

## Avant Propos :

En tant que coureur, puis entraîneur, je me suis toujours étonné du manque de rigueur et de cohérence dans la façon dont les coureurs et leur entourage avaient de pratiquer le cyclisme. Faut-il copier ce qui se fait ailleurs ? Faut-il faire ce qui se faisait auparavant ? Faut-il faire selon son inspiration ? Qui doit-on écouter ? Quel usage doit-on faire du cyclisme ?...

En dépit de toutes ces interrogations, j'étais encore étudiant quand l'idée que vous tenez entre les mains a germé en moi, et pour la première fois au cours de ma scolarité j'étais passionné par ce que je faisais. Toutes mes études étaient orientées autour de ma pratique sportive : le cyclisme. J'ai donc eu l'occasion de faire le lien entre les sciences et techniques des activités physiques, et le cyclisme. Toutes ces sciences comme l'anatomie, la physiologie, la psychologie, la biologie du sport étaient contextualisées en cyclisme. Les connaissances théoriques et scientifiques en sport deviennent dès lors plus accessibles, et offrent des possibilités de mise en application.

La plupart des entraîneurs et coureurs cyclistes amateurs ne prennent pas le temps de faire des recherches dans les sciences du sport, ils n'y ont pas forcément accès.

L'objectif de mon ouvrage est de rassembler toutes les connaissances que j'ai pu acquérir au cours de mes cinq années d'études et de les reconstruire autour du cyclisme. Il s'agit de faire évoluer les pratiques anciennes, parfois désuètes ou mal utilisées qui persistent sans tenir compte des découvertes en science du sport.

Je souhaitais donc aborder des champs aussi divers que le cyclisme à l'école, l'entraînement des cyclistes élites, la nutrition, la psychologie, ainsi que des réflexions sur les enjeux du cyclisme de l'enfance jusqu'à un âge avancé.

Les grands thèmes qui seront abordés tenteront de répondre à des questions aussi diverses que la planification des charges d'entraînement, l'utilisation de procédés de musculation, l'enfant et le cyclisme, la nutrition des sports d'endurance, la dynamique de la motivation sportive... Il s'agit également de montrer comment un peu de bon sens et des connaissances permettent de rendre la pratique du cyclisme et l'entraînement beaucoup plus cohérent qu'il ne l'est.

Le cyclisme est un sport très difficile, qui demande des charges d'entraînement importantes, des sacrifices sur soi, il s'agit aussi d'une

école de l'humilité tant il est difficile d'arriver à ses fins. C'est pourquoi il ne doit pas être pratiqué à la légère, surtout lorsque qu'il est pratiqué en compétition.

Ce livre s'adresse à des personnes en formation pour les Brevets Fédéraux ou Brevets d'États, aux étudiants des UFR STAPS, mais aussi à tous ceux qui veulent perfectionner leur approche du cyclisme. Enfin, les pratiquants autonomes et les parents de jeunes cyclistes y trouveront sûrement des explications intéressantes pour gérer et comprendre la complexité du cyclisme.

Que ce soit pour votre entraînement ou celui que vous proposez, ou encore dans le cadre des écoles de cyclisme vous trouverez dans cet ouvrage des connaissances fondamentales pour optimiser vos pratiques, les rendre plus efficaces et cohérentes.

*Première Partie*

# Biologie Energétique et Facteurs de performance

## La dépense énergétique

### Introduction

Notre organisme dépense en permanence de l'énergie. Que ce soit pendant le sommeil, ou lors d'un effort cette dépense énergétique caractérise la vie. Au repos, l'énergie consommée est destinée au maintien de la température corporel, au fonctionnement des différents organes. On parle alors de *métabolisme\** énergétique pour symboliser l'activité énergétique de notre corps.

L'énergie mise en œuvre au repos ou à l'effort provient de l'alimentation. Les aliments sont soit utilisés directement par le métabolisme énergétique, soit mis en réserve pour être utilisé ultérieurement par les muscles ou les organes.

Par la suite notre organisme dispose de deux solutions pour utiliser son combustible énergétique. L'énergie chimique peut être métaboliser en *énergie thermique et mécanique\** avec ou sans oxygène. Le fonctionnement sans oxygène implique systématiquement une dette d'oxygène qui est remboursé après l'effort. Elle se caractérise par un essoufflement post effort. Pour évaluer la consommation énergétique on peut donc se baser sur la mesure de l'oxygène consommé. On considère que la consommation d'un litre d'oxygène représente une dépense énergétique de 5 kilocalories (kcal) ou 21 kilojoules (kj).

Unité de mesure et équivalence énergétique :

Si le joule est l'unité de mesure officielle depuis le 1 / 01 / 1978, la calorie est une mesure encore très employée et mieux connue du grand public.

1 kcal = 4.18 kj

#### **Energie des aliments :**

D'après *Berthelot* :

1 gramme de glucide = 4.23 kcal

1 gramme de lipide = 9.52 kcal

1 gramme de protéine = 4.40 kcal

Puissance (Watt) = travail (énergie) / temps

1 kcal/min = 70 Watt

1 Watt = 0.0144 kcal

## 1 . Quelle consommation énergétique ?

La consommation énergétique de base qui correspond à celle qui est dépensé au repos sans activité physique se situe dans une fourchette de 1500 à 2500 kcal par jour. Le métabolisme de base dépend de la taille de l'individu et de sa masse musculaire. Il est bien évident qu'une personne qui dispose d'une masse musculaire importante et d'un faible % de masse grasse va consommer beaucoup plus d'énergie qu'un autre individu qui dispose d'un mauvais rapport masse maigre / masse grasse. On peut considérer qu'un sportif très entraîné aura un métabolisme énergétique de base plus élevé qu'un sédentaire. En effet, le muscle est un organe bien vivant qui à sa propre consommation énergétique. En revanche le tissu adipeux (*masse grasse*) ne consomme pas d'énergie puisqu'il s'agit d'une source d'énergie de réserve.

Lors d'une activité physique les besoins énergétiques du muscle et de certains organes se voient démultipliés. En effet, les contractions musculaires ont besoin d'un carburant qui permet leur mise en action, de même que le cœur voit sa dépense énergétique augmentée pour assurer l'augmentation du débit sanguin.

Il est possible d'estimer la consommation énergétique en contrôlant la fréquence cardiaque. Plus la fréquence cardiaque augmente et plus la dépense énergétique est importante. La consommation d'énergie est proportionnelle à la puissance de l'effort. Si au repos notre métabolisme représente une puissance de 70 Watts, il peut attendre des valeurs de 3000 à 5000 Watts au maximum de l'effort (sprint).

Dépenses énergétiques et activités physiques :

Repos allongé :	60 à 80 kcal / heure
Ménage, bricolage... :	100 à 120 kcal / heure
Marche lente (4 km/h) :	150 à 200 kcal / heure
Marche rapide (6 km/h) :	200 à 300 kcal / heure
Footing (12 km/ h) :	700 à 800 kcal / heure
Cyclisme (25 km/h) :	400 à 600 kcal / heure
Cyclisme ( 30 km / h) :	700 à 800 kcal / heure
Compétition :	800 à 1200 kcal / heure

En cyclisme la consommation peut être estimée entre 20 à 25 kcal par km sur terrain plat pour une vitesse entre 25 et 35 km/h

## 2 . Dépense énergétique en cyclisme

En cyclisme, la dépense énergétique n'augmente pas proportionnellement avec la vitesse dans la mesure où une grande partie des forces mises en jeu pour avancer sont liées à la résistance de l'air. Or celle-ci augmente au cube de la vitesse. Ce qui veut dire qu'en multipliant sa vitesse par deux, la résistance de l'air est multipliée par quatre. En plus de la résistance de l'air viennent s'ajouter des forces de frottements sur le vélo, entre les roues et le sol plus ou moins rugueux, et la gravité terrestre quand la route monte ou descend.

Compte tenu de l'importance de la résistance de l'air, on comprend pourquoi le cyclisme est une activité où l'on tente de réduire la dépense énergétique avec différentes positions, ou encore en recherchant un abri.

Economie d'énergie en cyclisme.

On estime qu'il faut une puissance mécanique de 350 à 400 W pour rouler à 40 km/h (1000 à 1200 kcal/h)

Abris derrière un autre cycliste = 20 à 25 % d'économie (750 à 1000 kcal/h)

Abris dans un peloton = 30 à 40 % d'économie ( 600 à 900 kcal/h)

Abris derrière une voiture = 50 à 60% d'économie (500 à 600 kcal / h)

## 3 . Quelle dépense quotidienne.

Nous venons de voir que le métabolisme de base se situe autour de 2000 kcal / jour chez un cycliste entraîné. Compte tenu de la quantité d'entraînement hebdomadaire sa dépense énergétique aura considérablement augmentée par rapport à un sédentaire dont la dépense quotidienne se situera autour de 2500 kcal / jour.

Le cyclisme comme la plupart des sports d'endurance implique une dépense d'énergie considérable qui en font une des caractéristiques

principales à prendre en compte dans la préparation physique, l'entraînement et l'alimentation. *Pour donner un exemple, prenons un cycliste qui totaliserait 10 000 km dans l'année. S'il venait à s'alimenter de la même manière sans effectuer un seul km, son poids pourrait théoriquement grimper de 25 à 30 kg.* Même si dans la pratique on ne rencontre pas ce genre de situation, on comprend bien que les sports d'endurance sollicitent énormément le métabolisme énergétique.

**Evaluation de la dépense énergétique en cyclisme  
(les valeurs indiquées sont des exemples approximatifs)**

Jour	Dépense Basale (kcal / j)	Entraînement	Dépense supplémentaire (kcal / j)	Dépense totale (kcal / j)
Lundi	2000	30 km allure légère.	700	2700
Mardi	2000	repos	0	2000
Mercredi	2000	100 km allure modérée	2500	4500
Jeudi	2000	30 km allure légère	700	2700
Vendredi	2000	50km allure légère à forte	1200	3200
Samedi	2000	30 km allure légère	700	2700
Dimanche	2000	110 km course	3000	5000
Total	14 000	340 km	8 800	22 800

Dans l'exemple ci dessus les dépenses énergétiques hebdomadaires sont augmentées de plus de 60%. La capacité énergétique est une qualité de base pour les coureurs cyclistes, elle est au cycliste ce qu'est le réservoir d'une voiture.

## Les sources d'énergie de l'organisme.

### Introduction

Nous savons que la vie de nos cellules et l'activité physique sont possible grâce à un potentiel énergétique bien présent dans l'organisme. Quelles sont les sources d'énergies, où sont - elles stockées ?

Nous allons nous intéresser à l'énergie nécessaire pour la contraction musculaire.

Les mécanismes énergétiques qui permettent aux muscles de se contracter sont connus depuis longtemps. Pour le grand public, les sources d'énergie bien connues sont les glucides (*sucré*), les lipides (*graisse*) ou les protéines. En réalité le muscle n'est pas capable de consommer ces substrats énergétiques à l'état brut. Il y a à l'intérieur des muscles des mécanismes bioénergétiques complexes qui permettent de transformer les substrats énergétiques dérivés de l'alimentation en *Adénosine Tri Phosphates (ATP)\**. C'est donc de l'ATP dont le muscle a besoin pour se contracter. Celui ci se trouve en quantité très faible dans l'organisme, il est donc resynthétisé en permanence par la respiration cellulaire.

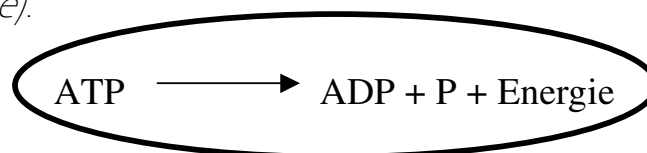
On estime que la quantité d'ATP dans l'organisme est si faible qu'elle ne permet pas de subvenir au besoin énergétique d'un 100 mètres. C'est parce que l'ATP est sans cesse renouvelé que nous pouvons courir pendant des heures.

Nous avons donc un super carburant, l'ATP, sans lequel la contraction du muscle est impossible. La quantité d'ATP dans le muscle est si faible, qu'il est renouvelé en permanence.

### 1 . Les mécanismes de resynthèse de l'ATP :

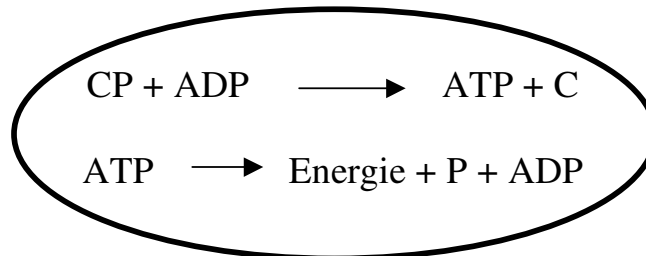
La resynthèse de l'ATP s'effectue en plusieurs étapes selon le type de substrat énergétique amené jusqu'aux cellules musculaires.

Lorsque l'ATP est utilisé par le muscle, il se transforme en ADP (adénosine diphosphate). *L'ADP est théoriquement inutilisable, sauf lors d'effort très intense où il peut être transformé en AMP (adénosine monophosphate).*

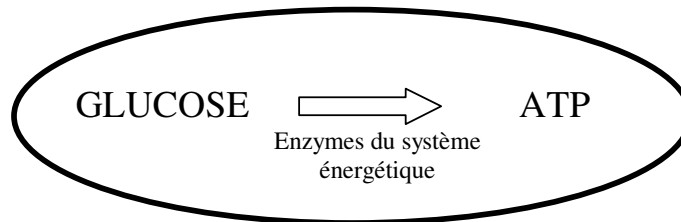




Pour re synthétiser l'ADP en ATP, le substrat énergétique utilisé sera dans un premier temps la *Créatine Phosphate\** (CP). La CP est stocker dans le muscle en quantité faible, mais plus importantes que l'ATP. En séparant le phosphate de la créatine les mécanismes bioénergétiques permettent de reconstituer l'ADP en ATP



Lorsque l'effort se prolonge encore à une intensité élevée, la CP s'épuise très vite et ne permet plus d'assurer la resynthèse de l'ATP. C'est à ce moment la que le glucose entre en jeu. Le glucose est alors pris en charge par un *mécanisme enzymatique\** qui permet d'aboutir à la formation de nouvelles molécules d'ATP.



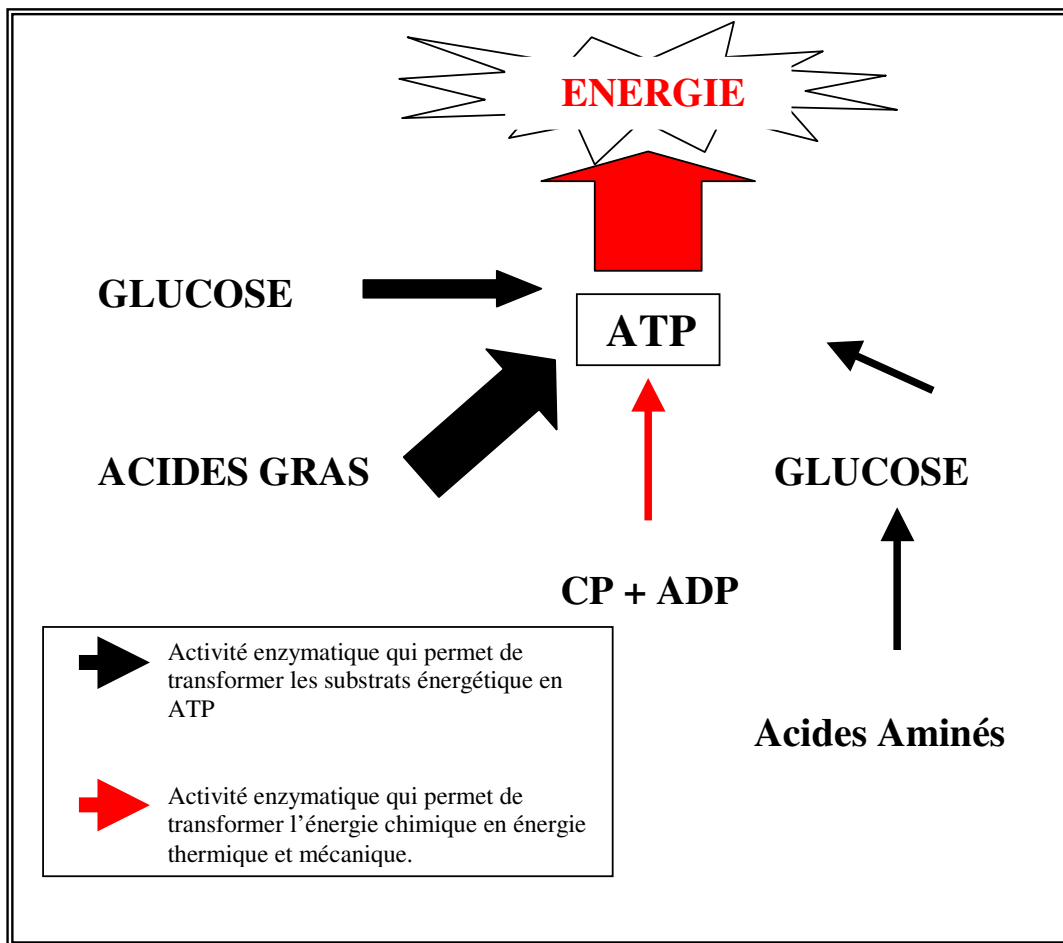
Cependant les réserves énergétiques en glucose ne sont pas non plus inépuisables. Le glucose est stocké dans le foie et les muscles sous une autre forme, le *glycogène\**. Le glycogène de réserve est progressivement mobilisé pour être lâchée dans la circulation sanguine sous forme de glucose.

Lorsque les réserves en glycogène sont faibles ou épuisées, notre organisme est obligé de faire appel à d'autres formes de substrats énergétiques. Ainsi, les lipides (*acides gras libres\**: AGL) et certaines protéines (*acides aminés\**: AA) sont pris en charge par un mécanisme enzymatique qui permet de transformer les AGL en ATP. En revanche les AA sont transformés en glucose car ils ne sont pas directement utilisable par le muscle comme substrat énergétique. Ce glucose ainsi synthétisé est relâché dans la sang pour être transporter jusqu'au muscle ou il sera de nouveau transformer par un processus enzymatique pour aboutir à la synthèse de nouvelles molécules d'ATP.

Lorsque l'ATP est consommé il est resynthétisé dans un premier temps grâce à la Créatine Phosphate, puis le glucose lorsque l'effort se prolonge au-delà d'une vingtaine de secondes.

Lorsque les réserves de glycogène ne permettent plus de libérer du glucose dans la circulation, ce sont les lipides et les acides aminés qui assure la resynthèse de ATP.

Schémas récapitulatif des sources énergétiques assurant la resynthèse de l'ATP



Nous savons désormais que notre muscle produit de l'énergie grâce à la phosphorylation de l'ATP, et que l'ATP est renouvelé par la Créatine Phosphate, le glucose circulant, les acides gras, et parfois les acides aminés.

## 2 . La capacité énergétique :

Le terme capacité est employé en biologie du sport pour définir la quantité d'énergie disponible dans l'organisme. Nous disposons de plusieurs sources de substrats énergétiques dont les capacités sont très différentes.

Nous avons expliqué que la quantité d'ATP directement disponible aux muscles est très faible, et permet de courir quelques secondes au sprint. La créatine phosphate, autre substrat énergétique, ne permet pas non plus de poursuivre l'effort très longtemps, cette dernière se voit épuisée en quelques dizaines de secondes. Il nous reste donc le glycogène, les lipides et les acides aminés.

Les acides aminés ne sont pas non plus une source énergétique importante pour l'organisme dans la mesure où il ne sont pas fait pour être utilisés comme substrat énergétique. Ils sont toutefois détournés à des fins énergétiques dans des conditions extrêmes. Pour que les AA soient mobilisés il faut que le glycogène soit épuisé et que la combustion des lipides devienne insuffisante. Ainsi, les AA sont transformés en substrats énergétique pour des efforts de plusieurs heures à des intensités maximales. (*marathon, course cycliste, triathlon, course à étape*). Bien souvent la fatigue qui attend l'athlète l'empêche de mobiliser ses AA de façon trop prononcée, cela serait préjudiciable pour sa santé, et ses performances à venir ainsi que sa capacité de récupération.

En revanche le glycogène et les lipides sont des substrats énergétiques présent en grande quantité dans l'organisme. Ce sont donc les carburants du muscle les plus déterminants dans les sports d'endurance. En effet la quantité de glycogène stocké dans les muscles et le foie permet théoriquement de faire un effort de 1 à 2 heures à une intensité forte. Quant aux lipides ils sont présents en grande quantité, et représente une réserve énergétique qui permettrait théoriquement de courir pendant plusieurs jours. Nous disons bien en théorie, car en réalité nos muscles et notre organisme sont limités par d'autres facteurs plus complexes qui nous oblige à arrêter l'effort bien avant que nos réserves lipidiques soient épuisées.

Nos réserves énergétiques en ATP et CP sont donc très faibles et peu déterminante de la capacité d'endurance, tandis que le glycogène et les lipides sont présents en grande quantité et permettent d'effectuer des efforts de très longue durée à une intensité modérée à forte.

## Les capacités énergétiques en chiffres

Substrat énergétique	Quantité d'énergie mobilisable.	Valeur énergétique	Temps d'effort maximale théorique
ATP + CP	20 à 30 g	15 à 25 kJ 3.5 à 6 kcal	Quelques secondes
Glycogène	300 à 600 g	5 000 à 10 000 kJ ou 1200 à 2400kcal	1 à 3 heures
Lipide	Plus de 3.5kg	Plus de 130 000 KJ ou 30 000 kcal	Plusieurs jours
Acides aminés	<i>Substrat énergétique d'appoint.</i>		

Lorsque les réserves en glycogène chutent au cours de l'effort, le foie est capable de produire du glucose à partir de certains AA, mais aussi à partir de certains déchets produits au cours de l'effort (*acide lactique\**) et de *glycérol\**.

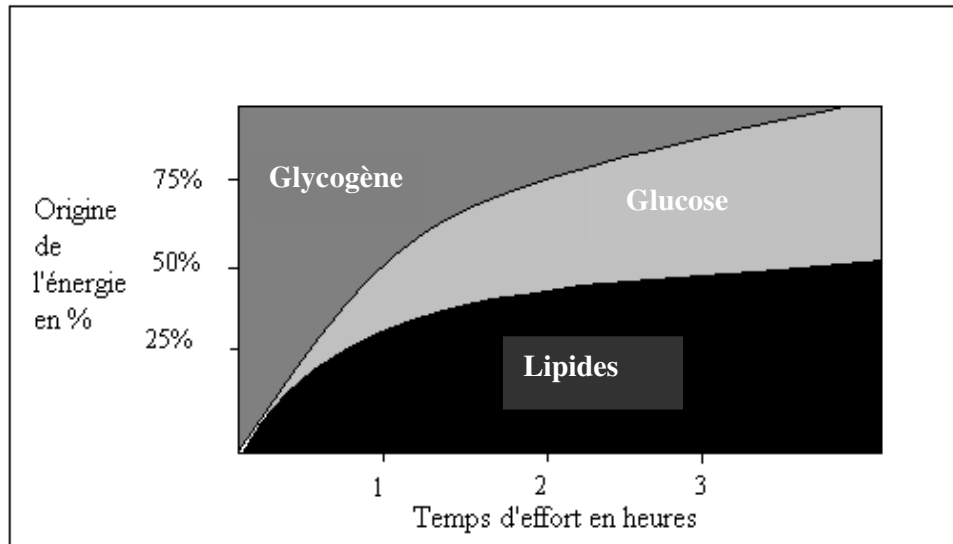
Quant aux lipides métabolisés, ils proviennent des acides gras libres libérés par le plasma sanguins ou des triglycérides plasmatiques et musculaires. Pendant l'effort en endurance, la quantité d'AGL dans le sang augmente à mesure que chute les réserves en glycogène.

Ce qu'il faut préciser c'est que lors d'un effort en endurance nos muscles consomment un mélange de plusieurs substrat énergétique. Il s'agit la plupart du temps d'un mixage de glucoses et lipides. Plus l'effort est long et plus ce mélange sera riche en lipides puisque le glycogène aura tendance à s'épuiser. De même que l'intensité de l'effort joue un rôle déterminant sur la composition de ce mélange. Plus l'effort est intense et plus les muscles consomment de glycogène. Les lipides ne sont pas un carburant mobilisable pour des intensités fortes.

Plus l'effort est long et d'une intensité faible et plus le muscle consomme les lipides, plus l'effort est court et intense et plus le muscle consomme le glycogène.

L'entraînement joue aussi un rôle important sur le type de mélange utilisé par le muscle, plus on est entraîné et plus le muscle consomme facilement les lipides

Evolution du mélange en substrat énergétique à l'effort prolongé à 75 % de VO2max.



La figure ci dessus permet de visualiser la répartition des substrats énergétiques au cours d'un effort en endurance de plusieurs heures.

On s'aperçoit que les réserves en glycogène s'épuisent relativement vite. Cette déplétion de la concentration en glycogène dans le muscle est compensée par un phénomène de *néoglucogenèse*\* qui assure la libération de glucose par le foie. Lorsque les athlètes sont très entraînés leur capacité à libérer du glucose est suffisante pour finir la compétition dans de bonne condition. En revanche, en cas d'entraînement insuffisant ou mal ciblé, l'athlète voit ses performances s'effondrer à mesure que s'épuise le glycogène musculaire et hépatique .

Quant au rôle des lipides il devient un facteur d'endurance très important dès que l'effort se prolonge au-delà d'une heure. C'est la capacité à mobiliser les lipides qui peut devenir un facteur limitant de la performance en endurance. Celle ci dépend encore une fois du niveau et de l'orientation de l'entraînement de l'athlète.

## Lexique :

- **Acides Aminés (AA)** : les AA sont le résultat de la digestion des protides. Ces derniers sont composés d'un ensemble d'AA. les AA sont composés d'un groupe carboné ( $CO_2/H_2O$ ) qui permet de libérer de l'énergie et d'un groupe azoté qui est à l'origine de certains déchets de l'organisme. (*urée, ammonium, acide urique*)
- **Acides Gras Libre (AGL)** : Il s'agit de molécules de graisse qui circulent dans le sang sans molécule de transport et qui sont détournées à des fins énergétiques.
- **Acide Lactique (AL)** : Déchet issue de la dégradation du glycogène en énergie. L'AL peut être capté par le foie et le myocarde pour être réutilisé à des fins énergétiques.
- **Adénosine triphosphate (ATP)** : Source d'énergie final et unique que le muscle est en mesure d'utiliser pour produire et transformer l'énergie chimique en énergie mécanique et thermique.
- **Créatine Phosphate (CP)** : la créatine est une molécule composé de 3 acides aminés, associé au phosphate la CP permet de libérer de l'énergie en séparant le phosphate de la créatine.
- **Glycérol** : C'est un produit de dégradation du glucose qui se combine à trois acides gras pour constituer des triglycérides, et qui lors de l'effort peu redonner du glucose en libérant ses acides gras.
- **Glycogène** : Forme de stockage dans les muscles et le foie des glucides alimentaires.
- **Enzyme** : Ce sont des protéines particulières qui servent de moule à des réactions chimiques. Ce sont les catalyseurs de nos tissus, ils permettent le déroulement de processus de transformation ou de construction.

- **Métabolisme** : le métabolisme comprend des processus divers tels que le stockage de l'énergie, la dépense énergétique par différentes voies de dégradation.
- **Néoglucogenèse** : Phénomène bioénergétique qui assure la synthèse de glucose par le foie à partir de glycérol, d'acide lactique et des acides aminés.

## Les filières énergétiques

### Introduction :

Les muscles sont capables de produire de l'énergie mécanique et thermique grâce à la dégradation des différents substrats énergétiques que nous avons étudiés dans les pages précédentes. S'il existe plusieurs substrats énergétiques que le muscle peut utiliser, la façon d'utiliser ses différents substrats peut varier selon la présence ou non d'oxygène.

On parle donc de filières énergétiques pour définir le type de substrats énergétiques et la manière dont ils sont métabolisés.

En physiologie de l'effort nous distinguons donc 3 filières énergétiques :

- la filière anaérobie alactique
- la filière anaérobie lactique
- la filière aérobie

Chacune de ces filières permet de produire une quantité d'énergie plus ou moins importante à des puissances très variables.

### 1 . Filière anaérobie alactique (A A)

Le mot *anaérobie* signifie que la contraction musculaire peut se produire sans oxygène. L'absence d'oxygène est un cas de figure très courant en sport. Par exemple en début d'effort, il faut un certain temps pour que l'oxygène inspiré se déplace des poumons jusqu'aux muscles. Ou encore lorsque l'effort est court et très violent, nos muscles sont capables de fonctionner à une intensité bien supérieure à ce qu'il serait possible avec de l'oxygène.

Le mot *alactique* signifie que le fonctionnement de cette filière énergétique ne s'accompagne pas d'une production d'acide lactique, et donc que le glycogène n'intervient pas dans cette filière énergétique. En effet, nous venons de voir que seule la dégradation du glycogène peut s'accompagner d'une production d'acide lactique.

La filière Anaérobie Alactique permet donc de produire de l'énergie sans oxygène en utilisant l'ATP et la CP comme carburant.



## 2 . La filière Anaérobie Lactique.

C'est la même chose pour cette filière, elle peut fonctionner en absence d'oxygène. Toutefois, elle s'accompagne d'une forte production d'acide lactique, ce qui signifie que le carburant mis en jeu est le glycogène musculaire.

Le gros inconvénient de cette filière énergétique est qu'elle épuise le glycogène beaucoup trop vite et qu'elle engorge les muscles d'acide lactique et d'hydrogène ( $H^+$ ). La présence d'acide dans les muscles a tendance à faire baisser le pH intra musculaire et sanguin ce qui perturbe fortement la capacité de travail de l'organisme et des muscles.

La filière A L permet de produire de l'énergie en absence d'oxygène en utilisant le glycogène comme carburant. Elle s'accompagne également d'une forte production d'acide lactique et d'ions hydrogène ( $H^+$ ).

## 3 . La filière aérobie :

Le mot aérobie nous indique qu'il y a présence d'oxygène et que les réactions biochimiques qui permettent de délivrer l'énergie nécessite un apport d'oxygène et de substrats énergétiques. De plus la production d'acide lactique est très faible et sera facilement recyclée.

Les carburant mis en jeu sont le glucose et les lipides. En présence d'oxygène ces substrats permettent de délivrer une grande quantité d'énergie ce qui permet d'effectuer des efforts de très longue durée. En revanche la puissance de cette filière énergétique est relativement faible. Elle ne permet de subvenir seule aux besoins énergétiques d'un effort court et maximal de moins de 2 minutes.

La filière Aérobie permet l'oxydation des substrats énergétiques sans accumulation d'acide lactique. Ce qui permet de réaliser des efforts de longue durée, mais relativement moins intense que les deux autres filières énergétiques.

En résumé, on peut comparer nos filières énergétiques à une voiture qui disposerait de trois moteurs de puissance différente et dont les réservoirs sont plus ou moins grand. Plus le moteur est puissant et plus le réservoir sera petit. De plus les moteurs auront un fonctionnement plus ou moins propre.

Fonctionnement des filières énergétiques

Filière	Conditions particulières	Substrat énergétique	Capacité énergétique
Anaérobie Alactique	Sans oxygène	<i>Hydrolyse*</i> de l'ATP et CP	Très Faible, 20 secondes
Anaérobie Lactique	Sans oxygène, production acide lactique	<i>Glycolyse*</i> du Glycogène	Faible, 20 secondes à 2 minutes
Aérobie	Avec oxygène	Glycolyse du Glycogène	Importante, jusqu'à 2 heures
	Avec oxygène	<i>Lipolyse*</i> des AGL et triglycérides	Très importante, plusieurs heures

#### 4 . Puissance et capacité des filières énergétiques

Lorsque qu'un coureur prend le départ d'un contre la montre, il mobilise ses trois filières énergétiques. Au départ, ses muscles fonctionnent grâce à l'ATP et la CP présentés dans le muscle, il mobilise son métabolisme AA durant 10 à 20 secondes. Lorsque la capacité AA est épuisée le muscle va faire appel à la glycolyse anaérobie dont la capacité sera d'environ 2 minutes d'efforts. Enfin, le métabolisme aérobie entre en jeu de façon prépondérante jusqu'à l'arrivée. En réalité, les trois filières énergétiques démarrent en même temps, c'est la prépondérance des unes par rapport aux autres qui permet de définir le processus énergétique mis en jeu.

Si chacune des filières énergétiques dispose d'une capacité énergétique très variable, elles présentent aussi une puissance maximale qui est liée à la durée d'effort. Par exemple la filière anaérobie alactique atteint sa puissance maximale dès les premières secondes d'effort tandis que la filière aérobie développera toute sa puissance métabolique après plusieurs minutes d'effort.

A chaque filière correspond donc une puissance maximale et une capacité énergétique. Contrairement à un moteur de voiture notre organisme ne peut pas se maintenir indéfiniment à son plus haut régime.

La connaissance de ces mécanismes énergétiques est indispensable pour l'entraîneur ou l'athlète qui souhaite cibler son entraînement, et développer les capacités métaboliques souhaitées

Puissance, Capacité et délai de récupération des filières.

Filière	Puissance maximale	Capacité énergétique	Temps de récupération
Anaérobie Alactique	700 à 1500 watts mécaniques 0 à 7 secondes	7 à 20 secondes	3 à 10 minutes pour re synthétiser l'ATP et CP
Anaérobie lactique	500 à 700 watts mécaniques 20 à 40 secondes	40 secondes à 2 minutes	7 à 20 minutes
Aérobie	150 à 500 watts mécaniques 3 à 7 minutes	7 minutes à plusieurs heures.	15 minutes à plusieurs heures, voir plusieurs jours selon la durée d'effort.

Il est évident qu'en cyclisme et dans la plupart des sports d'endurance la filière aérobie est celle qui nous intéresse le plus en effet la durée des efforts est telle que les métabolismes anaérobies ne seront pas très déterminants. L'aptitude aérobie détermine le niveau de pratique ou la catégorie dans laquelle on évolue. Toutefois, dans le cyclisme de compétition, ce serait une erreur que de négliger l'importance des métabolismes anaérobies. En effet, ces deux métabolismes permettent de départager des coureurs de niveau très proche ou encore de faire la différence pour disputer la victoire. Les sprinters, par exemple disposent généralement d'une puissance et d'une capacité anaérobie qui leurs permettent plus facilement de se départager des autres.

## 5. Aptitude aérobie et performance en endurance

La performance sportive dans les sports d'endurance est fortement corrélée à l'aptitude aérobie. Dans la notion d'aptitude aérobie il faut

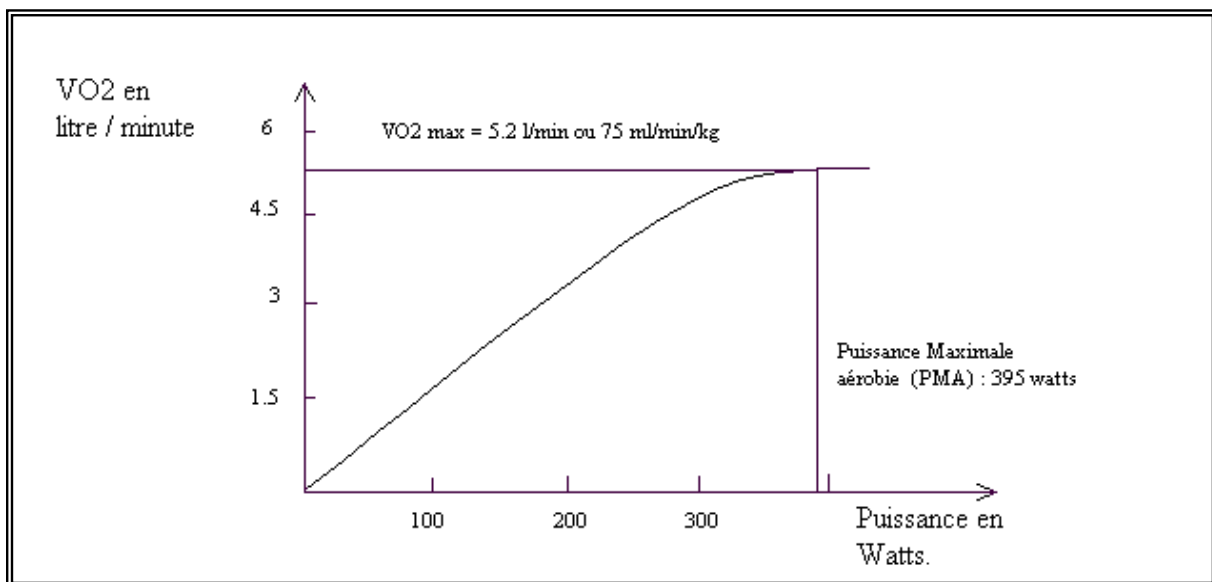
inclure la capacité des muscles à consommer de l'oxygène, les mécanismes enzymatiques qui assurent la dégradation et la mobilisation des différents substrats énergétiques, mais aussi la capacité à ne pas accumuler d'acide lactique au cours de l'effort et le *rendement énergétique\**.

La consommation maximale d'oxygène est mesurée en laboratoire. On appelle cette mesure le *VO2 Max\**, il s'agit du débit maximal de consommation d'oxygène. Bien entendu, plus le VO2 sera important et plus l'organisme sera capable de produire de l'énergie par l'intermédiaire de son métabolisme aérobie. Finalement on peut comparer le VO2 à la cylindrée d'une voiture. Toutefois, il est possible que deux athlètes qui disposent du même VO2 soient de niveaux très différents. Il ne s'agit pas d'un facteur qui permet de prédire le niveau de performance dans une population de sportif. Les valeurs de VO2max varient de 30 ml d'O2/min/kg chez le sédentaire à 85 voir 90 ml d'O2/min/kg chez des athlètes de niveau international.

Les réserves énergétiques et le rendement seront déterminant de l'endurance. En revanche le VO2max déterminera la puissance aérobie.

Le rendement est lié à l'utilisation des substrats énergétiques, mais aussi à la coordination des muscles mis en jeu dans l'activité physique en question.

Relation entre le VO2 et l'intensité de l'effort.



Dans l'exemple ci dessus, on remarque que la consommation d'oxygène augmente progressivement avec l'intensité de l'effort. Toutefois, à partir d'une certaine intensité d'effort, la consommation d'O<sub>2</sub> n'augmente plus alors que l'effort peut encore augmenter. Le palier en question correspond à la puissance maximale aérobie (PMA) ou puissance maximale à VO<sub>2</sub>max (PM VO<sub>2</sub>). La distinction entre PMA et PM VO<sub>2</sub> est nécessaire lorsque l'athlète atteint son VO<sub>2</sub>max sans utiliser sa Puissance Maximale Aérobie Ce cas de figure est courant dans des compétition de demi-fond ou lors d'effort maximale de 10 à 20 minutes. Il est possible que le rendement de l'organisme se dégrade lors de l'effort. Nous verrons plus loin les causes possible de ce phénomène.

Au cours d'un effort progressif le VO<sub>2</sub> plafonne à une intensité que l'on appelle la PMA ou PM à VO<sub>2</sub>. Il est toutefois possible d'augmenter encore la puissance développer, mais le VO<sub>2</sub> reste stable et l'effort sera de courte durée jusqu'à épuisement de la capacité anaérobie.

## Lexique

- **Glycolyse** : procédé enzymatique qui permet la transformation du glycogène en ATP. On distingue la glycolyse aérobie et anaérobie dont l'activité enzymatique est différente du fait de la présence ou non d'oxygène.
- **Hydrogène** : les atomes d'hydrogènes sont issus de la glycolyse anaérobie, il participe à la diminution du pH et l'augmentation de l'acidité de l'organisme. Les ions hydrogènes sont pris en charge par un système tampon (*bicarbonates*) qui les transforme en eau et en gaz carbonique. ( $\text{HCO}^{3-} + \text{H}^+ \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ ).
- **Hydrolyse** : procédé enzymatique qui permet la transformation de l'ATP en énergie mécanique et thermique.
- **Lipolyse** : procédé enzymatique qui permet la transformation des lipides en ATP.
- **Rendement énergétique** : Nos muscles ont un rendement de l'ordre de 25%. Ce qui veut dire que seulement 25% de l'énergie chimique est transformée en énergie mécanique, les 75% restant sont transformés en énergie thermique. C'est la raison pour laquelle l'effort augmente la température du corps.
- **VO2 max** : Débit de consommation maximale d'oxygène que l'organisme est capable d'utiliser à des fins métaboliques.