

# COMMENT EVALUER ET DEVELOPPER LA CAPACITE AEROBIE

*Georges CAZORLA, Maître de Conférences*

*Faculté des Sciences du Sport et de l'Education Physique, Université de Bordeaux II. Avenue Camille Jullian 33405 TALENCE CEDEX*

## RESUME

*La présente conférence s'inscrit dans la suite logique des précédents travaux présentés lors du deuxième colloque de la Guadeloupe : "Tests de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale" (Cazorla, 1990) dans lesquels, une étude de la pertinence, de l'accessibilité, de la validité et de la fidélité des différentes épreuves de terrain les plus connues, nous a permis de retenir celles qui nous paraissent actuellement les mieux adaptées aux différentes utilisations qu'enseignants d'éducation physique et éducateurs sportifs peuvent en faire. Dans la continuité, au cours de la conférence seront abordées le plus concrètement possible, les applications que sont l'évaluation et le développement des deux composantes de la capacité aérobie : l'endurance et la puissance aérobie maximale ainsi que la notion de vitesse aérobie maximale actuellement de plus en plus utilisée par les enseignants d'EPS et les entraîneurs dans la gestion des intensités d'entraînement.*

*Afin d'éviter toute ambiguïté terminologique, chaque composante sera préalablement définie et analysée avant d'aborder les moyens de leur développement spécifique. Au nombre de ces moyens, quelques grands principes seront rappelés et, en termes de durée et d'intensité, différents types d'entraînement seront proposés.*

*Envisagés sous forme d'exercices réalisés en continu, en fartlek, par intervalles longs ou courts ou en fractionné, ils devraient permettre de mieux comprendre les principales interactions physiologiques induites par l'alternance du travail musculaire et de la récupération.*

**Mots clés :** *Capacité aérobie, Endurance, Puissance aérobie maximale, Vitesse aérobie maximale, Evaluation, Développement, Tests de terrain, Exercices, Entraînement.*

## I. INTRODUCTION

Au repos, comme au cours d'activités de faible intensité, l'organisme consomme l'oxygène puisé dans l'air ambiant (d'où le terme AEROBIE) pour permettre à la plupart des cellules qui le constituent, d'assurer leurs propres combustions.

L'oxygène représente, en quelque sorte, le "comburant" de toute combustion cellulaire dont les glucides, les lipides et, secondairement, les protéides, en sont les "carburants".

Dans de nombreuses activités physiques et disciplines sportives, la relation existant entre la performance de longue durée et la capacité d'utiliser une importante quantité d'oxygène est un fait bien établi. Une capacité aérobie élevée favorise non seulement la performance de longue durée mais, en permettant des charges d'entraînement plus importantes, peut indirectement favoriser aussi la qualité de toutes les autres performances. De même, un bon transport et une bonne utilisation cellulaire de l'oxygène jouent un rôle très important dans la récupération post-exercice. Enfin, en autorisant une grande activité quotidienne sans fatigue excessive, une capacité aérobie correctement développée chez le sportif, mais aussi chez l'enfant et chez l'adulte non compétiteur, constitue un gage d'une bonne condition physique générale.

En effet, dans la plupart des recherches portant sur les adaptations physiologiques liées à l'exercice ou à l'entraînement, l'augmentation de la capacité aérobie constitue un des critères objectifs souvent retenus pour apprécier l'amélioration de la condition physique.

Pour l'ensemble de ces raisons, le développement et l'entretien de cette dimension physiologique devrait être un souci permanent de toute personne soucieuse de conserver une bonne condition physique souvent synonyme de bien-être. Pour ces mêmes raisons, la mesure directe ou l'estimation de la capacité aérobie devrait normalement faire partie de toute bonne batterie d'épreuves d'évaluation de la capacité physique générale ou spécifique des sujets jeunes ou moins jeunes, sédentaires ou sportifs.

## II. DEFINITIONS

*La capacité aérobie représente la quantité totale d'énergie disponible et susceptible d'être libérée par voie oxydative.*

Concrètement, c'est cette capacité qui permet de réaliser des exercices prolongés et intenses sollicitant d'importantes masses musculaires. Elle dépend essentiellement des réserves totales en glucide et en lipide de l'organisme et surtout, de la possibilité de les utiliser grâce à la combustion par l'oxygène.

La consommation d'oxygène dépend elle-même :

- des dimensions de la chaîne des transporteurs de l'oxygène des poumons aux cellules utilisatrices : sang (taux d'hémoglobine), cœur (débit cardiaque), lit sanguin (quantité de capillaires fonctionnels au niveau musculaire),
- et, des possibilités de son utilisation par les fibres actives (concentration et taille des mitochondries, concentration des enzymes oxydatives).

Il est possible d'apprécier la capacité aérobie à partir de deux dimensions fonctionnelles :

- . le débit maximal d'utilisation de l'oxygène par l'organisme ou **consommation maximale d'oxygène**
- . et la durée pendant laquelle peut être maintenu un pourcentage proche du débit maximal ou **endurance aérobie**.

### 2.1. La consommation maximale d'oxygène

Lorsque l'intensité d'une activité musculaire augmente progressivement, la consommation d'oxygène augmente parallèlement jusqu'à l'atteinte d'un **plateau maximum** au-dessus duquel toute nouvelle augmentation de l'in-

tensité de l'activité demeure sans effet sur la consommation d'oxygène.

Ce "plateau", défini comme **consommation maximale d'oxygène**, correspond aux valeurs limites de possibilités :

- . de transport de l'oxygène par le système cardiovasculaire,
- . et de son utilisation par les cellules musculaires actives (**figure 1**).

La consommation maximale d'oxygène d'un sujet représente donc le volume maximal d'oxygène susceptible d'être prélevé au milieu extérieur, transporté jusqu'aux muscles actifs, utilisé par les cellules ou fibres musculaires et ce par unité de temps, d'où le symbole " $\dot{V}O_2 \text{ max}$ " qui la caractérise et dans lequel le  $\dot{V}$  surmonté d'un point " $\dot{V}$ " représente le débit, " $O_2$ " l'oxygène et "max" l'abréviation de maximal.

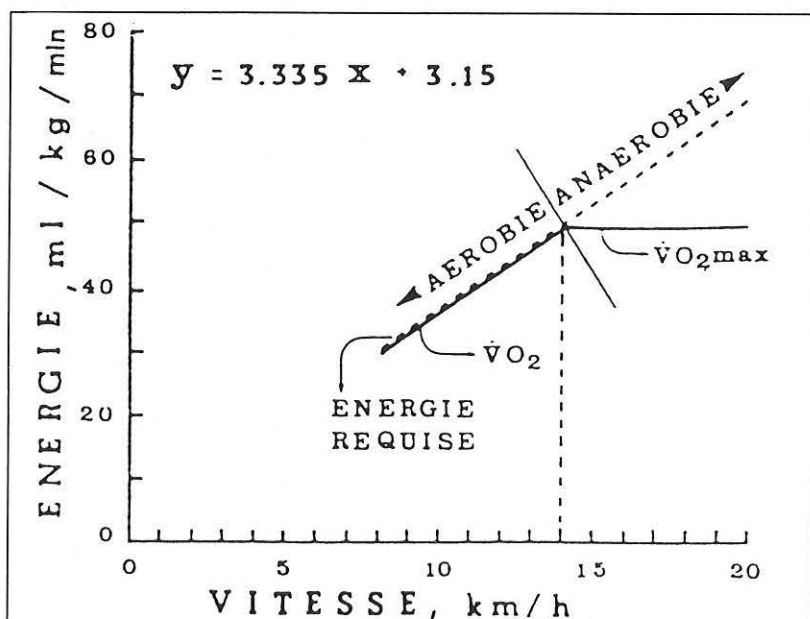
Lorsqu'au cours d'une épreuve le sujet atteint son  $\dot{V}O_2 \text{ max}$ , il est aussi de coutume d'enregistrer la puissance musculaire correspondante définie comme **puissance aérobie maximale fonctionnelle ou P.A.M.F.** A ne pas confondre avec la P.A.M qui est la mesure de la puissance maximale du métabolisme aérobie.

Selon l'objectif, le niveau de précision requis et l'âge des sujets auxquels elle s'adresse, l'évaluation du  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  peut se faire par mesures directes ou mesures indirectes. Dans ce deuxième cas, il s'agit plus d'une estimation que d'une mesure proprement dite. L'estimation du  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  utilise la relation qui existe entre les fréquences cardiaques, les différentes puissances d'exercice (qui peuvent être aussi des vitesses : course, nage) et les  $\dot{V}O_2$  inframaximaux (inférieurs à  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  correspondant).

### . Unités d'écriture de $\dot{V}O_2 \text{ max}$

Plus un sujet est grand et de poids important, plus sa consommation maximale d'oxygène est normalement élevée. Ceci n'est pas surprenant dès lors qu'une plus grande masse musculaire utilise plus d'oxygène, ce qui, pour autant, ne constitue pas un indicateur suffisant de sa capacité physique. Pour mieux apprécier cette dernière, il est en effet indispensable, de ramener le volume d' $O_2$  consommé, au poids de la masse musculaire, ou, à défaut, comme le proposent les physiologistes, au kilogramme de poids corporel.

Les unités de mesure peuvent donc s'exprimer différemment : soit en valeur brute ou litre par minute ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ ) ; soit en valeur relative, c'est à dire par millilitre par minute et par kilogramme de poids corporel ( $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ). La valeur relative peut s'écrire aussi :  $\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ ,  $(\text{ml}/\text{kg})/\text{min}$ ,  $\text{ml}/(\text{kg} \times \text{min})$ , alors que  $\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$  est incorrecte, cette dernière formulation pouvant signifier aussi  $\text{ml}/(\text{kg}/\text{min})$ .



**Figure 1** : Consommation d'oxygène en fonction de la vitesse de course (Margaria et coll., 1963) : la consommation d'oxygène augmente jusqu'à ce que l'organisme atteigne ses limites, c'est à dire à  $50 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  ou à  $14 \text{ km/h}$  pour cet individu type. Au-delà, l'énergie requise en supplément provient des sources anaérobies.

## 2.2. La puissance fonctionnelle ou la vitesse aérobie maximale (PAMF ou VAM)

Pour atteindre son  $\dot{V}O_2$  max, le sujet sollicite une certaine puissance musculaire définie, de ce fait, comme **puissance aérobie maximale fonctionnelle ou PAMF** qui normalement devrait toujours être exprimée en watts. Cependant, pour certaines activités comme la course et la nage, avec lesquelles la puissance développée est trop complexe à estimer, la vitesse exprimée en km/h, en m/min ou en m/s, est aussi admise. Parfois, pour en faciliter les utilisations dans l'entraînement, ces vitesses sont directement traduites en termes de temps de passage sur des distances choisies par l'entraîneur.

La puissance ou la vitesse aérobie maximale est donc la puissance ou la vitesse correspondant à l'atteinte de  $\dot{V}O_2$  max. **Plus que la connaissance du  $\dot{V}O_2$  max, celle de la vitesse aérobie maximale est indispensable pour doser à l'entraînement les vitesses de course ou de nage les plus favorables au développement physiologique.**

## 2.3. L'endurance aérobie peut être définie de deux façons :

. soit comme le pourcentage du  $\dot{V}O_2$  max (ou de VAM) susceptible d'être maintenu pendant une **durée donnée** ; par exemple courir un 3000 mètres à 85% de  $\dot{V}O_2$  max ou de VAM ;

. soit comme la durée d'exercice (par exemple de course, de nage ou de cyclisme) susceptible d'être maintenue à un **pourcentage donné** de  $\dot{V}O_2$  max ou de VAM ; par exemple fixer une vitesse correspondant à 90% de la VAM et mesurer la durée ou la distance parcourue à cette vitesse.

Dans les deux cas, la connaissance de la VAM s'avère plus utile que celle de  $\dot{V}O_2$  max pour gérer ensuite à l'entraînement, les allures utiles de course ou de nage.

## 2.4. Autres appellations possibles

Les expressions capacité cardiorespiratoire ou cardiovasculaire, organique, oxydative, sont aussi couramment utilisées en relation avec la capacité aérobie.

Ces mêmes qualificatifs sont précisés en adjoignant les termes puissance et endurance.

Enfin, certains préconisent l'expression endurance intégrale pour signifier l'endurance aérobie. Pour éviter toute ambiguïté, nous nous en tiendrons dans ce texte aux notions de  $\dot{V}O_2$  max, PAMF et VAM pour désigner respectivement la consommation maximale d'oxygène, la puissance fonctionnelle ou la vitesse à laquelle elle est atteinte.

## 3. COMMENT MESURER OU EVALUER LA CAPACITE AEROBIE ?

Parce que les mesures directes de  $\dot{V}O_2$  obtenues en laboratoire à partir d'épreuves réalisées sur cycloergomètre ou sur tapis roulant sont trop coûteuses pour les renseignements utiles qu'elles fournissent, de plus en plus

aujourd'hui, entraîneurs et enseignants d'éducation physique découvrent la très grande richesse d'utilisation des tests de terrain.

Très accessibles au plus grand nombre et très fiables, ces tests répondent mieux aux besoins d'une bonne gestion des intensités d'entraînement que la majorité des tests de laboratoire.

Après expertise de leurs différents avantages et inconvénients (Cazorla, 1990), nous en avons retenu quatre qui suffisent pour couvrir l'ensemble des besoins de l'entraînement : deux d'entre eux utilisent un protocole dit "**triangulaire**", c'est à dire des vitesses de course ou de nage progressivement accélérées amenant les évalués à leur VAM, le troisième protocole dit "**rectangulaire**", c'est à dire une vitesse constante de course ou de nage la plus importante possible, enfin, le dernier a été élaboré au moyen d'un **protocole mixte** : rectangulaire au niveau de chacun de ses paliers et triangulaire pour l'ensemble de l'épreuve (**figure 2**).

## 3.1. Protocole triangulaire : course à vitesse progressivement accélérée

Ces épreuves évaluent indirectement et de façon très satisfaisante la consommation maximale d'oxygène. Elles utilisent les mêmes principes que les épreuves progressives réalisées en laboratoire sur tapis roulant. Leur passation collective, leur déroulement très progressif et les nombreuses données qu'elles fournissent, contribuent au vif succès qu'elles rencontrent actuellement à travers le monde (Canada, Europe, Afrique).

Le principe commun de leur protocole est simple : courir le plus longtemps possible en respectant la vitesse imposée, laquelle est augmentée au moyen d'un enregistrement sur cassette émettant des bips sonores à intervalles réguliers. A chaque bip, le sujet doit se trouver au niveau d'un des points repère placés à distances données.

Le sujet est ainsi amené de la marche vers la course de plus en plus rapide jusqu'à une vitesse limite personnelle à partir de laquelle il ne peut plus suivre une nouvelle accélération. Chaque changement de vitesse correspond à un nouveau palier et chaque palier dure une minute.

L'intensité et la durée de l'exercice sont principalement limitées par le métabolisme aérobie. Le  $VO_2$  max est prédit indirectement en attribuant au dernier palier le coût énergétique moyen de la vitesse de course atteinte. Lorsque l'évalué s'arrête, il lui suffit de retenir le dernier palier annoncé par l'enregistrement et de lire sur le tableau approprié, le  $\dot{V}O_2$  max correspondant (**tableau 1**).

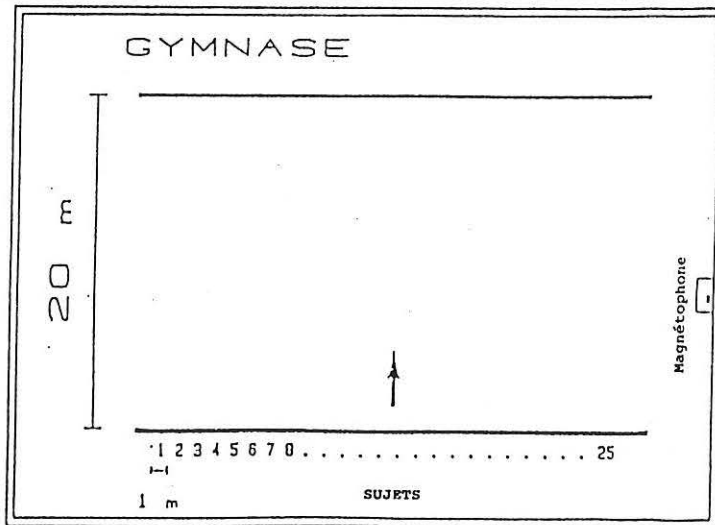
En fonction des aires d'évolution disponibles, l'épreuve peut se dérouler selon deux modalités : sous forme de course navette entre deux lignes parallèles tracées à 20 mètres l'une de l'autre (cour de récréation, court de tennis, gymnase...) et sous forme de course continue sur une piste d'athlétisme ou sur tout parcours en circuit étalonné tous les 20 mètres.

| VO <sub>2</sub> MAX EXTRAPOLE (ml.kg <sup>-1</sup> .min <sup>-1</sup> ) |      |               |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         |      |        |
|---|------|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|---------|------|--------|
| Palier  | Vit. | AGES (années) |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |         | Vit. | Palier |
| n'  | km/h | 6             | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | Adultes | km/h | n'     |
| 1   | 8.5  | 44,8          | 42,8 | 40,8 | 38,8 | 36,7 | 34,7 | 32,7 | 30,7 | 28,7 | 26,6 | 24,6 | 22,6 | 20,6    | 8.5  | 1      |
| 2   | 9.0  | 49,0          | 47,1 | 45,2 | 43,4 | 41,5 | 39,6 | 37,8 | 35,9 | 34,1 | 32,2 | 30,3 | 28,5 | 26,6    | 9.0  | 2      |
| 3   | 9.5  | 51,1          | 49,3 | 47,5 | 45,7 | 43,9 | 42,1 | 40,3 | 38,5 | 36,7 | 35,0 | 33,2 | 31,4 | 29,6    | 9.5  | 3      |
| 4   | 10.0 | 53,1          | 51,4 | 49,7 | 48,0 | 46,3 | 44,6 | 42,9 | 41,2 | 39,4 | 37,7 | 36,0 | 34,3 | 32,6    | 10.0 | 4      |
| 5   | 10.5 | 55,2          | 53,6 | 51,9 | 50,3 | 48,7 | 47,0 | 45,4 | 43,8 | 42,1 | 40,5 | 38,9 | 37,2 | 35,6    | 10.5 | 5      |
| 6   | 11.0 | 57,3          | 55,7 | 54,2 | 52,6 | 51,1 | 49,5 | 47,9 | 46,4 | 44,8 | 43,3 | 41,7 | 40,2 | 38,6    | 11.0 | 6      |
| 7   | 11.5 | 59,4          | 57,9 | 56,4 | 54,9 | 53,4 | 52,0 | 50,5 | 49,0 | 47,5 | 46,0 | 44,6 | 43,1 | 41,6    | 11.5 | 7      |
| 8   | 12.0 | 61,5          | 60,1 | 58,6 | 57,2 | 55,8 | 54,4 | 53,0 | 51,6 | 50,2 | 48,8 | 47,4 | 46,0 | 44,6    | 12.0 | 8      |
| 9   | 12.5 | 63,5          | 62,2 | 60,9 | 59,6 | 58,2 | 56,9 | 55,6 | 54,2 | 52,9 | 51,6 | 50,3 | 48,9 | 47,6    | 12.5 | 9      |
| 10  | 13.0 | 65,6          | 64,4 | 63,1 | 61,9 | 60,6 | 59,4 | 58,1 | 56,9 | 55,6 | 54,4 | 53,1 | 51,9 | 50,6    | 13.0 | 10     |
| 11  | 13.5 | 67,7          | 66,5 | 65,3 | 64,2 | 63,0 | 61,8 | 60,6 | 59,5 | 58,3 | 57,1 | 56,0 | 54,8 | 53,6    | 13.5 | 11     |
| 12  | 14.0 | 69,8          | 68,7 | 67,6 | 66,5 | 65,4 | 64,3 | 63,2 | 62,1 | 61,0 | 59,9 | 58,8 | 57,7 | 56,6    | 14.0 | 12     |
| 13  | 14.5 | 71,9          | 70,8 | 69,8 | 68,8 | 67,8 | 66,8 | 65,7 | 64,7 | 63,7 | 62,7 | 61,6 | 60,6 | 59,6    | 14.5 | 13     |
| 14  | 15.0 | 73,9          | 73,0 | 72,0 | 71,1 | 70,2 | 69,2 | 68,3 | 67,3 | 66,4 | 65,4 | 64,5 | 63,6 | 62,6    | 15.0 | 14     |
| 15  | 15.5 | 76,0          | 75,1 | 74,3 | 73,4 | 72,5 | 71,7 | 70,8 | 69,9 | 69,1 | 68,2 | 67,3 | 66,5 | 65,6    | 15.5 | 15     |
| 16  | 16.0 | 78,1          | 77,3 | 76,5 | 75,7 | 74,9 | 74,1 | 73,4 | 72,6 | 71,8 | 71,0 | 70,2 | 69,4 | 68,6    | 16.0 | 16     |
| 17  | 16.5 | 80,2          | 79,5 | 78,7 | 78,0 | 77,3 | 76,6 | 75,9 | 75,2 | 74,5 | 73,8 | 73,0 | 72,3 | 71,6    | 16.5 | 17     |
| 18  | 17.0 | 82,3          | 81,6 | 81,0 | 80,3 | 79,7 | 79,1 | 78,4 | 77,8 | 77,2 | 76,5 | 75,9 | 75,3 | 74,6    | 17.0 | 18     |
| 19  | 17.5 | 84,3          | 83,8 | 83,2 | 82,7 | 82,1 | 81,5 | 81,0 | 80,4 | 79,9 | 79,3 | 78,7 | 78,2 | 77,6    | 17.5 | 19     |
| 20  | 18.0 | 86,4          | 85,9 | 85,4 | 85,0 | 84,5 | 84,0 | 83,5 | 83,0 | 82,5 | 82,1 | 81,6 | 81,1 | 80,6    | 18.0 | 20     |

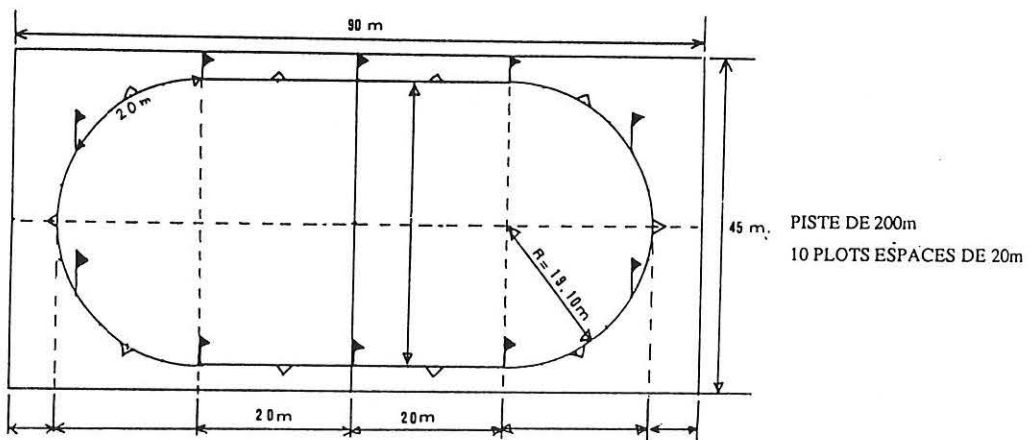
VO<sub>2</sub> max = 31.025 + (3.238 x vit) - (3.248 x âge) + [(0.1536 x vit) x âge]  
 VO<sub>2</sub> max = ml.kg<sup>-1</sup>.min<sup>-1</sup> ; vit = km/h ; âges = années. Equations valables pour 6 - 18 ans.

**Tableau 1 :** Tableau de correspondance permettant l'extrapolation de VO<sub>2</sub> max à partir de la connaissance de l'âge de l'évalué et du palier atteint au test de course navette.

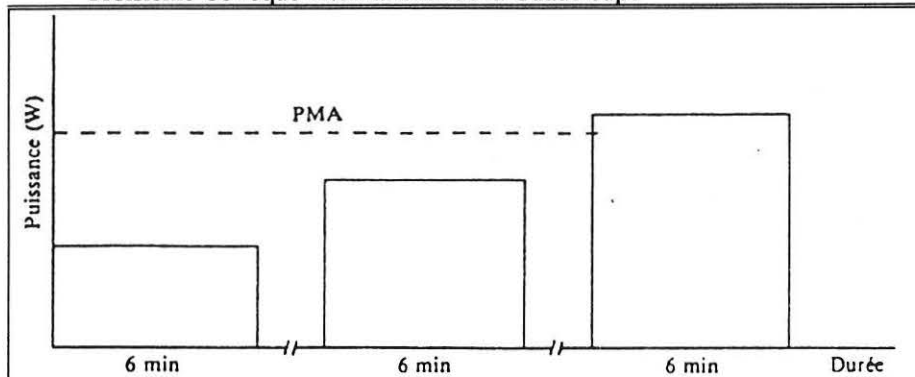
**Figure 3 :** Indications permettant de tracer le terrain nécessaire au déroulement du test de course navette.



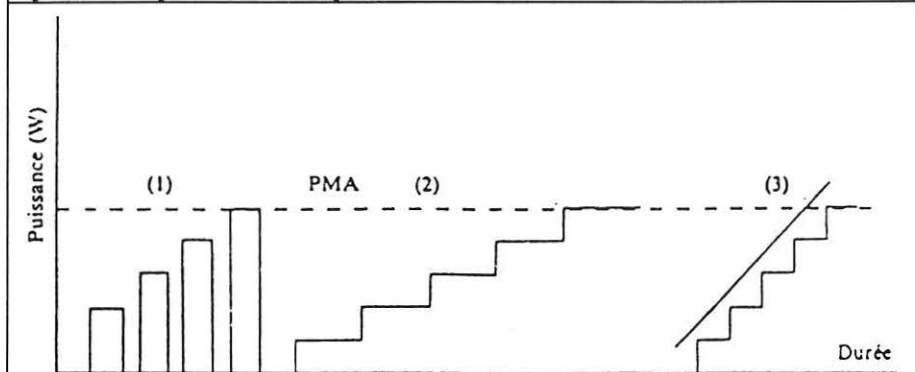
INTERIEUR A UN TERRAIN DE FOOTBALL OU DE RUGBY



**Figure 4 :** Indications permettant de tracer le circuit nécessaire au déroulement du test VAM-Eval.



**Epreuve rectangulaire :** Plusieurs séances de six minutes chacune au cours desquelles le sujet réalise l'épreuve à une charge constante



**Epreuve triangulaire**

- (1) Charges croissantes avec temps de récupération intermédiaire.
- (2) Augmentation des charges par paliers de 3 à 4 min.
- (3) Augmentation quasi continue de la charge par palier de 1 min.

**Figure 2 :** Les différents types de protocoles utilisés pour déterminer le  $\dot{V}O_2 \text{ max}$

□ **Epreuve de course navette de 20m à paliers de 1 minute** (Léger et coll., 1985)

La totalité du déroulement de l'épreuve est enregistrée sur cassette (1). La vitesse est augmentée de 0.5km/h à chaque minute. Dans ce protocole, il s'agit de réaliser le plus grand nombre possible d'allers et retours entre les deux lignes parallèles tracées à vingt mètres l'une de l'autre (ligne de touche d'un terrain réglementaire de handball par exemple, figure 3).

Les "bips" sonores donnés par la cassette doivent correspondre cette fois au blocage du pied sur ou sensiblement derrière chaque ligne. Tous les autres renseignements utiles sont aussi fournis par la cassette et le protocole joint à son envoi.

Le numéro du dernier palier atteint constitue le résultat qu'il suffit de faire correspondre aux données du tableau 1.

⇒ Le grand avantage de cette épreuve est son accessibilité. Une petite surface, un magnétophone et un enregistrement sur cassette audio suffisent pour une évaluation collective dont le nombre de sujets évalués dépend exclusivement de l'importance des dimensions du terrain disponible et, bien-sûr... de la qualité de l'organisation !

<sup>1</sup>. Cassettes : navette, course progressive sur grand terrain, VAM-Eval, T.U.B. II, exclusivement distribuées en France métropolitaine et les DOM-TOM par l'A.R.E.A.P.S - BP 40 - F-33611 CESTAS CEDEX.

⇒ Son inconvénient majeur est qu'elle ne donne pas la vitesse aérobique maximale car les allers et retours en navette perturbent la vitesse utilisable pour régler les vitesses d'entraînement.

Cette épreuve ne permet donc d'obtenir qu'un indice de la puissance aérobique maximale des évalués.

Son utilisation est surtout conseillée en début de saison sportive ou d'année scolaire pour faire "l'état des lieux" du niveau de capacité aérobique des sportifs ou des élèves lorsque les conditions d'évaluation se limitent à un petit terrain. Répétée à période régulière, elle peut aussi témoigner de la plus ou moins bonne adaptation des sujets évalués à leur programme d'entraînement.

□ **Le VAM-EVAL ou épreuve de course progressive sur piste ou sur grand terrain** (Cazorla, 1990).

Outre l'extrapolation possible de  $\dot{V}O_2 \text{ max}$  comme son nom l'indique, le but de cette

épreuve est d'évaluer la **vitesse aérobique maximale**.

C'est la cassette du test navette qui est aussi utilisée pour cette épreuve ou bien une cassette spécifique et mieux adaptée que nous venons d'enregistrer.

Son protocole est donc rigoureusement identique au précédent. Seul l'emplacement tous les 20 mètres de bornes-repères sur une piste d'athlétisme ou sur un circuit multiple de 20 m et d'une distance totale toujours égale ou supérieure à 200 m, en constitue la différence fondamentale.

⇒ Son accessibilité est aussi très bonne : à la condition de courir en "file indienne" et d'être bien organisé, il est possible d'évaluer entre 80 et 100 personnes à la fois, sur une piste de 400 m. Si une piste d'athlétisme n'est pas disponible, un circuit de 200 ou 240 m peut-être délimité sur un terrain de rugby, de football ou, tout simplement, dans un champ (figure 4).

⇒ Son inconvénient majeur est la nécessité d'utiliser un magnétophone avec amplificateur pour rendre audibles les bips sonores. Cet inconvénient peut être pallié par l'utilisation de coups de sifflet qui doublent les bips au moment de leur émission. L'utilisation du walkman permet aussi la passation individuelle ou limitée à cinq ou six sujets à la condition bien-sûr que l'évalué qui en est équipé respecte correctement les vitesses imposées et court le plus longtemps du groupe qu'il entraîne derrière lui.

Son utilisation est surtout conseillée comme auxiliaire précieux de l'entraînement dans lequel, à partir de la connaissance de la VAM, il est totalement possible de mieux quantifier les intensités utiles des exercices.

Le  $\dot{V}O_2$  max peut aussi être extrapolé à partir de la VAM atteinte. Si sa connaissance offre un intérêt (?), l'équation ci-dessous permet d'en obtenir une approximation :

$$\dot{V}O_2 \text{ max (ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}) = \text{VAM (km/h) } \times 3.5$$

Pour les jeunes, au résultat de cette équation il faut ajouter 2% par année d'âge au-dessous de 18 ans chez les garçons et de 17 ans chez les filles.

### 3.2. Protocole rectangulaire : course à vitesse constante

Plus la durée des épreuves à vitesse constante est longue, plus cette épreuve évalue l'endurance aérobie.

Le terme de vitesse constante est souvent un abus de langage lorsque l'épreuve est réalisée sur piste sans indicateur sonore de l'allure. Plusieurs tests utilisent ce type de protocole au nombre desquels ceux de **Cooper**, 1968 (12 min ou 2400 m de course), sont les plus connus.

Leur objectif est de parcourir la plus grande distance possible en 12 min de course ou courir 2400 m dans la durée la plus courte possible.

⇒ Ces épreuves qui ne nécessitent qu'une piste d'athlétisme ou un circuit étalonné et un chronomètre présentent donc une excellente accessibilité.

⇒ Leur inconvénient majeur est qu'elles requièrent une bonne maîtrise de l'allure, difficile à obtenir avec les enfants ou avec les personnes non entraînées.

Par ailleurs, elles ne donnent pas la vitesse aérobie maximale et ne permettent que des approximations médiocres du  $\dot{V}O_2$  max dont les équations d'extrapolation dépendent : du sexe, de l'âge et des niveaux d'entraînement.

A la condition de connaître préalablement la VAM, la vitesse moyenne de ces épreuves permet d'apprécier l'endurance aérobie. Ceci est possible grâce à l'équation ci-dessous qui calcule un **indice d'endurance aérobie = IEA** (Cazorla, 1990).

$$\text{IEA} = \frac{\text{Vitesse moyenne épreuves longue durée}}{\text{VAM}} \times 100$$

Plus l'indice obtenu se rapproche de 100, meilleure est l'endurance de la personne évaluée.

Une autre façon d'apprécier le niveau d'endurance est de courir la plus grande distance possible à une vitesse imposée égale à la VAM, définie par Gacon (1987) comme le "**train maximal imposé**" = TMI.

Dans cette épreuve aussi, la connaissance préalable de la VAM est nécessaire et l'allure imposée par des temps de passage annoncés ou par un appareillage émettant des bips sonores à des intervalles réguliers correspondant à la vitesse choisie, doit être rigoureusement respectée ce qui limite ce type d'épreuve aux spécialistes des courses d'endurance.

### 3.3. Protocole mixte : le test de l'Université de Bordeaux II = T.U.B. II (Cazorla, 1990)

L'objectif principal de cette épreuve est de déterminer les vitesses correspondant à la mise en jeu prépondérante du métabolisme aérobie et anaérobie lactique. Elle permet aussi d'évaluer la vitesse de récupération cardiaque après des exercices inframaximaux (intensités inférieures à la puissance maximale aérobie) ou maximaux (intensité égale à la PAM).

En outre, à partir de la dernière vitesse atteinte ou vitesse aérobie maximale, elle autorise l'extrapolation de  $\dot{V}O_2$  max.

Cette épreuve se situe à mi-chemin entre le terrain sur lequel elle se déroule et le laboratoire où les résultats (courbe de la fréquence cardiaque, dosage de l'acide lactique sanguin, étude des relations FC - Vitesse - Lactacidémie) sont analysés. Elle nécessite en conséquence, un équipement de terrain : piste ou circuit étalonné tous les vingt mètres (**figure 4**), magnétophone avec amplificateur, pré-enregistrement du protocole sur cassette audio et matériels ambulatoires de laboratoire : cardiofréquencemètres, unité mobile de prélèvements et d'analyses sanguines, logiciels spécifiques et ordinateur portable. Ce matériel, totalement transportable, permet aujourd'hui de déplacer à moindre coût, un mini laboratoire directement sur le terrain.

Le protocole du T.U.B. II présente la particularité d'être parfaitement identique à celui utilisé dans de nombreux laboratoires. Ce protocole résulte lui-même d'une synthèse de nombreuses études publiées (Bottin et coll., 1968 ; Maksud et Coutts, 1971 ; Mc Ardle et coll., 1972 ; Whipp et Wasserman, 1972 ; Fernandez et coll., 1974 ; Froelicher et coll., 1974 ; Stamford, 1976 ; Pollock et coll., 1976 ; Whipp et coll., 1981 ; Davis et coll., 1982 ; Fairshier et coll., 1983 ; Wasserman et coll., 1987), en raison desquelles nous avons retenu des paliers courus à vitesse constante pendant trois minutes. Les paliers sont séparés entre eux par des arrêts d'une minute au cours desquels sont réalisés, directement sur le terrain à l'endroit où chaque évalué s'est arrêté, les micro-prélèvements sanguins permettant d'en doser les concentrations en acide lactique. L'incrémentation arrêtée dans notre protocole diffère selon la spécialisation du sportif :

Les trois minutes de durée de chaque palier permettent d'obtenir un plateau stable des principaux paramètres physiologiques (FC, VL, VE,  $VO_2$ ,  $VCO_2$ , Qr), stabilité généralement atteinte après 1 min 30 à 2 minutes de course.

Enregistrées sur bande sonore, ces deux versions de notre protocole permettent non seulement d'imposer une vitesse stable à chaque palier (bips émis à intervalles

réguliers correspondant à des bornes-repères placées tous les vingt mètres sur une piste d'athlétisme) mais, aussi bien en laboratoire que sur le terrain, précisent d'une manière rigoureusement codifiée les différents instants auxquels doivent être réalisés les saisies de données et les prélèvements sanguins. L'arrêt d'une minute exacte est aussi codifié.

Cette standardisation très poussée autorise une excellente reproductibilité du test, sous réserve bien-sûr, que les conditions climatiques et la nature du terrain soient, elles aussi, identiques.

Ainsi, peuvent être établies, non seulement les courbes individuelles reliant la FC à la lactacidémie et à la vitesse de course, mais aussi la VAM, qui correspond à la vitesse atteinte au **dernier palier totalement complété**.

Les résultats obtenus : courbes FC - Vitesse (**figure 5**) et Vitesse - FC - Lactacidémie (**figure 6**) permettent immédiatement de fournir des indications sur le type d'entraînement à mettre en place (**tableau 2**). Par simple superposition de courbes de résultats issus de deux ou trois évaluations successives, le contrôle de la qualité des entraînements réalisés dans les intervalles peut être réalisé aussi (**figure 7**).

Tenant compte de la plus grande accessibilité souhaitée par l'ensemble des éducateurs et de la précision requise pour entraîner et suivre les progrès des sportifs de haut niveau, ces quatre épreuves couvrent largement les besoins du "terrain".

En outre, si un laboratoire spécialisé n'existe pas à proximité des lieux d'entraînement, la solution de l'unité mobile à équipements bien ciblés permet, actuellement, de répondre à l'ensemble des besoins exprimés en la matière.

#### 4. COMMENT DEVELOPPER LA CAPACITE AEROBIE ?

Quel que soit l'objectif poursuivi :

- développer chez les jeunes toutes les composantes de la motricité,
- améliorer la condition physique pour se sentir bien dans son corps,
- être quotidiennement plus actif sans ressentir une fatigue excessive,
- soutenir des exercices intenses de longue durée,
- mieux récupérer après un exercice intense,
- 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 populations 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.

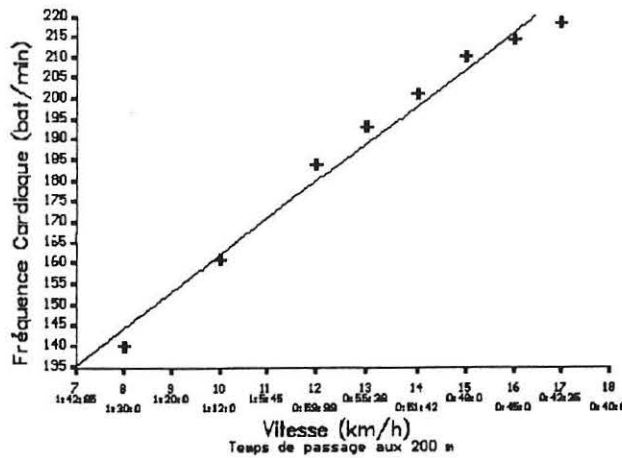
Ainsi, une analyse des motivations individuelles ou des exigences de la pratique compétitive est préalablement indispensable pour orienter en conséquence la préparation physique générale et l'entraînement spécifique (**tableau 3**).

Si, tant au niveau de leurs visées respectives que de leurs contenus spécifiques, les approches de l'enseignant d'éducation physique, du spécialiste en santé publique ou de celles de l'entraîneur paraissent fondamentalement différentes, 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 incitateur du "F.A.I.T" dans lequel, "F" représente la fréquence, "A" l'assiduité, "I" l'intensité et "T" le temps à consacrer aux différents contenus.

| PERSONNEL                              | POPULATIONS CONCERNEES   | OBJECTIFS             |
|--|--|-----------------------|
| Enseignants EPS<br>Educateurs sportifs | Enfants - adolescents  | . EA +++<br>. PAM ++  |
| Animateurs<br>Médecins                 | Adultes non compétiteurs<br>(à éviter chez les personnes âgés de 40 ans et plus) | . EA +++<br>. PAM +   |
| Entraîneurs                            | Coureurs : 800-1500m<br>Nageurs : 200-400m                                       | . PAM +++<br>. EA ++  |
|  | Coureurs : 3000-5000m<br>Nageurs : 800-1500m                                     | . PAM +++<br>. EA +++ |
|  | Coureurs : 10-20 km<br>demi marathon   | . EA +++<br>. PAM ++  |
|  | Coureurs : marathon<br>et plus   | . EA +++<br>. PAM +   |
|  | Joueurs sports collectifs  | . PAM +++<br>. EA +   |

Tableau 3 : Développement prioritaire de la puissance aérobie maximale (PAM) ou de l'endurance aérobie (EA) selon les objectifs des populations à entraîner : +++ absolument prioritaire et indispensable. ++ moins prioritaire mais important. + secondaire mais ne doit pas être négligé.



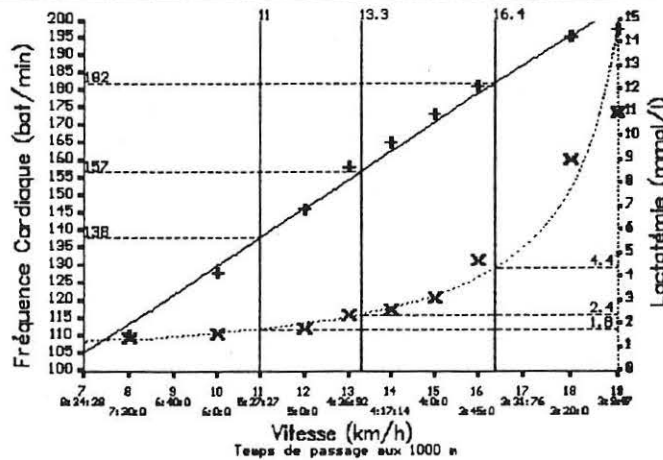
COLL Julien

Discipline : TENNIS Date : 20/10/92  
 Spécialité :

| VALEURS A VO2 MAX |                         |  |
|-------------------|-------------------------|--|
| Vitesse max       | Fréquence Cardiaque max |  |
| 17                | 218                     |  |

| EQUATIONS DES COURBES DE REGRESSION |                      |  |
|-------------------------------------|----------------------|--|
| Equations FC                        | = [8.908*Vit+73.214] |  |
| Correl.                             | 0.989                |  |

Figure 5 : Représentation graphique de la relation linéaire : fréquence cardiaque - vitesse de course, obtenue au cours du test VAM-Eval ; valeurs maximales et équation de la fonction calculée pour le sujet évalué. (Logiciel TUB-Eval).



DEHIL RENAUD

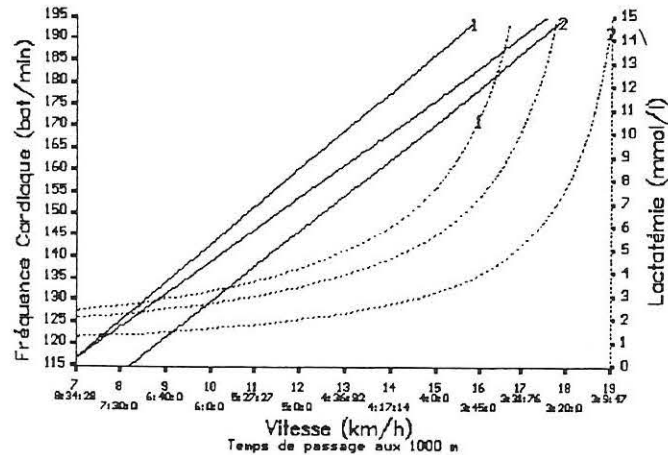
Discipline : FOOTBALL Date : 01/09/91  
 Spécialité : 4

| VALEURS A VO2 MAX |                         |                |
|-------------------|-------------------------|----------------|
| Vitesse max       | Fréquence Cardiaque max | Lactatémie max |
| 19                | 197                     | 11             |

| EQUATIONS DES COURBES DE REGRESSION |                      |                             |
|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------|
| Equations FC                        | = [8.159*Vit+48.129] | Lact = 1/ [-0.061*Vit+1.23] |
| Correl.                             | 0.994                | -0.991                      |

Figure 6 : Représentation graphique des relations : linéaire (FC-Vitesse) et curviligne (Vitesse-lactacidémie), obtenues par le sujet évalué au cours du test TUBII. En-dessous du graphique sont indiquées les valeurs maximales et les équations des deux fonctions (Logiciel TUB-Eval).





DEHIL                      RENAUD  
 Discipline : FOOTBALL  
 Spécialité : 4

|                                     | Evaluation courante               | Evaluation numero 1               | Evaluation numero 2               |
|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| Date                                | 08/09/92                          | 01/07/92                          | 01/09/91                          |
| VALEURS A VO2 MAX                   |                                   |                                   |                                   |
| Vit max                             | 18                                | 16                                | 19                                |
| FC max                              | 192                               | 196                               | 197                               |
| Lact max                            | 13                                | 10.8                              | 11                                |
| EQUATIONS DES COURBES DE REGRESSION |                                   |                                   |                                   |
| FC =                                | $7.411 \cdot \text{Vit} + 64.829$ | $8.695 \cdot \text{Vit} + 55.982$ | $8.159 \cdot \text{Vit} + 48.129$ |
| Lact =                              | $-0.039 \cdot \text{Vit} + 0.757$ | $-0.036 \cdot \text{Vit} + 0.67$  | $-0.061 \cdot \text{Vit} + 1.23$  |

COMPARAISON D'EVALUATIONS  
 PAR CALCUL DE DIFFERENCES

Grandeur fixe : Vitesse = 15 km/h

| RESULTATS   |     |     |                    |     |                    |                    |
|---|-----|-----|--------------------|-----|--------------------|--------------------|
| avec E0 = Evaluation courante, E1 = Evaluation n°1 et E2 = Evaluation n°2 |     |     |                    |     |                    |                    |
|   | E0  | E1  | $\delta = E1 - E0$ | E2  | $\delta = E2 - E1$ | $\delta = E2 - E0$ |
| FC en bat/min   | 176 | 186 | 10                 | 171 | -15                | -5                 |
| Lact en mmol/l  | 5.7 | 7.7 | 2                  | 3.2 | -4.5               | -2.5               |

**INDICATIONS POUR L'ENTRAINEMENT (\*)**

| % moyens de V.A.M (**) | Répercussions physiologiques et vitesses conseillées pour :   | Durées optimales   |
|------------------------|---|--|
| 50 à 60-65             | <ul style="list-style-type: none"> <li>Récupération active :</li> <li>Accélération du métabolisme de l'acide lactique produit au cours d'un exercice intense de courte durée (30s à 2 min)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>10 à 15 min suffisent après un exercice lactique</li> </ul>   |
| 70 à 75                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Equilibre aérobie :</li> <li>- Utilisation prioritaire des lipides</li> <li>- Echauffement et vitesses de course favorables pour les reprises d'entraînement en début d'année scolaire ou de saison sportive par exemple</li> <li>- Développe l'endurance aérobie</li> </ul>                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>Durées susceptibles d'être maintenues très longtemps</li> <li>Long Slow Distance : LSD"</li> </ul>  |
| 75 à 80                | <ul style="list-style-type: none"> <li>Transition Aérobie ↔ Anaérobie</li> <li>- Utilisation mixte lipides + glucides</li> <li>- Développe efficacement l'endurance aérobie</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Durées marathon et courses de fond</li> </ul>   |
| 80 à 95-100            | <ul style="list-style-type: none"> <li>Accumulation progressive de l'acide lactique</li> <li>- Utilisation prioritaire du glycogène</li> <li>- Développe la Capacité Anaérobie lactique et la puissance aérobie maximale (P.A.M)</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>3 à 6 min de courses continues</li> </ul>   |
| 95 à 105-120           | <ul style="list-style-type: none"> <li>Essentiellement lactique</li> <li>- Utilisation anaérobie du glycogène</li> <li>- Développe l'endurance anaérobie lactique et la PAM</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>1 à 2 min de courses continues</li> <li>Récupération 2 à 3 min</li> <li>Recommencer 3 à 4 fois</li> <li>A envisager essentiellement chez le jeune post-pubère et en fonction des objectifs de l'entraînement</li> </ul> |
| 105 à 130              | <ul style="list-style-type: none"> <li>Sollicitation maximale de tous les systèmes qui permettent le transport et l'utilisation de l'oxygène</li> <li>- Utilisation aérobie du glycogène</li> <li>+ utilisation des phosphagènes</li> <li>- Développe efficacement la PAM et de la capacité anaérobie alactique (réserve des phosphagènes)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>Durées courtes à intervalles courts (travail intermittent) court 10-20 ; 10-15 ; 15-15...</li> <li>^ maintenir pendant plus de 15 à 20 minutes, courses à allures variables (fartlek) 10 à 20 min</li> </ul>            |

**Figure 7 :** Suivi de l'entraînement. Représentation graphique des résultats physiologiques obtenus par un même sportif à trois dates différentes (Test TUB<sub>II</sub>). En-dessous sont indiquées les valeurs maximales et, à des fins de comparaison, les différentes valeurs obtenues à une vitesse identique de 15 km/h.

**Tableau 2 :** Pourcentages limites de la VAM et leurs impacts physiologiques en fonction du niveau d'entraînement. Dans la progression, il est toujours conseillé de commencer par le premier des deux ou trois chiffres indiqués. Dans le cas où l'évaluation de VAM vient d'être renouvelée, ne retenir que le premier pourcentage indiqué (\*\*)  
 Tableau réalisé et valeurs individuelles calculées par le logiciel VAM-Eval (\*)

Ces principes dépendent eux-mêmes des conditions à l'origine du développement fonctionnel de tout système biologique : **la surcharge, la progressivité, la spécificité et l'alternance** de la surcharge et de la récupération.

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 coll., 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 et est maintenue plus d'une heure trente, à cause de la durée nécessaire pour reconstituer les réserves en glycogènes 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 aérobique maximale, tout indique que six entraînements hebdomadaires de dix minutes valent mieux que deux de quinze minutes, trois de vingt minutes, deux de trente minutes ou qu'un d'une heure. 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 de l'endurance pour les coureurs de fond et les marathoniens ;
- ou quatre séances hebdomadaires de quinze minutes pour le développement de la puissance aérobique.
- Deux séances de vingt minutes chacune constituent la limite inférieure du maintien des acquis et de l'entretien de la capacité aérobique, 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 aérobique. Bien-sûr, la maladie est un cas de force majeure. Par contre, concernant les enseignants d'éducation physique ou les préparateurs physiques, il serait aberrant de ne prévoir qu'un "cycle d'endurance" en début d'année et de s'en tenir là, ou bien de faire suivre un "cycle d'endurance" par un cycle d'activités ne sollicitant que très modestement la capacité aérobique. 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 ou des classes, 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 dépend bien-sûr des capacités individuelles qu'il convient de bien connaître préalablement, d'où la nécessité de toujours débiter une saison sportive ou une année scolaire par une séance d'évaluation, ensuite contrôler périodiquement et réajuster les intensités de travail à partir des résultats d'évaluations.

Concernant la capacité aérobique, l'accent doit être mis prioritairement sur les améliorations des systèmes ventilatoire et cardiocirculatoire qui assureront une bonne diffusion et un bon transport de l'oxygène. Cette amélioration exige de débiter un programme d'entraînement à des intensités faibles (environ à 65% de sa VAM), maintenues le plus longtemps possible (trente minutes à une heure trente).

Ces intensités-durées sont les plus favorables à l'amélioration de la diffusion alvéolo-capillaire de l'oxygène, au meilleur remplissage - contraction du coeur, à l'utilisation d'un plus grand nombre de capillaires sanguins musculaires jusque là non fonctionnels, à une meilleure irrigation des territoires actifs et à une combustion accrue des réserves lipidiques comme substrats énergétiques du travail musculaire.

Ensuite, 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 les exercices qui permettent d'améliorer la puissance aérobique 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 en "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'adaptation aiguë 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 aérobique). Meilleur transport et utilisation de l'oxygène en plus grande quantité président à l'amélioration de la consommation aérobique maximale ( $\dot{V}O_2 \text{ max}$ ).

#### \* 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 électivement 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 75% 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 ou durant les grandes vacances scolaires, huit à dix semaines sont à nouveau nécessaires pour retrouver et maintenir sa puissance aérobie maximale... à la condition bien-sûr de respecter les principes du FAIT que nous venons d'analyser.

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, commencez par évaluer la capacité aérobie des sportifs, des élèves ou celle des adultes non compétiteurs placés sous votre responsabilité. Deux épreuves, permettant d'obtenir respectivement la vitesse aérobie maximale et d'estimer l'endurance aérobie, doivent figurer au menu de vos premières séances d'évaluation. Elles sont indispensables pour vous indiquer les vitesses individuelles à respecter afin de conduire les séances d'entraînement qui suivront.

2. Ensuite, programmez une progression lente mais bien adaptée tant en intensité qu'en durée de chacun des exercices de vos séances. Cette augmentation des "charges" physiologiques est indispensable pour entraîner de nouvelles adaptations de l'organisme et donc, pour améliorer progressivement l'endurance (pendant les trois ou quatre premières semaines) et de la puissance aérobie maximale (à partir de la troisième ou quatrième semaine et ce, jusque vers la huitième semaine).

3. Variez les formes d'exercices car l'enthousiasme, la motivation et le plaisir des personnes dont vous avez la responsabilité doivent être constants et sont à la base de la poursuite de leur entraînement au cours de chaque séance, chaque semaine, chaque mois, chaque année, voire toute leur vie. Jamais plus qu'ici, ce vieux proverbe chinois (cité par Stromme et Skard, 1981), n'a pris toute sa signification :

*"Pense une idée, récolte une action.*

*Répète une action, récolte une habitude.*

*Poursuis une habitude, récolte un trait de caractère".*

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 la spécificité et l'alternance entre l'exercice et la récupération.

#### \* La spécificité

En fonction des objectifs ou de la performance visée (Cf. **Tableau 3**), 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 4**).

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". Le **tableau 4** donne quelques unes des exigences et des sollicitations énergétiques prépondérantes de certaines activités physiques.

Par exemple, pour entraîner un coureur de 500 m, référons-nous aux **tableaux 3 et 4**.

Le **tableau 3** indique que les développements respectifs de l'endurance aérobie et de la puissance aérobie maximale semble aussi important l'un que l'autre. Donc, sur la durée totale du plan de préparation, chacun des deux aspects devra occuper autant de temps. Concernant l'intensité, le **tableau 4** permet de constater que le 5000 m se court à une vitesse moyenne située entre 86 et 95% de la VAM et que la puissance métabolique mise en jeu nécessite la mobilisation respective de 65 à 75%

| COURSE<br>Distances | % de VAM  | AEROBIE    |                        | Glycolyse<br>lactique | ATP-CP |
|---------------------|-----------|------------|------------------------|-----------------------|--------|
|                     |           | Acide gras | Glycogène<br>+ glucose |                       |        |
| 100 mètres          | 160 à 200 | -          | -                      | 2                     | 98     |
| 200 mètres          | 150 à 200 | -          | -                      | 4                     | 96     |
| 400 mètres          | 125 à 140 | -          | 5                      | 40                    | 55     |
| 800 mètres          | 120 à 125 | -          | 5 à 8                  | 62 à 65               | 30     |
| 1000 mètres         | 105 à 115 | -          | 15 à 20                | 60 à 65               | 25     |
| 1500 mètres         | 101 à 111 | -          | 20 à 25                | 50 à 55               | 25     |
| 2000 mètres         | 98 à 102  | -          | 30 à 35                | 45 à 50               | 20     |
| 3000 mètres         | 95 à 100  | 5          | 40 à 45                | 35 à 40               | 15     |
| 5000 mètres         | 86 à 95   | 15         | 50 à 60                | 15 à 25               | 10     |
| 10.000 m            | 85 à 90   | 30 à 40    | 45 à 55                | 5 à 10                | 5      |
| 20.000 m            | 78 à 85   | 48 à 58    | 35 à 45                | 5                     | 2      |
| 42.195              | 72 à 80   | 56 à 66    | 30 à 40                | 2                     | 2      |

du système aérobie, de 15 à 25% du système anaérobie lactique et d'environ 10% du système anaérobie alactique (ATP-CP). Chronologiquement, dans 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 et de vitesse devront être harmonieusement combinés, sachant que l'amélioration de la vitesse est antinomique de celle de l'endurance.

⇒ Il est important de se souvenir que :

- Pour développer le  $\dot{V}O_2$  max (ou la PAM), il faut s'entraîner à des intensités proches, égales ou sensiblement supérieures à celles atteintes à  $\dot{V}O_2$  max.
- 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 4).
- Par contre, il est impossible de développer correctement son  $\dot{V}O_2$  max en ne s'entraînant qu'à des intensités trop faibles, uniquement favorables à l'amélioration de l'endurance et vice-versa.
- De même, un entraînement incluant beaucoup de vitesse est incompatible, voire contraire au développement de l'endurance aérobie.

#### • 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 visés.

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-CP) nécessite de préférence un arrêt total ; la récupération est dite alors **passive** alors que l'élimination de l'acide lactique 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 5**).

| Reconstitution de la totalité des réserves en : | Récupération   |   |
|---|----------------|---|
|   | Durée          | Nature  |
| Oxygène.....                                    | 10 à 15 s      | Passive   |
| ATP - CP .....                                  | 2 à 3 min      | Passive   |
| Glycogène .....                                 | 36 à 48 heures | Passive ou active intensité faible moins de 50% VAM |
| .....   |                |   |
| .....   |                |   |
| .....   |                |   |
| Elimination de l'acide lactique .....           | 1 h à 1 h 30   | Passive   |
| .....   | 12 à 20 min    | Active (50-60% VAM)                                 |

Tableau 5 : Durées nécessaires pour reconstituer complètement les principales réserves métaboliques de l'organisme et éliminer l'acide lactique produit.

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-CP 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 de l'acide lactique 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.

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 6 et 7**).

A titre d'exemple, vingt minutes d'exercice peuvent être réalisées de multiples façons et obtenir des repercussions physiologiques tout à fait différentes (**tableau 6**).

#### • Mise en oeuvre et procédés d'entraînement

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 4** indique les pourcentages de VAM auxquels devraient correspondre les vitesses de course d'entraînement des différentes spécialités de course.

| EXERCICE                                 |           | RECUPERATION     |           | IMPACTS PHYSIOLOGIQUES     |
|--|-----------|------------------|-----------|----------------------------|
| INTENSITES                               | DUREES    | NATURE           | DUREES    |                            |
| 70 à 75% VAM                             | 20 min    |                  |           | Endurance aérobie          |
| 60 à 65% VAM<br>+ accélération           | 20 min    | Active (fartlek) |           | Endurance aérobie + PAM    |
| pendant 10s toutes<br>les 2min de course |           |                  |           |                            |
| 85 à 95% VAM                             | 6 min x 3 | Passive          | 1 min x 2 | PAM + système lactique     |
| 100% VAM                                 | 2 min x 4 | Passive          | 3 min x 4 | Système lactique + PAM     |
| 110 à 120% VAM                           | 15 s x 40 | Passive          | 15 s x 40 | Puissance Aérobie Maximale |

Tableau 6 : Exemple de différentes organisations possibles d'une séquence de vingt minutes d'exercices musculaires

□ **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 il faut accélérer tout en conservant toujours "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 (**figure 8**).

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 cardiocirculatoire. 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.

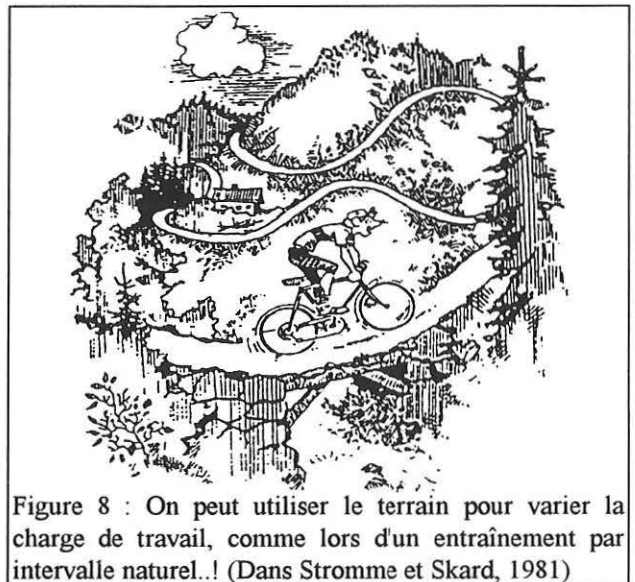


Figure 8 : On peut utiliser le terrain pour varier la charge de travail, comme lors d'un entraînement par intervalle naturel..! (Dans Stromme et Skard, 1981)

□ **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 de

**Tableau 7 : RECAPITULATIF DES GESTIONS DU DEVELOPPEMENT DE LA CAPACITE AEROBIE**

| I. CONTINU          |              |                                 |                      |                              |                           |  |                           |                                      |   | Développements prioritaires |
|---------------------|--------------|---------------------------------|----------------------|------------------------------|---------------------------|--|---------------------------|--------------------------------------|---|-----------------------------|
| Intensités (% VAM)  |              | Durées                          |                      | Exercices recommandés        |                           | Nombre de séances par semaine  |                           |                                      |   |                             |
| 65 à 80             |              | 20 min à 45 min                 |                      | Continus (L.S.D) ou Fartleck |                           | Minimum 2, maximum : dépend des objectifs, de la discipline et de la disponibilité |                           |                                      |   |                             |
| II. PAR INTERVALLES |              |                                 |                      |                              |                           |  |                           |                                      |   |                             |
| Exercices           | Récupération | Intensités des exercices % VAM* | Durées des exercices | Durées de la récupération    | Nature de la récupération | Nombre de répétitions /série   | Durées totales des séries | Durées de la récup. entre les séries | Nombre de séances/semaine                                   |                             |
| Longs               | Longue       | 80 à 95                         | 5 à 15min            | 1 à 2 min                    | Passive                   | 2 à 6  | 30 à 45 min               | Une seule série                      | 2 à 5 en début de saison (8 à 10 semaines)<br>1 à 2 ensuite |                             |
| Courts              | Courte       | 110 à 140                       | 8 à 15s              | 10 à 30s                     | Passive                   | 20   | 20 à 30min                | 4-5min récup. active + étirements    | 2 à 3 (4ème à 10ème semaine)<br>1 ensuite                   |                             |

\* Vitesse Aérobie Maximale (VAM) déterminée à partir des tests VAM-Eval ou TUB.II : AREAPS - B.P 40 - 33611 CESTAS CEDEX

meuraient "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 l'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"

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.

L'exercice intense (110 à 120% de VAM) et de durée courte (10 à 15s) dépend surtout de la dégradation des phosphagènes (ATP-CP). 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 dont le témoin : la fréquence cardiaque, augmente rapidement mais demeure à un niveau inframaximal.

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-CP, 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 (hémoglobine et 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. Dans la perspective de l'entraînement de joueurs de sports collectifs (notamment), ce type d'exercices est fortement recommandé.

Tout en développant efficacement le  $\dot{V}O_2$  max, il peut être constitué de répétitions d'actions technico-tactiques réalisées à des intensités proches ou identiques à celles des matches.

Enfin, en observant le mode de fonctionnement ludique spontané de l'enfant, on s'aperçoit que l'activité intermittente de courte durée en constitue l'essentiel. Rien d'étonnant alors que le système aérobie de l'enfant soit plus performant que celui de l'adulte.

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 que suite à 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 d'élèves et de sportifs, la mise en place de cette forme d'entraînement est très facile : un terrain de football offre les dimensions idéales :

1. Commencer par évaluer leur VAM.

2. Former des groupes homogènes de VAM (quatre à cinq groupes).

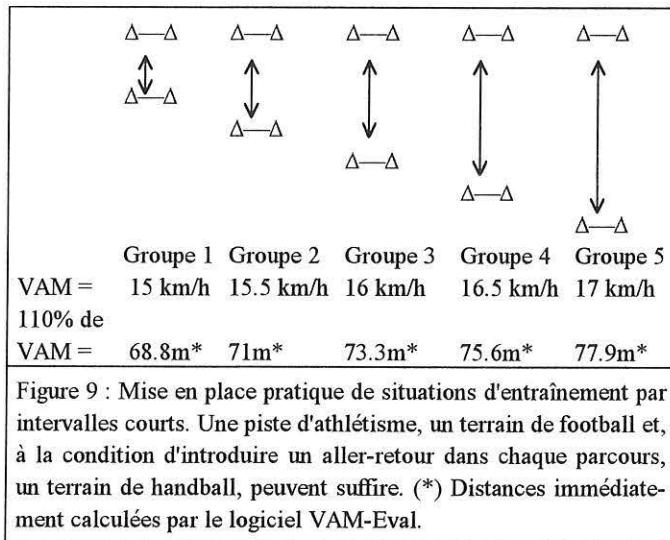


Figure 9 : Mise en place pratique de situations d'entraînement par intervalles courts. Une piste d'athlétisme, un terrain de football et, à la condition d'introduire un aller-retour dans chaque parcours, un terrain de handball, peuvent suffire. (\*) Distances immédiatement calculées par le logiciel VAM-Eval.

3. Calculer la distance à couvrir pendant par exemple, 10s à 110% des VAM respectives de chaque groupe.

4. Dans la forme 10s de course - 10s de récupération, donner un coup de sifflet toutes les dix secondes. Le "contrat" de chaque groupe est de parcourir la distance correspondante.

□ **L'exercice fractionné** : Le but de l'exercice fractionné est d'imiter la forme d'exercice à fournir lors de la compétition. 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 ou la nage (Cf. Tableau 4). 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.

#### • Aspects pratiques destinés aux enseignants d'éducation physique

Avant de se pencher sur la meilleure façon de gérer le développement de la capacité aérobie des jeunes dont l'enseignant d'EPS a la responsabilité, il convient, nous semble-t-il, de porter un regard critique sur les procédés pédagogiques les plus habituellement utilisés et, plus particulièrement, ce qu'il est de coutume de définir comme le "cycle d'endurance", généralement placé en début d'année scolaire, voire de saison sportive.

**Un seul "cycle d'endurance" peut-il développer la capacité aérobie des élèves ?**

Si on se réfère aux définitions de l'endurance, il conviendrait désormais de trouver une autre appellation

pour qualifier le cycle de développement de la capacité aérobie envisagé en début d'année scolaire... à moins, bien-sûr, que l'objectif de ce cycle se limite au développement de la seule endurance aérobie, ce qui serait insuffisant !

Outre cette nécessaire précision, le problème le plus crucial est de s'interroger sur l'impact physiologique réel d'un tel cycle. Si on limite le "cycle d'endurance" à une ou deux séances hebdomadaires de trente minutes chacune de travail effectif, le calcul final montre à l'évidence que l'enseignant ne peut qu'être très modeste dans ses ambitions.

Dans ce cas, selon nos calculs, la durée réelle consacrée au développement de la capacité aérobie se limiterait, dans une année, à :

- 0.88% de la durée totale des séances d'EPS (3 x 55 min hebdomadaires),
- 0.0019% de la durée totale du nombre d'heures de scolarité,
- 0.00032% de la durée totale en situation éveillée (hypothèse de 10 heures de sommeil),
- 0.00019% du nombre total d'heures !!

À la condition que, quels que soient les contenus des différents cycles, le développement de la capacité aérobie constitue un objectif transversal, le "cycle d'endurance" pourrait être maintenu mais, comme simple fondement d'une préparation du "terrain physiologique" de début d'année scolaire.

**Les intensités et, notamment, les fréquences cardiaques élevées requises pour le développement de la capacité aérobie peuvent-elles être dangereuses chez le jeune ?**

Il est souvent affirmé fort péremptoirement, mais sans preuve, que l'exercice intense et prolongé est dangereux pour l'enfant. Qu'en est-il exactement ? Des recherches portant sur de nombreux paramètres physiologiques et médicaux indiquent que l'enfant peut les tolérer sans problèmes et que leurs conséquences biologiques semblent n'être que modérées (Liesen et coll., 1974 ; Macek et coll., 1976 a et b ; Haralambie et coll., 1977). À ce jour, aucune réaction de mésadaptation n'a été rapportée dans la littérature.

Au niveau de l'éducation physique et de l'entraînement chez le jeune, le danger n'est pas l'hyper mais plutôt l'hypoactivité à laquelle contraignent à la fois, des horaires hebdomadaires trop faibles, une vie physique de plus en plus limitée par l'environnement et une légitime prudence de l'enseignant et de l'éducateur sportif insuffisamment renseignés sur les réelles possibilités d'adaptation biologiques des jeunes qui leur sont confiés.

**A partir de quel âge développer l'endurance et la Puissance Aérobie Maximale ?**

**Que penser de ce fameux "âge d'or" du développement de la capacité aérobie ?**



Dans ces domaines beaucoup de choses ont été dites ou écrites, peu ont été expérimentées et prouvées. Cela tient évidemment à la simple déontologie et aux difficultés techniques d'expérimentation chez le jeune en général et, plus particulièrement, chez l'enfant. Les études longitudinales réalisées sont toutes de durées trop courtes et de protocoles très difficilement maîtrisables pour représenter les effets, à long terme, d'un entraînement particulier.

Dans ces conditions comment avoir la certitude que telle transformation enregistrée n'est pas aussi et surtout la conséquence normale de la croissance, de la maturation et du développement ?

Quel que soit l'âge, l'endurance et la puissance aérobie maximale doivent être complémentaires développées. Cependant, en général, l'organisme de l'enfant semble moins bénéficier d'un programme d'exercices d'endurance et de puissance maximale aérobie que celui d'un jeune postpubère (Sprynarova, 1974. Kobayashi et coll., 1978). Ceci ne signifie aucunement qu'il faille attendre cette période pour commencer. Il est vrai qu'aux âges prépubertaires, il est plus opportun de consacrer davantage de temps à l'acquisition des habiletés motrices, sans pour autant négliger la dimension physiologique.

Une autre confusion serait de vouloir calquer les programmes destinés aux développements de la capacité aérobie sur la courbe naturelle d'augmentation du  $\dot{V}O_2$  max liée à la croissance. Si en effet on observe chez le garçon une poussée d'augmentation rapide du  $\dot{V}O_2$  max à partir (en moyenne) de 10 ans et 4 mois pour atteindre un sommet à 11 ans et 6 mois et maintenir une période d'accélération abrupte jusqu'à l'âge de 14 ans (Mirwald, 1980 ; Mirwald et coll., 1981), rien ne nous permet de dire que ces âges sont les plus favorables aux programmes d'exercices aérobie (endurance +  $\dot{V}O_2$  max). Dans ce type de statistiques, notons que le même phénomène s'observe chez les filles mais avec une précocité d'environ une année.

Par contre, dès la période pubertaire, la courbe de développement du  $\dot{V}O_2$  max des jeunes filles non sportives s'infléchit en plateau et même baisse si une activité physique régulière ne permet son entretien.

*En résumé : Il n'y a pas d'âge particulier pour commencer à développer la capacité aérobie de l'enfant et de l'adolescent. Par prudence, plutôt que par connaissance précise, il semble plus raisonnable de commencer chez l'enfant par un travail d'endurance aérobie ce qui n'exclut nullement des exercices ponctuels intenses mais de courte durée et répétés à intervalles courts (caractérisant le mode de fonctionnement de l'enfant dans sa motricité ludique). Ensuite, hormis en début d'année scolaire, il n'y a pas de chronologie particulière. Endurance et puissance maximale aérobie doivent être développées complémentaires, surtout vers 11-16 ans, période pendant laquelle les effets de la croissance peuvent potentialiser leur développement.*

## BIBLIOGRAPHIE

- Bottin, R., Petit, J.M., Deroanne, R., Juchmes, J. et Pirnay, F.** - Mesures comparées de la consommation maximum  $O_2$  par paliers de 2 ou 3 minutes. *Int. Z. Angew. Physiol. Einschl. Arbeit physiol.* 26: 255-362, 1968.
- Cazorla G.** - Tests de terrain pour évaluer la capacité aérobie et la vitesse aérobie maximale. Dans : "Actes du colloque international de la Guadeloupe". Edts : ACTSHNG et AREAPS : pp. 151-173, 23 nov. 1990.
- Cooper, K.H.** - A mean of assessing maximal oxygen intake : correlation between field and treadmill testing. *J. Am. Heart Ass.* 203 : 135-138, 1968.
- Davis, J.A., Whipp, B.J., Lamarra, N., Huntsman, D.J., Frank, M.H., and Wasserman, K.** - Effect of ramp slope on measurement of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 14 : 339-343, 1982.
- Fairshter, R.D., Walters, J., Salvess, K., Fox, M., Minh, V.D., and Wilson, A.F.** - Comparison of incremental exercise test during cycle and treadmill ergometry. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 125 (Suppl. abstract) : 254, 1982.
- Fernandez, E.A, Mohler, J.G. et Butler, J.P.** - Comparison of oxygen consumption measured at steady state and progressive rates of work. *J. Appl. Physiol.* 37 (6) : 982-987, 1974.
- Fox E.L., Bartels R., Billings C. O'Brien R., Bason R. & Mathews D.K.** - Frequency and distance of interval training programs and changes in aerobic power. *Med. Sci. Sports*, 38 (3) : 481-484, 1975.
- Fox E.L. et Mathews D.K.** - Bases physiologiques de l'activité physique. Traduit et adapté par F. Peronet. Edts : Decarie et Vigot. 190 pages, 1984.
- Froelicher, V.F., Brammel, H., Davis, G.D., Noguera, I., Stewart, A., and Lancaster, M.D.** - A comparison of three maximal treadmill exercise protocols. *J. Appl. Physiol.*, 36 : 720-725, 1974.
- Gacon, G.** - La course d'endurance. CRDP, Dijon, 1984.
- Haralambie G., Berg A. & Huber G.** - Biochemical and heart rate changes after skiing in 8 to 9 year old boys. In : *Frontiers of activity and child health.* (H. Lavalee et R.J. Shephard, Eds). Pelican, Québec : 347-354, 1977.
- Kobayashi K., Kitamura K., Muira M., Sodeyama H., Murase Y., Myashita M. & Matsui A.** - Aerobic power as related to body growth and training in Japanese boys : a longitudinal study. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 44, 666-672, 1978.
- Léger, L. et 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  $\dot{V}O_2$  max. *Eur. J. Appl. Physiol.* 49 : 1-12, 1982.

- Léger, L., Cloutier, J., Rowan, C.** - Test progressif de course navette de 20 m avec paliers de 1 min. Université de Montréal, 1985.
- Liesen H., Hollman W. & Budinger H.** - Biomechanics changes after long lasting exercise on 9-13 years old girl field hockey players. *Acta Paediatr.* 28, 287-296, 1974.
- Macek M., Vana J. & Novosadova J.** - Prolonged exercise in prepubertal boys. 1. Cardiovascular and metabolic adjustment. *Eur. J. Appl. Physiol.* 35, 291-298, 1976 a.
- Macek M., Vana J. & Novosadova J.** - Prolonged exercise in prepubertal boys. 2. Changes in plasma volume and in some blood constituents. *Eur. J. Appl. Physiol.* 35, 299-303, 1976 b.
- 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.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. and Pechar, G.S.** - Comparison of continuous and discontinuous treadmill and bicycle tests for max  $\text{VO}_2$ . *Med. Sci. Sports Exerc.*, 5 : 3 156-160, 1973.
- Mirwald R.L.** - Saskatchewan growth and development study. In : *Kinanthropometry II* (M. Ostyn, G. Beunen & J. Simons, Eds). University Park Press, Baltimore, 289-305, 1980.
- Mirwald R.L., Bailey D.A., Cameron N. & Rasmussen R.L.** - Longitudinal comparison of aerobic power in active and inactive boys aged 7 to 17 years. *Ann. Hum. Biol.* 8, 405-414, 1981.
- Pollock M.L.** - The quantification of endurance training programmes. In : J.H. Willmore (Ed). *Exercise and sport sciences reviews*. Vol. 1, New York Academie Press : 155-158, 1973.
- Pollock, M.L., Bohannon, R.L., Cooper, K.H., Ayres, J., Ward, A., White, S.R. and Linnerud, N.D.** - A comparative analysis of four protocols for maximal treadmill stress testing. *Am. Heart J.*, 92 : 39-46, 1976.
- Sprynarova S.** - Longitudinal study of the influence of different physical activity programs on functional capacity of the boys from 11 to 18 years. *Acta Paediatr. Belg.* 28, 204-213, 1974.
- Stamford, B.A.** - Step Increment versus constant load tests for determination of maximal oxygen uptake. *Europ. J. Appl. Physiol.* 35 : 89-93, 1976.
- Stromme S. B. et Skard H.** - La condition physique : Aptitude physique et contrôle. Edt : Skinor XL 1, p. 18, 1981.
- Wasserman, K., Hansen, J.E., Sue, D.Y., Whipp, B.J., Lea and Febiger.** - Principles of exercise testing and interpretation. 1987.
- Whipp, B.J. and Wasserman, K.** - Oxygen uptake kinetics for various intensities of constant load work. *J. Appl. Physiol.*, 33 : 351-356, 1972.
- Whipp, B.J., Davis, J.A., Torres, F., and Wasserman, K.** - A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 50 : 217-227, 1981.