



Document préparatoire à la Formation  
Générale Commune aux Métiers  
d'Enseignement, d'Encadrement et  
d'Entraînement des Sports de Montagne

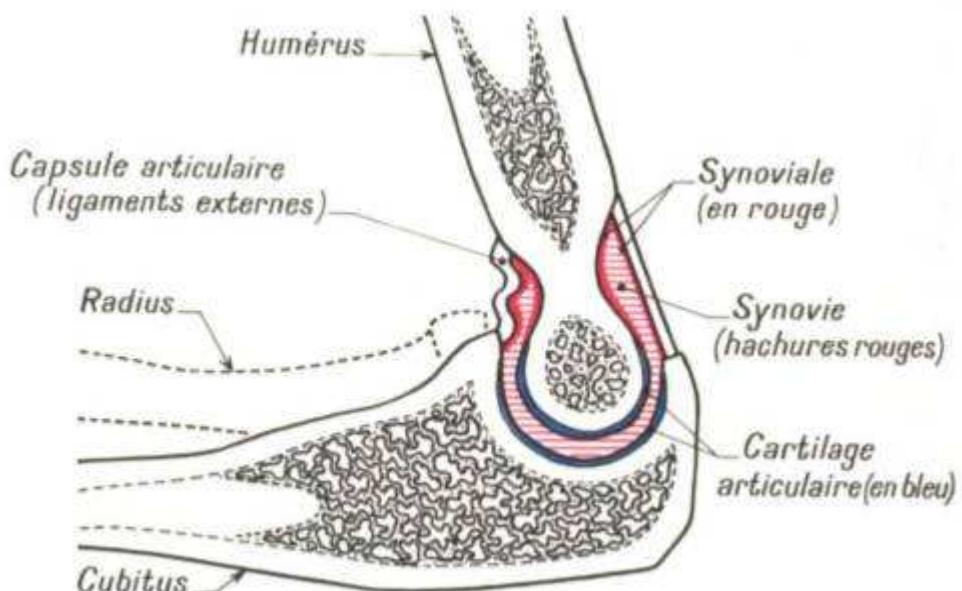
Thématique n° 5 :  
Physiologie de l'effort adaptée aux sports de  
montagne

## Introduction :

L'objectif de ce document est de présenter sommairement les bases physiologiques nécessaires à acquérir pour expliquer, analyser les mouvements de l'appareil locomoteur de l'homme en mouvement dans son milieu montagnard.

Pour l'éducateur sportif, cette étude lui permettra d'analyser les gestes sportifs lorsqu'il voudra enseigner et perfectionner les techniques de sa discipline.

- Le squelette humain est constitué d'environ 206 os. Grâce à leur structure, les os sont à la fois légers, souples et solides. Les os sont des organes vivants : ils sont impliqués dans la formation des cellules sanguines, et élaborent des échanges avec le sang (stockage des minéraux). Ils s'adaptent d'autre part aux contraintes que l'homme lui fait subir, et sont remodelés tout au long de la vie de l'individu.
- Les zones de contact entre 2 os sont appelées les articulations. Ces articulations peuvent être fixes ou plus ou moins mobiles. L'éducateur sportif s'intéresse aux articulations synoviales (ou diarthrose), qui facilitent le mouvement (voir ex. de l'articulation du coude)



Dans le cas d'une diarthrose, une sorte de manchon fibreux s'attache sur chaque os : la **capsule articulaire**, constituée de ligaments.

Cette capsule est totalement étanche, elle est renforcée là où les mouvements doivent être empêchés, comme à l'arrière du genou. Elle présente également des zones lâches et replis dans le sens des mouvements permis, comme en haut de la rotule. Elle est faite de deux parois, collées l'une à l'autre. La membrane périphérique est surtout tendineuse. Résistante et peu élastique, elle assure la protection et le maintien de l'articulation. La membrane interne s'appelle **la synoviale** et sécrète un liquide remplissant la capsule, **la synovie**. Ce liquide visqueux nourrit le cartilage et lubrifie les surfaces articulaires pour améliorer les glissements lors des mouvements.

- Les surfaces osseuses sont recouvertes de cartilage. Sa composition est la même que celle de l'os mais il est mieux hydraté et il est plus élastique. Tout ceci pour bien effectuer son rôle de protection de l'os situé en dessous, car le cartilage subit deux contraintes importantes, une de pression et une de friction lors des mouvements.

Le cartilage est nourri par la synovie et par l'os qu'il recouvre. Il n'est pas vascularisé.

## Partie 1 : Les muscles.

- Les muscles sont responsables de mettre en mouvement ces articulations.

Le corps humain comprend environ 640 muscles.

Les muscles squelettiques sont aussi nommés « striés » en raison de leur aspect. Ils sont responsables de nos mouvements volontaires et interviennent dans la position du corps (tonus postural)

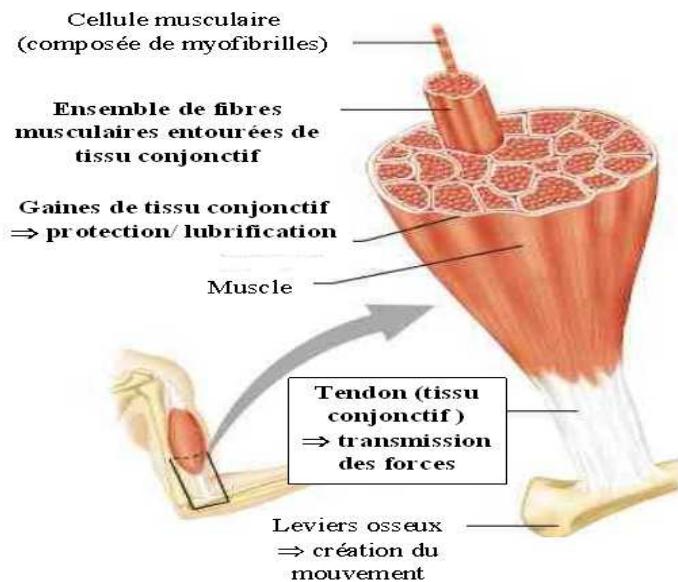
Ils peuvent se contracter lorsque nous le décidons : ce sont des muscles dit « volontaires ». Leur capacité à se contracter et leur élasticité leur permettent d'effectuer tous les mouvements habituels : se tenir assis ou debout, courir, rire, écrire respirer...

Les muscles participent au maintien et au mouvement des articulations.

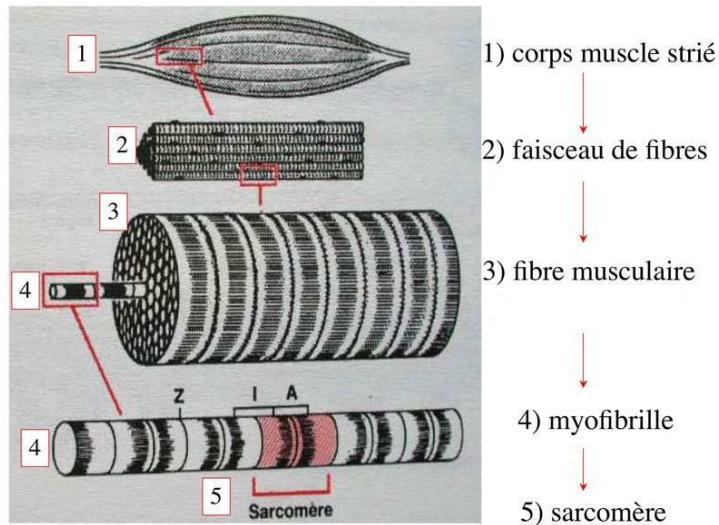
### A. Constitution du muscle squelettique – La cellule musculaire

Les muscles striés squelettiques sont fixés sur les os grâce aux tendons.

Le muscle est composé de **tissu musculaire contractile ou unité contractile** (filaments actine / myosine) et de **tissu conjonctif** ayant pour fonction de cloisonner, relier, envelopper les éléments contractiles.



Les muscles sont constitués de nombreuses cellules appelées **fibres musculaires**. Elles sont groupées en paquets dans des **faisceaux musculaires** séparés les uns des autres et enveloppés dans une gaine fibreuse : le tissu conjonctif. La fibre musculaire contient des myofilaments contenus dans des **myofibrilles**. Ces myofibrilles sont constituées par la mise bout à bout de **sarcomères**, séparés par une fine feuille de tissu conjonctif à l'intérieur duquel on trouve l'**actine** qui forme un filament très fin et la **myosine**, un filament plus épais. Lorsque ces filaments glissent les uns sur les autres, le muscle se contracte.



Ce qui peut caractériser le fonctionnement du muscle, c'est le déplacement ou le non-déplacement de ses points d'insertion au moment de la contraction.

On peut alors distinguer deux cas de figure :

- Il n'y a pas de déplacement de ses points d'insertion, on parle alors de travail isométrique.
- Il y a déplacement de ses points d'insertion, on parle alors de travail anisométrique.

Ce terme un peu barbare cache trois types de déplacement des points d'insertion :

- 1- Les points d'insertion se rapprochent, le muscle se raccourcit, c'est le travail concentrique.
- 2- Les points d'insertion s'éloignent, le muscle s'allonge, c'est le travail excentrique
- 3- Les points d'insertion s'éloignent puis se rapprochent très rapidement, le muscle s'allonge puis se raccourcit, c'est le travail pliométrique.

#### QUELQUES EXEMPLES :

##### **Dans le cas d'une pompe :**

On considère que c'est le triceps qui est « agoniste » (acteur principal du mouvement); lors de la poussée vers le haut, le triceps se raccourcit, le type de contraction est donc concentrique.

Lors de la descente, le triceps travaille en excentrique pour retenir son propre poids.

Lorsqu'on stoppe le mouvement, bras fléchis à 90°, le type de contraction du triceps est isométrique.

##### **Dans le cas d'une traction à la barre fixe :**

C'est le biceps brachial qui est agoniste. Lors de la traction, il se raccourcit et travaille en concentrique.

Lors de la descente, il subit un allongement pour retenir son propre poids. Son type de contraction est alors excentrique.

Lorsqu'on bloque le mouvement quelques secondes à 90°, le biceps travaille en isométrique.

##### **Dans le cas d'un exercice de squat :**

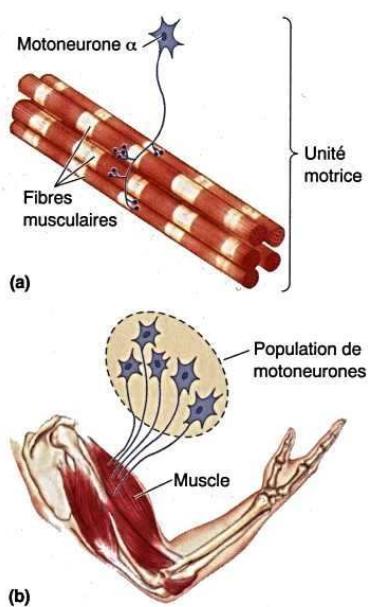
Les quadriceps sont responsables du mouvement (agonistes)

Lors de la poussée, les quadriceps se raccourcissent et travaillent en concentrique.

Lors de la descente, les quadriceps travaillent en excentrique pour freiner la charge.

## **B. Fonctionnement du muscle :**

La contraction d'un muscle permettant de réaliser un mouvement volontaire fait appel à des commandes qui démarrent dans le cerveau. Lorsqu'on décide de bouger le bras, notre cerveau envoie un signal jusqu'aux muscles responsables de ce mouvement. C'est l'influx nerveux, qui stimulera le muscle pour qu'il se contracte.



par un même motoneurone vont dépendre la puissance et la précision du mouvement réalisé par ce muscle. C'est **variable** d'un muscle à l'autre :

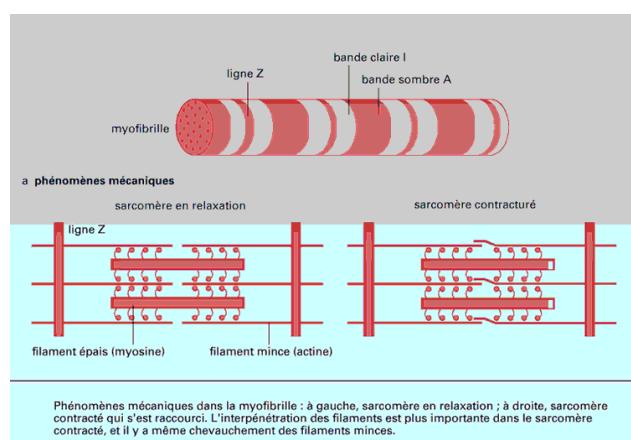
- **un petit motoneurone** innervé peu de fibres musculaires.

C'est le cas des petits muscles qui permettent d'orienter l'œil.

Dans le muscle oculaire, le motoneurone innervé 5 fibres musculaires, pour un mouvement ultra précis

- **un gros motoneurone** innervé beaucoup de fibres musculaires.

Dans le muscle temporal (referme la mâchoire), le motoneurone innervé 1000 fibres musculaires, pour un mouvement peu précis mais très puissant



Pour parvenir jusqu'au muscle, l'influx nerveux a besoin de plusieurs étapes: au niveau supérieur, c'est le système nerveux central, qui se prolonge par les nerfs. L'influx nerveux est le passage d'un neurone à l'autre. L'ensemble du signal est une succession d'informations électriques, puis chimiques.

Les neurones chargés de la commande musculaire sont appelés motoneurone. L'influx nerveux circule très vite dans le motoneurone pour stimuler le muscle.

Lorsqu'il entre en contact avec le muscle, le prolongement du motoneurone se ramifie en plusieurs terminaisons nerveuses. Chaque terminaison est en contact avec une seule fibre musculaire. L'ensemble que constitue le motoneurone et les fibres musculaires qu'il innervé est appelé unité motrice.

Du nombre de fibres musculaires innervées

par un même motoneurone vont dépendre la puissance et la précision du mouvement réalisé par ce

muscle. C'est **variable** d'un muscle à l'autre :

La terminaison du motoneurone sur la fibre musculaire s'appelle la jonction neuromusculaire. L'influx nerveux y libère des neurotransmetteurs. Une série de réactions chimiques s'opère. Des molécules chimiques (calcium, magnésium, ATP) se mettent en place autour des myofibrilles et permettent la traction des filaments de myosine sur les filaments d'actine. Cela se produit en même temps dans de nombreuses fibres musculaires réparties dans le muscle, ce qui explique la contraction musculaire.

## C. Fibres musculaires et vitesse de contraction :

La structure de la fibre est la même qu'elle soit rapide ou lente.

Ce qui caractérise les fibres lentes (de type 1, rouges) des fibres rapides (de type 2, blanches) est le liquide dans lequel elle baigne, ce qui influe sur leurs propriétés.

→ Les fibres lentes sont des fibres peu fatigables et surtout sollicitées dans les exercices de type « aérobie » (avec utilisation d'oxygène) ou d'endurance.

L'environnement doit donc être riche en oxygène (nombreux capillaires). Aux faibles efforts de contraction, les unités motrices n'innervent que ce type de fibres.

→ Les fibres rapides interviennent surtout dans les exercices de type « anaérobie » (sans apport d'oxygène). Elles produisent des contractions rapides et de forte intensité mais sont rapidement fatigables.

#### REMARQUE :

- Dans la plupart des cas, les muscles sont composés d'environ 50% de fibres I et de 50% de fibres II. La proportion exacte de chacun des types de fibres varie fortement d'un muscle à l'autre.
- On peut aussi faire évoluer des fibres rapides vers des fibres lentes mais jamais l'inverse (par exemple un skieur alpin peut devenir un skieur de fond mais rarement l'inverse).

#### **Synergie musculaire / jeu des muscles agonistes et antagonistes**

Le système nerveux doit coordonner les activités des muscles agonistes (acteurs principaux du mouvement ou de la contraction) et antagonistes (dont l'action s'y oppose) afin qu'un mouvement se réalise de manière fluide.

Les muscles antagonistes et agonistes doivent agir en alternance.

*Exemple : Lors de l'extension du genou, le muscle agoniste est le quadriceps, son antagoniste est l'ischio-jambier.*  
En cas de flexion, c'est l'inverse.

Il faut toutefois nuancer, quand un agoniste se contracte, l'antagoniste ne se relâche pas complètement, on parle de **co-activation antagoniste**.

Exemple du drop en rugby : le quadriceps se contracte pour shooter dans le ballon (extension du genou) puis en fin de course les ischio-jambiers se contractent vigoureusement pour protéger l'articulation et éviter aux muscles de se déchirer. Les réflexes interviennent dans ce mouvement (réflexe myotatique dans cet exemple)

L'apprentissage technique d'une habileté améliora cette synergie musculaire pour tendre vers une économie d'énergie et une fluidité du mouvement.

Il est difficile de travailler un muscle de manière analytique, l'action d'un muscle aura des conséquences sur les autres, les muscles sont organisés en chaîne musculaire.

#### **Les réflexes**

Quand un muscle est étiré, des capteurs situés dans les muscles et les tendons envoient des infos par le biais de la moelle épinière pour faire retrouver au système son état initial.

#### **Le réflexe myotatique :**

Le muscle se contracte de façon réflexe lorsqu'il est étiré de façon trop brutale.

### **D. Les mécanismes de l'adaptation du muscle à l'entraînement spécifique :**

#### LES MECANISMES NERVEUX:

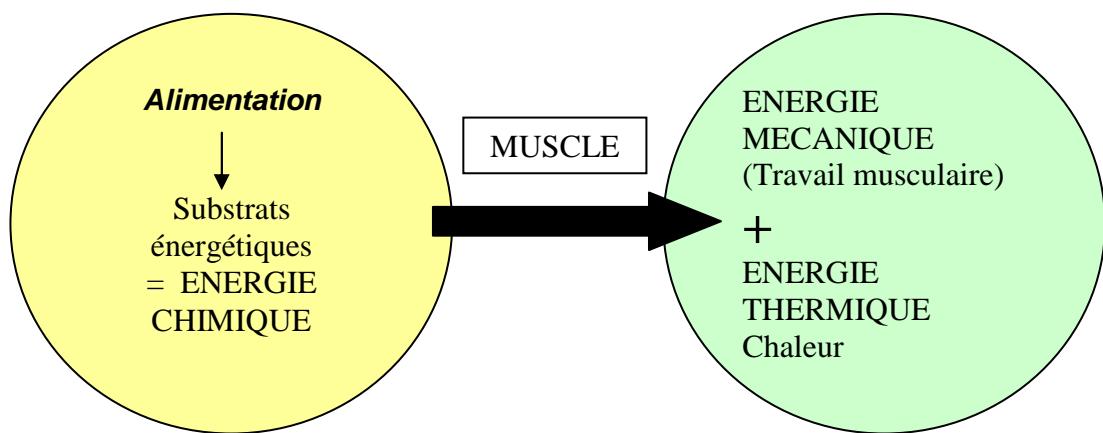
Le système nerveux est le 1<sup>er</sup> à s'adapter à l'entraînement qu'on lui impose. Au début d'un programme d'entraînement, les débutants progressent très vite mais sans prendre de masse musculaire, simplement grâce à une meilleure innervation de muscles.

#### LES MECANISMES STRUCTURAUX:

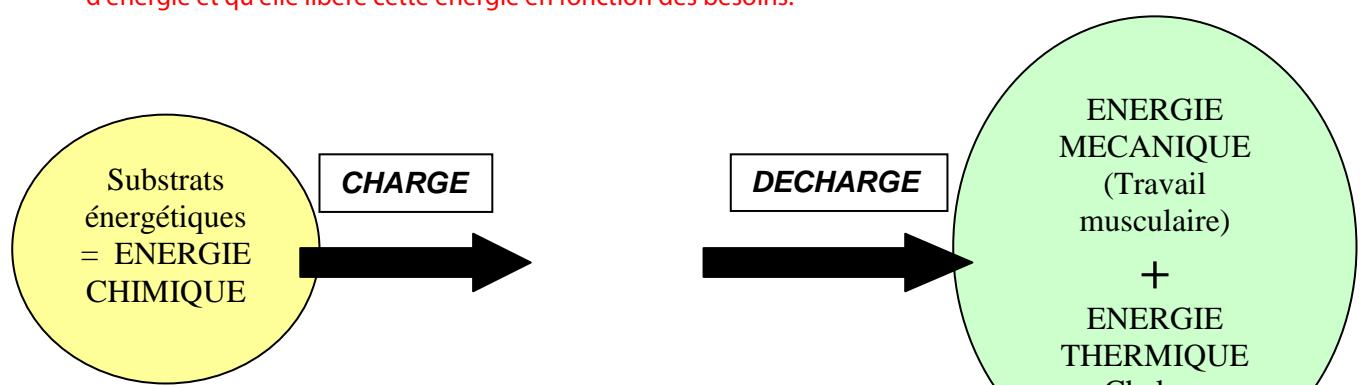
Ils interviennent et commencent à être visibles à partir de 4 à 6 semaines d'entraînement.  
C'est l'hypertrophie musculaire (le volume musculaire est plus important) qui se caractérise par une augmentation du nombre de protéines contractiles au sein du muscle (actine et myosine)

## *Partie 2 : Les filière énergétiques*

C'est à partir de l'énergie chimique contenue dans les aliments que les cellules musculaires peuvent produire de l'énergie mécanique (travail musculaire) et de l'énergie thermique (production de chaleur).



Cette énergie est stockée d'une manière temporaire dans un composé intermédiaire : l'adénosine tri-phosphate ou A.T.P. L'A.T.P. peut être comparée à une pile rechargeable dans le sens où elle se charge d'énergie et qu'elle libère cette énergie en fonction des besoins.



ATP

Stockage d'énergie

Libération d'énergie

On peut noter que la mise en jeu de ces réactions chimiques sera proportionnelle au travail demandé. Ainsi, plus le travail sera important, plus ces différents processus seront sollicités et ceci de 2 manières différentes :

- Si l'intensité du travail musculaire est forte et la durée courte (course de 100 mètres par exemple), ce sera surtout la vitesse de ces réactions chimiques qui sera prépondérante.
- Si la durée de l'effort est importante, ce sera alors la quantité d'énergie chimique stockée qui sera déterminante.

On peut donc dire que, pour améliorer sa performance, le pratiquant devra apprendre à dépenser davantage d'énergie :

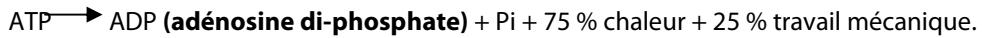
- soit en augmentant sa *puiſſance de travail* ou quantité d'énergie produite dans un temps donné. Ce qui correspond à améliorer la vitesse de ces réactions chimiques. On parlera de *puiſſance*.
- soit en augmentant la *durée* pendant laquelle il pourra maintenir ce travail ce qui revient à envisager la quantité totale d'énergie chimique dont il dispose. On parlera de *capacité*.

## A. L'Adénosine TriPhosphate (ATP):

### **1) La dégradation de l'ATP et la libération d'énergie :**

La molécule d'A.T.P. est composée de 4 éléments: l'adénosine qui est un composé chimique relié à 3 phosphates (Pi). **Ce sont les liaisons chimiques qui relient ces phosphates à l'adénosine qui sont riches en énergie.** Au niveau musculaire, l'arrivée de l'influx nerveux va provoquer la rupture de cette liaison et ainsi libérer de l'énergie. On peut noter ici que cette dégradation ne peut se faire qu'en présence de H<sub>2</sub>O (eau). On parle de *l'hydrolyse* de l'A.T.P.

On peut donc écrire :



Nous verrons dans le chapitre suivant comment l'organisme va resynthétiser cet A.T.P. autrement dit, comment il va recharger cette pile. Nous nous intéresserons donc à la réaction inverse.

### **2) La resynthèse de l'ATP :**

L'organisme ne dispose que d'une très faible quantité d'ATP au niveau musculaire. Ce stock disponible ne permet de faire que 1 mètre à intensité maximale ou 5 mètres à une allure de footing.

Pourtant, à l'effort, même intense, la réserve d'ATP ne diminue que faiblement. Ceci témoigne d'une resynthèse permanente de cet ATP.

Mais pour que cette resynthèse soit possible il faut de l'énergie. L'énergie dont il s'agit ici, provient de l'alimentation et des réserves stockées dans l'organisme (Lipides, glucides, autres..). Ces différents substrats seront dégradés en présence d'oxygène pour fournir cette énergie de resynthèse.



Au début d'un travail physique, il y a très vite baisse de la quantité d'ATP musculaire. Autrement dit, la quantité ATP disponible va diminuer alors que le la quantité d'ADP augmente. C'est la baisse du taux ATP/ADP qui va stimuler un certain nombre de processus de resynthèse qui vont utiliser les glucides, les lipides ainsi que d'autres substrats. Parallèlement les fonctions respiratoires, cardiaques et circulatoires vont également être activées, pour amener l'oxygène.

La mise en jeu de ces différents processus permettra **l'ajustement de la production énergétique (ATP) aux besoins de la fibre musculaire au cours de l'effort**.

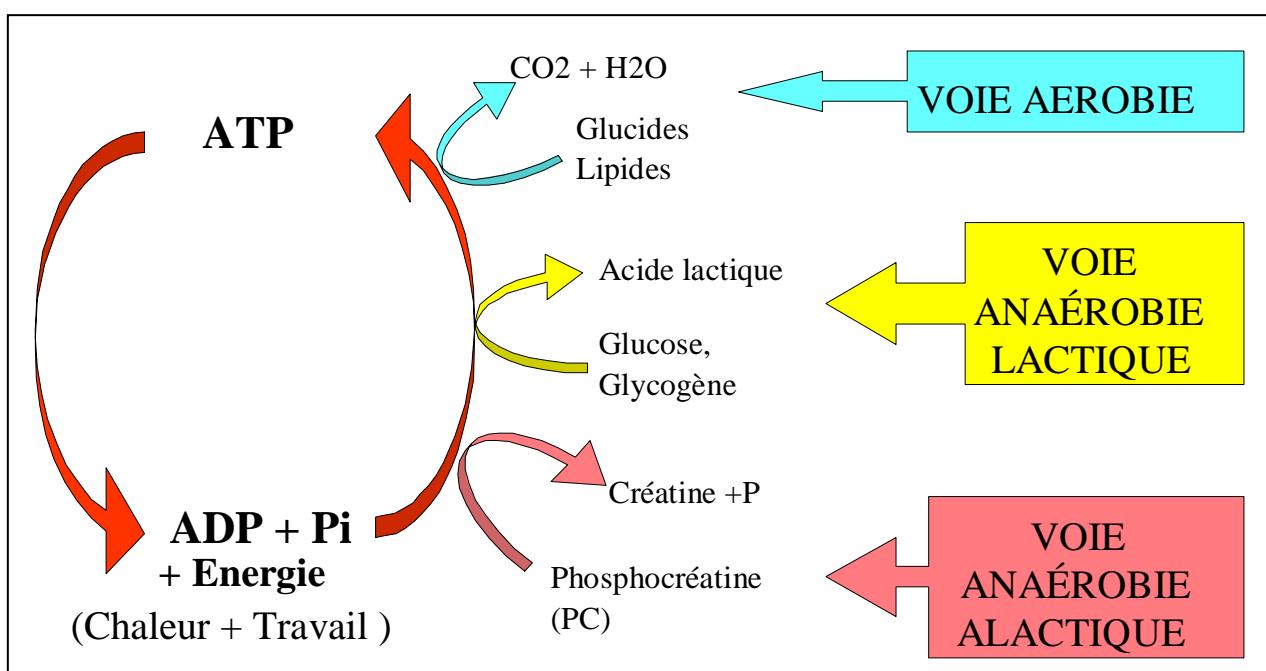
Il existe trois grands types de réactions chimiques permettant la resynthèse de l'ATP que l'on peut classer sur le plan fonctionnel en 2 catégories :

**Les filières anaérobies** qui se présentent comme des processus *d'urgence* permettant de faire face à une *demande immédiate d'énergie*. Elles permettent de fournir l'énergie nécessaire en *début d'effort* ou lorsque *l'intensité du travail demandé est très élevée*. Elles permettent de reconstituer l'ATP *sans utiliser l'oxygène*. On distingue deux processus anaérobie mettant en jeu des réactions chimiques différentes :

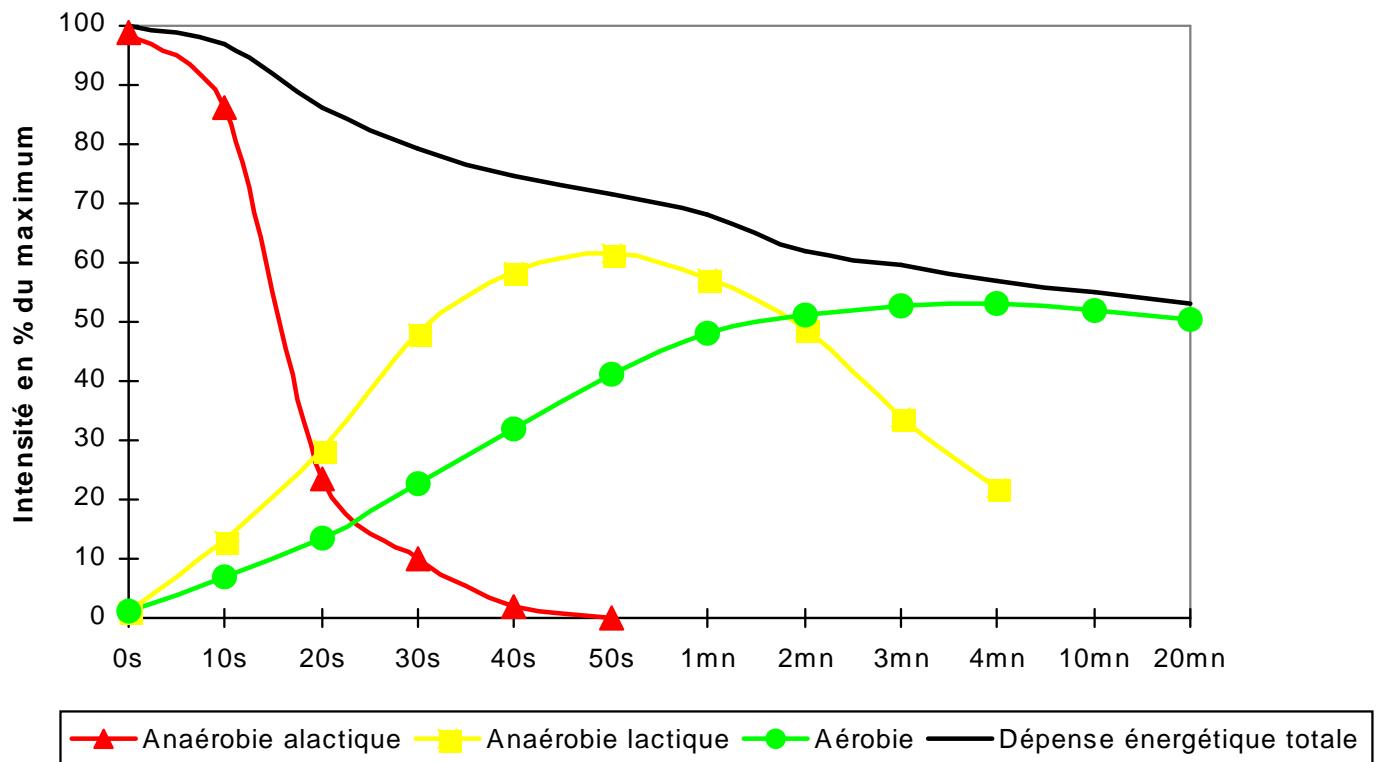
- La filière anaérobie alactique: elle se met en jeu essentiellement dans des efforts d'une intensité très élevée et de courte durée, jusqu'à 20" ( 7 à 8" à puissance maximale). Au-delà de cette durée, cette filière n'est plus capable de fournir suffisamment d'énergie. La resynthèse de l'ATP sollicite, ici, un composé riche en phosphore: **la phosphocréatine**.

- La filière anaérobie lactique: qui se met en jeu sur des efforts d'intensité élevée sur des durées plus longues (de 20"jusqu'à 2mn). On peut dire qu'elle prend le relais de la filière alactique. Cette source d'énergie utilise la dégradation du **glucose** et du **glycogène sans intervention de l'oxygène**. Mais ce processus s'accompagne de la production de *déchets (L'acide lactique)* qui vont s'accumuler, puis bloquer ce processus. (Et donc l'exercice)

**La filière aérobie** qui est le processus mis en jeu d'une manière permanente pour resynthétiser l'ATP. Ce processus utilise l'oxygène pour extraire de l'énergie des molécules de **glucose**, de **glycogène** (glucides), **d'acides gras** (lipides), et accessoirement **d'acides aminés** (protides). De par la complexité des mécanismes mis en jeu, ce processus est long à intervenir (délai d'intervention de 2 à 4 mn), d'où la nécessité de l'intervention des filières anaérobies en début d'effort. Par ailleurs, le débit d'énergie de cette filière est faible, ce qui ne permet pas de réaliser des efforts d'intensité très élevée. Par contre cette filière permet de produire de l'énergie sur de très longue durée.



## Contribution respective de chaque processus métabolique dans l'apport énergétique total



### 3) La mise en jeu des différents systèmes de production d'énergie

Sur la courbe précédente, en noir, nous retrouvons la diminution de l'intensité du travail possible en fonction du temps :

- Dans un premier temps la filière anaérobie alactique va fournir l'essentiel de l'énergie.
- Dans un deuxième temps, la filière anaérobie lactique prendra le relais.
- Dans un troisième temps, la filière aérobie deviendra dominante.

Chaque passage d'un système de production d'énergie à l'autre s'accompagne d'une baisse de l'intensité de travail possible.

Dès le début de l'effort les trois métabolismes sont sollicités mais dans des proportions différentes.

On peut ainsi se donner des repères simples :

	Intervention prépondérante	Par exemple
Anaérobie alactique	0 sec. à 20 sec.	Courses de sprint (50m,100m,200m..), haltérophilie, les lancers et les sauts en athlétisme, saut de cheval en gymnastique ...

Anaérobie lactique	20 sec. à 2 mn	400m, 800m en athlétisme, 100 / 200m en natation, patinage artistique, le ski alpin, Gymnastique au sol, ...
Aérobie	De 2 / 3 mn à plusieurs heures	Courses de demi-fond et de fond, natation longue distance, cyclisme,...

#### **4) Notion de puissance et de capacité des filières énergétiques :**

On pourrait croire que la filière aérobie est sollicitée d'une manière identique dans deux épreuves aussi différentes que le 3000m et le marathon (course à pied). Il n'en est rien : l'intensité du travail possible sur un 3000 mètres (7'30 environ) ne peut pas être maintenue sur un marathon (2h10 environ).

On distingue donc 2 aptitudes aérobies différentes :

- l'une permettant des efforts de longue durée mais d'intensité faible comme le marathon. On parlera de *capacité aérobie*.
- l'autre permettant des efforts d'une durée plus limitée mais d'intensité plus soutenue comme le 3000 mètres. On parlera de *puissance aérobie*.

**Chaque filière énergétique est donc caractérisée par sa puissance et sa capacité.**

##### **La puissance d'une filière :**

La puissance correspond à la quantité d'énergie que peut fournir un système par unité de temps. Autrement dit, il s'agit d'un *débit d'énergie*. Sur ce point, chaque filière énergétique a des caractéristiques propres.

	Anaérobie alactique	Anaérobie lactique	Aérobie
Puissance	Très élevée	Elevée	Faible à moyenne

##### **La capacité d'une filière :**

La capacité d'une filière correspond à la quantité totale d'énergie que peut fournir un système. Là aussi, les différentes filières présentent des différences importantes : la filière aérobie dispose d'une réserve d'énergie considérable (glucides, lipides), la filière lactique a une capacité moyenne alors que la filière alactique et épouse très rapidement ses réserves.

	Anaérobie alactique	Anaérobie lactique	Aérobie
Capacité	Très faible	Elevée	Très élevé

##### **Conséquences générales pour l'entraînement :**

Ces notions de puissance de capacité sont des notions fondamentales pour l'entraînement, qui peut donner des repères simples pour l'entraîneur.

Un travail de puissance consistera à travailler la plus haute intensité de travail possible dans le système énergétique considéré. Il se présente comme un *travail qualitatif* dans lequel *l'intensité du travail sera prioritaire*.

Un travail en capacité consistera à consommer jusqu'à épuisement les stocks de réserves énergétiques de la filière considérée ou à accumuler des déchets en quantité très importante (acide lactique). Un travail de capacité est un *travail quantitatif qui a pour objectif d'aller jusqu'à l'épuisement*.

D'une manière générale, à l'entraînement, l'éducateur devra être vigilant à la dégradation de la *qualité du travail* réalisé (fatigue, diminution de l'intensité, baisse de la coordination,...). Ces indicateurs de fatigue sont des signes qui permettent de voir que l'athlète n'est plus en train de faire un travail en puissance, mais que progressivement il sollicite la capacité de cette filière.

## **5) Le fonctionnement des filières énergétiques.**

Dans ce chapitre, nous allons aborder d'une manière simple le fonctionnement des filières sur le plan physiologique. Nous allons également voir les réactions mise en jeu dans le processus de récupération.

### **a) La filière anaérobie alactique:**

#### **- Fonctionnement :**

Le processus anaérobie alactique recouvre des réactions qui permettent la resynthèse de l'ATP en l'absence d'oxygène et sans production de déchets (acide lactique).

C'est la créatine phosphate (ou phosphocréatine) qui permet cette resynthèse. La créatine phosphate libère son énergie en se dissociant. Le phosphate libre peut alors se combiner avec l'ADP, grâce à cette énergie et ainsi permettre la resynthèse de l'ATP. On peut dire qu'il y a transfert d'énergie.

Ce système alactique est la source la plus rapide de production d'énergie car :

- il ne dépend pas d'une longue série de réactions chimiques.
- Il ne dépend pas du transport d'oxygène.
- ATP et la créatine phosphate sont stockés très près des éléments contractiles du muscle.

#### **- Facteur limitant :**

Le facteur essentiel qui limite la production d'énergie par voie alactique est la quantité de créatine phosphate disponible.

#### **- La resynthèse de la créatine phosphate :**

A la fin de l'effort sollicitant pour le système alactique (la fin d'un 100m), le taux de créatine phosphate se situe à niveau très bas

- lorsque la circulation sanguine est normale, la restauration des stocks de créatine phosphate se fait relativement rapidement :

- 90 % en 4 minutes.

Dans une séance d'entraînement ayant pour objectif le développement des qualités de vitesse, des temps de récupération trop courts ne permettront pas une restauration optimale des stocks de créatine phosphate. Le muscle devra faire appel à d'autres processus pour produire l'ATP et notamment à la filière anaérobie lactique.

### **b) La filière anaérobie lactique :**

La filière anaérobie lactique est mise en jeu dans de nombreux sports qui nécessitent des efforts intenses voire épuisants de 20 secondes à 2 minutes. Il intervient ainsi dans des activités telles que le patinage artistique, le cyclisme sur piste, le bicross, le ski alpin, la natation, l'aviron ou l'athlétisme.

Elle peut aussi être mise à contribution dans des activités rythmées par des alternances d'efforts et de pauses, à condition que l'activité soit d'une intensité élevée et suffisamment longue. Par exemple: le judo, le hockey sur glace.

Enfin, elle peut également être sollicitée dans des activités mettant en jeu des contractions isométriques intenses et suffisamment longues telles que l'escalade ou le ski alpin. En effet, une contraction isométrique suffisamment longue aura tendance à gêner l'irrigation sanguine du groupe musculaire concerné. Ce muscle aura tendance à fonctionner sans apport extérieur ce qui renforcera l'impact de lactique de l'exercice.

- **Fonctionnement :**

La filière anaérobie lactique permet de fournir de l'énergie à partir du glucose ou du glycogène musculaire.

Cette production d'énergie s'accompagne de la production d'acide lactique.

- *Avant la puberté, les enfants n'ont pas atteint leur maturité hormonale. Autrement dit, avant la puberté, les enfants récupèrent mal de ce type d'effort.*
- *Il est rare de rencontrer des activités purement lactiques. En effet, tous les sports dits lactiques vont également solliciter la filière anaérobie alactique en début d'effort, mais aussi la filière aérobie en fin d'effort.*

- **Facteurs limitants :**

Les efforts lactiques sont particulièrement éprouvants pour l'organisme. Un certain nombre de sensations souvent désagréables accompagnent ce type d'effort :

- Lourdeurs et brûlures dans les membres.
- Voire nausées.

Ces manifestations sont le témoin d'une accumulation importante d'acide lactique qui va perturber profondément :

- Le fonctionnement de la glycolyse, autrement dit la reconstitution d'ADP en ATP.
- Le fonctionnement de la contraction musculaire, ce qui se traduit par l'incapacité du muscle à produire un travail musculaire (blocage de la contraction musculaire).

Ainsi, si l'effort se prolonge, l'acide lactique va s'accumuler puis progressivement saturer le système musculaire jusqu'à contraindre le sportif à l'arrêt de l'exercice.

- **Le devenir de l'acide lactique :**

Il est important de noter qu'une récupération active (footing léger) permet d'accélérer considérablement le processus d'élimination de l'acide lactique. En effet l'utilisation de la récupération active permet d'utiliser l'acide lactique comme substrat énergétique par la voie aérobie.

Sur ce tableau nous pouvons voir la vitesse d'élimination après un effort épuisant de 1 à 2 mn.

	Baisse de 50%	Baisse de 100%
Récupération passive	En 25 mn	<b>En 1h30</b>
Récupération active (50 à 60 % de VO2 max.)	En 6 mn	<b>En 20 mn</b>

**c) La filière aérobie :**

La filière aérobie est mise en jeu tout particulièrement dans les activités de longue durée :

- Cyclisme, course de demi-fond et de fond en athlétisme, ski de fond, natation...

- Mais aussi dans des activités sportives intermittentes (alternance de période de travail intense et de période de récupération plus ou moins actives) : tennis, football, handball, sports de combat...

La filière aérobie regroupe différents processus de production d'énergie faisant appel à l'oxygène (oxydation). Les réactions chimiques se déroulent dans les cellules musculaires et plus précisément dans les mitochondries qui sont des organites spécialisées dans la production d'énergie de type aérobie. Différents substrats énergétiques peuvent être utilisés : les glucides, les lipides, et accessoirement les protides.

Nous allons ici étudier sommairement 2 de ces mécanismes : *la glycolyse aérobie et la lipolyse*.

#### **- *L'oxydation des glucides : la glycolyse aérobie***

Nous avons pu voir que la filière lactique fonctionnait à partir du glucose et du glycogène musculaire. La filière aérobie utilise également du glucose qui est stocké ailleurs ; le glucose sanguin (glycémie: 0.9 g / litre), ainsi que les réserves hépatiques (stockage dans le foie). Au début de l'effort, les réserves musculaires seront les premières sollicitées, puis, quand celles-ci baissent lors d'un effort se prolonge, le glucose sanguin sera sollicité puis le glycogène hépatique.

Les réactions chimiques se déroulent en présence d'oxygène, ce qui limite considérablement la production d'acide lactique: on parle de l'oxydation des glucides.

La dégradation du glucose est commune aux 2 voies aérobies et anaérobies lactiques. Mais cette dégradation s'accompagne de libération d'hydrogène ( $H^+$ ) qui est une substance très toxique pour l'organisme. En absence d'oxygène, ces ions  $H^+$  vont se combiner à l'acide pyruvique pour former de l'acide lactique. Si l'apport d'oxygène suffisant, ces ions  $H^+$  seront pris en charge par la voie aérobie pour former  $CO_2$ ,  $H_2O$ , et de l'énergie et ainsi éviter de former de l'acide lactique.

On peut donc dire que la filière aérobie offre un fonctionnement « écologique » dans le sens où les produits terminaux de ces réactions sont facilement éliminés par la respiration et la transpiration.

Ces stocks ne sont toutefois pas inépuisables et ne permettent pas de réaliser un marathon par exemple. Un autre métabolisme va progressivement fournir l'essentiel de l'énergie: la lipolyse.

#### **- *L'utilisation des lipides : la lipolyse***

Les substrats énergétiques utilisés ici sont les acides gras libres (AGL). Ils sont stockés sous forme de triglycérides dans les tissus adipeux et au niveau musculaire. Ils constituent une réserve énergétique quasiment inépuisable. Plus l'effort se prolonge plus le pourcentage d'énergie apportée par les lipides sera important.

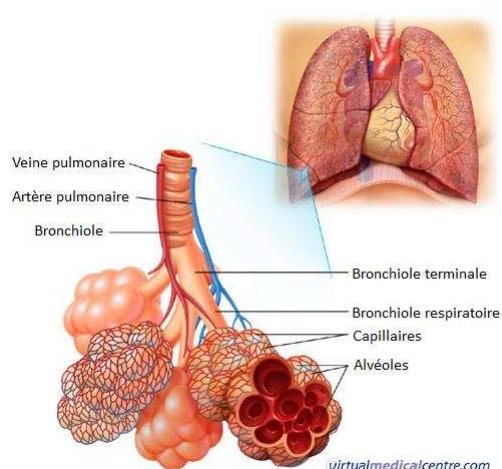
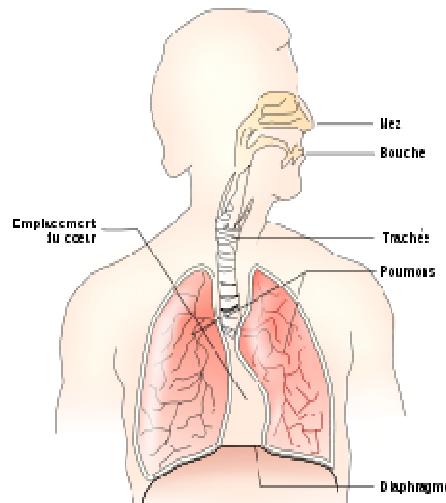
Toutefois, l'utilisation des lipides par voie aérobie est dépendante de la glycolyse. Sans entrer dans des détails de biochimie complexe, on peut dire que les lipides "brûlent au feu des glucides". Autrement dit, les lipides ont besoin de la présence des glucides pour être dégradés en présence d' $O_2$ . Ce qui peut expliquer qu'un pratiquant ayant des réserves de lipides (graisses) importantes puisse "tomber en hypoglycémie" c'est à dire de se trouver dans l'incapacité de poursuivre son effort malgré des réserves énergétiques lipidiques en quantité importante car il aurait épousé ses réserves en glucides.

## ***Partie 3 : Le circuit de l'oxygène***

Dans notre organisme une grande partie de notre énergie est produite grâce à l'oxygène. Cet oxygène doit être capté de l'extérieur pour être transporté dans les différents organes du corps.

## A. Anatomie de l'appareil respiratoire et échanges gazeux

Il permet l'approvisionnement du sang en oxygène et le rejet du gaz carbonique (CO<sub>2</sub>). Ce système commence avec les fosses nasales. L'air passe par le pharynx, carrefour des voies respiratoires et digestives, puis par le larynx. La trachée achemine ensuite l'air aux deux poumons. La trachée se termine en se divisant en deux bronches, qui se ramifient progressivement dans chaque poumon.



Lors de l'inspiration, l'air circule dans des tubes de plus en plus fins. Chaque bronchiole se termine en cul-de-sac par de minuscules alvéoles pulmonaires (Environ 300 millions d'alvéoles). C'est là que s'effectuent les échanges gazeux entre l'air et le sang.

Les parois très fines permettent le passage de l'oxygène dans le sang et la sortie du gaz carbonique.

Cet air chargé de gaz carbonique et appauvri en oxygène est rejeté à l'extérieur lors de l'expiration. Les capillaires sont nos plus petits vaisseaux sanguins. Ils entourent chaque alvéole.

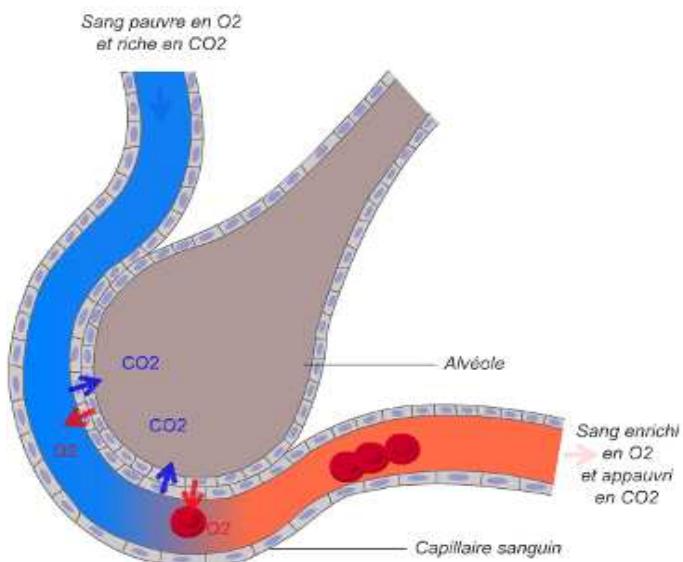
Le passage de l'air entre les alvéoles et les capillaires s'appelle **l'échange gazeux**.

## B. La ventilation

- Les mouvements de la cage thoracique et du diaphragme permettent de renouveler l'air contenu dans les poumons : c'est la ventilation pulmonaire. Le diaphragme est un muscle qui sépare le thorax de l'abdomen. En se contractant, il augmente le volume de la cage thoracique, ce qui entraîne un appel d'air dans les poumons.
- Ce qui caractérise la respiration est son **automatisme** (comme le cœur). La preuve est que nous continuons à respirer pendant le sommeil. L'air ambiant riche en oxygène est ainsi aspiré. Il entre par le nez ou la bouche, passe dans la trachée puis dans l'arbre bronchique pour arriver jusqu'aux alvéoles.

**L'expiration:** La sortie de l'air se fait automatiquement, sans effort musculaire, cependant lors de l'effort musculaire intense, on peut accélérer l'expiration par la mise en jeu des muscles intercostaux.

## C. Transport de l'oxygène dans le sang



Une fois que l'oxygène de l'air est passé dans le sang, pour permettre son transport, il est pris en charge par l'**hémoglobine**.

## D. La circulation sanguine

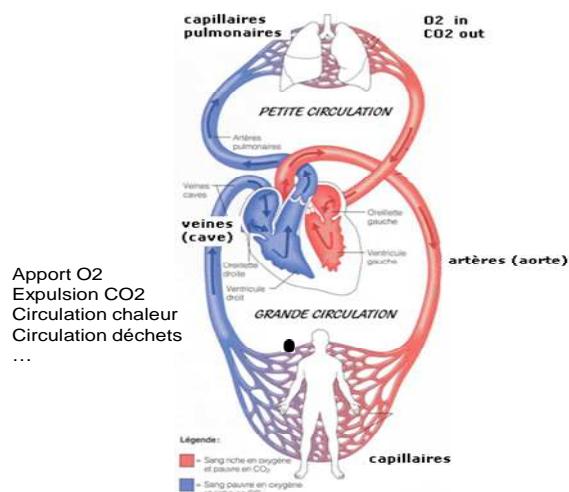
Le sang circule dans un réseau de tuyaux appelés vaisseaux sanguins. Il est propulsé par les contractions du cœur pour irriguer tous les organes du corps.

Le réseau sanguin comprend:

- un secteur **artériel** part du cœur
- un secteur **capillaire**
- un secteur **veineux** arrive au cœur

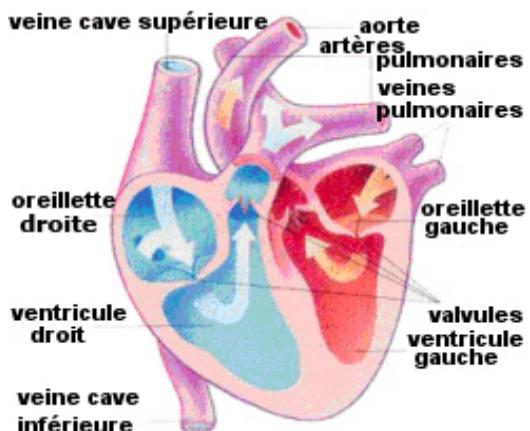
Le sang veineux (chargé de déchets provenant de tout l'organisme) est acheminé vers le cœur droit. Lorsqu'il est rempli, le cœur droit, se contracte et envoie le sang dans la circulation pulmonaire. Il se distribue dans de très petits vaisseaux sanguins appelés « réseau capillaire pulmonaire » pour être en contact avec l'air frais (riche en oxygène) présent dans les alvéoles pulmonaires. Le sang veineux s'enrichit en oxygène, se décharge en gaz carbonique et se transforme en sang oxygéné.

Il quitte ensuite le réseau capillaire pulmonaire et s'accumule dans le cœur gauche. Celui-ci envoie le sang oxygéné dans la grande circulation composé d'un réseau artériel qui irrigue l'ensemble des organes qui rejettent ensuite le gaz carbonique dans le sang veineux et sera acheminé vers le cœur droit.



## E. Le cœur

C'est le moteur, il est constitué de muscles striés.



Il se compose de deux parties droite et gauche chacune séparée de haut en bas.

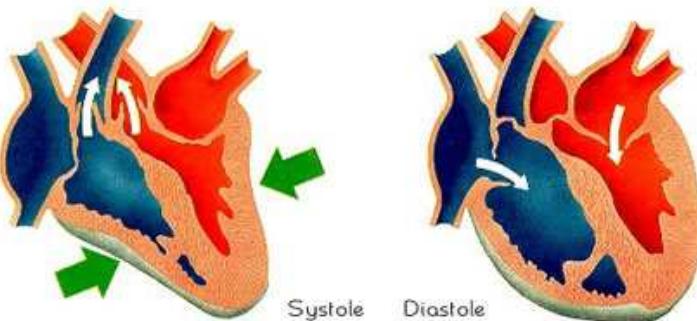
Chaque moitié possède deux cavités qui sont une oreillette en haut et un ventricule en bas.

Son fonctionnement :

Comme tous les muscles, la contraction musculaire cardiaque est le fruit d'un influx nerveux électrique.

Toutes les parties du cœur ne se contractent pas de manière simultanée.

Il existe des contractions alternées que l'on appelle systoles (éjection du sang) et diastoles (remplissage du cœur) :



Les systèmes pulmonaires, cardiaques, circulatoires s'adaptent à l'effort pour prélever et transporter l'oxygène dont le muscle a besoin pour fonctionner. Il arrive un moment où l'exercice est trop rapide et la consommation d'oxygène ne peut plus augmenter. C'est la consommation maximale d'oxygène ou VO<sub>2</sub>max.

[Tapez un texte]

## Partie 4 : caractéristique de l'effort physique en montagne

L'altitude modifie les conceptions habituelles puisque tout effort entrepris au-dessus de 4000m doit être considéré comme un effort intense.

### **L'oxygène**

Sa présence est indispensable à un effort de longue durée. Par ailleurs, plus l'effort est intense, plus sa consommation augmente et le corps devra s'adapter pour en fournir une plus grande quantité. Pour qu'il puisse parvenir aux muscles, deux éléments sont essentiels: la pression de l'air ambiant (liée à l'altitude) et la capacité du corps à utiliser effectivement cet oxygène ambiant.

### **Cascade de l'oxygène**

L'oxygène se diffuse de l'air dans le sang grâce aux différentiels de pression. L'exposition en altitude entraîne une baisse de la pression barométrique qui induit une baisse proportionnelle de la pression partielle en oxygène. C'est parce que la pression partielle en O<sub>2</sub> est diminué dans l'air en altitude que le sang, puis les tissus, sont moins bien oxygénés. Pour consommer la même quantité d'oxygène, il faut ventiler davantage. C'est l'hyperventilation.

### **Quantité d'oxygène transportée et altitude**

La quantité d'oxygène effectivement transportée dépend donc de la pression atmosphérique mais aussi d'un facteur sanguin : le nombre de transporteurs dans les globules rouges (quantité d'hémoglobine).

Au bord de la mer, la quantité d'hémoglobine est de 100%

A 3000 m, elle est abaissée : 90%

L'adaptation cardiaque se caractérise par une augmentation du débit sanguin, en augmentant la fréquence cardiaque, et le volume systolique. C'est le volume envoyé dans le sang par le ventricule gauche à chaque contraction.

La VO<sub>2</sub> max diminue avec l'altitude (- 1 % tous les 100 mètres). Ainsi, à 4800 m, l'effort maximal que le corps peut fournir n'est plus que le 70% de ce qu'il est au niveau de la mer tandis qu'à 6000m il est de 40%. A l'Everest, il est limité à 20% de l'intensité maximale.

### **Effet de l'hypoxie sur le cœur**

Le cœur s'accélère en début du séjour puis ralenti progressivement. Lors d'un exercice maximal, le rythme cardiaque n'atteint pas les mêmes valeurs qu'au niveau de la mer : il s'adapte en réduisant son rythme maximal, ce qui le protège contre une trop grande dépense d'énergie. (Lorsqu'il bat à 180 puls/min en plane, le coeur peut bloquer à 150 puls/min à 4500m d'altitude).

### **Le mal aigu des montagnes (M. A. M.)**

Le mal aigu des montagnes (MAM) est un syndrome de souffrance, lié à une montée trop rapide en haute altitude, à l'absence d'acclimatation et à une sensibilité personnelle plus ou moins importante. Il s'agit d'une maladie fréquente touchant des gens en bonne santé mais exposés à un environnement extrême de haute altitude. Son incidence est variable, mais augmente très rapidement avec l'altitude ; elle serait de 15 % à 2 000 mètres d'altitude et de 60 % à 4 000 mètres.

Ce mal apparaît après un délai de quelques heures en altitude ; il régresse avec l'acclimatation et disparaît immédiatement à la descente.

Les causes du MAM : la pression atmosphérique et donc avec elle, la pression partielle en oxygène, décroissent avec l'altitude. De ce fait, la quantité d'oxygène disponible au niveau cellulaire diminue, ce qui engendre un certain nombre de mécanismes compensateurs (hyperventilation, modification de l'affinité de l'hémoglobine pour l'oxygène etc.). Ces mécanismes sont plus ou moins longs à s'installer : ainsi, l'accélération de la fréquence cardiaque nécessite moins d'une minute mais l'augmentation de l'hémoglobine plusieurs jours.

Lorsque ces mécanismes compensateurs sont insuffisants ou n'ont pas le temps de s'installer, la victime peut développer un ensemble de symptômes appelé mal aigu des montagnes

[Tapez un texte]

### **Le rayonnement solaire**

Il augmente d'intensité avec l'altitude en particulier les ultraviolets. Il faut donc prévoir une protection solaire efficace pour la peau et les muqueuses (lèvres) par un écran total.

L'ophtalmie des neiges survient lors d'une exposition en l'absence de protection efficace. Elle se traduit par des brûlures, une sensation de sable sous les paupières, une photophobie, un larmoiement. Il convient de supprimer immédiatement l'exposition au soleil (ombre+lunettes)

### **Le froid**

Les risques liés au froid sont :

- Fatigue inutile due à la lutte contre le froid
- Acclimatation difficile
- Gelure d'un membre
- Hypothermie

Il est possible de diminuer ces risques par un comportement adéquat.

La sensation de froid provient de la vitesse de refroidissement de la surface de la peau. En montagne, quatre facteurs en sont responsables.

- La diminution de la température: moins 1 degré par 100 m
- Le degré d'humidité de l'air, l'eau étant 20x plus conductrice que l'air. Il diminue avec l'altitude (~ 25% à 4000 m)
- La vitesse du vent, qui augmente avec l'altitude
- La surface de peau exposée à l'air libre

Les températures moyennes sont basses en haute altitude et le corps doit lutter. Il adopte 2 mécanismes de défense automatiques:

- Le sacrifice de la périphérie
- La production accrue de chaleur (thermogenèse)

#### *Le sacrifice de la périphérie*

Il est une diminution du débit sanguin cutané rendant la peau moins isolante. Les effets se font particulièrement sentir au niveau des pieds et des mains. Chaque individu réagit de manière spécifique.

#### *La thermogenèse*

La thermogenèse peut s'effectuer de deux manières. La première, automatique, a un grand désavantage puisqu'elle est une grande consommatrice d'énergie. Elle consiste en frissons et libération d'hormones.

La thermogenèse volontaire permet d'éviter cette débauche énergétique. Elle se réalise par la pratique de l'effort et l'absorption de nourriture (principalement des protéines).

### **Gelures : les causes.**

La gelure s'installe de manière insidieuse, sans crier gare.

Les gelures sont majoritairement la résultante d'un manque d'attention

Il est ainsi nécessaire de vérifier souvent ses extrémités. Une action immédiate est possible (et requise) lors de la montée de l'insensibilité et de l'engourdissement. Une fois la gelure installée, il est par contre préférable d'attendre pour pouvoir la traiter correctement de manière à ne pas risquer une aggravation.

Les parties à risque sont principalement les extrémités. Les joues, les oreilles et le nez peuvent également geler mais sans que les conséquences ne soient bien graves.

Les gelures ne sont pas l'apanage des températures extrêmes. Quelques degrés en dessous de zéro, accompagnés de vent, peuvent suffire.

[Tapez un texte]

## L'hypothermie

L'hypothermie est déclarée lorsque la température du corps descend en-dessous de 35°.

En haute altitude, elle peut subvenir lorsqu'une personne est bloquée sans protection (mauvais temps, ...). Elle est également possible lorsque d'autres traumatismes et blessures ont eu lieu. Ceux-ci retiennent souvent toute l'attention et l'hypothermie passe souvent, au début, inaperçue.

**L'hypothermie légère** est caractérisée par: une sensation de froid et une envie de se réchauffer, un pouls faible et rapide

**L'hypothermie sévère** est caractérisée par une température corporelle en-dessous de 33°, un état de confusion, des idées peu claires

Traitements

Si l'on est bloqué en altitude :

- Se soustraire à l'action du froid et limiter les pertes de calories en superposant les couches de vêtements et en se mettant à l'abri du vent.
- Effectuer une stricte gestion des ressources (nourriture, boisson et gaz) afin d'avoir de quoi boire le plus longtemps possible.
- Rester calme car le stress brûle beaucoup d'énergie. Le moral permet de gagner.
- Éviter les frissons involontaires par des contractions volontaires

Le Réchauffement :

- Il doit être effectué en douceur.
- Ne pas entrer dans une pièce ou un véhicule chauffé, un bain chaud.
- Il vaut mieux des habits secs et réchauffés ainsi qu'une boisson tiède et de la chaleur humaine.
- Faire attention à un retour de sang froid vers le cœur en veillant à la mobilisation prudente des membres inférieurs.

## La déshydratation:

En montagne, on se déhydrate très vite sans s'en rendre compte du fait de l'hygrométrie qui diminue à mesure que l'on monte. Moitié moins qu'en plaine au sommet du mont Blanc, elle est proche de zéro en haut de l'Everest.

À faible altitude (randonnée, trekking), la sudation ne manque pas de mouiller le tee-shirt et le fait de s'hydrater paraît aller de soi. En revanche, en haute altitude, la transpiration qui perle sur le corps est évacuée instantanément sous forme de vapeur d'eau, ce qui donne l'impression de ne pas transpirer. L'effet du vent qui dessèche la peau s'ajoute à cette sensation et l'alpiniste ou l'himalayiste ne se rend pas compte qu'il se déhydrate.

Enfin, l'hyperventilation indispensable en altitude pour compenser l'hypoxie entraîne une déshydratation importante par les voies aériennes. Les volumineuses quantités d'air saturé en eau provenant des poumons sont expirées et asséchées par l'air ambiant glacial et sec (20 % des pertes d'eau se font par la ventilation)

L'organisme est extrêmement sensible aux variations hydriques. L'eau est à la fois nécessaire au muscle pour qu'il fonctionne et à l'équilibre thermique en permettant l'évacuation de la chaleur excédentaire par évaporation de l'eau transpirée.

L'effort en altitude fait perdre de l'eau par la transpiration à la ventilation. L'apport hydrique doit donc être particulièrement important

[Tapez un texte]

## **Questions d'aide à la révision physiologie**

**En répondant à ces questions vous vous assurez d'avoir compris les contenus de physiologie**

1. Quelle est la constitution du muscle ?
2. Qu'est qu'une contraction concentrique, excentrique, isométrique et pliométrique, donnez des exemples
3. Définissez l'ATP, Quel est son rôle ?
4. Comment est reconstituée l'ATP ?
5. Quelles sont les caractéristiques de filières aérobies et anaérobies ?
6. Quels sont les différents substrats utilisés par le muscle lors d'un effort ?
7. L'intensité de l'effort influence t-elle le type de substrat utilisé?
8. Quels éléments constituent l'appareil cardiaque?
9. Quels sont les adaptations du cœur à l'effort ?
10. Définition et rôle d'artères, capillaires, veines ?
11. Définition et composition de l'appareil respiratoire
12. Définition de débit ventilatoire
13. Comment s'effectuent les échanges de gaz et son transport au sein de l'organisme ?
14. Adaptions de l'appareil respiratoire à l'effort
15. Expliquer la contraction musculaire
16. Conséquences de l'altitude sur le cœur, les performances, l'appareil respiratoire ?
17. Les risques de la pratique sportive en altitude ? Comment s'en prémunir