



Association pour la Recherche et l'Évaluation en Activité Physique et en Sport

COMMENT UTILISER LA VITESSE AEROBIE MAXIMALE ?

Georges CAZORLA
2019

Association pour la Recherche et l'Évaluation en Activité Physique et en Sport
Téléphone 00 33 6 12 64 83 09. Email : areaps33@gmail.com. Web : www.areaps.org

COMMENT UTILISER LA VITESSE AEROBIE MAXIMALE ?

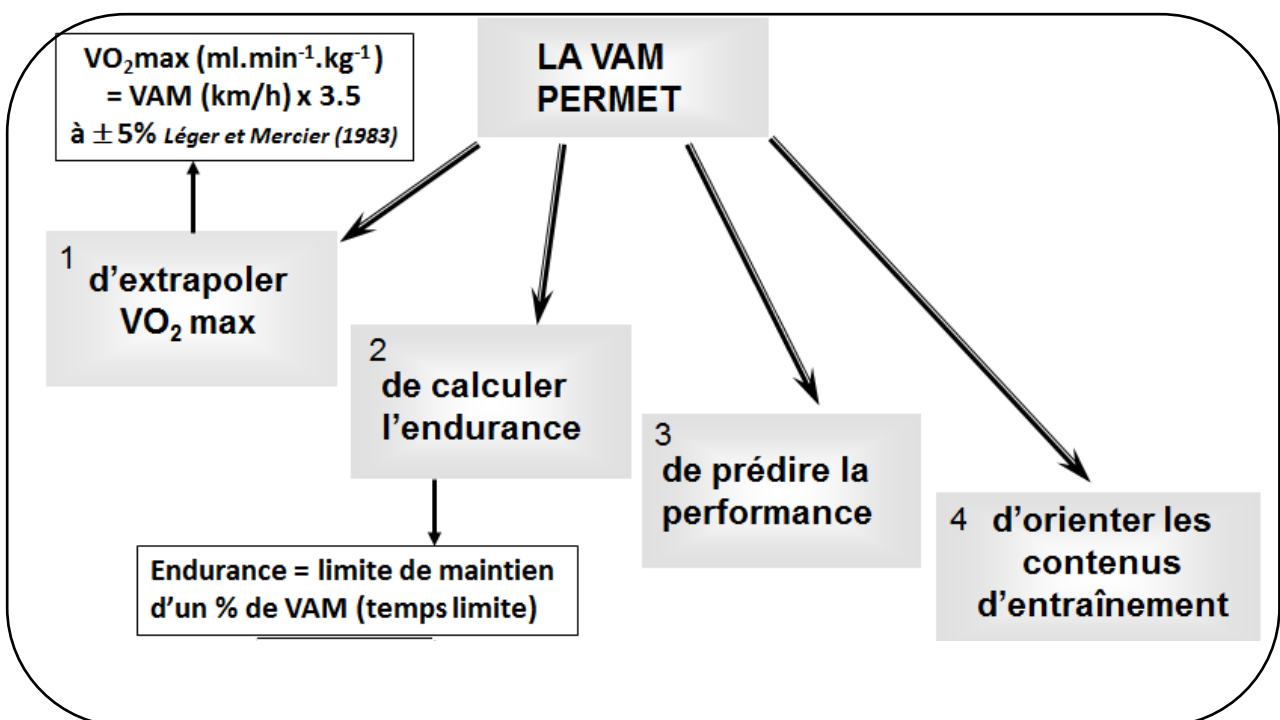


Figure 1 : Quatre des principaux secteurs dans lesquels est impliquée la vitesse aérobie maximale. Les 1 et 2 ont déjà fait l'objet d'une analyse dans un précédent document. Les 3 et 4, objets de la présente session, sont plus particulièrement en relation avec l'entraînement et la performance.

1- VAM ET EXTRAPOLATION DE VO₂MAX

Rappelons que La VAM ou Vitesse Aérobie Maximale est la vitesse atteinte à VO₂max. Dans ce texte elle correspond à la vitesse de course linéaire, continue obtenue à l'issue d'un test triangulaire.

Elle-même résulte de l'interaction de VO₂max et de l'économie de locomotion (figure 2).

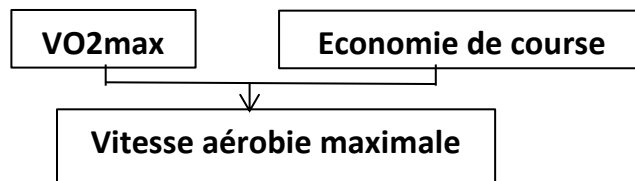


Figure 2 : Interaction des deux facteurs dont dépend la VAM

L'augmentation de la vitesse de course entraîne une augmentation proportionnelle de la dépense d'énergie. Celle-ci peut être calculée en kilocalories (kcal) ou en kilojoules (kJ) (tableau 1). Leurs valeurs augmentent linéairement selon une relation plusieurs fois étudiée tant sur tapis roulant que sur piste.

Tableau 1 : Coûts énergétiques par kilogramme de poids pour parcourir un kilomètre de course en fonction de différentes vitesses (d'après Péronnet et al. 1991). Rappelons qu'en moyenne 5 kcal équivalent approximativement à un litre d'oxygène.

Vitesse (km/h)		Vitesse (km/h)		kcal/kg/km		kJ/kg/km
12,0	à	12,6	=	1,026	=	4,3092
12,7	à	13,2	=	1,026	=	4,3092
13,3	à	13,8	=	1,027	=	4,3134
13,9	à	14,4	=	1,027	=	4,3134
14,5	à	15,0	=	1,028	=	4,3176
15,1	à	15,6	=	1,029	=	4,3218
15,7	à	16,2	=	1,031	=	4,3302
16,3	à	16,8	=	1,032	=	4,3344
16,9	à	17,4	=	1,034	=	4,3428
17,5	à	18,0	=	1,036	=	4,3512
18,1	à	18,6	=	1,038	=	4,3596
18,7	à	19,2	=	1,040	=	4,3680
19,3	à	19,8	=	1,043	=	4,3806
19,9	à	20,4	=	1,046	=	4,3932
20,5	à	21,0	=	1,049	=	4,4058
21,1	à	21,6	=	1,052	=	4,4184
21,7	à	22,2	=	1,055	=	4,4310
22,3	à	22,8	=	1,058	=	4,4436
22,9	à	23,4	=	1,062	=	4,4604
23,5	à	24,0	=	1,065	=	4,4730

A partir de la synthèse de quatorze études ayant chacune publié une régression calculée entre VO_2 et vitesse de course, Léger et Mercier (1983, 1984) ont extrapolé une équation moyenne relativement simple qui, connaissant la vitesse de course sur terrain, permet d'obtenir le VO_2 :

$$VO_2 \text{ (ml.min}^{-1}\text{.kg}^{-1}\text{)} = \text{vitesse (km.h}^{-1}\text{)} \times 3,5$$

Connaissant la vitesse aérobie maximale (VAM) il est donc possible d'extrapoler le VO_{2max} .

Par exemple, pour une personne ayant obtenu une VAM de 18 km.h⁻¹, son VO_{2max} serait : $18 \times 3,5 = 63 \text{ ml.min}^{-1}\text{.kg}^{-1}$

Toutefois, comme la VAM résulte de l'interaction de VO_{2max} et de l'économie de locomotion, le VO_{2max} obtenu peut varier de $\pm 5\%$ selon la plus ou moins bonne économie de course de la personne évaluée.

2 VAM ET CALCUL DE L'ENDURANCE AEROBIE

Rappel : L'endurance aérobie est définie comme « *le pourcentage de VO_{2max} , de PAM ou de VAM susceptible d'être maintenu le plus longtemps possible* ». Sur le terrain, la connaissance de la VAM s'avère donc indispensable. A partir de la VAM initialement mesurée, plusieurs tests permettent d'évaluer l'endurance.

Nous en retiendrons quatre : Le temps ou la durée limite maintenue à un pourcentage donné de la VAM, la durée limite maintenue à cent pour cent de la VAM : VAM^{100} , l'Indice d'endurance aérobie (IEA) de Cazorla et al. (2005) et l'Indice d'endurance (IE) de Péronnet et Thibaut (1991).

2-1 Le temps limite

Le temps limite est la durée maximum qui peut être maintenue à un pourcentage donné de VO_{2max} ou de VAM. Chaque performance de course correspond à un pourcentage de VAM.

Pour les coureurs, sur le terrain, son évaluation nécessite :

- 1- De connaître la VAM
- 2- De définir les pourcentages souhaités,
- 3- De disposer d'un émetteur de signaux sonores selon les intervalles préalablement définis autour d'une piste (cf le géné-bip ci-dessous).
- 4- De placer à intervalles choisis, généralement tous les vingt mètres, des bornes repères autour d'une piste.
- 5- De chronométrer la durée maintenue à chacun des pourcentages de VAM couru.
- 6- De tracer la courbe individuelle des temps limites (figures 3 et 4).



Génébip

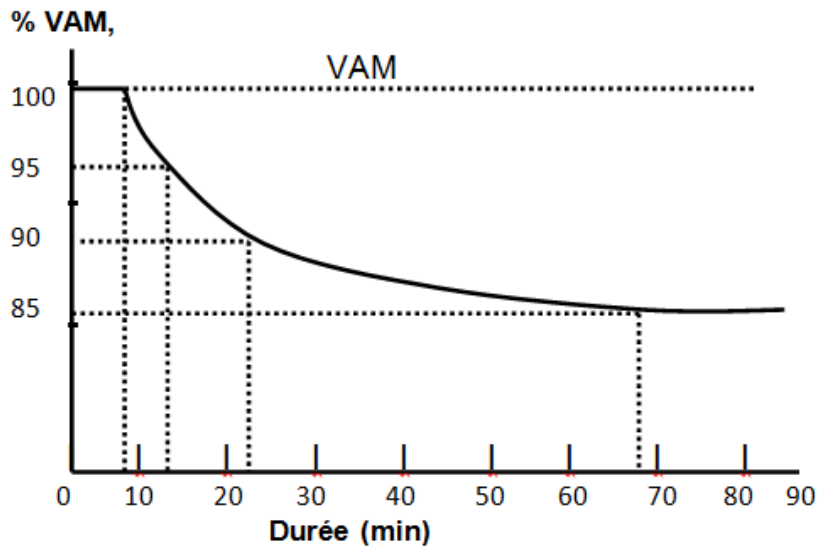


Figure 3 : Exemple du tracé de la courbe des temps limite en fonction des pourcentages de la VAM.

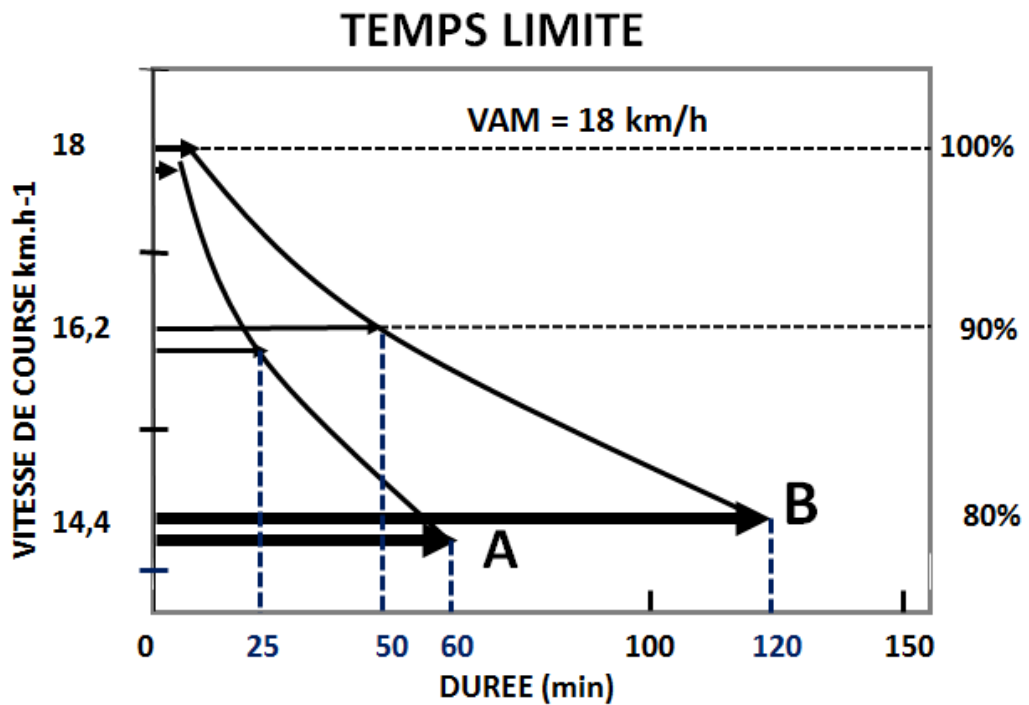


Figure 4 : Exemples de deux sujets A et B ayant la même VAM mais présentant d'importantes différences d'endurance évaluées par le temps limites à des intensités infra-maximales.

REMARQUE

Le temps limite...une autre façon d'évaluer la capacité maximale du sportif !

Le temps limite est évalué à partir d'une intensité correspondant à un pourcentage de VAM. Cette intensité étant le plus souvent inférieure à la VAM, on pourrait penser que le test ainsi généré est infra-maximal alors que, comme précisément il est maintenu pendant une durée maximale, il est obligatoirement maximal pour cette durée. Ce test peut donc être défini comme test d'évaluation de l'endurance maximale.

Une deuxième incidence du temps limite se situe au niveau de l'entraînement. Supposons deux sujets A et B (figure 20) ayant la même VAM mais des temps limites différents. Malgré des VAM identiques, à des mêmes pourcentages de VAM chacun d'eux ne pourra maintenir dans ses entraînement que des durées inférieures ou égales à son propre temps limite. Par exemple, à 90% de la VAM le sujet A ne pourra envisager que des durées inférieures ou égales à 25 minutes alors qu'une durée double sera possible pour le sujet B.

Outre la VAM, la connaissance du temps limite à différentes intensités s'avère donc indispensable pour ajuster la durée à l'intensité des contenus de l'entraînement, notamment de celui des coureurs de longues distances.

Temps limite à VAM¹⁰⁰

L'évaluation de l'endurance aérobie au moyen de plusieurs temps limites correspondant à différents pourcentages de VAM est une opération très instructive mais difficile et longue à mettre en place. D'autres types d'évaluations moins instructives mais plus accessibles lui sont actuellement substituées. Parmi elles, se situe celle utilisant la durée limite maintenue à 100% de la VAM. Dans ce cas on désigne cette technique sous le nom de VAM¹⁰⁰.

Pour mesurer l'endurance aérobie à partir de cette technique, nous avons enregistré de 0,5 en 0,5 km.h⁻¹ toutes les vitesses allant de 15 à 25 km.h⁻¹ et ce, pendant des durée de 15 minutes chacune. Comme pour les tests eux-mêmes ces vitesses sont obtenues au moyen de repères sonores correspondant au passage devant des bornes placées tous les 20m autour de la piste.

Se posent alors deux problèmes, celui d'avoir l'assurance que la VAM a bien été atteinte et celui du test avec lequel a été obtenue cette VAM.

Expérimentalement, quatre critères permettent d'assurer d'avoir atteint la VAM. Un premier critère objectif, le coureur ne peut plus augmenter sa vitesse et s'arrête épuisé. Trois autres critères physiologiques le confirment : l'inflexion de la courbe de la fréquence cardiaque vers 90% de la VAM, une concentration de lactate de 10 à 12 mMol.l⁻¹, et un quotient respiratoire (VCO₂/VO₂) égal ou supérieur à 1,1 lorsque les gaz expirés sont mesurés. Le test VAMEVAL répond à tous ces critères.

Comme il existe une légère différence entre les VAM atteintes au test de l'Université de Montréal (Léger et Boucher, 1980) et au test VAMEVAL (+ 0,3 km.h⁻¹ en faveur du test VAMEVAL), les normes de référence obtenues avec chacun de ces deux tests montrent quelques différences (Tableaux 2 et 3)

Durée limite à partir d'une épreuve unique : VAM¹⁰⁰

Tableaux 2 et 3 : Normes obtenues à partir de la VAM¹⁰⁰ respectivement avec le test de l'Université de Montréal (Léger et Boucher, 1980) : tableau du haut, et avec le test VAMEVAL* : tableau du bas. Les durées limites sont moins élevées avec ce dernier dont les VAM sont sensiblement supérieures (0,3km.h⁻¹) à celles obtenues avec le test de l'Université de Montréal.

Tableau 2 : ENDURANCE AEROBIE AVEC LE TEST DE LEGER ET BOUCHER				
Très élevée	Elevée	Moyenne	Faible	Très faible
> 15 min.	9 – 11 min.	6 – 8 min.	4 - 5 min.	< 4 min.

Tableau 3 : ENDURANCE AEROBIE AVEC LE TEST VAMEVAL				
Très élevée	Elevée	Moyenne	Faible	Très faible
> 11 min.	7 – 10 min.	5 – 6 min.	3 - 4 min.	< 3 min.

*Des enregistrements de 15 minutes chacun de bips sonores pour des intervalles de 20 m sont mis à disposition par l'AREAPS pour des VAM allant de 15 à 25 km.h⁻¹ et de 0,5 en 0,5 km.h⁻¹.

2-2 L'Indice d'Endurance Aérobic : IEA (Cazorla, Boussaïdi, Carré ; 2005)

Pour obtenir l'IEA, il suffit de mesurer la VAM, puis une performance de longue durée comme par exemple, la plus grande distance parcourue en 12, 15, 20 ou 30 minutes.

L'IEA est le rapport : (vitesse moyenne tenue pendant la durée choisie / VAM) x 100.

Une autre façon d'obtenir l'IEA qui aboutit au même résultat est de calculer la distance théorique qui serait parcourue à la VAM, la diviser par la distance réellement parcourue et multiplier ce rapport par cent :

$$IEA = (Distance réellement parcourue / distance théorique parcourue à VAM) \times 100$$

Plus l'IEA tend vers 100, meilleure est l'endurance dont l'évolution peut être suivie tout le long d'une saison sportive...à la condition d'avoir utilisé dès le départ une VAM stable et toujours la même durée de course !

2-3 L'indice d'Endurance (IE) de Péronnet et Thibaut

Comme l'indique la figure 5, le pourcentage de VAM maintenu diminue avec le temps de course de façon curvilinéaire. Si le temps est porté en abscisse sur une échelle logarithmique, de curvilinéaire la fonction de cette courbe devient linéaire avec une pente négative puisque les pourcentages deviennent moindres (figure 6).

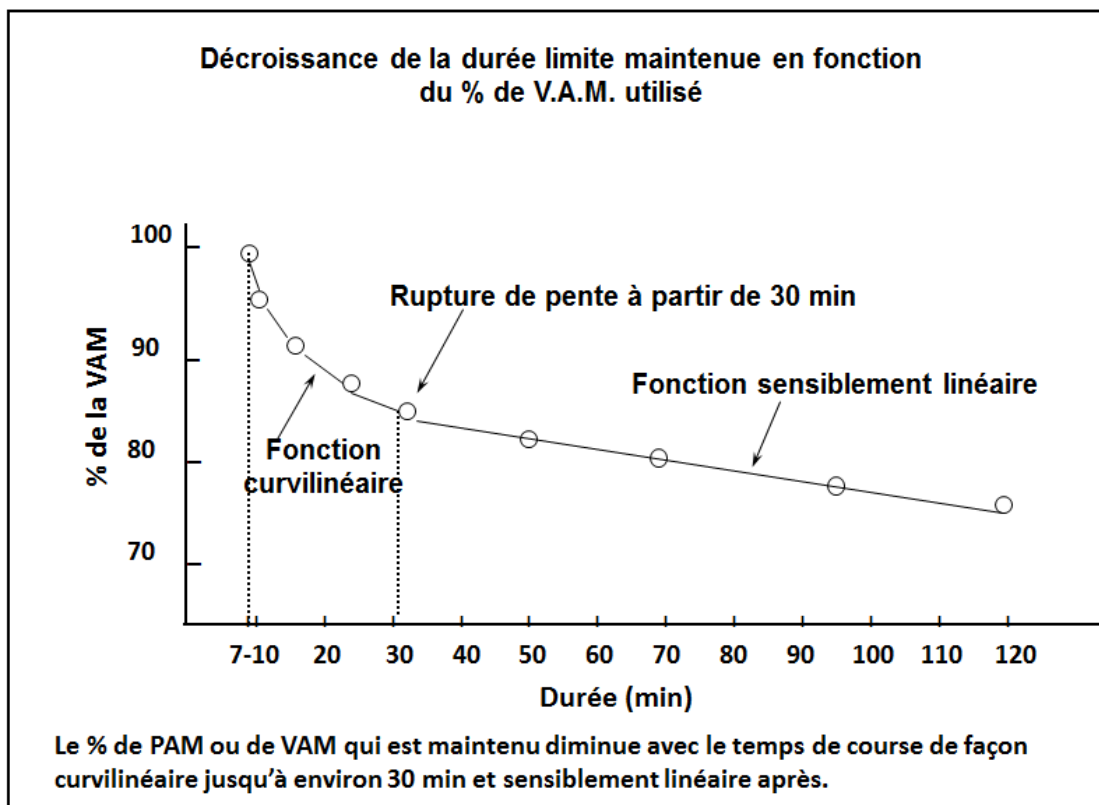


Figure 5 : Le pourcentage de PAM ou de VAM peut être maintenu à son maximum durant sept minutes par un sportif moyennement endurant (Péronnet et al. 1991). En fonction de la durée il décroîtrait ensuite de façon curvilinéaire jusqu'à environ 30 minutes et sensiblement linéaire après.

Dans ce modèle, l'Indice d'Endurance (IE) peut être calculé à partir de la pente de la droite de décroissance obtenue selon l'équation : $IE = (100 - \% VAM) / (\ln 7 - \ln t)$

Dans cette équation, $\ln 7$ est le logarithme naturel de 7 minutes (= 1,946), 7 étant la durée limite moyenne (théorique d'après Péronnet) de maintien de la VAM et $\ln t$, t étant la durée d'une performance quelconque de longue durée exprimée en minute.

L'approche de Péronnet et Thibault (1984)

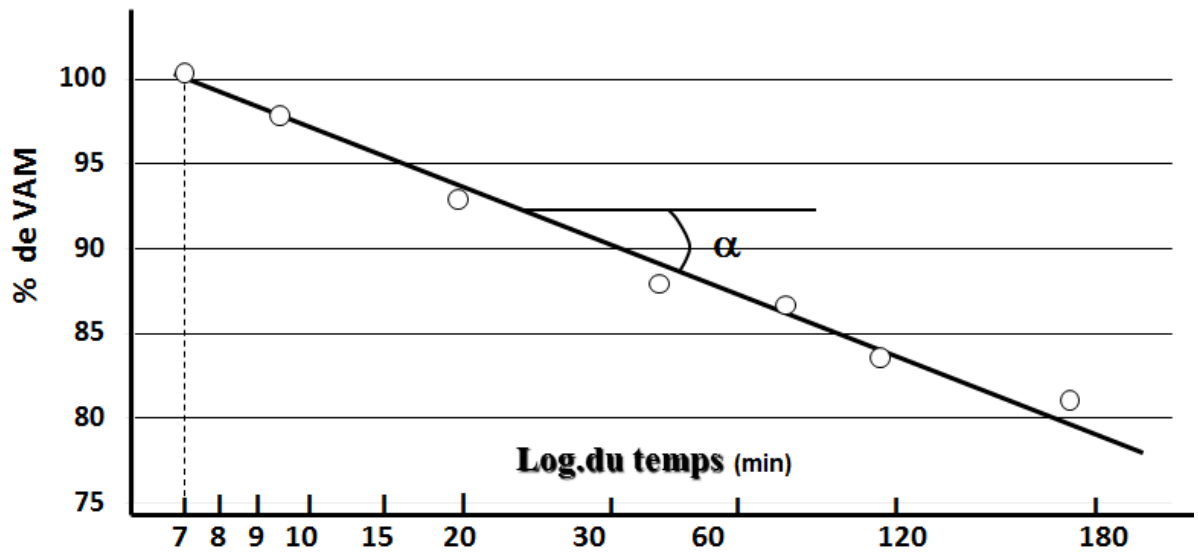


Figure 6 : Le pourcentage de VAM qui est maintenu par un coureur diminue avec le temps de course de façon linéaire si le temps est porté en abscisse sur une échelle logarithmique. Les temps indiqués en valeur logarithmique peuvent être des performances obtenues en compétitions.

Plus la pente de décroissance (exprimée en conséquence par un nombre négatif) est faible, meilleure est l'endurance. Une échelle d'appréciation du niveau d'endurance a été proposée par les auteurs (tableau 4 : Péronnet et Thibault, 1987).

EXEMPLE DU CALCUL DE L'INDICE D'ENDURANCE (IE)

Partons de l'équation de calcul de l'IE :

$$IE = (100 - \% \text{ VAM}) / (\ln 7 - \ln t)$$

Prenons l'exemple d'un coureur dont la VAM est 21 km.h^{-1} et dont la performance au marathon est $2\text{h}25\text{min}$ (soit 145min.) ce qui représente une vitesse moyenne de $17,46 \text{ km.h}^{-1}$.

Cette vitesse moyenne correspond donc à $83,1\%$ de VAM. $\ln 7$ étant égal à $1,946$, il ne nous reste plus à calculer que le logarithme du temps « t » de la performance 145 min. Notre calculatrice nous donne $4,977$.

L'équation s'écrit alors : $IE = (100 - 83,1) / (1,946 - 4,977) = -5,58$ ce qui signifie que ce coureur a une endurance aérobie « très élevée » (tableau 4)

Tableau 4 : Echelle d'appréciation du niveau d'endurance à partir du calcul de l'IE représenté par l'angle de la pente de décroissance

Endurance	Très élevée	Elevée	Moyenne	Faible	Très faible
Indice d'endurance	- 4 - 5	- 6 - 7	- 8 - 9	- 10 -11	- 12

A partir de la connaissance du VO₂max et du pourcentage de VO₂max maintenu pendant deux heures de course d'un vaste échantillon de coureurs et coureuses sur route Péronnet et Thibault (1987), ont calculé leurs indices d'endurance (IE) qui peuvent servir de normes (tableau 5)

Tableau 5 : VO₂max, Indice d'endurance moyen (IE) selon Péronnet et Thibault (1987), et pourcentage de VO₂max maintenu pendant deux heures à partir d'un vaste échantillon de coureurs et de coureuses sur route (n= 2464) de niveau amateur.

HOMMES				FEMMES		
Âge	VO ₂ max (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	IE	% VO ₂ max pendant 2 heures	VO ₂ max (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	IE	% VO ₂ max pendant 2 heures
Moins de 19 ans	64	-7,1	79,8	57	-7,3	79,3
De 20 à 29 ans	67	-7,1	79,8	60	-7,2	79,5
De 30 à 39 ans	61	-7,7	78,1	56	-7,6	78,4
De 40 à 49 ans	58	-7,9	77,6	50	-8,1	77,0
De 50 à 59 ans	56	-8,1	77,0	47	-7,8	77,8
Plus de 60 ans	53	-8,4	76,1			

3- VAM ET PREDICTION DE LA PERFORMANCE DE COURSE

Outre l'extrapolation de VO₂max et l'évaluation de l'endurance aérobie, la connaissance de la VAM peut aussi permettre de « prédire » avec une assez bonne précision les performances susceptibles d'être atteintes en course (tableau 6) si, bien-sûr l'entraînement a été correctement conduit pour spécifiquement développer les trois dimensions de l'aptitude aérobie : la puissance aérobie maximale, l'endurance aérobie requise par la performance visée et l'économie de locomotion.

Le tableau 6 réalisé à partir de régressions développées par Mercier et Léger (1986) peut constituer une formidable source de motivation. Connaissant la VAM, première colonne de gauche, ce tableau permet de déterminer le VO_2 max du sportif (deuxième colonne) ainsi que la performance qu'il est susceptible de réaliser sur une distance comprise entre 800 mètres et les 42,195 kilomètres du marathon (les onze autres colonnes).

Cependant, plus la distance est courte (800, 1000, 1500 mètres), plus la composante anaérobie intervient et peut modifier la précision de la prédiction. Si le sportif n'atteint pas les performances indiquées, c'est probablement que sa capacité à produire et à supporter de fortes concentrations de lactate et l'acidose induite n'est pas suffisamment bien développée.

A l'opposé, plus la distance est longue, 10, 15, 20, 30 kilomètres et marathon, plus interviennent l'économie de course (moindre dépense énergétique à une vitesse donnée : Sjodin B, Svedenhag 1985 ; Ouvrier-Bufferet 1988) et l'endurance aérobie (Sjodin B, Svedenhag 1985) dont la qualité de leur développement peut aussi expliquer des différences avec la performance indiquée.

Les distances intermédiaires 3000, 5000 mètres requièrent surtout une forte puissance aérobie maximale que l'entraînement devra développer à son maximum. C'est surtout sur ces distances que la « prédiction » de la performance s'avère la plus valide.

*Ainsi, dans un processus d'entraînement bien conduit, la performance potentielle peut devenir la performance à atteindre, voire à dépasser. Elle constitue alors l'objectif qu'entraîneur et sportif peuvent fixer et, en accord avec la métaphore habituellement attribuée à Sénèque : « **il n'y a point de vent favorable à celui qui ne sait où il va** » donne la direction pour savoir où aller et ainsi mieux conduire l'entraînement du sportif.*

Tableau 6 : Comment extrapoler le $VO_2\text{max}$ et prédire les performances de course susceptible d'être atteintes à partir de la connaissance de la vitesse aérobie maximale. Extrapolation et prédiction ne sont toutefois valables que pour les adultes (18 ans et plus).

VAM km.h ⁻¹	VO ₂ max ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹	TEMPS (h: min: s) selon différentes distances de course										
		800 m	1000 m	1500 m	2 km	3 km	5 km	10 km	15 km	20 km	30 km	42.195 km
9	31.5	4:50	6:28	11:27	16:19	26:22	47:07	2:02:00	3:12:59	4:27:00	9:11:57	16:35:05
10	35.0	4:18	5:43	9:56	14:04	22:38	40:10	1:38:53	2:35:25	3:34:03	6:44:38	11:13:52
11	38.5	3:52	5:08	8:46	12:22	19:50	35:02	1:23:08	2:10:06	2:58:38	5:19:24	8:29:26
12	42.0	3:31	4:39	7:51	11:02	17:39	31:04	1:11:43	1:51:52	2:33:52	4:33:16	6:49:30
13	45.5	3:14	4:16	7:07	9:58	15:54	27:54	1:03:03	1:38:07	2:14:13	3:44:43	5:42:21
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	10:38	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

4- VAM ET ORIENTATION DE L'ENTRAÎNEMENT

Plusieurs études : Thibaut et Mercier, 1981 ; Léger et al., 1985 ; Villaret, 1988 ; Montmayeur et Villaret, 1990 ont permis de préciser à quels pourcentages de VAM se couraient les différentes distances de compétitions.

Alors que l'estimation de la performance possible peut permettre de fixer des objectifs susceptibles d'être atteints après un entraînement spécifiquement adapté, les pourcentages de VAM auxquels sont atteintes les différentes performances entre le 400m et le marathon sont d'excellents indicateurs de contenus de séances d'entraînements spécifiques à prévoir en fonction des performances visées. (Tableau 7).

Tableau 7: 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 (n = nombre de sujets évalués)

Distances de compétition	% VAM Course sur piste	Corrélations VAM – Performance
400 m	145 à 155	r non calculé
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)

L'étude de ce tableau (tableau 7) met en évidence une corrélation qui augmente jusqu'aux distances de 3 000 et 5000 m courues entre 90 et 100 % de VAM et qui diminue ensuite.

Ceci peut traduire respectivement la complémentarité plus ou moins importante des métabolismes anaérobie et aérobie entre le 400 et le 2000 m et celle de la puissance et de l'endurance aérobie à mesure que la distance augmente au-delà de 5000 m.

D'une façon générale, la distance de compétition de 3000m 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. Pour plus de précision, le test VAM-EVAL est recommandé.

QUELQUES REGLES ET PRINCIPES DE L'ENTRAÎNEMENT

Un peu de physiologie pour mieux comprendre l'entraînement aérobie...

Nous savons que la capacité aérobie sollicite les grandes fonctions ventilatoires et cardiovasculaires pour extraire et transporter le dioxygène de l'environnement où il est puisé jusqu'aux mitochondries contenues dans les cellules musculaires.

Les mitochondries sont des organites décrits comme les « centrales énergétiques » des cellules. Grâce au dioxygène qui leur est délivré par la circulation sanguine, elles contribuent à l'essentiel de la production de l'Adénosine Triphosphate (ATP) cellulaire (molécule qui contient l'énergie) et ce à travers la β -oxydation* pour le métabolisme des graisses, le cycle de Krebs* et la chaîne respiratoire* dans le cadre de la phosphorylation oxydative* pour métaboliser les glucides, les lipides et les protides, transportés par le sang ou puiser directement dans le muscle. Activées par la présence de l'oxygène, ces opérations nécessitent de nombreuses étapes, chacune liée à une enzyme spécifique définie de ce fait comme enzyme* oxydative.

Lors d'exercices de longue durée, le « moteur musculaire » fonctionne donc grâce aux carburants dont il dispose et qu'il est en mesure d'utiliser. Ces carburants sont les glucides : glycogène et glucose ; les lipides : acides gras libres ; les protides : certains acides aminés, alors que son comburant est le dioxygène.

β -oxydation : est la principale voie métabolique de dégradation des molécules d'acides gras dans la mitochondrie qui, en présence de dioxygène rejoint le cycle de Krebs et la chaîne respiratoire pour donner l'énergie requise pour former les molécules d'ATP.

Cycle de Krebs : est une voie métabolique présente chez tous les organismes aérobies qui, à partir de la dégradation des glucides, des graisses et des protéines permet de récupérer leur énergie sous forme d'électrons à haut potentiel de transfert qui circulent ensuite à travers la chaîne respiratoire pour permettre la formation de molécules d'ATP

Chaîne respiratoire ou chaîne de transport d'électrons issus du cycle de Krebs qui, par étapes successives libèrent leur énergie pour former 36 molécules d'ATP et, in fine, en s'associant au dioxygène permettent de former des molécules d'eau H₂O, dites eau métabolique.

Phosphorylation oxydative est le processus permettant la phosphorylation de l'ADP en ATP (intégration d'un phosphate) grâce à l'énergie libérée par l'oxydation de donneurs d'électrons par la chaîne respiratoire.

Enzymes : Substances qui agissent pour orienter et accélérer les réactions biochimiques à l'origine des différents métabolismes intracellulaires.

La « cylindrée » de ce moteur dépend de la quantité de dioxygène qu'il peut utiliser par minute ($\dot{V}O_2$) donc, pas seulement de la quantité de dioxygène qui lui est « livré » par le système cardiovasculaire, mais aussi et surtout par sa capacité à en utiliser le pourcentage le plus élevé possible.

Cette capacité, définie comme ***pouvoir oxydatif musculaire***, est directement liée à la concentration en myoglobine que renferme chaque cellule musculaire et au nombre, à la taille des mitochondries et donc aux concentrations des enzymes oxydatives qui les équipent.

Les effets de l'entraînement aérobie

Les effets de l'entraînement se manifestent à deux niveaux : central et périphérique.

Au niveau central il améliore :

- la capacité ventilatoires : en augmentant la puissance et l'endurance des muscles ventilatoires, le nombre d'alvéoles fonctionnelles et le rapport ventilation /perfusion,
- et la capacité de transport de l'oxygène en augmentant le débit cardiaque, la capacité de vasodilatation des vaisseaux sanguins et la concentration sanguine en hémoglobine,

Au niveau périphérique :

- à la périphérie des muscles sollicités, l'entraînement induit une multiplication des capillaires (angiogenèse), augmentant ainsi la perfusion sanguine et donc la libération musculaire du dioxygène,
- dans le muscle, les effets les plus importants de l'entraînement aérobie est le développement du ***pouvoir oxydatif musculaire*** : augmentation de la concentration en myoglobine, du nombre et de la taille des mitochondries (dont certaines fusionnent) et donc des concentrations en enzymes oxydatives.

Lors d'exercices de plus en plus intenses, il en résulte de plus grandes quantités de dioxygène délivrées aux muscles qui ont la capacité d'en utiliser un pourcentage de plus en plus élevé et donc de synthétiser une plus grande quantité d'ATP dédiée au travail musculaire.

L'importance de la quantité d'O₂ consommé est donc directement dépendante du ***pouvoir oxydatif musculaire***

Un autre aspect très important pour les exercices et courses d'endurance, est l'augmentation des réserves en glycogène qui permet de performer plus longtemps à

des intensités élevées mais aussi l'amélioration du rendement la β -oxydation ce qui permet d'utiliser les graisses à des intensités de plus en plus importantes, entraînant ainsi une épargne du glycogène dont les réserves musculaires sont plus limitées.

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 après ou entre deux et plusieurs exercices intenses,
- Supporter des charges importantes d'entraînement,
- Mieux réussir en compétitions de longue durée.

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

Le développement de la PAM ou de la VAM tente d'élever le potentiel individuel au niveau de son « plafond génétique ». Celui de l'EA cherche à maintenir pendant les plus longues durées possibles un pourcentage d'intensité proche de celle obtenue à VO_2max . Il est évident qu'entre deux individus, à pourcentage égal (60, 70, 80 % de VO_2max) c'est celui qui bénéficiera du « plafond génétique » le plus élevé, qui présentera la meilleure performance à son EA. Par contre un individu peut pallier une PAM ou une VAM relativement modeste par un très bon développement de son EA pour obtenir des performances de longue durée identiques voire meilleures que celles d'un individu disposant d'une PAM ou d'une VAM plus élevée.

Selon les motivations et surtout selon les personnes à entraîner (tableau 8), 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 revêt 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 (tableau 24).

Tableau 8 : Développement prioritaire de la puissance aérobie maximale (PAM) ou de l'endurance aérobie (EA) selon les objectifs des personnes à entraîner.

(+++): Absolument prioritaire, (++) : Important, (+) : Secondaire mais ne doit pas être négligé

<i>PRATICIENS</i>	<i>PERSONNES CONCERNEES</i>	<i>OBJECTIFS</i>	
<i>Instituteurs, Enseignants EPS, Educateurs sportifs</i>	<i>Enfants, adolescents</i>	<i>EA +++</i>	<i>PAM ++</i>
<i>Animateurs, Médecins</i>	<i>Adultes non compétiteurs</i>	<i>EA +++</i>	<i>PAM +</i>
<i>Entraîneurs, Préparateurs physiques</i>	<i>Coueurs 800-1500m et nageurs 200-400m</i>	<i>EA ++</i>	<i>PAM +++</i>
	<i>Joueurs de sports collectifs, tennismen</i>	<i>EA +</i>	<i>PAM +++</i>
	<i>Coueurs 3000-5000m et nageurs 800-1500m</i>	<i>EA +++</i>	<i>PAM ++</i>

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

Pour bien s'en souvenir, ces principes peuvent être résumés par l'acronyme « **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 œuvre.

La Fréquence

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. La fréquence des séances dépend elle-même de l'intensité et de la durée de leurs contenus. Si l'intensité

se situe entre 75% et 85% de la VAM et est maintenue plus d'une heure trente, même chez le sportif très entraîné aux épreuves d'endurance, leur réserve en glycogène des muscles sollicités sera probablement presque totalement épuisée.

Nous savons que la durée nécessaire pour reconstituer les réserves en glycogène se situe entre 24 et 48h en fonction du niveau d'entraînement et de l'apport en glucide de la personne considérée. La cinétique de cette reconstitution (figure 7) montre deux phases, une rapide durant quatre à cinq heures après l'arrêt de l'exercice, période la plus favorable aux apports glucidiques à assimilation rapide, et une phase plus longue plus favorable aux apports glucidiques à assimilation plus lente. A l'issue de cette deuxième phase, selon une hypothèse (Matveiev, 1977), pourrait s'observer une sensible augmentation du niveau des réserves initiales pré exercices définie par l'auteur comme « surcompensation ».

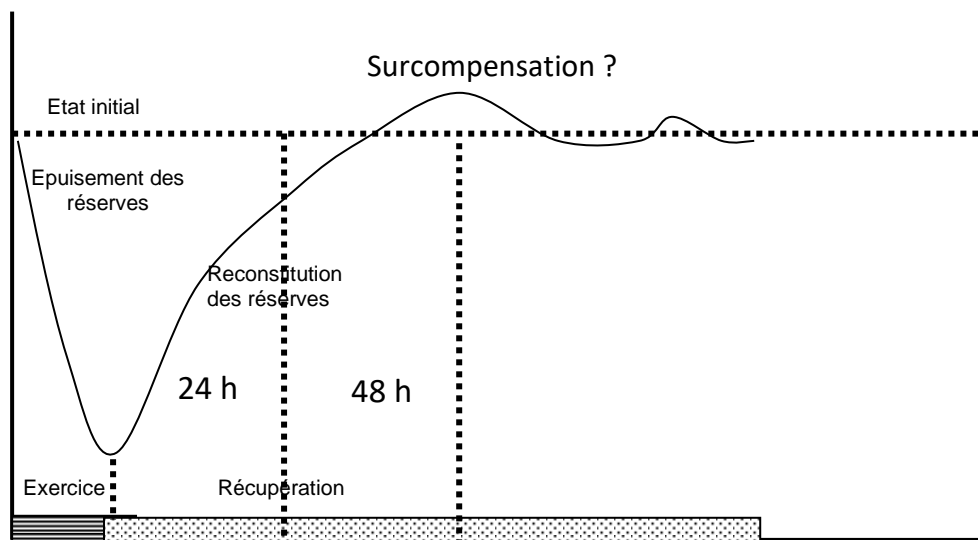


Figure 7 : *Modèle théorique proposé par Matveiev (1977). Phénomène de surcompensation après un exercice entraînant une fatigue aiguë.*

Ceci signifie que deux séances de ce type qui épuisent les réserves initiales en glycogène devraient être organisées à environ 48 heures l'une de l'autre. Ce délai est cependant très individuel et dépend de la qualité du métabolisme du sujet, de son niveau d'entraînement et des apports en glucides dans son alimentation. Ne prévoir donc au maximum que trois à quatre séances de ce type par semaine. Dans la mesure où chaque séance suivante peut être organisée au moment de la surcompensation, il serait possible d'obtenir des surcompensations cumulées de plus en plus importantes (Matveiev, 1977 ; figure 8).

Les autres séances dans une semaine peuvent très bien être consacrées au

développement de la préparation physique générale (PPG), plus particulièrement au renforcement musculaire, aux étirements, au développement de l'élasticité musculaire dont on sait qu'elle contribue à l'économie de la foulée, ou encore à des séquences beaucoup plus courtes et plus intenses donc grandes consommatrices de glycogène, dédiées au développement de la puissance aérobie maximale, ou enfin à des séances plus longues de moindre intensité, grandes utilisatrices d'acides gras libres.

Pour développer la puissance aérobie maximale, tout indique que six séances d'entraînements hebdomadaires de vingt à trente minutes chacune valent mieux que quatre de quarante-cinq minutes, que trois d'une heure, que deux d'une heure trente ou qu'une de deux heures.

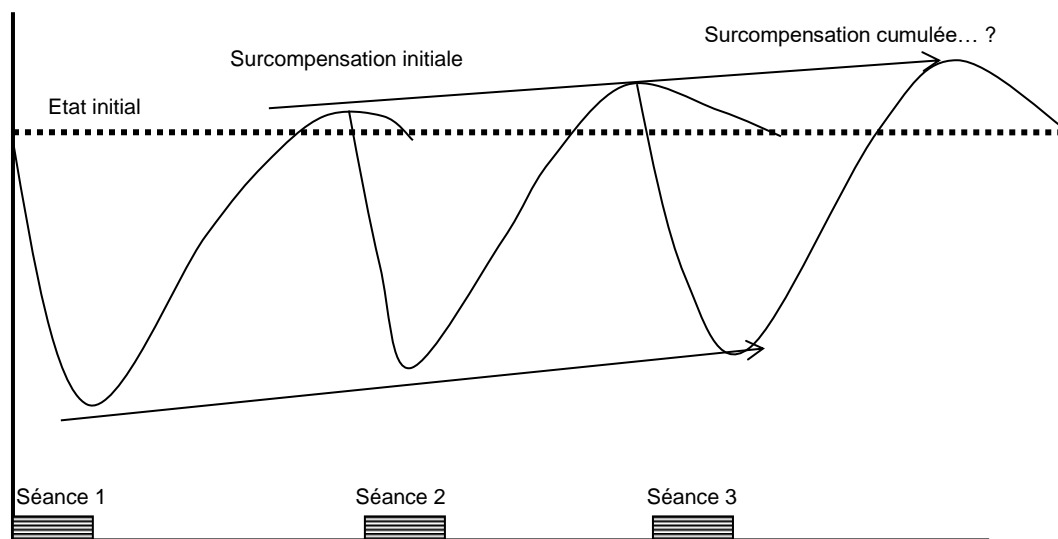


Figure 8 : Modèle théorique proposé par Matveïv (1977). Effet hypothétique de sommation de la surcompensation à partir de trois séances d'entraînement d'une heure à 80-85% de VAM judicieusement placées dans un microcycle (D'après Matveïv)

Une autre façon d'envisager les effets cumulés de séances intenses d'entraînement, est de les rapprocher dans le temps (figure 9) de façon à placer la seconde et la troisième au cours de la phase de récupération de la précédente ce qui, selon Matveïv permettrait d'obtenir une « super surcompensation », c'est-à-dire une augmentation extrémisée de la réserve en glycogène et aboutir ainsi à de meilleures performances si celles-ci se fondent sur l'utilisation prioritaire du glycogène.

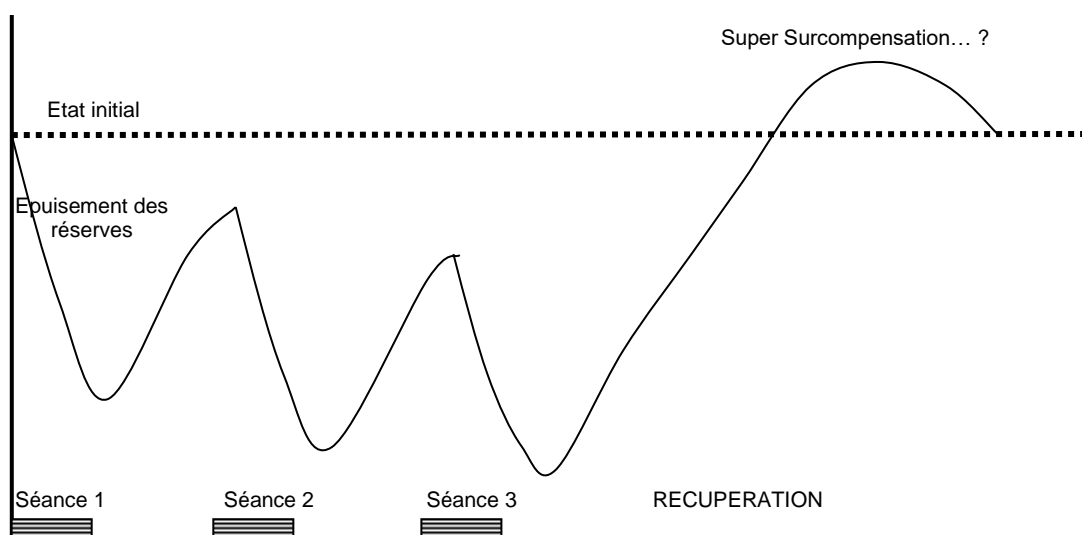


Figure 9 : *Modèle théorique proposé par Matveiev (1977). Effet hypothétique de la sommation de trois séances épuisantes rapprochées suivies d'une importante période de récupération. Selon cet agencement, d'après Matveiev une surcompensation plus forte serait obtenue.*

Les phénomènes d'épuisement et de reconstitution des réserves énergétiques et ceux des limites d'activation des grandes fonctions sont à l'origine et expliquent très bien les fréquences à retenir aussi bien pour les exercices que pour les séries d'exercices, voire pour les séances d'entraînement consécutives.

D'une manière concrète, nous conseillons :

Pour les coureurs de fond, les marathoniens, les triathlètes, les cyclistes et autres spécialistes de disciplines de longue ou de très longue durée comme les ultra marathoniens, le développement extrémisé de l'endurance aérobie. Il s'avère capital. En fonction des ambitions de chacun, la fréquence optimale des séances hebdomadaires d'entraînement devrait se situer entre un minimum de quatre séances d'une heure trente à six à sept séances d'une heure.

Au cours de certaines périodes situées à au moins deux semaines d'une compétition importante, à la condition de bien gérer les récupérations, les apports énergétiques et nutritifs, deux séances quotidiennes d'une heure chacune peuvent être programmées durant un ou deux microcycles.

Suite à cette période d'augmentation du volume d'entraînement, peuvent être envisagées deux ou trois semaines consacrées à l'affutage : augmentation et meilleure maîtrise de la récupération, baisse de l'intensité moyenne, maintien d'une à deux séances hebdomadaires de forte intensité, hygiène de vie (sommeil, diététique, soins...) bien contrôlée...

Sachant que l'endurance *représente le pourcentage le plus élevé possible de la puissance aérobie maximale susceptible d'être maintenu pendant la plus longue durée possible*, au sein de chaque microcycle hebdomadaire, deux à trois séquences de vingt à trente minutes à placer au sein de trois séances réparties dans la semaine devront aussi être consacrées au développement de la puissance aérobie maximale (PAM).

Pour les coureurs de demi-fond : hebdomadairement, consacrer deux séances au développement de l'endurance (75 à 85% de VAM), deux séances au développement de la PMA (95 à 100% de VAM ou de PAM pour des exercices continus de 4 à 7min et à 110 à 130% de VAM pour des exercices intermittents courts de 15 à 20s x 30 à 40 avec des récupérations passives intermédiaires de R : 20 à 15s) et deux séances au développement de l'endurance spécifique requise par la performance visée (distance de compétition fractionnée représentant 100 à 102 % de la vitesse de la performance visée). Prévoir un travail de 20 à 30min de PPG (préparation physique généralisée) au cours de trois de ces quatre dernières séances. Quelles que soient les conditions d'entraînement, maintenir si possible ces pourcentages dans la planification de la semaine.

Pour les autres sportifs (joueurs de sports collectifs et de sports de raquettes, les judokas et autres sports de combat, et pour les autres sportifs dont la pratique nécessite de bonnes bases foncières mais aussi une bonne puissance aérobie maximale), il est plus judicieux d'envisager l'entretien de la capacité aérobie dans l'intersaison à raison d'une séance consacrée à l'endurance et l'autre, à la fois à l'endurance et à la PAM. Notons que la pratique ludique d'autres activités physiques que celle pratiquée dans la saison sportive peuvent figurer au menu de la seconde séance.

Ensuite, à la reprise de l'entraînement, une période de six à huit semaines s'avère indispensable pour le développement optimal de la capacité aérobie. Huit semaines si celle-ci n'a fait l'objet d'aucun entraînement au cours de l'intersaison. Six semaines dans le cas contraire.

Au cours de cette période, trois séances hebdomadaires de vingt à trente minutes chacune constituent le minimum requis. Selon le cas, les deux ou trois premières semaines doivent surtout être orientées vers le développement de l'endurance aérobie en passant progressivement de 70% à 75% de la VAM, puis les deux ou trois semaines suivantes au développement mixte endurance-puissance aérobie maximale en utilisant par exemple le fartlek. Les deux ou trois semaines

suivantes devront surtout être consacrées au développement de la puissance aérobie maximale en utilisant toutes les formes d'entraînement par intervalles (tableaux 43, 44, 45).

Ensuite, au cours de la saison sportive, il est conseillé de maintenir les acquis en alternant au sein de deux séances hebdomadaires d'entraînement les exercices d'endurance et de puissance aérobie maximale qui peuvent très bien être intégrés aux spécificités techniques de la discipline sportive.

Pour les personnes non compétitrices, dans le cadre de leur santé et du développement de leur condition physique, au moins deux séances hebdomadaires de 20 à 30min minimum chacune devraient être consacrées à l'amélioration de leur endurance aérobie : intensité à maintenir entre 60 et 70% de leur VAM ou, à maintenir à une fréquence cardiaque située entre les deux extrémités de la zone cible à repérer sur la figure 9, en fonction de leur âge, et du moment du programme d'entraînement.

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.

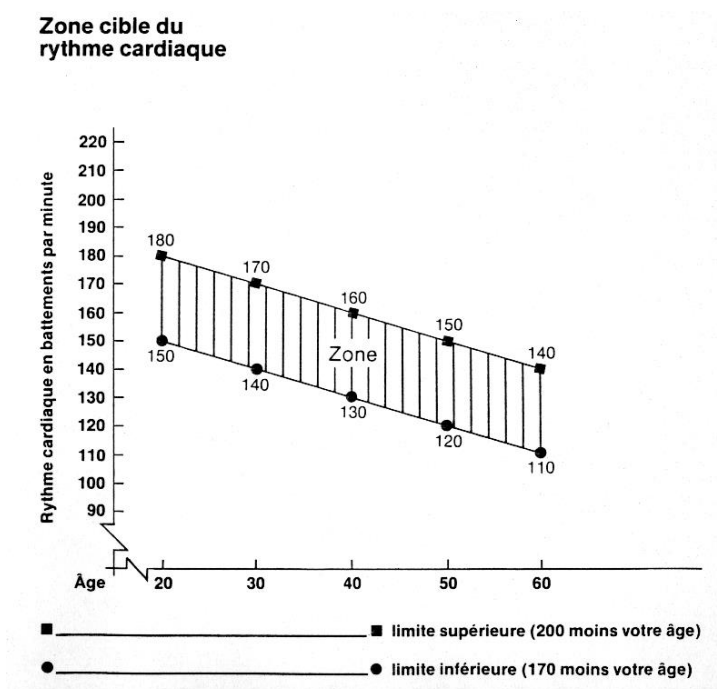


Figure 9 : Zones cible des fréquences cardiaques (FC) à maintenir au cours d'entraînements en fonction de l'âge. La FC la plus basse est celle de début de programme d'entraînement. La FC supérieure est celle vers laquelle elle pourra tendre au cours de ce programme.

L'Assiduité

L'assiduité est la condition de base du développement et du maintien de toutes les qualités physiques et physiologiques comme l'endurance et de la puissance aérobie maximale.

Si six à huit semaines d'entraînement bien conduit sont nécessaires pour obtenir un développement optimal des capacités aérobies, deux semaines d'arrêt suffisent pour en perdre le bénéfice (figure 10).

Remarquons aussi que, si en général le développement des capacités aérobies est correctement envisagé durant les premières semaines de reprise de l'entraînement, il est souvent abandonné ensuite au profit du développement d'autres qualités. Cette manière de procéder n'est pas la meilleure car nous savons qu'un bon pouvoir oxydatif cellulaire est la condition, entre autres, d'une meilleure récupération entre deux ou plusieurs exercices intenses.

Afin de maintenir les acquis, il faudrait de façon transversale prévoir durant toute la saison et ce, quel que soit le sport, sinon deux séances hebdomadaires, du moins trois à quatre « espaces aérobies » de 15 à 20min chacun à inclure dans les autres séances.

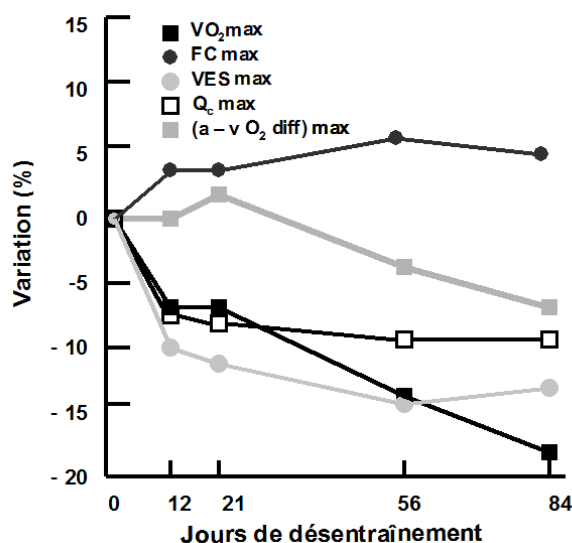


Figure 10 : Effets sur le système cardiovasculaire de transport et de l'utilisation de l'oxygène de plusieurs jours d'arrêt après une période d'entraînement. Les effets les plus immédiats et les plus importants obtenus dès les premiers 12 jours et continuent ensuite. VO₂max : consommation maximale d'oxygène ; FC max : fréquence cardiaque maximale ; VES max : volume d'éjection systolique maximale ; Q_c max débit cardiaque maximal ; (a-v O₂ diff) max : différence artérioveineuse d'extraction maximale de l'oxygène par les muscles actifs.

Des cas particuliers de force majeure d'arrêt de l'entraînement comme les maladies ou les blessures obligent cependant le sportif à mettre en œuvre d'autres stratégies. Par exemple, en cas de blessures, continuer à entraîner les parties du corps non

traumatisées comme le pédalage avec les membres supérieurs ou la nage avec les bras lorsque la lésion se situe au niveau des membres inférieurs et le contraire lorsqu'elle se situe au niveau des membres supérieurs ou de la partie haute du corps.

Enfin, au cours ou à la fin de la période dite de « réathlétisation » après blessure ou opération chirurgicale, envisager un cycle de reprise d'entraînement raccourci : développement au cours de la première semaine de l'endurance aérobie, la semaine suivante développement mixte endurance-puissance aérobie maximale et la troisième semaine développement de la puissance aérobie maximale

L'Intensité

L'intensité de l'exercice est le point le plus délicat à gérer. Elle dépend bien-sûr des capacités individuelles qu'il convient de bien connaître préalablement, d'où la nécessité de toujours débiter un programme d'entraînement ou une année sportive par une séance d'évaluation, ensuite contrôler périodiquement et, au besoin, réajuster les intensités de travail en pourcentages de la nouvelle VAM et de la FCmax à partir des nouveaux résultats d'évaluation.

Lorsque ni la connaissance de la VAM ni l'utilisation de d'un CFM ne sont possibles, il est encore possible de se référer au ressenti sur une des échelles d'appréciation de l'intensité : l'échelles de Borg (Tableaux 9 et 10).

L'intensité de l'exercice dépend aussi de la performance visée (tableaux 41,). A partir de de la connaissance de la VAM, de nombreuses études permettent de bien cerner les intensités auxquelles il convient de s'entraîner pour habituer l'organisme aux stress physiologique de la compétition.

Concernant la capacité aérobie, 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 relativement modestes (environ à 65% à 70% de la VAM), maintenues le plus longtemps possible (trente minutes à une heure trente).

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

Ensuite, après une à deux semaines, il est nécessaire d'augmenter chaque semaine

l'intensité des séances (par exemple de 1 à 2% de la VAM toutes les deux séances) pendant les deux ou trois semaines suivantes avant d'aborder de façon alternative les premiers développements de la puissance aérobie maximale. Réalisés à intensité plus élevée, ces exercices devront être de durée plus courte. 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 répétée de nombreuses fois. Ce dernier 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).

Tableau 9 : Echelle de 6 à 20 d'appréciation psychologique de l'intensité de l'effort de Borg.

11 Facile : exercice aérobie d'échauffement ; 13-14 Moyennement difficile : exercice aérobie d'endurance ; 15-16 Difficile : Exercices mixtes endurance-puissance aérobie maximale ; 17-18 Très difficile : intensité proche, égale ou sensiblement supérieure à VO₂max ; 19-20 Extrêmement difficile, épuisant, exténuant : exercices d'intensité supra-maximale type 400m.

ECHELLE DE RESSENTI DE L'EFFORT DE BORG	
6	Aucun effort
7	Extrêmement facile
8	
9	Très facile
10	
11	Facile
12	
13	Moyennement difficile
14	
15	Difficile
16	
17	Très difficile
18	
19	Extrêmement difficile ou épuisant
20	Exténuant

Tableau 10 : Echelle d'appréciation psychologique et physiologique de l'intensité de l'effort selon les deux échelles de Borg : 1 à 10 et 6 à 20 associées aux % de la fréquence cardiaque maximale et à des exemples d'activités physiques.

Ech. Borg 6-20	Ech. Borg 1-10	% FC maximale	Perception	Activités	
6	0	50 - 60	Très, très facile	Repos Marche très lente	
7					
8	1		Très facile	Marche promenade	
9					
10	2	60 - 70	Facile	Jogging léger	
11					
12	3		70 - 80	Moyennement difficile	Jogging en aisance respiratoire
13					
14	4	80 - 90		Difficile	Course à la limite de l'essoufflement (marathon)
15	5				
16	6	90 - 95	Extrêmement difficile- épuisant	Intensité Maximale 3 à 5000m	
17	7				
18	8	95 - 100	Exténuant	Intensité Maximale et supra maximale 400, 800m	
19	9				
20	10				

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 par exemple entre deux saisons sportives, huit à dix semaines seront 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.

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

Commencer d'abord par évaluer les capacités physiologiques aérobies. Les deux épreuves permettant d'obtenir respectivement la VAM (VAMEVAL) et d'estimer l'endurance aérobie (VAM¹⁰⁰ par exemple) doivent figurer au menu des premières séances d'évaluation. Elles sont indispensables pour indiquer les vitesses ou/et les fréquences cardiaques à respecter pour conduire les séances d'entraînement qui suivront.

La Progressivité

Pour obtenir une réaction d'adaptation et une augmentation de son potentiel initial, l'organisme a besoin de stress. Concernant l'entraînement, le stress correspond à des charges (*) Ce sont la nature, la grandeur et l'orientation de ces charges qui déterminent les processus d'adaptation physiologique.

En début de saison ou d'un programme d'entraînement, afin d'éviter l'inadaptation organique résultant d'exercices inappropriés ou trop rapidement intenses, le volume et l'intensité des entraînements doivent être progressifs. L'augmentation progressive de la charge doit débiter par l'augmentation du volume (**) avant celle de l'intensité. Cette progression doit se faire du général au particulier, c'est à dire du développement de la condition physique générale à la condition physique spécifique requise par la performance.

() Une « charge » est constituée par un exercice ou/et une série d'exercices définis par leur durée, leur intensité, le nombre de leur répétitions, la durée et la nature des récupérations entre chacun d'eux dans le but d'augmenter l'adaptation à l'origine de l'amélioration de la performance. Lorsque cette charge est d'un niveau élevé, le concept vague de « surcharge » est aussi utilisé par les entraîneurs.*

*(**) Par « volume » les entraîneurs entendent l'importance des durées d'un exercice, d'une séance ou/et d'un microcycle d'entraînement. Généralement, le volume est synonyme de durée importante*

d'un exercice ou d'une séance réalisée à des intensités infra-maximales.

La progressivité sera ensuite poursuivie tout le long de la saison ou du programme d'entraînement ce qui permet d'éviter l'accoutumance de l'organisme et donc l'arrêt de l'amélioration. Elle pourra alors se traduire par une augmentation du volume, des intensités de travail et d'une diminution des durées de repos. Maîtriser la progressivité nécessite de savoir à quel niveau de départ se situe la personne ou le sportif, d'où la nécessité de commencer par l'évaluer non seulement dès le début de saison, mais aussi ou au début de chaque nouveau mésocycle.

Comme nous l'avons précédemment proposé, les valeurs références les plus utiles à enregistrer seront la VAM, les temps-limites, la fréquence cardiaque maximale, la relation FC-Vitesse...

Ces valeurs sont indispensables pour programmer et individualiser une progression lente mais bien adaptée tant en durée qu'en intensité de chacun des exercices des séances d'entraînement. La gestion des intensités requises dépend non seulement de l'évaluation préalable mais aussi d'évaluations répétées ensuite à périodes régulières ***L'évaluation doit donc être totalement incluse dans le processus d'entraînement.***

En appliquant les conditions requises pour le développement des capacités aérobies, nous proposons la chronologie suivante :

- ◆ Pendant la ou les deux premières semaines, commencer par le développement de l'endurance aérobie en utilisant d'abord des exercices continus de longue durée : supérieure à 20 min et d'intensité peu élevée : 65 à 70% de VAM (75 à 80% de FCmax ou 14 ou 4 sur une des deux échelles de Borg : tableau 10), puis ensuite des exercices par intervalles longs 10 à 15 min à intensité plus élevée : 70 à 75% de VAM.
- ◆ pendant les deux semaines suivantes alterner le travail d'endurance avec des exercices de fartlek qui développent à la fois l'endurance et la PMA.
- ◆ enfin, après trois à quatre semaines préparatoires, envisager l'alternance de séances d'endurance, de fartlek et d'exercices intermittents courts. Ensuite pendant toute la saison sportive, varier et alterner ces formes d'exercices.

L'Alternance.

Alternance exercices et récupérations.

Un des principes de la récupération au cours du travail aérobic est de maintenir à un niveau relativement élevé l'activité de la chaîne qui transporte l'oxygène. Deux solutions sont possibles, soit maintenir une activité de moindre intensité entre deux ou plusieurs exercices d'intensité élevée comme par exemple lors de courses à allures variées ou lors des courses en fartlek, soit prévoir des durées courtes de récupération (inférieures ou égales à une minute).

Par exemple prévoir des récupérations passives d'une minute entre des exercices par intervalles longs (4 à 15 min) ou des récupérations encore plus courtes (30s à 15s) pour des exercices intermittents courts (10 à 15s) de forte intensité (100 à 130% de VAM) et souvent répétés (20 à 40 fois) : confère le développement de ce type d'exercices dans le chapitre ultérieur « **Quelques procédés d'entraînement suggérés : Les exercices par intervalles courts** »

Vous pouvez télécharger et utiliser les tableaux de calculs Excel VAMEVAL proposés par l'AREAPS.

Alternance des séances, de microcycle d'entraînement et la récupération

Reprendre ici le chapitre explicatif précédent portant sur la fréquence et la répartition des séances au sein d'un microcycle d'entraînement ainsi que les figures 8 et 9.

En résumé, selon le niveau d'entraînement de la personne, prévoir entre 36 et 48 heures de récupération entre deux séances aérobies intenses susceptibles d'épuiser les réserves en glycogène (figure 11).

De même, prévoir un microcycle de récupération tous les trois, deux ou quatre microcycles. Au sein de ce microcycle, la récupération peut être envisagée en abaissant la durée et l'intensité de chaque séance d'entraînement et en augmentant les temps de récupération entre chaque exercice. Pour maintenir les acquis, une séance de forts volume et intensité devra être organisée au milieu du microcycle de récupération (figure 11).

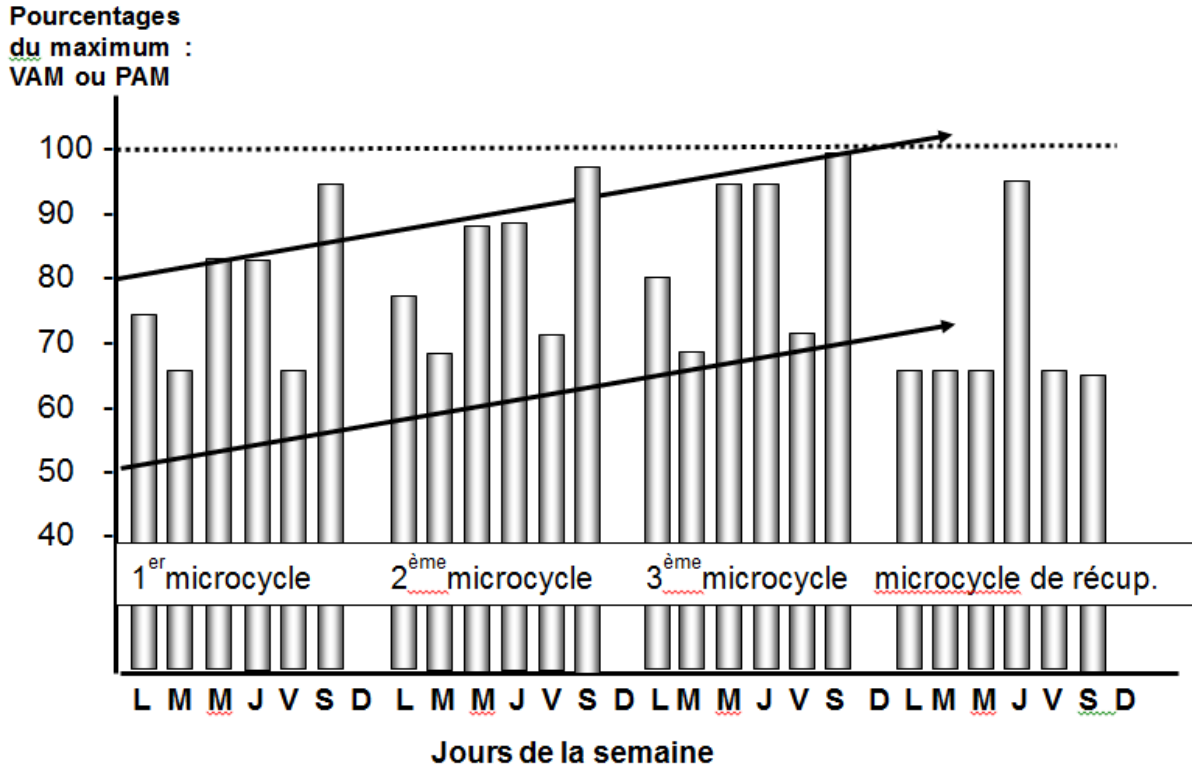


Figure 11 : Répartition des séances au sein d'un microcycle et des microcycles entre eux. Remarquons les progressions de l'intensité et le cycle de récupération tous les trois cycles

La Spécificité

La spécificité dépend des exigences de la performance visée mais aussi des capacités de l'individu. Après l'analyse de la tâche il est donc indispensable de mesurer au moins sa VAM afin d'individualiser les intensités des exercices les mieux adaptés. (tableaux 41, 44, 45, 46).

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.

Il est important de se souvenir que :

- Pour développer le $VO_2\max$ (ou 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. tableaux 41, 44, 45, 46).

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.

Tableau 11 : Caractéristiques des exercices les mieux adaptés pour développer l'endurance et la puissance aérobie maximale. Les deux chiffres indiqués chaque fois constituent les limites inférieures pour commencer et supérieures vers lesquelles doivent tendre les contenus d'entraînement en fin de programmation.

EXERCICE		RÉCUPÉRATION		IMPACTS PHYSIOLOGIQUES
Intensités	Durées	Nature	Durées	
70 à 75% VAM	20 min à	-	-	Endurance aérobie
65 à 70 % VAM + accélérations pendant 10 s toutes les 2 min de course	20 min à 1h	Active	1min 50s	Endurance aérobie + PAM
85 à 95% VAM	4 à 15min x n	Passive	1 min	PAM + Capacité Lactique
100 à 120% VAM	10 à 15 s x de 20 à 40 fois	Passive	30s à 15s	Puissance aérobie Maximale

CONCLUSION

Quelle que soit sa motivation, pour développer son endurance ou/et sa puissance aérobie maximale, l'enfant, l'adolescent, monsieur tout le monde ou le sportif de haut niveau dispose d'outils facilement accessibles pour orienter, planifier, contrôler, rationaliser les contenus de ses entraînements et en suivre les effets induits. 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 et Boucher, ou TUB₂*, ou mieux d'établir la *relation vitesse-fréquence cardiaque* au cours du test choisi et si possible ses temps limites à différents pourcentages de sa vitesse aérobie maximale. Avec la connaissance de ces critères et en utilisant les six principes du *F.A.I.T.P.A.S.*, la gestion du développement des deux composantes de sa capacité aérobie : l'endurance puis progressivement la puissance, deviennent d'une grande facilité.

3-QUELQUES PROCÉDÉS D'ENTRAÎNEMENT SUGGÉRÉS

Quels que soient les procédés d'entraînement utilisés, la connaissance de la VAM s'avère indispensable pour organiser et contrôler les charges utiles des exercices (tableau. La VAM constitue la référence pour en définir les intensités :

Infra-maximales : en dessous de $\dot{V}O_2$ max ou de la VAM

Maximales : à $VO_2\text{max}$ ou au niveau de la VAM

Supra-maximales : au-dessus de $\dot{V}O_2\text{max}$ ou de la VAM

Ces intensités s'expriment alors en pourcentages de $VO_2\text{max}$ ou de VAM

Les procédés, exercices ou courses se distinguent par leurs modalités : continues (sans récupération intermédiaire), par intervalles (intervalle-training) et fractionnés.

Les exercices continus (course, nage, cyclisme) consistent à parcourir des distances relativement importantes, souvent appelées pour cela « distances marathon » à des vitesses infra-maximales comprises entre 65 et 75 % de VAM. Ces intensités permettent un bon développement de l'endurance aérobie. Elles sont recommandées pour préparer le « terrain physiologiques » en début de reprise d'entraînement (intersaison ou début de saison du sportif) avant d'envisager des charges plus élevés.

Selon la terminologie nord-américaine, non sans humour, ce genre de course est appelé LSD de long slow distance ! (tableau 45)

Pour les coureurs de fond, les marathoniens, les ultra-marathoniens, les triathlètes et les ultra-triathlètes, les courses continues de longues distances constituent le pourcentage le plus élevé de leur entraînement.

Les pourcentages de VAM auxquels devraient correspondre ces courses se situent entre 60 % et 70% de VAM pour les ultra-marathoniens et ultra-triathlètes et 85 % et 90 % de VAM pour les coureurs de 10 000m (voir tableau 41)

Le fartlek. Provenant d'une appellation suédoise signifiant « jeu de vitesse », le fartlek peut être très variable dans ses contenus. Ceux-ci sont constitués d'exercices (ou courses) continus d'assez hautes intensités entrecoupés et par des intervalles à intensités plus modérées servant de récupération active.

Il est conseillé de l'utiliser aussi en reprise d'entraînement pour passer progressivement du développement de l'endurance aérobie à celui de la puissance aérobie maximale (ou VAM).

Ce procédé consiste à introduire des accélérations en cyclisme, en course au cours de la nage de longue durée. Les parts relatives de course, de nage ou de cyclisme rapides et lentes, dépendent du moment où l'entraînement a été repris et donc de l'état de forme des personnes auxquelles elles s'adressent.

Par exemple, au début de ce type d'entraînement, sur une distance fixe courue, nagée ou pédalée à une vitesse ou une intensité comprise entre 65 et 70 % de VAM ou de

PAM, réaliser n accélérations de 5 secondes à répartir au gré de la personne qui s'entraîne puis ajouter une accélération, puis deux, puis trois à chacune des séances suivantes jusqu'à atteindre la limite des capacités individuelles.

Outre le nombre des accélérations, augmenter progressivement aussi leurs durées : 5, 7, 9, 11 secondes en se limitant à 12 secondes.

Dans chaque accélération, maintenir une vitesse ou une intensité proche de la VAM ou de celle atteinte à VO₂max. A aucun moment les accélérations dont il est difficile de maîtriser les intensités requises ne doivent correspondre à des sprints ! Demander d'accélérer tout en conservant toujours l'impression de pouvoir aller plus vite.

Comme le fartlek est un jeu de vitesses, il peut être totalement réalisé individuellement « au ressenti » en conservant les principes proposés ci-dessus. Idéalement le chronomètre devrait être inutile. Seules les sensations personnelles et le plaisir pour décider individuellement des changements d'allure devraient prévaloir.

Cependant, envisagé dans le cadre d'un entraînement collectif, au cours du fartlek seuls les coups de sifflets de début et de fin de chaque accélération peuvent être donnés par un éducateur, un préparateur physique ou un entraîneur. Bien préciser aux entraînés que les accélérations ne doivent pas donner lieu à des compétitions !

Notons aussi que ce type d'entraînement peut se dérouler en pleine nature sur des parcours à reliefs présentant des montées et des descentes. Dans ce cas, la connaissance des pourcentages de VAM ou de PAM doit être remplacée par celle des fréquences cardiaques. Dans ce type de parcours d'entraînement à variations naturelles de l'intensité, les côtes remplacent les accélérations (figure 32)

L'entraînement par intervalles (Interval-Training)

Comme son nom l'indique, l'entraînement par intervalles est constitué d'exercices entrecoupés d'intervalles de récupération.

Au cours de cette récupération, deux options sont possibles :

- 1-maintenir une activité d'intensité légère définie comme récupération active pour éventuellement faciliter l'oxydation du lactate si ce dernier a été produit pendant le travail musculaire et aussi pour entretenir une sollicitation modérée du système cardiovasculaire,
- 2-ou demander un arrêt complet, défini comme récupération passive, pour permettre la reconstitution totale de la réserve en oxygène de l'organisme, ce qui demande entre 15 et 20 secondes et de façon partielle celle des réserves du complexe ATP/PCr

Grâce à la récupération, les intensités plus élevées (85 à 95% de VAM) de ce type d'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, voire très courts encore définis exercices intermittents courts ou très 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.



Figure 12 : On peut utiliser le terrain pour varier la charge de travail comme dans un entraînement en fartlek ou par intervalles naturels (d'après Stromme et Skard, 1981)

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 demeurent « 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 passive. 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).

Un seul exercice intense (110 à 120% de VAM) et de durée courte (10 à 15s) dépend surtout de la dégradation des phosphagènes (ATP-PCr). Lorsque ce type d'exercices est répétés, lors des premières répétitions, un laps de temps aussi court permet uniquement d'«enclencher » la mise en jeu accrue de la chaîne des transporteurs de dioxygène (diffusion alvéolo-capillaire, concentration en hémoglobine, débit cardiaque, recrutement capillaires périphériques, diffusion membranaire, myoglobine) dont le témoin : la fréquence cardiaque (FC), augmente rapidement à chaque répétition, diminue sensiblement lors de chacune des récupérations mais demeure à un niveau encore infra maximal.

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

A l'issue de 6 à 8 minutes de répétitions, alors que la chaîne des transporteurs de dioxygène et la FC atteignent leurs valeurs maximales et s'y maintiennent 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 du dioxygène 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.

Enfin, les intensités élevées requises par ce type d'exercice permettent de répondre dès début d'un programme d'entraînement au besoin de la compétition dans un certain nombre de sports comme par exemple la plupart des sports collectifs.

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.

Conseils pratiques pour mettre en place les exercices intermittents courts :

1. N'envisager cette forme d'exercices qu'à la suite d'une période consacrée au développement de l'endurance aérobie (3 à 4 semaines).
2. Commencer par des durées d'exercices courtes (10s), 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 : **130%** ; durée de récupération : **10s** ; nombre de répétitions maximum = **40**.

5. Alternner 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 33) :

a. Commencer par évaluer leur VAM.

b. Former des groupes homogènes de VAM

c. Calculer la distance à couvrir pendant par exemple, 15s à 110% des VAM respectives de chaque groupe. (Pour ces calculs, vous pouvez utiliser le tableur Excel téléchargeable par les adhérents AREAPS)

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.

Le tableur Excel à la disposition des membres de l'AREAPS permet de calculer les distances correspondantes :

UTILISATION DU VAMEVAL : CALCUL DE LA DISTANCE A PARCOURIR

Nom	VAM (km.h-1)	% de V.A.M	Durée de l'exercice (hh:mm:ss)			Distance à parcourir (en mètres)
	16,0	120%	00 :	00 :	15	80,0
	16,5	120%	00 :	00 :	15	82,5
	17,0	120%	00 :	00 :	15	85,0
	18,0	120%	00 :	00 :	15	90,0
	18,5	120%	00 :	00 :	15	92,5
	19,0	120%	00 :	00 :	15	95,0

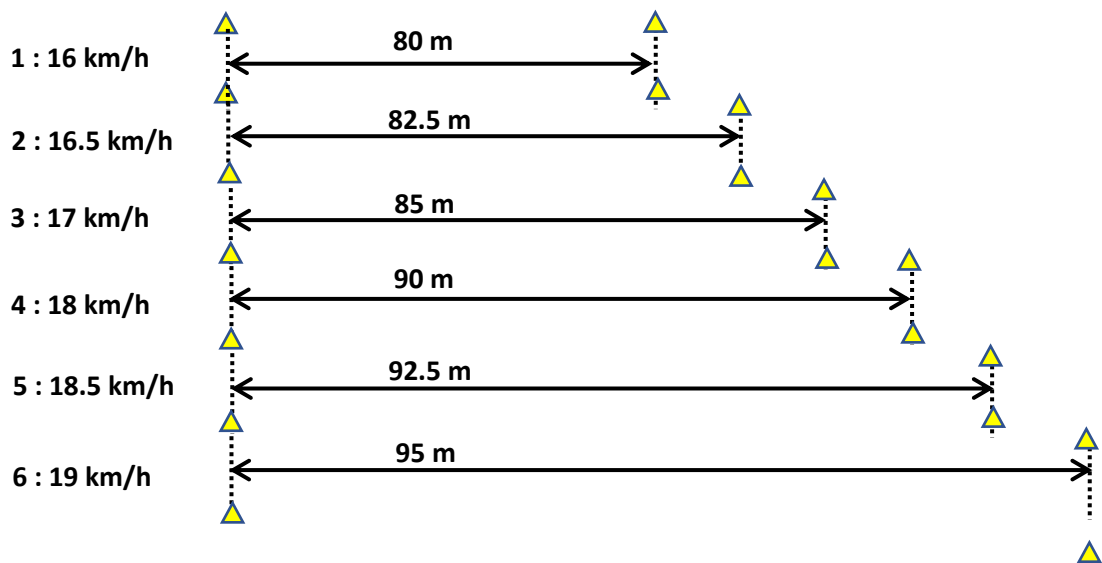


Figure 33 : Exemple d'un entraînement intermittent court dit « 15-15 » : 15 s de course à une intensité correspondant à 120 % de VAM et 15 s d'arrêt complet (récupération passive) à chacune des extrémités de la distance calculée pour chaque groupe de VAM

Les exercices par intervalles ultracourts

Plusieurs études montrent que la répétition rapprochées de plusieurs (n : 15) sprints courts (20m) séparés entre eux par 30 s de récupération passive permet d'atteindre VO₂max. Donc, outre la capacité à répéter des sprints, ce type d'exercices par intervalles ultracourts permet d'impacter la capacité aérobie et plus particulièrement le développement de la puissance aérobie maximale. Ce type d'exercices n'est à envisagé qu'après une préparation et un bon développement des « terrains » physiologiques et musculaires du sportif à entraîner. Il s'adresse surtout aux joueurs de sport collectifs et aux tennismen,

- **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 plusieurs façons :

- soit en divisant par moitié, par tiers ou par quart la distance de compétition qu'il s'agit alors de courir à une vitesse sensiblement supérieure (100 à 110%) à celle visée comme performance de course.
 - soit envisageant un nombre de répétitions courues à la vitesse de celle de la compétition visée pour habituer le sportif au ressenti de la performance. Dans ce cas parcourir au total 1,1 à 1,2 fois la distance de compétition ;
- soit en parcourant les trois quarts du nombre de répétitions retenues à une vitesse sensiblement inférieure (90 à 95%) de la performance visée. Dans ce cas, le sportif devra couvrir au total 1,5 à 2 fois la distance de compétition.

Prévoir 30s puis 20s puis 15 s de récupération entre chaque répétition.

Tous les cas envisagés ont pour but de développer l'endurance spécifique requise par la performance. Ils ne doivent être utilisés qu'à l'approche de la compétition.

4-POURQUOI ET COMMENT DEVELOPPER L'ENDURANCE AEROBIE

POURQUOI DEVELOPPER L'ENDURANCE AEROBIE ?

Le développement de l'endurance aérobie est indispensable pour augmenter la capacité de la chaîne physiologique sollicitée pour transporter l'oxygène des poumons aux muscles qui en ont besoin.

Il entraîne notamment : une meilleure aptitude à extraire l'oxygène au niveau des poumons, une augmentation de la concentration en hémoglobine (qui est le transporteur de l'oxygène dans le sang}, un développement du débit cardiaque et un meilleur rendement du cœur (pour une intensité donnée d'exercice la fréquence cardiaque s'abaisse à mesure que le sportif est mieux entraîné), et surtout une multiplication des capillaires sanguins qui irriguent et permettent de mieux oxygéner, et aussi, de débarrasser plus vite les muscles des déchets (métabolites) produits au cours de l'exercice.

Au niveau musculaire, quels que soient les types de fibres, l'entraînement en endurance favorise l'angiogenèse (augmentation des capillaires qui irriguent les muscles les plus sollicités), augmente les concentrations intra musculaire en myoglobine, la taille et le nombre de mitochondries et donc les concentrations en enzymes oxydatives. C'est cet ensemble appelé « pouvoir oxydatif musculaire » qui

permet au muscle d'utiliser un pourcentage de plus en plus élevé du dioxygène qui lui est délivrée par voie sanguine.

En conséquence, le développement de l'endurance aérobie constitue une bonne préparation du "terrain physiologique" des enfants, des adolescents et des sportifs en formation ou confirmés qui, ensuite, pourront en toute sécurité "cultiver" durant toute la saison sportive, toute leur "carrière" sportive, voire toute leur vie, l'ensemble des autres qualités indispensables respectivement à leur développement biologique et moteur ou à leur pratique sportive.

L'endurance est aussi une qualité en elle-même particulièrement développée ou à développer pour répondre aux exigences de nombreuses disciplines de longue durée comme le 10 000 m, le semi-marathon, le marathon, le triathlon et bien d'autres sports encore.

Pour ce faire il est suggéré à ce type de sportif qui pratiquent ces disciplines d'avoir une charge d'entraînement qui correspond idéalement entre 5000 et 6000 kcal par semaine ce qui équivaut à une charge quotidienne se situant entre 715 et 860 kcal. (Voir tableau 36 pour estimer la grandeur de cette charge d'entraînement)

COMMENT DEVELOPPER L'ENDURANCE AEROBIE ?

Plus qu'ailleurs, le principe de F.A.I.T.P.A.S. s'applique parfaitement pour obtenir les résultats visant l'amélioration des deux composantes de la capacité physiologique aérobie : **l'endurance et la puissance aérobie maximale.**

La Fréquence : La fréquence hebdomadaire dépend de l'intensité et de la durée des séances. Si l'intensité dépasse 75% de la VAM et est maintenue plus de quarante-cinq minutes en continu, selon votre niveau d'entraînement, il vous faudra envisager un délai de 24 à 48 heures entre deux séances. Ceci signifie que si vous êtes marathonien ou triathlète, un entraînement quotidien vous est nécessaire. Si vos ambitions se limitent à un simple entretien d'une bonne condition physique, deux séances hebdomadaires s'avèrent le minimum indispensable. Entre ces deux extrêmes, toutes les combinaisons sont possibles.

- **L'assiduité** : Les acquis en endurance aérobie peuvent demeurer relativement stables même après deux à trois semaines d'interruption. Si une période d'arrêt imposée (blessure, maladie, intersaison...) dépasse cette limite, pendant l'arrêt lui-

même et si cela est possible, maintenir une activité sollicitant l'endurance comme par exemple la natation, le vélo, le VTT, etc... Après cette période, recommencer toujours par des séances d'endurance aérobie avant de reprendre le travail en intensité (puissance - vitesse).

Pendant l'intersaison, s'imposer toujours au moins deux séances hebdomadaires d'endurance.

L'intensité : Le dosage de l'intensité est subordonné à la connaissance de la VAM qui en est le premier prérequis.

Le second, si c'est possible, est la relation entre la fréquence cardiaque (FC) individuelle et l'augmentation progressive de la vitesse de course (Cf. figure ci-contre) obtenue au cours d'un test triangulaire comme par exemple le VAMEVAL. En début de chaque entraînement, la connaissance de la fréquence cardiaque permet de bien respecter l'impact physiologique souhaité, et ce, quels que soient les terrains et les lieux d'entraînement (l'équipement en CFM, s'avère dans ce cas indispensable).

Toutefois, la limite de l'utilisation de la FC dans les sports de longue durée est l'augmentation de la FC que, à vitesse constante, l'on peut observer au bout de quelques minutes. Cette augmentation définie comme dérive est due au besoin de thermorégulation de l'organisme lorsque l'exercice, ici la course, se prolonge et que la température interne augmente. Observons que cette dérive de la FC est plus atténuée chez les sujets bien entraînés.

La vitesse de course peut être obtenue en valeurs brutes (km/h) ou en pourcentages de VAM, ce qui est plus efficace pour planifier les intensités utiles (consultez les tableaux 44 et 45).

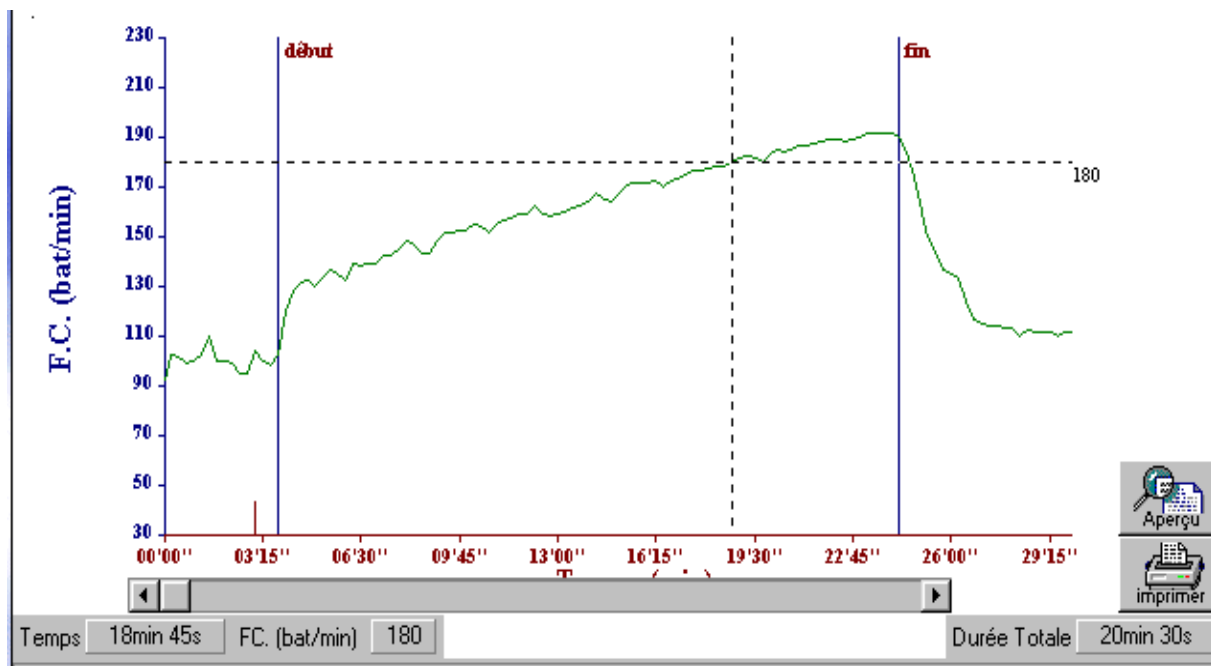


Figure 33 : Enregistrement classique de la fréquence cardiaque au cours du test VAM-EVAL

A partir de la connaissance de la VAM, commencer dès la reprise du programme d'entraînement ou de la saison d'entraînement, par des séances d'intensités ou de vitesses correspondant à 70% de la VAM. Augmentez ensuite progressivement toutes les deux séances, soit la durée ou la distance totale, soit l'intensité.

Exemple :

- Deux premières séances : 20 minutes à 70%
- Deux séances suivantes : 20 minutes à 72%
- Deux séances suivantes : 20 minutes à 74%
- Deux séances suivantes : 25 minutes à 74%
- Deux séances suivantes : 25 minutes à 75%

Et ainsi de suite, jusqu'à atteindre 40 minutes ou davantage à 78 ou 80 % de VAM pour les spécialistes d'activités sportives de longues durées.

En utilisant des CFM portables : Au moyen du graphique et de votre équation individuelle $FC = (\% \text{ de VAM} \times a) \pm b$ calculée par un logiciel élaboré à cet effet, vous pouvez fixer les FC correspondant aux pourcentages de VAM souhaités et ainsi utiliser tous les circuits et tous les reliefs possibles. Pour ce faire il vous faut, bien-sûr, acquérir des CFM.

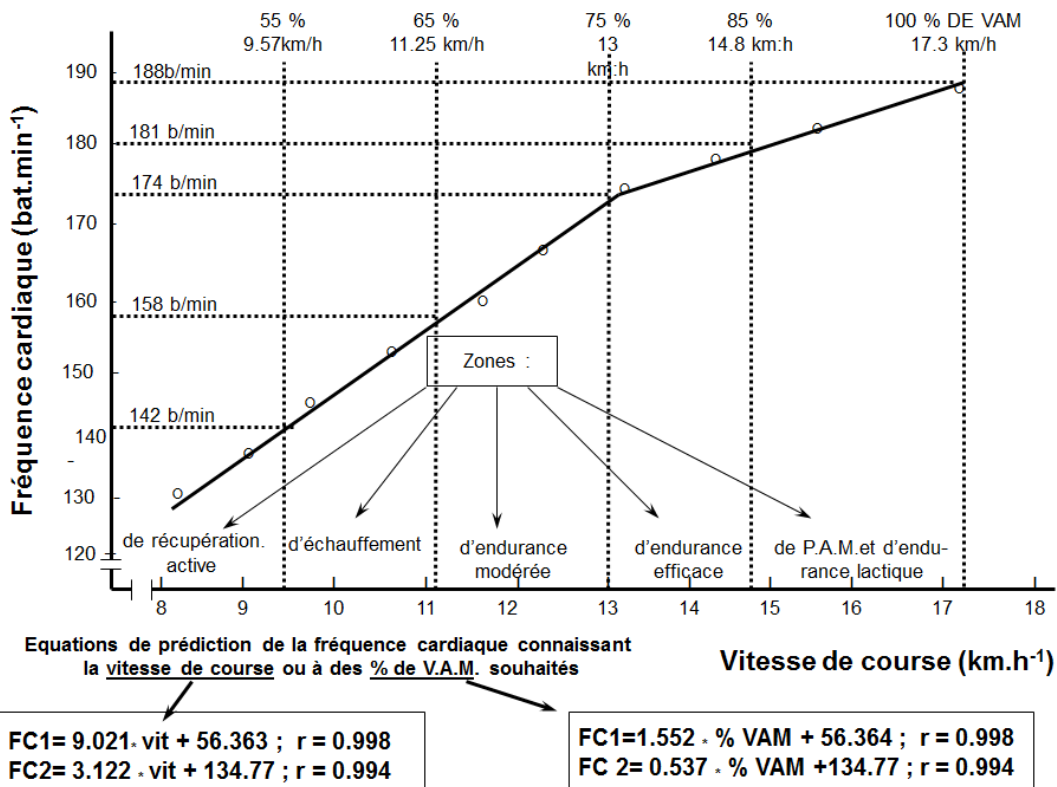


Figure 35 : Exemple de l'utilisation de la fréquence cardiaque comme régulateur de l'intensité de course après la passation du test VAMEVAL le sujet équipé d'un CFM. En utilisant les deux équations « % de VAM », il suffit d'entrer le % de VAM souhaité pour connaître la FC correspondante : $FC = 80 \% \times 0.537 + 134.77 = 181 \text{ btm}$.

Voir Annexe 1
Démarche conseillée pour tracer une courbe FC-vitesse de course à partir du tableur Excel

La progressivité :

La progressivité dépend de l'augmentation des intensités et des durées pour atteindre celles visées par la performance. Par exemple, l'endurance requise pour performer sur un 5 000m correspond entre 90 et 95% de VAM alors que celle du 10 000 m en requiert entre 85 et 90%, le 20 000 entre 80 et 88% et le marathon entre 75 à 84%. Il s'agit donc de commencer sa période d'entraînement à des pourcentages plus faibles qui progressivement augmenteront pour arriver aux pourcentages cibles pendant la période des compétitions.

Au plan physiologique, l'augmentation progressive des durées et des intensités entraîne sans cesse les nouvelles adaptations de l'organisme. Ces adaptations sont la conséquence de nouveaux stress contre lesquels doivent lutter toutes les fonctions biologiques concernées (cardiorespiratoires, endocriniennes, musculaires...) pour apporter plus d'énergie ainsi que pour permettre sa meilleure utilisation par

l'ensemble des parties sollicitées.

La progressivité est donc le gage des adaptations nécessaires pour ici, améliorer l'endurance aérobie.

L'alternance activité-récupération

Certains sportifs continuent de s'entraîner en pratiquant de la course ou de la nage de façon continue. Par contre, d'autres, pourtant spécialistes de sport d'endurance, trouvant l'effort continu ennuyeux préfèrent les exercices intermittents. Dans le cas de l'amélioration de l'endurance, ce type d'entraînement obtient généralement des résultats sensiblement meilleurs que lors des efforts uniquement continus. Les intensités peuvent être plus élevées voire proches de celles de la compétition à la condition d'être entrecoupées de récupérations assez courtes : 15 à 20s tous les 400, 500 ou 600m.

Dans le cas de la « progressivité » précédemment abordée le nombre de répétitions pourra augmenter voire dépasser la distance de compétition.

Les récupérations courtes s'expliquent d'une part par le fait que le système cardiovasculaire transporteur du dioxygène doit demeurer à un haut niveau fonctionnel et que d'autre part, 15 à 20s de récupération passive suffisent pour reconstituer totalement les réserves en dioxygène de l'organisme.

La spécificité

La spécificité dépend à la fois de de la performance visée et des capacités du sportif. Plus la performance est de longue durée, plus la capacité d'endurance aérobie est à développer en priorité. Comme l'endurance aérobie est le pourcentage de la puissance maximale aérobie (PAM ou VAM) susceptible d'être maintenu pendant le plus longtemps possible, il est bien évident que pour un pourcentage donné, plus la PAM ou la VAM est élevée plus l'endurance le sera. En conséquence, outre le développement de l'endurance, celui de la puissance aérobie maximale devra faire l'objet de plusieurs séquences d'entraînement au sein même de séances d'entraînement de l'endurance. Par ailleurs, nous savons aussi que l'économie de locomotion joue un rôle non négligeable dans les courses de longue durée, aussi conviendrait-il d'améliorer l'élasticité musculaire intervenant dans les foulées par un travail de musculation pliométrique bien conduit.

5-POURQUOI ET COMMENT DEVELOPPER LA PUISSANCE AEROBIE MAXIMALE

Les effets les plus importants et les plus durables d'un entraînement de la puissance aérobie maximale sont obtenus après avoir bénéficié d'une bonne préparation initiale

du "terrain physiologique" individuel et après avoir bien développé les capacités foncières (endurance aérobie).

- **POURQUOI DEVELOPPER LA PUISSANCE AEROBIE MAXIMALE ?**

Le but du développement de la puissance aérobie maximale est de tenter d'élever le potentiel aérobie individuel au niveau de son "plafond génétique". Ce potentiel constitue la "**cylindrée aérobie**" du "moteur physiologique". La PAM augmente le débit d'oxygène transporté et susceptible d'être utilisé par le muscle. C'est précisément elle qui permet de soutenir des exercices de haute intensité pendant de longues durées et de mieux récupérer entre deux exercices et activités physiques intenses.

Ce n'est pas le fait du hasard que, plus un sportif est de haut niveau, plus élevée est sa puissance maximale aérobie et ce, quelle que soit l'activité considérée. Il est vrai aussi que certains sports comme le ski de fond, l'aviron, le triathlon, le 1500m, le 3000m et le 5000m course nécessitent de très hautes valeurs de VO_2max souvent supérieures à $75 \text{ ml}\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{kg}^{-1}$.

D'autre part, nous l'avons précédemment indiqué, comme l'endurance est définie en termes de pourcentages de la PAM, il est évident qu'une endurance aérobie située à 70% d'une puissance aérobie maximale de $70 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ devrait permettre une intensité d'exercice 1,4 fois supérieure à celle d'une PAM de $50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$.

- **COMMENT DEVELOPPER LA PUISSANCE AEROBIE MAXIMALE ?**

Toujours obtenus à long terme, les résultats de l'entraînement aérobie nécessitent un travail de longue haleine qui, quelquefois peut paraître trop fastidieux à certains, aussi convient-il de trouver toutes les formes d'exercices à caractère ludique susceptibles de poursuivre cet objectif. Il est, ici aussi, très opportun d'utiliser le principe du F.A.I.T.P.A.S pour mieux gérer exercices et programmes d'entraînement.

- **La fréquence** : Pour développer la puissance aérobie maximale, tout indique que, hebdomadairement, six entraînements spécifiques et bien gérés de vingt à trente minutes chacun valent mieux que trois entraînements de quarante-cinq minutes, ou qu'un seul de 1 h 30 min. La fréquence des exercices de fortes intensités joue ici un rôle plus efficace que le volume.

En général, la puissance aérobie maximale est obtenue après huit à dix semaines avec trois séances hebdomadaires, six à sept semaines avec quatre séances et cinq à

six semaines avec six séances de vingt à trente minutes chacune. Ceci signifie que si l'entraînement du début de saison a été bien réalisé, le potentiel maximum individuel devrait être atteint au bout de sept à dix bonnes semaines de préparation physique.

L'assiduité : La puissance aérobie maximale est très sensible aux interruptions de l'entraînement. Elle peut s'abaisser de 5 à 10% déjà à l'issue de quinze jours d'arrêt et de 10 à 20% après trois semaines. Il y a donc tout intérêt à l'entretenir en cas d'arrêt pour blessure et a fortiori pendant l'intersaison ou au cours de la saison hivernale, saison pendant laquelle bien des adultes non compétiteurs abandonnent toute activité physique. Pour ce faire, d'autres activités que celles habituellement pratiquées peuvent aussi être utilisées telles que le vélo tout terrain, les randonnées cyclistes, la natation, les footings, le tennis ou la pratique de sports collectifs sont aussi de très bons moyens. Au cours de la saison hivernale, l'alternance du ski de fond et du ski alpin constitue une excellente alternative. Dans ce cas, deux séances hebdomadaires au moins seraient des plus bénéfiques.

L'intensité et la durée : Comme pour la gestion des intensités requises pour développer l'endurance aérobie, il est indispensable ici aussi de connaître la vitesse aérobie maximale (VAM). Pour les sportifs équipés de CFM, à l'occasion du test VAMEVAL, il serait encore meilleur d'établir individuellement la relation vitesse progressive de course-augmentation de la fréquence cardiaque et d'exprimer ces valeurs en pourcentages de VAM. Ainsi, lorsqu'une intensité de course est choisie, par exemple : course à 80% de VAM, chacun peut immédiatement connaître :

1- la vitesse correspondante ;

1- son (ou ses temps) de passage sur un (ou des) intervalle(s) de distances données ; par exemple tous les 100, 200, 300, 400, 800 et 1200 mètres. *Pour permettre aisément leur calcul, des tableurs Excel spécifiquement élaborés sont téléchargeables par les membres de l'AREAPS;*

2- et avec l'équation qui relie les vitesses de course aux fréquences cardiaques, la valeur correspondante de cette dernière.

Dans ce dernier cas, le port d'un CFM permet de réaliser des entraînements sur tous les terrains où il est impossible de contrôler la vitesse (parcours de pleine nature, cyclisme, aviron, etc...), ou dans tout entraînement technique dans lequel la préparation physique peut aussi être parfaitement intégrée.

La VAM constitue une des références indispensables alors que la relation vitesse -

FC et le port de CFM peuvent être très utiles mais, ne sont indispensables que pour les séances où on veut obtenir les meilleurs effets possibles ainsi que celles se situant dans un environnement naturel à reliefs variés.

Notons cependant que si la FC est un bon indicateur de l'intensité à respecter en début de séances d'entraînement, pour des raisons de thermorégulation, dès que l'organisme s'échauffe elle a tendance à augmenter et dériver. Elle n'est donc plus représentative de l'intensité à respecter. Cette dérive est d'autant plus importante que le sujet n'est pas ou est peu entraîné. Dans ce cas, il vaut mieux s'en tenir à des pourcentages de VAM.

Progressivité

En fonction de la période où se situent les séances d'entraînement dans le programme, certains procédés s'avèrent plus efficaces que d'autres.

Après les quatre à six premières séances uniquement consacrées au développement de l'endurance aérobie (course ou exercices continus de longue durée entre 70 et 75% de la VAM), progressivement il est recommandé d'utiliser :

- d'abord le travail continu en augmentant l'intensité et en diminuant la durée (tableaux 44 et 45). Par exemple, passer de 75 à 76%, puis 77%... et ce, jusqu'à 80, voire 85% de VAM. Plus l'intensité s'élève, plus la durée doit être écourtée. Par exemple, d'une heure de course à 75% de VAM, passer entre 10 et 15 minutes de course à 85% et, si c'est possible à 90% de VAM.

Durant quatre à six séances, le travail continu d'endurance doit alterner avec le travail continu à intensités plus importantes, en donnant les proportions respectives de 2/3 - 1/3, puis 1/2 - 1/2, pour atteindre 1/3 - 2/3.

En règle générale, une séance entière de ce type peut être envisagée tous les quinze jours lorsque le travail foncier a porté ses fruits et une séance par semaine dans le cas où le sujet est bien entraîné.

On peut toutefois signaler qu'à ces intensités (proches ou supérieures à 80-85% de la VAM), une quantité de plus en plus importante d'acide lactique s'accumule dans l'organisme, traduisant une sollicitation mixte des processus aérobie et anaérobie lactique. Il y a donc intérêt à terminer ce type d'exercice par huit à dix minutes de récupération active à une intensité moindre (50 à 60% de VAM) ou faire alterner les intensités élevées et de moindres importances.

Il est ensuite possible de faire alterner les exercices continus avec les exercices réalisés en fartlek.

Le fartlek est tout à fait recommandé à raison d'une à deux séances hebdomadaires dès la troisième ou la quatrième semaine après la reprise de l'entraînement surtout consacrée à l'endurance aérobie. Consacrez entre quinze et vingt minutes à chacune d'elle.

En général, l'entraînement en fartlek se déroule par petits groupes de quatre à cinq personnes de même niveau de capacité aérobie (VAM sensiblement proches), dans lesquels, à tour de rôle, l'un d'entre eux déclenche l'accélération collective. Dans ce sens, le fartlek constitue aussi un excellent procédé ludique entretenant une bonne convivialité entre les personnes qui s'entraînent.

Alternance travail et récupération

Enfin, les **exercices par Intervalles courts-courts** (figure 32, tableaux 44 et 45) constituent d'excellents moyens de développer le $VO_2\text{max}$ à des intensités relativement élevées (110 à 130% de VAM) et ce, sans produire de lactate. Ce qui signifie que seuls les processus aérobies sont sollicités malgré de fortes intensités. Ceci est possible car chaque reprise de courte durée bénéficie des réserves en dioxygène reconstituées pendant les 15 s de récupération passive entre chaque exercice. S'il s'agit de course, compte tenu de la connaissance préalable de la VAM, les distances à parcourir aux différentes intensités (110, 115, 120% de VAM) pendant 15s peuvent être calculées grâce au tableur Excel réalisés à cet effet qui peuvent aussi être téléchargés et être utilisés par les membres de l'AREAPS.

Spécificité

Le développement optimum de la PAM est surtout indispensable pour les sportifs spécialistes de performances de 5 à 15 minutes quelle que soit la discipline sportive. Généralement les sportifs qui pratiquent ces disciplines présentent les $VO_2\text{max}$ les plus élevés. Il est recommandé pour ces sportifs de mesurer d'abord directement en laboratoire leur consommation maximale de dioxygène et ensuite d'apprécier indirectement sur le terrain leur puissance ou leur vitesse aérobie maximale de façon à réajuster les intensités de leur entraînement.

Remarquons que la spécificité de l'atteinte de $VO_2\text{max}$ est de souvent être accompagné d'une lactatémie relativement élevée (10 à 12 mmol.l^{-1}), témoin de la contribution de la capacité lactique lorsque le sportif atteint les limites de sa capacité aérobie. C'est souvent aussi ce qui arrive en compétition. D'où la nécessité d'accorder

une place non négligeable au développement conjointement de la PAM et l'endurance de la capacité lactique. Quelques conditions d'exercices sont proposées dans les tableaux 44 et 45.

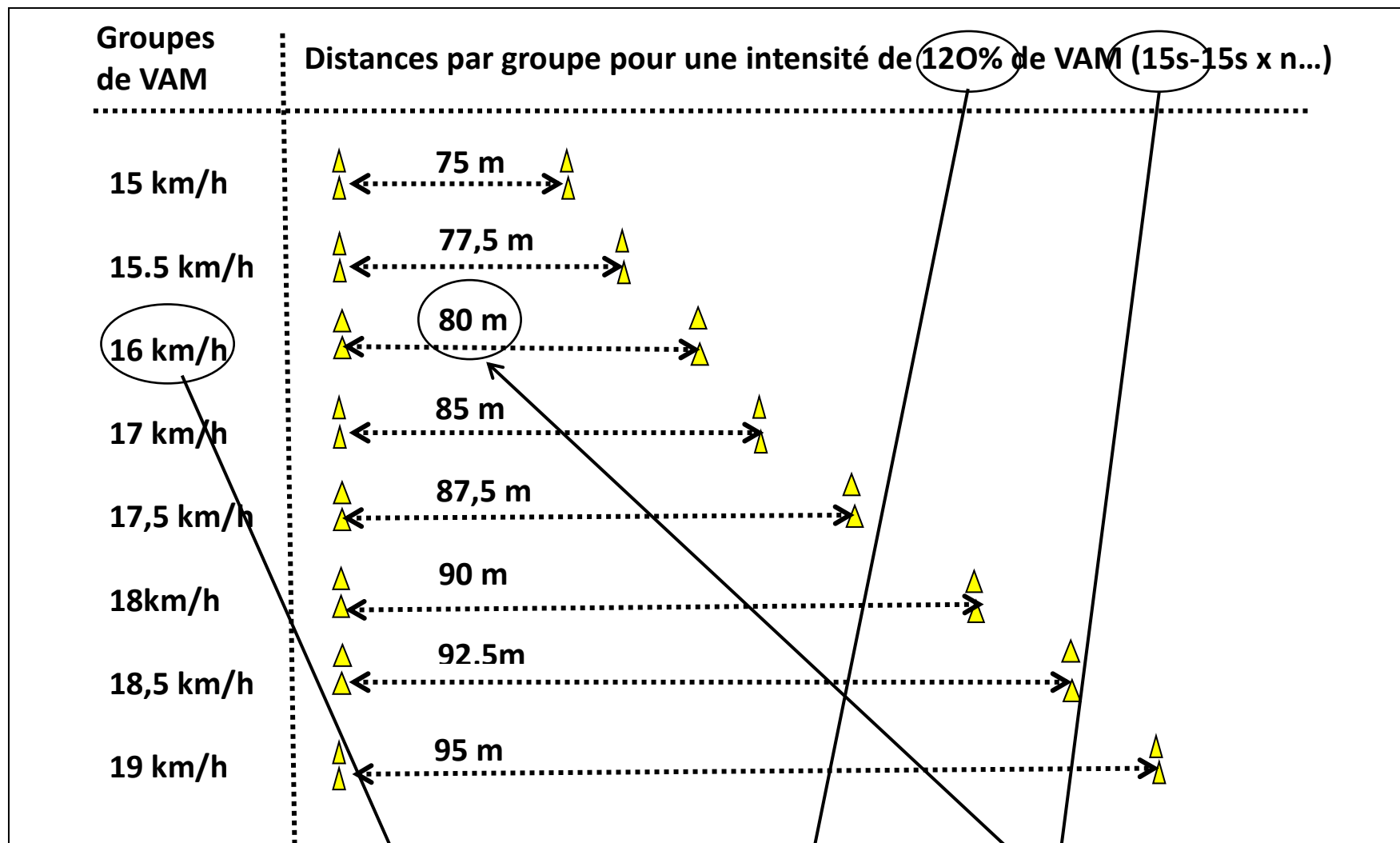
Tableau 46 : Quelques exercices et leur conditions pour développer : l'endurance aérobie, la puissance aérobie maximale, l'endurance lactique et l'endurance de la vitesse

I EXERCICES CONTINUS		Intensité (%VAM)	Durées		Exercices recommandés		Nombre de séances par semaine		
		65 à 80	20 min minimum à 1h30		Continus LSD) ou Fartlek		Minimum 2, maximum : dépend des objectifs, du sport et...de la disponibilité		
II EXERCICES PAR INTERVALLES									
Exercices	Récupération	Intensité (% VAM)	Durées des exercices	Durées de la Récup.	Nature de la récup.	Nombre de répétitions/série	Nombre et Durées totales de séries (min)	Nature et durées de la récup entre chaque série (min)	Nombre de séances/semaine
*Exercices par intervalles longs									
Longs	Longue	80 à 95	5 à 15 min	1 à 2 min	Passive	1 à 6	2 à 3 : 30 à 45	Active 6 à 8	2 à 5 au début
*Exercices par intervalles courts (Intermittents courts)									
Courts	Courtes	110 à 130	10 à 20s	15 à 30s	Passive	20 à 40	1 à 1 : 5 à 20 min	Passive : 2 à 0 min	3 à 4
*Exercices par intervalles ultra courts (répétition des sprints)									
Très courts	courtes	Sprint	maximum 5s	30 à 40s	passive	15	1 à 2	Active : 6 à 8 min	Maximum 3

ENDURANCE AEROBIE

PUISSANCE AEROBIE MAXIMALE ET ENDURANCE LACTIQUE

ENDURANCE DE VITESSE



Calcul de la distance à parcourir pour un pourcentage de V.A.M. donné et une durée d'exercice donnée

VITESSE AEROBIE MAXIMALE V.A.M. (en km/h)	% de V.A.M. (Intensité de l'exercice)	DURÉE DE L'EXERCICE (en secondes)	DISTANCE À PARCOURIR (en mètres)
16	120%	15	80,00

Téléchargeable :
AREAPS

6-QUESTIONS-REPONSES DEDIEES AUX EDUCATEURS PHYSIQUES

Avant de se pencher sur la meilleure façon de gérer le développement de la capacité aérobie des jeunes, il convient de bien connaître la spécificité de ce développement chez l'enfant et chez l'adolescent.

Spécificités de la capacité aérobie au cours de la puberté et de l'adolescence

Au niveau de la chaîne qui extrait et transporte l'oxygène, le jeune adolescent présente un développement pulmonaire et cardiovasculaire moins important que celui de l'adulte mais qui évolue en fonction des transformations morphologiques pubertaires et post pubertaire et aussi, et du niveau d'activité physique mené jusqu'à l'âge adulte.

La fonction ventilatoire devient progressivement plus efficace grâce à une moindre résistance à l'écoulement de l'air dans les voies respiratoires, à une augmentation du volume pulmonaire qui résulte en grande partie de l'augmentation du nombre d'alvéoles, donc d'une plus grande surface d'échange gazeux de perfusion dont l'efficacité dépendra de l'importance du lit capillaire pulmonaire et de la concentration sanguine en hémoglobine. Ces deux facteurs sont sensibles et résultent en partie des effets de l'activité physique.

Au niveau cardiovasculaire les valeurs absolues du volume d'éjection systolique (VES) sont plus faibles chez l'enfant que chez l'adolescent mais la fréquence cardiaque (FC) est plus élevée chez l'enfant que chez l'adolescent par rapport à celles de l'adulte. Malgré la compensation d'une fréquence cardiaque plus élevée, les débits cardiaques (VES x FC) de l'enfant et de l'adolescent demeurent encore inférieurs à celui de l'adulte.

Au niveau périphérique, si le système d'extraction de l'oxygène par le muscle du jeune adolescent est moins performant que celui de l'enfant pré pubère, il est par contre sensiblement meilleur que celui de l'adulte. Cette meilleure capacité oxydative musculaire résulte de la plus forte densité en mitochondries du jeune comparée à celle de l'adulte et d'une concentration plus élevée en enzymes oxydatives.

Depuis le début de la puberté, l'ensemble de ces paramètres qui étaient proches de ceux de l'enfant évoluent progressivement vers ceux que présente le jeune adulte.

, 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 de l'enfant ?

Si on se réfère aux définitions de l'endurance, il conviendrait désormais de trouver une autre appellation pour qualifier le cycle de développement des capacités physiologiques aérobies 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 dom mage et... 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, ce qui est déjà en moyenne plus important que ce qui est réellement le cas, le calcul final montre à l'évidence que l'éducateur ne peut qu'être très modeste dans ses ambitions.

Dans ce cas, à raison de trois séances hebdomadaires de 55 minutes chacune, 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,
- 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 !!
- Que dire alors si, en outre, on ne prenait en considération que la durée réelle pendant laquelle un enfant est actif au cours d'une séance d'EPS : environ dix minutes par séance de 55 minutes !
- A la condition que, quels que soient les contenus des différents cycles, le développement des capacités physiologiques aérobies constitue un objectif transversal, le "cycle d'endurance" pourrait être maintenu mais uniquement comme simple fondement d'une préparation du "terrain physiologique" de début d'année scolaire. Il serait indispensable ensuite de le poursuivre durant toute la scolarité, voire toute la vie !

Les intensités et, notamment, les fréquences cardiaques élevées requises pour le développement des capacités physiologiques aérobies 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 à la condition, bien-sûr, que l'exercice intense ne constitue pas le menu quotidien unique de l'enfant. A ce jour, aucune réaction de désadaptation n'a été rapportée dans la littérature. En ce qui nous concerne, nous avons observé l'évolution de la fréquence cardiaque de plusieurs enfants au cours d'une journée normale de classe et avons noté les valeurs les plus élevées (souvent maximales) au cours : de la récréation, des jeux spontanés et des jeux institutionnalisés proches des sports collectifs. Autrement dit, au cours de simples activités ludiques, l'enfant est totalement capable de mobiliser sa capacité maximale ou un pourcentage très proche de sa capacité maximale, ce qui signifie que l'école et, plus particulièrement, l'éducation physique, doit aussi le préparer à répondre à ces stress physiologiques nécessaires à son développement biologique.

Au niveau de l'éducation physique et de l'entraînement chez le jeune, le danger n'est pas **l'hyper** mais plutôt **l'hypo activité** à laquelle contraignent à la fois, des horaires hebdomadaires d'EPS 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 souvent 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 et 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'expérimenter 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. 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 post pubère. Ceci ne signifie aucunement

qu'il faille attendre cette période pour commencer. Il est vrai qu'aux âges pré pubertaires, 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 VO₂ max liée à la croissance. Si en effet on observe chez le garçon une poussée d'augmentation rapide du VO₂max 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, rien ne nous permet de dire que ces âges sont les plus favorables aux programmes d'exercices aérobies (endurance + VO₂max). 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 VO₂max 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 du jeune. 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 habituelle). 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.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Remarque : Afin de ne pas alourdir la lecture du texte, nous avons pris la décision de ne pas mentionner chaque fois les différents auteurs à l'origine des études sur les quelles s'appuie le présent document. Pour les lecteurs intéressés, nous les rappelons ci-dessous et demeurons à leur disposition.

Astrand PO. Et Rodhal K. Textbook of work physiology. New York :Ed McGraw Hill,1970.

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.

Brue F. Une variante du test progressif et maximal de Léger et Boucher : le test de vitesse maximale aérobie derrière cycliste (test VMA). Bulletin médical de la Fédération Française d'Athlétisme. 7: 1-18, 1985.

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. ; Léger L. et Marini J.F. - Les épreuves d'effort en physiologie. Epreuves et mesures (de laboratoire et de terrain) du potentiel aérobie. Dans : Evaluation de la valeur physique. Travaux et Recherche INSEP, 95.119 : 1984.

Cazorla G. ; Léger L. et Marini J.F. - Les épreuves d'effort en physiologie. Epreuves et mesures du potentiel anaérobie. Dans : Evaluation de la valeur physique. Travaux et Recherche en E.P.S. n° 7 INSEP, 95.1195 : Octobre 1984 b.

Cazorla G. : Mesure du métabolisme aérobie sur le terrain. Revue médicale de la Fédération Française d'Athlétisme. Octobre 1984 d.

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 & AREAPS, pp. 151-173, 23 nov. 1990.

Cazorla G. - Comment évaluer et développer la capacité aérobie. Bulletin de liaison et d'information des enseignants d'E.P.S. Formation continue. Académie de Bordeaux,

6-33, décembre 1992.

Cazorla G., Boussaïdi L., Carré F. - Aptitude aérobie sur le terrain. Pourquoi et comment l'évaluer. *Médecin du Sport*. 73, 12-23. 2005

Conseil de l'Europe : Evaluation de l'aptitude physique. EUROFIT (batterie expérimentale, manuel provisoire). Strasbourg, 1983b.

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.

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. Sei. Sports Exerc.*, 14: 339-343, 1982.

Fairshter, R.D., Walters, J., Salvess, K., Fox, M., Minh, V.O., 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.

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.

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.

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.

Léger L Cazorla G. Détermination des capacités motrices chez l'enfant (pp 143-180). Dans Trivel S et Martin V (Ed) L'enfant et l'activité physique, Gap: Désiris, 2014

Martveiev L.P. Principes de l'entraînement sportif. Moscou. Culture Physique et Sport

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.

Montmayeur A. et Villaret M. Etude de la vitesse maximale aérobie derrière cycliste : valeur prédictive sur la performance en course à pied.

Olds T. Tomkinson G. Léger L. Cazorla G. Worldwide variation in the performance of children and adolescents: An analysis of 109 studies of the 20-m shuttle run test in 37 countries. *Journal of Sports Sciences.* 24(10): 1025 – 1038. 2006.

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.*

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.*

Ruiz JR Cavero-Redondo I Ortega FB et al Cardiorespiratory fitness cut points to avoid cardiovascular disease risk in children and adolescents; what level of fitness should raise a red flag? A systematic review and meta-analysis *Br J Sports Med* 2016; 50:1451-1458.

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

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*

Tomkinson G. Olds T. Léger L. Cazorla G. - Secular trends in the performance of children and adolescents (1980 – 2000): An analysis of 55 studies of the 20 m shuttle run in 11 countries. *Sports Medicine, 33, 285 – 300. 2003.*



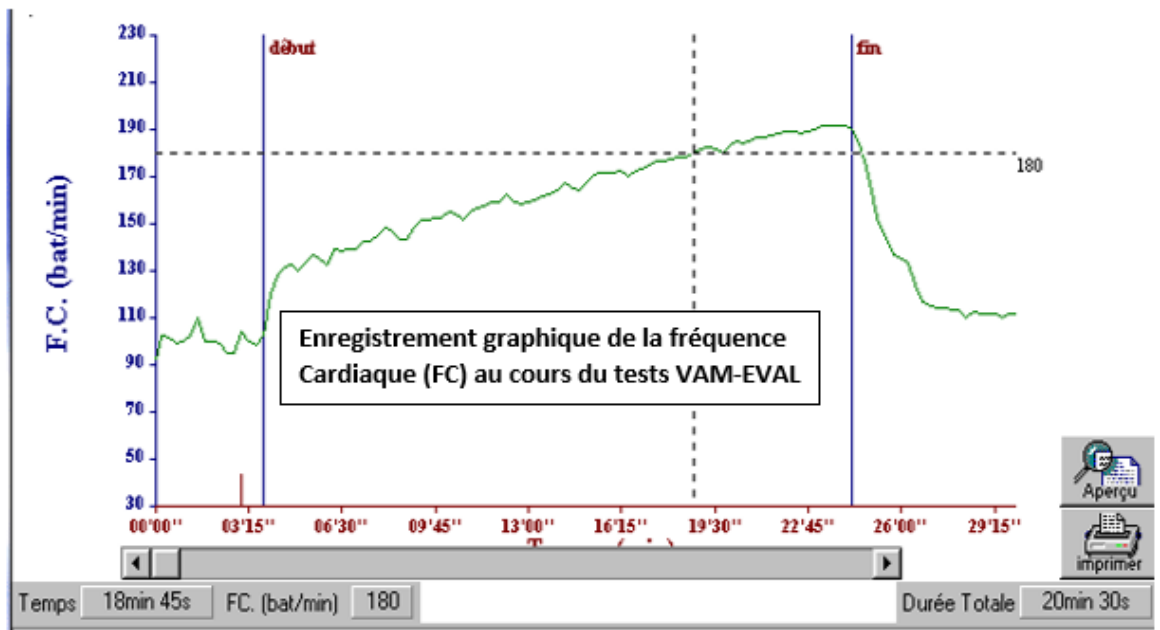
Association pour la Recherche et l'Évaluation en Activité Physique et en Sport

ANNEXE

Comment exploiter les résultats du test
VAM-EVAL

CAZORLA Georges

mai 2020



Enregistrement automatique

Fichier Accueil Insertion Mise en p

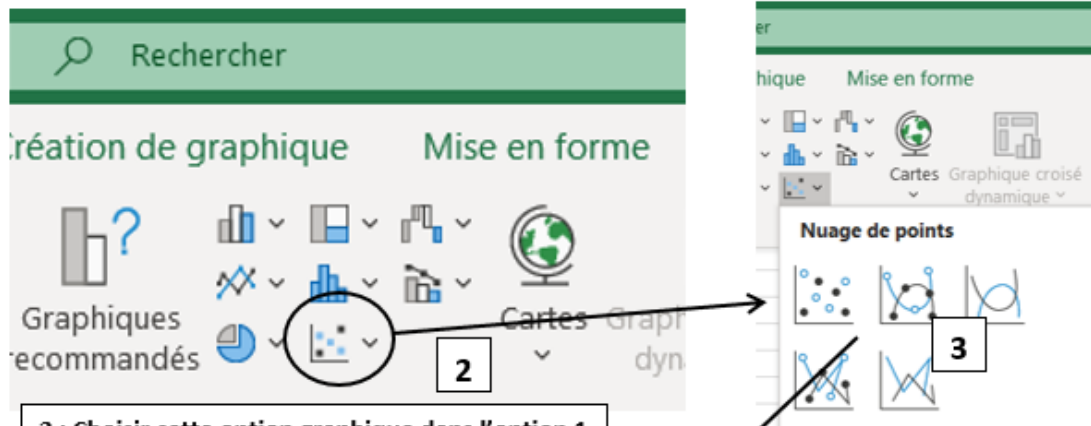
A1 Vitesse (

	A	B	C	D
1	Vitesse (km/h)	FC (bt/min)		
2	8	105		
3	8,5	109		
4	9	112		
5	9,5	117		
6	10	122		
7	10,5	128		
8	11	134		
9	11,5	139		
10	12	145		
11	12,5	150		
12	13	155		
13	13,5	160		
14	14	165		
15	14,5	170		
16	15	175		
17	15,5	180		
18	16	185		
19	16,5	188		
20	17	191		
21				
22	Sélectionnez ces deux colonnes (CTRL "C")			
23				

Transfert de la FC enregistrée lors du test VAM-EVAL ci-dessus dans les colonnes du tableur Excel

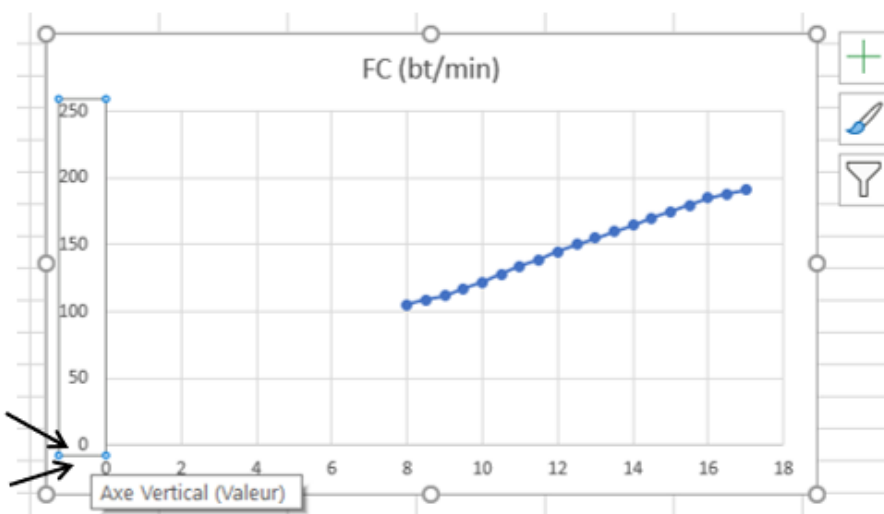
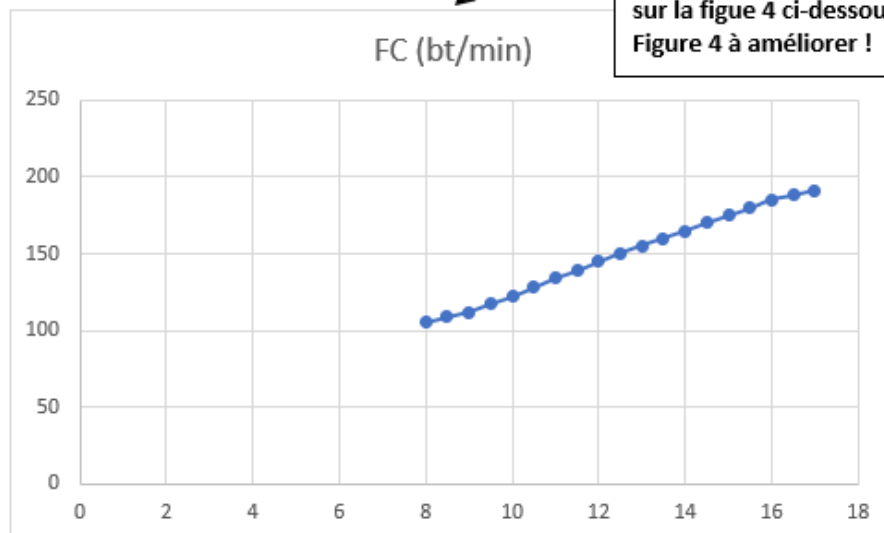
1- INSERTION

1 : option « insertion » du menu

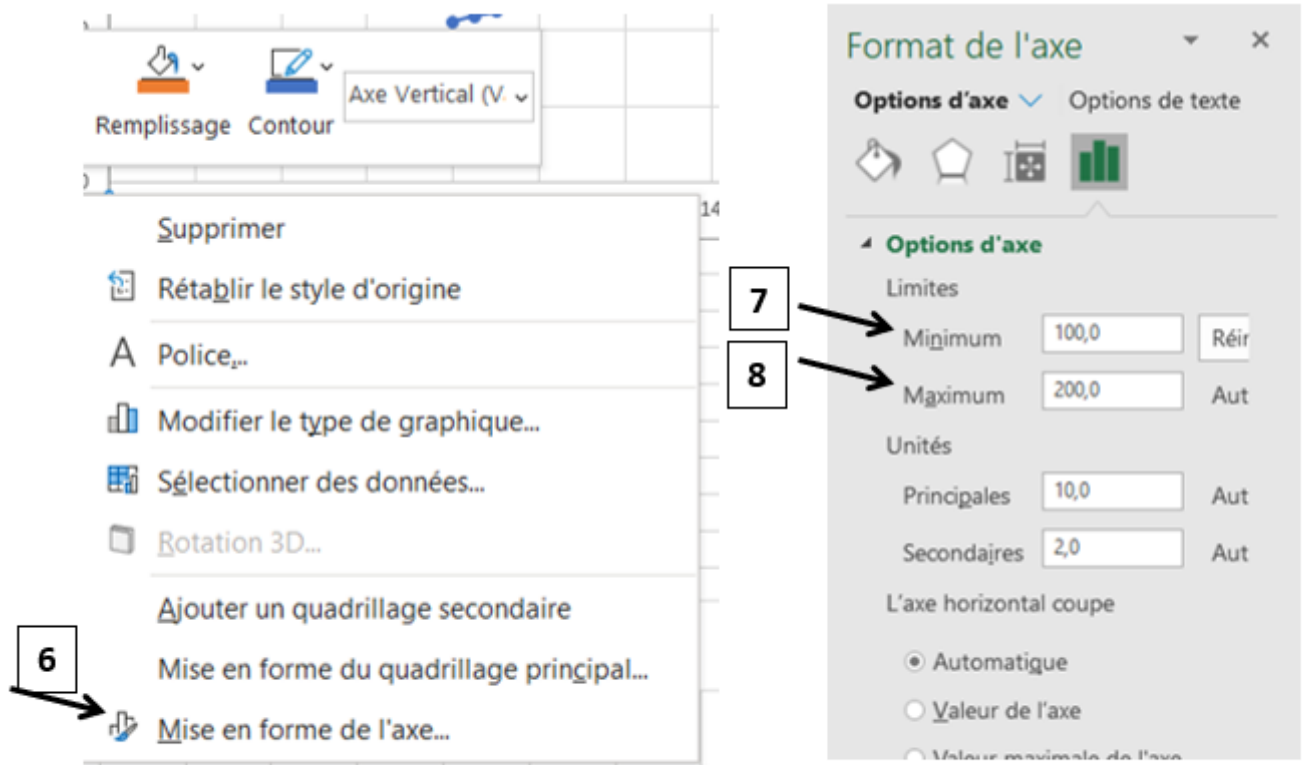


2 : Choisir cette option graphique dans l'option 1

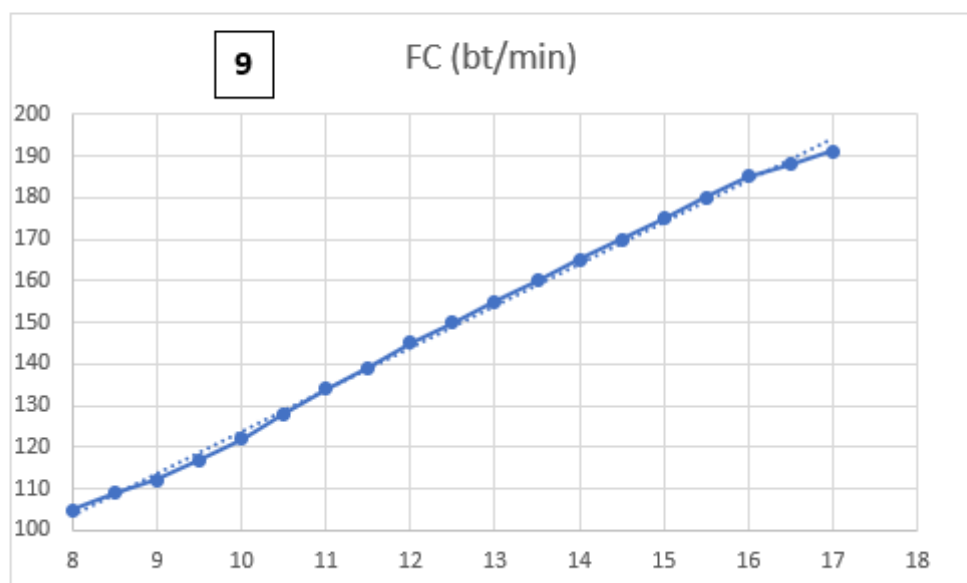
3 et 4 : l'option 2 vous donne accès à ce choix de graphiques. Choisir l'un d'entre eux dans l'option 3 qui ouvre sur la figure 4 ci-dessous. Figure 4 à améliorer !

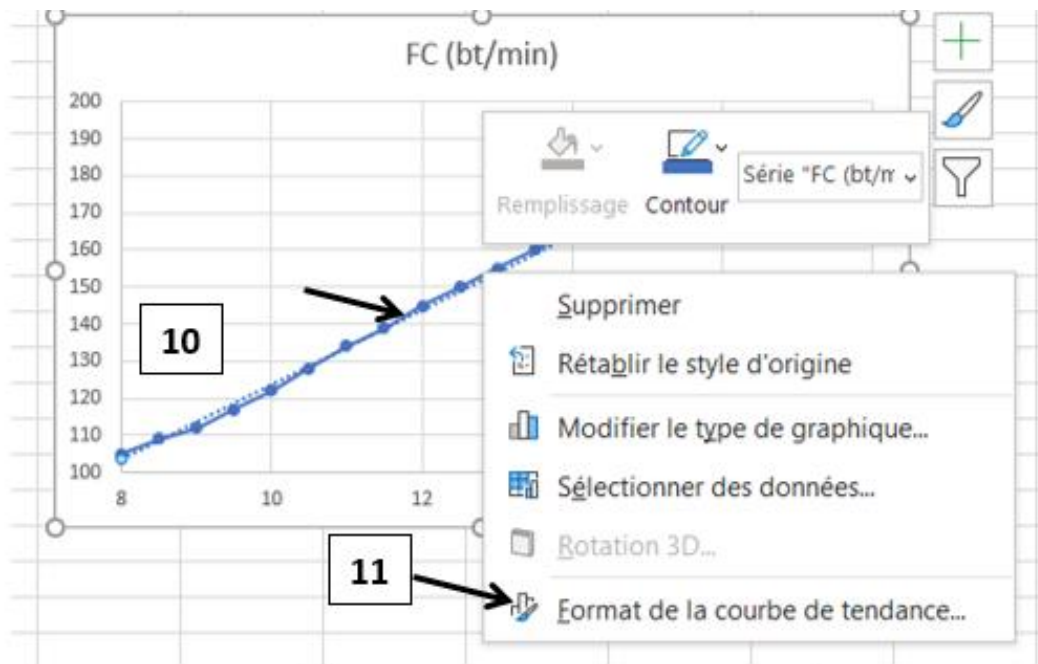


Dans la figure 4, cliquez côté droit de votre souris, tour à tour sur chacun des axes des valeurs : Axe vertical (ordonnée), puis Axe horizontal (abscisse) « 5 »



6 : Mise en forme de l'axe retenu, ici axe vertical, qui ouvre côté droit de l'écran la possibilité de choisir le minimum « 7 » et le maximum « 8 » de cet axe pour donner la figure « 9 ». L'alignement des valeurs donne à la courbe une forme linéaire. Cliquer sur la courbe côté droit de la souris « 10 » pour obtenir le format de la courbe « 11 » : linéaire confirmée « 12 » sur la fenêtre qui s'ouvre à la droite de l'écran ! Au bas de cette fenêtre choisissez l'équation de la courbe « 13 » et le coefficient de détermination R2 qui s'afficheront sur la figure « 15 ».





Format de courbe d..

Options de courbe de tendance

Options de courbe de tendance

- Exponentielle
- Linéaire
- Logarithmique
- Polynomiale Degré
- Puissance
- Moyenne mobile Période

Nom de la courbe de tendance

- Automatique Linéaire (FC min))
- Personnalisé

Prévision

En avant 0,0

En arrière 0,0

Définir l'interception 0

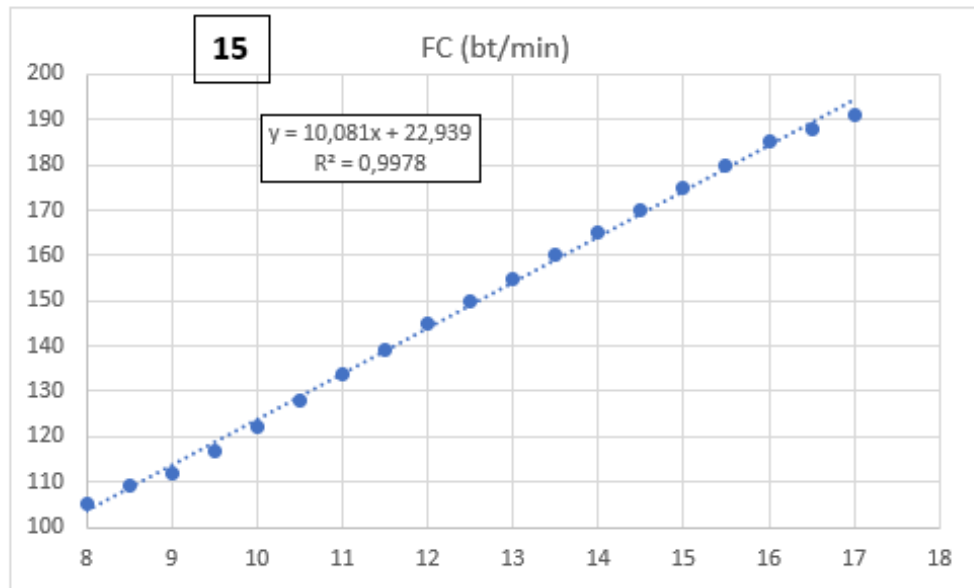
Afficher l'équation sur le graphique

Afficher le coefficient de détermination (R^2) sur le graphique

12

13

14

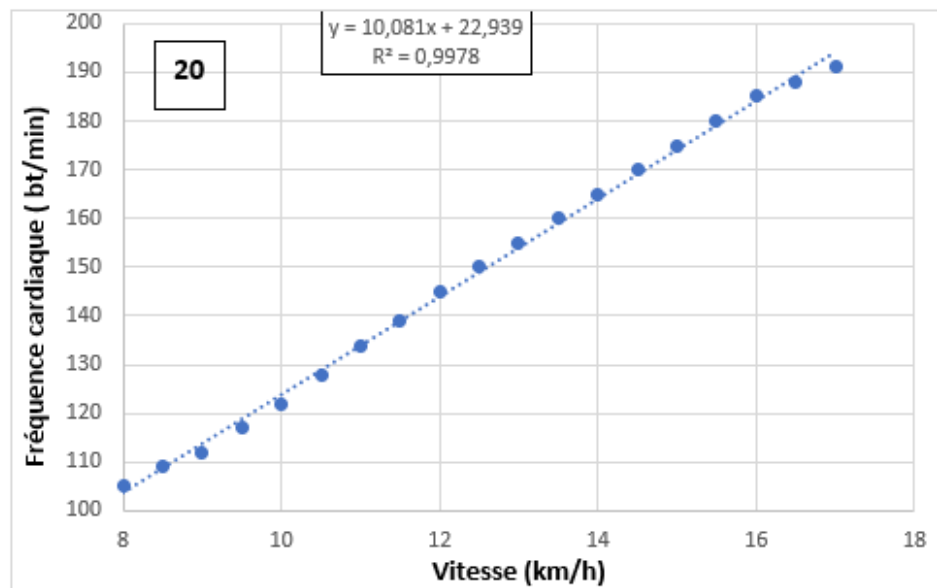
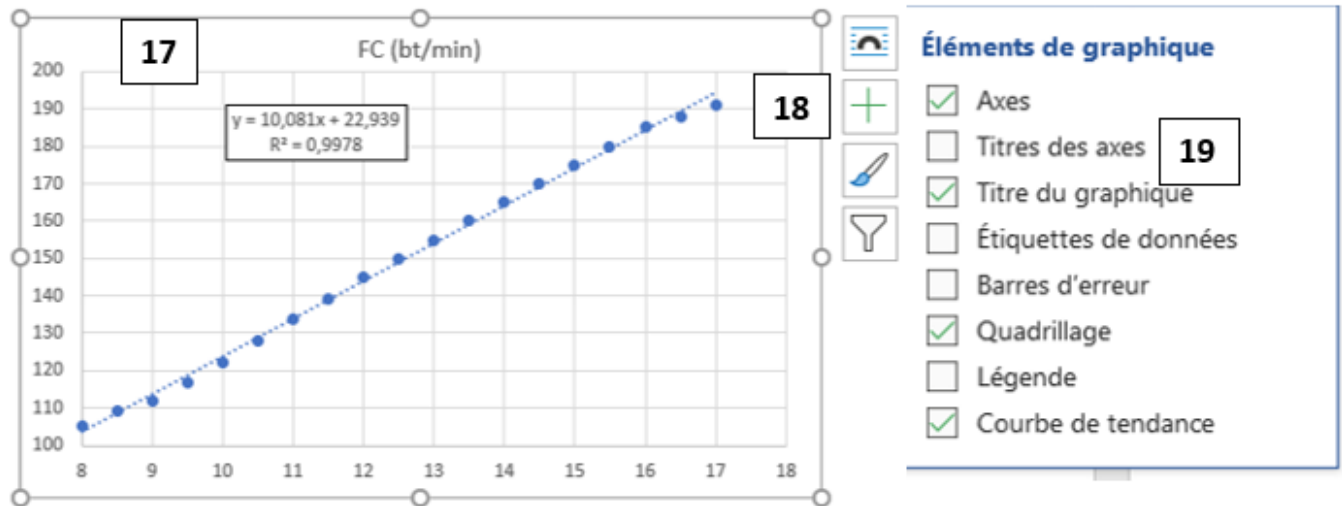


Connaissant la valeur de x (vitesse), il suffit de multiplier cette vitesse par 10,081 et ajouter 22.939 pour obtenir la FC correspondante. Par exemple avec une vitesse de 16 km/h la FC correspondante sera de 184 bt/min pour ce sujet. Pour faire l'opération inverse, obtenir la vitesse pour une FC donnée, dès le départ, changer l'ordre des colonnes des valeurs « 16 » et suivre alors exactement la même démarche !

16 f_x FC (bt/mi)

B	C
FC (bt/min)	Vitesse (km/h)
105	8
109	8,5
112	9
117	9,5
122	10
128	10,5
134	11
139	11,5
145	12
150	12,5
155	13
160	13,5
165	14
170	14,5
175	15
180	15,5
185	16
188	16,5
191	17

Pour achever la figure « 15 », il convient de replacer du bon côté les légendes des valeurs. Pour ce faire, cliquer sur la zone de traçage : pleine figure, quatre petits carrés s'affichent sur le côté droit de la figure « 18 ». Choisir celui avec la croix puis ensuite « titres des axes » : « 19 »

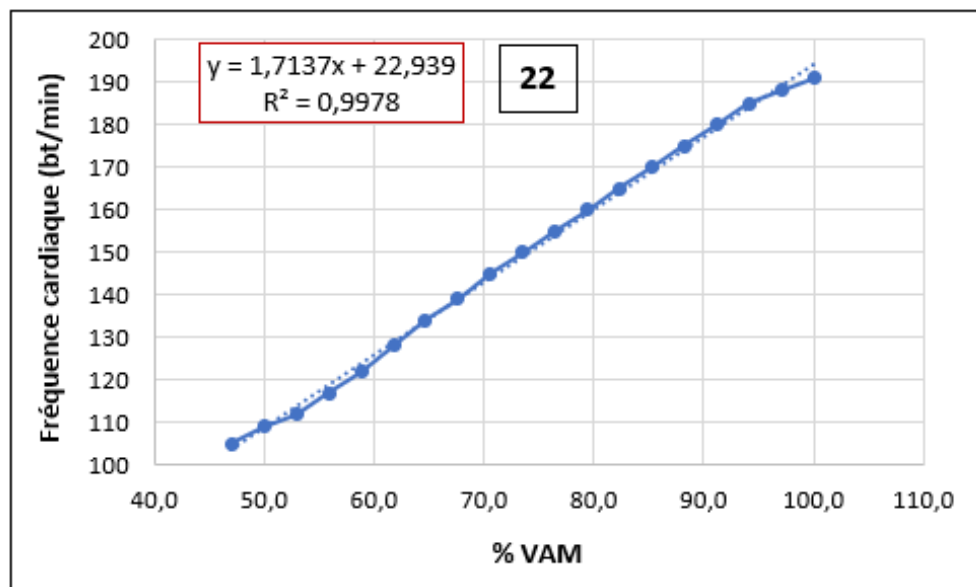


La figure 20 est la figure finale à laquelle vous devez arriver si vous suivez correctement la chronologie des différentes actions recommandées.

Dans cette figure, les valeurs sont exprimées dans leurs unités brutes : vitesse en km/h et FC en battements/minutes. Souvent les médecins du sport et les préparateurs physiques préfèrent les exprimer en valeurs relatives : % de la FC max ou/et % VAM. Pour ce faire il suffit de reprendre les tableaux initiaux : 21, 23, 25 et de convertir ces valeurs en % de max en utilisant la formule : Commencez par le signe = et ouvrir une parenthèse, =(première valeur de la colonne correspondante par exemple A2 pour la vitesse 8 km/h divisée par la valeur maximale ici 17km/h) * 100. Suivons les trois exemples des tableaux 21, 23 et 25.

Graphique 5 21

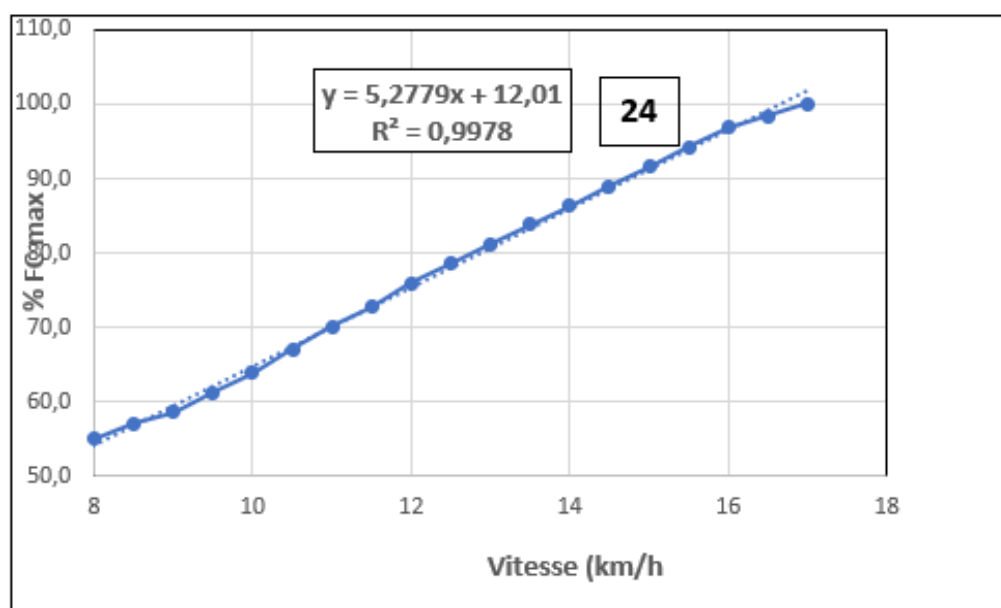
	A	B	C	D	E	F
1	Vitesse (km/h)	FC (bt/min)	% VAM	FC (bt/min)	Vitesse (km/h)	
2	8	105	47,1	105	8	47,1
3	8,5	109	50	109	8,5	50,0
4	9	112	52,9	112	9	52,9
5	9,5	117	55,9	117	9,5	55,9
6	10	122	58,8	122	10	58,8
7	10,5	128	61,8	128	10,5	61,8
8	11	134	64,7	134	11	64,7
9	11,5	139	67,6	139	11,5	67,6
10	12	145	70,6	145	12	70,6
11	12,5	150	73,5	150	12,5	73,5
12	13	155	76,5	155	13	76,5
13	13,5	160	79,4	160	13,5	79,4
14	14	165	82,4	165	14	82,4
15	14,5	170	85,3	170	14,5	85,3
16	15	175	88,2	175	15	88,2
17	15,5	180	91,2	180	15,5	91,2
18	16	185	94,1	185	16	94,1
19	16,5	188	97,1	188	16,5	97,1
20	17	191	100	191	17	100,0
21						



EXEMPLE 1 : Tableau 21, comment exprimer la vitesse en % de la VAM ici 17 km/h : $= (A2/17) * 100$. En étirant le résultat obtenu de la case A2 (petit carré au bas à droite de cette case) jusqu'à la case terminale A20, vous obtenez tous les pourcentages correspondants, ici colonne « C ». Vous pouvez alors tracer votre figure : figure « 22 ».

Graphique 6 23					
	A	B	C	D	E
1	Vitesse (km/h)	FC (bt/min)	% FC max	% VAM	FC (bt/min)
2	8	105	55,0	47,1	105
3	8,5	109	57,1	50	109
4	9	112	58,6	52,9	112
5	9,5	117	61,3	55,9	117
6	10	122	63,9	58,8	122
7	10,5	128	67,0	61,8	128
8	11	134	70,2	64,7	134
9	11,5	139	72,8	67,6	139
10	12	145	75,9	70,6	145
11	12,5	150	78,5	73,5	150
12	13	155	81,2	76,5	155
13	13,5	160	83,8	79,4	160
14	14	165	86,4	82,4	165
15	14,5	170	89,0	85,3	170
16	15	175	91,6	88,2	175
17	15,5	180	94,2	91,2	180
18	16	185	96,9	94,1	185
19	16,5	188	98,4	97,1	188
20	17	191	100,0	100	191
21					

EXEMPLE 2 : Petit exercice : à quel pourcentage de la FC max correspond une vitesse de 14 km/h pour ce sujet ?



Graphique 5 **25** x ✓ fx

	A	B	C	D	E
1	FC (bt/min)	Vitesse (km/h)	% VAM	% Fcmax	FC (bt/min)
2	105	8	47,1	55,0	105
3	109	8,5	50,0	57,1	109
4	112	9	52,9	58,6	112
5	117	9,5	55,9	61,3	117
6	122	10	58,8	63,9	122
7	128	10,5	61,8	67,0	128
8	134	11	64,7	70,2	134
9	139	11,5	67,6	72,8	139
10	145	12	70,6	75,9	145
11	150	12,5	73,5	78,5	150
12	155	13	76,5	81,2	155
13	160	13,5	79,4	83,8	160
14	165	14	82,4	86,4	165
15	170	14,5	85,3	89,0	170
16	175	15	88,2	91,6	175
17	180	15,5	91,2	94,2	180
18	185	16	94,1	96,9	185
19	188	16,5	97,1	98,4	188
20	191	17	100,0	100,0	191

EXEMPLE 3 : Même petit exercice que pour la figure 24.

Nous pouvons remarquer déjà sur le tableau les correspondances entre % de VAM et % de FC max. Pour plus de précision nous pouvons utiliser l'équation de la figure 26. Par exemple courir à 80% de sa VAM correspond à 83.8 % de la FC max pour ce sujet .

