

SIGNIFICATION ET RÔLE DE LA FRÉQUENCE CARDIAQUE DANS L'ENTRAÎNEMENT AÉROBIE

Par Georges GACON - CardiSport DIJON

Depuis quelques années, grâce aux progrès technologiques, la mise au point de cardio-fréquencemètres miniaturisés a relancé l'intérêt des entraîneurs pour la mesure et l'utilisation de la fréquence cardiaque, tant à l'entraînement qu'en compétition. S'il est classiquement admis que la fréquence cardiaque est l'un des témoins internes des charges aérobies très facilement maîtrisable, sa mesure par palpation reste trop imprécise pour être une donnée valide. La miniaturisation des appareils de mesure a surtout permis de pouvoir les utiliser sur le terrain et même lors des grandes compétitions sans risquer d'altérer la performance des sportifs.

Par ailleurs, au-delà de la simple mesure, la création d'outils informatiques, permettant de capter puis de traiter en temps réel toutes ces données, renforce encore cet intérêt. Certains logiciels vont aider les entraîneurs à concevoir leurs programmes de travail en s'appuyant sur une meilleure observation des effets des séances de travail.

1. SIGNIFICATION DE LA FREQUENCE CARDIAQUE DANS L'ENTRAÎNEMENT

Il est clair que la fréquence cardiaque ne peut à elle seule garantir une vision exhaustive des possibilités de performance du sportif. De nombreux facteurs peuvent agir sur la fréquence cardiaque puisqu'elle est sous le contrôle d'influences, hormonales et nerveuses. La vigilance, la concentration, ou le stress, l'émotion, la posture, les groupes musculaires engagés, les modalités de travail, le type de contraction, peuvent modifier les réponses. Par ailleurs, les conditions ambiantes telles que: l'altitude, (pression atmosphérique), le degré d'humidité, la température (extérieure et corporelle), le froid, le vent, la pluie peuvent augmenter la difficulté du travail et modifier aussi les réponses.

Malgré cela, nous verrons que la fréquence cardiaque est tout de même un indice capable de fournir des indications cohérentes à l'entraîneur.

2. EXPRESSIONS CLASSIQUES DE LA FREQUENCE CARDIAQUE

D'une manière générale la fréquence cardiaque peut s'exprimer par les quatre aspects suivants:

• 2.1 La fréquence cardiaque de repos

Les sportifs de haut niveau ont une fréquence cardiaque de repos extrêmement basse, inférieure à 40 puls/mn ou même moins. C'est le fruit des processus d'adaptation tels que la réduction de la fréquence intrinsèque du noeud sinusal, associée aux influences du système nerveux autonome. Cependant son utilisation directe au titre de l'entraînement n'est guère possible. Disposer d'une F.C. de repos la plus basse possible constitue un atout nécessaire mais pas suffisant pour extrapoler ce qui va se passer à un niveau supérieur.

• 2.2 La fréquence cardiaque maximale

La fréquence cardiaque maximale permet de matérialiser la limite supérieure de la performance de la pompe cardiaque. Elle est légèrement moins élevée chez les athlètes de haut niveau que chez les sujets sédentaires et diminue régulièrement avec l'âge d'où la célèbre règle d'ASTRAND (F.C. max. = 220 - Age). Toutefois lorsqu'on extrapole la relation F.C. / VO₂ jusqu'à F.C. MAX, on suppose que la fréquence cardiaque maximale est identique pour tous les individus du même âge, ce qui n'est pas toujours le cas. En conséquence, pour certains, l'extrapolation sera trop grande et pour d'autres trop petite, donc surestimant ou sous-estimant le degré de sollicitation de la puissance maximale aérobie. Cette formule n'est pas conseillée pour le haut niveau mais reste valable au plan scolaire ou chez le sportif passionné.

Sa mesure par palpation n'est pas facile puisque la fréquence cardiaque descend très rapidement dès l'arrêt de l'effort. En effet, en plus de l'erreur manuelle s'ajoute sa variation continue lors de la phase de récupération. On préconise sa mesure sur 6 secondes ce qui est un compromis satisfaisant mais l'idéal reste le cardio-fréquencemètre.

Il ne faut pas compter sur la F.C. maximale pour prédire les performances, elle ne fournit aucune indication précise.

• 2.3 La fréquence cardiaque d'effort

L'observation de l'évolution de la fréquence cardiaque enregistrée lors des efforts aérobies, d'intensité sub-maximale à maximale, est indispensable pour observer l'efficacité du système cardio-vasculaire et fournir des indications utiles pour la conception des charges d'entraînement.

• 2.4 La fréquence cardiaque au cours de la récupération

L'observation du retour à la normale de la fréquence cardiaque, dès l'arrêt de l'exercice, est un indice intéressant pour vérifier l'adéquation entre les variables de la charge et la réponse du sportif. Elle montre ainsi, l'impact des ajustements cardio-vasculaires. Concrètement la récupération peut prendre différentes formes, avec une activité modérée (appelées actives), d'autres sans activité proprement dite, marche ou étirement (appelées passives), et sous forme mixte c'est à dire en combinant les deux. De ce fait il est important de ne comparer que des récupérations de même type.

3. LES PRECAUTIONS D'UTILISATION ET CONDITIONS DE VALIDITÉ

Il n'est pas suffisant de mesurer la fréquence cardiaque pour l'utiliser sans réserve dans le cadre de l'entraînement. Pour être exploitables, les mesures doivent avoir été réalisées dans un cadre précis qu'il convient de spécifier:

• 3.1 Conditions sine qua non de validité

3.1.1 Première condition : implication majeure du système aérobie

La fréquence cardiaque est l'expression de la vitesse de rotation de la pompe cardiaque, l'un des maillons essentiels du métabolisme aérobie. Il est donc impératif que ce métabolisme

soit fortement impliqué pour qu'elle puisse fournir des renseignements valables sur le degré de sollicitation de celui-ci.

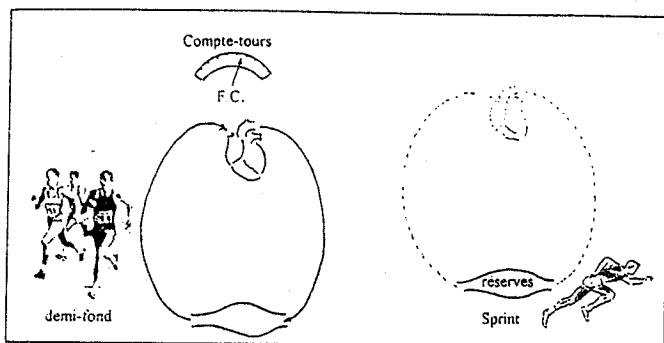


Figure 1 : représentation simplifiée des 2 grands types de systèmes énergétiques. La F.C. est principalement impliquée en demi-fond et le fond.

Pour le sprint l'organisme fonctionne directement avec ses réserves intra-musculaires et peut se passer momentanément du système aérobie qui n'interviendra que pendant la récupération.

3.1.2 Deuxième condition : référence à la relation fréquence cardiaque / vitesse.

Les physiologistes ont démontré que les fréquences cardiaques ne sont valides qu'à titre individuel. A partir de là, il faut être extrêmement prudent lorsqu'on veut tirer des conclusions à partir de données de sujets de condition physique et ou d'âges différents, en dehors du fait qu'un sujet entraîné possède une économie fonctionnelle supérieure au débutant. Or il ne faut pas perdre de vue que les enregistrements des fréquences cardiaques n'ont d'intérêt que s'ils sont au service de l'entraîneur, ce qui est le cas lorsqu'on peut les mettre en relation avec les vitesses ou intensités des efforts. Or cela n'est possible que si l'on connaît les caractéristiques fonctionnelles du sportif en question à partir d'un étalonnage de ses possibilités aérobies. A cet effet il existe toute une batterie de tests de laboratoire ou de terrain.

Quel que soit l'âge et le sexe, la fréquence cardiaque et la puissance d'un exercice sont liés mathématiquement. D'une manière générale, à partir de 120 pulsations par minute, la fréquence cardiaque augmente de façon linéaire en fonction de la puissance de l'effort mais à l'approche de sa puissance maximale aérobie, la linéarité s'altère plus ou moins suivant ses capacités. La relation quasi linéaire, "fréquence cardiaque/ vitesse" permet, lorsque le sportif exécute un effort dans des conditions de stabilité, l'appréciation du degré de sollicitation de l'effort aérobie maximal.

L'intégration de la relation " F.C./ Vitesse " est au centre de la méthode Pro.Pulsés. Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON.

Chaque relation F.C. / puissance (intensité) exprime l'efficacité du potentiel maximal aérobie d'un sportif et varie d'un individu à l'autre. En conséquence, un entraînement aérobie de qualité doit utiliser pour adapter correctement les charges aux potentialités. Un tel suivi est surtout intéressant pour des athlètes à vocation nationale, toutefois si l'on a les moyens de le faire aussi dans les écoles d'athlétisme, c'est idéal.

Dans l'exemple ci-dessous on peut remarquer l'excellente linéarité F.C./ vitesse chez l'athlète de haut niveau (Fig 2a) avec une inclinaison très horizontale de la pente des droites, par contre chez le débutant, (Fig 2b) la relation F.C. / Vitesse est caractérisée par 2 droites distinctes et beaucoup plus verticales. Cela signifie que, pour une élévation de vitesse donnée, la fréquence cardiaque augmente plus rapidement chez le débutant. Par exemple, un km/h peut coûter 10 pulsations chez un coureur confirmé, et le double chez un débutant. Cette relation est donc l'expression de l'efficacité du système cardio-vasculaire. Lors des tests d'évaluation de la vitesse maximale aérobie, on voit que le taux de croissance de la fréquence cardiaque pour une augmentation de vitesse donnée est plus grand chez le débutant, ce qui le contraint à atteindre rapidement sa fréquence cardiaque maximale et à s'arrêter prématurément. On comprend alors, qu'un entraînement aérobie bien conduit tend à abaisser cette pente.

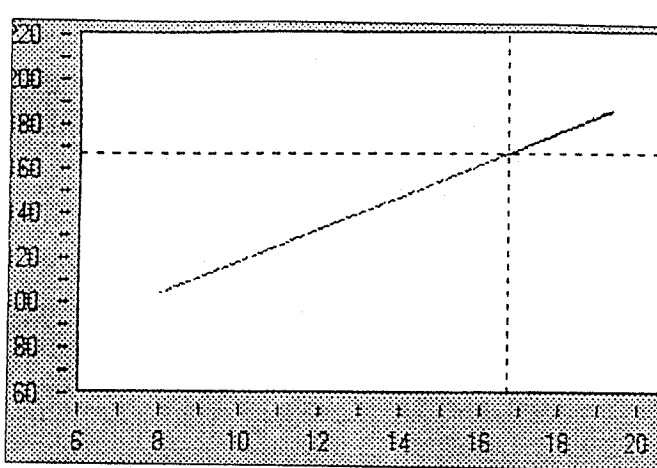


Figure 2 a : relation fréquence / vitesse chez une athlète de haut niveau (demi fond).

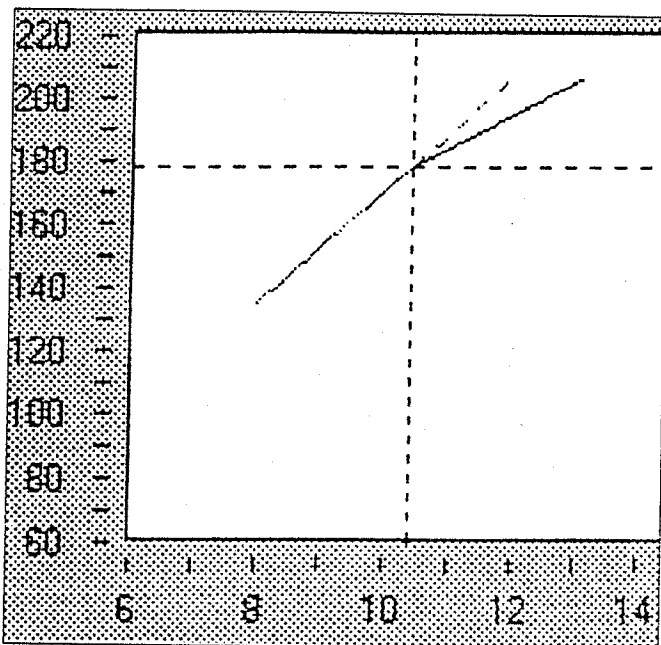


Figure 2 b : relation fréquence / vitesse chez un débutant.

• 3.2 Aspects généraux

Les caractéristiques fonctionnelles du système aérobie exigent un certain délai pour fonctionner correctement. Ce délai est généralement appelé phase d'installation et dure plus ou moins longtemps suivant les cas (Cf. Fig. 3 & 4). Lors de cette phase on constate une élévation plus ou moins verticale de la fréquence cardiaque qui est due aux phénomènes d'anticipation de l'effort physique. On peut comparer cela avec le décollage d'un avion qui met la pleine puissance freins bloqués pour partir plus sec. Les sujets entraînés font preuve de plus d'efficacité que les non entraînés et c'est lors des compétitions que l'anticipation est la plus marquée.

Que l'effort soit continu (Fig 3a) ou intermittent (Fig 3b), il est caractérisé par 3 phases. La première phase est la montée en régime, progressive, de la fréquence cardiaque et du fait de l'inertie du système aérobie. On peut voir qu'elle dure une à plusieurs minutes suivant les cas de figures, ensuite l'évolution tend vers un régime de croisière plus ou moins stable puis, dès l'arrêt de l'effort, c'est le retour à la normale.

D'un point de vue technique, ces 3 phases n'ont pas le même degré de validité, ce sont surtout les 2 dernières qui ont le plus d'intérêt.

■ Première phase observable : le régime de croisière.

C'est la partie stabilisée des valeurs sur laquelle l'entraîneur peut commencer à raisonner et situer le degré de difficulté d'un effort, notamment s'il dispose des données sur l'étalonnage du sportif considéré.

Figure 3 : Evolution de la fréquence cardiaque au cours de 2 types d'efforts.

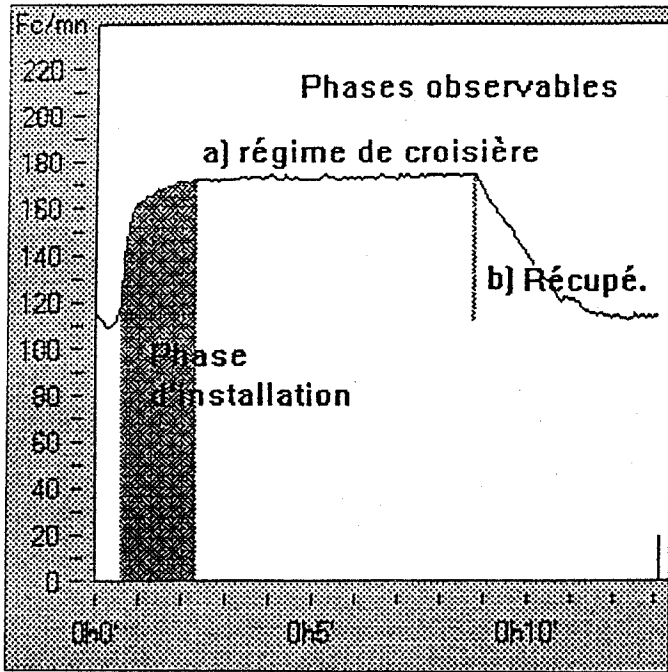


Fig.3 a : continu .

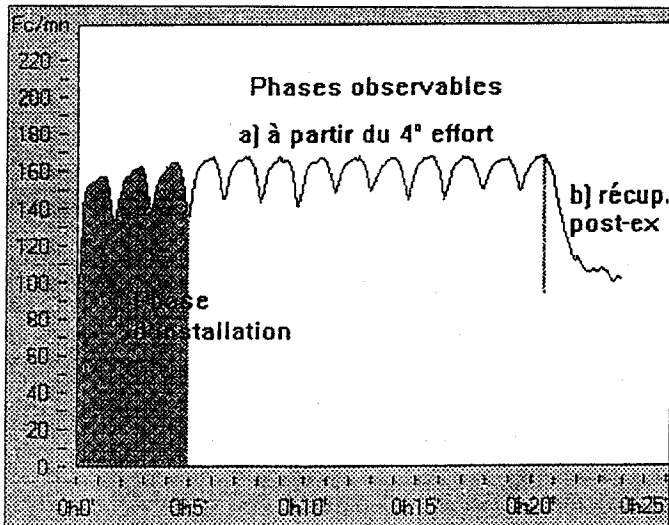


Fig 3 b : intermittent exécutés à intensité régulière. (Pro.Pulses 2.0 Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON)

■ Deuxième phase observable: la récupération post exercice

C'est la phase consécutive à l'arrêt de l'effort, elle permet à l'entraîneur d'observer la qualité de la récupération post-exercice, plus celle-ci est verticale, meilleure elle est. D'un point de vue technique on a l'habitude de l'objectiver par l'amplitude de la diminution de la fréquence cardiaque au cours de la première minute de la récupération. Toutefois il est possible de choisir n'importe quel autre temps de référence. Par ailleurs, pour être précis, il convient de prendre en compte si la récupération est passive ou active. Le suivi de celles-ci avec le logiciel Pro.Pulses 1.0 ou 2.0 sous windows est très facile et possède l'avantage d'être mise en mémoire dans le fichier des fréquences cardiaques.

□ Fréquence cardiaque et durée de l'effort.

Comme nous venons de le voir dans le paragraphe précédent à propos de la phase d'installation, la validité des fréquences cardiaques enregistrées est étroitement liée à la durée de l'effort. La durée de l'exercice doit permettre l'obtention d'une série de valeurs stabilisées, ce qui n'est jamais le cas lorsque les efforts sont brefs.

Envisageons le cas d'une série d'exercices de 500 mètres, il est facile de voir que la fréquence cardiaque monte en régime du début à la fin de l'exercice et n'a pas le temps de se stabiliser.

Dans cet exemple où les vitesses de course sont supérieures à la vitesse maximale aérobie, il est clair que l'implication du métabolisme anaérobie est certaine, dans ces conditions, l'observation doit porter sur l'homogénéité des valeurs de crête ou de creux, sans pouvoir toutefois les corrélérer à la relation F.C./vitesse extraite de l'étalonnage aérobie du coureur.

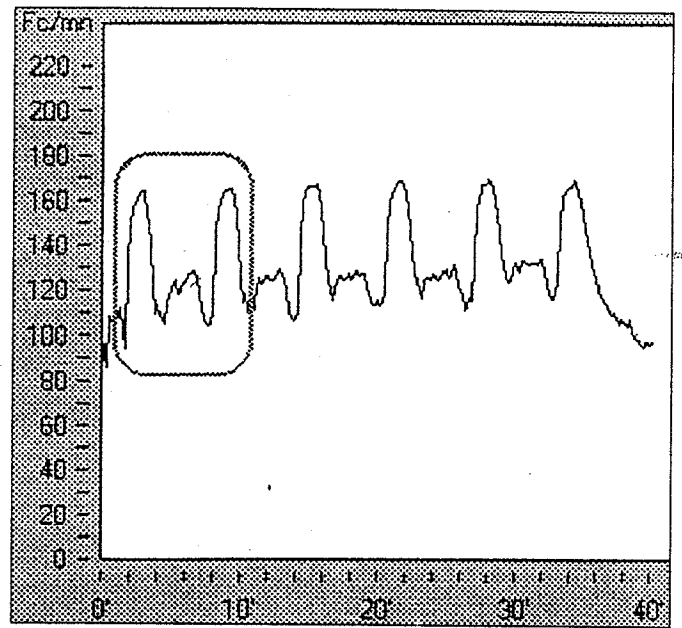


Figure 4 a

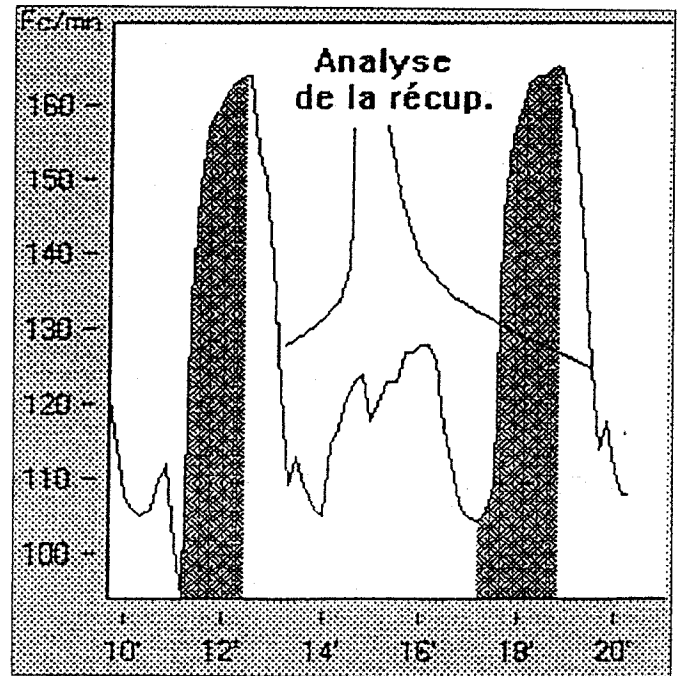


Figure 4 b : zoom des 2 premiers 500.

Figure 4 : Evolution de la F.C. au cours d'une série de 500 mètres parcourus à une vitesse supérieure à sa propre VMA. (Pro.Pulses 1.0 Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON)

L'observation des phases de récupération reste valable avec notamment l'analyse des indices techniques de récupération (ITRA; active ou ITRP, passive) qui permet de quantifier la qualité du retour à la normale. Cf. chapitre 4.

Par ailleurs, il est important de ne pas faire l'amalgame avec le travail intermittent qui peut solliciter le métabolisme aérobie sans faire appel à l'anaérobie (Cf. le paragraphe spécial).

■ Mesures en sprint. Dans le cas d'exercices très intenses de type maximal à submaximal, il est courant d'observer une augmentation de la fréquence cardiaque après l'arrêt de l'effort, donc là encore prudence dans les diagnostics.

□ Fréquence cardiaque et surchauffe

Lorsque l'effort est constant, la fréquence cardiaque se stabilise à un niveau qui sera le sien pendant toute la durée de l'effort, toutefois si l'effort est intense et de très longue durée, l'organisme doit résoudre un double problème. Il doit d'une part, répondre aux besoins métaboliques et d'autre part, faire face à la thermolyse en dissipant la chaleur et d'autant plus que l'effort est intense. Dans ces conditions il se produit une dérive cardio-vasculaire qu'il ne faut pas forcément assimiler à la dérive pulsative. Ainsi il n'est pas rare d'arriver à sa fréquence cardiaque maximale lors d'un marathon alors que l'intensité se situe aux alentours de 80% de la vitesse maximale aérobie.

□ Fréquence cardiaque et efforts intermittents

Les exercices intermittents sont caractérisés d'une part, au niveau de leurs formes par des exercices de courtes durées et qui s'enchaînent rapidement, avec récupération généralement active ou passive chez le débutant et d'autre part au niveau physiologique, par une sollicitation majeure du métabolisme aérobie. Les exercices "intermittents" tels que nous les avons définis dans le n°130 de la Revue AEFA, sont surtout spécialisés dans le développement de la puissance maximale aérobie. Il s'agit de soumettre le système cardio-vasculaire à une charge maximale aérobie, donc de maintenir pendant toute la durée de l'effort, un rythme cardiaque maximal (ou presque) tout en ne sollicitant que très modérément le système lactique. Dans ces conditions, en plus de l'examen global des crêtes avec l'examen de la dérive pulsative d'effort et des creux avec la dérive de récupération qui permet de juger l'homogénéité du travail, on peut aussi évaluer le pourcentage de sollicitation de la puissance maximale aérobie. On peut cibler facilement une zone de croisière entre les pics et les creux.

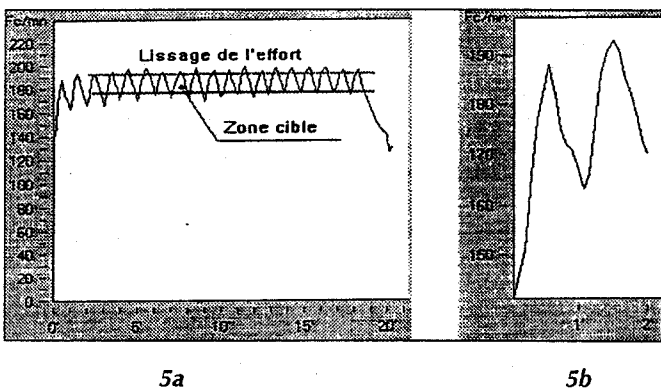


Figure 5 : Exercice intermittent de type 30/30 sur 18 minutes. Pro.Pulses 1.0 - Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON

Le zoom de la figure 5a permet de voir qu'il n'est pas possible de raisonner sur un cycle travail/repos (figure 5b). On peut remarquer que la fréquence cardiaque est, soit en phase de montée en régime (effort proprement dit), soit en phase de descente (récupération) et qu'elle n'a jamais le temps de se stabiliser dans un sens comme dans l'autre lors du micro effort isolé.

Par ailleurs, on sait que pour une intensité donnée, un travail intermittent requiert une fréquence cardiaque moyenne plus basse qu'un travail continu par exemple, il est donc recommandé d'en tenir compte si l'on a à comparer plusieurs types d'entraînement.

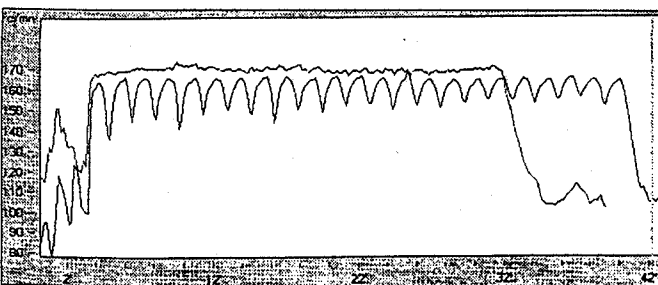


Figure 6 : superposition de la fréquence cardiaque d'une compétition de cross-country et d'un entraînement intermittent réalisés pratiquement à la même vitesse. (Pro.Pulses 1.0 - Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON).

En conséquence, si l'on veut s'approcher des conditions de compétition avec du travail intermittent, il faut travailler plus vite que la vitesse spécifique continue.

□ Fréquence cardiaque et efforts mixtes

Dans ce cas de figure, on s'attache surtout à la comparaison d'exercices ou de série d'exercices de thème identique. La figure ci-après montre la superposition de 2 exercices de bondissements à puissance maximale aérobie. Malgré la différence de forme, il est possible de se faire une opinion sur le niveau et la qualité du travail.

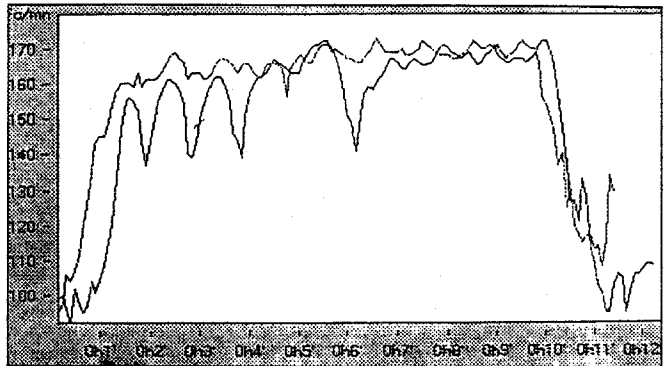


Figure 7 : superposition de la fréquence cardiaque de 2 exercices de musculation spécifique (Pro.Pulses 1.0 - Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON).

□ Fréquence cardiaque et groupes musculaires sollicités

Pour une intensité sub-maximale donnée, on sait que la fréquence cardiaque est plus élevée si l'exercice est réalisé avec les membres supérieurs comparativement aux membres inférieurs. Par contre la fréquence cardiaque plafonne plus rapidement si l'exercice est réalisé avec les membres supérieurs.

D'autre part, la perception de l'effort est plus élevée lorsque l'exercice est exécuté avec les membres supérieurs, ce qui est normal puisque la contrainte métabolique que l'on impose est plus grande.

La corrélation entre le VO₂ max. pour un travail des membres supérieurs et celui pour les membres inférieurs étant faible, il est exclu de se baser sur un test d'évaluation ayant sollicité les membres inférieurs pour l'appliquer aux membres supérieurs. Seul un ergomètre approprié est en mesure de fournir des indications valides. L'entraîneur doit prendre en compte cette différence d'efficacité pour définir correctement les pourcentages d'effort notamment pour les athlètes "handisport".

Le travail maximal des membres supérieurs peut représenter entre 75 et 90% de celui des membres inférieurs.

□ Fréquence cardiaque et dérive pulsative.

Au niveau du suivi de l'entraînement, l'examen de la dérive pulsative peut apporter des renseignements particulièrement utiles à l'entraîneur. Témoin interne du degré d'assimilation de l'exercice, elle devient un facteur à prendre en considération pour l'élaboration des charges. On doit la considérer comme un véritable régulateur de la densité des charges. Il est clair que les exercices doivent s'enchaîner avec le minimum de temps mais à condition que le sportif soit en mesure de les assimiler. Ainsi l'efficacité de l'entraînement est grandement influencée par le volume de travail que le sportif effectue dans des conditions stables c'est à dire d'adaptation optimale et qui se caractérisent par des récupérations pratiquement identiques. A ce sujet le logiciel "Propulses 1.0" de CardiSport permet d'objectiver ce phénomène.

Cette dérive se produit sous 2 formes:

- la dérive d'effort qui concerne les fréquences de crête atteintes (effort).
- la dérive de récupération qui concerne les fréquences de creux (récupération).

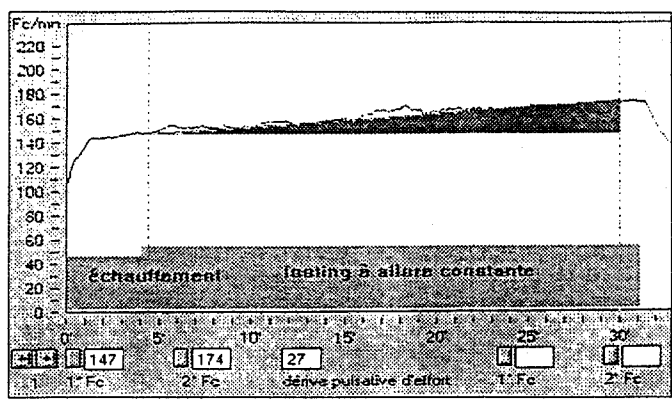


Figure 8 : dérive pulsative d'effort enregistrée lors d'un footing de sportif (Pro.Pulses 1.0 - Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON). La dérive d'effort est manifeste, elle montre la mauvaise condition physique du sportif.

Cette dérive peut se produire quelle que soit la forme du travail et se rencontre aussi lors des exercices intermittents.

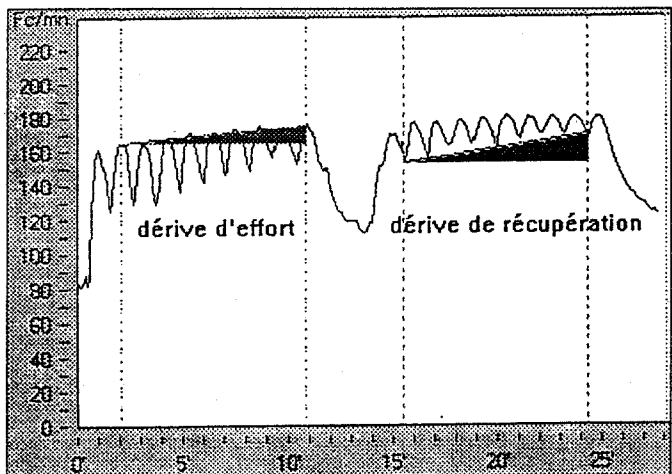


Figure 9 : Exercices intermittents chez un sportif de haut niveau mais dont l'effort est au-delà de ses possibilités du moment. (Pro.Pulses 1.0 - Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON).

La dérive cardiaque est un indice de dysfonctionnement dû à la fatigue, et comme cette dérive précède la baisse de vitesse, elle peut constituer un excellent signal d'alerte et indiquer la limite tolérable par le sportif.

4. La mise en phase " fréquence cardiaque - vitesse de déplacement ", clé de l'observation

L'observation conjointe du profil de la vitesse de déplacement (ou de l'intensité) et de la fréquence cardiaque est capitale pour valider les observations de l'entraînement et tirer des enseignements utiles pour l'élaboration des charges.

Quatre situations sont courantes:

- celles où les ajustements de la fréquence cardiaque sont proportionnels à la vitesse de course
- celles où l'athlète court à une vitesse limite mais concède un décrochage pulsatif
- celles où l'athlète court au train mais concède une dérive pulsative
- celles où l'athlète stabilise sa fréquence cardiaque mais en réduisant sa vitesse

Il est tout à fait possible que ces situations puissent se combiner partiellement lors d'un même effort. D'ailleurs 3 d'exemples vont suffire pour les illustrer :

• 4.1 Premier exemple : footing chez un sportif de condition physique médiocre

On observe dans la première partie une forte dérive pulsative qui le conduit rapidement vers une fréquence cardiaque élevée, pendant 25 à 30 minutes il a réussi à maintenir à peu près constante sa vitesse de course, mais par la suite il a dû réduire sa vitesse pour ralentir la croissance de la dérive. Pour terminer le footing il devait absolument arrêter la progression de la dérive pulsative. Ce qu'il a fait en ajustant sa vitesse sur la fréquence cardiaque affichée sur le cardio-fréquence-mètre, et sa perte de vitesse a été proche d'un demi-kilomètre-heure.

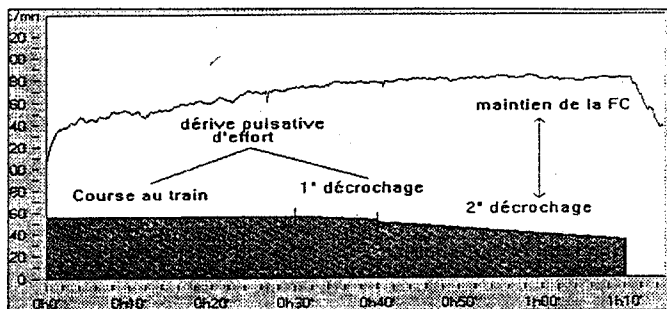


Figure 10 : footing d'un athlète à court d'entraînement et par forte chaleur, sa vitesse chute. (Pro.Pulses 1.0 ou 2.0 - Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON).

• 4.2 Deuxième exemple : compétition de cross chez un athlète confirmé

Le cross exige une vitesse de course légèrement inférieure à la vitesse maximale aérobie mais que l'on peut qualifier de vitesse limite car elle est de forte intensité.

Donc il est courant qu'un athlète soit légèrement en sur-régime et qu'il doive revoir son projet à la baisse car il ne pourra tenir jusqu'au bout à une telle vitesse. Pour cela il baisse son régime de croisière comme le ferait un pilote automobile en se basant sur son compte-tours.

On appelle ce phénomène un décrochage pulsatif, il est fonction de l'amplitude du sur-régime.

Ce type de réponse est classique même chez l'athlète de haut niveau, en effet lors des championnats du monde de cross-country à Varsovie, deux athlètes qui portaient des cardio-fréquence-mètres ont eu un profil tout à fait comparable à celui-ci.

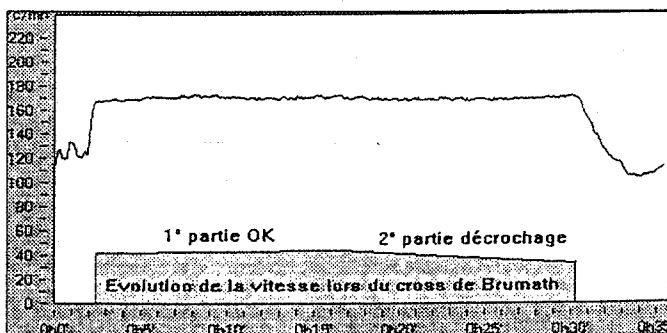


Figure 11 : compétition de cross. Pour terminer il ne peut conserver son régime de départ et doit réduire sa fréquence cardiaque de croisière ainsi que sa vitesse. (Pro.Pulses 1.0 ou 2.0 Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON).

• 4.3 Troisième exemple : fréquence cardiaque est proportionnelle à celle de la vitesse de course

L'observation conjointe de la vitesse de course et de la fréquence cardiaque est recommandée.

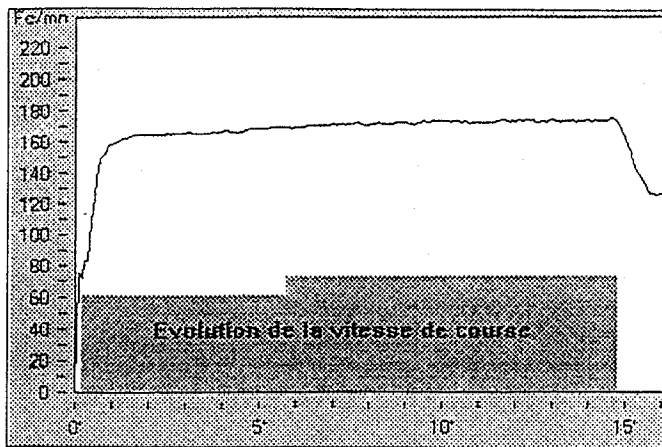


Figure 12 : Effort de 5000 mètres en 2 paliers de vitesse, la F.C. suit la variation de la vitesse. (Pro.Pulses 1.0 - Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON).

On voit nettement que la fréquence cardiaque suit la légère accélération de la vitesse sur la deuxième partie du 5000.

□ Fréquence cardiaque et, ou lactates

Dans beaucoup d'esprits, les lactates bénéficient d'une connotation plus scientifique que les fréquences cardiaques. Que faut-il en penser ?

Les fréquences cardiaques sont enregistrées par rapport à l'unité de temps, en l'occurrence la minute et expriment une référence cinétique, il est donc naturel de les faire correspondre directement aux vitesses de déplacement.

La critique principale que l'on peut formuler vis à vis de la lactatémie de fin d'effort est qu'elle ne peut pas rendre compte de la cinétique des lactates lors de l'effort. Il faut bien comprendre aussi, que la lactatémie est l'expression de l'équilibre instantané entre le débit d'apparition et le débit de disparition du lactate dans le sang. Au cours des stages nationaux nous avons procédé à de nombreuses mesures de la lactatémie au cours des entraînements et il faut reconnaître bien humblement que l'interprétation ne fût pas aisée, voir impossible dans certains cas.

Toutefois en ce qui concerne les efforts de longue durée le problème est différent car un état stable a vraiment le temps de s'installer, l'équilibre instantané apparition/disparition des lactates devient utilisable. Si le taux d'accroissement des lactates est nul ($\Delta \text{La}/\text{temps}$) alors la plus grande vitesse avant l'accroissement peut représenter une vitesse de croisière pour le marathonien. En fait elle montre que ce sont les graisses qui sont le carburant.

Il est donc important de distinguer le demi-fond où l'interprétation des lactates reste problématique et le fond où elle regagne de la crédibilité.

5. Fréquence cardiaque et définition des charges aérobies

Parmi les variables qui déterminent les charges, l'intensité est sans doute la plus importante. Dans l'élaboration des charges aérobies il est possible de choisir la fréquence cardiaque comme indice d'intensité de l'effort à condition de connaître la relation mathématique (fréquence cardiaque-vitesse). L'intensité de la charge peut être définie par une fréquence cible que le sportif doit atteindre lors des entraînements. Il existe 3 méthodes pour déterminer cette **fréquence cible**.

• 5.1 Méthode de la fréquence cardiaque maximale

Dans cette méthode, la fréquence cible est calculée d'après un pourcentage de la fréquence cardiaque maximale. Mais il faut savoir que la mesure directe de la fréquence cardiaque maximale, lors d'un test maximal ou lors d'une compétition, n'est pas très facile, par palpation on peut faire des erreurs assez grandes, donc il faut qu'elle soit enregistrée avec un cardio-fréquencemètre. Reste alors la règle d'Astrand des "220 - l'âge" mais il existe de

grandes variations d'un sujet à l'autre. La déviation standard étant voisine de 10 pulsations par minute montre que 50 % des sujets seront plus ou moins surestimés tandis que les autres seront sous-estimés. Malgré des lacunes, cette méthode est très utilisée en milieu scolaire et pour l'entraînement des sportifs passionnés. Par contre pour le haut niveau, il n'est pas souhaitable de l'utiliser même avec un coefficient de variation.

La fréquence cible est calculée simplement à partir de la valeur fréquence cardiaque maximale, il suffit de multiplier la valeur de la FCM par le pourcentage cible souhaité.

Pour FCM=200, une Intensité cible de 80 % = $0,80 \times 200 = 160$ F.C.

• 5.2 Méthode de la fréquence cardiaque maximale de réserve (M. Karvonen)

La fréquence cible est calculée d'après le pourcentage de la fréquence cardiaque de réserve qui est la différence entre la fréquence cardiaque maximale et la fréquence cardiaque de repos.

Pour FCM=200 et F.C. de repos = 60

une Intensité cible de 80 % = $0,80 \times (200-60) + 60 = 172$ F.C.

Cette méthode est plus pointue que la précédente, toutefois se pose alors le problème de la mesure de la fréquence cardiaque de repos. Il est important de toujours la mesurer dans les mêmes conditions et le moment le plus favorable est au réveil juste avant de sortir du lit.

Toutefois lorsqu'on va débiter l'entraînement, on est debout depuis longtemps, échauffé, ce qui se traduit par une fréquence voisine de 90 à 120 pulsations. Dans ces conditions faut-il prendre la fréquence cardiaque de repos ou celle de début de l'entraînement pour calculer la fréquence cardiaque de réserve? Par ailleurs, on sait que la linéarité du rythme cardiaque en fonction de la puissance de l'exercice est surtout valide à partir de 120 pulsations par minute ce qui signifie qu'on prend en compte une zone à forte distorsion.

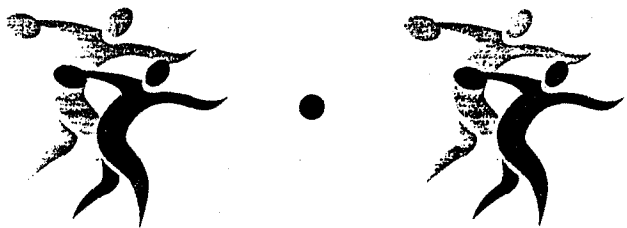
• 5.3 Méthode de l'intégration de la relation " fréquence cardiaque / vitesse" (Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON)

Les divers pourcentages des exercices d'entraînement sont calculés d'après la relation fréquence cardiaque / vitesse, déterminée avec le logiciel Pro.pulses 1.0 ou 2.0 Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON, lors de l'étalonnage du potentiel maximal aérobie du sportif.

Cette méthode est très précise car elle s'appuie sur la prestation cardio-vasculaire du sportif réalisée lors du test étalon. La relation s'exprime par une ou deux pentes qui révèlent la qualité des capacités aérobies du sportif et son niveau d'entraînement, plus elles ont une inclinaison horizontale, meilleure est la condition physique.

Pour une progression de vitesse donnée, le sportif qui a la plus petite élévation de fréquence cardiaque est celui qui possède la plus grande capacité de travail. Par rapport aux méthodes précitées, le calcul du degré de sollicitation du potentiel maximal aérobie.

En effet des sportifs ayant terminé le test d'étalonnage à la même vitesse maximale aérobie peuvent se différencier par des pentes différentes, ce qui va modifier les pourcentages de travail respectifs. Ainsi, on peut réaliser une véritable individualisation de l'entraînement en proposant des charges parfaitement adaptées à chacun, ce qui corrige les critiques des 2 premières méthodes.



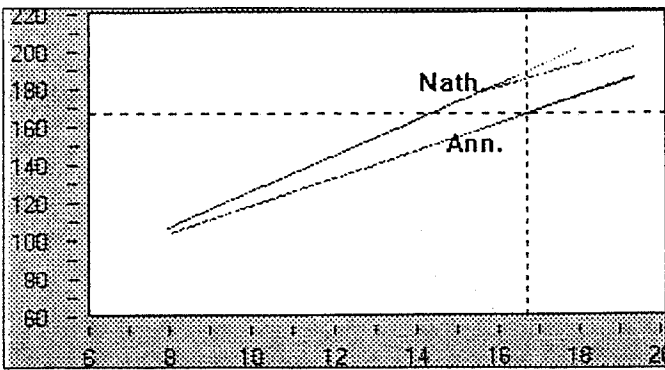


Figure 13 : Comparaison des relations fréquence/vitesse chez deux athlètes ayant réalisé la même vitesse terminale (Pro.Pulses 1.0 Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON)

Il est clair que l'efficacité du système cardio-vasculaire de l'athlète "Ann." est supérieure à l'athlète "Nath.". Le tableau ci dessous montre comment cette différence se traduit concrètement au niveau de l'entraînement. Pour le même pourcentage de sollicitation du système aérobie, l'athlète Ann. peut courir plus vite.

	70%	80%	90%
Ann.	13,4	15,3	17,1
Nath	12,3	14,1	15,8

Comme la différence joue sur plus d'un Km/h, on comprend que l'utilisation de la relation F.C/Vit soit fondamentale.

6. Exploitation des fréquences cardiaques dans l'entraînement

Alors que la lactatémie bénéficie de la mode scientifique, la fréquence cardiaque apparaît plutôt comme une référence désuète, or nous verrons que cela est loin d'être évident et que c'est plutôt le contraire.

• 6.1 Valeur de l'information fournie par la F.C

La superposition du dernier 1000 mètres d'une série de dix au premier de la série démontre que les fréquences cardiaques de ces 2 efforts sont quasiment identiques. Cela prouve à quel point la fréquence cardiaque peut renseigner l'entraîneur sur les réponses adaptatives à l'effort.

Lorsqu'on doit réaliser une série d'efforts de même nature; il est intéressant de vérifier le degré de similitude entre deux ou plusieurs exercices et observer notamment s'il existe (ou pas) une altération due à la fatigue.

Cet exemple n'est pas exceptionnel, bien au contraire il est fréquent chez le coureur de demi-fond.

Pour l'entraîneur, le suivi de la fréquence cardiaque est donc une excellente source de renseignements sur les ajustements cardio-vasculaires, toutefois il faut souligner que les informations apportées sont surtout valides à titre individuel.

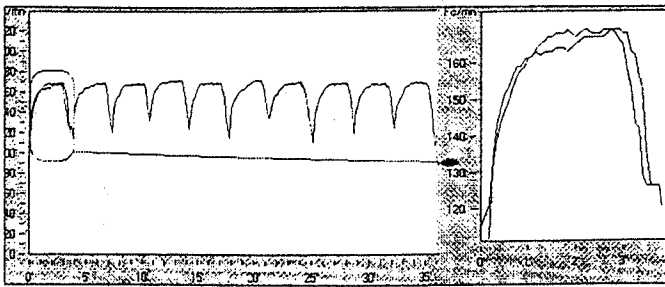


Figure 14 superposition partielle du dernier 1000 sur le premier et zoom (Pro.Pulses 1.0 - Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON).

• 6.2 Effets de l'entraînement sur la fréquence cardiaque

Les effets de l'entraînement sont différents suivant la puissance de l'exercice qui peut être maximal ou sub-maximal.

■ Ralentissement de la fréquence cardiaque pour un effort sub-maximal

L'exemple ci-dessous montre l'évolution de la fréquence cardiaque, enregistrée lors de deux 3000 mètres, consécutive à une période d'entraînement. Le premier enregistrement montre l'existence d'une dérive pulsative d'effort. Un entraînement bien conduit doit supprimer les dérives avant de les rechercher de nouveau pour créer une adaptation de niveau supérieur.

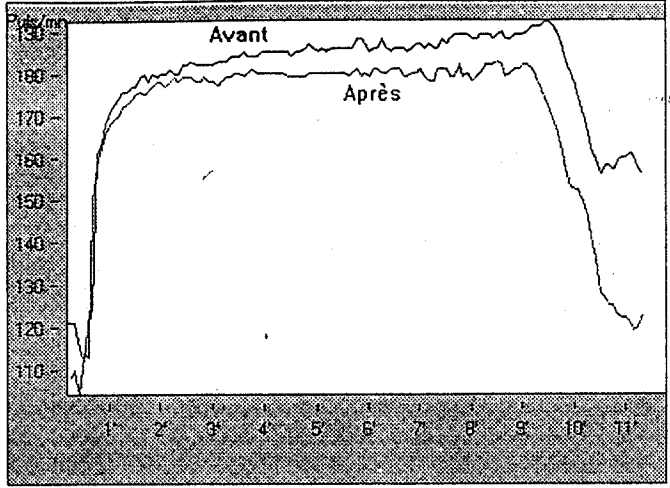


Figure 15 : comparaison de 2 efforts de 3000 mètres chez le même athlète l'un en début de préparation, (Avant) et l'autre après 3 semaines d'entraînement (Pro.Pulses 1.0 - Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON).

Dans cet exemple le premier 3000 mètres a été couru au train en 9'06 et en concédant une dérive d'effort, la F.C de fin étant de 193, après 3 semaines d'entraînement, l'athlète a couru plus vite soit en 8'48, sans dérive et avec une fréquence cardiaque de croisière de 183 pulsations/mn. Ce coureur s'est donc nettement amélioré. L'entraîneur doit rechercher un ralentissement de la fréquence cardiaque d'effort pour la même intensité.

Ce type de réaction adaptative a certainement des répercussions sur la bradycardie de repos mais celle-ci est également influencée par des facteurs génétiques.

■ Au niveau maximal

La fréquence cardiaque maximale ne subit pas beaucoup de variation avec le degré d'entraînement, elle reste identique ou diminue très légèrement.

■ Amélioration de la récupération

L'observation du retour à la normale de la fréquence cardiaque dès l'arrêt de l'exercice est un indice intéressant pour vérifier l'adéquation entre les variables de la charge et la réponse du sportif. Ainsi la réduction de la fréquence cardiaque, exprimée par le nombre de pulsations consécutif à une période d'une minute permet d'apprécier la qualité de performance du système cardio-vasculaire.

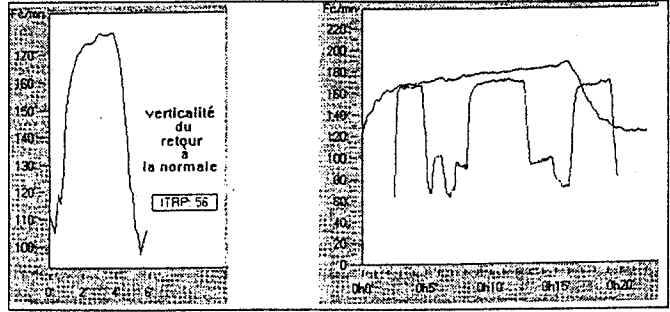


Figure 16: évolution de la fréquence cardiaque au cours d'un exercice de course (16a) et comparaison entre un débutant et un athlète de haut niveau (16 b). (Pro.Pulses 1.0 Copyright 1992 CardiSport & Georges GACON).

L'évolution de la fréquence cardiaque au cours de la récupération est une excellente source de renseignements sur l'ampleur des ajustements cardio-vasculaires et le degré d'assimilation de l'exercice, le calcul de l'indice technique de récupération ITRPassif ou Actif, permet d'avoir un cliché concret du retour à la normale. Sur la figure 16 b, il est facile de voir la différence entre un sportif mal entraîné qui a dérivé sur un footing et dont la récupération est médiocre en comparaison avec celle d'un athlète de haut niveau ayant effectué des efforts de 1500/3000/2000/1000 à allure d'environ 20,7 Km/h soit 91% de sa VMA en phase de préparation du National de cross. Dès l'arrêt de l'effort la fréquence cardiaque chute verticalement de 91 pulsations en une minute lors du 1500 et de 82 lors du 3000 mètres, ce qui est remarquable.

7. Conclusion

Pour se fier à la fréquence cardiaque en établissant les programmes d'entraînement, il est souhaitable de s'appuyer sur étalonnage du rapport F.C./Vitesse, et à condition que celui-ci sollicite les mêmes groupes musculaires et spécifiques de l'activité. Il est primordial que la mesure de la fréquence cardiaque soit aussi reliée à une multitude d'observations techniques pour être cohérente.

C'est seulement au prix de ces conditions que la fréquence cardiaque devient un indice fiable.

Pour les entraîneurs, le point certainement le plus important, est la mesure de la vitesse de déplacement et de la régularité de son profil, et il faut reconnaître bien humblement que cette condition est souvent négligée par les praticiens.

D'autres critères comme la fréquence ou l'amplitude des foulées, qui jouent un rôle sur l'économie de course, peuvent compléter l'observation mais c'est plus compliqué à faire.

Il faut aussi garder à l'esprit que la fréquence cardiaque n'est valide qu'à titre individuel ce qui implique beaucoup de prudence lorsqu'il s'agit de tirer des conclusions à partir de données de sujets d'âge et ou de condition physique différents, en dehors du fait qu'un sujet entraîné possède une économie fonctionnelle supérieure au débutant.

Toutefois malgré ces quelques précautions d'utilisation, il est légitime de penser que la fréquence cardiaque est excellente pour :

- estimer l'efficacité du potentiel maximal aérobie. (réponse au test VMA ou test de BRUE)
- évaluer le degré de sollicitation du métabolisme aérobie, en liaison avec la mesure conjointe de l'intensité de l'exercice.
- évaluer les effets d'un type d'entraînement donné.
- objectiver les facettes de la récupération post-exercice.
- apprécier le degré d'assimilation des exercices.
- élaborer les charges aérobies après intégration de la relation F.C/Vitesse.

BIBLIOGRAPHIE

- Astrand P.O, Rodhal C. : Précis de physiologie de l'exercice musculaire, Paris, Masson, 1960
- Astrand ,I & P.O & coll : Myoglobine as an oxygen-store in man. Acta scand. physiol. vol 48, 1960
- Brue F. : Le test de vitesse maximal aérobie Rapport CERB N°85, 1985
- Brue F., Philippe Y., Léger L. : Une variante du test de piste de l'université de LÉGER & BOUCHER. Bulletin médical de la FFA, 1985
- Fox E.L, Mathews D.K. : Bases physiologiques de l'activité physique, Paris, Vigot, 1984
- Gacon G. : La course d'endurance CRDP DIJON, 1984
- Gacon G. : La notion de dérive pulsative dans le suivi de l'entraînement Revue AEFA n°127, 1992
- Karlsoon J. & Saltin B. : Oxygen deficit and muscle metabolites in intermittent exercise Acta physiol.scand. vol 82, 1971
- Keul J. : The relationship between circulation and metabolism during exercise Med. and sci. in sports Vol5 n°4, 1973
- Lacour J.R., Montmayer A., Dormois D., Gacon G., Padilla S., Viale C. : Validation de l'épreuve de mesure de la vitesse maximale aérobie dans un groupe de coureurs de demi-fond de haut niveau. Science et motricité 1989,7:3/8.
- Léger L. : Test progressif et maximal aérobie de course sur piste de l'université de Montréal.1985.
- Montmayer A., André P. : Informatisation des tests de terrain basés sur la vitesse de course. Rapport CERB n°89-08 & 09, 1985
- Montmayer A., Besson M., Bittone Y., Philippe Y., Brue E. : Protocoles équivalents sur piste et sur tapis roulant pour la détermination de la vitesse maximale aérobie. Rapport CERB n 86-09, 1985
- Péronnet F. : Physiologie appliquée de l'exercice musculaire. Paris VIGOT, 1980.
- Péronnet F. : le Marathon 2 Decarie, Vigot 1991
- Rieu M. & coll. : Bioénergétique de l'exercice musculaire et de l'entraînement physique. P.U.F 1988.
- Rieu M. & Coll. : fréquence cardiaque et exercice physique, Bul. soc. Med. PARIS 1983
- Vollmer J.C. : Données sur la fréquence cardiaque. Doc personnel.

ASSOCIATION DES ENTRAÎNEURS FRANÇAIS D'ATHLÉTISME
AEFA

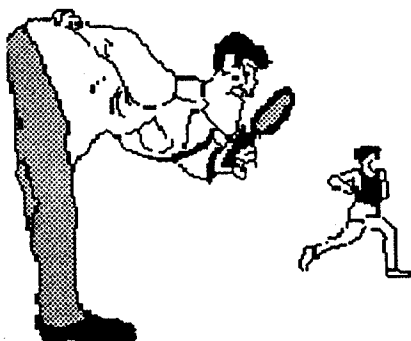
ASSOCIATION DES ENTRAÎNEURS FRANÇAIS D'ATHLÉTISME

Clubs • Athlètes • Dirigeants • animateurs Educateurs • Entraîneurs
passionnés d'athlétisme

Abonnez-vous !

Pour tous renseignements complémentaires voir pages 79-80 de cette revue

BULLETIN TECHNIQUE



Avec ProPulses Endurance, LA CHARGE INTERNE applicable à tous les sports...

PRESENTATION :

ProPulses Endurance est un outil pour l'étude sur le travail aérobique à partir de la cardiofréquencemétrie avec une orientation de développement de la VMA ou PMA.

Il a pour objet l'analyse et l'aide à la décision de cette charge physique aérobique.

LES PRINCIPALES FONCTIONNALITES DE PROPULSES ENDURANCE :

I) L'analyse d'un enregistrement de fréquence cardiaque :

- Des informations statistiques comme :
FC minimum / FC crête
FC moyenne / FC médiane
- Les charges externes et charges internes.
- Répartition zones cibles.
- ITR (indice technique de récupération) :
amplitude du retour à la normale en 1 mn ou autre.
- La dérive pulsative dans l'effort et dans la
récupération.
- Etude des écarts par superposition de courbes ou
parties de courbes.

II) L'étalonnage de tests VMA :

- Exemples : tests de Brue, Leger, Conconi...
- Détermination des charges externes et des charges
internes.

III) Définition et calcul des charges de travail :

■ Le calcul en charge interne pourra être déterminé par l'interrogation d'un test maximal de VMA selon le protocole :

- Incrémentation de la vitesse et durée
des paliers, deux constantes non variables.

EXPLICATIONS DE LA CHARGE EXTERNE ET DE LA CHARGE INTERNE AEROBIE.

La charge externe :

*Elle est évaluée à partir de ce que réalise
l'athlète et elle est indépendante des effets
provoqués.*

*Ce type d'évaluation s'exprime soit de
manière quantitative (nombre d'heures
d'entraînement, nombre de KM parcourus, nombre
de répétitions, soit de manière qualitative en
fonction de l'intensité (vitesse de déplacement,
etc...).*

***Pour aller plus loin ...
Le concept de la
CHARGE INTERNE
par Georges GACON.***



LA CHARGE INTERNE :

validée par Georges GACON, préparateur physique du PSG Football

↳ Concept d'analyses dans la filière aérobie.

Optimisez votre étude du coût de l'effort en dépassant la simple mesure de son intensité grâce à la connaissance de la charge interne qui calcule en fait le coût de l'effort déployé par le système cardio-vasculaire pour faire face aux exigences motrices.

Quand 3 sportifs ayant la même VMA courent à la même vitesse donc à la même charge externe (12 Km/h par exemple), il est peu probable qu'ils le fassent à la même charge interne car le système cardio-vasculaire est propre à chacun, issu d'une histoire et d'une héritabilité différentes.

En effet, ils n'ont pas le même rendement énergétique pour produire leur effort (surcharge pondérale, mauvaise technique d'appuis, etc...).

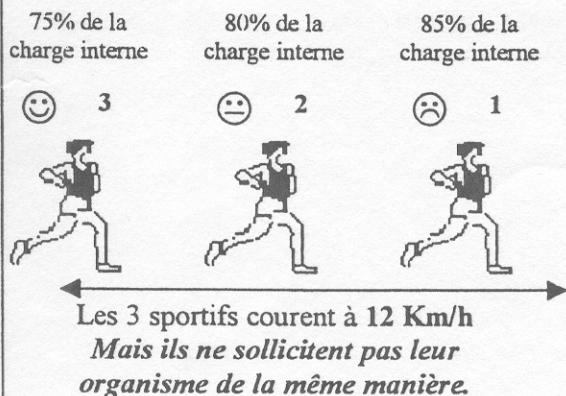
Plus le rendement est faible, plus la charge interne est élevée et plus le rendement est bon, plus la charge interne est faible pour une même charge externe.

A bon rendement, la " déperdition énergétique " sera faible ce qui vaut à une différence entre charge interne et charge externe plus petite.

Ce concept permet une individualisation pour analyser et définir les charges de travail en fonction de l'objectif de la séance et d'autre part de valider si les efforts produits (en entraînement et en compétition) sont bien au % de la charge interne souhaitée.

La prise en compte de la charge interne permet d'éviter les erreurs d'entraînement et les surcharges de travail.

MIEUX COMPRENDRE LA CHARGE INTERNE :



Afin de maintenir un effort équivalent à 80 % de la charge interne :

- Le sportif n° 1 doit courir à 11Km/h
- Le sportif n° 2 doit courir à 12 Km/h
- Le sportif n° 3 doit courir à 13 Km/h

Autrement dit, pour la même vitesse de déplacement, l'un peut s'investir à 75%, l'autre à 80% et le troisième à 85% par exemple.

En fait, ils ne produisent pas le même effort. Si l'objectif est 80% de la charge interne, le premier doit réduire sa vitesse et le troisième l'augmenter.

La mise en relation de ces deux valeurs :

↳ Une même charge externe appliquée à deux sportifs peut se traduire par deux charges internes différentes (ou par la même charge interne). Deux sportifs ne peuvent pas s'entraîner à la même vitesse donc à la même fréquence cardiaque cible.

↳ Bien évidemment cette charge interne est propre à la motricité utilisée, par ailleurs elle évolue aussi, d'une part, avec l'accumulation de la fatigue et d'autre part, avec l'élévation de la forme.

↳ Lorsqu'on augmente par exemple la densité des charges et qu'une charge se fait sur les traces de la charge précédente cela conduit inévitablement à élever plus ou moins fortement la charge interne de la séance même si la charge externe reste la même.