

## Le Cardiofréquencemètre : de la théorie à la pratique

Dr Thierry Laporte\*

L'objectif de cet article est, certes de repreciser l'intérêt de l'utilisation de la fréquence cardiaque en tant que reflet fidèle et fiable de l'intensité de l'activité physique exercée mais aussi , de définir les modalités pratiques d'utilisation du cardiofréquencemètre (CFM) d'une part chez le sportif d'endurance, mais aussi chez les patients en mal d'activité physique ; enfin, de guider le médecin et l'utilisateur dans le bon choix du modèle le plus approprié en fonction de l'objectif visé.

**Mots-clés** : cardiofréquencemètre, entraînement, sportif, fréquence cardiaque, VO<sub>2</sub>max, étalonnage, performances

La pratique d'une activité physique programmée et encadrée est actuellement le théâtre d'un véritable engouement, surtout depuis qu'il a été scientifiquement prouvé que ***l'exercice régulièrement pratiqué*** permettait d'obtenir un véritable "passeport santé", ***ce bénéfique est réel en prévention primaire et secondaire pour tout patient insuffisant cardiaque ,coronarien ,hypertendu mais aussi chez les diabétiques ,pour les syndromes métaboliques ,les patients pléthoriques et plus généralement pour toute personne sédentaire*** ce qui élargit considérablement le nombre potentiel de ***candidats à un programme d'activité physique personnalisé*** .

Les ***techniques*** d'entraînement dans le domaine ***des activités physiques et/ou sportives dites « d'endurance »*** ont considérablement progressé ces deux dernières décennies. D'une approche approximative, basée sur les "sensations", nous sommes passés au stade d'une planification d'entraînement plus personnalisée, plus rationnelle et plus efficace et ce, en grande partie grâce à la possibilité de ***surveiller*** précisément l'intensité de l'activité physique par l'utilisation d'un cardiofréquencemètre.

Ce suivi de l'intensité des séances d'entraînement, par le « **monitoring** » de la fréquence cardiaque (FC), marque une avancée considérable dans le **contrôle** physiologique de l'adaptation de l'être humain à l'effort pour cette raison, on peut effectivement parler d'une approche "scientifique" de l'entraînement, qui est à comparer avec l'empirisme des méthodes utilisées auparavant.

Ce **progrès** dans la gestion de la pratique régulière d'une activité physique et/ou sportive a **indiscutablement joué un rôle dans** le véritable engouement **actuel pour la pratique de ces disciplines sportives** "de masse" que sont la course à pied, le cyclisme et le cyclotourisme. Il suffit de constater le nombre d'engagés à un marathon comme celui de Paris, qui a été décuplé en dix ans, pour s'en convaincre.

Cependant, il persiste encore un paradoxe entre la reconnaissance unanime de l'intérêt de l'utilisation du contrôle de l'intensité de l'effort par la FC et la réalité pratique. En fait, bien souvent encore, le cardiofréquencemètre est sous, mal **utilisé**, voire carrément **abandonné au bout d'un certain temps de pratique décevante**. Cette constatation a été objectivement confirmée lors d'une récente enquête prospective que nous avons réalisée en 2002, auprès de 190 sportifs semi-marathoniens. A la question « Pensez vous que le cardiofréquencemètre soit utile ? », 80 % ont répondu par l'affirmative. A la question « L'utilisez vous régulièrement ? », seulement 40 % ont répondu "oui".

Ce paradoxe est très certainement lié à une méconnaissance des bonnes règles d'utilisation du cardiofréquencemètre et ce **certes** de la part des utilisateurs mais aussi souvent des médecins "prescripteurs".

## **> La FC : le compte-tour de la machine humaine**

### **« La vie, c'est le mouvement »**

Le mouvement est conditionné par l'activité des muscles striés squelettiques. Tout comme pour les moteurs à combustion interne, l'usine bioénergétique humaine **assure** la transformation de l'énergie chimique fournie par les aliments **ingérés** (le carburant) en énergie mécanique **fournie par l'activité musculaire grâce à la production d'ATP**.

Le comburant indispensable pour toute **sollicitation** musculaire prolongée est l'oxygène qui, prélevé de l'air ambiant, véhiculé et extrait de la circulation sanguine **par les cellules musculaires** est utilisé dans de véritables centrales énergétiques **intracellulaires** (les mitochondries).

Chez tout être **humain**, il existe une même relation directe et proportionnelle entre la quantité d'oxygène utilisée (**consommée**) et **la quantité d'énergie mécanique produite (exprimé en watts)**.

Ainsi, **Il est donc possible d'estimer** une  $VO_2$  (consommation d'oxygène) en fonction du type et de l'intensité de l'activité physique réalisée.

**Pour la pratique** des tables d'équivalence (**fig. a**) ont été **publiées**, dans lesquelles chaque activité de la vie quotidienne est quantifiée en nombre de MET le « métabolic équivalent task » (1 MET équivalant à 3,5 ml/kg/min de  $VO_2$ ), ainsi par exemple lors de la marche ou de la course **à pied**, chaque Km/h nécessite une dépense **d'environ** 1 MET (**se déplacer** à 10km/h **en courant** sollicite chez tout le monde une consommation de 35ml/kg/min **d'oxygène**).

## Exemples concrets

### • 1<sup>er</sup> exemple

Tout être humain, **quelque soit son age, son poids, sa taille ou sa condition physique sollicitera toujours** la même consommation d'oxygène (par unité de poids **corporel**) pour réaliser **la même activité à** la même intensité.. Ainsi, courir à 10 km/h équivaut à **mobiliser** 35 ml/kg/min de  $VO_2$  (selon la formule de **Luc Léger** :  **$VO_2$  (ml/kg/min) = Vitesse (km/h) x 3,5**)... Donc, pour un sujet de 70 kg, cela correspond à une  $VO_2$  absolue **ou « brute »** de (35 ml x 70 kg =) 2 450 ml/min. Or, nous savons d'après la formule de FICK que :

$$VO_2 = \text{Débit cardiaque (VES Fc)} \times \text{Différence artério-veineuse en } O_2,$$

Prenons l'exemple d'un sujet sédentaire **indemne de toute pathologie** :

- son volume d'éjection systolique "à 10 km/h" **sera de l'ordre de** avoisinera les 100 ml/min ;

- sa capacité **intra** musculaire mitochondriale d'extraction de l' $O_2$  avoisinera les 15 ml/min pour 100 ml/min de débit sanguin soit une DAV en  $O_2$  de 15 % (0,15)

- donc, **le système nerveux central** (le « cardiostat » **selon T.Noakes**) devra stimuler **le nœud sinusal** pour **permettre d'atteindre** les 165 battements/min indispensables pour **assurer l'apport de** la quantité nécessaire en  $O_2$  (2 450 ml = 100ml X 165 x 0,15), **pour permettre ce travail mécanique (courir en endurance à 10km/h)**.

Supposons que ce sujet s'adonne à quelques mois d'un entraînement efficace :

- toutes les études montrent que son volume d'éjection systolique pour **le même niveau** d'effort ("à 10 km/h") **aura** progressé pour atteindre environ 120 ml/min ;
- sa capacité musculaire d'extraction de l'O<sub>2</sub> sera elle aussi meilleure et pourra avoisiner les 20 ml/min pour 100 ml de débit sanguin ;
- maintenant le cardiostat devra moins stimuler le nœud sinusal ; 110 battements/min suffiront pour assurer les 2450 ml toujours nécessaires pour courir à 10km/h ( $2\,450 = 120 \times 0,20$ ).

- **2<sup>e</sup> exemple**

Supposons **un autre individu ayant le même niveau d'entraînement mais pesant 10 kg de plus que le précédent soit 80 KG ce dernier aura besoin d'utiliser** 2 800 ml d'O<sub>2</sub> (35ml/kg/min x80) pour courir à 10 km/h et le cardiostat devra afficher alors environ 120 bat/min ( $2\,800 / 120 \times 0,20$ ).

Ces deux exemples démontrent bien que la FC est le seul facteur modulable **et immédiatement modifiable** grâce à l'action du système nerveux central **sur le nœud sinusal**, d'où la dénomination de « cardiostat » de la vo<sub>2</sub> proposé par T. NOAKES en 2003. Le rôle de la fréquence cardiaque étant d'adapter en permanence sa valeur en fonction des circonstances de façon à maintenir constante la quantité d'oxygène requise par les muscles concernés **par l'exercice pratiqué**.

## **En pratique quotidienne**

Ces exemples permettent de mieux appréhender certaines notions essentielles de la vie courante.

- **Pour un même effort**

Pour un même effort (courir à 10 km/h, par exemple), chacun utilise une valeur de fréquence cardiaque différente. Ce chiffre varie d'un sujet à l'autre en fonction de son poids, de sa "cylindrée cardiaque" (VES) et de la composition de ses muscles striés (nombre de mitochondries déterminant l'importance du pouvoir de captation de l'oxygène).

- **La FC maximale**

La FC maximale (F<sub>cmax</sub>) que chaque individu peut atteindre reste purement individuelle et. Elle reste étroitement sous l'influence de la commande nerveuse centrale (mais aussi des

conditions ambiantes : température, hygrométrie...). Il est d'ailleurs très fréquent de retrouver des chiffres nettement supérieurs aux valeurs théoriques pour l'âge : chez les "vieux" sportifs d'endurance ou les athlètes de haut niveau, **ç'est le niveau de performance du sujet qui déterminera la Fcmax atteinte ,il n'est pas rare de voir d'excellents coureurs de 60ans qui valent encore 3heures sur marathon et qui grimpent allégrement à 180 /min au niveau de leur VO2max , ce chiffre est conditionné par le niveau de la vitesse maximale aérobie que ces sportifs atteignent .ces mêmes marathoniens très endurants atteignent d'ailleurs souvent au premier seuil ..leur FC maximale théorique pour l'age !!** . Ainsi la pente de la relation fréquence cardiaque /VO2 est une donnée purement individuelle(4) lorsqu'elle est exprimée en valeurs brutes et non en pourcentage de Fcmax et de VO2max (Fig. 1).

Enfin il n'existe pas une mais plusieurs « Fcmax » selon la discipline sportive pratiquée (généralement pour le même individu et dans les mêmes conditions ambiantes la Course à pied génère une Fcmax supérieure d'environ 10 battements/minute qu'en cyclisme)

#### • Lors d'un effort de longue durée

Lors d'un effort dont la durée dépasse environ 20 minutes et réalisé à une intensité constante, on assiste à une véritable "dérive" de la FC vers le haut, celle-ci pouvant, dans certaines conditions, atteindre plus de 15 battements /minutes, voire plus dans des épreuves très longues !

Il existe deux explications logiques pour expliquer ce phénomène **inéluçtable** (5) :

1. Une partie de cette dérive est tout naturellement proportionnelle au degré de déshydratation **du sujet** mais aussi aux conséquences de la **mise en route de la** thermorégulation, **l'impact de** ces facteurs étant d'autant plus importants que la température ambiante est élevée. Il s'en suit **donc logiquement** une diminution **de la volémie efficace et** du volume d'éjection systolique (qui pourra diminuer de 120 à 100 ml/min dans notre exemple précédent, le cardiostat entre alors immédiatement en jeu d'où l'accélération de la FC qui passera ici de 110 à 125 bat/min pour compenser et assurer le même apport d'O<sub>2</sub> au niveau des muscles concernés). Ainsi en pratique quotidienne, l'observation d'une inexorable montée de la FC lors d'une séance d'entraînement à intensité constante doit alerter et inciter le sujet à une réhydratation urgente.

2. Une partie (probablement plus faible) de cette dérive aura une explication physiologique toute autre. En effet, lors des activités physiques prolongées, il se produit inmanquablement une fatigue de l'organisme et donc une diminution de « l'efficacité du

geste » : la foulée deviendra plus **pesante** (quel marathonien n'a pas ressenti ce phénomène sur les dix derniers kilomètres **de course** ?). Le coût énergétique de l'effort entrepris augmente et pour reprendre notre exemple, courir à 10 km/h nécessitera alors un peu plus de dépense énergétique qu'au début, de **35 ml/kg/min en début d'épreuve** la **quantité d'O<sub>2</sub> nécessaire pour finir** pourra approcher les 40 ml/kg/min, **l'biotropisme myocardique ne pouvant augmenter (il semble même selon certaines études diminuer..)** Le volume d'éjection systolique ne pourra donc pas augmenter, l'extraction musculaire d'oxygène étant **elle aussi** à son maximum, le cardiostat (12) entrera alors en jeu en **stimulant le nœud sinusal et augmenter** la valeur de la FC, pour permettre de fournir les 40 ml/kg/min requis.

En pratique, il est très difficile de faire la part exacte des responsabilités de l'un ou l'autre des facteurs. Outre l'indispensable réhydratation, il est néanmoins conseillé au sujet, surtout s'il court ou pédale à la limite supérieure d'une zone d'entraînement préétablie (notamment s'il s'agit du 2<sup>e</sup> seuil), de ralentir pour se retrouver dans les zones d'intensité initiales. Ce qui introduit une notion fondamentale pour toute personne qui utilise un cardiofréquencemètre lors d'une activité physique prolongée : celle d'un travail réalisé en *positive split*, c'est-à-dire avec une 2<sup>e</sup> partie d'épreuve réalisée à « **un niveau de travail mécanique** » plus faible que **lors de la première partie**. Il s'agit là d'une inéluctable logique physiologique bien que cela puisse choquer et déplaire aux partisans du travail en *negative split*, très utilisée jusqu'à maintenant par les athlètes qui terminent leurs épreuves en **réalisant l'inverse et en** accélérant sur les derniers kilomètres. Néanmoins, certains et non des moindres (comme Paula Radcliffe, championne du monde de marathon à Helsinki) se mettent à utiliser cette tactique du *positive split*.

## **> Un véritable "coach" individuel**

Le cardiofréquencemètre est un partenaire efficace sous réserve de bien savoir l'utiliser. Pour cela, il faut passer par l'indispensable et incontournable étape préliminaire de la mise en place des fameuses zones cibles (intervalles de fréquence cardiaque de 5 à 10 bat/minute) qui sont propres à chaque individu.

## **Détermination directe des zones d'entraînement**

La détermination "directe" grâce au test d'effort est le moyen d'étalonnage le plus précis. Indispensable chez le cardiaque à rééduquer, elle est aussi fortement recommandée dans de nombreuses situations chez le sportif qui veut se lancer dans la pratique d'une activité à forte sollicitation cardiovasculaire (groupes 3a à 3c de la classification de Mitchell, regroupant, entre autre, la course à pied et le cyclisme, les activités sportives "aérobies" les plus pratiquées) (figure 8) et dont les indications sont bien établies actuellement (recommandations de la Société Européenne de Cardiologie en mai 2005).

L'idéal est de pouvoir profiter du test pour réaliser en même temps une mesure des échanges gazeux à l'effort (1). En effet, ce test complet permet de déterminer de façon précise la  $VO_{2max}$  (ou le pic de  $Vo_2$ ) et la  $F_{cmax}$ , mais aussi et surtout les fameux indices intermédiaires ou « seuils », respectivement (9):

- le 1<sup>er</sup> seuil encore dénommé "aérobie" ou seuil "d'endurance" (ou encore "d'adaptation ventilatoire", voire "anaérobie ventilatoire" !);
- le fameux 2<sup>e</sup> seuil, dit "anaérobie" ou seuil de "résistance dure" ou de "désadaptation ventilatoire", qui est surtout retrouvé chez le sportif

Ce bilan initial exhaustif fournit l'ensemble des renseignements utiles, permettant ensuite de "calibrer" le cardiofréquencemètre. Hélas, encore trop peu de centres sont équipés de ce plateau technique. Par ailleurs, il faut reconnaître que l'interprétation des résultats reste encore très "opérateur –dépendante" et donc entachée d'une importante variabilité inter-observateur.

Quoiqu'il en soit, il faut pouvoir réaliser le test d'évaluation sur un ergomètre adapté (coureur sur tapis roulant, avec un protocole "vitesse sans pente" (10) si le modèle de tapis le permet ; cycliste sur cycloergomètre...) (Fig. 2 et 3). Ce test, surtout s'il est "simple", doit être mené jusqu'à "épuiement" chez le sujet asymptotique ou "le plus loin possible" chez le cardiaque connu et ce, de façon à pouvoir, outre l'analyse de l'adaptation cardiovasculaire à l'effort et de la réserve coronarienne, déterminer la  $F_{cmax}$ .

## **Détermination "indirecte" des zones cibles**

Détermination "indirecte" signifie "extrapolée" à partir d'un repère ou de plusieurs "repères" connus.

### **• La FC maximale**

Encore trop souvent, la valeur retenue (la trop fameuse  $F_{cmax}$  "théorique pour l'âge") est **très éloigné du chiffre véritable**. En effet, il faut se souvenir que cette formule correspond à une valeur moyennée pour un âge donné, avec une marge d'erreur à l'échelon individuel parfois de près de 20 points ! (2)

La première étape consiste donc à établir la  $F_{cmax}$  réelle et individuelle du futur utilisateur du cardiofréquencemètre, soit comme nous l'avons vu lors d'un test de laboratoire "maximal", soit lors d'un test dit de "terrain".

Qui peut se contenter d'un « test de terrain » ? : Toute personne chez qui le test d'effort préalable n'est pas indiqué (sujet jeune, asymptomatique, sans facteur de risque ni antécédents familiaux de cardiopathies) et, éventuellement, un individu chez qui un test d'effort standard s'est révélé normal, mais qui n'a pas permis (matériel inadapté, test sur cycloergomètre chez un coureur à pied...) d'obtenir un test véritablement maximal dans la discipline sportive concernée.

Il existe une multitude de tests validés : test de Brue, Vam-éval, cat-test...

Plus simplement, il est possible en course à pied (idéalement sur une piste de 400 m), de débiter avec un 1<sup>er</sup> tour d'échauffement, d'effectuer le 2<sup>e</sup> à une intensité modérée, le 3<sup>e</sup> plus vite, en accélérant sur le dernier tour pour terminer au sprint sur le dernier 100 m. La valeur de FC retenue est celle s'affichant au passage de la ligne d'arrivée.

#### • La FC de repos

Sa détermination précise n'est pas indispensable. En effet, celle-ci est beaucoup plus variable d'un jour à l'autre que la  $F_{cmax}$ . En fin, sa détermination exacte est fastidieuse : le matin, avant le lever, à jeun, sur une 10<sup>e</sup> de minutes, moyennée sur 3 jours consécutifs et répétée le plus souvent possible ! Enfin, si elle peut témoigner d'une bonne condition physique ou inversement d'un état de fatigue, elle ne préjuge nullement de son potentiel d'accélération à l'effort.

#### • La FC de réserve

Elle très utilisée par Karvonen pour établir ses zones et correspond à la différence entre la  $F_{cmax}$  et la FC de repos. Il est évident que plus celle-ci sera importante, plus la plage d'utilisation du compte-tour sera importante et donc plus sera déterminant le rôle de la FC dans la progression de la  $VO_2$  à l'effort.

- **La FC de récupération**

Il s'agit d'une valeur intéressante à analyser, très dépendante du niveau de forme et peu sensible aux facteurs externes. En pratique, on parle de bonne récupération si la FC a baissé de moins de 30 % (par rapport au chiffre absolu obtenu en fin d'exercice) à la 3<sup>e</sup> minute de récupération.

- **Les zones cibles de travail**

La méthode la plus sophistiquée pour les déterminer est celle utilisant la formule de Karvonen, dans laquelle la FC "cible" est égale à la fréquence de repos plus un pourcentage de la FC de réserve. Ainsi, une séance à 85 % de sa VO<sub>2</sub>max se calculera en additionnant la fréquence de repos à 85 % de la FC de réserve.

Néanmoins, ce calcul est assez fastidieux, long à mettre en place et toujours dépendant de l'incertitude liée à la variabilité de la fréquence de repos.

La méthode la plus pratique est donc celle utilisant un simple pourcentage de la Fcmax, en effet la relation entre le pourcentage de Fcmax et le pourcentage de VO<sub>2</sub>max reste identique chez tout individu ainsi réaliser une séance à 85 % de sa VO<sub>2</sub>max correspond "à peu de chose près" à solliciter entre 90 % et 95 % de sa Fcmax (figure 6).

## **> Mise en place d'un programme d'entraînement**

Cette planification sera individualisée en fonction du potentiel de chacun et, surtout, des objectifs personnels.

### **Pour le cardiaque en phase de reconditionnement**

L'objectif se centrera sur des séances en endurance "fondamentale", classique zone d'utilisation préférentielle des graisses, tout en y incluant quelques séances "au premier seuil"; ces dernières se pratiqueront donc à un pourcentage de VO<sub>2</sub>max plus élevé, mais sur une durée plus courte.

- **Utilisation des repères établis lors d'un test d'évaluation "complet"**

Les séances en endurance fondamentale pourront être réalisées sur une durée d'environ 1h, en utilisant une plage d'activité (limite inférieure : FC "seuil" moins 15 /min ; limite

supérieure : FC "seuil»), en débutant par une phase d'échauffement de 10 min à FC "seuil" moins 20/min.

Les séances au seuil, en respectant toujours une phase d'échauffement similaire, seront réalisées entre FC "seuil" et FC "seuil" plus 10 pulsations/min.

### •Programme basé sur l'utilisation de repères "extrapolés"

Ces derniers ci ayant été établies lors d'une épreuve d'effort « standard » ou un test de terrain ; il sera important de tenir compte du niveau de condition physique préalable de chacun :

- chez un sujet sédentaire, il est raisonnable d'estimer que son 1<sup>er</sup> seuil est précoce, aux alentours de 65, voire 70% de sa  $VO_2max$ , soit entre 70 et 75 % de sa  $F_{cmax}$  ; il faut donc programmer la séance d'endurance fondamentale entre 60 et 65 % de sa  $F_{cmax}$  et la séance "au premier seuil présumé" entre 70 et 75 % de la  $F_{cmax}$  ;
- chez un sujet en bonne forme physique ou sportif, le seuil est plus tardif, il ne faut alors pas hésiter à permettre la séance d'endurance à 75% de la  $F_{cmax}$  et près de 85 % pour la séance « au seuil ».
- dans tous les cas de figure, comme pour tout programme d'entraînement, il faut respecter les périodes de récupération et "optimiser" les phases de "surcompensation", avec au moins 2 séances par semaine, idéalement 3 sorties en alternant « endurance » et travail « au seuil » d'une séance à l'autre.

### Pour le sportif averse de performances

Le programme sera plus diversifié et lui aussi très différent selon l'objectif que le sportif s'est fixé : le marathonien (11) n'aura pas le même "menu" que le coureur de 10 km, a fortiori que le coureur pratiquant pour entretenir sa condition physique.

L'entraînement sera beaucoup plus varié (6), avec l'indispensable pratique de séances dites "qualitatives", réalisées à haute intensité, au niveau du 2<sup>e</sup> seuil "en résistance dure", souvent à plus de 90 % de sa  $F_{cmax}$ , soit "en continue" sur une durée de 20 à 30 min, soit en "intervalle training" avec, par exemple, 3 fois 10 min au 2<sup>e</sup> seuil, entrecoupés de phases de récupération active de la même durée en "endurance fondamentale", sans oublier les classiques sorties "en VMA", le plus souvent réalisées sur des répétitions d'intervalles très courts de 30 s à 100, voire 110 % de la "VMA" (vitesse maximale aérobie, qui est la vitesse

atteinte au palier correspondant à la  $VO_2\text{max}$ ). Lors de ces dernières séances, la FC n'ayant "pas le temps" de monter à sa valeur maximale, le cardiofréquencemètre n'est pas utilisable, si ce n'est comme chronomètre.

Il n'existe pas de programme standard ou de référence absolue dans ce domaine, chacun puisera alors dans la littérature, très abondante sur le sujet, pour trouver le programme qui correspond le mieux à ses objectifs et à sa disponibilité.

## **> Quel cardiofréquencemètre utiliser ?**

Le cardiofréquencemètre est un simple système électronique, composé de 2 éléments : une ceinture émettrice pectorale capte l'activité électrique du cœur et l'envoie vers une montre réceptrice qui convertit en numérique, affiche et mémorise les valeurs. Depuis peu, sur certains systèmes s'est rajouté un 3<sup>e</sup> élément, qui permet de connaître la vitesse de course et la distance parcourue.

Au fil du temps, les modèles se sont sophistiqués, en offrant une multitude de fonctions et d'options dont l'intérêt d'utilisation varie bien sûr en fonction des objectifs de chacun. (8)

Nous allons essayer de les passer en revue, sans citer de marque ou de modèle précis. Néanmoins, lorsque l'on se fie totalement à l'appareil, il ne faut pas lésiner sur la fiabilité et toujours choisir un modèle d'une marque de renom, quitte à dépenser quelques euros de plus.

### **Les fonctions basiques**

L'émetteur a fait peu de progrès : il reste sous la forme d'une ceinture assez volumineuse et disgracieuse, avec deux capteurs de part et d'autre du sternum.

Des ceintures en textile, plus souples et plus agréables à utiliser, sont actuellement proposées sur les modèles récents.

Les capteurs analysés se révèlent être très fiables, plusieurs études ont retrouvé une corrélation de 0,97 avec les valeurs enregistrées comparées à celles de référence sur un test d'effort (soit une différence maximale de 3 à 4 pulsations/min). (7).

L'émission des signaux vers le récepteur se fait en utilisant une longueur d'onde précise. La plupart des modèles sont proposés "codés", ce qui permet d'éviter les interférences avec son voisin. Ce codage n'est cependant pas absolu, car il est choisi sur une gamme d'environ 20 longueurs d'onde différentes, avec donc 1 chance sur 20 d'émettre avec la même fréquence que son voisin !

Au fil du temps, le récepteur s'est un peu miniaturisé. Les FC sont affichées par "pas" de 5 s au minimum, seuls certains appareils "haut de gamme" arrivent à proposer du *beat by beat*.

Les zones de travail sont mémorisables, sauf sur les modèles d'entrée de gamme. Une alarme sonore peut être programmée pour signaler une "sortie de zone".

Ainsi, le "cardio minimum" se doit d'être petit, avec un écran clair et un affichage bien net des données. Il doit aussi permettre de lire le temps d'exercice écoulé et de programmer au moins une zone de travail, avec une alarme sonore et une fonction d'éclairage du moniteur. Un modèle de ce type peut déjà satisfaire bon nombre d'utilisateurs (compter environ 80 à 100 euros).

## Les fonctions avancées

Les fonctions avancées concernent les modèles "milieu de gamme". Ils possèdent des fonctions supplémentaires. (3, 7)

### • Le calcul de la dépense énergétique

Le calcul de la dépense énergétique est basé sur la formule :

$$\text{Kcal moyen} = 1 \text{ Kcal/kg/km,}$$

donc dépense de 700 Kcal ( $\pm 50$ ) pour un sujet de 70 kg parcourant 10 km.

Il permet de contrôler la consommation d'énergie et d'adapter son régime diététique en conséquence.

### • Le calcul de l'indice de forme

Cet indice ("ownindex" ou "ownindexS" chez Polar) est comparable à la prise maximale d'O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>max), selon plusieurs études comparatives réalisées. En effet, elles retrouvent une corrélation "correcte" entre ces deux mesures, ce qui permet le suivi régulier de la condition physique et de son amélioration grâce à l'entraînement.

Cette approche est certes séduisante, mais elle est fait appel à certains paramètres "subjectifs" (le sujet doit auto-évaluer son niveau d'activité physique) et à une certaine contrainte qu'est la réalisation régulière d'un *polar fitness test*, durant lequel la FC de repos et la variabilité de la FC seront mesurées.

De plus, il est clairement admis que le seul paramètre " VO<sub>2</sub>max " ne peut résumer l'indice "forme" ou l'indice "performance" d'un sujet.

Enfin, il est un moyen beaucoup plus simple de juger l'efficacité d'un programme de réadaptation ou d'entraînement sportif que le "test de Costill" (Fig. 4). En effet, ce test consiste en la réalisation régulière (toutes les 3 semaines environ) d'une "course" sur une distance connue, dans les mêmes conditions et dans la même zone cible. La réduction du temps d'activité traduit fort logiquement l'amélioration de la performance et donc de la condition physique. Ce test permet aussi, de manière très simple, de dépister une fatigue ou un début de surentraînement, ce qui explique d'ailleurs pourquoi, en pratique, la plupart des utilisateurs fait l'impasse sur cette fonction.

#### • Le calcul de la zone idéale de travail

La détermination de cette "zone cible" (*ownzone* chez Polar) est basée sur la variabilité de la FC (intervalle de temps entre chaque pulsation). Cette dernière, maximale au repos, diminue à l'effort. Néanmoins, à partir d'une certaine intensité d'exercice, il existe un "plateau de baisse de la variabilité", celle-ci restant ensuite stable jusqu'au niveau d'effort correspondant à  $VO_2max$ .

En 1996, Tulppo a confirmé que la méthode "du point de Poincaré" pouvait être utilisée comme une méthode d'analyse fiable de la variabilité de la FC pendant l'activité physique (Fig. 5).

Les tests comparatifs ont montré une bonne fiabilité des cardiofréquencemètres (proposant cette fonction) dans la détermination de la FC cible correspondant au début du plateau. Dans les différentes études, ce plateau est retrouvé en moyenne à 55 % de la  $VO_2max$ , c'est-à-dire à environ 60 % de la  $F_{cmax}$ .

Cette détermination impose, là aussi, la contrainte d'un test préliminaire à chaque séance d'entraînement. Par ailleurs, il existe une variabilité de cette *ownzone* en fonction de l'âge, du moment de la journée, de l'état de stress ou de fatigue. Enfin, dans un nombre non négligeable de cas, le test de détermination échoue et l'appareil détermine alors automatiquement une zone basée sur un pourcentage de la  $F_{cmax}$  calculée à partir de la formule :  $220 - \text{âge}$  ! La limite supérieure de cette *ownzone* est fixée tout à fait arbitrairement par les appareils à +30 bat/min par rapport à la valeur basse calculée !

Bien que cette approche permette de diminuer la variabilité à "court terme" de la valeur absolue de la FC pour une intensité d'effort fixée (en valeur absolue et non en pourcentage de la  $F_{cmax}$ ), elle ne présente un intérêt réel que pour les séances d'entraînement à faible intensité (en dessous du 1<sup>er</sup> seuil) et son apport est très restreint chez le sportif.

### • L'estimation de la Fcmax

Certains appareils proposent cette fonction. Le calcul est réalisé en intégrant l'âge, le sexe, le poids, la variabilité de la FC (calculée sur plus de 200 battements cardiaques), ainsi que la VO<sub>2</sub>max estimée !

Une étude menée par Polar sur 431 sujets a comparé les résultats de leurs calculs avec les Fcmax mesurées lors d'un test d'effort. Les résultats (figure 9) montrent que dans l'estimation "Polar Hr.max", l'erreur principale absolue (7 bpm), ainsi que la déviation standard (8 bpm) sont inférieures à celles obtenues avec la formule d'Astrand, basée sur l'âge. (7)

Cette fonction peut donc présenter un intérêt en début d'utilisation du cardiofréquencemètre, avant tout test d'évaluation. En aucun cas elle ne doit dispenser de ce test, surtout chez le cardiaque à réadapter.

### • La fonction mémoire

Elle permet d'enregistrer un certain nombre de fichiers (environ une vingtaine). Sur certains modèles, l'interfaçage ("Soniclink et Uplink" chez Polar, ou par infrarouge) avec un ordinateur permet d'enregistrer les données en fichier pour les comparer ensuite.

## Les fonctions "supérieures"

Elles se trouvent sur les appareils "haut de gamme". Hormis une grande capacité de stockage des données en mémoire, un transfert IR sur PC, une possibilité d'analyse des données sur un logiciel spécifique livré avec l'appareil, la principale qualité de ces modèles réside surtout dans la fourniture d'un 3<sup>e</sup> élément : le capteur de vitesse.

### • Le capteur de vitesse

Il fonctionne soit par l'intermédiaire d'un système GPS, dont le principal inconvénient réside dans la limite de réception dans les zones urbaines et surtout dans les parcours réalisés en sous bois ; soit par le biais d'un accéléromètre, qui ne présente donc pas cette limitation :

« Mesure de l'accélération plus de 1 000 fois par seconde à chaque foulée », selon le fabricant. Mais en pratique, la marge d'erreur est d'environ 5 à 10 % selon les variations d'allure de course (figure 7). Cet accéléromètre se fixe aisément à la chaussure et représente un encombrement et un poids plus réduit que le système GPS.

Ces capteurs représentent un atout supplémentaire indiscutable, permettant de s'affranchir d'un parcours borné et kilométré et apportant une information en "temps réel" bien utile (distance réalisée, allure et vitesse instantanée).

Certains modèles "cyclisme" proposent des capteurs de puissance fixés sur le vélo. Ils sont associés à un capteur de cadence et de vitesse, la précision de cette mesure étant correcte ( $\pm 10\%$ ).

#### • **L'indicateur de surentraînement**

L'indicateur de surentraînement est proposé sur le très haut de gamme et basé sur l'analyse de la variabilité de la FC. La validation de cet indice est néanmoins très controversée dans la littérature (3). Cette fonction est donc très secondaire : à mon avis, le test de Costill cité plus haut est tout aussi intéressant à réaliser dans ce but et accessible avec n'importe quel modèle de base !

La liste des fonctions proposées sur ces modèles s'enrichit tous les jours. Il est donc impossible de les passer toutes en revue et nous avons cité les propriétés les plus intéressantes.

### **> Le cardiofréquencemètre "idéal"**

Avant toute chose, il se doit d'être d'un abord simple. Trop souvent, les modes d'emploi sont complexes, les termes utilisés trop techniques et les appareils se retrouvent sous-utilisés, voire délaissés.

Dans un objectif "médical" de reconditionnement physique, la priorité restera la simplicité d'utilisation, avec une facilité d'accès à la programmation et au contrôle de la fréquence cardiaque d'entraînement.

Parmi les options, j'opterais pour le recueil des calories dépensées (le minimum hebdomadaire à réaliser étant de 2000Kcalories dans toutes les études) et, éventuellement, le calcul de la « *ownzone* », tout en privilégiant les "zones cibles" déterminées à l'occasion du test d'évaluation médical. Par contre, un capteur de vitesse devrait être inclus sur des modèles abordables, quitte à les délester de certaines fonctions plus secondaires.

Dans un objectif "compétition", la simplicité est toujours de mise : le capteur de vitesse, la fonction *intervalle training* (pour les séances de 30/30), 3 zones programmables et pour les

férés d'informatique, un modèle spécifique avec la possibilité de transfert des données par « blue-tooth » ou interface USB.

Bien sûr, dans tout les cas, plutôt que de sophistiquer à outrance les modèles, les fabricants devraient essayer d'améliorer la technique de réception (miniaturisation du récepteur, électrodes autocollantes réutilisables ?).

### ➤ **En conclusion**

La pratique d'une activité physique est devenue une nécessité dans une société qui ne cesse de se sédentariser par la faute de l'omniprésence de la voiture.

Toutes les sociétés savantes vantent les bienfaits de cette pratique aussi bien en prévention primaire notamment chez les sujets déconditionnés, pléthoriques ou simplement stressés, qu'en prévention secondaire chez les coronariens notamment.

La réadaptation en centre permet une réduction significative de la mortalité et de la morbidité cardio-vasculaire, cependant tous les programmes insistent sur la nécessité absolue de la poursuite d'une activité physique régulière en sortie de centre de réadaptation pour maintenir l'acquis ...et ç'est la ou le bas blesse.car trop souvent si les ordonnances de ces patients sont « B.A.S.I... » le C complémentaire qui normalement doit comprendre une prescription d'activité physique.est beaucoup trop souvent vaguement proposé et très empiriquement élaboré « aller marcher une demi heure par jour » ...il existe vraiment un paradoxe entre, par exemple, la précision de la traque du Ldl cholestérol à 0, 10 g/litre près et le flou artistique des recommandations sur la « charge d'entraînement efficace».

Cet empirisme a d'ailleurs été largement mis en évidence dans la récente méta-analyse réalisée par TAYLOR (13) sur les effets bénéfiques des programmes de réadaptation; cet auteur déplorait le manque de standardisation des programmes de reconditionnement et la grande disparité dans le niveau d'intensité des séances proposées (entre 60 et 90 % de la Fcmax) dans les différentes études recensées.

Certes la multiplication des centres de réentraînement « ambulatoires » va certainement permettre d'obtenir une meilleure observance dans le « maintien de l'acquis » ; néanmoins ces centres ne sont pas accessibles à tous a cause d'une indiscutable contrainte géographique et de disponibilité.

Pour ces différentes raisons le cardiofréquence-mètre, par sa simplicité d'utilisation, voit s'ouvrir devant lui un large champ d'utilisation, il permet à chacun de gérer son « programme d'entretien » en toute liberté tout en étant sécurisé par le contrôle de la Fc. L'amélioration de l'efficacité et des résultats de son utilisation viendra d'une meilleure connaissance du produit de la part des prescripteurs et des utilisateurs. Seule une bonne collaboration entre le milieu médico-sportif et les fabricants permettra de sélectionner une population de véritables utilisateurs à bon escient de cet appareil.

#### BIBLIO :

1. K MEYER et coll.  
Ventilatory and lactate threshold: determinations in healthy normal's and cardiac patients: methodological problems.  
Eur J Appl Physio. (1996) 72; 387-393.
2. A.P. HILLS  
Submaximal markers of exercise intensity  
Journal of Sports Sciences .1998 . 16 ; 871- 876.
3. ACHTEN J.  
Heart Rate monitoring: applications and limitations  
Sports Med.2003; 33 (7); 517-538
4. Zavorsky GS  
Evidence and possible mechanisms of altered maximum heart rate with endurance training.  
Sports Med.2000; 29 (1) : 13-21
5. MI LAMBERT  
Heart rate training and completion for long distance running.  
Journal of sports sciences 1998; 16; 585-590
6. MB GILMAN  
The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training.  
Sports Med. 1996; Feb 21 (2) ; 73-79.
7. RAIJA MT  
Heart rate monitors: state of the art.  
J. of S. Sciences 1998; 16; S3-S7
8. J. ACHTEN  
Heart rate monitors: applications and limitations

Sports Meds 2003;33 (7) 517-38.

#### 9.C. PREFAUT

Les seuils ventilatoires : méthode non invasive d'estimation des seuils lactiques

Science et Sports 1993: 8; 217-20.

#### 10. G BOUDET

Heart running speed relationships during exhaustive bouts in the laboratory

Can J Appl Physiol 2004 dec (6): 731-42

#### 11. LAPORTE TH

Vo2max et marathon

Sport Med 1996 nov; 86; 6-12

#### 12. Tim Noakes MD

Lorre of running .Livre

#### 13. TAYLOR RS et coll.

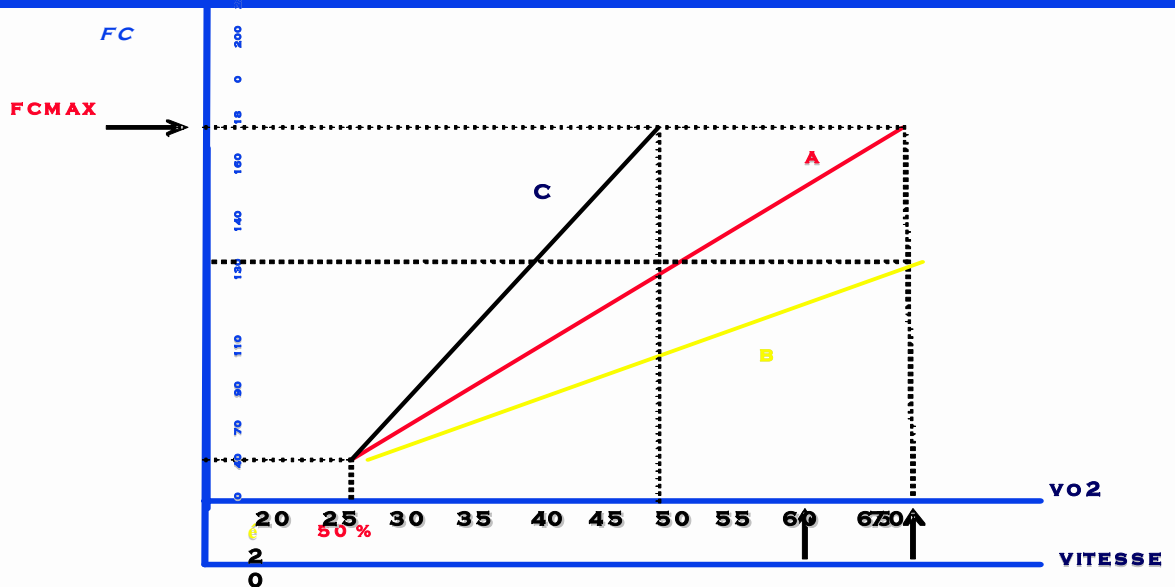
Exercise –based rehabilitation for patients with coronary heart disease: systematic review and meta –analysis of randomized controlled trials.

Am J Med 2004; 116; 682-92.

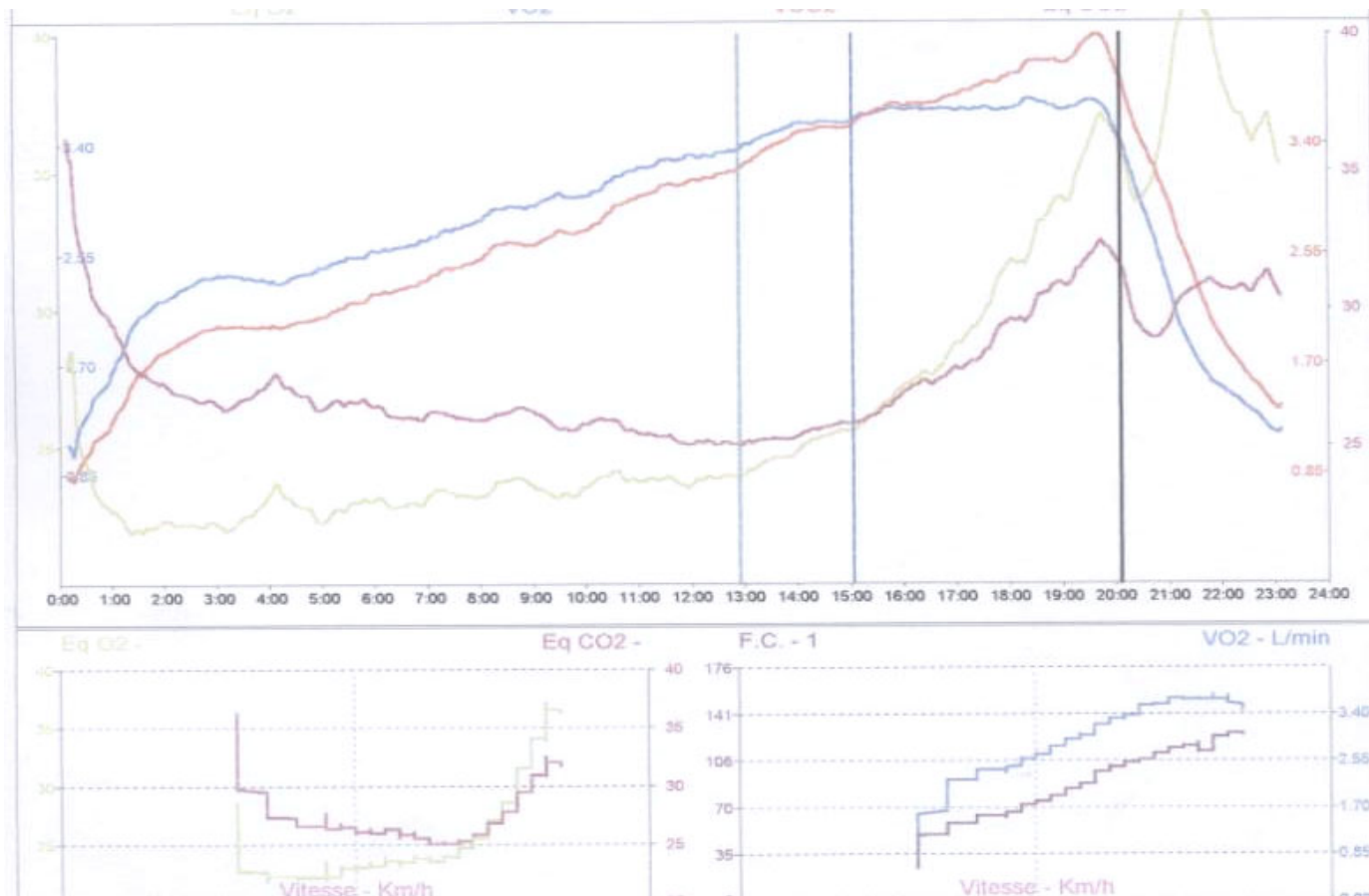
	<b>MEts</b>	<b>Kcal/h</b>
<b>Marche</b> 3,2 km/h	2,5	175
4,8 km/h	3,5	245
<b>Golf sans véhicule</b>	4,9	340
<b>Jardinage</b>	4,4	310
<b>Vélo</b> Calme	4	280
Modéré	5,7	400
<b>Nage lente</b>	4,5	315
<b>Tennis</b> Simple	7,5	525
Double	6	420
<b>Course à pied</b>		
9,6 km/h	10,2	710
12 km/h	13,2	930
<b>Nage rapide</b>	7	490
<b>Marche en montagne</b>		
Sans charge	6,9	480
Aec charge 5 kg	7,5	525

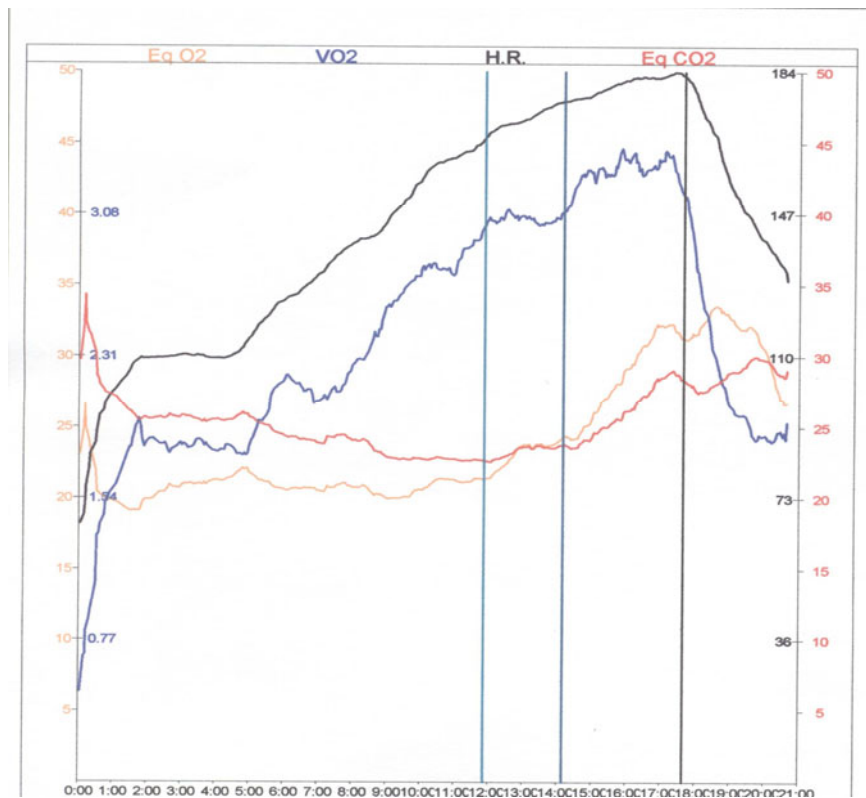
*figure a : le tableau d'équivalence entre le travail mécanique et la dépense énergétique métabolique.*

## La relation individuelle vo2 / fc

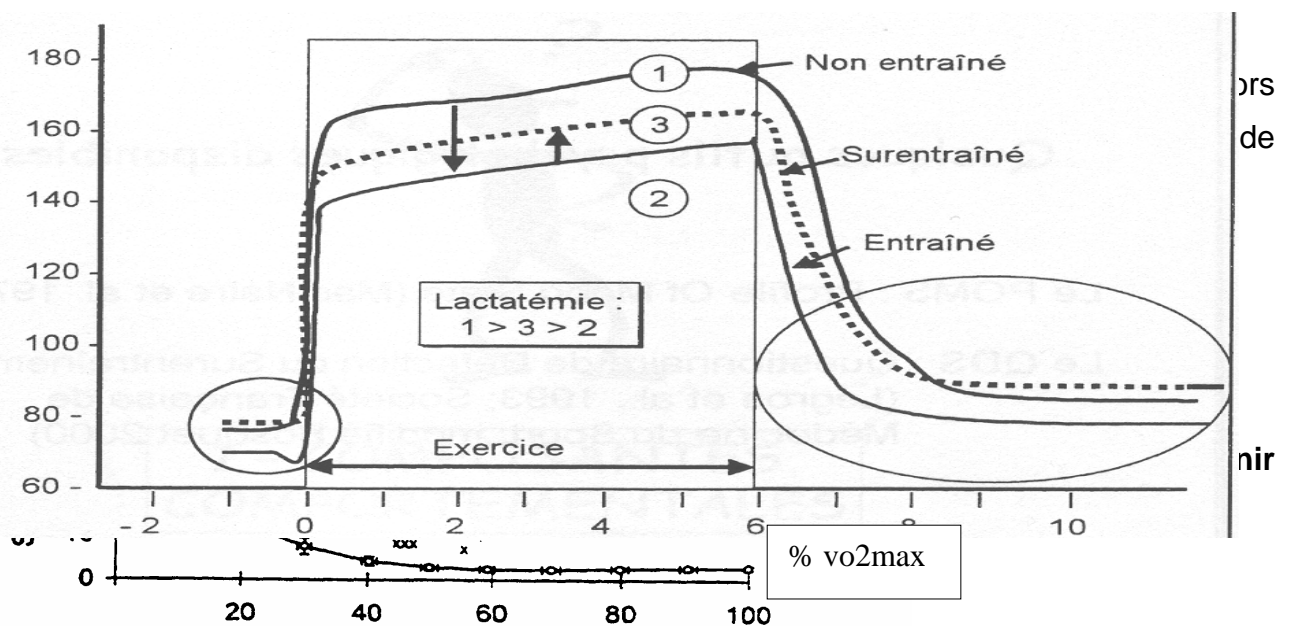


**Figure 1** - Sur l'exemple suivant, 3 sujets présentent des profils différents. A et B ont la même  $VO_2$ max (et donc la même VMA), mais des  $F_{cmax}$  différentes et donc, des valeurs de FC intermédiaires différentes aux mêmes vitesses intermédiaires. Par contre, A et C ont la même valeur de  $F_{cmax}$ , C ayant un niveau plus faible ( $VO_2$ max inférieure). A 90 % de sa  $VO_2$ max (45 ici), il sera à 95 % de sa  $F_{cmax}$ , soit à 160 bat/min, alors que A, au même niveau de dépense énergétique (45 ml/kg/min), ne sera qu'à 70 % de sa  $VO_2$ max, soit à environ 75 % de sa  $F_{cmax}$ , soit à 130 bat/min.





**Figure 3 –Test d'évaluation réalisé sur cycloergomètre chez un Cycliste de 38 ans, FC max : 185 /Mn; Fc seuil 1: 167/mn ; Fc seuil2 : 175/mn.**



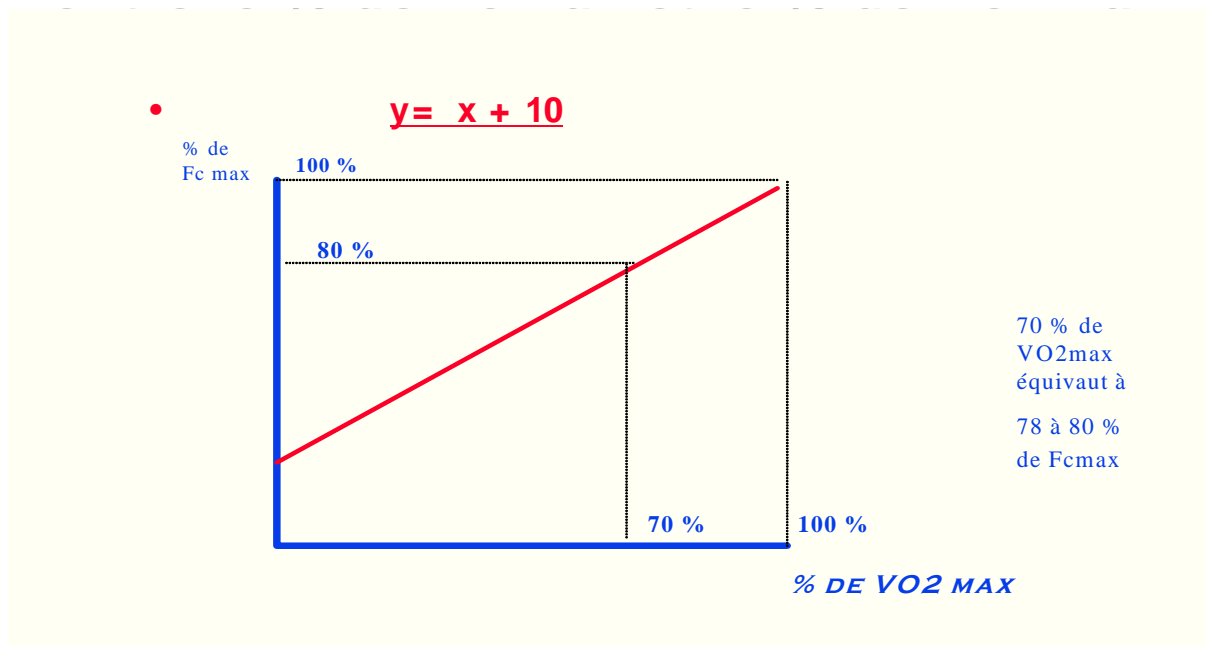


Figure 6 : à partir de 50% de la vo2max il existe une relation linéaire directe entre le pourcentage de VO2 max et le pourcentage de Fcmax ( $y = x + 10$ ). Dans quelques cas cette pente s'infléchit sur la fin (seuil de «Concini») c'est à dire a partir du deuxième seuil.

Figure 7 : fiche de route d'un coureur équipé d'un cfm et d'un capteur de vitesse (polar 200 Sd) sur un semi marathon « officiel », la marge d'erreur reste inférieure a 50 mètres par kilomètre.

	kilométrage	distance	temps de passage	REMARQUES
1	0,95	5,34		le capteur S1 n'a été activé qu'après 50 m de course
2	1,01	5,3		
3	2	10,47		le panneau km 3 n'a pas été vu
4	1,98	10,43		le panneau km 5 n'a pas été vu
5	1	5,28		
6	0,98	5,14		
7	1	5,34		
8	0,98	5,26		
9	1	5,29		
10	0,97	5,18		
11	0,93	5,07		le panneau KM 13 n'était pas à sa place
12	1,02	5,56		le panneau des KM 14 récupère le retard du 13ème
13	1	5,2		
14	1,2	5,22		
15	0,99	5,13		
16	0,99	5,1		
17	1	4,59		

18	0,98	4,3		
19	1,11	4,59		Incluant les 150 m de l'arrivée

Figure 8 : l'ergomètre utilisé doit être le plus proche de la pratique sportive du sujet.

Figure 9 : la comparaison de la méthode « polar » et de la formule d'Astrand pour calculer la Fcmax d'un sujet.

## Validity of the Polar HR<sub>max</sub> prediction

Method	Mean absolute error (bpm)	Mean absolute error (%)	Error SD (bpm)	Error less than $\pm 5$ bpm (% of subjects)	Error less than $\pm 14$ bpm (% of subjects)
Polar HRmax	6.5	3.5%	7.9	43%	93%
220-age	7.6	4.1%	9.4	41%	81%

Hannula, Nissilä, Kinnunen, Virtanen. Development of New HR<sub>max</sub> prediction model. ECSS 2000.