

INSTITUT NATIONAL SUPERIEUR DE
L'EDUCATION POPULAIRE ET DU SPORT

A PROPOS DE QUELQUES MODIFICATIONS
BIOLOGIQUES AU COURS D'UN MARATHON

PAR

ABDOULAYE GUEYE

né le 1er Janvier 1956

à DAKAR

MEMOIRE DE MAITRISE ES SCIENCES ET TECHNIQUES
DE L'ACTIVITE PHYSIQUE ET DU SPORT

Directeur : Dr Fallou CISSE

Assistant à la Faculté de
Médecine et de Pharmacie

DAKAR

Présenté à Dakar

le

REPUBLIQUE DU SENEGAL
MINISTÈRE DE LA JEUNESSE
ET DES SPORTS

INSTITUT NATIONAL
SUPERIEUR D'ÉDUCATION
POPULAIRE ET SPORTIVE
INSEPS

MEMOIRE DE MAITRISE
DES SCIENCES ET TECHNIQUES DE
L'ACTIVITE PHYSIQUE ET DU SPORT

THEME

A PROPOS DE QUELQUES
MODIFICATIONS BIOLOGIQUES AU
COURS D'UN MARATHON.

PRESENTE PAR
ABDOULAYE GUEYE

ANNEE CIVILE
DE LA SOUTENANCE :
1983 - 1984

SOUS LA DIRECTION
DE FALLOU CISSE
PROFESSEUR DE
PHYSIOLOGIE A L'INSEPS

JE DEDIE CE TRAVAIL

...

A MON PERE M A L I C K G U E Y E

A MA MERE N O G A Y E S E Y E

Trouvez ici l'expression de toute ma reconnaissance et
et de tout mon dévouement sans limite.

A TOUS MES FRERES ET SOEURS

Je vous exprime sans réserve tous mes sentiments
chaleureux et fraternels

A TOUS MES PARENTS

Pour une franche unité

A TOUS MES AMIS ET COLLEGUES DE L'INSEPS, PARTICULIEREMENT

A SERIGNE MBACKE G' E' E Y E

pour une collaboration fertile et durable

=====

R E M E R C I E M E N T S

=====

Nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui, de loin ou de près, nous ont soutenus dans la réalisation de ce travail.

- Dr Fallou CISSE, Assistant à la Faculté de Médecine et de Pharmacie, dont l'exigence et les conseils sans réserve, placés toujours au bon moment, ont marqué et permis la réussite de ce mémoire.
- Le Capitaine et l'ensemble de tous les militaires français de Bel Air, dont la collaboration a été franche, totale et décisive.
- Niama SALL et tous ses collègues infirmiers et étudiants dont la participation dans ce travail et le dévouement ont été d'un apport clé.
- Marie DIENE, Secrétaire à l'INSEPS dont la minutie et l'amour du travail bien fait ont permis une telle présentation du document.
- Moibatou BADAMASSI à Dakar dont l'image et la spontanéité permanente dans la pensée et le geste ont largement influencé la réussite de ce mémoire.

=====

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>CHAPITRE I : LE MARATHON</u> -----	4
I./- Historique -----	4
A. - Origine -----	"
B. - Marathon et Jeux olympiques -----	5
II./- LE MARATHON EN AFRIQUE -----	5
III./- LE MARATHON FEMININ -----	6
IV./- DEROULEMENT ET REGLEMENTS -----	7
V./- EVOLUTION ET CONCEPTION ACTUELLE -----	"
A.- Approche psychologique -----	7
B.- Approche sociologique -----	8
C.- Approche économique -----	9
<u>CHAPITRE II : DONNEES DE PHYSIOLOGIE SUR L'EFFORT PHYSIQUE ET LE ET LE MARATHON</u>	
I./- RAPPELS PHYSIOLOGIQUES -----	11
A.- La fréquence cardiaque -----	11
B.- Le débit cardiaque -----	12
C.- La pression artérielle -----	"
D.- Le pouls -----	13
E.- La température -----	"
F.- La respiration -----	14
G.- La consommation d'oxygène au repos ("
H.- La consommation maximale d'oxygène	15
II./- EFFORT PHYSIQUE ET PRODUCTION D'ENERGIE	19
A.- Notion d'énergie -----	"
B.- Principales sources d'énergie -----	"
a/- Source d'énergie anaérobie ----	
1. Processus anaérobie alactique	
2. Processus anaérobie lactique	
b/- Source d'énergie aérobie -----	21
c/- La dette d'oxygène -----	22
1. Régime transitoire d'installation	
2. Régime transitoire de récupération	
d/- Le second souffle -----	23
e/- Aptitude physique -----	25

III./-	PHYSIOLOGIE DU MARATHON	27
A/-	Caractéristiques du marathonnien ----- "	
	a.- caractéristiques anatomiques	
	b.- caractéristiques physiologiques	
B/-	Coût énergétique du marathon -----	29
C/-	La régulation thermique -----	32
D/-	La déperdition hydrique -----	33
E/-	Les effets de l'entraînement -----	35

I

CHAPITRE III : EXPERIMENTATION

I.	MATERIELS ET METHODES -----	39
	A/- Sujets -----	
	B/- Méthodologie -----	
II./-	EXPLOITATIONS STATISTIQUES DES RESULTATS	40
III./-	COMMENTAIRE -----	51
	A/- La fréquence cardiaque -----	"
	B/- La température centrale -----	52
	C/- Le poids -----	"
IV./-	DISCUTION -----	52

CONCLUSION G E N E R A L E ----- 56

B I B L I O G R A P H I E - - - - -



- INTRODUCTION -

Les individus, généralement, mènent un rythme de vie mouvementé, voire très épuisant quelquefois. En effet, quotidiennement, ils sont soumis à une série d'activités qui vont des nécessités primordiales (gestes et exercices rentrant dans le cadre de la satisfaction des besoins de survie et, dans le maintien des relations adéquates entre les individus et leur environnement immédiat), à leurs caprices les plus extravagantes (courses de 100 km avec le moins d'étape possible, rester le plus longtemps sans respirer...).

Déjà, au cours de la vie, l'organisme humain fonctionne sans interruption comme une véritable machine avec ses différents rouages. Dès son premier contact avec le monde extérieur, le nouveau-né commence à gesticuler, à crier. Petit à petit, il commence à ramper, à toucher, à saisir. L'homme adulte aussi, tout au long de son existence, gesticule, marche, court, saute, soulève, porte, pousse, monte, conduit.

Cette gamme d'exercices ou de gestes variés constitue pour la plupart du temps des actes effectués consciemment ou inconsciemment pour atteindre en général des objectifs avec satisfaction. Seulement comparer l'organisme humain à une véritable machine ne suffit malheureusement pas pour assimiler les ressources et les moyens de fonctionnement de l'un à ceux de l'autre. Et pourtant tout fonctionnement d'un ensemble ou d'un système en général implique l'existence et la mise en place de ressources énergétiques bien précises. C'est donc dire que l'organisme en a besoin pour continuer à s'activer. C'est pourquoi, dans ce travail, en premier lieu, nous nous sommes demandés :

- d'où provient l'énergie nécessaire au fonctionnement de l'organisme ?
- comment cette énergie fait-elle fonctionner l'organisme ?

Ensuite, nous avons constaté qu'au cours d'une activité physique, dans l'immédiat, il se produisait les modifications suivantes

- la fréquence cardiaque s'élève
- la température centrale augmente.

Il se produit une sudation plus ou moins importante selon l'individu et l'intensité de l'exercice. Cette sudation entraîne une certaine perte d'eau, de sels et d'électrolytes dont l'organisme a constamment besoin (Na^+ , Cl^- , K^+).

Ainsi, il semble que l'effort physique soit un moyen permettant de faire passer l'organisme de son ^{état} habituel de repos à un autre état inhabituel de travail pendant lequel ^{s'observent} des changements et des perturbations dans la fonction de presque tous les organes du corps. Et si cet effort physique se prolonge au delà de la capacité et des possibilités de l'individu, des accidents mortels peuvent survenir. C'est ainsi que :

- une très grande accélération des battements du coeur entraîne un arrêt de celui-ci.
- une élévation très rapide de la ^{quantité de} chaleur dans l'organisme crée des ennuis sérieux dans certaines fonctions organiques, et cela peut entraîner, à coup sûr, un coup de chaleur ou hyperthermie maligne d'effort dont nous parlerons beaucoup plus en détail plus loin.
- une très grande perte d'eau sans aucun moyen de compensation entraîne une déshydratation qui, lorsqu'elle n'est pas corrigée peut provoquer la mort.

Enfin, tout récemment, des événements à la fois surprenants et alarmants ont commencé à faire des ravages dans les rangs d'anciens sportifs professionnels. Ces derniers après une pratique de sport au haut niveau pendant plusieurs années, voient un jour leur coeur cesser de battre tout d'un coup occasionnant ainsi une mort brutale et imprévisible. Là aussi, pouvons-nous supposer que les exigences et les enjeux de la haute compétition ou d'un certain professionnalisme l'ont remporté sur les capacités et les tolérances de l'organisme humain.

C'est pourquoi, en face de toutes ces constatations, nous avons décidé au moyen de l'expérimentation que nous avons menée, non seulement de mettre à nu les modifications physiologiques occasionnées par l'activité physique, mais de les étudier et de les analyser de plus près pour comprendre pourquoi et comment elles se manifestent dans l'organisme.

De même, tout au long de ce travail, nous serons constamment motivés par un souci sans fin de palier à ces éventuels accidents, mais surtout de montrer que :

Plus on connaît un organisme humain, mieux on déterminera ses besoins et les façons les plus adéquates de satisfaire ses besoins. Et une telle démarche suppose la connaissance d'un seuil au delà duquel tout effort physique entraîne une détérioration certaine de l'organisme, même si elle est lente. A partir de ce moment, on pourrait choisir les différentes activités et surtout les normes et l'intensité d'exécution de celles-ci.

Nous serons aussi particulièrement animés par une volonté farouche d'acquiescer notre future profession de professeur d'éducation physique et du sport, voire même notre métier d'entraîneur sur la médecine sportive.

En effet, nous estimons que la science peut et doit être au service de toutes les démarches visant des objectifs et des finalités pédagogiques. Ainsi, on escompterait, dans les établissements scolaires et universitaires, des résultats dont la portée éducative serait déterminante pour les élèves et les étudiants. De même, dans les terrains de sport, les performances visées seront réalisées sans conséquences désastreuses, même à long terme.

Pour mieux illustrer notre expérimentation et apporter des solutions satisfaisantes aux problèmes posés antérieurement dans ce travail nous avons choisi comme exemple une course de longue distance : le semi-marathon dont le parcours s'étale sur 21 km.

Dans un premier chapitre, nous essayerons d'abord d'apporter des éclaircissements sur cette course de fond qu'est le marathon.

CHAPITRE I
LE MARATHON

I. HISTORIQUE

Le marathon est l'une des disciplines de l'athlétisme qui a le plus ébranlé la conscience humaine, à cause de son origine légendaire et de la particularité de l'effort qui y est fourni. C'est en effet, une course qui a connu une évolution constante et qui de nos jours, commence à émerger du lot des autres disciplines olympiques. Il doit un tel privilège à son impact psychologique, sociologique et économique sur les individus.

A. ORIGINE

Marathon, au vrai sens du mot, est un village de l'Attique situé à 39 km au Nord Est d'Athènes. Il comptait 2000 habitants et était considéré comme la Patrie de Tibérius Atticus, rhéteur grec qui avait beaucoup investi pour cette patrie

A cette période, les guerres médiques, entre les Perses et les Grecs, bouleversèrent toutes les structures sociales, politiques et économiques, tant les massacres et les dégâts furent nombreux.

En 490 avant Jésus-Christ, les Athéniens, commandés par Miltiade, remporteront une victoire décisive sur les Perses. Cette victoire sauva la Grèce de l'invasion, la Perse mit fin à la première guerre et donna aux athéniens la plus grande confiance en eux même tout en accroissant leur prestige parmi les grecs.

Le célèbre coureur de ce village appelé Pheidippides, accomplit d'une traite à la course, la distance qui séparait le champ de bataille d'Athènes où il portait la nouvelle et mourût en arrivant, épuisé par son effort, après avoir annoncé la victoire.- Il avait alors couvert la distance de 40 km.

Ainsi à la mémoire de ce vaillant coureur-soldat, on commença à courir sur cette distance pour ne pas laisser mourir son exploit. Pour la même occasion, cette course empruntera son nom au village : Marathon.

B. MARATHON ET JEUX OLYMPIQUES

Petit à petit, le marathon devint si populaire qu'il suscita des idées chez beaucoup de gens. C'est ainsi que Michel Breal, un philosophe français, épris par la légende grecque, va s'emparer de ce mythe et en faire l'une des pièces maîtresses des jeux olympiques. Voulant coûte que coûte concrétiser son initiative, Breal écrit au baron De Coubertin, pour lui annoncer qu'il offrira une coupe en argent au premier coureur qui, parti de Marathon, arrivera à Athènes. Le baron réticent au début, finit par accepter. Et alors la course de Marathon devint une épreuve officielle.

Lors des jeux olympiques de Londres, en 1908, on courut pour la première fois le marathon sur un parcours de 42,195 km. Cette nouvelle distance ne sera totalement officialisée qu'aux Jeux olympiques de Paris en 1924, date à partir de laquelle, cette épreuve ne quitta plus le programme olympique.

II. LE MARATHON EN AFRIQUE

Le marathon n'est pas aussi répandu, ni aussi pratiqué que les autres disciplines olympiques, en Afrique. Sa survie dans le continent est actuellement l'oeuvre unique des Africains de l'Est, principalement, les Kenyans, les tanzaniens et les éthiopiens qui figurent parmi l'élite mondiale. Dans les autres parties du continent, le marathon est quasi-inexistant, sauf au Sénégal qui, au cours de son histoire sportive, a réussi à aligner deux coureurs sur cette distance, sans que ceux-ci soient réellement des spécialistes de cette course.

Là aussi, on pourrait se demander pourquoi cette partie orientale de l'Afrique a le pouvoir et le mérite de présenter toujours à elle seule, les meilleurs coureurs de fond en Afrique ?

L'histoire du marathon féminin est aussi très ancienne, car elle date de presque 100 ans. Déjà en 1896, une femme grecque nommée Melpomène demanda à faire les sélections du marathon pour les jeux olympiques d'Athènes. La demande fut rejetée. Néanmoins, elle maintint sa décision et participa tout de même à la course qu'elle termina à un peu plus de 4 h 30 mn. A cette époque, le marathon se courait encore sur une distance de 40 km.

Plus près de nous, en France, Marie Louise Lodre, se distingua à la belle époque, en participant à plusieurs épreuves de très longue durée dont plusieurs marathons. Mais là aussi, il faut signaler que Marie Louise Lodre était plutôt une marcheuse réputée.

Il faudra attendre les années 1970, pendant lesquelles le mode du jogging frappa à toutes les portes, surtout aux U.S.A pour que le marathon féminin débuta réellement. En effet, Katryn Switser, une américaine, en 1967, avait couru le marathon de Boston sous un faux nom, car à l'époque les courses mixtes étaient interdites. Elle fut par la suite disqualifiée.

Seulement, les premières performances sur cette distance vinrent d'Europe avec l'allemande de l'Ouest Christa Vahlencieck et la française Chantal Langlace. Ces dernières, durant quatre années successives battront et rebattront la meilleure performance mondiale, Langlace, par deux fois, détient le record mondial :

- la première fois en 1974 avec 2h 44'26"
- la seconde fois en 1977 avec 2h33' 16"

En 1981, à New York, Alisson Roo fit une apparition très furtive sur la distance en réalisant 2h 25'42".

Actuellement, en 1983, nous vivons l'ère d'une Norvégienne, Grete Waitz qui est devenue la première femme championne du monde du marathon à Helsinki. Sa meilleure performance, 2h 22'43" est largement éloquente, comparée aux performances masculines des premiers champions olympiques. La aussi, est-ce que réellement les hommes sont plus endurants que les femmes ? Ne verrait-on pas un jour les rôles inversés ?

Le marathon doit se courir sur des routes dures et non pas sur des terrains meubles, en remblais, ou en gazon. Il y a la possibilité de donner le départ et l'arrivée dans un stade pour mieux suivre les différentes cérémonies de présentation et de protocole. Tout au long du parcours, des postes de ravitaillement doivent être prévus par les organisateurs à 5 km du départ, et après, tous les 5 kms.

Dans ces postes de ravitaillement, on trouvera des stands contenant en priorité de la boisson sucrée, de l'eau, et tous les aliments à forte proportion de sucre. Chaque concurrent a la possibilité de se ravitailler à volonté dans chaque stand. Il est néanmoins prévu entre les postes de ravitaillement, des postes d'épongement où les concurrents pourront uniquement prendre de l'eau. Des rafraichissements seront disposés à la portée de chaque concurrent et remis par les organisateurs.

Tout concurrent qui prend des rafraichissements à un autre endroit que celui désigné par les organisateurs sera exposé à une disqualification.

V. EVOLUTION ET CONCEPTION ACTUELLE

De nos jours, le marathon est devenu plus qu'une simple discipline olympique. Il répond en effet, à l'attente de tout le monde aussi bien sur le plan psychologique, sur le plan sociologique que celui économique.

A/. APPROCHE PSYCHOLOGIQUE

Tout individu est à peu près sûr et certain que courir 42 km, quel que soit le rythme, ne peut pas être un amusement et ne sera jamais à la portée de n'importe qui. A partir de ce moment, il s'avère exact de considérer le côté psychologique de cette course, car ce dernier inconsciemment se manifeste avant, pendant et après la course. A la limite, on fait d'abord cette course mentalement compte tenu de ses différentes appréhensions psychologiques. Ainsi, lutter contre la fatigue, la soif, la chaleur et la solitude suppose deux attitudes antagonistes :

- être animé d'une volonté farouche de vaincre et venir à bout de ces obstacles
- ou se laisser dominé par ceux-ci et voir ainsi ses forces s'estemper.

C'est pourquoi aujourd'hui, à l'image du marathon, beaucoup de courses de fond sont utilisées comme des tests de volonté. Et une telle constatation nous permet d'affirmer que le ~~marathonien~~ ~~marathonien~~ dispose de structures psycho-caractérielles particulières qui lui affectent un moral d'acier.

B/. APPROCHE SOCIOLOGIQUE

L'un des points forts de cet aspect du problème est l'enregistrement d'un nombre de femmes de plus en plus grand dans cette discipline. Un tel événement est assez éloquent pour mieux argumenter les propos des partisans de l'égalité de l'homme et de la femme, surtout quand ces marathoniennes commencent à réaliser des temps qui avoient ceux des meilleurs coureurs.

La popularité du marathon et son degré d'influence sur les individus vont entraîner une déviation de cette course. On assiste de plus en plus, parallèlement à un marathon, à une épreuve de marche familiale sur une distance déterminée où tous les membres d'une famille peuvent à leur gré courir, s'arrêter, marcher et reprendre la course sans avoir à se soumettre à aucune réglementation. Un tel phénomène conduit à des considérations sociologiques qui vont des plus objectives et des plus bénéfiques aux plus subjectives et aux plus néfastes.

Ainsi, on loue la participation de plus en plus grande d'individus de tous les âges et de tous les sexes, à ces épreuves de volonté dont la principale incidence est de solliciter toutes les fonctions organiques et mentales des individus. Cette sollicitation en restant dans les limites des possibilités de chaque individu, ne peut s'avérer avantageuse. Et la meilleure illustration, de nos jours, est la campagne d'assainissement, de rajeunissement et de fortification du corps humain par le sport en général et par la course à pied en particulier, lancée par certains médecins.

L'ampleur d'un tel évènement a joué un rôle déterminant dans la création et la vulgarisation du jogging. Et on commence à assister à une certaine classification des familles et des individus. C'est ainsi qu'aujourd'hui, on peut entendre parler de :

- "famille jeune" quand dans toute la famille, des parents jusqu'aux enfants, tout le monde, ensemble ou séparément, fait ses séances de footing ou d'exercices de gymnastique.

- "Jeunes du 3^e âge" quand les individus âgés de plus de cinquante ans, ensemble dans un club ou séparément s'adonnent à la course à pied, où à des exercices de maintien.

- "Force du sexe faible", en considérant le niveau des performances actuelles des femmes dans ce domaine. La preuve la plus éloquente est le classement des hommes et des femmes ensemble lors des séances de courses mixtes, aussi bien dans les compétitions que dans les établissements scolaires.

Seulement l'autre face de la médaille offre une image désastreuse. Combien d'hommes, d'adultes, de jeunes, de vieillards, et de femmes se sont écroulés définitivement sur les parcours ou à l'arrivée en voulant relever un pari ou montrer une quelconque supériorité d'aptitude. Là aussi, l'orgueil et la non sportivité l'ont remporté sur le côté médical et hygiénique de la course à pied.

C/. APPROCHE ECONOMIQUE

Il n'est pas surprenant que le marathon, devenu aujourd'hui aussi populaire et aussi attrayant ne soit pas parvenu à échapper aux différentes exactions des hommes d'affaires et des chefs d'entreprise. Actuellement, il est l'un des terrains les plus connus où s'effectuent des paris de toutes sortes et les publicités de toute nature. C'est d'abord la course qui, à cause de sa durée, est prise d'assaut par toutes les chaînes de télévision, en particulier les privées qui ont souvent la chance de faire de bons reportages. De même, tout concurrent qui réussit à se placer en tête du peloton avec certaines marques d'équipements sportifs sera rémunéré en tenant compte de la dis-

tance parcourue. C'est aussi l'occasion pour certaines entreprises et certaines maisons de fabrique, d'imprimer les emblèmes de leurs produits, sur ces équipements sportifs pour mieux faire passer leur publicité sans oublier celle effectuée toujours par ces coureurs en dehors des courses sur piste.

Mais comme toujours, l'image montrée par l'autre face de la médaille est scandaleuse et regrettable. Les enjeux de l'argent ont su l'emporter sur ceux de l'éthique sportive et du respect de la machine humaine. Beaucoup de coureurs en général se sont détruits sur les parcours en voulant forcer pour maintenir et augmenter leurs recettes, ou en additionnant de façon irrationnelle les compétitions pour gagner encore beaucoup plus d'argent.

Actuellement, une chose est certaine. Le marathon s'est ancré définitivement dans l'esprit des gens. C'est la seule discipline olympique d'athlétisme qui puisse se prévaloir d'une origine légendaire, et qui pendant des heures sans interruption, tient le public en haleine. Aujourd'hui, il répond à l'attente de plusieurs chercheurs en physiologie, particulièrement dans le domaine de l'exercice physique et de la dépense énergétique. Son choix est, dans ce domaine précis, justifié par le caractère dynamique et prolongé de l'effort qui y est fourni. Celui-ci, tout en augmentant d'intensité sollicite progressivement les fonctions respiratoires, cardiaques et circulatoires, musculaire et osseuse. Cette sollicitation engendre des modifications biologiques importantes dont la bonne compréhension nécessite certains rappels physiologiques de l'activité musculaire en général et du marathon en particulier.

Une telle démarche sera l'objet du deuxième chapitre.

CHAPITRE II
DONNEES DE PHYSIOLOGIE SUR
L'EFFORT PHYSIQUE ET LE MARATHON

CHAPITRE II.

DONNEES DE PHYSIOLOGIE SUR L'EFFORT PHYSIQUE ET LE MARATHON

Déjà dans l'introduction, nous avons commencé par constater que, lors de l'effort physique, des modifications se répercutaient à la fois sur le rythme cardiaque, sur la quantité de chaleur produite qui conditionne la température centrale du corps. Dans la même lancée, il se produit une perte d'eau et d'électrolytes.

Seulement, tous ces mécanismes, bien qu'ils soient observables sans grande difficulté, en considérant leurs processus d'évolution, suscitent des analyses rigoureuses pour mieux les expliquer dans leurs genèses et leurs évolutions. C'est pourquoi, pour rendre beaucoup plus accessible la compréhension de ce chapitre que nous venons d'aborder, nous allons avant tout, essayer de donner quelques définitions de mots.

I/. RAPPELS PHYSIOLOGIQUES

A/ LA FREQUENCE CARDIAQUE (F.C)

C'est le nombre de contractions ventriculaires par mn. On peut la déterminer avec un électro-cardiogramme ou avec un stéthoscope, ou simplement en palpant le coeur à travers les côtes, en dessous du pectoral gauche.

Chez l'homme adulte, sain, au repos, couché, placé dans des conditions proches des conditions basales, la FC se situe aux environs de 65 battements/mn en moyenne. Chez la femme, en général, il faut ajouter 7 à 8 battements/mn à la moyenne retrouvée chez l'homme. A l'effort, cette F.C augmente de rythme pour prendre des valeurs avoisinant 160 à 180 battements par minute. C'est pourquoi la formulation d'un seuil de battements du coeur s'est imposée. Et selon Quillet (20), la F.C maximale est obtenue en posant l'équation :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{-----} \\ 220 - 1' \text{âge du sujet} \\ \text{-----} \end{array} \right\}$$

.../...

B./ LE DEBIT CARDIAQUE (Q = Litres/mn)

C'est le volume de sang éjecté par unité de temps dans l'artère principale par chaque ventricule.

On l'exprime par : $Q = \text{litres/mn}$

A quelques fluctuations près, les débits cardiaques gauche et droit sont identiques. Au repos, il est de 5 à 6 litres par minutes. A l'effort, il peut passer de 15 à 20 litres par minute pour le sédentaire, et 25 à 30 litres par minute pour un sujet entraîné.

Seulement, le débit cardiaque est en relation étroite avec le volume d'éjection systolique (VS). Ce dernier représente la quantité de sang éjectée par le ventricule gauche ou le ventricule droit du coeur à chaque contraction, dans l'aorte ou dans l'artère pulmonaire (17). Il varie d'un individu à l'autre et selon le degré d'entraînement. Chez le sédentaire, le V.S passe de 60 ml/battement environ au repos, à 90 ml/battement lors de l'exercice. Chez le sujet entraîné il passe de 105 à 165 ml/battement (14).

$$Q = \text{litres/mn}$$

$$= VS \times FC$$

C./ LA PRESSION ARTERIELLE

pression du sang dans les artères. Elle est mesurée avec un tensiomètre qui l'exprime avec deux valeurs :

- un premier bruit qui correspond à la MAXIMA
- un second bruit qui correspond à la MINIMA

La maxima est la pression systolique, c'est-à-dire la force de contraction du coeur.

La minima, quant à elle, se rapporte à la pression diastolique, plus précisément, le repos du coeur considéré comme phase de remplissage.

EX. Valeur normale pour un sujet = 12/7

12 correspond à la Maxima
7 correspond à la minima.

On note une pression différentielle de 5 qui est meilleure et vivement plus souhaitable comme écart que 3 dans le cas de 13/10. A ce niveau (13/10) on note un pincement de la différentielle, dû à l'élévation de la pression diastolique qui est grave.

C'est pourquoi, selon certains médecins, l'évolution des valeurs de la pression artérielle doit se faire dans le rapport de 5 à 1. Quand la systolique augmente de 5, la diastolique augmente de 1.

On parle d'hypotension quand la maxima est inférieure à 9 et de collapsus cardio-vasculaire quand la maxima est inférieure à 7.

D/. LE POULS

C'est la fréquence des ondes de pression progressant le long des artères périphériques. Il est exprimé en ondes/mn. On peut le prendre sur l'artère radiale, sur l'artère ~~carotidienne~~ sur l'artère pédieuse ou l'artère fémorale.

Il faut particulièrement remarquer que chez les individus normaux, la FC et le pouls sont identiques.

Les valeurs sont pratiquement les mêmes que celles de la FC pour tout individu normal.

E/. LA TEMPERATURE CENTRALE

C'est la température qui règne au niveau de l'organisme. Elle est exprimée en degré centigrade. Dans les conditions normales, elle est constante et sa valeur se situe habituellement entre 37°C et 38°C. Cette valeur doit être maintenue constante tout au long de l'existence de l'individu. C'est pourquoi, l'être humain est soumis, chaque fois que cela est nécessaire, aux processus de la thermorégulation, ensemble des dispositions fonctionnelles qui déterminent la constance du milieu intérieur.

En plus, il existe une température de neutralité thermique du milieu extérieur, plus précisément de l'environnement qui se situe aux alentours de 26°C. Suivant que cette température ambiante est supérieure ou inférieure à 26°C, la thermorégulation agira respectivement dans le sens d'une lutte contre le froid ou contre la chaleur.

Ainsi l'homme est qualifié d'homéotherme (1) c'est-à-dire qui doit maintenir sa température constante, contrairement à un poikilotherme.

F/. LA RESPIRATION

Au sens physiologique du terme, c'est la fonction qui préside aux échanges gazeux entre le milieu extérieur et la cellule vivante, et qui consiste en une absorption d' O_2 et un dégagement de CO_2 . Au niveau pulmonaire, cela correspond respectivement à l'inspiration et à l'expiration.

Seulement, cette répartition des gaz depuis l'air atmosphérique jusqu'à la fibre musculaire en activité s'effectue suivant trois étapes principales (1) et (14) :

- au niveau pulmonaire où s'effectuent le prélèvement de l' O_2 et sa diffusion dans le sang. Cet échange à ce niveau s'appelle l'hématose.

- au niveau cardio-vasculaire où l'oxygène est transporté par le sang aux différents tissus en activité.

- au niveau tissulaire où l'oxygène permet la combustion des substrats énergétiques : hydrates de carbone et lipides ; ce qui permet la libération de l'énergie nécessaire aux contractions musculaires.

Le volume pulmonaire au repos est de 8 à 10 l. A l'effort, il peut passer de 25 à 30 l avec une élévation très nette de la fréquence respiratoire.

Néanmoins, il existe un volume courant qui est le volume de gaz mobilisé lors d'un cycle respiratoire. Il est de 0,5 l.

G/. LA CONSOMMATION D'OXYGENE AU REPOS (VO_2)

Elle se mesure par la différence entre la quantité d'oxygène inspirée et celle de l'oxygène expirée (14). Elle est de l'ordre de 250 ml/mn. Le muscle au repos, consomme 0,3 à 0,4 ml/mn pour 100g de muscle.

A l'effort, lorsqu'un sujet fournit un travail à charge constante, sa VO_2 augmente jusqu'à un niveau d'équilibre. A la fin de l'effort, cette VO_2 diminue, d'abord rapidement, puis lentement, pour atteindre ensuite la valeur de repos (14).

Par ailleurs, l'oxygène ne pouvant être véhiculé dans l'organisme que par le sang, il est tout à fait acceptable de considérer que durant les travaux musculaires de puissances croissantes, plus le volume de sang apporté aux muscles en activité est ~~grand~~ plus le volume d'oxygène apporté est important. C'est pourquoi, nous pensons que la consommation d'oxygène en général, et particulièrement lors de l'effort, évolue de façon linéaire avec le débit cardiaque.

D'ailleurs, FORNARI et ses collaborateurs (7) ont réussi à démontrer qu'une augmentation du débit cardiaque de 6 ml/mn est nécessaire en moyenne pour augmenter de 1 l/mn le débit d'oxygène. De même LESBRE et COLL(16) estiment qu'à l'effort, l'augmentation du débit cardiaque est de 600 à 900 ml/mn pour une augmentation de la consommation d'oxygène de 100 ml/mn.

Seulement, le débit cardiaque, dans ce contexte ne peut pas être considéré isolement, dans la mesure où il dépend dans un sens du rythme cardiaque. C'est donc envisager une ~~inter-relation entre~~ la Fréquence cardiaque et la consommation d'Oxygène.

Pour BRIKCI et COLL(2) la fréquence cardiaque est proportionnelle à la consommation d'O₂ jusqu'à un maximum à partir duquel la fréquence cardiaque peut encore augmenter sans qu'augmente la consommation d'O₂. C'est pourquoi, à ce niveau, nous pouvons constater encore qu'elles montrent une évolution linéaire mais n'atteignant pas leur maximum au même moment.

LA CONSOMMATION MAXIMALE D'OXYGENE (VO₂ Max)

Nous avons déjà vu que la consommation d'oxygène par le muscle au repos était de 0,3 à 0,4 ml/mn pour 100 g de muscle. A l'effort cette consommation d'oxygène par le muscle peut atteindre 14 ml/mn pour 100 g de muscle. Ainsi, on note une augmentation du coefficient d'utilisation d'oxygène. Et en faisant le rapport Oxygène consommé et Oxygène disponible, Astrand (1) montre que :

$$\frac{\text{O}_2 \text{ consommé}}{\text{O}_2 \text{ disponible}} = \text{de } 25 \text{ à } 70\%$$

Mais en réalité, la consommation d'oxygène ne suit pas progressivement la quantité de travail. En effet, quand la puissance de

travail augmente, la consommation d' O_2 évolue parallèlement à elle jusqu'à un niveau d'équilibre, à partir duquel cette consommation d'oxygène tout en augmentant, va atteindre une valeur qui ne peut plus être dépassée. Cette valeur correspond à la consommation maximale d' O_2 (VO_2 max).

Astrand (1) définit cette VO_2 Max comme le volume d' O_2 que peut consommer un individu, lors d'un exercice musculaire pratiqué au niveau de la mer en inhalant de l'air atmosphérique, la durée de l'effort étant de 2 à 6 mn suivant la puissance imposée au sujet.

Pour QUILLET et GENETY (20), la VO_2 Max est la quantité d'oxygène qu'un sujet peut prélever au niveau pulmonaire, transporter au niveau cardio-vasculaire et consommer au niveau tissulaire dans l'unité de temps. Mais JACQUES et collaborateurs (25) la définissent comme étant la capacité maximale d'oxygène qu'un kg de muscle peut absorber en une minute.

Quelle que soit la définition, il ressort que la VO_2 max apporte des arguments précis sur l'aptitude physique et énergétique de l'individu. Ainsi, elle permet de sélectionner des sportifs et de les classer en moins ou plus aptes à exercer un effort prolongé. C'est pourquoi, la VO_2 Max s'avère être un facteur déterminant dans les courses de fond et ses influences sont particulièrement décisives au cours d'un marathon. Elle varie entre 2,5 à 4 litres/mn en moyenne. Chez les marathoniens, elle peut dépasser 6 litres/mn.

Néanmoins, la VO_2 Max est largement influencée par les variations inter-individuelles, en particulier par l'âge et le sexe. Dans la même lancée, beaucoup de physiologistes affirment le rôle non négligeable de l'entraînement dans la VO_2 Max, qu'il peut augmenter progressivement de 10 à 20% chez les sujets sédentaires.

REMARQUE :

Parmi les éléments que nous venons de définir, certains présentent entre eux des corrélations qui vont des plus simples aux plus étroites et complexes. Nous avons déjà vu que le débit cardiaque dépend significativement du volume d'éjection systolique (V.S).

De même, en considérant le débit cardiaque par rapport à la fréquence cardiaque, on peut constater que suivant que cette dernière sera plus ou moins élevée, le débit cardiaque présentera des volumes différents. Le meilleur argument à cette affirmation est apporté par la formule suivante :

$$Q = VS \times FC$$

Q = débit cardiaque (en ml/mn)

VS = volume d'éjection systolique (en ml/battement)

F.C = fréquence cardiaque (en cycles/mn).

Ici, le simple constat permet de déduire que l'augmentation ou la diminution de l'un des facteurs du produit entraîne l'augmentation ou la diminution du résultat. C'est pourquoi nous pensons que le débit cardiaque dépend étroitement du volume d'éjection systolique et de la fréquence cardiaque. Ainsi, à l'état de repos, le cœur qui, normalement, doit battre aux environs de 55 à 65 battements/mn, présente un débit cardiaque de 5 à 6 litres. Au cours d'un effort prolongé, faisant passer la fréquence cardiaque de 150 à 180 battements par minute, le débit cardiaque devient plus important, passant de 20 à 30 litres/mn. Ce sera dans la même lancée que CHAILLET-BERT.P et PLAS.F (3) affirment que l'augmentation du rythme cardiaque est l'une des possibilités par lesquelles le débit cardiaque augmente.

De telles modifications exercent des influences considérables sur les ondes de progression et la pression du sang dans les artères. Ainsi, on peut constater :

- en pinçant une artère avec les doigts de la main, une accélération plus ou moins grande de cette progression des ondes.
- avec un tensiomètre, une variation des valeurs de la pression artérielle passant par exemple de 11/9 ou 12/7 à 17/10 ou 18/12.

A partir de ce moment, il semble logique de penser que ces ondes de progression évoluant vers la périphérie ne sont que le résultat du débit cardiaque distribué principalement aux muscles en activité. Il est donc aisé d'affirmer l'existence d'une corrélation étroite entre la pression artérielle, la fréquence cardiaque et le

débit cardiaque qui subit l'influence considérable du volume d'éjection systolique.

De même, le sang apporte aux muscles en activité leur ration normale d'oxygène et les débarrasse de leurs toxiques. Là aussi, nous supposons que plus le débit cardiaque sera important, plus le volume de gaz cédé et celui éliminé sera grand et plus l'effort physique sera soutenu par le sujet.

En récapitulant, on peut tout de suite être tenté de déduire que, pour le meilleur des mondes, lors d'un exercice musculaire intense, la Fréquence cardiaque et la fréquence respiratoire s'élèvent en entraînant une augmentation du débit cardiaque et du volume respiratoire. Ces derniers en devenant plus importants et compte tenu de leur rôle dans l'organisme devraient normalement permettre aux muscles de travailler aussi longtemps et aussi intensément que durerait la circulation du sang et la respiration.

Mais dans la réalité, les choses ne se passent pas aussi simplement. En effet une simple observation permet déjà de voir que :

- à la longue, un épuisement total se produit, ne permettant plus aucune activité
- poussé au delà d'un certain seuil, cet épuisement peut non seulement provoquer des accidents souvent irrémédiables dans l'organisme, mais la mort à coup sûr.

C'est pourquoi, nous allons essayer de mieux **corner** l'effort physique en expliquant et en analysant le mode de ravitaillement du corps humain, plus précisément sa source d'énergie.

II. EFFORT PHYSIQUE ET PRODUCTION D'ENERGIE

Tout effort musculaire plus ou moins intense et plus ou moins long implique nécessairement une bonne aptitude physique c'est-à-dire une aptitude biomécanique (mettant en jeu le système de commandes neuro-endocriniens et le système locomoteur) et une aptitude énergétique (mettant en jeu la combustion des hydrates de carbone et des lipides par l'oxygène).

A/. NOTION D'ENERGIE

Le sens premier du terme indique la capacité qui permet à un mouvement ou à une activité de se dérouler. Donc sans énergie, tout est inertie complète, c'est-à-dire une immobilité totale.

Ici dans le cadre qui nous intéresse, l'énergie sert d'abord à l'activité de la cellule vivante. En effet, elle permet à celle-ci de réaliser la synthèse de ses propres constituants, pour se reproduire et pour assurer son adaptation au milieu ambiant qui se traduit par :

- une modification de forme
- des déplacements
- un dégagement de chaleur.

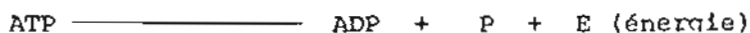
Mais essayons avant tout de connaître les origines de cette énergie.

B/. PRINCIPALES SOURCES D'ENERGIE

Le muscle dispose dans un premier temps, de l'énergie utilisable dans l'immédiat, qui se trouve sous une seule forme et qui est l'adénosine tri-phosphate (A T P).

L'ATP résulte de la combinaison d'une molécule organique appelée l'adénine, et d'une chaîne de trois molécules d'acides phosphoriques. Cette combinaison se réalise au niveau de la cellule à l'aide d'une grande quantité d'énergie.

Chaque fois que le muscle en a besoin, cette quantité d'énergie est mise à la disposition des fibres musculaires grâce à la dégradation de l'ATP qui libère une molécule d'acide phosphorique suivant la réaction.



Ici, l'ADP, l'adénine di-phosphate est considéré comme une sorte d'accumulateur d'énergie", toujours prêt à être rechargé et par con-

séquent à se retransformer en ATP. C'est pourquoi, le physiologiste Albert DUCROQ (21) le qualifie "d'intermédiaire énergétique universel de l'être vivant".

L'ATP est normalement présent dans le muscle au repos. Lors d'une activité ou quand elles sont simplement stimulées par les influx nerveux, les fibres musculaires deviennent capables de dissocier les molécules d'ATP et d'utiliser l'énergie ainsi libérée pour se raccourcir.

Selon le professeur LACOUR (15) la concentration moyenne en ATP est de 3g/kg de muscle frais et la molécule-gramme d'ATP pèse 507 g. Ce qui fait que la masse musculaire mise en jeu lors d'une course par un homme de 70 kg, ayant environ 20 kg de muscle au niveau des membres inférieurs, ne disposera que de 60 g d'ATP qui permettront une dépense énergétique de :

$$10 \text{ kcal} \times \frac{60}{507} = 1,2 \text{ kcal}$$

Après de tels résultats, on peut déduire qu'un exercice, quel qu'il soit, ne peut donc être poursuivi indéfiniment. C'est pourquoi, dans le cadre de la reconstitution des molécules d'ATP, on distingue une source d'énergie anaérobie et une source d'énergie aérobie.

a/ source d'énergie anaérobie

C'est plus précisément la source d'énergie en l'absence de l'oxygène. Elle comporte un processus anaérobie alactique et un processus anaérobie lactique.

1/ Processus anaérobie alactique

Une molécule d'ATP est synthétisée à partir d'une molécule de phosphocréatine suivant la réaction :



C'est donc finalement une dégradation de phosphocréatine qui s'est produite. Seulement cette source d'énergie ne dure que 20 secondes au maximum et ne sert qu'aux sports suivants :

100 m plats, 100 et 110 m hautes épreuves de sauts. (23)

2/ Processus anaérobie lactique

Cette fois, à partir d'une molécule de glucose, deux molécules d'ATP sont synthétisées. Une telle réaction est appelée glycolyse anérobie, c'est-à-dire, la dégradation du glucose en l'absence d'oxygène. Elle s'effectue suivant la réaction :



Ce processus est caractérisé par la formation d'acide lactique ou lactate. Ici encore, dans la thèse du Docteur SOFO (23) on constate que ce processus ne dure que de 20 s à 2 mn.

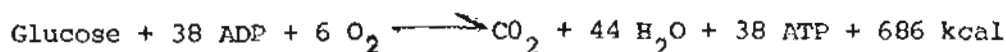
C'est une source d'énergie qui est utilisée lorsque l'exercice est très intense, débordant ainsi l'action de l'énergie fournie par le processus anaérobie alactique.

b/ Source d'énergie aérobie

C'est plus précisément la source d'énergie qui voit la participation très déterminante de l'O₂. Comme réaction à ce niveau, on assiste à une série d'oxydations totales de glucides (glycogènes) et lipides. Ainsi, ASTRAND (1) constate que :

La source d'énergie aérobie prend surtout effet à partir de 2 mn d'effort. A partir d'une molécule de glucose, 38 molécules d'ATP sont synthétisées. Et si l'exercice est d'intensité modérée ou faible, l'énergie est tirée en proportions équivalentes, des lipides et des glucides.

Lorsque l'exercice se prolonge, la part des lipides dans l'apport d'énergie augmente. Mais si l'exercice est très intense, la plus grande partie de l'énergie est fournie par le glycogène suivant la réaction :



Il est certain que la source d'énergie anaérobie alactique et lactique, et la source d'énergie aérobie avec tous ses processus oxydatifs participent activement à la reconstitution des molécules d'ATP en apportant assez d'énergie.

de l'une Elles sont aussi sollicitées en même temps, car la mise en jeu d'entre elles est toujours associée à une augmentation de l'activité des deux autres. L'importance de chacune d'elles dépend de l'intensité et de la durée de l'exercice.

Il ne faudrait pas aussi perdre de vue que la dépense énergétique est plutôt fonction du poids du sujet, tout en sachant qu'une bonne technique et un style efficace ont des influences considérables dans la volonté de faire "économiser de l'énergie". Généralement, plus un poids est léger, plus son déplacement est facile et nécessite moins d'énergie.

c/ La dette d'oxygène

Nous avons déjà vu que les muscles en activité avaient besoin d'un apport d'oxygène suffisant pour assurer leurs contractions et permettre ainsi tous nos mouvements. Mais en réalité, cette consommation d'oxygène varie, au cours d'un exercice musculaire à puissance mécanique constant :

- au début de cette activité musculaire, le volume d'oxygène absorbé n'atteint pas immédiatement le niveau correspondant à la production d'énergie par les muscles.
 - à la fin de l'exercice musculaire, la consommation d'oxygène ne revient pas immédiatement à son niveau de repos précédant l'exercice.
- Pour mieux comprendre et expliquer ces constatations, nous allons nous référer aux illustrations apportées par P.DEJOURS*.

Il distingue, dans le cas d'un exercice sur bicyclette ergométrique à puissance constante (100 watts) :

- une période d'installation qui dure quelques minutes
- une période de récupération qui dure plusieurs minutes.

1/. Régime transitoire d'installations

La consommation d'oxygène s'élève de son niveau stationnaire de repos à son niveau stationnaire de travail, passant respectivement de 13 mmol/mn, soit 300 ml/mn à 66mmol/mn soit 1500 ml/mn.

.../

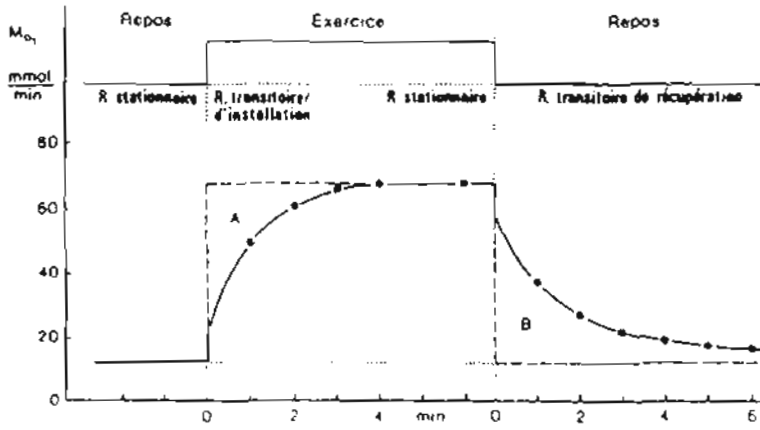


FIG 11-5. - Consommation d'oxygène aux différentes phases d'un exercice sur bicyclette ergométrique

Figure 2

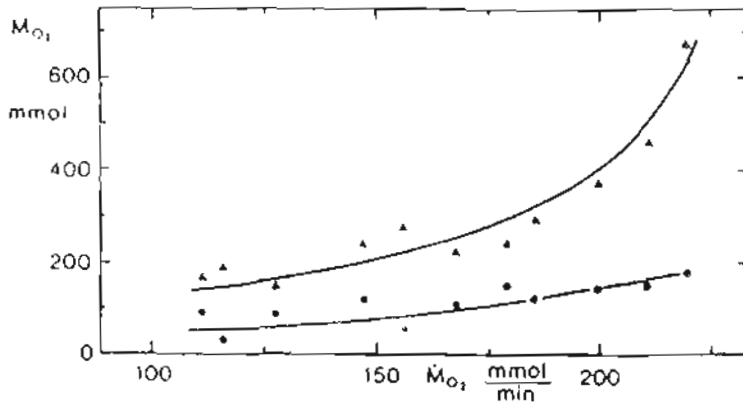


FIG. 11-8 - Dette d'oxygène (courbe inférieure) et paiement de cette dette (courbe supérieure) en fonction de la consommation d'oxygène

Figure 1

Il y a donc un déficit initial de la consommation d'oxygène (surface A de la fig.1), par rapport au niveau qui aurait dû être atteint si la totalité de l'énergie de l'exercice musculaire avait été immédiatement produite par des oxydations aérobies.

2/. Régime transitoire de récupération

La consommation d'oxygène s'abaisse progressivement vers son niveau de repos. Cette surconsommation transitoire d'oxygène par rapport aux besoins énergétiques du repos (surface B, fig.1) constitue le "Paiement de la dette d'oxygène" contractée pendant le régime transitoire d'installation.

Remarque : Sur la figure 1, on constate que la surface B est plus grande que la surface A. Cela résulte du fait que, pendant la récupération, l'oxydation des substances formées par le métabolisme anaérobie lors du déficit initial, exige une quantité d'oxygène supérieure à celle qui aurait été utilisée si l'aérobiose avait été assurée dès le début de l'exercice musculaire.

F.DEJOURS constate que :

"Le rapport de ces deux quantités d'oxygène est de l'ordre de 3, tant pour une petite dette d'oxygène contractée pour une course de 10 mn à 10 km/h (surface A= 50 mmol soit 1 l d'oxygène ; surface B = 170 mmol, soit 3 l d'oxygène) que pour une grande dette d'oxygène contractée pour une course de 10 mn à 20 km/h (surface A= 200 mmol, soit 4,5 l d'oxygène ; surface B = 670 mmol soit 15 l d'oxygène).

Dans tous les cas, la consommation d'oxygène est capitale. Non seulement elle permet d'assurer la survie de l'organisme, mais elle conditionne de façon déterminante la performance dans toutes les courses de fond et particulièrement dans le marathon.

d/. Le second souffle

Les exercices physiques, la course et particulièrement le marathon s'accompagnent d'une augmentation de la fréquence et de la profondeur des mouvements respiratoires. Progressivement, il se crée une gêne respiratoire due à une accumulation importante de métabolites et de toxiques dans les muscles en activité.

La cause vient du fait que l'accélération de la fréquence des mouvements respiratoires, devient de plus en plus importante. Alors la durée de l'expiration pendant laquelle les métabolites et les toxiques sont éliminés est réduite considérablement. Cette accélération du rythme respiratoire continuant à grimper, le coureur commence à atteindre les limites de sa résistance respiratoire, ce qui provoque un **essoufflement**. Ce dernier s'accompagne d'une soif d'air intense, qui à la longue, peut engendrer une certaine sensation de malaise, connue sous le nom de "point mort". Mais bientôt, apparaît un phénomène physiologique curieux. En effet, en plein **essoufflement**, il se produit brusquement un ralentissement du rythme saccadé de la respiration et une diminution de l'amplitude respiratoire. En définitive, on observe une réduction apparente du degré d'essoufflement; Pourtant les quantités d'Oxygène consommé et de gaz carbonique dégagé sont invariables, l'intensité de la course effectuée restant constante est même susceptible d'être augmentée. Les sensations de détresse, d'essoufflement et de soif d'air disparaissent. Ce brusque état physiologique caractérisé par une aisance et une redynamisation de l'aptitude physique à l'effort est désigné sous le nom de second souffle. Il continue d'ailleurs à faire l'objet de spéculations de toutes les formes de la part des physiologistes et des entraîneurs. Mais un des arguments les plus convaincants est donné par LACOUR J.R. (15) qui affirme que "C'est au cours de l'exercice supra maximal, alors que le coureur éprouve une gêne respiratoire intense, que le gaz contenu dans ses alvéoles est le plus riche en Oxygène et le plus pauvre en gaz carbonique."

L'autre aspect de la situation qui vient renforcer la curiosité du phénomène est la non permanence du second souffle. Il est à l'origine de l'installation d'un régime respiratoire qui va se maintenir un certain temps durant lequel le sujet se trouvera adapté à l'intensité de la course. Mais bientôt, l'état de facilité créé par le second souffle va disparaître pour laisser une période de fatigue musculaire et respiratoire s'installer. Un **essoufflement** aigu, survient, malgré la volonté extrême du coureur de vouloir poursuivre.

Ce dernier continue son parcours en courant en anaérobiose. A partir de ce moment, il est susceptible de subir :

- les effets d'un point de côté, résultant d'une hypoxie diaphragmatique

- Des crampes musculaires, résultant d'une très grande accumulation d'acide lactique et de toxiques.

Ce sont des phénomènes qui apparaissent généralement chez les coureurs peu entraînés, et ceux qui ont fait un mauvais échauffement. De même que les repas abondants avant les compétitions peuvent les faire apparaître.

D'une façon générale, le marathonnien et tous les coureurs de fond peuvent, heureusement, être à l'abri des conséquences souvent dramatiques de l'essoufflement poussé. Ils peuvent en effet, ralentir ou suspendre la course, dès que le degré d'essoufflement devient pour eux un supplice.

e/ Aptitude physique

C'est la disposition naturelle d'un individu à effectuer et à soutenir un effort physique convenablement et de façon optimale. Les épreuves sportives représentent la façon la plus courante d'apprécier l'aptitude d'un sujet à fournir un travail. Ici dans ce cadre, elle peut être appréciée objectivement (en cm ou en secondes) ou subjectivement (gymnastique, patinage artistique, plongeon).

Durant la réalisation d'un acte sportif, si les possibilités d'un individu couvrent les exigences d'un tel acte sportif, cet individu pourra réaliser des performances d'un bon niveau.

Pour le marathon, l'aptitude du coureur ou plus précisément, sa capacité de performance se traduira dans une grande mesure par son aptitude à prélever, transporter et à délivrer l'oxygène aux muscles en activité. Dans ces conditions, la détermination de la consommation maximale d'oxygène ou la capacité aérobie est certainement au laboratoire, la meilleure méthode de mesure de l'aptitude physique d'un individu à soutenir l'effort prolongé du marathon. Mais il est certain que les exigences des performances de haut niveau au marathon, sont telles que l'aptitude physique à courir le plus longtemps possible ne suffit plus. Dans ce cas, cette aptitude a besoin d'être entretenue ^{et} améliorée, et ceci, grâce à un entraînement assidu, largement influencé par les apports de la physiologie.

D'autres facteurs secondaires pourront par la suite apporter leur part d'influence (installations et équipements sportifs).

Parallèlement, des études comparatives portant sur l'aptitude physique des femmes par rapport à celle des hommes ont révélé des découvertes intéressantes. En effet, il semble qu'il n'existe aucune différence de métabolisme lipidique entre les hommes et les femmes. Lorsqu'on leur demandait de courir pendant 1 heure à 70% de leur VO_2^{Max} , ils tiraient tous 50% de leur énergie de l'oxydation des graisses.

L'étude des échantillons musculaires prélevés sur ses sujets a montré que les hommes manifestaient une aptitude à métaboliser les graisses significativement plus élevée que celle des femmes et disposaient de certaines enzymes oxydatives à plus forte concentration que les femmes.

Mais une chose est certaine. Un homme et une femme qui disposent d'une même aptitude aérobie et ayant le même niveau d'entraînement, ne présentent guère de différences concernant le métabolisme et les performances potentielles. Par ailleurs, des différences de performances peuvent s'observer sur des distances courtes. Alors, pour expliquer objectivement un tel état de fait, nous nous sommes appuyés sur l'existence entre l'homme et la femme de différences de force musculaire qui, en premier lieu, ne sont que fonction du patrimoine héréditaire et de l'action des hormones sexuelles.

III/. PHYSIOLOGIE DU MARATHON

A/. CARACTÉRISTIQUES DU MARATHONNIER

Le coureur de marathon est caractérisé par un certain nombre de qualités anatomiques, physiologiques et psychologiques. Après avoir parlé des dernières qualités dans l'introduction, nous envisagerons ici, celles anatomiques et physiologiques.

a/- Caractéristiques anatomiques

Les critères physiques qui attirèrent, en premier lieu, l'attention des entraîneurs et de certains physiologistes furent la taille et le poids des coureurs. Ainsi le bon coureur était celui dont la taille ne dépassait pas 1,60 m, et le poids 50 à 60 kg. Mais les travaux et les recherches actuels, tout en considérant ces critères, privilégient plutôt les approches physiologiques.

b/- Caractéristiques physiologiques

Le marathon rentre dans la catégorie des activités où l'effort, quel qu'il soit, est prolongé. A partir de ce moment, la consommation d'oxygène devient largement décisive dans le cadre de cette activité, parce que les processus métaboliques y sont assurés par l'oxygène. C'est pourquoi, la capacité aérobie du coureur doit être élevée. Et la consommation maximale d'oxygène (VO_2Max) devient un critère fondamental d'appréciation de la valeur du coureur.

Seulement, quand les muscles sont en activité, leur consommation d'oxygène obéit aux règles de l'offre, plutôt qu'à celles de la demande, ce qui pose alors le problème d'un taux d'utilisation de l'oxygène consommé.

Ainsi, il faut non seulement présenter une capacité aérobie élevée, mais pouvoir utiliser le plus grand pourcentage de sa VO_2Max en course. Cette dernière caractéristique est d'autant plus importante que deux coureurs peuvent avoir la même VO_2Max , mais se différencier dans leur capacité à utiliser une grande fraction de cette VO_2Max (1).

Et la performance de l'un des coureurs sera d'autant plus élevée que son pourcentage d'utilisation de sa VO_2 Max sera plus grand.

Actuellement, au haut niveau, le taux moyen d'utilisation de la VO_2 Max des coureurs oscille aux environs de 75%. FOX E.L. et COSTILL (9) ont démontré que des coureurs présentant des valeurs de la VO_2 Max beaucoup plus basses, dans la course, ont pu réaliser des performances largement meilleures que celles des coureurs présentant des valeurs de la VO_2 Max beaucoup plus élevées.

Après vérification, le seul motif expliquant ce fait est que les premiers avaient des pourcentages d'utilisation de la VO_2 Max avoisinant 85 à 95 %, alors que les valeurs observées chez les derniers oscillaient entre 65 à 75%.

A partir de telles constatations, il ressort que les premiers coureurs ont pu présenter, sur cette distance, une capacité à tolérer le plus longtemps possible des vitesses de course plus élevées, du fait d'un pouvoir oxydatif élevé de leurs muscles en activité. Pourtant, les tests avaient, au préalable, montré que les derniers disposaient d'une capacité d'absorption d'oxygène plus grande. C'est pourquoi, la consommation d'oxygène et le débit cardiaque, ne peuvent plus être considérés comme seules caractéristiques fondamentales d'un marathonnien. En effet, en analysant de façon critique nous nous sommes rendus compte que seule la source d'énergie peut apporter des arguments convaincants. Certainement, les coureurs se différencient dans leur capacité plus ou moins grande d'oxydation au niveau des muscles actifs. Or cette oxydation est fortement liée au pourcentage d'utilisation de la VO_2 Max. Et là, Pierre TROUILLON* renforce notre argumentation en précisant que les caractéristiques physiologiques du coureur de fond sont manifestement :

- la possibilité de fournir un métabolisme aérobie intense qui se traduit par une consommation maximale d'oxygène élevée.
- la possibilité de fournir une proportion donnée de cette consommation maximale d'oxygène pendant la durée la plus longue possible.

B./- COÛT ENERGETIQUE DU MARATHON

Nous avons déjà vu, que l'oxygène musculaire sert à la combustion des hydrates de carbone et des lipides, ce qui permet la libération de l'énergie nécessaire à la contraction musculaire.

Dans le cadre du marathon, les processus aérobies constituent la principale source d'énergie. Et compte tenu des efforts qui y sont prolongés, l'apport énergétique concernera essentiellement les processus d'oxydation des lipides et des glucides pouvant fournir une quantité d'énergie allant de 2500 à 3000 kcal.(15)

Durant les premières minutes de la compétition, les hydrates de carbone fournissent jusqu'à 90% de l'énergie nécessaire pendant que l'apport des lipides n'est que de 10% ou même moins dans certains cas.

Au fur et à mesure que la course continue, une plus grande quantité d'énergie est assurée aux muscles en activité, mais proportionnellement beaucoup plus des lipides que des hydrates de carbone. Et vers la fin de la compétition, les acides gras assurant entre 95 à 98% de l'apport d'énergie.(4)

Seulement, cette proportionnalité des sources d'énergie au cours du marathon, aussi exhaustive qu'elle puisse être, ne peut pas suffire pour expliquer les variations de la dépense d'énergie. La vitesse de course, plus particulièrement son intensité et le glycogène musculaire constituent des éléments de base avec lesquels, il faut composer, au cours du marathon pour éviter des situations imprévisibles souvent néfastes.

D'abord, l'intensité de la course influe directement sur le caractère de l'apport énergétique. A des vitesses modérées de déplacement, quand la dépense d'énergie est faible, la demande en oxygène est inférieure aux possibilités aérobies du sujet. Donc la consommation courante d'oxygène couvre parfaitement les besoins. La course se déroule alors dans des conditions de stabilité et d'équilibre, c'est-à-dire dans un état de "steady state".

plus

Mais pour des allures de course de plus en/ grande, cet état d'équilibre et tous les mécanismes qui lui sont liés sont bouleversés. L'effort devient alors pénible, car la consommation d'oxygène ne répond plus à la grandeur de la demande. La source d'énergie se trouve alors nettement insuffisante pour le maintien de la course.

Parallèlement, des expériences ont montré qu'un marathonien qui effectue sa course avec des quantités faibles de glycogène, au niveau du foie ou des muscles, ou des deux à la fois, épuise prématurément ses réserves de glycogène et est incapable de terminer cette course.

Ainsi, on comprend maintenant pourquoi certains entraîneurs obligent leurs athlètes à adopter des tactiques de course : la dégradation du glycogène est plus importante lors des premières périodes de la compétition. Un coureur qui, sans y être entraîné, ni habitué, choisit tout de suite une allure très rapide, réduit considérablement ses réserves de glycogène et limite pour la même occasion sa performance.

Néanmoins, il existe des facteurs externes en face desquels, la quantité d'énergie sollicitée par les muscles est plus ou moins importante. La performance est alors plus ou moins grande. Ce sont la résistance de l'air, la nature du parcours et les conditions atmosphériques. La meilleure illustration est donnée par le tableau de la page suivante. Une simple lecture permet d'y constater que les meilleures performances se sont réalisées quand les conditions atmosphériques étaient douces et clémentes, la forme du parcours offrant le moins de difficulté possible. Ainsi on a constaté un pourcentage faible d'abandons.

Des études réalisées par des anglais, ont pu montrer que lors d'une course contre le vent, 5 à 8% de l'énergie nécessaire sont dépensées pour résister à l'air. De même, si le parcours s'étale sur une côte d'inclinaison égale à 6% tous les cents mètres, et que la vitesse de course est de 200 m/mn, la quantité d'énergie dépensée à chaque fois sur cent mètres, augmente de 35%. Dans le sens inverse, on observe une économie d'énergie de 24% tous les cents mètres.

Année et Lieu	Distance (km)	Date	Heure de départ	Conditions Atmos.	Nature du Parcours	Nombre de Pays	Nombre de Partants	Nombre de L'arti.	Nombre d'abandons	% abandon	Vainqueur	Dossard	Nation	Âge	Poids (kg)	Taille	Temps	Moyenne (km/h)	Temps dernier	Remarques
1896 Athènes	40	Dimanche 10 Avril	14H	Temp chaud	accidenté	5	18	10	7 ⁽¹⁾	38%	Spiridon LOUVYS	17	GRE CE	25	-	1,60	24'58"50	13,420	3h09'35" (2)	Parcours en ligne sur jet supposé du solda de Marathon
1900 Paris	40,260	Jeu di 19 Juillet	14H36	35°	Plat	7	19	8	11	57%	Michel THEATO	82	FRAN CE	22	-	1,63	24'59"45	13,438	4h00'43" (3)	Boucle autour de Paris
1904 St Louis	40	May di 30 Août	-	32°	Très accidenté	5	31	14	17	54%	Thomas HICKS	20	USA	28	60	1,67	3h28'53"	11,489	3h47'23" (3)	Plus faible moyenne km re du vainqueur
1908 Londres	42,195	Ven redi 24 Juillet	14H32	26°	Plat	16	56	27	28 ⁽⁴⁾	50%	John HAYES	26	USA	22	56	1,62	3h55'18"	14,442	4h22'45"	Distance qui devint officielle
1912 Stockholm	40,200	Dim anche 14 Juillet	13H48	Temp très chaud	Plat	18	68	34	34	50%	Kenneth MACK ARTHUR	13	AFRI QUE DU SUD	29	70	1,83	2h36'54"	15,372	3h36'35"	Premier Parcours aller-retour. Plus athlétique vainqueur
1920 Anvers	42,744	Dim anche 22 Août	16H	Temp Froid Pluvieux	Très Plat	17 ⁽⁵⁾	48	34 ⁽⁵⁾	14	29%	Hannes KOLEH MAINEN	263	FIN LANDE	30	57	1,69	2h32'39"	16,810	3h07'45"	Premier marathon couvert par temps froid
1924 Paris	42,195	Dim anche 19 Juillet	17H23	Temp chaud	léger ment accidenté	20	58	30	28	48%	Albin STEHRO OB	334	FIN LANDE	35	-	-	2h41'22"	15,689	3h40'52"	
1928 Amsterdam	42,195	Dim anche 5 Août	15H20	Temp doux	Très Plat	23	68	57	11	16%	Ahmed EL OUAFI	71	FRAN CE	29	-	1,66	2h32'52"	16,552	3h19'53"	Parcours aller retour avec boucle au milieu Nbre engageés/Pays = 4
1932 Los Angeles	42,195	Dim anche 7 Août	15H30	27°	Plat	14	28	20	8	28%	Juan Carlos ZARALA	12	ARGO TINE	20	52	-	2h31'36"	16,699	3h10'51"	Nbre engageés/Pays lib rés = 3. Plus jeune vainqueur
1936 Berlin	42,195	Dim anche 9 Août	15H	Temp chaud	Plat	27	56	42	14	25%	Kitei SON	382	JAPON	21	56	-	2h29'49"	16,955	3h32'24"	Première victoire d'un asiatique
1948 Londres	42,195	Sam edi 7 Août	17H30	Temp orageux	acciden té	20	41	30	11	25%	Delfo CABRERA	233	ARGE NTINE	27	-	-	2h34'51"	16,384	3h09'16"	
1952 Helsinki	42,195	Dim anche 27 Juillet	15H28	Temp Frais (vent)	léger ment accidenté	32	66	53	13	19%	Emil ZATOPK	903	TCHÉ COSLO VAGUE	29	66	1,74	2h23'09"	17,698	2h58'50"	Premier triple 500 m 000 Marathon
1956 Melbourne	42,195	Sam edi 1er Décembre	15H13	36°	léger ment accidenté	23	46	33	13	28%	Alain MIMOUN	13	FRAN CE	35	57	1,69	2h25'	17,460	3h06'12"	Premier marathon cou vert de l'hémisphère Sud Plus vieux vainqueur
1960 Rome	42,195	Sam edi 10 Septembre	17H45	Temp frais Brisé	léger ment accidenté	34	69	62	7	10%	Abebe BIKILA	11	ETHIO PIE	28	58	1,76	2h15'16"	18,716	3h43'12" (6)	Première arrivée hors de course semi nocturne Première victoire AF (Sport d'été)
1964 Tokyo	42,195	Mer credi 21 Octobre	13H	Temp frais	Très Plat	36	69	58	11	15%	Abebe BIKILA	17	ETHIO PIE	32	58	1,76	2h12'41"	19,152	2h59'21"	Première fois qu'un champion conserve son titre
1968 Mexico	42,195	Dim anche 20 Octobre	15H	Temp chaud	Très Plat	41	74	57	17	22%	Mamo WOLDE	24	ETHIO PIE	35	53	1,72	2h20'26"	18,027	3h25'41"	Course à 227m d'altitude
1972 Munich	42,195	Dim anche 10 Septembre	15H	Temp orageux	léger ment accidenté	40	74	62	12	16%	Frank SHORTER	1014	USA	24	61	1,79	2h12'19"	19,133	3h29'28"	
1976 Montreal	42,195	Sam edi 31 Juillet	17H30	Temp Frais Pluie Fine	Plat	36	67	60	7	10%	Valdemar CIERPH NSKI	51	RDA	25	58	1,70	2h09'55"	19,487	2h45'33"	absence Africains due à un mouve ment de boycott

C/1. LA REGULATION THERMIQUE

Grâce à la mesure de la consommation d'oxygène, on peut déterminer l'intensité de la production de chaleur. Chaque litre d'oxygène consommé, en permettant l'oxydation des glucides et des graisses dans le métabolisme, libère entre 4,7 à 5,05 kilocalories (kcal). A l'intérieur de l'organisme, la température n'est pas uniforme. On note une différence de température non négligeable entre "l'écorce" constitué par la peau et le "noyau" ou les régions profondes comprenant le coeur, les poumons, les organes abdominaux et le cerveau. La température du noyau peut être de 20°C supérieure à celle de l'écorce. Au repos, la différence idéale entre ces deux régions est de 4°C. (1)

Le travail musculaire en général, et la course de marathon particulièrement peuvent engendrer une production de chaleur à un niveau de 10 à 20 fois supérieur à celui de repos. Le coureur peut dépenser en 2 heures de course 2700 à 3000 kcal, dont 2100 à 2500 kcal de chaleur qu'il faut éliminer coûte que coûte tout au long et après la course (15). Dans le cas contraire, des variations de la température corporelle sont engendrées. Et ces dernières affectent presque tous les processus physiques, chimiques et biologiques. Les mauvais effets issus des perturbations de l'équilibre thermique de l'organisme sont souvent irréversibles, s'ils dépassent les manifestations du coup de chaleur ou hyperthermie maligne d'effort qui, malheureusement frappe aussi bien les sportifs et les non-sportifs, surtout si ces derniers font l'objet d'une mauvaise acclimatation.

En effet, lorsqu'il est protégé par des vêtements, l'homme peut parfaitement tolérer des températures ambiantes comprises entre 50°C et 100°C. Par contre, il est incapable de tolérer une variation de 4°C de sa température corporelle profonde. Sinon, il diminue manifestement son aptitude au travail physique ou mental. L'explication de ces constatations réside dans le fait que les modifications de la température corporelle perturbent les structures cellulaires, les systèmes enzymatiques et un grand nombre de réactions chimiques et de processus physiques qui se déroulent dans l'organisme.

A cet effet, ASTRAND R.O (1) remarque :

"Les limites extrêmes supportables par la cellule sont :

- a/ -1°C , température à laquelle les cristaux de glace détruisent les structures cellulaires
- b/ 45°C , température à laquelle les protéines coagulent sous l'action de la chaleur".

Fortes de ces constatations, nous pouvons affirmer que l'aptitude du marathonien est également une aptitude à éliminer de la chaleur.

Nous savons déjà que la chaleur est transportée dans l'organisme par le sang, en même temps que les nutriments et les métabolites. Celle-ci joue un rôle fondamental dans la régulation thermique, au cours du marathon, dans la mesure où elle permet l'évaporation et la dissipation de la chaleur.

Mais d'autres facteurs externes constituent également des éléments de contrainte thermique excessive. Il s'agit de la température ambiante élevée, la chaleur irradiée par le soleil et le déficit d'eau que le coureur a tendance à accroître. Si la quantité de chaleur engendrée par l'élévation de la température centrale n'est pas véhiculée par la sueur, deux cas peuvent se poser :

- le marathonien risque de réaliser une mauvaise performance due à une diminution considérable de son aptitude physique et mentale.
- il peut aussi subir les effets du coup de chaleur, qui très souvent sont irréversibles.

D/. LA DEPERDITION HYDRIQUE

Il faut avant tout commentaire, signaler que la déperdition hydrique est très normale. La valeur des pertes hydriques quotidiennes est de l'ordre de grandeur suivant, selon ASTRAND (1):

- par le tractus gastro-intestinal 200 ml
- par l'appareil respiratoire 400 ml
- par la peau 500 ml
- par les reins 1500 ml.

Un tel décompte donne 2600 ml de pertes liquidiennes au total. Et on imagine déjà la catastrophe à laquelle on serait voué s'il n'y avait pas la possibilité d'équilibrer ces pertes par les aliments et les boissons.

Ces déperditions hydriques peuvent augmenter considérablement si l'individu se livre à une activité physique, surtout dans une température ambiante élevée. Ici dans le cadre du marathon, le volume d'eau perdue sous forme de sueur est très important. Cette sueur contient un certain nombre de sels, notamment le chlorure de sodium, à diverses concentrations. Ainsi, une sudation très importante peut donc déterminer une déperdition saline considérable.

Les modifications biologiques engendrées par la perte d'eau sous forme de sueur, au cours de l'effort prolongé, ont suscité, de la part des physiologistes beaucoup de réflexions et de théories. Dans leur ensemble, les différentes recherches ont montré que les conséquences de ces modifications sont des facteurs bouleversant la composition du plasma le poids corporel, l'équilibre électrolytique, le taux de glycémie. L'ensemble des différentes séquelles observées entraînent à coup sûr, un épuisement physique et une diminution considérable de la capacité de performance chez la marathonnien, surtout quand l'épreuve se déroule dans des conditions atmosphériques chaudes.

La première remarque, qui est influente dans l'explication et la compréhension des autres modifications, est la perte de poids. En effet un déficit hydrique, s'accompagnant d'une perte d'électrolytiques massive entraîne une chute du poids corporel. Le lieu d'origine des différents éléments perdus est encore l'objet de recherches minutieuses.

Les premiers chercheurs ont considéré la diminution du poids comme un facteur bouleversant la composition du plasma ; en ce sens qu'une perte de poids de plus de 8% semble entraîner une diminution du volume plasmatique notable.

D'autres comme SALTIN et KOZLOUSKI (22), à travers leurs recherches, n'ont pas décelé une modification aussi importante du volume plasmatique. Mais, ils ont expliqué cette perte d'eau, d'électrolytes, et encore du poids, corporel, par les pertes de fluides s'effectuant au niveau des espaces intracellulaires.

Mais une constatation reste très convaincante. L'effort prolongé du marathon bouleverse la composition sanguine en diminuant les proportions de certains éléments de structure. C'est ainsi que le taux de glucose sanguin chez les ~~marathonnés~~ se situant entre 80 et 105 mg/100cm³ de sang dans les conditions normales, peut baisser et atteindre des valeurs allant de 50 à 70mg/100 cm³ de sang. (12)

Et un examen des coureurs à l'arrivée a permis de constater que ceux qui arrivaient complètement épuisés, ou dans un piteux état, avaient les plus basses valeurs de glycémie, 40 à 45 mg/100 cm³ de sang. Mais les coureurs les mieux classés avaient un taux de glycémie pas très éloigné de la normale, 95 à 100 mg/100 cm³ de sang.

Ainsi, nous pensons que le mode de variation de la glycémie au marathonien peut être un excellent indice de condition physique sans pour autant être un critère d'aptitude suffisant.

E/. LES EFFETS DE L'ENTRAINEMENT

L'entraînement peut se résumer en un ensemble d'exercices et de règles de vie tendant à amener l'être humain à son maximum de possibilité physique en augmentant ses capacités cardio-respiratoires et vasculaires.

Dans le cadre du marathon, l'entraînement est beaucoup plus axé sur la recherche de la mise en condition cardio-respiratoire. On cherche plutôt :

- à rendre le coeur gros, infatigable
- à réduire la respiration en rendant actif le temps expiratoire.

Il faut noter que ces deux fonctions, cardiaque et respiratoire sont indissociables dans le cadre des courses de fond et plus particulièrement dans le marathon. On y recherche une adaptation à l'effort par la répétition de séquences d'activités qui sont à la limite de l'aisance cardio-respiratoire. A ce niveau, l'entraînement régulier à une intensité donnée, entraîne une diminution progressive de la fréquence cardiaque observée lors de la course, la faisant passer par exemple de 180 à 160 battements/mn.

Si cet entraînement a été effectué à une intensité plus élevée, la puissance d'origine peut être fournie avec une fréquence cardiaque plus basse, par exemple avec une fréquence de 140 à 150 battements/mn. Dans le même ordre d'idée, ASTRAND (1) souligne :

L'entraînement à une puissance donnée détermine un degré donné d'adaptation ; pour obtenir une nouvelle amélioration, il est nécessaire d'augmenter l'intensité de l'entraînement.

L'entraînement physique permet à la VO_2 max d'augmenter progressivement de 10 à 20% par rapport aux valeurs observées chez les non sportifs. Cette augmentation de la VO_2 Max s'accompagne de l'accroissement du volume systolique et par conséquent du débit cardiaque.

Par ailleurs, nous avons déjà annoncé l'existence d'une relation assez étroite entre la valeur d'une VO_2 Max et la proportion de fibres musculaires lentes. Ces dernières sont déjà déterminées à l'avance génétiquement. C'est pourquoi, nous considérons que l'influence réelle de l'entraînement s'observe de façon plus significative sur la VO_2 Max. Mais il demeure certain que l'entraînement à la course de fond ne permet d'observer des VO_2 Max élevées que chez des sujets pour qui le hasard a associé une prédominance de fibre lentes à pouvoir oxydatif élevé et un système cardio-circulatoire développé.

En résumé, nous constatons que la majorité des processus biologiques que nous venons de décrire, sont en étroite liaison. Le cas qui a, en premier lieu, attiré l'attention est l'ensemble des relations existant entre la perte d'eau et la quantité de chaleur, en se référant à la thermorégulation. En effet, le plus important facteur pour élever la température durant le marathon est l'augmentation du déficit d'eau que le coureur a tendance à accroître tout au long de la course. Et WYNDHAM et STRUDOM (26) ont montré que si cette perte d'eau atteignait une valeur supérieure à 3% du poids du corps, même dans d'excellentes conditions atmosphériques, la température du corps augmente. Nous pouvons comprendre une telle affirmation si l'on sait que la régulation thermique a priorité sur la régulation hydrique.

L'individu supporte mieux les variations de la balance hydrique que celles de la température corporelle. La déshydratation intense peut prédisposer au coup de chaleur.

De même, quelle que soit, la cause de la sudation, l'hypohydratation est associée à une diminution du volume systolique au cours du marathon. Donc, la fréquence cardiaque s'élève. Mais ce qui est louable dans ce contexte, c'est que ASTRAND (1) a noté que la perte hydrique par sudation peut atteindre 5% du poids corporel sans que la consommation d'oxygène, le volume d'éjection systolique et le débit cardiaque soient modifiés.

Seulement, il faut remarquer que la durée pendant laquelle, le coureur supporte cet effort intense du marathon, est réduite après une déshydratation. De même, l'augmentation de la chaleur non excessive favorise les processus métaboliques et accélère les échanges d' O_2 entre le sang et les tissus. L'exemple le plus concret est celui de l'échauffement. Ce dernier augmente la capacité de travail physique et les influx nerveux se propagent plus rapidement.

Dans un autre sens, l'impression de fatigue qui se manifeste lors du marathon coïncide avec une chute de la glycémie et un épuisement des réserves de glycogène au niveau des muscles en activité.

En résumé, le coureur de marathon revêt des caractéristiques biologiques, génétiques importantes. Il doit disposer de capacités aérobies exceptionnellement développées pour satisfaire les fortes exigences en énergie de ses muscles. Ces derniers dans les conditions requises pour une activité comme le marathon doivent avoir une capacité d'oxydation très élevée. Mais l'organisme du coureur, au travers d'une bonne thermorégulation devrait pouvoir évacuer tout le surplus de chaleur par le biais d'une bonne sudation, qui ne doit pas être trop abondante pour éviter la déshydratation, la chute de poids et surtout le coup de chaleur.

Nous venons de faire une brève description des processus fondamentaux de fonctionnement organique des individus en général, et du coureur de marathon en particulier. Nous avons recensé et analysé les différents mécanismes et principales modifications biologiques engendrés par une intensité d'effort prolongé.

Dans une deuxième étape, nous allons également tenter par la même occasion, de vérifier et de quantifier les corrélations existant entre les différents facteurs qui assurent l'ensemble de tous les mécanismes biologiques et qui sont fortement modifiés par l'effort physique.

Une telle démarche pour notre travail, sera l'objet du troisième chapitre réservé à l'expérimentation.

CHAPITRE III
EXPERIMENTATION

CHAPITRE III. EXPERIMENTATION

A travers les chapitres qui précèdent jusqu'à présent, nous avons essayé d'expliquer les principales modifications physiologiques au cours de l'effort physique en général et du marathon en particulier. La caractéristique fondamentale de ces modifications est de faire passer un organisme qui se livre à une activité physique prolongée, d'un état habituel de repos à un autre état inhabituel de travail et parfois de souffrance. C'est ainsi que, tour à tour, nous avons relaté les conséquences immédiates, parfois en étroite corrélation, de ces variations biologiques en constatant :

- une accélération considérable de la fréquence cardiaque
- une élévation importante de la température centrale
- un déséquilibre hydro-électrolytique entraînant une perte de poids, et parfois une syncope.

Au cours de cette expérimentation, nous allons tenter de matérialiser les modifications déjà décrites en choisissant un certain nombre de paramètres physiologiques : poids, pouls, âge, température centrale. Par la même occasion, nous tentons d'inciter à tous les responsables sportifs et à tous les médecins, à suivre médicalement les activités physiques en général et les courses de fond en particulier.

I. MATERIELS ET METHODES

La démarche que nous avons suivie tout au long de cette expérimentation s'est principalement appuyée sur les points suivants :

A/. SUJETS

Il est organisé chaque année pour l'ensemble des militaires, des gendarmes du Cap Vert, une épreuve de semi-marathon pour laquelle, il n'y a aucun critère de sélection. Les participants ne sont donc pas tous bien entraînés. De même, il n'y a pas de limite d'âge.

Nous avons porté notre choix sur une population de vingt quatre militaires français volontaires dont l'âge moyen est de 25 ans (extrêmes 18 et 34 ans). Deux raisons fondamentales ont motivé notre choix.:

- Ces militaires appartiennent à un groupe qu'on peut considérer comme homogène (même alimentation, même exercice musculaire d'entretien)
- Ils forment un même contingent ayant débarqué à Dakar depuis déjà neuf mois.

Au départ du semi-marathon, nous avons mesuré chez les participants français, le poids, la température centrale et la fréquence cardiaque.

Immédiatement à l'arrivée, les mêmes paramètres ont été de nouveau mesurés.

La course a lieu le matin entre 7H et 9H à une température ambiante de 18°C.

II./ EXPLOITATION STATISTIQUE DES RESULTATS

Par rapport à tous les paramètres mesurés, la distribution de la population suit une loi normale. Nous avons donc utilisé la méthode paramétrique avec calcul de la moyenne et de l'écart type. La comparaison des moyennes a été faite par le test de STUDENT. Nous allons successivement dresser les tableaux des valeurs numériques des âges, des poids, des températures centrales et des fréquences cardiaques.

AGES

âges	n_i	$x'_i = x_i - 26$	$n_i x'_i$	$n_i x_i'^2$
18	1	-8	-8	+64
20	5	-6	-30	+180
21	3	-5	-15	+75
23	3	-3	-9	+27
24	1	-2	-2	+4
26	1	0	0	0
27	1	+1	+1	+1
28	3	+2	+6	+12
29	2	+3	+6	+18
30	1	+4	+4	+16
31	1	+5	+5	+25
32	1	+6	+6	+36
34	1	+8	+8	+64
TOTAL	24		-28	+522

$$n = 24 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = -28 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 = +522$$

$$\bar{x}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = \frac{-28}{24} = -1,17 \Rightarrow \boxed{\bar{x}' = -1,17}$$

$$\bar{x} = \bar{x}' + 26 = 26 - 1,17 = 24,8 \Rightarrow \boxed{\bar{x} = 25}$$

$$v(x') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 - \bar{x}'^2 = \frac{522}{24} - \left(\frac{28}{24}\right)^2 \Rightarrow \boxed{v(x') = 20,39}$$

$$v(x') = v(x) = 4,52$$

moyenne des âges : $\bar{x} = 25$
 écart type des âges : $\sigma(x) = 4,5$

FREQUENCES CARDIAQUES AU DEPART

FREQUENCES CARDIAQUES A L'ARRIVEE

x_i	n_i	$x'_i = x_i - 76$	$n_i x'_i$	$n_i x_i'^2$
60	1	-16	-16	+256
66	1	-10	-10	+100
68	4	-8	-32	+256
72	6	-4	-24	+96
76	1	0	0	0
80	4	+4	+16	+64
84	3	+8	+24	+192
88	1	+12	+12	+144
90	1	+14	+14	+196
92	2	+16	+32	+512
TOTAL	24	-	+16	+1816

x_i	n_i	$x'_i = x_i - 120$	$n_i x'_i$	$n_i x_i'^2$
80	1	-40	-40	+1600
100	1	-20	-20	+400
104	2	-16	-32	+512
112	3	-8	-24	+192
116	3	-4	-12	+48
120	7	0	0	0
124	2	+4	+8	+32
128	1	+8	+8	+64
131	1	+11	+11	+121
132	2	+12	+24	+288
196	1	+76	+76	+5776
TOTAL	24	-	-1	9033

$$n = 24 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = 16 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 = 1816$$

$$\bar{x}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = \frac{16}{24} \Rightarrow \bar{x}' = 0,67$$

$$\bar{x} = \bar{x}' + 76 \Rightarrow \bar{x} = 77$$

$$V(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 - \bar{x}'^2$$

$$= \frac{1816}{24} - \left(\frac{16}{24}\right)^2$$

$$V(x) = 75,22 \Rightarrow \sigma(x) = 8,67$$

moyenne : $\bar{x} = 77$
 écart type : $\sigma(x) = 8,7$

$$n = 24 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = -1 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 = +9033$$

$$\bar{x}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = \frac{-1}{24} \Rightarrow \bar{x}' = -0,04$$

$$\bar{x} = \bar{x}' + 120 = 119,95 \Rightarrow \bar{x} \approx 120$$

$$V(x') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 - \bar{x}'^2$$

$$= \frac{9033}{24} - \left(\frac{1}{24}\right)^2$$

$$V(x') = 376,37 \Rightarrow \sigma(x') = 19,4$$

moyenne : $\bar{x} = 120$
 écart type : $\sigma(x) = 19,4$

TEMPERATURES CENTRALES AU DEPART

x_i	n_i	$x'_i = x - 37$	$n_i x'_i$	$n_i x'^2_i$
36,5	2	-0,6	-1	+0,50
36,9	1	-0,1	-0,1	+0,01
37	4	0	0	0
37,1	3	+0,1	+0,3	+0,03
37,3	2	+0,3	+0,6	+0,18
37,4	3	+0,4	+1,2	+0,48
37,5	2	+0,5	+1	+0,50
TOTAL	17	-	+2,0	1,7

$$n = 17 \quad \sum_{i=1}^{17} n_i x'_i = 2,0 \quad \sum_{i=1}^{17} n_i x'^2_i = 1,7$$

$$\bar{x}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{17} n_i x'_i = \frac{2,0}{17} \Rightarrow \boxed{\bar{x}' = 0,118}$$

$$\bar{x} = \bar{x}' + 37 = 0,118 + 37 = 37,118$$

$$\boxed{\bar{x} \approx 37,1}$$

$$V(x') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{17} n_i x'^2_i - \bar{x}'^2$$

$$= \frac{1,7}{17} - \left(\frac{2,0}{17}\right)^2$$

$$\boxed{V(x') = 0,086}$$

$$\boxed{\sigma(x') = \sigma(x) = 0,294}$$

moyenne : 37,1

écart type : 0,29

TEMPERATURES CENTRALES A L'ARRIVEE

x_i	n_i	$x'_i = x - 39$	$n_i x'_i$	$n_i x'^2_i$
37,5	1	-1,5	-1,5	+2,25
38	4	-1	-4	+4
38,1	1	-0,9	-0,9	+0,81
38,2	4	-0,8	-3,2	+2,56
38,5	2	-0,5	-1	+0,50
38,6	1	-0,4	-0,4	+0,16
39	2	0	0	0
40	1	+1	1	1
41	1	+2	+2	4
TOTAL	17	-	-8	+15,28

$$n = 17 \quad \sum_{i=1}^{17} n_i x'_i = -8 \quad \sum_{i=1}^{17} n_i x'^2_i = 15,28$$

$$\bar{x}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{17} n_i x'_i = \frac{-8}{17} = -0,47$$

$$\boxed{\bar{x}' = -0,47}$$

$$\bar{x} = \bar{x}' + 39 = -0,47 + 39 = 38,53$$

$$\boxed{\bar{x} = 38,5}$$

$$V(x') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{17} n_i x'^2_i - \bar{x}'^2$$

$$= \frac{15,28}{17} - \left(\frac{-8}{17}\right)^2$$

$$\boxed{V(x') = 0,677}$$

$$\boxed{\sigma(x') = 0,823}$$

moyenne : 38,5

écart type : 0,82

POIDS AU DEPART

POIDS A L'ARRIVEE

x_i	n_i	$x' = x - 68$	$n_i x_i'$	$n_i x_i'^2$
52	1	-16	-16	+256
55	1	-13	-13	+169
58	1	-10	-10	+100
60	1	-8	-8	+64
63	1	-5	-5	+25
64	1	-4	-4	+16
66	1	-2	-2	+4
68	0	0	0	0
69	1	+1	+1	+1
70	5	+2	+10	+20
71	4	+3	+12	+36
73	1	+5	+5	+25
75	2	+7	+14	+98
78	1	+10	+10	+100
82	1	+14	+14	+196
TOTAL	24	-	+8	+1110

x_i	n_i	$x' = x - 65$	$n_i x_i'$	$n_i x_i'^2$
51	1	-14	-14	+196
54	1	-11	-11	+121
57	1	-8	-8	+64
58	1	-7	-7	+49
62	1	-3	-3	+9
63	2	-2	-4	+8
64	1	-1	-1	+1
65	3	0	0	0
67	2	+2	+4	+8
68	3	+3	+9	+27
69	1	+4	+4	+16
70	3	+5	+15	+75
72	1	+7	+7	+49
75	1	+10	+10	+100
78,5	1	+13,5	+13,5	+182,25
TOTAL	24	-	+9,5	930,25

$n = 24 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x_i' = +8 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 = +1110$

$\bar{x}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x_i' = \frac{+8}{24}$

$\bar{x}' = 0,33$

$\bar{x} = \bar{x}' + 68 = 68 + 0,33 = 68,33$

$\bar{x} = 68$

$V(x') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 - \bar{x}'^2 = \frac{1110}{24} - \left(\frac{8}{24}\right)^2$

$V(x') = 46,14$
 $\sigma(x') = \sigma(x) = 6,79$

moyenne : 68
 écart type : 6,8

$n = 24 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x_i' = +9,5 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 = 930,25$

$\bar{x}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x_i' = \frac{9,5}{24}$

$\bar{x}' = 0,40$

$\bar{x} = \bar{x}' + 65 = 0,40 + 65 = 65,40$

$\bar{x} = 65$

$V(x') = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 - \bar{x}'^2 = \frac{930,25}{24} - \left(\frac{9,5}{24}\right)^2$

$V(x') = 38,60$
 $\sigma(x') = \sigma(x) = 6,21$

moyenne : 65
 écart type : 6,2

ESTIMATION DES VALEURS DE LA FREQUENCE CARDIAQUE MOYEN-
NE AU DEPART

$$x' = x - 76 \quad n = 24 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = +16 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i{}^2 = 1816$$

$$\bar{x}_0 = 76,7$$

$$s_D^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{24} n_i x'_i{}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{24} n_i x'_i \right)^2}{n} \right]$$

$$= \frac{1}{23} \left[1816 - \frac{256}{24} \right]$$

$$s_D^2 = 78,4928$$

ESTIMATION DES VALEURS DE LA FREQUENCE CARDIAQUE MOYEN-
NE A L'ARRIVEE

$$x' = x - 120 \quad n = 24 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = -1 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i{}^2 = 9033$$

$$\bar{x}_A = 120,0$$

$$s_A^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{24} n_i x'_i{}^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{24} n_i x'_i \right)^2}{n} \right]$$

$$= \frac{1}{23} \left[9033 - \frac{1}{24} \right]$$

$$s_A^2 = 392,7373$$

ESTIMATION DES VALEURS DE LA TEMPERATURE CENTRALE MOYEN-

NE AU DEPART

$$x' = x - 37 \quad n = 17 \quad \sum_{i=1}^{17} n_i x'_i = +2,0 \quad \sum_{i=1}^{17} n_i x_i'^2 = +1,7$$

$$\boxed{\bar{x}_D = 37,12}$$

$$\begin{aligned} s_D^2 &= \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{17} n_i x_i'^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{17} n_i x'_i \right)^2}{n} \right] \\ &= \frac{1}{16} \left[1,7 - \frac{4}{17} \right] \end{aligned}$$

$$\boxed{s_D^2 = 0,0915}$$

ESTIMATION DES VALEURS DE LA TEMPERATURE CENTRALE

MOYENNE A L'ARRIVEE

$$x' = x - 39 \quad n = 17 \quad \sum_{i=1}^{17} n_i x'_i = -8 \quad \sum_{i=1}^{17} n_i x_i'^2 = 15,28$$

$$\boxed{\bar{x}_A = 38,53}$$

$$\begin{aligned} s_A^2 &= \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{17} n_i x_i'^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{17} n_i x'_i \right)^2}{n} \right] \\ &= \frac{1}{16} \left[15,28 - \frac{64}{17} \right] \end{aligned}$$

$$\boxed{s_A^2 = 0,7197}$$

ESTIMATION DES VALEURS DU POIDS MOYEN AU DEPART

$$x' = x - 68 \quad n = 24 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = +8 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 = +1110$$

$$\bar{x}_D = 68,3$$

$$\begin{aligned} S_D^2 &= \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{24} n_i x'_i \right)^2}{n} \right] \\ &= \frac{1}{23} \left[1110 - \frac{64}{24} \right] \end{aligned}$$

$$S_D^2 = 48,1449$$

ESTIMATION DES VALEURS DU POIDS MOYEN A L'ARRIVEE

$$x' = x - 65 \quad n = 24 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x'_i = 9,5 \quad \sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 = 930,25$$

$$\bar{x}_A = 65,4$$

$$\begin{aligned} S_A^2 &= \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^{24} n_i x_i'^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{24} n_i x'_i \right)^2}{n} \right] \\ &= \frac{1}{23} \left[930,25 - \frac{(9,5)^2}{24} \right] \end{aligned}$$

$$S_A^2 = 40,2822$$

COMPARAISON DES FREQUENCES CARDIAQUES MOYENNES AU DEPART ET A L'ARRIVEE

$$s_D^2 = 78,4928$$

$$s_A^2 = 392,7373$$

$$S^2 = \frac{s_D^2 + s_A^2}{2}$$

$$S^2 = 235,6151$$

$$S^2 \left(\frac{1}{n_D} + \frac{1}{n_A} \right) = S^2 \cdot \frac{1}{12}$$

$$t = \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_A}{\sqrt{S^2 \cdot \frac{1}{12}}} = \frac{120,0 - 76,7}{4,4311} \Rightarrow t = 9,7719$$

$$t = 9,7719 \text{ et } t_{0,001} = 3,551 \Rightarrow t_{0,001} < t$$

Le test n'est donc pas significatif, ce qui veut dire qu'au seuil de 0,001 (à 99,9%), on ne peut pas confondre la fréquence cardiaque au départ et celle à l'arrivée.

Nous pouvons donc en déduire que :

Jusqu'à une marge d'erreur de 0,001, le test montre que la fréquence cardiaque du coureur au départ est nettement différente de celle à l'arrivée.

COMPARAISON DES TEMPERATURES CENTRALES MOYENNES

AU DEPART ET A L'ARRIVEE

$$s_D^2 = 0,0915$$

$$s_A^2 = 0,7197$$

$$S^2 = \frac{s_D^2 + s_A^2}{2}$$

$$S^2 = 0,4056$$

$$S^2 \left(\frac{1}{n_D} + \frac{1}{n_A} \right) = S^2 \cdot \frac{2}{17}$$

$$t = \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_A}{\sqrt{S^2 \cdot \frac{2}{17}}} = \frac{38,53 - 37,12}{0,2184} \Rightarrow t = 6,4548$$

$$t = 6,4548 \quad \text{et} \quad t_{0,001} = 3,646 \quad \Rightarrow \quad t_{0,001} < t$$

Le test n'est donc pas significatif, ce qui veut dire qu'au seuil de 0,001 (à 99,9%), on ne peut pas confondre la température centrale au départ et celle à l'arrivée.

Nous pouvons donc en déduire que :

Jusqu'à une marge d'erreur de 0,001 près, le test montre que la température centrale du coureur au départ est nettement différente de celle enregistrée à l'arrivée.

COMPARAISON DES POIDS MOYENS AU DEPART ET A L'AR-

RIVEE

$$s_D^2 = 48,1449$$

$$s_A^2 = 40,2822$$

$$S^2 = \frac{s_D^2 + s_A^2}{2}$$

$$S^2 = 44,2136$$

$$s_D^2 \cdot \left(\frac{1}{n_D} + \frac{1}{n_A} \right) = \frac{s^2}{12}$$

$$t = \frac{\bar{x}_D - \bar{x}_A}{\sqrt{s^2/12}} = \frac{68,3 - 65,4}{1,5108} \Rightarrow t = 1,5108$$

$$t = 1,5108 \quad t_{0,001} = 3,551 \Rightarrow t < t_{0,001}$$

Le test est ici significatif, ce qui veut dire qu'au seuil de 0,001 (à 99,9%), on peut confondre le poids moyen au départ et celui à l'arrivée.

Mais si nous considérons comme seuil $\alpha = 0,2$ la valeur de t sur la table devient :

$$t_{0,2} = 1,3031 \quad \text{ce qui montre que } t_{0,2} < t$$

Le test devient donc non significatif, ce qui veut dire qu'au seuil de 0,2 (à 80%), on ne peut plus confondre le poids moyen au départ et celui à l'arrivée. De tels résultats impliquent les constatations suivantes :

- A 80%, le poids du coureur au départ peut être différent de son poids à l'arrivée

- A 99,9% ils peuvent être confondus.

Nous allons maintenant dresser le tableau récapitulatif des résultats au départ et à l'arrivée.

PARAMETRES	D E P A R T				A R R I V E E			
	:Nbres	:Moyen.	: Extrême	:écart:	Nbre:	Moyen:	Extrême:	écart
	:	:	:	:type :	:	:	:	: type
POIDS (kg)	: 24	: 68	: 55-82	: 6,8	: 24	: 65	:51-78,5:	6,2
TEMPERATURE	:	:	: 36°5	:	:	:	: 37°5	:
CENTRALE (°c)	: 17	: 37°1	: 37°5	: 0,29:	17	:38°5	: 41°	: 0,82
	:	:	:	:	:	:	:	:
FREQUENCE	:	:	:	:	:	:	:	:
CARDIAQUE	: 24	: 77	: 60-92	: 8,7	: 24	: 120	:80-196	: 19,4
(battem./mn)	:	:	:	:	:	:	:	:

III./- COMMENTAIRE

A/. LA FREQUENCE CARDIAQUE

Elle a connu une augmentation chez tous les participants. La fréquence cardiaque moyenne est passée de 77 battements/mn au départ à 120 battements/mn à l'arrivée. L'augmentation la plus faible est de 4 et la plus grande et de 106.

.../

B/. LA TEMPÉRATURE CENTRALE

Une élévation de la température centrale est enregistrée chez tous les coureurs. La température moyenne est passée de 37°1 au départ à 38°5 à l'arrivée, soit une augmentation moyenne de 1°4.

L'élévation la plus faible est de 5/10 de degré et la plus importante est de 4°1.

C/. LE POIDS

Le poids moyen est passé de 68kg à 65 kg, soit une perte moyenne de 3 kg. La diminution du poids a été enregistrée chez tous les coureurs, allant de 0,5 à 8 kg.

Mais cette diminution est moins évidente, par rapport aux paramètres ci-dessus.

IV. DISCUSSION

L'activité physique en général et la course de fond en particulier s'accompagnent d'une sudation plus ou moins importante selon les individus qui s'y livrent. Cette sudation, phénomène majeur de la thermolyse entraînée par l'élévation de la température centrale, entraîne un déficit hydrique et explique la perte de poids. Celle-ci est très relative et dépend principalement des individus. En effet, nous avons pu montrer dans l'expérimentation que ce n'est pas tous les individus qui observent une diminution du poids corporel en se livrant à une quelconque activité physique, même intense. Et l'une des preuves les plus explicites est la très grande différence observée entre la plus petite et la plus grande perte de poids respectivement 0,5 et 8 kg.

La perte de 8 kg chez un de nos coureurs n'est pas exceptionnelle. En effet, Astrand (1) a déjà mesuré une perte hydrique par sudation atteignant 8% du poids corporel au cours d'un exercice musculaire intense.

Sous un autre angle, cette diminution du poids peut être très importante, voire même très utile. Elle peut permettre de mieux apprécier le degré de souffrance et la quantité d'énergie dépensée par le coureur et de réajuster, par la même occasion son programme d'entraînement par rapport à ses aptitudes et à son seuil de tolérance de l'effort

L'~~hypohydratation~~ résultant de la déperdition hydrique est toujours associée à une augmentation du débit cardiaque avec baisse du volume systolique et élévation de la fréquence cardiaque (1). L'augmentation manifeste de la fréquence cardiaque (jusqu'au seuil 0,001 près) enregistrée chez tous les coureurs est donc en rapport avec la sudation rendue efficace par une augmentation du débit cardiaque. L'élévation de la température centrale enregistrée aussi chez tous les coureurs ne s'explique que par la production de chaleur engendrée par la course, car :

Le marathon a lieu à une température de confort thermique (18°C)
 - l'ensemble de nos coureurs sont tous acclimatés. Ils résident au Sénégal depuis 9 mois.

La température à l'arrivée qui est passée chez deux des coureurs à des valeurs supérieures à 40°C est d'ailleurs significativement plus élevée que la température au départ (à 0,001 près) .

En résumé, nous pensons que la perte de poids, l'élévation de la température centrale, l'augmentation de la fréquence cardiaque sont des phénomènes prévisibles au cours de toute épreuve de fond, et donc ne peuvent pas être surprenantes. Leur quantification revêt un intérêt particulier dans la prévention des complications parfois dramatiques, qu'elles peuvent engendrer et dans l'amélioration des performances. Leur intérêt réside encore une fois dans le fait qu'elles peuvent attirer l'attention des médecins du sport sur l'importance du suivi médical de toute activité sportive, de l'urgence et de la précision de la correction d'éventuelles perturbations.

La ~~déshydratation~~ induite par l'élévation de la température centrale et l'augmentation de la fréquence cardiaque non corrigée prédisposent à l'épuisement par ~~conservation~~ déshydratation hydrique et, dans les cas les plus graves, à l'hyperthermie maligne d'effort.

La régulation thermique a priorité sur la régulation de la teneur en liquide de l'organisme (1). L'organisme placé donc en ambiance chaude peut connaître une ~~déshydratation~~ pouvant même devenir dangereuse s'il est sans possibilité d'approvisionnement. (1)

La déshydratation affecte aussi la capacité de performance physique. Astrand et Saltin (22) pensent qu'il ne s'agit ni d'une modification de l'apport d'énergie par les processus aérobie, ni d'une réduction de la force maximale isométrique. Selon eux toujours, l'explication se trouve sans doute au niveau cellulaire où les conditions de fonctionnement sont profondément modifiées par l'hypohydratation

C'est pourquoi, forts de toutes ces constatations, nous pensons qu'on peut éviter une dégradation de la capacité de performance, et surtout d'aptitude physique. Il faut alors équilibrer les pertes d'aliments et de boissons. Dans le cadre du marathon, des stands de ravitaillement en boissons et aliments sucrés et en substances salines sont prévus. Nous l'avons déjà vu dans l'introduction, et nous ne pouvons que nous en féliciter si nous nous référons à nos constatations précédentes. La seule chose que l'on pourrait regretter est que le règlement limite la quantité et le lieu d'approvisionnement des athlètes en compétition. A notre niveau, nous pensons que l'idéal serait que les coureurs puissent se servir comme ils le veulent et à chaque fois qu'ils¹⁹ désirent. Un autre cas moins répandu s'observe et alarme néanmoins les médecins et les entraîneurs avertis. C'est le refus de certains coureurs de prendre quoi que ce soit au cours de l'épreuve. Une telle attitude qui ressort uniquement de l'irresponsabilité et de l'arbitraire, peut entraîner des conséquences néfastes dans l'organisme.

En effet, si nous analysons le problème en l'abordant d'un point de vue physiologique, on se rend compte de deux choses :

- D'abord le coureur par une volonté farouche de vaincre ou de gagner du temps peut s'abstenir de boire et de prendre un quelconque aliment.
- Ensuite, il peut ne pas éprouver le besoin engendré par une soif et continuer sa compétition, chose rare.

Dans tous les cas, une chose est certaine. Quand l'organisme se livre à une intensité de travail donné, il y a dépense d'énergie. Et que même au repos, l'organisme a besoin d'énergie et perd en même temps des substances importantes. C'est pourquoi nous trouvons irresponsable que le coureur qui s'astreint à un effort intense et prolongé sur une distance de plus de quarante kilomètres, refuse de se ravitailler même s'il ne sent pas le besoin.

La quantité de liquides et de substances à prendre est discutable dans la mesure où la dépense d'énergie et la capacité de sudation sont très variables d'un individu à un autre du fait même de certaines différences biologiques observées chez tous les individus. Mais il est sûr et certain que le coureur présentant un déficit hydrique tolère moins l'activité physique intense, même si ce déficit n'engendre pas une perte considérable de poids corporel.

Il apparaît donc, à partir de ce moment, qu'il faille mesurer et corriger précisément le déficit hydrique au cours de toute épreuve de fond. En plus, la prise de la température, la mesure du poids corporel et l'enregistrement de la fréquence cardiaque doivent être des gestes de routine pour le médecin du sport, et surtout pour tout entraîneur ou tout responsable sportif ayant des tâches dans les terrains de sport.

CONCLUSION GENERALE

Notre travail s'est principalement axé sur trois grandes parties. Dans un premier chapitre, nous avons tenté de ressortir le caractère légendaire et attrayant du marathon en parlant de son origine, de son évolution et de ses impacts sur les plans psychologique, sociologique et économique.

Ensuite, nous avons consacré le deuxième chapitre à certaines données de physiologie sur l'effort physique en général. Mais nous avons particulièrement insisté sur la physiologie du marathon en étudiant ses caractéristiques et les facteurs biologiques mis en jeu.

Enfin, dans le troisième chapitre, nous avons choisi comme paramètres de test, le poids, la fréquence cardiaque et la température centrale. Nous avons alors essayé de quantifier ces modifications physiologiques au cours du marathon, et d'étudier surtout leurs corrélations.

Tout au long de ce modeste travail, nous n'avons pas une seule fois, la prétention de poser tous les problèmes de la physiologie de l'activité musculaire. Vu le caractère dialectique et évolutif de la Science, une telle démarche ne ressortirait que de l'arbitraire. Il est aussi certain que beaucoup de fluctuations de l'aptitude physique se manifestent chaque jour. Il n'est donc pas toujours exact de vouloir tout expliquer par les modifications physiologiques décrites jusqu'ici. D'autres facteurs entrent en jeu. C'est ainsi que la qualité de l'influx nerveux influence considérablement la qualité du raccourcissement du muscle et surtout la qualité de tous les phénomènes qui ont un retentissement sur le métabolisme énergétique.(1)

De même, la question de la "forme" d'un coureur se pose aujourd'hui d'une façon très abstraite. C'est une notion ambiguë et encore mal cernée pour qu'on puisse définir une corrélation systématique entre elle et les explorations physiologiques de l'effort physique. Seulement, il a été largement prouvé que ces explorations constituent la meilleure assise pour la compréhension et l'amélioration des performances sportives.

Dans une autre optique, nous considérons que des facteurs psycho-caractériels peuvent influencer l'individu au cours d'une activité physique en général, et plus particulièrement au cours d'un marathon. Il peut en effet être motivé par un désir farouche de gagner à cause d'un pari, d'une prime, d'une revanche ou d'un sentiment patriotique et politique. A partir de ce moment, le problème de l'aptitude physique revet une autre dimension que seules la psychologie et la psycho-génétique peuvent élucider.

L'une des preuves les plus convaincantes est la question suivante :

Pourquoi, l'individu après avoir déployé de gros efforts et atteint le seuil de l'épuisement, trouve la force et une autre capacité de pouvoir prolonger son effort ?

Comment expliquer ce regain de ressources physiques ?

Mais il n'en demeure pas moins qu'il est impossible d'atteindre des performances élevées, quelle que soit la motivation, si l'aptitude physique de l'organisme est limitée.

De même, les ressources de l'Être Humain sont immenses aussi bien dans le domaine de la création que celui de l'adaptation. La seule difficulté est qu'il faille encore les connaître.



- 1.- ASTRAND P.O et RODAHL K
Manuel de Physiologie de l'exercice musculaire
MASSON 1978
- 2.- BRIKCI A et SAIDI D
Evolution de la fréquence cardiaque chez les sportifs et les non
entraînés
MEDECINE DU SPORT 1978 52 - 11 - 15
- 3.- CHAILLEY BERT P et PLAST
Physiologie des activités physiques
J.B. BAILLIERE et FILS PARIS 1962
- 4.- COSTILL DL FOX EL
Energétics of marathon running
MEDECINE SCIENCES - SPORTS 1969
81 - 86
- 5.- DILL D.B et CONSOMAZIO C.F
Responses to exercice as related to âge and environnemental tempa
temperature
J. APPL PHYSIOL 1962 17/4 245 - 648
- 6.- ECLACHE J.P
Entrainement physique et sport
MEDECINE DU SPORT 1980

.../...

- 7.- FORNARI. E BEUDELEY Y GRIMAU D.C
 Le débit cardiaque : Méthode de Mesure, régulation et application
 à l'exercice physique
 MEDECINE DU SPORT 1980 57 - 62
- 8.- FOX E.L et MATHEWS D.K.
 Interval training
 COLLECTION SPORT + ENSEIGNEMENT
 VIGOT EDITION PARIS
- 9.- FOX EL COSTILL DL
 Estimated cardio respiratory responses during marathon running
 ARCH. ENVIRON HEALTH 1969.
- 10.- HICKSON ET COLL.
 Leaner increase in aerobic power induced by a strenuous program
 of endurance exercise
 J.APP. PHYSIOL 1977 42 - 372 - 376
- 11.- KARLSSON J
 Lactate and Phosphagen concentration in working muscle of man
 (with special reference to oxygen deficit at the onset of work)
 SUPPLT 1971 35%.
- 12.- KARLSSON. J et COLL.
 Etude physiologique des besoins en énergie lors de la course à
 pied, application à l'entraînement
 RAPPORT N° 5 UERPS DE LYONS
- 13.- KLISSOURAS .V
 Heretability of adaptative variation
 J.APPL.PHYSIOL 1971

14.- KOMI ET COLL

Skeletal Muscle fibers and muscle enzyme activities in Monozygous and Dizygous Twins of both sexes

ACTA PHYSIOL. SCAND 1977 100 - 385 - 392.

15. LACOUR J.R.

Traité d'athlétisme : les courses

COLLECTION SPORT + ENSEIGNEMENT.

16.- LESBRE J/P BERNASCONI P.

Les épreuves d'effort en cardiologie

III Détermination de l'aptitude physique et de la capacité de travail

COEUR ET MEDECINE DENTAIRE 1973 12/2 261 - 272

17.- MARGARIA R et collab

Energy cost of running

J.APPL.PHYSIOL. 1963

18.- MEDICAL

Collection encyclopédique

19.- QUARD g- et COLL.

Bases physiologiques de l'études des adaptations cardiaques à l'exercice musculaire, chez le sujet normal et le coronaire

LYON MED. 1973 229/10 959 - 967.

20.- QUILLET.R GENETY.J

Médecine du sport

MASSON PARIS NEW YORK BARCELONE MILAN

1980

21.- QUILLET

Dictionnaire encyclopédique Quillet

LIBRAIRIE ARISTIDE QUILLET 278 boulevard St-Germain
PARIS 7^e

22.- SALTIN.B et ASTRAND P.O

Maximal oxygène uptake in athlètes
J.APPL.PHYSIOL 1967.

23.- SOFO .I

La mesure indirecte de la consommation maximale d'oxygène chez les
sportifs sénégalais.

.- Thèse grade Docteur en Médecine (Diplôme d'Etat) n° 86

UNIVERSITE DAKAR FACULTE DE MEDECINE ET DE PHARMACIE 1984

24.- SPIRIDON

Revue international de course à pied

25.- VINCENT J.P et PEROL G

Evolution de la VO_2 Max au cours de l'entraînement
MEDECINE DU SPORT 1977.

26.-

26.- WINDHAM CH. STRYDOM NB

The danger of an inadequate water intake during marathon running

S. AFR.MED.J 43 : 893 - 896

1969