

# CAHIER N° 5

**BOXE FRANÇAISE**



**CANNE DE COMBAT ET BATON**

# BIOLOGIE

**SAVATE BÂTON DEFENSE**



**SAVATE FORME**

**Fédération Française de SAVATE boxe française et Disciplines Associées**  
49 rue du faubourg Poissonnière 75009 PARIS - Tél. 01 53 24 60 60 - Fax 01 53 24 60 70  
[www.ffsavate.com](http://www.ffsavate.com)

# Sommaire

Présentation .....	page 3
La biologie en résumé .....	A
La biologie en résumé : .....	Page 4
Le système bio-mécanique : .....	B
1. Les os : .....	Page 5
2. Les muscles : .....	Page 6
Le système bio-informationnel : .....	C
1. Les nerfs : .....	Page 8
Le système bio-énergétique : .....	D
1. L'appareil respiratoire .....	Page 9
2. L'appareil cardio-vasculaire .....	Page 9
3. Le métabolisme énergétique .....	Page 10
Les effets de l'entraînement : .....	E
Les effets de l'entraînement : .....	Page 13
En savoir + .....	F

# Présentation

Ce cahier est davantage destiné au moniteur fédéral qu'au diplômé d'état. Il regroupe des données essentielles (et non exhaustives) en matière d'anatomie fonctionnelle, de physiologie liées à l'entraînement.

Ce cahier peut être envisagé comme une première partie du cahier n° 6 « l'entraînement » dans la mesure où son contenu permet de comprendre des données de méthodologie de l'entraînement et ainsi de mieux se les approprier.

Ce cahier, tout comme le cahier n° 4 « prévention médicale et sociale » revêt une grande importance pour la qualification Savate Forme, celle-ci étant intimement liée à la santé, la forme et le bien-être...

Ce cahier a été élaboré avec la participation de Hugues RELIER et Victor SEBASTIAO.

# A

## La biologie en résumé

L'être humain n'est pas une plante. Comme celle-ci, il ne peut pas rester sur place, immobile, au même endroit et attendre les éléments indispensables pour vivre. Nous sommes en quelque sorte condamnés à agir. L'action, donc le mouvement, fait partie des nécessités imposées à la vie de l'homme.

Ces mouvements sont très variés : certains sont élémentaires, simples, répétitifs, mais vitaux (exemple : la respiration). D'autres sont élaborés, complexes et de moindre urgence (exemple : marcher ou mettre un fouetté).

Tous les mouvements sont concrétisés par des déplacements de leviers osseux autour des articulations. Ce sont les muscles qui, en se raccourcissant, permettent d'effectuer ces mouvements.

L'ensemble de cette « machinerie » (os, articulations, muscles, tendons, ligaments, etc.), constitue ce qu'on appelle le système bio-mécanique. Lorsque l'on souhaite mieux connaître les caractéristiques de ce secteur, il faut être en mesure d'analyser et de comprendre les amplitudes, les forces, les secteurs de mobilité suivant chacune des régions concernées.

C'est essentiellement le rôle de l'anatomie descriptive et de l'anatomie fonctionnelle, que d'éclairer l'éducateur sur les possibilités et les limites de ce système.

Mais le muscle pour se contracter exige, comme tout moteur, un carburant. Celui-ci ne peut être stocké en totalité dans le muscle. Les réserves sont disposées dans l'organisme et il faut donc un dispositif capable d'assurer la distribution du carburant suivant les besoins.

C'est le rôle du système bio-énergétique, que d'assurer un approvisionnement convenable aux muscles (apport de carburant + le comburant O<sub>2</sub> pour utiliser le carburant) et de prendre en charge l'enlèvement des déchets produits par les contractions musculaires.

Les mouvements sont déclenchés par un influx nerveux provenant des centres nerveux. Le choix de telle ou telle action est effectué par des centres en fonction de renseignements transmis par d'autres influx nerveux, qui informent ces centres sur l'état interne de l'organisme (exemple : j'ai soif) ou sur des éléments propres au milieu environnant (le soleil est trop fort et me fait mal aux yeux).

Cet ensemble fort complexe qui commande la contraction musculaire à partir de multiples données est appelé système bio-informationnel. Il prend des informations (des renseignements) les traite, et décide des actions à entreprendre.

Ces trois systèmes permettent d'avoir une idée du fonctionnement de la motricité. Celle-ci ne repose pas sur l'addition de ces trois secteurs dans des fonctionnements isolés, mais plutôt sur leur combinaison, leurs collaborations respectives.

Il faut en plus rappeler que la motricité est intimement liée à l'affectivité d'un individu et à sa cognition (c'est-à-dire son savoir, conscient ou inconscient, qui fait que l'on a tous des représentations personnelles particulières de ce que l'on fait ou voudrait faire).

# Systeme bio-mécanique

## 1 - Les os

Tous les os de notre organisme forment notre squelette. Les os sont articulés entre eux et soutenus par des ligaments, des tendons et des muscles. Chaque os est ainsi relié à l'os voisin par trois types d'articulations possibles. Ces articulations, par leur différence de structure assurent des mouvements adaptés à leur fonction.

Le squelette a un rôle de protection et de mouvement. Il représente une charpente solide à partir de laquelle les muscles peuvent agir de manière efficace et coordonnée. Il protège et soutient certains de nos organes vitaux : le crâne pour le cerveau - la colonne vertébrale pour la moelle épinière - les côtes pour l'ensemble coeur-poumons. Les os du squelette représentent un tissu vivant, très actif, producteur de cellules sanguines (moëlle osseuse) et réservoir de sels minéraux très importants comme le calcium.

Extérieurement très durs, les os ont une certaine élasticité qui leur permet de résister aux coups. En fait l'intérieur de l'os est entièrement poreux - si nos os étaient compacts, nous pèserions plus de 300 kg.

Les os se distinguent par leur forme. Ainsi il existe des os

longs (fémur, tibia...), courts (poignet...) ou plats (crâne...).

La cavité centrale des os long et la trame de l'os spongieux contiennent la moelle osseuse dans laquelle sont formés les globules rouges ainsi que la plupart des globules blancs.

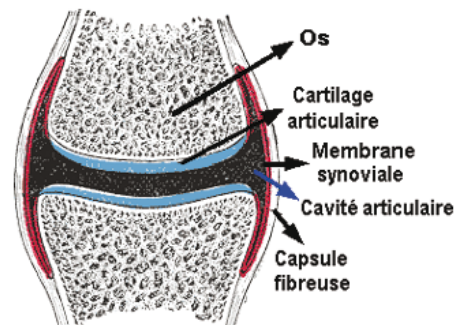
Le tissu osseux par destruction et reconstruction successives et permanentes représente ainsi la banque de calcium de notre corps et maintient sa concentration dans d'étroites limites car toute baisse importante peut affecter le fonctionnement des nerfs et des muscles.

Ainsi, sans le savoir, nous changeons 4 ou 5 fois de squelette au cours de notre vie.

Les articulations

Certaines articulations sont fixes (os du crâne) ou peu mobiles (colonne vertébrale), mais la plupart d'entre elles sont en fait très mobiles.

L'extrémité des os d'une articulation est recouverte de cartilage élastique et lisse réduisant les frottements. L'articulation contient à sa surface interne la membrane synoviale qui produit un liquide clair, épais et lubrifiant. L'articulation est entourée de puissants ligaments qui la renforcent et empêchent tout mouvement excessif.



### Quelques chiffres :

squelette d'un homme adulte : 206 os

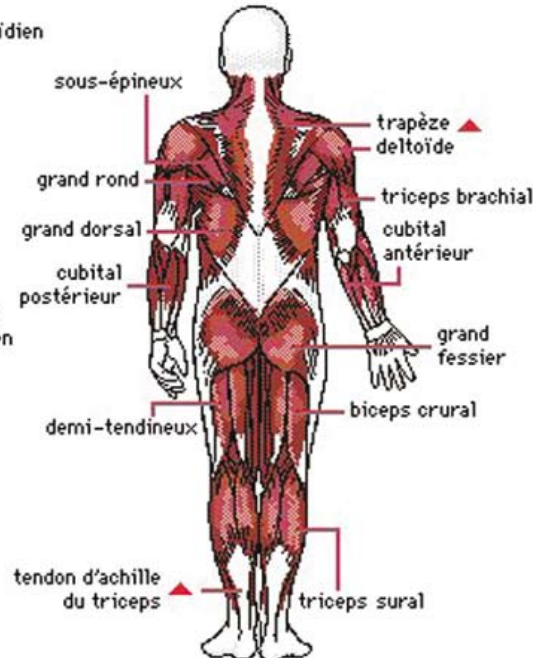
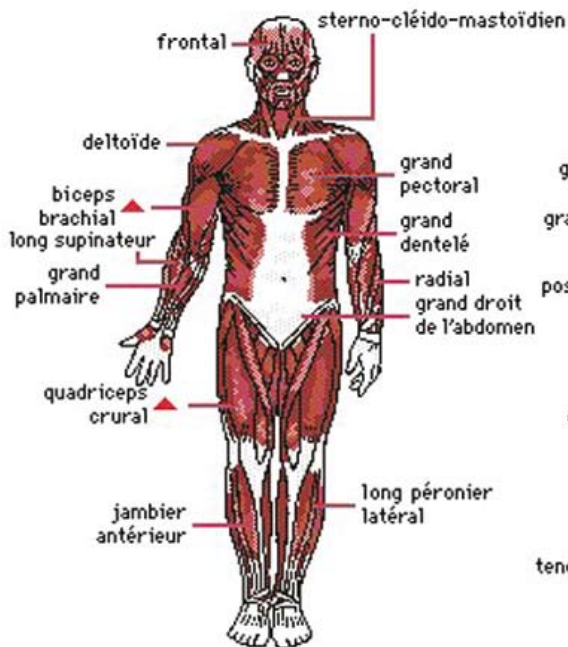
- squelette du tronc = 80 os
  - crâne (29) ;
  - colonne vertébrale (26) ;
  - côtes (2x12) sternum (1)
- squelette des membres = 126 os
  - épaules+membres supérieurs (64)
  - bassin+membres inférieurs (62).

# B

## 2 - Les muscles

Le tissu musculaire est différencié et l'on répertorie :

- les muscles striés qui regroupent les muscles de la vie de relation.
- les muscles lisses qui regroupent artères, veines et vis-cères.
- le myocarde ou muscle cardiaque.



- les fibres blanches : à contraction rapide : elles disposent de peu de mitochondries, mais sont le lieu de réserves de glycogène qu'elles peuvent dégrader en absence d'oxygène. Chaque muscle contient des fibres blanches et rouges et leur proportion diffère selon le type de muscles et les individus.

- les fibres intermédiaires ou de transition : elles sont de l'ordre de 2% et pourraient selon l'activité du sujet se spécifier rouge ou blanche.

### Propriétés du muscle strié

On lui reconnaît trois propriétés que sont l'élasticité, la contractibilité, l'excitabilité.

- L'élasticité :

La structure musculaire déformée revient naturellement à son état initial. Les fibres musculaires sont constituées d'éléments visqueux qui, suite à une contraction, empêchent un retour à la normale de façon brutale en

transmettant les tensions aux tendons avec un certain retard.

- La contractibilité :

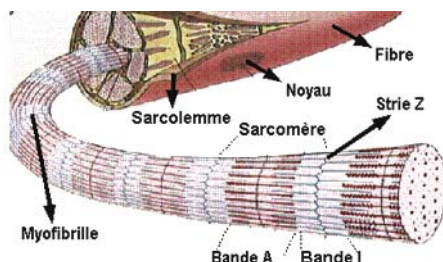
A la suite d'une stimulation le muscle se contracte. Un muscle privé d'impulsions nerveuses est une masse sans fonction. On distingue différents types de contractions : isométriques, anométriques, par saccades en réponse à une seule stimulation, ou tétanique en réponse à une succession de stimulations. Quel qu'il soit, le résultat de cette contraction est une force donnée. Cette force est proportionnelle au nombre de fibres contractées et est tributaire de la surface de section du muscle.

- L'excitabilité :

Le tissu musculaire strié répond à une modification brutale du milieu, modification qui peut être de nature mécanique, chimique, thermique, électrique, etc.

Le tissu musculaire strié se présente sous forme de fibres musculaires groupées en faisceaux et situées parallèles les unes aux autres. L'ensemble forme le corps musculaire. Fibres et corps musculaires sont entourés de tissu conjonctif et chaque corps musculaire se termine par une substance fibreuse, le tendon, qui rattache le muscle à l'os. La fibre est l'unité musculaire.

Elle est entourée de capillaires sanguins et chacune des fibres est composée d'un ensemble de myofibrilles disposées longitudinalement et parallèles entre elles.



Ces myofibrilles représentent le lieu des contractions. A chaque fibre musculaire est associée une fibre nerveuse qui la soumet à un influx nerveux.

Parmi les fibres striées on distingue trois catégories :

- les fibres rouges : à contraction lente : elles contiennent de nombreuses mitochondries, (membrane portant des enzymes ; incluse dans la cellule) spécialisée dans les réactions énergétiques en présence d'oxygène. Ces fibres sont de grandes résistances à la fatigue.

## Les muscles sollicités en Savate boxe française (d'après Jean-René Dreinaza - 1990)

LES COUPS DE POINGS	
Le direct	<p>Extension du bras : Grand dentelé (épaule, triceps)</p> <p>Flexion du bras : triceps</p> <p>Retour du bras : biceps</p> <p>Fléchisseur : brachial antérieur, long supinateur</p>
Le crochet	<p>Adduction du bras : sous scapulaire, grand pectoral, grand dorsal, grand rond</p>
L'uppercut	<p>Extension : deltoïde antérieur</p> <p>Supination de l'avant bras : biceps, court supinateur</p>
LES COUPS DE PIEDS	
Le fouetté	<p>Abducteur de la cuisse sur le tronc : petit et moyen fessier, tenseur du fascia-lata</p> <p>Flexion de la jambe sur la cuisse : ischios jambiers</p> <p>Extension de la jambe : quadriceps.</p> <p>Muscles antagonistes : adducteurs</p>
Le chassé	<p>Flexion de la cuisse sur le tronc : psoas iliaque, couturier, tenseur du fascia-lata</p> <p>Rotation interne de la cuisse : petit et moyen fessier, tenseur du fascia-lata</p> <p>Flexion de la jambe sur la cuisse : ischios jambiers</p>
Le chassé frontal	<p>Flexion de la cuisse sur le tronc : psoas iliaque, couturier, tenseur du fascia-lata</p> <p>Flexion de la jambe sur la cuisse : ischios jambiers</p> <p>Extension cuisse et jambe : quadriceps + jambiers antérieurs</p>
Le revers latéral	<p>Bascule du bassin : muscle paravertébral</p> <p>Extenseur jambe : quadriceps</p> <p>Rotation interne de la hanche : petit et moyen fessier, tenseur du fascia-lata</p> <p>Élévation du membre : psoas iliaque</p>
Le revers frontal	<p>Au début du mouvement : adducteur</p> <p>Extenseur de la jambe : quadriceps</p> <p>Rotation interne de la hanche : pyramidal, petit et moyen fessier, tenseur du fascia-lata</p> <p>Elevateur de la jambe : psoas iliaque</p> <p>Fin du mouvement : pyramidal, obturateurs externes et internes, carré crural</p>
Le coup de pied bas de frappe	<p>Quadriceps. jambier antérieur</p>





# Systeme bio-informationnel

## 1 - Les nerfs

Chaque fibre musculaire est connectée à une terminaison nerveuse recevant les ordres en provenance du cerveau. L'impulsion nerveuse stimule le muscle et provoque la contraction musculaire.

Toutes ces informations associées à celles provenant des articulations sont transmises en permanence au cerveau avec une grande rapidité. Le cerveau peut à tout instant contrôler notre position, envoyer des ordres la stabilisant et gérer la dynamique du mouvement.

Il est important de comprendre comment fonctionne le système nerveux central pour deux raisons :

- pour appréhender le processus interne d'exécution du mouvement sportif,
- pour comprendre les modalités d'acquisition des habiletés motrices.

### La commande motrice

Il s'agit de comprendre comment, en fonction du niveau du pratiquant sportif, les ordres vont être transmis aux muscles par le système nerveux central.

- Le mouvement intentionnel du débutant :

Mouvement en circuit ouvert : c'est le mouvement qui ne peut bénéficier de feed-back, d'informations en cours d'exécution par suite de la brièveté des actions (sauter, lancer, etc.). Le sportif débutant, après avoir pris connaissance des objectifs à atteindre, lance son action avec le programme moteur dont il dispose. La régulation du mouvement s'effectue à posteriori par comparaison entre le résultat prévu et le résultat effectivement réalisé associée aux sensations éprouvées.

Mouvement en circuit fermé à contrôle en boucle longue : c'est un ensemble de mouvements pouvant bénéficier de feed-back. Le débutant lance son action après avoir pris connaissance des objectifs à atteindre. En même temps, le débutant met en alerte les dispositifs d'information dont il dispose (nerfs sensitifs, sensoriels ou kinesthésiques). Ces informations sont décodées et traitées pour aboutir à une nouvelle décision d'actions, un ajustement.

- Le mouvement intentionnel de l'expert :

Mouvement en circuit ouvert : l'expert a un programme moteur qui lui permet d'assurer le contrôle de l'exécution de son mouvement. Ce programme accompagne le mouvement et pré-établit les actions motrices.

Mouvement en circuit fermé à contrôle en boucle courte : l'expert ayant un programme moteur adapté, les correc-

tions se font à l'insu du sportif par comparaison des conséquences sensorielles attendues avec les conséquences sensorielles effectivement ressenties.

### Les stades d'élaboration de la technique

L'entraînement technique vise à faire passer un niveau donné d'habileté à un niveau supérieur. C'est le système bio-informationnel qui en a la charge en permettant l'adaptation gestuelle grâce aux moyens dont il dispose pour capter les informations, les traiter et donner des ordres moteurs. Ce processus d'apprentissage s'effectue en plusieurs étapes :

- Phase de prise de contact :

Le sportif prend connaissance du mouvement à apprendre. Des perceptions visuelles, verbales, auditives ou kinesthésiques induisent des représentations gestuelles, des modèles de connexions et de nouvelles liaisons synaptiques.

- Phase de coordination grossière :

Le déroulement gestuel reçoit ses premières structures de base globales. C'est la phase d'irradiation des processus d'excitation. Il en résulte une innervation coûteuse et excessive de la musculature. C'est le stade des syncinésies (les réponses motrices sont explosives, indissociées). Le sujet refuse les déséquilibres, les actions sont dirigées par le regard (centration) et il y a ralentissement ou temps d'arrêt entre les actions.

- Phase de coordination fine :

Les différentes phases du mouvement reçoivent leur organisation spatio-temporelle. Les contractions musculaires acquièrent leur intensité optimale. C'est le stade de la décentration progressive.

- Phase de consolidation et de stabilisation :

Les déroulements gestuels prennent une structure stable, réagissent et s'adaptent mieux aux exigences du milieu extérieur ; ceci grâce à un exercice pratiqué dans des situations changeantes. C'est le stade de la décentration complète (le déroulement gestuel peut s'accomplir sans attention particulière ; celle-ci peut se porter sur d'autres facteurs ambiants). Les déséquilibres sont anticipés et rajustement postural s'effectue avant l'action. C'est le stade de l'équilibre anticipé. Il y a dépendance donc coordination des actions.



# Systeme bio-énergétique

## 1 - L'appareil respiratoire

### Fonctionnement du système respiratoire

L'appareil respiratoire est constitué du nez, du pharynx, du larynx, de la trachée, des bronches et de leurs ramifications qui a pour fonction le captage de l'air, son filtrage et son transport jusqu'aux poumons.

Les poumons accomplissent la distribution de l'air. Les échanges gazeux entre l'air et le sang s'effectuent dans les alvéoles pulmonaires. Le va-et-vient de l'air qui pénètre et sort des poumons est induit par la différence de pression entre l'air de l'atmosphère et l'air dans les poumons.

La contraction du diaphragme entraîne son abaissement et ce mouvement augmente le volume de la cage thoracique. Les poumons se gonflent créant une baisse de pression dans les alvéoles pulmonaires ; il s'ensuit un appel d'air atmosphérique dans les alvéoles : c'est le mécanisme de l'inspiration.

## 2 - L'appareil cardio-vasculaire

### Le système cardio-vasculaire

Il représente le système de transport dans le corps. Le sang absorbe les nutriments et l'oxygène qu'il transporte aux cellules. De même il absorbe les déchets produits par le métabolisme des nutriments qu'accomplissent les cellules, et les transporte aux organes d'excrétion. Ainsi le système circulatoire contribue à chaque fonction de l'organisme.

Le sang est composé de trois types de cellules :

- les globules rouges (érythrocytes)
- les globules blancs (leucocytes)
- les plaquettes (thrombocytes)

Chacune de ces cellules a une fonction spécifique. Les globules rouges transportent l'oxygène et le gaz carbonique par l'intermédiaire de l'hémoglobine, les globules blancs participent à la défense de l'organisme et les plaquettes aident au mécanisme de la coagulation du sang.

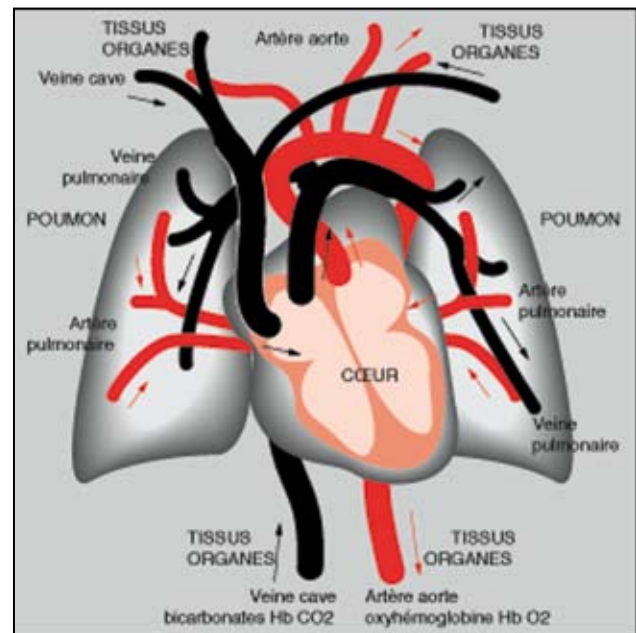
### Le cœur

C'est un organe musculaire composé de quatre cavités ; deux inférieures, les ventricules et deux supérieures, les oreillettes. Le sang circule dans ces cavités, des oreillettes vers les ventricules, sans qu'un reflux soit possible grâce aux valvules tricuspides. Par la contraction des ventricules, le sang est propulsé dans les artères pulmonaires et aorte. Les valvules sigmoïdes évitent à ce niveau le retour du sang au cœur.

Un mouvement cardiaque complet correspond à la con-

traction et au relâchement des oreillettes respectivement appelées systole et diastole, et à la contraction et au relâchement des ventricules. Les oreillettes se contractent simultanément. Lorsqu'elles se relâchent les ventricules se contractent et se relâchent à leur tour. Il suit un temps où les quatre cavités sont relâchées, avant que les oreillettes se contractent à nouveau.

L'originalité de ce muscle est son fonctionnement en



autonomie. En effet, le cœur dispose d'un système de conduction composé de quatre structures qui délivrent des impulsions à intervalles réguliers sans influx nerveux en provenance du cerveau. La propagation de ces impulsions permet la contraction des cavités. Certains éléments extérieurs (impulsions sympathiques, parasympathiques, hormones) permettent la régulation du système.

### Les vaisseaux sanguins

On distingue trois types de vaisseaux sanguins. Les artères qui assurent le départ du sang vers les tissus et les organes ; les veines qui transportent le sang au cœur et les capillaires, vaisseaux microscopiques, qui effectuent la jonction entre les artérioles (petites artères) et les veinules (petites veines).

### Le cœur et l'exercice

Parmi les différents facteurs qui influencent le rythme cardiaque, l'exercice physique a un effet accélérateur.

Au début de l'exercice le débit cardiaque (QC) augmente pour se stabiliser pendant l'exercice à un niveau qui est fonction de l'intensité de l'effort. La baisse du débit cardiaque correspond à l'arrêt de l'effort.

Au repos, le débit cardiaque d'un adulte entraîné ou séden-

# D

taire avoisine 6 litres par minute. Au cours de l'exercice il peut atteindre 30 à 35 litres par minute. Deux paramètres expliquent cet accroissement :

- une accélération de la fréquence cardiaque (FC) : toute activité fait varier la fréquence cardiaque à la hausse. Pour des exercices d'intensité maximale, la fréquence cardiaque augmente jusqu'à une valeur maximale et s'y maintient. Cette valeur dépend de l'âge et se calcule en retranchant l'âge du pratiquant à une valeur théorique égale à 220 :

$$FC \text{ max} = 220 - \text{âge}$$

- une augmentation du volume d'éjection systolique (VES) : le volume systolique se modifie chez les sujets entraînés par un phénomène d'adaptation du cœur repéré sur les cavités et le myocarde.

## Effort et système cardio-respiratoire

### La consommation d'oxygène

La mesure de la consommation d'oxygène ( $VO_2$ ) permet d'évaluer de façon précise la quantité d'énergie produite. L'unité de mesure est le millilitre par minute (ml. mn<sup>-1</sup>). Les mesures peuvent aussi être exprimées en millilitre par kilogramme par minute (ml. kg<sup>-1</sup>.mn<sup>-1</sup>).

La consommation d'oxygène varie en fonction du degré d'activité du sujet. Pour ordre d'idée, elle est en moyenne de 5 ml. kg<sup>-1</sup>.mn<sup>-1</sup> au repos et de 60 ml. kg<sup>-1</sup>.mn<sup>-1</sup> pour un sportif fournissant un effort.

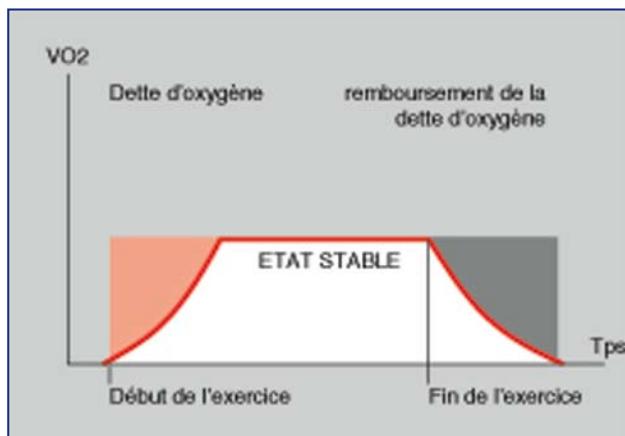
### Consommation d'oxygène et travail musculaire

Au cours d'un exercice à puissance modérée et constante, la  $VO_2$  augmente progressivement pendant les trois premières minutes : c'est la période d'adaptation. Alors que la dépense d'énergie musculaire est instantanée, l'apport d'oxygène est progressif. Les besoins des tissus en oxygène ne sont par conséquent pas couverts en début de travail et il se crée une dette d'oxygène.

La  $VO_2$  se stabilise ensuite pendant toute la durée de l'exercice en subvenant exactement à la quantité d'oxygène utilisée par les tissus.

A l'arrêt de l'exercice la consommation d'oxygène se poursuit et décroît progressivement ; le prélèvement continue jusqu'à la reconstitution des stocks en oxygène dans les muscles et jusqu'à l'élimination des déchets créés par la production d'énergie sans oxygène en début d'exercice : c'est le remboursement de la dette d'oxygène.

Quand la puissance de l'exercice s'accroît au cours de l'effort, on constate une augmentation de la  $VO_2$  proportion-



nelle à l'augmentation de la puissance de l'exercice.

Consommation maximale d'oxygène/Puissance maximale aérobie

Les limites de la consommation d'oxygène du pratiquant sont dues essentiellement à l'appareil cardio-vasculaire, et aux capacités des fibres musculaires. Lorsque l'appareil cardio-vasculaire atteint son débit maximal et que toutes les mitochondries fonctionnent, l'apport énergétique de type aérobie est au maximum.

Le sujet atteint dans ces conditions une consommation maximale aérobie ( $VO_2 \text{ max}$ ). On dit qu'il travaille à puissance maximale aérobie (PMA).

Notons qu'à cette puissance un sujet ne peut travailler qu'entre dix et quinze minutes au-delà desquelles il fera appel à d'autres procédés énergétiques.

Si la consommation d'oxygène atteint une limite maximale, la puissance de l'exercice peut toutefois être augmentée. L'accomplissement de ce travail plus intense est effectué avec une quantité d'oxygène inférieure aux besoins des tissus. Le manque d'oxygène pour la reconstitution de l'ATP se traduit par l'utilisation des processus anaérobies, la production d'acide lactique et à moyen terme l'arrêt de l'exercice.

## 3 - Le métabolisme énergétique

### Métabolisme énergétique du muscle

Parmi les facteurs qui permettent aux cellules musculaires de libérer l'énergie nécessaire à l'exercice, les deux plus importants sont l'apport d'oxygène et l'apport de substrats énergétiques originaires de l'alimentation. Ces substrats sont classés en trois catégories, les lipides, les glucides et les protides. Selon un fonctionnement normal de l'organisme, les protides ne sont pas mobilisés pour fournir de l'énergie en vue d'un exercice.

La contraction musculaire demande une transformation d'énergie chimique en énergie mécanique.

Le phénomène contractile utilise l'adénosine triphosphate (ATP) comme seule substance, en lui prenant l'énergie dont elle est porteuse suivant la réaction :

L'ATP, en très petite quantité dans l'organisme, ne permet qu'un travail intense de quelques secondes si elle n'est pas renouvelée.

#### • Les réactions aérobies

Ces réactions visant la formation d'ATP se déroulent dans les mitochondries. Elles utilisent les glucides, les lipides, les protides, éléments porteurs d'énergie provenant de l'alimentation et de l'oxygène.

Les avantages de ces réactions sont l'utilisation de carburants variés et la production de déchets facilement éliminés par l'organisme sous forme de  $CO_2$ ,  $H_2O$ , chaleur.

L'inconvénient principal réside dans le délai nécessaire à la production d'ATP. Il dépend du temps de transport de l'oxygène jusqu'aux mitochondries pour que commence l'oxydation. Ce système énergétique n'est fonctionnel qu'à partir de 2'30 à 4' après le début de l'exercice.

Après l'étude des réactions aérobies et de leurs caractéristiques une question se pose : l'énergie produite par le système aérobie n'étant pas immédiatement disponible, d'où provient l'énergie permettant de commencer un exercice ?

#### • Les réactions anaérobies

On distingue deux processus.

Un premier est l'utilisation d'une substance présente dans le muscle, la phosphocréatine (PC).

Lorsque le taux d'ATP baisse en début d'effort, l'ADP créée, en réaction avec la phosphocréatine permettrait une

reconstitution immédiate d'ATP selon la réaction :

Aucun déchet organique n'est produit, cependant le peu de phosphocréatine ne permet pas la resynthèse d'une grande quantité d'ATP, et le travail ne peut être poursuivi qu'une dizaine de secondes.

Le second processus est l'utilisation du glucose sous forme de glycogène stocké dans les muscles et le foie. Capable de s'oxyder sans oxygène le glycogène se scinde en deux molécules d'acide lactique. Cette réaction libère de l'énergie et crée des molécules d'ATP.

Aux avantages d'une production rapide d'ATP, s'opposent les limites fonctionnelles de l'activité provoquée par l'acidité cellulaire des muscles sollicités.

L'acide lactique accumulé est un déchet que l'organisme ne peut éliminer rapidement.

La durée de l'action motrice sera prolongé environ jusqu' à 2". Cette dernière filière énergétique est aussi appelée processus anaérobie lactique car il y a production d'acide lactique, contrairement au premier procédé que l'on distingue par l'appellation processus anaérobie alactique.

Métabolismes caractéristiques	Anaérobie alactique	Anaérobie lactique	Aérobie
Substrats utilisés	ATP + Créatine phosphate	Glycogène glucose	lipides, glucides (protides)
délat d'intervention prépondérant	Nul	20 à 30 secondes	2 à 4 minutes
Durée maximum du maintien de la puissance	7 secondes	15 à 45 secondes	3 à 15 minutes
Durée maximum du maintien de la capacité	15 secondes	45 secondes à 2 minutes	Théoriquement illimité suivant le pourcentage de VO <sub>2</sub> utilisé
produit final du catabolisme	ADP - AMP créatine	Lactate	Eau + CO <sub>2</sub>
Facteurs limitants	Epuisement des réserves ATP - CP	Taux lactate baisse PH cellulaire	VO <sub>2</sub> max épuisement glycogène thermolyse
Durée de la récupération après un effort maximal	Reconstitution réserves ATP - CP 2 minutes	Elimination lactate 1 heure	Reconstitution des réserves de glycogène 24 heures



# Les effets de l'entraînement

L'entraînement consiste à soumettre l'organisme à un travail dont l'intensité, la durée et la fréquence sont suffisantes pour provoquer une amélioration des fonctions impliquées dans ce travail.

A une charge de travail donnée, il s'effectue une adaptation. Un accroissement de la charge de travail s'accompagne d'une nouvelle adaptation concrétisée par une meilleure performance. Cependant il n'y a pas de relation linéaire entre la quantité d'entraînement et les effets obtenus. Dans tous les cas, il existe une limite à l'augmentation des capacités liée aux qualités intrinsèques du sujet.

L'entraînement ne produit pas d'effets immédiats ; c'est un processus à long terme (sur plusieurs années).

Le maintien d'aptitudes nécessite moins d'entraînement que leur acquisition. Un arrêt complet entraîne une perte totale des effets d'entraînement.

Enfin nous dirons que l'entraînement est spécifique. Il prévoit un travail de certains muscles pour une action donnée. Quelque soit le sport pratiqué, l'objectif est d'améliorer le transport d'oxygène en général et spécifiquement dans les muscles concernés. La comparaison de sujets entraînés et de sédentaires montre des différences notoires lors de tests sur les différents systèmes.

L'ensemble du corps subit des modifications biologiques, anatomiques, physiologiques. Nous relevons les principales :

- changements biochimiques du métabolisme cellulaire des muscles :

Le métabolisme aérobie : le nombre et la taille des mitochondries augmentent ainsi que la concentration enzymatique. Le débit d'oxygène au niveau du muscle se trouve augmenté ; le muscle entraîné prélève plus d'oxygène, retardant ainsi la participation des filières énergétiques anaérobies.

L'entraînement permet aussi une meilleure utilisation des substrats et notamment une capacité élevée à utiliser les lipides dans des efforts sous-maximaux, épargnant les glucides et le glycogène. On comprend l'intérêt de cette adaptation quand on sait que la disponibilité du glucose est un facteur limitant de la performance.

Le système aérobie représente le principal mécanisme de l'élimination de l'acide lactique au cours de la récupération en l'utilisant pour la reconstitution de molécules d'A.T.P.

Le métabolisme anaérobie : le glycogène est le « carburant » principal de ce système qui intervient dans les exercices de courtes durées à une puissance maximale. L'entraînement de ce système a pour finalité une meilleure utilisation du glycogène. Ce phénomène est dû à une amélioration de l'activité enzymatique au niveau du cytoplasme et à une meilleure utilisation de l'acide lactique produit par la dégra-

datation des sucres. Par l'entraînement le sportif acquiert la possibilité de se servir de l'acide lactique, retardant l'acidose et l'arrêt de l'exercice qui en découle.

La modification du muscle : par l'entraînement la masse musculaire augmente (accroissement du volume des fibres). Le muscle entraîné présente aussi une meilleure irrigation sanguine grâce à l'augmentation du nombre de capillaires. Enfin selon la nature aérobie ou anaérobie du travail, une hypertrophie sélective des fibres musculaires s'effectue : fibres rouges pour un effort aérobie, fibres blanches pour un effort anaérobie.

- changements cardio-respiratoires

Le système cardiaque : le cœur soumis à un entraînement régulier présente des modifications que l'on repère au repos, pour des efforts sous-maximaux et maximaux.

On constate au repos une augmentation de la taille du cœur et une augmentation de la force des fibres musculaires cardiaques qui provoquent une augmentation du volume d'éjection systolique. Le débit cardiaque au repos n'étant pas modifié, l'augmentation du volume d'éjection systolique va entraîner une baisse de la fréquence cardiaque (40-45 puls/ mn chez des sportifs bien entraînés). Enfin la concentration en hémoglobine du sang est accrue favorisant le transport des gaz.

Lors d'exercices sous-maximaux on repère des débits cardiaques plus faibles qu'en état de non entraînement dus à une augmentation du volume d'éjection systolique et à une diminution de la fréquence cardiaque.

Lors d'exercices maximaux on note une augmentation de la consommation maximale d'oxygène (VO<sub>2</sub> max) correspondant à un apport plus grand d'oxygène. Le volume d'éjection systolique est accru par une hypertrophie des fibres musculaires et par une augmentation de leur contractibilité. La fréquence cardiaque atteignant sa valeur maximale il s'en suit une nette augmentation du débit cardiaque.

Le système respiratoire : un entraînement régulier favorise la consommation maximale d'oxygène (VO<sub>2</sub>max) ainsi que la capacité maximale aérobie. Si la VO<sub>2</sub>max est limitée dans sa progression par le facteur âge, la capacité maximale aérobie peut être améliorée toute la vie. L'entraînement favorise le fonctionnement du système respiratoire en augmentant le débit ventilatoire (augmentation du volume d'air inspiré) et en améliorant l'efficacité respiratoire par une meilleure capacité de diffusion.

## En savoir +

- ⇒ Ce cahier est, pour une partie, construit sur les bases d'une précédente version (1994), que toutes les personnes ayant participé à son élaboration soient remerciées.
- ⇒ Pierre GAYRAUD (1981) - Eléments d'anatomie et de physiologie - F.F.S.B.F.&D.A.