d'améliorer la puissance aérobie maximale.

Réalisés à intensité plus élevée, ces exercices devront être de durée plus courte. Comme nous le verrons ultérieurement, plusieurs techniques peuvent être utilisées : activité continue à allures variées (fartlek) ou, par intervalles longs ou encore, activité intermittente à intervalles de très courtes durées (voir tableau récapitulatif).

Le but de ces exercices est d'imposer une charge de travail musculaire permettant des réactions d'adaptations aiguës qui, souvent répétées sont à l'origine des adaptations chroniques recherchées. Par exemple, ce type d'exercice augmente les phénomènes de diffusion - utilisation de l'oxygène dans la fibre musculaire. Ceci résulte d'un équipement enzymatique mieux adapté à la combustion du glycogène par voie oxydative (ou glycolyse aérobie). Le meilleur transport et l'utilisation en plus grande quantité de l'oxygène président à l'amélioration de la consommation aérobie maximale (VO_2max).

Le temps à consacrer

Comme nous venons de l'indiquer, le temps à consacrer à chaque exercice est inversement proportionnel à l'intensité de ce dernier. Plus son intensité est élevée, plus la durée doit être écourtée mais demeurer suffisante pour solliciter sélectivement les systèmes physiologiques choisis.

D'une manière générale, les exercices les plus favorables pour améliorer l'endurance aérobie doivent être longs (durée supérieure à trente minutes) mais à intensité relativement faible (environ 70 à 80 % de Vam) alors que les exercices permettant d'améliorer la puissance aérobie doivent être plus courts : 3 à 9 minutes, répétés (2 à 5 fois selon le niveau d'entraînement), réalisés à des intensités supérieures aux précédents : de 80 à 100% de Vam.

La durée totale d'un programme d'entraînement de la capacité aérobie est difficile à limiter. En effet, une fois développée de façon optimale, cette importante dimension doit impérativement être entretenue à un niveau acceptable pour maintenir une bonne condition physique ou de bonnes performances. Si aucun entretien ne lui a été consacré dans l'intersaison sportive, huit à dix semaines sont à nouveau nécessaires pour retrouver et maintenir la puissance aérobie maximale... à la condition bien sûr de respecter les principes du F.A.I.T.P.A.S.

La progressivité

Outre ces règles de base, destinées à la bonne conduite et à l'autogestion des programmes d'amélioration de la capacité aérobie, il convient de rappeler aussi quelques conseils utiles :

1. D'abord, commencer par évaluer la Vam. Deux épreuves, permettant d'obtenir respectivement la vitesse aérobie maximale et l'endurance aérobie (EA) doivent figurer au menu des premières séances d'entraînement-évaluation. Vam et EA sont indispensables pour indiquer les vitesses individuelles à respecter afin de conduire les séances d'entraînement qui suivront.
2. Ensuite, programmer une progression lente mais bien adaptée tant en intensité qu'en durée de chacun des exercices des séances d'entraînement. Cette augmentation des «charges» phy-

siologiques est indispensable pour entraîner de nouvelles adaptations de l'organisme et donc, pour améliorer progressivement l'endurance (pendant les trois ou quatre premières semaines passer de 15 à 30 min et de 70 à 80 % de la Vam) et de la puissance aérobie maximale (à partir de la troisième ou quatrième semaine et ce, jusque vers la huitième semaine).

3. Varier les formes d'exercices car l'enthousiasme, la motivation et le plaisir doivent être constants et sont à la base de la poursuite de l'entraînement au cours de chaque séance, chaque semaine, chaque mois, chaque année...

A ces conseils pratiques, destinés tant, aux enfants aux adolescents, aux adultes non-compétiteurs qu'aux sportifs, il est indispensable d'ajouter les deux autres conditions biologiques que sont l'alternance entre exercice et récupération et la spécificité.

L'alternance exercice-récupération.

Au même titre que l'exercice proprement dit, la récupération est indispensable au bon développement des systèmes physiologiques visé par l'entraînement. De la gestion de sa **nature** et de ses **durées**, en interaction avec l'intensité et la durée des exercices qui la précèdent ou qui la suivent, dépendent les impacts physiologiques souhaités.

La récupération doit permettre la reconstitution des réserves énergétiques utilisées par l'exercice et l'élimination des déchets (métabolites) produits. Elle dépend donc totalement de l'intensité et de la durée de l'exercice.

Au plan de la durée, en règle générale, selon le but recherché, l'entraînement utilise des **récupérations** dites **complètes** qui, en principe, doivent permettre la totale reconstitution des réserves énergétiques utilisées ou **incomplètes** au cours desquelles seule une partie de ces réserves est reconstituée.

Au plan de la nature, après un exercice, la reconstitution de certaines réserves énergétiques (ATP-PCr) nécessite de préférence un arrêt total ; dans ce cas la récupération est dite **passive** alors que le métabolisme du lactate produit par certains exercices peut être accélérée en maintenant une activité à intensité modérée (50 à 60% de Vam par exemple), au cours de la récupération qui est alors définie comme **active**.

Pour organiser les séquences d'exercices, il est donc nécessaire de bien connaître les durées nécessaires pour reconstituer les réserves énergétiques utilisées lors de l'exercice (**tableau 11**).

Outre ces éléments purement métaboliques, la compréhension des rôles joués par la récupération exige de tenir compte de l'inertie de mise en jeu de l'ensemble des éléments de la chaîne des transporteurs d'oxygène. Pour passer de l'état de repos à celui d'une activité physique intense, en moyenne 1 min 30 à 2 min sont nécessaires pour atteindre la stabilité de leur état fonctionnel. Durant ce laps de temps, l'organisme utilise ses propres systèmes d'urgence, c'est à dire ses réserves anaérobies (système ATP-PCr et glycolyse lactique selon l'intensité de l'exercice), ce qui peut se traduire par exemple, par une augmentation de la dette d'oxygène et de la concentration du lactate sanguin post exercice. Au cours des entraînements par intervalles visant au développement de la capacité aérobie, il est donc nécessaire que le système cardiorespiratoire soit à un niveau de sollicitation suffisant dès le début de l'exercice. Ceci est possible soit en écourtant la durée de récupération, soit en maintenant une activité entre deux exercices intenses.

Reconstitution de la totalité des réserves en :	Récupération	
	Durée	Nature
Oxygène	10 à 15 s	Passive
ATP - CP	6 à 8 min	Passive
Glycogène	36 à 48 heures	Passive ou active intensité faible moins de 50% VAM
Métabolisme du lactate	1h à 1h 30 12 à 20 min	Passive Active (50-60% VAM)

Tableau 11 Durées nécessaires pour reconstituer complètement les principales réserves métaboliques de l'organisme et métaboliser le lactate produit.

A partir de la compréhension de ces quelques éléments, il est totalement possible d'organiser des gammes très diversifiées d'entraînements par intervalles, en jouant sur l'intensité et la durée de ces derniers et sur la durée et la nature de la récupération (**tableaux 11 et 12**).

A titre d'exemple, vingt minutes d'exercice peuvent être réalisées de multiples façons et obtenir des répercussions physiologiques tout à fait différentes (**tableau 12**).

EXERCICE		RÉCUPÉRATION		IMPACTS PHYSIOLOGIQUES
Intensités	Durées	Nature	Durées	
70 à 15% VAM	20 min	-	-	Endurance aérobie
65 à 70 % VAM + accélérations pendant 10 s toutes les 2 min de course	20 min	Active (fartlek)	-	Endurance aérobie + PAM
85 à 95% VAM	6 min X 3	Passive	1 min X 2	PAM + Capacité Lactique
100% VAM	2 min X 4	Passive	3 min X 4	Capacité lactique + PAM
110 à 120% VAM	15 s X 40	Passive	14 s X 40	Puissance aérobie Maximale

Tableau 12 : Exemple de différentes organisations possibles d'une séquence de vingt minutes de course

La spécificité

En fonction des objectifs ou de la performance visée, au plan biologique, l'entraînement doit permettre une sollicitation sélective des métabolismes entrant en jeu dans l'activité pratiquée. Une analyse préalable des exigences de cette dernière s'avère absolument indispensable pour prévoir dans l'entraînement les contenus les mieux adaptés (**tableau 9 et figure 1**).

D'une manière générale, un système ne se développe efficacement que s'il est sollicité au maximum de sa puissance et de son endurance. C'est aussi ce qui est défini comme « principe de surcharge spécifique ». Par exemple, pour entraîner un coureur de 1 500 m ou un semi-marathonien, référons-nous aux **tableaux 9 et 10**.

Concernant l'intensité, le **tableau 9** permet de constater que le 5000 m se court à une vitesse moyenne située entre 90 et 95 % de la Vam alors qu'au semi marathon, la vitesse moyenne se situe entre 78 et 88 % de Vam, et au marathon entre 75 et 84 % (jusqu'à 88% pour les champions du monde !). La spécificité dépend bien sûr des exigences de la performance mais aussi des capacités du sportif. Ainsi, il est indispensable de savoir d'où on part (les capacités du

sportif) et où on veut aller (les objectifs) de l'entraînement. Dans la planification d'une saison sportive, ces éléments rendent très aisée l'organisation des contenus des grandes périodes : 4 à 6 premières semaines consacrées au développement prioritaire de l'endurance, 8 à 10 semaines suivantes à un travail mixte endurance + Pam qui, indirectement sollicite le système lactique. Enfin, après ces périodes de préparation et d'amélioration, et surtout dans les dernières semaines précédant la période compétitive, les exercices d'endurance, de Pam, de vitesse, de puissance et d'endurance musculaire spécifique devront être harmonieusement combinés.

⇒ Il est important de se souvenir que :

Pour développer le VO_2 max (ou la Pam), il faut s'entraîner à des intensités proches, égales ou sensiblement supérieures à celles atteintes à VO_2 max (Vam).

Pour améliorer l'endurance aérobie, l'entraînement doit se fonder sur des durées plus longues et des intensités plus faibles qui, progressivement, devront tendre vers les zones d'endurance cible (% Vam, Cf. tableau 7).

Par contre, il est impossible de développer correctement son VO_2 max en ne s'entraînant qu'à des intensités trop faibles, uniquement favorables à l'amélioration de l'endurance et vice versa.

3 - UTILISATION DES RESULTATS POUR GERER LES CHARGES D'ENTRAINEMENT

Quels que soient les procédés d'entraînement utilisés, la connaissance de la Vam est toujours nécessaire pour organiser les charges utiles des exercices. La Vam constitue la référence pour en prévoir les intensités : infra maximales (en dessous de la Vam), maximales (correspondant à la Vam) et supra maximales (au-dessus de la Vam). Ces intensités s'expriment en pourcentages de Vam.

Les procédés se distinguent par leurs types d'exercices. Exercices en continu (sans récupération intermédiaire), exercices par intervalles (interval training) et exercices fractionnés.

Les exercices continus (course, nage ou cyclisme) consistent à parcourir des distances relativement importantes souvent appelées pour cela «distances marathon », en courant ou en nageant de façon ininterrompue. Ce procédé permet un bon développement de l'endurance aérobie et est recommandé pour préparer le «terrain physiologique » de tout sportif en début de saison. Selon la terminologie nord-américaine, non sans humour, on appelle parfois ce genre de course LSD : Long Slow Distance (Fox et Mathews, 1984). Pour les coureurs de fond, les marathoniens, les ultra marathoniens (100 km et plus), les triathlètes et les ultra triathlètes, ce procédé constitue l'essentiel de leur entraînement. Le tableau 9 indique les pourcentages de Vam auxquels devraient correspondre les vitesses de course d'entraînement spécifiques préparant aux différentes spécialités de course.

Le fartlek se situe entre les exercices continus et les exercices par intervalles. Il est utilisé lorsque l'endurance et la puissance aérobie maximale doivent être développées conjointement. Ce procédé consiste à introduire des accélérations dans la course ou la nage de longue durée.

Provenant d'une appellation suédoise signifiant « jeu de vitesse », le fartlek peut être très variable dans ses contenus. Les parts relatives de courses, de nage ou de cyclisme, rapides et lentes, dépendent de l'état de forme et de la motivation personnelle des sportifs auxquels il s'adresse.

Par exemple, au début de ce type d'entraînement, sur une distance fixe, réaliser **n** accélérations à répartir au propre gré des entraînés ; puis progressivement, au cours des séances suivantes **n + 1, n + 2 ...** jusqu'aux limites des capacités individuelles. Progressivement aussi, les accélérations sont réalisées sur des durées de plus en plus longues : 5s, 8s, 10s, 12s et à des vitesses de plus en plus élevées à mesure qu'un bon niveau de condition physique est atteint. Cependant, à aucun moment, les accélérations ne doivent correspondre à des sprints (ou vitesse exhaustive), mais doivent toujours s'accompagner de « l'impression de pouvoir aller encore plus vite ».

Pour les coureurs et autres sportifs utilisant la course ou le cyclisme, ce type d'entraînement peut se dérouler en pleine nature sur des parcours à reliefs accidentés. Dans ces circuits d'entraînement à variations naturelles de l'intensité, les côtes remplacent les accélérations.

Le chronomètre est ici totalement inutile. Les sensations personnelles et le plaisir prévalent pour décider individuellement des changements d'allure.

Les exercices par intervalles : Comme leur nom l'indique, ce sont des exercices entrecoupés d'intervalles de récupération au cours desquels une activité légère peut être maintenue pour éventuellement faciliter l'élimination de l'acide lactique et pour entretenir une sollicitation modérée du système cardiovasculaire. Grâce à la récupération, les intensités plus élevées (85 à 95% de VAM) des exercices permettent d'améliorer ou de maintenir la puissance aérobie maximale. Par le jeu de l'intensité, de la durée, du nombre de répétitions des exercices et de la nature des récupérations, les formes d'exercices par intervalles peuvent être multiples. Cependant, on distingue habituellement les exercices par intervalles longs des exercices par intervalles courts, encore définis exercices intermittents courts.

Les exercices par intervalles longs ont pour double objectif de développer l'endurance et la puissance aérobie maximale. Selon leur intensité (entre 85 et 95% de VAM), ils peuvent aussi avoir un effet non négligeable sur la glycolyse lactique. Leurs durées peuvent varier de 2 à 10-15 minutes.

Plus la durée de l'exercice est courte (2 à 5 min), plus l'intensité peut être élevée. Une forte intensité permet un meilleur développement de la puissance aérobie maximale mais s'accompagne d'une production de lactate plus ou moins importante si les récupérations demeuraient « passives ». Lorsque les récupérations sont longues (> 2 à 5 min), il est donc souhaitable de maintenir une activité modérée. Par contre, avec des récupérations relativement courtes (1 à 2 min), la chaîne des transporteurs d'oxygène étant encore fortement sollicitée après exercice, un arrêt total est tout à fait concevable.

Plus la durée de l'exercice est longue (10 à 15 min), plus la mixité de l'impact physiologique s'oriente en faveur de l'endurance aérobie. Dans ce cas, les récupérations peuvent être longues ou courtes, passives ou actives, sans trop modifier les répercussions métaboliques.

Les exercices par intervalles courts ou exercices intermittents courts, type «15-15» : 15s de course-15s de récupération. La compréhension des effets physiologiques des exercices intermittents de courtes durées fait essentiellement appel à la connaissance des interactions possibles entre l'exercice court et la récupération courte (Saltin et Essen, 1971).

L'exercice intense (110 à 120% de Vam) et de durée courte (10 à 15s) dépend surtout de la dégradation des phosphagènes (ATP-PCr). Lors des premières répétitions, un laps de temps aussi court permet uniquement d'«enclencher» la mise en jeu accrue de la chaîne des transporteurs d'oxygène (diffusion alvéolo-capillaire, concentration en hémoglobine, débit cardiaque, recrutement capillaires périphériques, diffusion membranaire, myoglobine) dont le témoin : la fréquence cardiaque, augmente rapidement mais demeure à un niveau infra maximal.

La récupération courte (15s) ne permet pas un retour au calme de la chaîne des transporteurs d'oxygène qui demeure à la reprise d'une nouvelle séquence d'exercice à un niveau relativement élevé et s'amplifie ensuite durant cet exercice.

A l'issue de 6 à 8 minutes de répétitions, alors que la chaîne des transporteurs se maintient à son débit maximal, aussi bien au cours de l'exercice que durant la récupération, on ne constate plus de baisse des réserves d'ATP-PCr, pas de production de lactate musculaire mais, par contre, une baisse sensible des réserves musculaires de glycogène (Saltin et Essen, 1971). Ceci indique, qu'après 6 à 8 min, seule la glycolyse aérobie est sollicitée pour fournir l'importante quantité d'énergie requise. Ce phénomène se comprend très bien si on se souvient que, maintenue à son niveau fonctionnel maximal, la chaîne des transporteurs d'oxygène permet, en 15s de récupération, de reconstituer la quasi totalité des réserves d'oxygène de l'organisme (liées à l'hémoglobine et à la myoglobine). La glycolyse étant toujours mise en jeu en début d'exercice, on peut raisonnablement supposer que le débit fonctionnel de ses réactions biochimiques ait aussi atteint son maximum. Ainsi, peut-être expliquée la sollicitation prépondérante de la glycolyse aérobie lors d'exercices intermittents courts, répétés pendant des durées totales supérieures à 6-8 minutes.

En sollicitant à son maximum les systèmes ventilatoire et cardio-vasculaire et, en améliorant l'utilisation rapide et massive de l'oxygène par le muscle, ce type d'entraînement semble être actuellement le plus efficace pour développer la puissance aérobie maximale.

De plus, à durée égale, les exercices intermittents courts permettent de réaliser un travail de 1,5 à 2 fois supérieur à celui d'exercices continus.

L'élaboration des séquences d'entraînement fondée sur cette forme d'exercices peut être riche. Cependant, les combinaisons entre intensité - durée de l'exercice, durée de récupération, nombre de répétitions totales, dépendent du niveau d'entraînement :

1. N'envisager cette forme d'exercices qu'à la suite d'une période consacrée au développement de l'endurance aérobie (4 à 6 semaines).

2. Commencer par des durées d'exercices courtes, des intensités supra-maximales limitées : 105 à 110% de Vam, des durées de récupération double de celles des exercices et un nombre de répétitions permettant une durée totale d'exercice égale ou sensiblement supérieure à dix minutes.

Exemple : [10s d'exercice à 110 % de VAM, 20s de récupération passive] x 25

3. Augmenter progressivement les durées, puis les intensités des exercices, puis diminuer la durée de récupération et augmenter le nombre de répétitions :

- *Exemple 1* : [15s d'exercice à 110% de VAM, 20s de récupération passive] x 25
- *Exemple 2* : [15s d'exercice à 115% de VAM, 20s de récupération passive] x 25
- *Exemple 3* : [15s d'exercice à 115% de VAM, 15s de récupération passive] x 25
- *Exemple 4* : [15s d'exercice à 115% de VAM, 15s de récupération passive] x 30

4. Respecter les limites suivantes :

Durée d'exercices : 20s ; intensité : 140% ; durée de récupération : 10s ; nombre de répétitions maximum = 35 à 40.

5. Alternier les entraînements continus et intermittents courts.

Avec des groupes hétérogènes de sportifs, la mise en place de cette forme d'entraînement est très facile : un terrain de football offre les dimensions idéales (Figure 6) :

1. Commencer par évaluer leur VAM.
2. Former des groupes homogènes de VAM

(quatre à cinq groupes).

3. Calculer la distance à couvrir pendant par exemple, 15s à 110% des VAM respectives de chaque groupe. (Pour ces calculs, vous pouvez utiliser des logiciels comme le vam-éval ou le biologique)

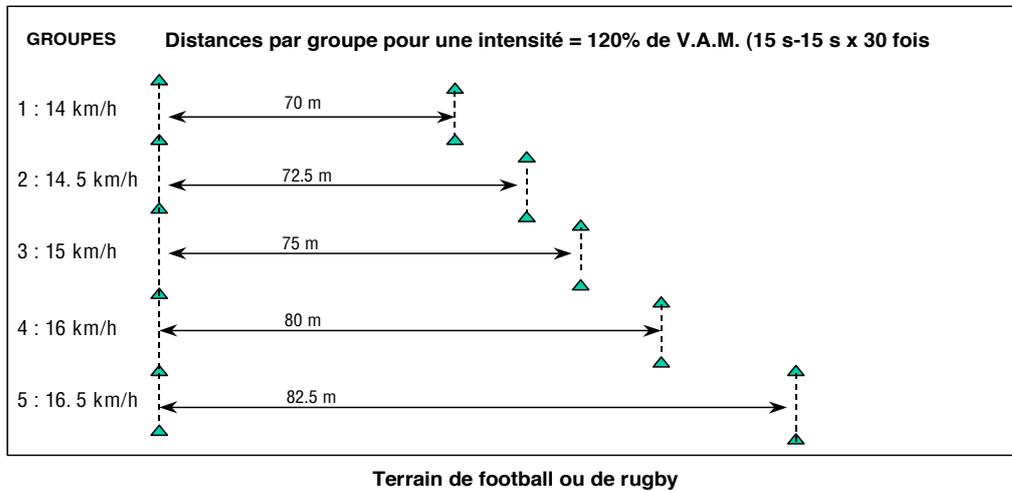


FIGURE 6: Entraînement intermittent court : 15 s de course et 15 s d'arrêt à une intensité correspondant à 120 % de la V.A.M. à x par 20,30 ou 40 fois selon le niveau d'entraînement. Les sportifs sont placés par groupes homogènes de V.A.M.

4. Dans la forme 15s de course - 15s de récupération, donner un coup de sifflet toutes les quinze secondes. Le « contrat » de chaque groupe est de parcourir la distance correspondante.

Les exercices fractionnés : Le but des exercices fractionnés est d'habituer le sportif aux intensités spécifiques requises par la performance visée. Dans notre texte, nous ne faisons que l'évoquer comme un des procédés possibles d'entraînement.

Généralement, le fractionné est envisagé de deux façons :

- soit en divisant par moitié la distance de compétition qu'il s'agit alors de courir à une vitesse égale ou supérieure (100 à 110%) à celle utilisée lors de la course (Cf. Tableau 9). Le nombre de répétitions doit permettre de parcourir au total 1,5 à 2 fois la distance de compétition ;
- soit en parcourant les trois quarts de cette distance à une vitesse sensiblement inférieure (90 à 95%). Dans ce cas, il faut couvrir au total 1,5 à 2 fois la distance de compétition.

3. 6 Utilisations de la relation vitesse-fréquence cardiaque (FC)

Les simples utilisations : de la Vam, des pourcentages de Vam ou mieux des temps de passage appropriés sur des distances données condamnent le sportif à l'enceinte d'un stade ou d'un parcours plat étalonné.

Le port d'un cardiofréquencemètre au cours d'une des épreuves précédentes permet par contre d'établir une courbe individuelle de la relation entre vitesse de course et FC. En général cette courbe parfaitement linéaire jusqu'à 85 à 90% de Vam (ACSM, 1978, Léger 1994) s'infléchit selon une nouvelle pente propre à chaque sportif. La détermination individuelle de cette courbe à double pente et les fonctions mathématiques qui s'y rapportent sont aujourd'hui très accessibles grâce aux logiciels spécifiquement créés à cet effet. Quelles que soient les conditions environnementales dans lesquelles s'entraîne le sportif, au moyen du contrôle de la FC il peut ainsi gérer les intensités de son entraînement. En outre le tracé de la FC au cours ou à

l'issue des différents tests précédents mais surtout du Tub2, lui permet de contrôler la qualité de sa récupération cardiaque.

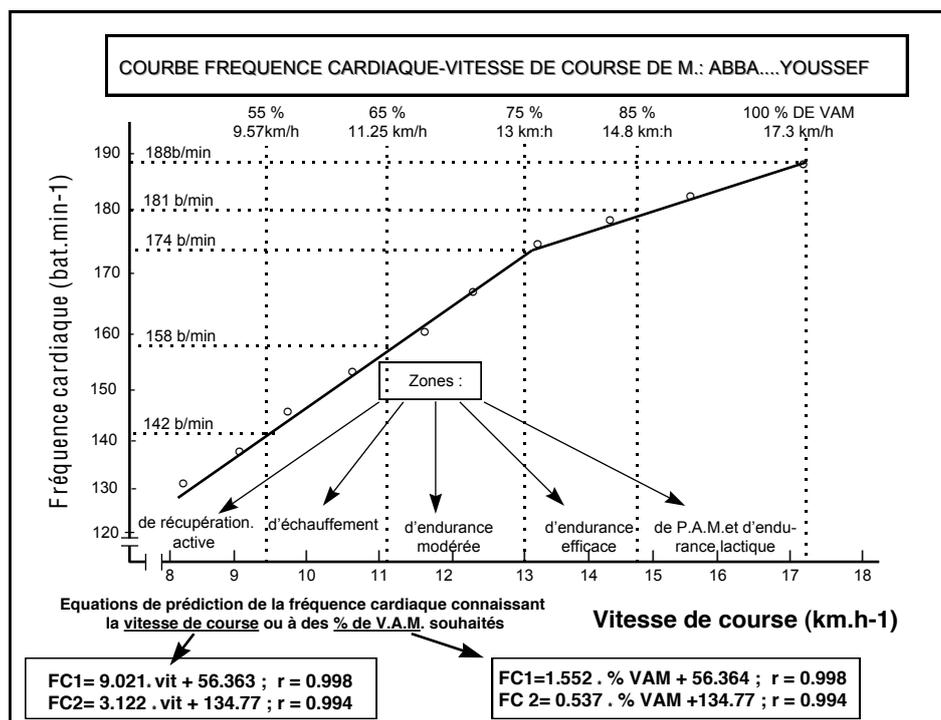


Figure 7 : Possibilités offertes par l'enregistrement de la fréquence cardiaque au cours de l'épreuve triangulaire Vam-éval ou Tub2. Deux équations individuelles sont calculées: jusqu'au point d'inflexion de la courbe FC-vitesse et après ce point d'inflexion. Connaissant les vitesses de course, les équations figurant dans l'encadré de gauche permettent d'extrapoler les fréquences cardiaques. Celles contenues dans l'encadré de droite permettent de les extrapoler à partir des % de VAM auxquels le sujet veut s'entraîner. Il peut alors se référer à son cardiofréquencemètre pour gérer les intensités de ses entraînements !

4- CONCLUSION

Actuellement le sportif a à sa disposition tous les moyens de s'entraîner de façon cohérente et contrôlée. Dès le début de sa saison sportive, en fonction de ses objectifs, de ses besoins et de ses moyens, nous lui conseillons au minimum de déterminer sa VAM à partir d'un des trois tests suivants : *Vam-éval*, *Léger-Boucher* ou *Tub2*, ou mieux d'établir la *relation vitesse-FC* au cours du test choisi. Avec la connaissance de ces deux critères, la gestion de son entraînement devient moins aléatoire, plus intéressante, plus motivante et bien sûr plus efficace...surtout s'il respecte correctement les six principes du *F.A.I.T.P.A.S.*

Où acquérir les différents tests : Distributeur exclusif en France et dans les pays d'expression française (excepté le Québec) :

CRESS, 250 cours de l'Argonne, 33000 Bordeaux

tel : 00 33 (0)5 56 31 28 18

Email : cress.ste@wanadoo.fr Web : www.cress.fr

BIBLIOGRAPHIE

- ACSM** : American College of Sports Medicine. In Tecpa-Kino québec : vue d'ensemble sur les tests d'évaluation de la capacité aérobie. 1975 et 1980.
- ACSM** : American College of Sports Medicine. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining fitness in healthy adults (position statement). *Med. Sci. Sports*. 10 (3) : II-X, 1978.
- Astrand P.O.** Experimental studies of physical working capacity in relation to sex and age. Copenhagen : *Ejnar Munksgaard*, 1952.
- Astrand P.O. Et Rodhal K.** Textbook of work physiology. *New York :Ed McGraw Hill*, 1970.
- Balke B.** A simple field test for the assessment of physical fitness. Civil Aeromedical Research Institute Report 63-18. Oklahoma City (OK) : Federal Aviation Agency, 1963.
- Berthoin S., Mantéca F., Gerbeaux M. and al.** Effect of a 12-week training programme on maximal aerobic speed (MAS) and running time to exhaustion at 100% of MAS for students aged 14 to 17 years. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 35 : 251-6, 1995.
- Billat V., Pinoteau J., Petit B. and al.** Time to exhaustion at VO_2 max and lactate steady-state velocity in sub-elite long-distance runners. *Arch. Int. Physiol. Biochim.*, 120 : 215-9, 1994.
- Billat V., Pinoteau J., Petit B. and al.** Exercise induced hypoxemia and time to exhaustion at 90,100 and 105 % of the maximal aerobic speed in long-distance elite runners. *Can J Appl Physiol* : 20 : 102-111, 1995.
- Billat V., Koralsztejn J.P.** Significance of the velocity at VO_2 max and time to exhaustion at this velocity. *Sports Med.*, 22 (2) : 90-108, 1996.
- Bransford, D.R. et Howley E.G.** Oxygen cost of running in trained and untrained men and women. *Med. Sci. Sports*, 9, 1 : 41-44, 1977.
- Briggs CA.** Maximum aerobic power and endurance as predictors of middle distance running success. *Aust J Sport Med*, 9 : 28-31, 1977.
- Brue F. et Montmayer A.** Les tests de terrain d'aptitude aérobie. Compte rendu du Colloque Médico-Technique National, Fédération Française d'Athlétisme : 200-205. Mulhouse, oct. 1988.
- Cazorla G.** Test de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. Dans : « Actes du colloque international de la Guadeloupe ». Eds : *ACTSCHNG & AREAPS* : 151-173, 23 nov. 1990.
- Cazorla G. et Léger L.** Comment évaluer et développer vos capacités aérobie. Epreuves de course navette et épreuve Vam-éval. Eds *AREAPS* : 123, 1993.
- Cazorla G. et Abaoubida Y.** Le logicieliel. Un logiciel d'évaluation des capacités physiologiques, d'orientation, de contrôle et de suivi de l'entraînement. Eds. *AREAPS*, 1997.
- Chanon R. et Stephan H.** Test de terrain pour le contrôle de l'entraînement aérobie : le C.A.T.-Test. *EPS*, 196 : 49-53, 1985.
- Conconi F., Ferrari M., Ziglio P.G., Droghetti P. and Codeca L.** Determination of the anaerobic threshold by a noninvasive field test in runners. *J Appl Physiol*, 52 : 869-873, 1982.
- Cooper K.H.** A mean of assessing maximal oxygen intake : correlation between field and treadmill testing. *J. Am. Heart Ass.* 203 : 135-138, 1968.
- Costill DL. Et Fox EL.** Energetics marathon running. *Med. Sci Sports Exerc*, 1 : 81-86, 1969.
- Costill DL.** Metabolic responses during distance running. *J Appl Physiol* 28 : :248-252, 1970.
- Costill D.L., Thomason H. and Roberyts E.** Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med. Sci. Sport*, 5, 4 : 248-252, 1973.
- Daniels J.T.** A physiologist's view of running economy. *Med. Sci. Sport. Exerc.* (17), 3 : 332-338.
- Daniels J.T., Scardina N., Hayes J. and al.** Elite and subelite female middle-and long-distance runners. In : Landers DM (Ed). *Sport and Elite performers*, Vol. 3. Proceedings of

- the 1984 Olympic Scientific Congress : 1984, Jul 19-23 : Oregon-Champaign (IL) : Human Kinetics : 57-72, 1984.
- Davies CTM. Et Thompson MW.** Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. *Eur J Appl Physiol*, 41 : 233-245, 1979.
- Fox E.L. et Mathews D.K.** - Bases physiologiques de l'activité physique. Traduit et adapté par F. Peronnet. Eds : *Decarie et Vigot*, 1984.
- Fox E.L., Bartels R., Billings C., O'Brien R., Bason R. and Mathews D.K.** - Frequency and distance of interval training programs and changes in aerobic power. *Med. Sci. Sports*, 38 (3) : 481-484, 1975
- Gleser MA. et Vogel JA.** Endurance Capacity for prolonged exercise on the bicycle ergometer. *J Appl Physiol*, 34 : 438-442, 1973.
- Higgs SL.** Maximal oxygen intake and maximal work performance of active college women. *Res Q*, 44 : 125-131, 1973.
- Hourcade J.C.** Etude comparative de deux tests de terrain : le test de l'Université Victor Segalen Bordeaux 2 (TUB₂) et le VAMEVAL. Mémoire pour le diplôme de Maîtrise en STAPS. *Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique de Bordeaux*, 1997.
- Jones A.M. and Doust J.H.** The conconi test is not valid for estimation of the lactate turn-point in runners : *Vol. 15 (4)* : 385-394, 1997.
- Lacour J.R.** Le coût énergétique de la course. Influence de la morphologie et de la vitesse. Compte rendu du Colloque Médico-Technique National. Fédération Française d'Athlétisme. Mérignac, oct. 1990.
- Lacour J.R., Padilla S. et Denis C.** L'inflexion de la courbe fréquence cardiaque-puissance n'est pas un témoin du seuil aérobie. *Science et Motricité*, 1 : 3-6, 1987.
- Lacour J.R., Montmayeur A., Dormois D. and al.** Validation of the UMTT test in a group of elite middle-distance runners. *Science et Motricité*, 7 : 3-8, 1989.
- Lacour J.R., Padilla-Magunacelaya S. and al.** The energetics of endurance of middle-distance running. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 60 : 38-43, 1990.
- Lacour J.R., Padilla-Magunacelaya S., Chartard J.C. and al.** The influence of weekly training distance on fractional utilization of maximum aerobic capacity in marathon and ultramarathon runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 62 : 77-82, 1991.
- Léger L.** Significations et limites de l'utilisation de la fréquence cardiaque dans le contrôle de l'entraînement. In : *G.Cazola et G.Robert : Actes du troisième Colloque International de la Guadeloupe. ACTSHNG et AREAPS Eds. dec*, 1994.
- Léger L. and Boucher R.** - An indirect continuous running multistage field test : The « Université de Montréal » Track test. *Can. J. Appl. Spt. Sci.* : 5, 77-84, 1980.
- Léger L.A. and Lambert, J.** - A maximal multistage 20 m shuttle run test to predict VO₂ max. *Eur. J. Appl. Physiol.* 49 : 1-12, 1982.
- Léger L.A. et Mercier D.** Coût énergétique de la course sur tapis roulant et sur piste. *Motricité Humaine*, 2 : 66-69, 1983.
- Léger L., Mercier D. and Gauvin L.** The relationship between % VO₂ max and running performance time. In *Sport and Elite Performers Proceeding of 1984. Olympic Scientific Congress, Champaign : Human Kinetics Publ.*, 1985.
- Léger L., Cloutier J., Rowan, C.** - Test progressif de course navette de 20 m avec paliers de 1 min. *Université de Montréal*, 1985.
- Mc Ardle WD., Magel JR., Delio DJ. Et al.** Specificity of run training on VO₂ max and heart rate changes during running and swimming. *Med Sci Sports*, 10 : 16-20, 1978 .
- McMiken D.F. and Daniels J.T.** Aerobic requirements and maximum aerobic power in treadmill and track running. *Med. Sci. Sport*, 1 : 14-17, 1976.
- Maksud M.G. and Coutts K.D.** Comparison of a continuous and discontinuous graded treadmill test for maximal oxygen uptake. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 3 : 63-65, 1971.

- Margaria R., Cerretelli P., Aghemo P. and Sassi G.** Energy cost of running. *J. Appl. Physiol.* 18 : 367-370, 1963.
- Mayes R., Hardman AE. Et Williams C.** The influence of training on endurance and blood lactate concentration during submaximal exercise. *Br J Sports Med*, 21 : 119-124, 1987.
- Medbo J.I., Mohn A.C. and Tabata I.** Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O₂ deficit. *J. Appl. Physiol.*, 64 : 50-60, 1988.
- Mercier D. et Léger L.** L'évaluation de la puissance aérobie maximale du coureur. *Track and field Journ.* 20 : 20-23, February, 1982a.
- Mercier D. et Léger L.** Détermination et contrôle de l'intensité de l'entraînement du coureur. *Track and field Journ.* 20 : 24-27, February, 1982b.
- Mercier D., Léger L.** Prediction of the running performance with the maximal aerobic power. *STAPS*, 14 : 5-28, 1986.
- Montmayer A. et Villaret M.** Etude de la vitesse maximale aérobie derrière cycliste : valeur prédictive sur la performance en course à pied.
- Monod H. et Scherrer J.** The work capacity of a synergic muscular group. *Ergonomics*, 8 : 329-338, 1965.
- Morgan D.W., Martin P.E. and Krahenbuhl G.S.** Factors affecting running economy. *Sports Medecine*, 7 : 310-330.
- Ouvrier-Buffet P.** Etude de l'économie de course chez le coureur de demi-fond. *Mémoire D.E.A., Université de Saint-Etienne*, 1988.
- Padilla S., Bourdin M., Barthélémy JC. et Lacour JR.** Physiological correlates of middle-distance running performance. *Eur J Appl Physiol*, 62 : 561-566, 1992.
- Pepper ML., Housh TJ et Johnson GO.** The accuracy of the critical velocity test for predicting time to exhaustion during treadmill running. *Int J Sports Med*, 13 : 121-124, 1992.
- Péronnet F. et Thibeau G.** Analyse physiologique de la performance en course à pied : révision du modèle hyperbolique. *J. Physiol (Paris)*, 82 ; 56-60, 1987.
- Péronnet F.** La physiologie du marathonien. *Dans : La Recherche (9)*, 201 : 920-930, 1988.
- Péronnet F., Thibault G., Ledoux M. et Brisson G.R.** Le marathon 2^{ème} éditions. *Décarie-Vigot Eds.*, 1991.
- Pollock M.L.** The quantification of endurance training programmes. In : *J.H. Willmore (Eds). Exercice and sport sciences reviews. Vol. 1, New York Academie Press : 155-158, 1973.*
- di Prampero P.E.** The energy cost of human locomotion on land and in water. *Int. J. Sports Med.*, 7 : 55-72, 1986.
- Pugh L.G.C.E.** Oxygen intake in track and treadmill running with observations on the effect of air resistance. *J. Physiol. (London)*, 207 : 823-835, 1970.
- Ramsbotton R., Williams C., Kerwin DG. et Nute ML.** Physiological and metabolic responses of men and women to 5-km treadmill time trial. *J Sports Sci*, 10 : 119-129, 1992.
- Reybrouck T., Ghesquiere J., Weymans M. et al.** Ventilatory threshold measurement to evaluate maximal endurance performance. *Int J Sports Med*, 7 : 26-29, 1986.
- Saltin B.** Oxygen transport by the circulatory system during exercise in man. In Keul (Ed.) *Limiting factors of physical performance. Stuttgart, Thieme, 235-252, 1973.*
- Saltin B. and Essen B.** Muscle glycogen, lactate, ATP and CP in intermittent exercise. In : *Muscle metabolism during exercise. B. Pernow and B. Saltin Eds. Plenum Press, N.Y., II : 419, 1971.*
- Shepard R.J.** A nomogram to calculate the oxygen cost of running at slow speeds. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 9 : 10-16, 1969.
- Sjödin B. and Svendenhag J.** Applied physiology of marathon running. *Sports Medecine*, 2 : 83-99, 1985.
- Stromme S.B. et Skard H.** - La condition physique : Aptitude physique et contrôle. *Eds : Skinor XL 1 : 18, 1981.*

Thibaut G. et Mercier D. La planification de l'entraînement du coureur de fond. *Revue Québécoise de l'activité physique*, 1 : 11-19, 1981.

Volkov NL., Shirkovets EA. et Borilkevich VE. Assessment of aerobic and anaerobic capacity of athletes in treadmill running tests. *Eur J Appl Physiol*, 34 : 121-130, 1975.