

## Approche physiologique de la performance dans la course de marathon

### Physiological approach to performance in marathon running

Dr Yaiche R <sup>1</sup> ES/STS Dely-Brahim Alger  rachidyaiche54@gmail.com	Dr Boufaroua M <sup>2</sup> ES/STS Dely-Brahim Alger  mokhtarboufaroua@rocketmail.com	Dr Hafidi S <sup>3</sup> ES/STS Dely-Brahim Alger  hafidisouhila@yahoo.fr	Habchi. N <sup>4</sup> ES/STS Dely-Brahim Alger  nawalmebio@yahoo.fr
--	--	--	---

Résumé:	informations sur l'article
<p>le Marathon est une épreuve classée dans les courses d'endurance et se court en dehors des stades. L'entraînement a pour objectifs de réorienter les fibres musculaires et d'adapter les structures articulaires et cardiovasculaires pour améliorer les performances. Des études ont été réalisées pour comprendre les causes métaboliques et cardiovasculaires limitant la progression des résultats malgré l'acquisition des aptitudes physiques très développées. L'obtention de résultats de haut niveau nécessite une préparation effectuée avec des moyens appropriés et l'utilisation de la méthodologie et des sciences diverses principalement la physiologie qui nous permettront d'évaluer les exigences et les déterminants de la performance afin de préciser les objectifs à court, moyen et long terme.</p>	<p>Reçu 14/06/2021</p> <p>Acceptation 01/12/2021</p> <p><b>Mots clés:</b> athlétisme - Marathon - Filières énergétiques, endurance, VO<sub>2</sub>max</p>
Abstract	Article info
<p>Marathon is a classified event in endurance races and is run outside of stadiums. The objectives of training are to reorient muscle fibers and adapt joint and cardiovascular structures to improve performance. Studies have been carried out to understand the metabolic and cardio vascular causes limiting the progression of results despite the acquisition of highly developed physical skills. Obtaining high-level results requires preparation carried out with appropriate means and the use of methodology and various sciences mainly physiology which will allow us to assess the requirements and determinants of performance in order to specify short, medium and long term objectives.</p>	<p>Received 14/06/2021</p> <p>Accepted 01/12/2021</p> <p><b>Keywords</b> Athletics - Marathon - Energy pathways, endurance, VO<sub>2</sub>max,</p>

## **1- INTRODUCTION :**

Les performances réalisées ces dernières années dans les courses de fond sont devenues sceptiques au vu de l'altération de produits interdits utilisés tels que le dopage dans ces résultats. Mais notre étude se portera et s'interrogera sur l'apport de la physiologie dans le domaine de l'entraînement et particulièrement dans les courses de fond.

En effet, l'examen des performances au niveau mondial cette dernière décennie ne montre pas une avancée statistiquement très importante grâce à une découverte quelconque, mais bien souvent à des procédés d'entraînement mis en place par des entraîneurs ou athlètes sans connaître leur portée. Ces procédés ont été découverts et validés quelques années bien plus tard par les chercheurs. Donc, nous allons essayer de faire une rétrospective des avancées techniques d'entraînement et de la physiologie appliquée à l'effort sur le corps humain. Ces progrès dans ce domaine permettent éventuellement d'envisager l'avenir d'un entraînement pour la réalisation des résultats de haut niveau à condition d'avoir et de mettre les moyens humains et matériels techniques nécessaires pour atteindre ces objectifs.

Notre choix s'est porté sur l'épreuve du marathon, une épreuve actuellement en vogue et la plus pratiquée au monde. En effet, en plus d'être une activité physique dont on reconnaît l'importance et les vertus notamment sur le système cardio respiratoire. Il est devenu une forme d'exercices le plus populaire avec un engouement exceptionnel au cours de ces dernières années (Rasmussen et col 2013) Mais la promotion de cette spécialité varie selon le civisme et la civilisation de chaque pays. Les bienfaits de la course à pied sont reconnus et ne se ressentent pas seulement sur les maladies mais également sur une bonne préparation de la condition physique pour la réalisation de très bons résultats.

## **2- CADRE THEORIQUE :**

### **2.1. Cadre théorique sur la course du Marathon :**

La course à pied est un moyen de locomotion le plus rapide pour se déplacer grâce à la succession de foulées à partir des appuis effectués alternativement sur chaque pied. Actuellement, la popularité de cette activité et particulièrement le marathon s'accroît. Hommes et Femmes s'y attellent pour le réaliser que ce soit dans un but récréatif ou compétitif (Lopes et col 2012).

### **2.2. Historique :**

Le Marathon est une épreuve de course de longue distance de (42,195km). Ce choix de cette distance n'est pas anodin mais a été créé pour commémorer la course de Phillipides, qui selon la légende franchit les quarante-deux kilomètres de Marathon à Athènes pour annoncer la victoire de Miltiade sur les Perses.

Le Marathon fut disputé pour la première fois aux Jeux Olympiques d'Athènes en 1896 par Pierre de Coubertin qui a voulu commémorer cet épisode pour relancer un événement de la Grèce Antique des "Jeux Olympiques" qui se déroulaient à Olympie en l'honneur du dieu Grec Zeus.

Le Marathon se court actuellement sur la distance de 42,195km. Cette tradition qui remonte aux Jeux Olympiques de Londres en 1908 où le parcours fut rallongé sur demande du prince de Windsor qui a souhaité que le départ de la course de Marathon s'effectue à partir du Château et l'arrivée en face de la loge royale (F. Perronet 1988).

Cette distance fut adoptée en tant que distance officielle pour toutes les



autres éditions par World Athletics (ex IAAF).

Le record à l'époque de 2h55'18" est aujourd'hui de 2h01'39". On est parvenu à courir même à moins de 2h00 (1h59'40") mais, cette performance n'a pas été homologuée car n'a pas été réalisée dans des conditions règlementaires.

Le premier marathon olympique femme a eu lieu en 1984 à Los Angeles. Le record est de 2h14'04". Le Marathon est une épreuve où la performance dépend avant tout de la capacité de courir et de soutenir une dépense énergétique par unité de temps, ce qui représente une puissance élevée pendant un temps prolongé. L'énergie produite principalement des voies oxydatives et elle-même dépend de trois facteurs qui sont aussi importants : La puissance aérobie Maximale ( $VO_2\max$ , la plus petite puissance ou vitesse par laquelle la consommation maximale d'oxygène est atteinte (Monod et Coll. 2009), l'endurance et l'efficacité de la foulée ((D.L. Costill 1987 et Zilerner et Coll. 2012).

Par ailleurs, les résultats chronométriques ne dépendent pas seulement des facteurs physiologiques qui en sont les déterminants principaux mais aussi d'autres facteurs aussi importants tels que le facteur psychologique, social qui interviennent pour permettre à l'athlète d'utiliser ses capacités énergétiques (B.L. Drink 1984).

### 2.3. BIOENERGETIQUE :

Le corps humain est une machine surprenante. Pendant l'activité, normale ou maximale, d'innombrables processus coordonnés se reproduisent simultanément dans notre corps et permettent la réalisation de fonctions complexes respiratoire, circulatoire etc...et particulièrement les fonctions physiologiques qui déclencheront les mécanismes de production d'énergie nécessaire, à une ou plusieurs contractions musculaires afin de réaliser l'action voulue.

Le résultat ne peut être efficace par la mise en fonction du système énergétique, mais une chaîne d'autres systèmes sont mis en marche sans lesquels le corps humain ne peut fonctionner à un effort optimal à savoir :

-Le système squelettique qui met la charpente osseuse en mouvement grâce à la contraction des muscles.

- Le système cardio vasculaire qui véhicule les nutriments et apporte de l'oxygène vers l'ensemble des cellules que ce soit centrales ou périphériques tout en assurant l'élimination des déchets et l'oxyde de carbone.

- Les systèmes tégumentaires (la peau) aident le corps à maintenir la température constante du corps par rapport à l'environnement.

- Le système urinaire aide à la régulation de la pression artérielle et l'équilibre hydro électrolytique.

- Les systèmes nerveux et endocrinien coordonnent et dirigent l'ensemble de ces fonctions pour la satisfaction des exigences de l'organisme (Larry W. 2012).

Qu'il s'agisse de tous ces systèmes, toutes ces fonctions sont en cours pendant l'activité. Aussi, le cœur et les vaisseaux sont innervés par des fibres qui libèrent de la noradrénaline une substance qui joue un rôle essentiel dans l'augmentation du débit cardiaque et sa distribution aux muscles actifs et à la peau (Rowel.B.1986).

Seuls trois(03) types de muscle permettent d'assurer ces multiples fonctions de notre système musculaire.

Les muscles squelettiques, le muscle cardiaque et les muscles lisses appelés aussi muscles à contraction involontaire car leur stimulation



est automatique et instantanée.

Le muscle cardiaque est constitué majoritairement du cœur mais il échappe au contrôle volontaire comme les muscles lisses, il est contrôlé et régulé en permanence par les systèmes nerveux et endocrinien.

Le muscle important ici est celui que nous contrôlons, ce sont les muscles squelettiques ou du mouvement volontaire car ils s'insèrent sur les pièces osseuses qu'ils mettent en mouvement, alors on parle de système musculo squelettique car l'action de ces muscles a été accompli grâce au mouvement du corps.

### **2.3.1-L'énergétique**

Il existe des filières énergétiques qui fabriquent de l'énergie pour fonctionner : cette énergie provient de la nourriture et du soleil.

Elle est produite après à partir de trois (03) filières

#### **2.3.1.1. Les filières anaérobies :**

Ces filières fonctionnent sans apport d'oxygène et permettent de fournir une très grande énergie sur un temps très court. Elles interviennent lors d'efforts intenses et de courte durée. Il existe deux types de filières anaérobies.

-Filière anaérobie lactique : sans apport d'oxygène et sans production d'acide lactique.

-Filière anaérobie lactique sans apport d'oxygène et production lactique.

-Cette filière ne peut fonctionner longtemps à plein régime :

15" pour la filière anaérobie lactique (effort type sprint).

De 1' à 2' pour la filière Anaérobie lactique (effort type 400/800 m)

Cette dernière induit la production de l'acide lactique et augmenterait l'acidité au niveau du muscle, ce qui va diminuer l'efficacité de l'activité musculaire et réduit son normal et oblige l'athlète à s'arrêter.

#### **2.3.1.2.La filière aérobie :**

Elle fonctionne avec l'apport de l'O<sub>2</sub>. Elle est moins efficace pour fournir une très grande quantité d'énergie sur une courte durée mais elle est théoriquement illimitée dans le temps(plusieurs heures selon le type d'effort).

En cas de l'augmentation de l'activité, il n'est pas toujours en mesure de s'adapter Immédiatement et le système anaérobie est sollicité dans une proportion plus importante pour satisfaire les besoins. Ces temps de latence sont nécessaires au système aérobie à agir sur différents paramètres de l'organisme afin d'augmenter la quantité d'O<sub>2</sub> disponible au niveau du muscle.

Variation des pulsations cardiaques : c'est la manifestation concrète de cette adaptation du système d'effort avec augmentation de la fréquence cardiaque.

La quantité de sang (donc O<sub>2</sub>) allant vers les muscles est plus grande. Mais si l'effort est très intense et dure plus longtemps, le système aérobie ne peut plus suffire à produire l'énergie pour poursuivre l'effort. Alors, le système



anaérobie reste enclenché et c'est à chacun de trouver la bonne carburation

Des études ont permis d'estimer dans quelle proportion interviennent ces filières en fonction du type de course (Mac Dougal et Coll 1988).

**Tableau 1 :** Pourcentage d'utilisation de différentes filières énergétiques (Costill D.L. 1987)

Process \ Dist	800m	1500m	3000m	5000m	10km	s.marat	marathon
<b>Aérobie</b>	40	50	85	90	95	97	98
<b>Anaérobique</b>	60	50	15	10	5	3	2

### 2.3.1.3. Relation vitesse – temps:

Selon Billat (2001), la forme de relation vitesse-temps dans les courses a été élaborée à partir des records du monde du 100m au marathon.

Des tranches de durée de temps ont été envisagées pour lesquelles la perte de vitesse est peu sensible. En effet, pour une durée de course qui double de 10 à 20 secondes, la vitesse est maintenue à 36 km/h, et celle qui passe de 1h à 2h, on ne perd qu'un seul (1) km /h. Au contraire, il existe des cassures dans certaines portions de la course des performances liant la vitesse au temps''.

(Billat 2001)(Tableau 2).

**Tableau 2 :** Vitesse record de l'homme en fonction de la distance et la durée en course à pied (au 1<sup>er</sup> mars 1999) V.Billat 2001.

Durée m et km	Records masculins h/mn/s	Vitesse en km/h	Records féminins h/mn/s	Vitesse en km/h
<b>100</b>	9.58	37.58	10.49	34.31
<b>200</b>	19.19	37.51	21.34	33.73
<b>400</b>	43.03	33.46	47.60	30.25
<b>800</b>	1.40.91	28.54	1.53.28	25.42
<b>1500</b>	3.26	26.21	3.50.07	23.47
<b>5000</b>	12.35.36	23.82	14.06.62	21.26
<b>10000</b>	26.11	22.91	29.01.04	20.67
<b>42,195</b>	2h.01'.39	20.92	2h.14.4	18.88

■ Ces vitesses sont proches de la vitesse maximale sollicitant le VO<sub>2</sub>max , la vitesse maximale aérobie (V.M.A.)

■ Les résultats ont été actualisés et comportent les derniers résultats homologués par World Athletics.

■ L'étude du tableau a permis aux physiologistes de déceler des similitudes quant aux facteurs limitatifs et aux qualités énergétiques requises pour les différentes épreuves.

Mais une constatation très importante, c'est que les femmes courent 2km/h moins vite que les hommes

### 2.3.2. L'entraînement

#### 2.3.2.1. La préparation des athlètes pour les courses de fond :

Comme pour un véhicule à moteur, l'O<sub>2</sub> seul ne suffit pas à maintenir un effort de longue durée. Un apport énergétique est obligatoire et c'est l'alimentation qui apporte trois nutriments : Les glucides - Les lipides et les protéides.

Tous les trois sont nécessaires :





- Au bon fonctionnement de l'organisme et sont utilisés comme combustibles par les muscles.
- Il faut les transformer. Cette transformation est plus ou moins facile, rapide et coûteuse en énergie selon le type de nutriments

### **2.3.2.2. Importance de transformation des nutriments :**

#### **2.3.2.2.1 :Les glucides :**

Sont les nutriments les plus accessibles. La filière permettant de les transformer est courte et sa vitesse d'intervention est rapide.

Pour être utilisable par le muscle, les glucides sont transformés en glycogène pour permettre une activité musculaire élevée. Cette dernière est stockée dans les muscles et dans le foie. Ses réserves sont limitées.

Quand les réserves sont épuisées, le coureur ne peut plus maintenir sa vitesse.

Dans le cadre d'une activité prolongée (+1h), il est conseillé d'entretenir les stocks en absorbant des boissons ou en mangeant des aliments riches en glucide. C'est grâce à un entraînement adapté que les capacités de stockage au niveau musculaire pourraient être améliorées.

L'épuisement de stockage de glycogène pour un exercice prolongé puis les reconstituer en mangeant énormément de féculents (pâtes, riz, pain), un phénomène qu'on appelle surcompensation se produit au niveau du stockage devient alors supérieur au niveau initial. La capacité de stockage peut être multipliée par 5. L'organisme a remplacé ainsi l'utilisation du glycogène par celui des graisses (les lipides grâce à l'entraînement).

#### **2.3.2.2.2 :Les lipides :**

Ils jouent un rôle important dans la constitution de la cellule.

Parmi les variétés des lipides, seules les triglycérides servent véritablement de source d'énergie pour les muscles.

La filière qui permet de transformer et d'amener les lipides à une forme utilisable par le muscle est plus lente et son intervention est moins rapide que les glucides. Leur pouvoir énergétique est moindre en termes de quantité de carburant mis à la disposition du muscle. En plus, pour fonctionner la filière a besoin d'apport en O<sub>2</sub> et de glycogène.

Les lipides forment, en terme quantitatif, la réserve de carburant la plus importante de l'organisme. La durée de l'effort semble illimitée (ex: un marathonien de 70kg entre 3 et 4 h utilise environ 300gr de lipide alors que ses réserves sont de l'ordre de 10kg).

Plus l'intensité est réduite et plus la proportion d'énergie produite à partir des lipides est grande.

Dans un footing lent 90% de l'énergie peut être produite à partir des lipides.

Un entraînement adéquat et pertinent habitue l'organisme à utiliser davantage les lipides à des vitesses de course élevées ménageant ainsi son stock de glycogène.

#### **2.3.2.2.3 : les protides (Viandes et Poissons):**

Sont les briques de notre organisme. Elles sont composées entre autres d'acides aminées qui peuvent rentrer pour 10% dans la couverture énergétique de l'exercice (Larry Kenny W. et Coll 2012).

Cette filière est sollicitée quand l'organisme ne disposant plus de réserves lipidiques et comme cette réserve est faible dans le sang et pour faire face aux besoins, l'organisme est obligé d'aller puiser dans son propre structure pour poursuivre l'effort.

En poussant à l'extrême le coureur se trouve à dégrader ses propres



muscles pour pouvoir les faire fonctionner.

Lors de l'effort de longue durée, la quantité d'oxygène disponible par les cellules musculaires (donc les muscles) influence directement la performance. Pour y parvenir, l'oxygène franchit différentes étapes et seulement une molécule d'oxygène/10 entrant dans les poumons et sera utilisé par le muscle.

### **2.3.3. Les facteurs de la réussite et leur importance :**

Donc, le marathon est une épreuve où la performance dépend, avant tout, de la capacité du coureur à soutenir une dépense énergétique c.à.d. une puissance élevée pendant un temps prolongé. Cette capacité dépend de trois facteurs qui sont par ordre de d'importance : La puissance maximale aérobie, l'endurance et l'efficacité de la foulée.

#### **2.3.3.1 : Efficacité de la foulée :**

Troisième déterminant. Une foulée économique est un atout pour les athlètes de fond (10000m et plus). Plus la foulée est efficace, et plus la vitesse soutenue et la distance parcourue dans un temps donné sont importants (M. Pollock 2000).

Mais, certains travaux ( B.Sjodin, 1992, J. Svedenhag1997) ont essayé de montrer que ce facteur est mineur dans les résultats des athlètes et cette efficacité n'est seulement le résultat de compromis complexe entre de nombreux paramètres parmi lesquels aucun ne ressort systématiquement et ne pas donc être utilisé comme critère simple d'une foulée efficace (Williams et Coll. 1989).

#### **2.3.3.2. L'endurance :**

C'est le deuxième déterminant des résultats des athlètes. Elle est la capacité du sujet à utiliser un pourcentage élevé du  $VO_2$  max pendant une longue période de temps, car le  $VO_2$ max ne peut soutenir que cinq à 12mn environ. Pour les courses plus longues, le pourcentage du  $VO_2$ max soutenu par le coureur décroît progressivement avec le temps de course (F. Peronnet et G. Thibault 1987). Cette variation de réduction du pourcentage du  $VO_2$ max avec le temps se fait différemment d'un athlète à un autre, ce qui montre une endurance différente. Mais, il semblerait que l'endurance seule n'a pas de valeur pour la prédiction de la performance dans les courses de fond. On pourrait observer par exemple une très bonne endurance dont le  $VO_2$ max n'est pas très élevé.

Des marathoniens de haut niveau ont réalisé des performances comparables avec des combinaisons variables de  $VO_2$ max et d'endurance.

#### **2.3.3.3. La puissance maximale aérobie :**

Le  $VO_2$ max peut être calculé en laboratoire et sur le terrain à partir d'un certain nombre de tests particulièrement pour les athlètes de haut niveau. Il est estimé d'une manière assez parfaite à partir, généralement, à partir de test de terrain, celui développé par L. Leger de l'université de Montréal (1980). Il s'agit d'un test de course progressif sur piste dont la vitesse de course est imposée par des instructions sonores et augmentée par paliers successifs de deux (02) minutes. On note simplement le dernier palier pour lequel l'athlète a pu soutenir la vitesse. Cette vitesse correspond à la puissance aérobie maximale. Concernant le coût, caractéristique de son système de transport et d'utilisation de l'oxygène, l'appareil, respiratoire et le muscle squelettique sont les trois maillons de cette chaîne de l'oxygène.

### **2.3.4. Trajet de l'oxygène en course à pied :**

#### **2.3.4.1- De l'atmosphère aux poumons :**

Le rôle des poumons est d'assurer l'approvisionnement de l'organisme en  $O_2$  et d'évacuer l'oxyde de carbone( $CO_2$ ), déchet résultant de la



production d'énergie nécessaire à la contraction musculaire.

#### **2.3.4.2- Des poumons au Sang :**

Les poumons se présentent comme un arbre pris à l'envers, en haut se trouve le tronc (trachée) puis des ramifications de plus en plus petites (les bronches) qui aboutissent à des milliers de feuilles (Alvéoles pulmonaires).

Ces dernières sont des millions de petites poches dont l'extrémité baigne dans le sang. Des fines membranes séparent les deux milieux. Quand l'O<sub>2</sub> inspiré atteint les alvéoles pulmonaires, il traverse alors la fine membrane pour se diffuser dans le sang.

En augmentant ainsi cette surface, les échanges s'en trouvent facilitées.

La quantité d'O<sub>2</sub> absorbée est plus importante.

Dans le sang, l'O<sub>2</sub> est transféré selon deux moyens différents :

\* Par dissolution : Le sang est composé essentiellement d'eau et de plasma, l'O<sub>2</sub> est capable de se dissiper dans ce liquide, l'O<sub>2</sub> dissout représente une quantité négligeable pour l'organisme mais L'avantage d'être utilisé très facilement par les cellules.

\* par l'utilisation d'un transport : l'hémoglobine. C'est une protéine capable de fixer l'O<sub>2</sub> et sert de système de transport pour plus de 95% de l'O<sub>2</sub> et le fait important des deux éléments, c'est qu'ils s'adaptent selon les conditions du milieu En effet, plus le milieu est concentré en O<sub>2</sub> ( comme au niveau des poumons) plus l'O<sub>2</sub> tend à s'attarder à l'hémoglobine, plus le milieu est déficitaire ( comme au niveau des muscles en activité) il tend à se détacher.

D'autres facteurs comme l'acidité ou la présence d'oxyde de carbone facilitent le largage de l'oxygène. Mais, l'entraînement, malgré ses grands avantages, ne semble pas améliorer cette quantité de "transporteur".

Dans l'organisme l'hémoglobine est présente dans les petites cellules rouges: les globules rouges, mais ces dernières ne peuvent se déplacer par leurs propres moyens mais sont fonctionnels grâce à un système externe: La circulation sanguine.

#### **2.4. La circulation sanguine**

L'acheminement du sang vers les muscles est assuré par le système cardio vasculaire. Le sang est transporté et amené des poumons (où il a été enrichi en O<sub>2</sub>) vers le cœur qui l'expulse violemment des cavités cardiaques vers le système d'irrigation. Le sang emprunte d'abord une grosse artère pour passer ensuite dans des vaisseaux plus fins avant de finir de voyager en utilisant un réseau de capillaires encore plus fins (ils forment dans l'organisme un réseau de 100000km. Leur paroi est si fine que le gaz et les nutriments diffusent librement à travers.

A proximité des cellules musculaires déficitaires en O<sub>2</sub>, alors l'O<sub>2</sub> transporté par l'hémoglobine se détache, traverse la paroi des capillaires et se retrouve dans la lymphe (liquide) et puisque les cellules sont beaucoup dans ce liquide, il ne reste plus qu'à entrer dans la cellule pour y être utilisé. Mais, même dans les conditions extrêmes tout l'O<sub>2</sub> ne se libère pas. Une partie reste accrochée à l'hémoglobine et retourne vers le cœur et les poumons. Au retour, le sang s'est chargé de dioxyde de carbone afin de l'envoyer vers les poumons pour être évacué dans l'atmosphère. Donc, le sang est saturé en O<sub>2</sub> à l'aller et en CO<sub>2</sub> au retour.

Alors, on se demande que permette l'entraînement en endurance ?

C'est un développement plus important de réseau des capillaires, ce qui fait que les cellules des athlètes entraînés sont plus irriguées que les sédentaires. La capacité de diffusion de l'O<sub>2</sub> des globules rouges (hémoglobines) jusqu'aux





cellules s'en trouve améliorée.

A l'intérieur de la cellule, l'O<sub>2</sub> est pris en charge par une protéine proche de l'hémoglobine : la myoglobine qui va amener l'O<sub>2</sub> à sa destination finale : la mitochondrie lieu favorisant la production d'énergie de la cellule. C'est l'endroit où celle-ci fabrique l'énergie nécessaire à la contraction musculaire.

Tout ça se produit sous l'effet de substances chimiques appelées : les enzymes qui avec l'entraînement favoriseront la production d'énergie au sein de la cellule et voient leur densité s'accroître. Les mitochondries verraient aussi leur nombre se multiplier et leur volume augmenter.

## **2.5. La fréquence cardiaque :**

Il y a toujours qui est présente dans les courses à pied : La fréquence cardiaque (F.C) qui est un excellent indicateur du niveau d'activité du coureur.

Son mécanisme ?

Pour arriver jusqu'aux muscles, l'O<sub>2</sub> utilise, comme moyen de transport dans le sang (globule rouge) qui circule dans l'organisme grâce à une pompe : Le cœur qui est composé de cavités, de ventricules, d'oreillettes et de veines qui communiquent entre elles et elles projettent et reçoivent du sang pendant la contraction. C'est cette contraction musculaire que la fréquence prend en compte.

Par des mécanismes : Le cœur est tenu informé des besoins de l'organisme en O<sub>2</sub>, et il est soumis à deux types de contrôle :

L'un lui dit de se » calmer et un qui demande de s'activer.

En cas de demande supérieure en O<sub>2</sub>, il augmente le débit cardiaque (en augmentant son F.C). Lorsque la quantité d'O<sub>2</sub> atteint le niveau requis, alors, il se stabilise et reste à ce régime "moteur". Si la demande en O<sub>2</sub> évolue à nouveau (à la hausse ou à la baisse) il y a un réajustement du F.C grâce au système de contrôle.

Avec l'entraînement, la F.C diminue à l'effort (vitesse égale) comme au repos. Des études ont montré qu'avec un entraînement en endurance, le volume du cœur augmente et par contre avec un travail d'endurance spéciale (appelée faussement résistance) s'apaise.

Le volume du sang dans le ventricule est plus important et la force d'éjection est plus grande.

Cette contraction musculaire plus puissante, ce qui permet le cœur d'envoyer plus de sang et avec une plus grande vitesse, mais la F.C augmente selon les besoins en O<sub>2</sub>. Arrivée à un certain stade malgré la forte demande d'O<sub>2</sub>, le cœur atteint alors sa fréquence cardiaque maximale (F.C.M). Elle est propre à chaque individu et baisse progressivement avec l'âge. L'entraînement ne peut pas la modifier.

### **2.5.1. Détermination de la F.C max/**

La formule la plus connue :  $220 - \text{l'âge}$  qui est basée sur un système de moyenne qui émane des données. Elle n'est pas fiable mais peut donner un bon indicateur pour l'entraînement.

Un test progressif pour évaluer la V.M.A du coureur peut être utilisé. En fin de test, la F.C du coureur correspond à sa F.C. max.

Un entraînement sollicitant fortement le système aérobie permet d'atteindre sa rapidité par une accélération très soutenue sur une durée supérieure à une minute.

Vu la complexité du système, il est probable qu'il faille éventuellement chercher au niveau de cette chaîne les facteurs qui sont susceptibles de limiter le VO<sub>2</sub>max. Les facteurs ne peuvent être les mêmes pour tous les athlètes en vue de



leur constitution physiques et leurs qualités.

En effet, il faut avoir une incapacité dans les muscles pour l'utilisation de l'oxygène transporté. Les systèmes seraient " excessifs" par rapport aux capacités métaboliques. Inversement, chez les coureurs dont le  $VO_2max$  est très élevé. La limite se situerait au système respiratoire, ce qui rendrait cette capacité insuffisante par rapport au système circulatoire et aux voies métaboliques (J. Dempsy 1986). En effet, il a observé que l'hémoglobine du sang artériel est particulièrement vidée d' $O_2$  à l'approche du  $VO_2max$ , ce qui n'est pas une anomalie de ventilation mais au nombre de capillaires disponibles dans les poumons sont insuffisants par rapport au débit cardiaque quand ils atteignent des valeurs très importantes.

Le débit cardiaque se manifeste, quant à lui pour réduire le temps de transit dans les capillaires, alors, il devient trop court pour assurer le passage d' $O_2$  des alvéoles pulmonaires, ce qui diminuerait la saturation de l'hémoglobine du sang artériel.

Enfin, chez les athlètes possédant des  $VO_2max$  intermédiaires, les systèmes respiratoires et les voies métaboliques seraient plus grandes par rapport au système circulatoire, lequel pourrait être le facteur principal de la consommation d'oxygène.

Cette quantité limitée d' $O_2$  transportée par la circulation chaque minute est soumise à la limitation de la quantité du sang propulsée par le cœur à chaque contraction (le volume éjection systolique).

D'ailleurs, selon les études, c'est le seul facteur qui soit différent chez un sujet dont le  $VO_2max$  est élevé et chez dont celui le  $VO_2max$  est bas.

Pourtant, il a été attribué pendant trop longtemps que ces différences de volume d'éjection systolique aux différences de la taille de la pompe cardiaque et aussi que l'entraînement provoque des hypertrophies considérables au cœur. Contrairement à ces idées reçues, il s'est avéré que les athlètes dont le  $VO_2max$  est élevé possèdent des cœurs " à peine plus gros que les noms athlètes.

Ces différences de volume d'éjection systolique sont à rechercher éventuellement dans les propriétés contractiles du myocarde qui permet d'avoir plus de puissance (F. Peronnet et Coll 1991).

## **2.6. Variation de la population de coureurs :**

Une augmentation sensible de la population de ce type d'épreuve a été notée à travers les effectifs participants dans les manifestations sportives qui regroupent des milliers d'athlètes. A titre d'exemple, nous avons noté que le nombre d'athlètes participants au marathon de Paris de 10.000 en 1984 à 43714 en 2017 alors qu'à New York l'effectif est passé à 52812 en 1918.

### **2.6.1 : Une population en voie de changement :**

Généralement, la participante masculine est plus importante dans cette épreuve. Selon les statistiques sur la course de Marathon de Jungfrau en 2000 et 17.3 en 2011 de femmes et 84,18% d'hommes (Knechtle et coll 2013), alors que le marathon de New York a vu la participation féminine de 42% en 1918 sur les 52812 arrivants. Mais, il semblerait que la participation des vétérans prend de l'ampleur, en effet, leur participation est plus forte pour les deux catégories hommes et dames (Whyte et All 2013).

Donc, les chiffres des derniers marathons reflètent un accroissement de la population féminine mais qui reste, cependant, inférieure aux hommes (Lopes et col 2012).

## **3. METHODOLOGIE :**

### **3.1. Recherche de la bibliographie :**

A début, nous avons défini les bases des données à utiliser. Nous avons effectué nos recherches à travers pubmed via medlina qui



comprend 32 millions de citations de revues et des résumés de littérature biomédicale du monde entier. Nous avons aussi utilisé pour notre recherche la bibliothèque de l'université de Montréal CINAHL qui possède une base de données bibliographique qui représente 2900 périodiques. D'autres moteurs de recherche tel que EBSCO Sport discus qui a une base de données bibliographiques la plus complète couvrant le sport, la condition physique, l'entraînement sportif et autres données dont les contenu comprend également des références internationales provenant de travaux expérimentaux publiés dans des revues, de magazines, de livres et d'actes de conférences de façon à ramener un maximum de littérature sur le sujet traité ont été utilisés.

Ensuite, nous avons arrêté notre travail sur les bases de données de notre étude tout en les séparant en trois axes :

Le sport, la bioénergétique et l'entraînement sportif soit la course sur longue distance, la physiologie de l'effort et la méthodologie de l'entraînement.

Dans notre étude, les mêmes mots clés ont été maintenus pour faciliter la lecture.

La lecture d'articles et de travaux correspondant à notre recherche nous a valu l'exploitation d'un certain nombre de données et de notions.

### **3.2. Qualité de la bibliographie étudiée :**

La qualité des études bibliographiques étudiées est un élément très important à prendre en compte dans la recherche afin d'équilibrer tous les critères dans notre étude afin de limiter avec exactitude notre objectif.

### **3.3. La population de l'étude :**

Chaque étude possède ses objectifs et il est très difficile de retrouver ce que nous recherchons. Quelquefois, les critères ne représentent pas la même population qui nous intéresse qui est la physiologie de l'effort chez les marathoniens.

En plus, les études convergent vers les hommes que les femmes alors que nous savons qu'il existe des différences entre les deux sexes.

### **3.4. Age :**

La participation ces dernières années sur les courses hors stade ou des courses plus précisément les courses de longue distance a augmenté avec l'âge (Leyk et coll 2009) alors que dans la plupart de recherche sur les tranches d'âge se situe entre 23 et 58 ans et semble, à cet effet, affecté les résultats.

Dans cette perspective, les résultats des données sur ce sujet divergent comme en témoignent Mosher et coll (2010) in Lingrivet (2014).

### **3.5. Limite de l'étude :**

Lors de notre travail de la revue de la littérature, des lacunes ont été identifiées particulièrement dans la partie cadre théorique où nos connaissances dans le domaine biomédical étaient limitées et trop vastes nous ont manqué. L'autre problème rencontré est celui du peu d'études publiées sur le marathon. La faible quantité n'a pas permis de sélectionner les études d'après les critères de qualités scientifiques à l'exception de quelques-unes.

Le dernier problème est celui de la langue. Les meilleures recherches sont écrites en langue anglaise, chose dont on ne maîtrise pas. Malgré ces difficultés, nous nous sommes documentés sur cette thématique et nous avons pu extraire et écrire le plus important.

### **3.6. Choix du sujet et pertinence :**

3.6.1. Etablissement d'une bibliographie sur le thème permettant d'informer les entraîneurs et les athlètes et de donner des conseils



scientifiques.

**3.6.2.** La physiologie de l'entraînement des sportifs n'est pas assez développée et il est très important de prendre les mesures nécessaires pour son développement car c'est un paramètre très important pour l'amélioration des résultats des sportifs de haut niveau

**3.6.3.** Promouvoir les courses de longue distance est intéressant afin de connaître les différents paramètres pour qualifier le travail (Dubois 2010).

#### 4. DISCUSSION ET ANALYSE:

Les indicateurs et les informations données laissent penser que de simples mesures physiologiques vont permettre de prévoir et d'améliorer les résultats des athlètes. Ce n'est malheureusement pas le cas car la différence existante entre les athlètes en compétition représente une valeur égale ou supérieure à 1% de la durée de la compétition ( J. Karlsson et Coll 1972). Donc, il est difficile d'envisager que la détermination des paramètres physiologiques seulement puisse former, autre chose qu'un outil d'appréciation des capacités d'un individu en raison des erreurs méthodologiques.

Les mesures des aspects physiologiques ne peuvent à elles seules préjugées valablement les résultats des compétitions .

Ceci dit, des études ont relevé des différences de 2 à 3 /4 secondes à l'occasion des compétitions pour des athlètes qui possèdent les mêmes valeurs physiologiques. Alors pourquoi cette différence? Il ressort des mesures physiologiques que ces athlètes devaient être égaux au train mais le deuxième en sprint en raison de sa plus grande aptitude à constituer une dette d'oxygène plus importante.

Donc, dans ce cadre, il aurait été important et intéressant de connaître la répartition des fibres musculaires chez ces coureurs. On peut, à priori, supposer que le meilleur athlète présenterait une répartition égale de fibre alors que les autres athlètes ont éventuellement une majorité de fibres lentes. Ce facteur négligé est parmi les aspects les plus importants pour envisager des résultats de haut niveau.

Les caractéristiques musculaires sont en étroite collaboration avec les facteurs physiologiques et qu'il est nécessaire de connaître.

Une expérimentation conduite par Karlsson et Coll 1972 sur les meilleurs athlètes de l'élite Suédoise a démontré que la valeur de la consommation Maximale d'oxygène revêt une importance capitale. En effet, c'est parmi les athlètes de coureurs de fond que les valeurs les plus élevées ont été relevées. En revanche, les processus anaérobies ne jouent pas un rôle du point quantitatif c'est à dire sur le le temps global mais pourrait influencer sur le classement de l'épreuve si celui ci est déterminé par un sprint final.

Il a été constaté lors de cette étude que les athlètes des épreuves de fond font appel entre 96 et 98% de leur consommation Maximale d'Oxygène. Les processus anaérobie n'interviennent que pendant les accélérations (tableau 3).

Tableau 3: Valeur moyenne de la dépense énergétique totale que représente la course sur les distances de 200m, 400m, 1500m, 5000m et 10000m pour les athlètes suédois de haut niveau (J. Karlsson et Coll 1972)

Distances	Quantité d'O <sub>2</sub> Processus aérobie litres	Dettes d'O <sub>2</sub> Processus anaérobie litres	Apport d'énergie		D&ense énergétique Totale Kcal
			Aérobie	Anaérobie	
200	1.5	10	8	50	58
400m	0 4	11	20	55	25
1500m	18	10	90	50	140
5000m	65	0 7	325	35	360
10000m	135	0 7	675	35	710

Apparemment, et dans cette approche, la différence pourrait, éventuellement, provenir de l'efficacité de la course que nous avons décrit comme étant un élément important de la réussite d'un athlète.

Un des buts principaux de cette étude est de fournir des informations sur une approche physiologiques dans les courses de fond et particulièrement celle du marathon mais aussi donner des conseils concernant l'entraînement.

A cet effet, la connaissance précise des facteurs physiologiques (la dépense énergétique du sujet) peut apprécier à peu près l'aptitude de ce dernier à répondre à cette demande et de conduire l'entraînement en fonction de ces données.

Cependant, on ignore d'autres mécanismes fondamentaux qui interviennent lors de l'entraînement et qui constituer un frein pour l'évolution de l'athlète. Il n'est, donc pas possible, de tirer profit de ce travail pour programmer un entraînement efficace car ne disposant pas de toutes les données et de tous les facteurs comportant plus de chance.

Alors comment s'entraîner?

L'entraînement fait appel à un certain nombre de méthodes et de moyens pour l'amélioration des résultats. Mais, on se demande comment se préparer au mieux un athlète et l'aide à accomplir des performance de haut niveau? Cette question n'est pas réservée seulement aux sportifs professionnels mais à tous les niveaux. L'entraînement est proportionnel et l'amélioration du niveau de performance est individuelle selon les qualités de chacun.

Concernant l'entraînement des marathonniens, rien ne sert d'accumuler les kilomètres comme le croient beaucoup d'athlètes, vaut mieux développer sa consommation Maximale d'Oxygène (VO<sub>2</sub>max) par des courses lentes ou en effectuant des courses rapides interrompues par des périodes de repos.

Il est vrai que les grands athlètes couvrent des distances considérables à l'entraînement (150 à 200km par semaine) et plusieurs études ont montré une bonne relation entre le kilométrage à l'entraînement et la performance au marathon, toutefois, ce n'est pas la raison que ces athlètes réalisent de bonnes performances au marathon.

La planification de l'entraînement se fait selon les principes de l'entraînement (progression, alternance, récupération, spécificité et charge) en fonction du niveau de ses performances et des valeurs physiques estimées à partir de ses meilleurs résultats et selon les objectifs fixés.

### 5. CONCLUSION – RECOMMANDATIONS :

Le sport de performance n'est pas une accoutumance mais une science qu'il faudrait connaître les préalables dont les facteurs impliquant la maîtrise des concepts physiologiques de l'entraînement.

Quels sont les facteurs physiologiques et énergétiques de la performance, leur marge de progression et les méthodes utilisées ? Telle était cette modeste étude qui peut être un outil de référence pour,





éventuellement, aborder un entraînement basé sur la physiologie sportive essentiellement.

### **5.1. Les paramètres à prendre en compte lors de l'entraînement :**

Pour progresser, il faut s'entraîner. Mais, comment s'entraîner pour améliorer ce système ? Selon des études, la marge de progression du VO<sub>2</sub> max est d'environ 15 à 25% avec de l'entraînement mais, il peut être variable d'une personne à une autre car déterminé génétiquement.

Mais, selon Bouchard et coll (1990), il apparaît que la part de l'inné dans le VO<sub>2</sub>max est faible après un certain nombre d'expérimentation réalisées en conséquence. Autrement, l'effet de l'entraînement n'est pas les mêmes pour tout le monde.

Cette sensibilité différente à l'entraînement ayant pour une grande part une origine génétique réellement, et pour devenir un grand champion, il serait judicieux de bien choisir les parents de l'athlète.

Pour améliorer leur VO<sub>2</sub>max, les athlètes doivent s'entraîner mieux en planifiant leur entraînement pour la réalisation des objectifs à atteindre par les méthodes spécifiques à mettre en œuvre pour le développement de ce facteur important de la réalisation de la performance. En effet, le développement de la consommation d'oxygène requiert des courses à des vitesses correspondant à des puissances voisines de son VO<sub>2</sub>max, mais non soutenables trop longtemps, ce qui oblige à écourter les séances en alternant des courses rapides entre 20 secondes à deux minutes avec des périodes de récupération de trente secondes à deux minutes. Cette méthode dite par "intervalle" est très intéressante. Pour l'entraînement dans les courses de fond, l'athlète est en endurance fondamentale tant que le taux d'acide lactique dans le sang reste très faible (-2mmol). Le taux augmente progressivement avec les allures de course et quand il dépasse plus de 2mmol, le coureur sort de l'endurance fondamentale. L'athlète est en endurance jusqu'à 75% et au-delà de 80 à 90% de la F.C.Max (4mmol).

Pratiquement, l'entraînement en endurance est incontournable et il faut adopter des allures entre 60 et 75% du F.C.Max pour éviter tout risque d'erreurs.

Différents chercheurs se sont penchés sur ces relations de puissance et de sa durée limite afin d'essayer de susciter différents modèles de l'endurance dans le but d'améliorer sa conception. Ainsi F. Peronnet et Thibaut (1989) ne caractérisent plus l'endurance non seulement par la plus haute intensité développée en un temps donné ou la plus grande durée pouvant effectuée en une intensité donnée mais aussi par la relation liant la puissance de l'exercice à sa durée seulement par la plus haute intensité développée en un temps donné ou la plus grande durée pouvant effectuée en une intensité donnée mais aussi par la relation liant la puissance de l'exercice à sa durée.

L'analyse de cette relation permet ses créateurs une meilleure orientation de l'athlète dans le choix de la l'épreuve mais sans oublier essentiellement les autres préalables pour la réussite et la réalisation de grandes de performances à savoir ; les prédispositions des qualités requises, le type d'entraînement.

En effet, l'entraînement de cette qualité l'endurance étant la combinaison de plusieurs facteurs dépendant de la composition système musculaire en fibres "rouges" ou "blanches". Pour rappel, les coureurs de fond ont en moyenne davantage de fibres "rouges" dont la secousse est lente mais qui possèdent une activité enzymatique "aérobie" élevée et sont résistantes à la fatigue.

Donc, les limites de l'endurance sont à rechercher au niveau du métabolisme énergétique de glucose et les acides gras qui sont les principaux carburants "brulés" pendant une course de fond tant que le pourcentage de VO<sub>2</sub>max soutenue par l'athlète est principalement élevé ses propres réserves de glycogène. Si l'épuisement est réalisé avant la fin de la course, cette puissance ne peut être maintenue et le coureur doit réduire



considérablement sa vitesse car la fatigue apparaît soudainement et brutalement.

Donc, l'endurance dépend en grande partie de la capacité de l'athlète, à mettre en réserve des quantités importantes de glycogène musculaire mais essayer d'utiliser les réserves en brûlant les acides gras dont les réserves sont inépuisables (Malina R.M. 1989), ce qui obligerait l'entraîneur à orienter son entraînement afin de favoriser l'accumulation de réserves de graisses dans les fibres musculaires et la capacité du muscle à utiliser les acides gras plutôt que les glucoses.

Par ailleurs, l'objectif de l'endurance ne devrait plus être d'accomplir le maximum de kilomètres, comme le pensait avant, ce qui obligerait l'athlète à courir à des vitesses très basses correspondant à 60-70% du  $VO_2\max$ , mais au contraire sachant que les courses de fond principalement le marathon est une course d'endurance qui se court à 75-85% du  $VO_2\max$ , il serait obligé d'effectuer le maximum de l'entraînement dans cette fourchette.

L'entraînement a pour objectif de mettre les mécanismes d'adaptation de l'organisme pour être capable de supporter des charges importantes (volume, intensité) d'exercices. Il faudrait le surcharger donc, imposer des exercices dont l'intensité et la durée sont supérieures à celles qu'il supporte habituellement tout en jouant sur la fréquence des exercices, le nombre de séances, l'intensité la durée et la méthode d'exercices continus, discontinus (Billat V. 2012).

Pratiquement, l'entraînement d'endurance s'effectue par la course continue sur des périodes de temps de 20mn à 1h30mn et même plus selon le niveau de l'athlète et la période choisie. Il peut aussi s'effectuer par des courses intermittentes sur des distances plus courtes séparées par des périodes de récupération sous forme de course lente (Gardner J.B. 1976).

### BIBLIOGRAPHIE

1. Billat V., (2001), l'apport de la science dans l'entraînement Sportif : Exemple de la course de fond. *Staps* N°54 p : 23-43
2. Billat V., (2012), physiologie et méthodologie de l'entraînement, de la théorie à la pratique du sport, De Boeck, 3ème édition.
3. Bouchard et Coll., (1990), discussion heredity, fitness and heat in c Bouchard, T. Stephens, J.R. Sutton et B.D. Me Pherson (eds), *Exercise fitness and heat* (P.V 147-153), Champaign, IL Human Kinetied.
4. Bouchard C. & Coll., (1992), Genetics of aerobic performances. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 20, 27-58.
5. Costill D.L., *La course de fond. Approche scientifique*. Edvigot, Paris, 1987.
6. Dempsey J.A., (1986) is the lung built for exercise. *Medecine and science in sports and exercise* 18.143-155.
7. Drinkwater B.; *Women and exercise: Physiological Aspects and exercise sport Sci.Rev.* 12.2.1984.
8. Dubois B., (2010), *Prévention des blessures dans la course à pied*. Quebec: La Clinique du coureur.
9. Gardner J.B., Purdy J.G., *Computer ized running training programs*, taf news Press (1976).
10. Grivet L., Reinmann A., Leridan Y., (2014), Effet du marathon sur les signes précurseurs de gonarthrose: analyse critique de la littérature



. HES-SO Genève Haute école de la Santé de Genève.

11. Karlsson Jan et Coll (1972), Etude Physiologique de la course à pieds, revue Amicale des entraîneurs français d'Athlétisme N°60 ( Edité Troisième trimestre 1978). 3
12. Knechtle B., Zingg Rust, Rosemann T. & Lepers(2013), Reduced performance difference between sexes in master mountain and city marathon running. International journal of general Medecina, 6, 267/275 doi: 102147/IJGM.S44115
13. Lary Kenny W., Wilmore J.H., Costill D.L., Physiologie du sport et de l'exercice, traduit de l'américain par Arlette et Paul Delamarche, C. Goussard, H. Zouhal., de boeck ,5ème éd, (2012).
14. Leger L. Boucher R., An Indirect continuous running multistage field test the universite de Montreal track test can. J. Appl. Sport Sci 77-84 (1980).
15. Leyk D., Erley O., Georges W., Ridder D., Ruther T., Wunderlich M., Errint T., (2009), Performance, training and festyle parameters of marathon runners aged 20-80 years: Results of the PACE-Study-International Journal of Sports Medicina 30(05) 360.365 doi 10.1055/s-110935.
16. Lopes A.D., Hespanhol Junior L.C., Yeung S.S., & Costa L.O.P., What are the main running-related musculoskeletal injuries ? A systematic Review Sports Medecine 'Auckland N.Z) 42 (10) 891-905 doi 102165/11631170-000000000-00000.
17. Mac Doughall, Wenger J. D., Wenger H.A ., et Green H.J., Evaluation physiologique de l'athlète de haut niveau, eds Decaree (Montréal) et Vigot (Lausanne), 1988.
18. Malina R.M., Growth and maturation normal variation and affect of training. In .C.V. Gisolfi & D.R. Lamb (eds). Perspectives in exercise Science and Sports medecine Youth, exercise and sport (pp.223-265), Camel, IN, Benchmark Press (1989).
19. Mosher T.J., Liu y. & Torok C.M. (2010) Fonctionnal cartilage MRI T2 mapping évaluating the effect of age and running on knee cartilage reponse to running- osteoarthritis and cartilage/OARS, osteoarthritis Research Society, 18 (9) 358-364.
20. Peronnet F., Les déterminants de l'endurance, Revue de la recherche N°20, Juillet 1988
21. Peronnet F. (1991). Le marathon, équilibre énergétique, alimentaire et entrainement du coureur sur route, EAN 9782882540072 ed. Vigot 1991.4.75/5.
22. Peronnet F et Thibault G., Mathematical al analysis of runing performance and world runing record. J. Appl. Physiol. 67 453-465. (1989).
23. Peronnet F et Thibault G. Analyse physiologique de la performance en course à pied, révision du modèle hyperbolique J. Physil. Parius 82 52-60 (1987).
24. Pollock M.L. & Coll., (2000), Exercise in individuals with and without cardiovascular disease, benefits, rationale safety and prescription 101. 828-833.
25. Rasmussen c., Nielsen R.O., Juul M.S., & Rasmussen S., (2013). Weekly running volume and risk of running-related injuries among marathon runners International Journal of Sports Physical Thérapy 8(2), 111-120.



26. Rowel B., (1986), Human circulation regulation during physical stress by olonng. Exforduniversity. New York, sbn 019-5040, doi.org/10.1002/clc 4960100802 .
26. SjodinB.,Oxygen uptake during running as related to body mass in circumpubatalboys.Alongitudinal study, Européan journal of Applied physiologie 65(150-157).1992.
27. Svedenhag J. Sjodin B., Physiological characteristiscs of elite male runnersin and off-season. Can.J. Appl.sport Sci., 10,127-133(1997).
28. WilliamsetAll. (1989)Hemooglobin in desaturation in highlytrained athletes during, heavy exercise.Med.Sci.Sports. 168-173).
29. Whyte G. (2014), Age, sex and (the) race :genderband geriatrics in the ultra-endurance age. Extremephysiology et Medecine ; 3'(1) ,1. Doi : 10.1186/2046-7648-3-1.
30. ZilternerJ-L., Leal S., &Borloz S., (2012), Activités physiques-Sport et Arthrose. Rhumatologie, volume 332(10) ,564-570. Accès [http : //rms.medhyg.ch/numero-332-p.htm](http://rms.medhyg.ch/numero-332-p.htm).age564