

Physiologie – Athlétisme
Cours numéro 4

Les mitochondries et la filière aérobie

Physiologie – Athlétisme
Cours numéro 4

- I. Introduction
- II. Rappels filière anaérobie alactique
- III. Rappels filière anaérobie lactique
- IV. Les mitochondries
- V. La filière aérobie
- VI. Amélioration de la filière aérobie
- VII. L'aérobie en pratique

I. Introduction

Jusqu'à présent, nous avons parlé des deux **filières anaérobies**, celles qui ne nécessitent pas d'oxygène pour produire de l'énergie.

Cependant, l'évolution nous a dotés de **poumons**, un outil indispensable pour extraire l'oxygène de notre environnement et l'utiliser pour notre survie physiologique.

D'ailleurs, si nous arrêtons de respirer, il devient difficile de rester conscient plus de 1 à 2 minutes, et la mort survient généralement au bout de 5 à 15 minutes... Sans oxygène, l'énergie vient rapidement à manquer, entraînant des conséquences fatales.

Ainsi, les **filières anaérobies**, bien qu'importantes, ont une capacité limitée à nous maintenir en vie sans oxygène.

C'est pourquoi nous allons aujourd'hui discuter de la **filière aérobie**, celle qui utilise l'oxygène pour nous fournir de l'énergie dans toutes les circonstances.

II. Rappels filière anaérobie alactique

- **Puissance** : Très élevée, atteinte presque immédiatement.
- **Inertie** : Pratiquement inexistante
- **Capacité** :
 - 3 à 5 secondes à puissance max
 - 20 à 30 secondes au total
- **Substrat** : Phosphocréatine

Cette filière s'apparente à un dragster, Elle permet de provoquer un turnover d'ATP très rapide.

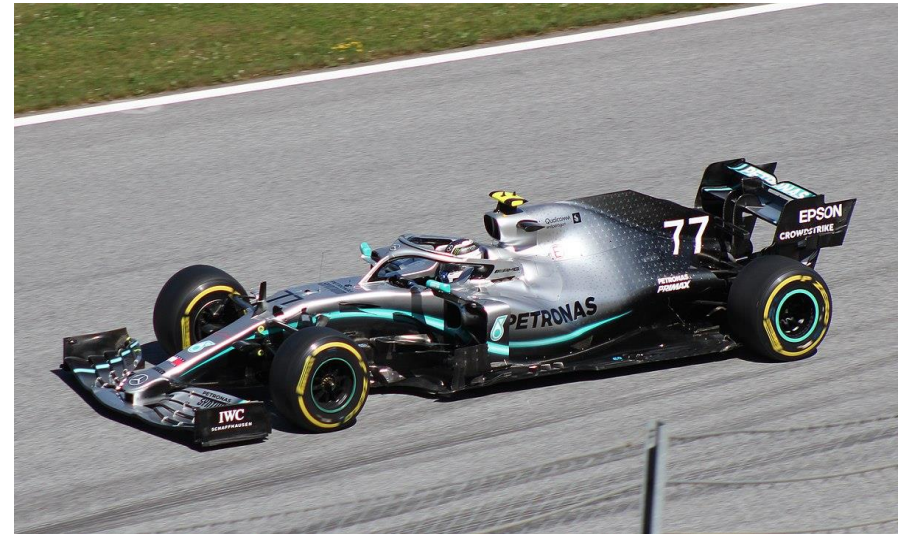
Ceci va permettre un apport d'ATP extrêmement important dans les muscles afin de créer des contractions musculaires fortes et rapides.

De plus, cette filière ne crée aucun déchets métaboliques, sa baisse de puissance vient donc d'un autre facteur → Son substrat, la phosphocréatine, dont les stocks intramusculaires sont faibles.



III. Rappels filière anaérobie lactique

- **Puissance** : Elevée à moyenne
- **Inertie** : 5 à 10 secondes avant d'arriver à pleine puissance
- **Capacité** : Moyenne
 - 10 à 40 secondes à pleine puissance
 - 2 minutes à intensité sous-max
- **Substrats** : Glucose/Glycogène



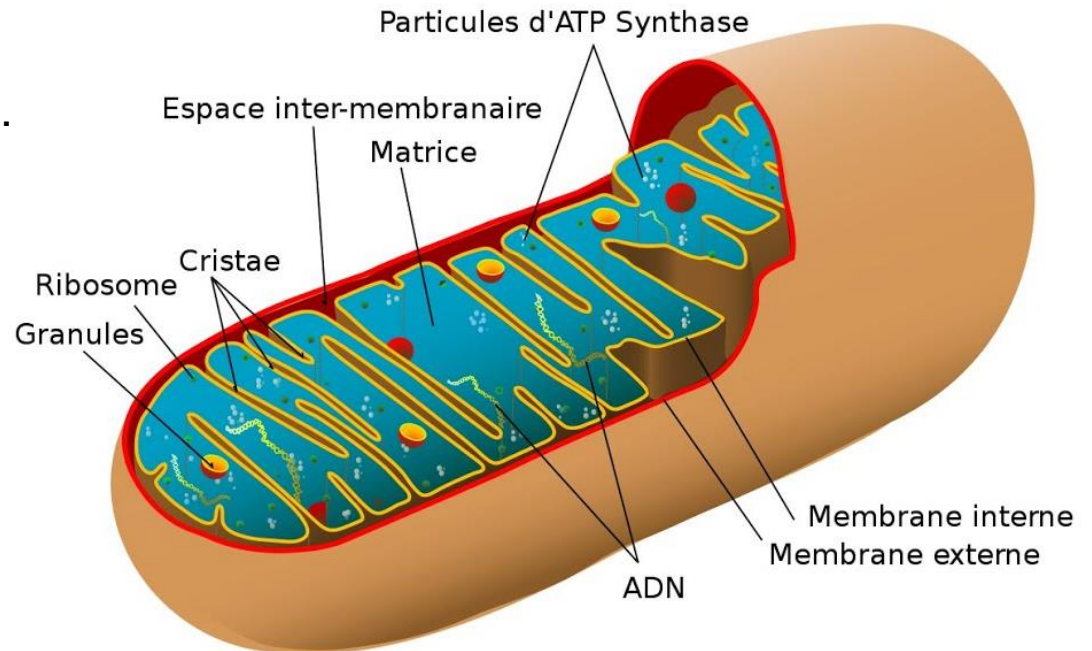
Cette filière s'apparente à une formule 1, **puissante et légèrement endurante** mais qui provoque de la « casse ». La filière anaérobie lactique permet de continuer à créer de l'énergie de manière assez puissante, mais le prix à payer est la création et l'accumulation de déchets métabolique venant perturber les contractions musculaires provoquant la diminution de la performance (= les pneus qui s'usent)

IV. Les mitochondries

Les **mitochondries** sont des organites ou métabolites, présents dans toutes les cellules.

Ce sont elles qui produisent l'énergie nécessaire à tous les processus biochimiques.

Elles utilisent **l'oxygène** pour transformer le **glucose** et les **lipides** en molécules d'ATP.

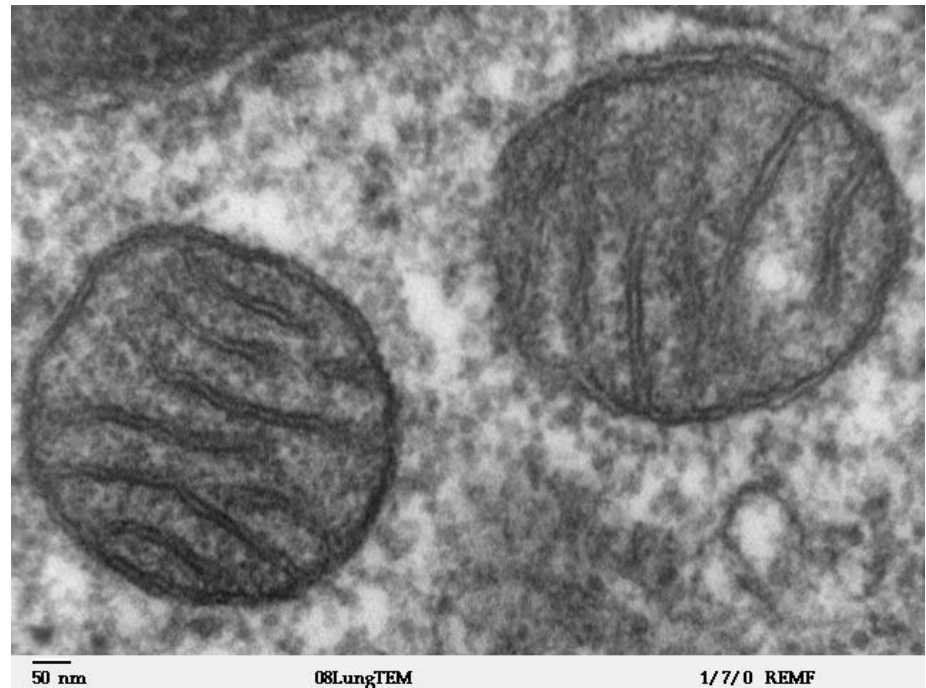


IV. Les mitochondries

Les mitochondries sont qualifiées de « **centrales énergétiques** » de la cellule. Moteur incontournable de la filière aérobie.

Elles sont les descendantes de bactéries qui se sont **intégrées** aux cellules d'autres organismes il y a des milliards d'années.

Tout comme les bactéries, les mitochondries se multiplient en se subdivisant, elles sont entourées d'une double paroi et elles contiennent **leur propre ADN**.

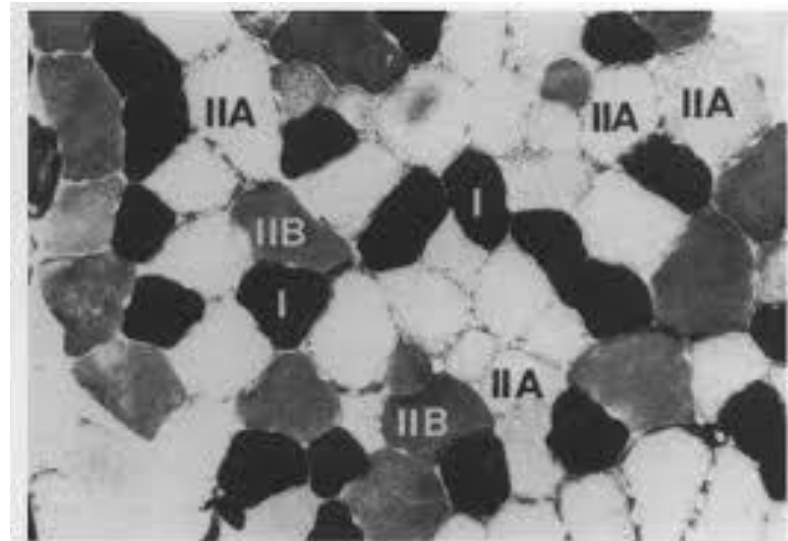
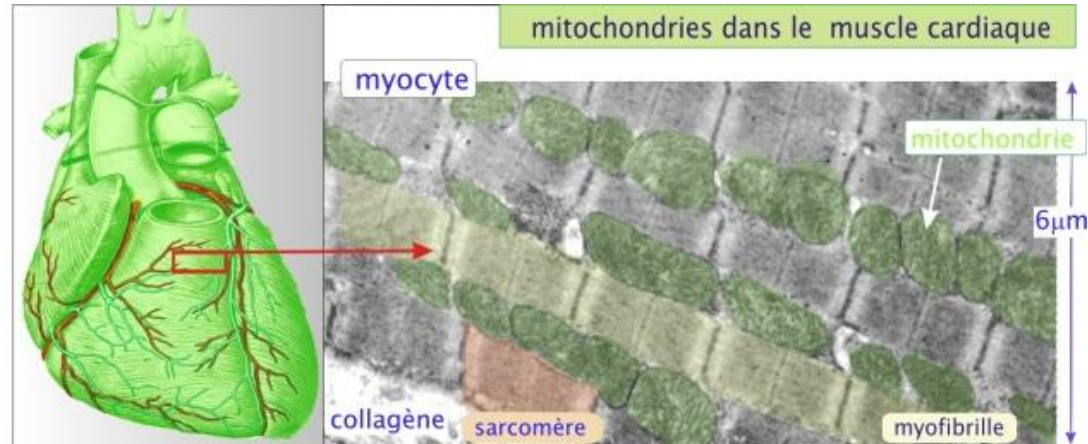


IV. Les mitochondries

Les **fibres musculaires lentes** sont riches en mitochondries, ce qui leur permet de développer une **grande capacité aérobie**.

En revanche, les **fibres musculaires rapides** contiennent peu ou pas de mitochondries, ce qui les rend **moins efficaces** dans la production d'énergie aérobie et **moins endurantes** lors d'efforts prolongés.

Sur cette illustration, nous pouvons observer des **fibres musculaires d'un quadriceps** plongées dans une solution qui colore les mitochondries.



V. La filière aérobie

P. UISSANCE	Faible et dépendante de la VO2max	
I. NERTIE	Longue 2 à 3 minutes	
C. APACITE	Tenue de la puissance maximale : <ul style="list-style-type: none"> • 4 à 8 minutes (Temps limite) 	Capacité totale : <ul style="list-style-type: none"> • Théoriquement illimitée
S. UBRAT	<ul style="list-style-type: none"> • Glucose (glycolyse aérobie -> cycle de Krebs -> chaîne respi) • Lipides (Oxydation lipidique) • Protéines 	
R. ECUPERATION	24 à 32 heures	

V. La filière aérobie



C'est notre voiture de tous les jours, celle qui nous permet de **vivre au quotidien**. Cette filière est **théoriquement inépuisable** puisque les substrats essentiels à son fonctionnement sont difficilement épuisables à 100%.

V. La filière aérobie

A. Voie du glucose : Etape 1 Glycolyse aérobie

Elle comprend les mêmes étapes que la glycolyse anaérobie, sauf qu'elle ne va pas produire de déchets lactiques et qu'elle va utiliser l'O₂ pour créer de l'énergie.

La glycolyse aérobie représente la **première étape** de la création d'énergie aérobie grâce au glucose et à l'oxygène. Cette étape crée **2 à 3 ATP** selon la puissance de l'effort.

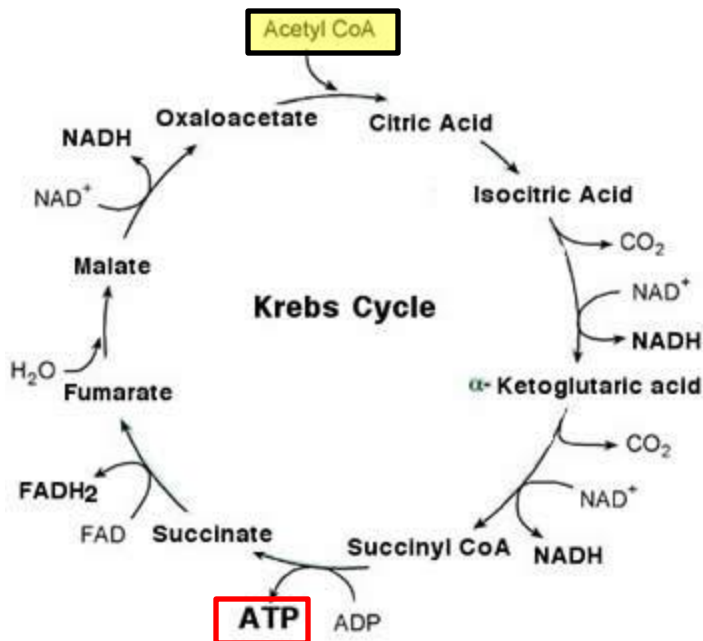
Pour rappel, 1 gramme de glucose contient 4kcal d'énergie.

Glucose + Oxygène → Acide Pyruvique → **AcétylCoA (C2)**

V. La filière aérobie

B. Voie du glucose : Etape 2 Cycle de Krebs

La deuxième étape est l'utilisation du **cycle de Krebs** ayant lieu dans la **mitochondrie**



Le cycle de Krebs est un ensemble de réaction chimique qui va transformer l'AcetylCoA à chaque tour de cycle en :

- 2 CO₂
- **1 ATP**
- 3 NADH₂ et 1 FADH₂

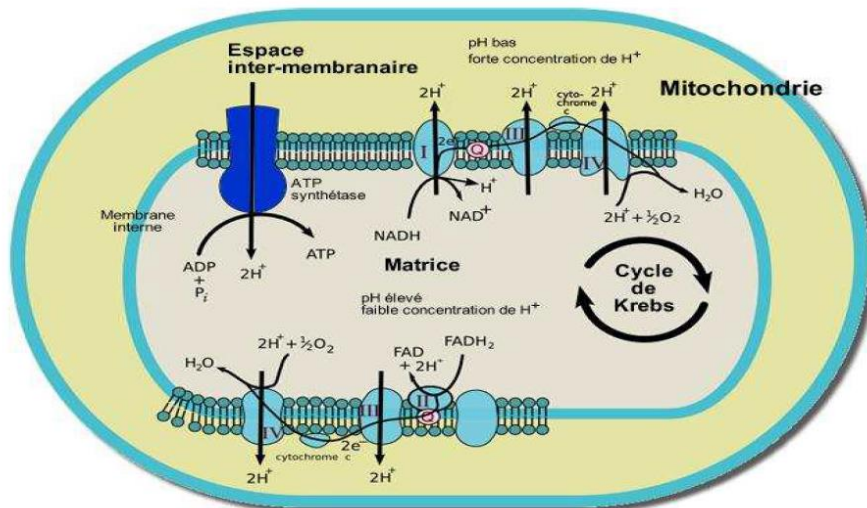
Plus la puissance de l'effort demandé est importante, plus le cycle va tourner rapidement.

V. La filière aérobie

C. Voie du glucose : Etape 3 Chaine respiratoire

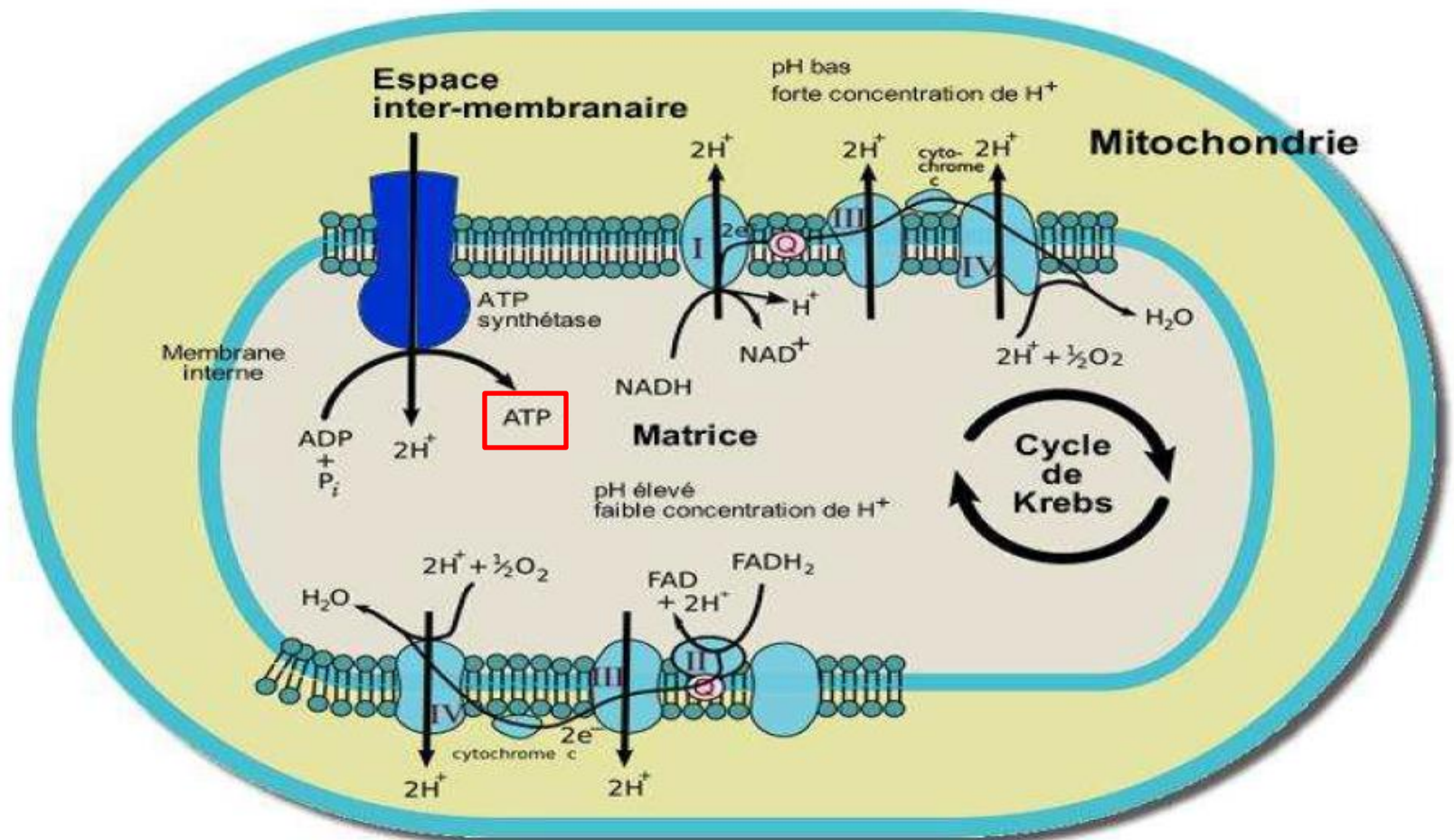
La troisième et dernière étape est l'utilisation de la **chaîne respiratoire** dans la **mitochondrie** :

Le passage des NADH et FADH dans les complexes I, II, III, IV vont entrainer une réaction en chaine provoquant la création de **2H+** dans l'espace intermembranaire. Ces 2H+ vont ensuite repasser dans la matrice de la mitochondrie provoquant la transformation d'ADP+Pi en **ATP (4 à 5)**.



V. La filière aérobie

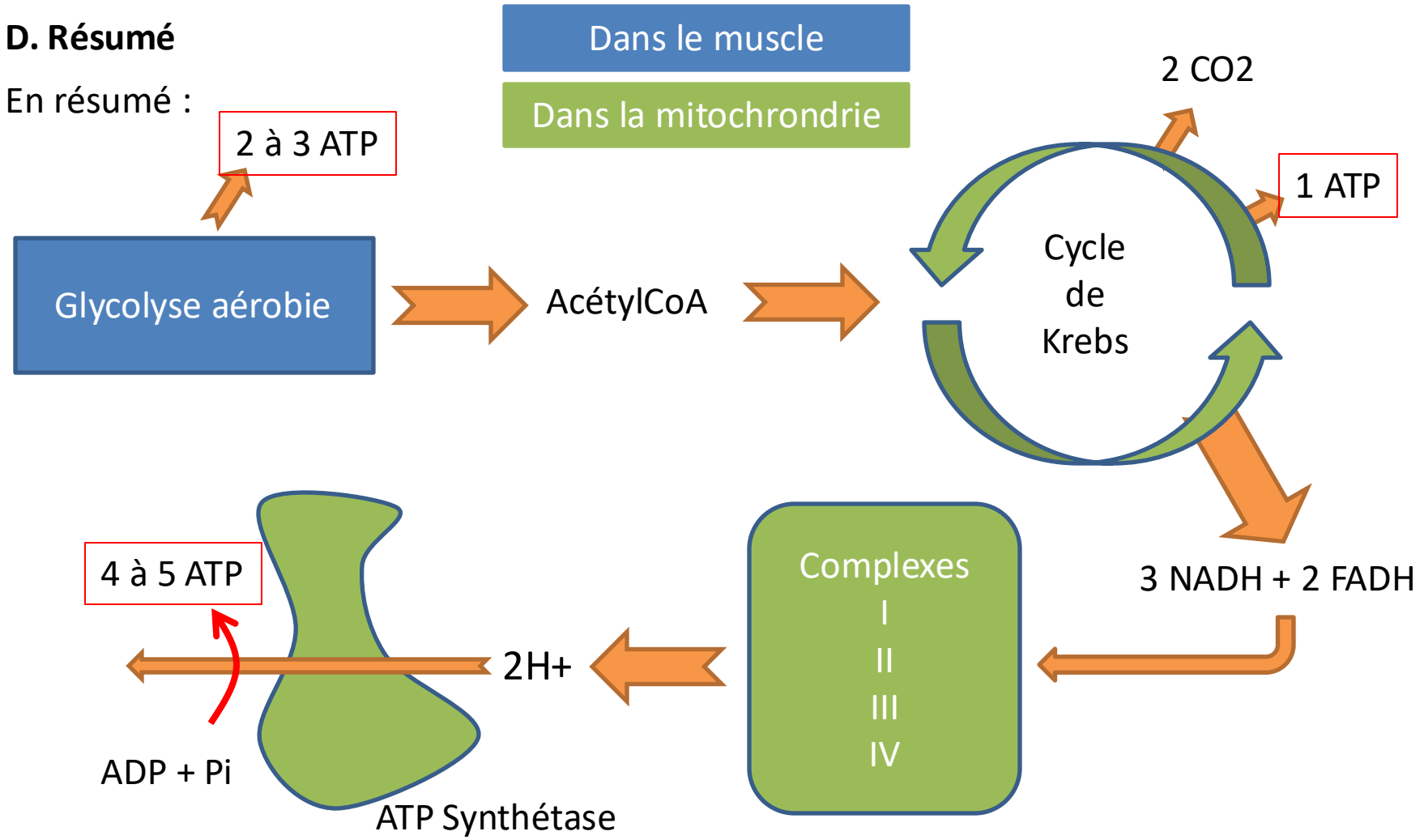
C. Chaîne respiratoire



V. La filière aérobie

D. Résumé

En résumé :



V. La filière aérobie

E. Voie des lipides : L'oxydation lipidique

Grâce au phénomène de **β -oxydation**, qui s'intègre dans le **cycle de Krebs**, les acides gras sont utilisés pour produire des **NADH** et des **FADH**, qui alimentent la chaîne respiratoire des mitochondries.

Dans la mitochondrie, la **glycolyse aérobie** et la **β -oxydation** travaillent conjointement pour fournir l'énergie nécessaire au renouvellement de l'**ATP**.

Les acides gras, étant de longues chaînes moléculaires, présentent l'avantage de produire une grande quantité d'énergie et de permettre un fonctionnement prolongé du cycle de Krebs.

- **1 gramme de lipides** contient **9 kcal** d'énergie.

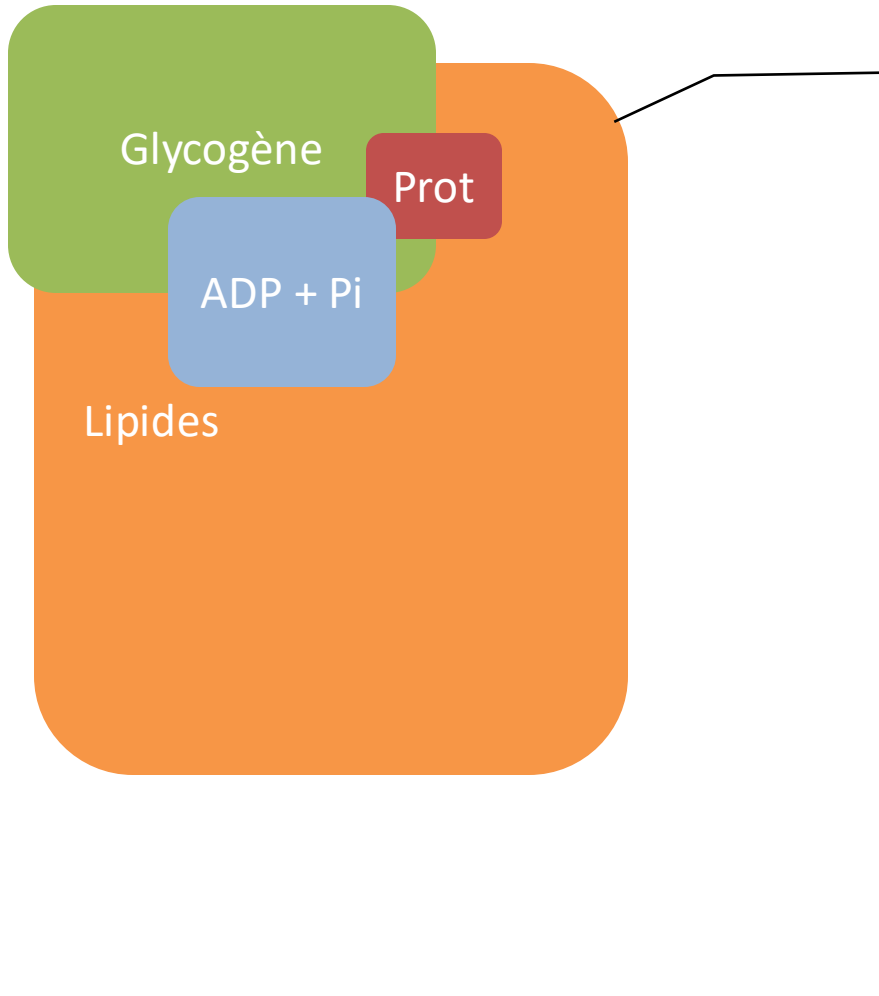
La densité énergétique des lipides, nettement supérieure à celle des glucides, explique pourquoi le corps humain a privilégié le **stockage massif** de ce substrat comme réserve d'énergie.

V. La filière aérobie

C. Informations supplémentaires

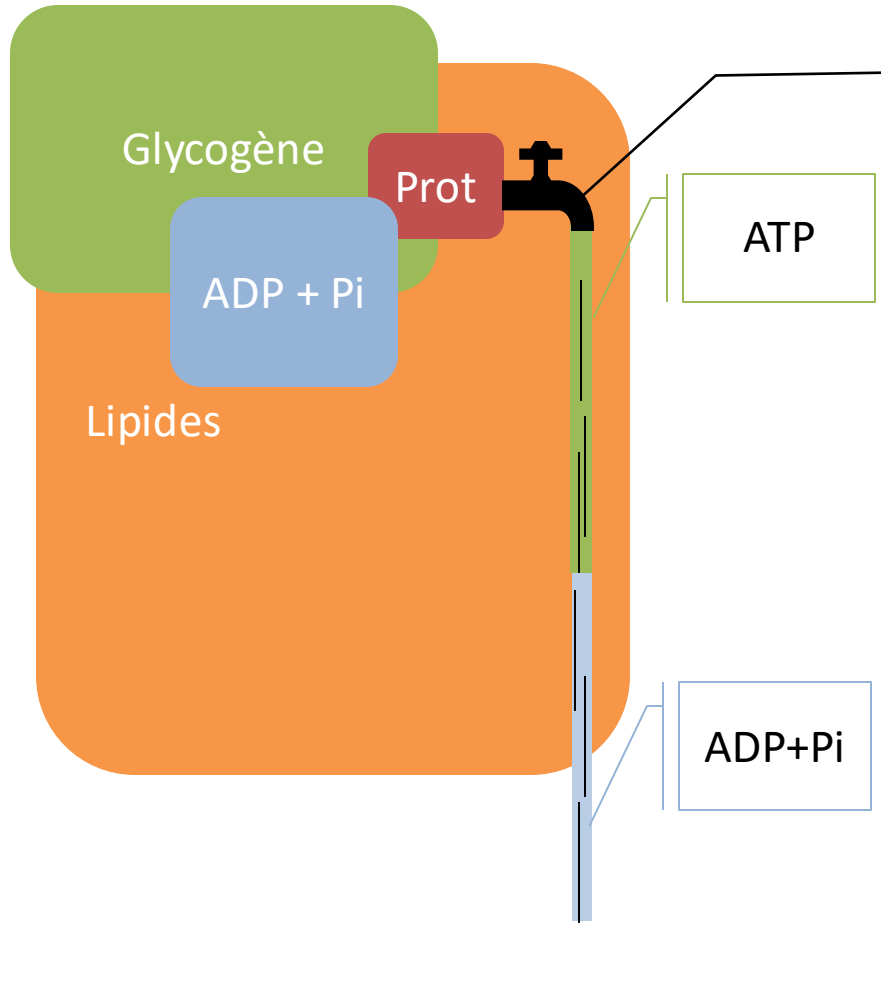
- Lors d'un effort modéré, les glucides couvrent (variable...) **environ 1/3 des besoins énergétiques**
- La dégradation aérobie des glucides produit de l'énergie plus rapidement que la dégradation des lipides mais moins longtemps.
- Les deux nutriments sont utilisés en même temps en mode aérobie, les glucides sont utilisés plus rapidement et vont être épuisés plus rapidement. C'est donc pour cela que petit à petit, l'utilisation des lipides deviendra plus importante.
- Les lipides fournissent entre 30 à 80% de l'énergie nécessaire à un exercice modéré
 - Dépend de :
 - Du statut nutritionnel
 - La forme physique du moment
 - La durée et l'intensité de l'exercice

VI. Amélioration de la filière aérobie



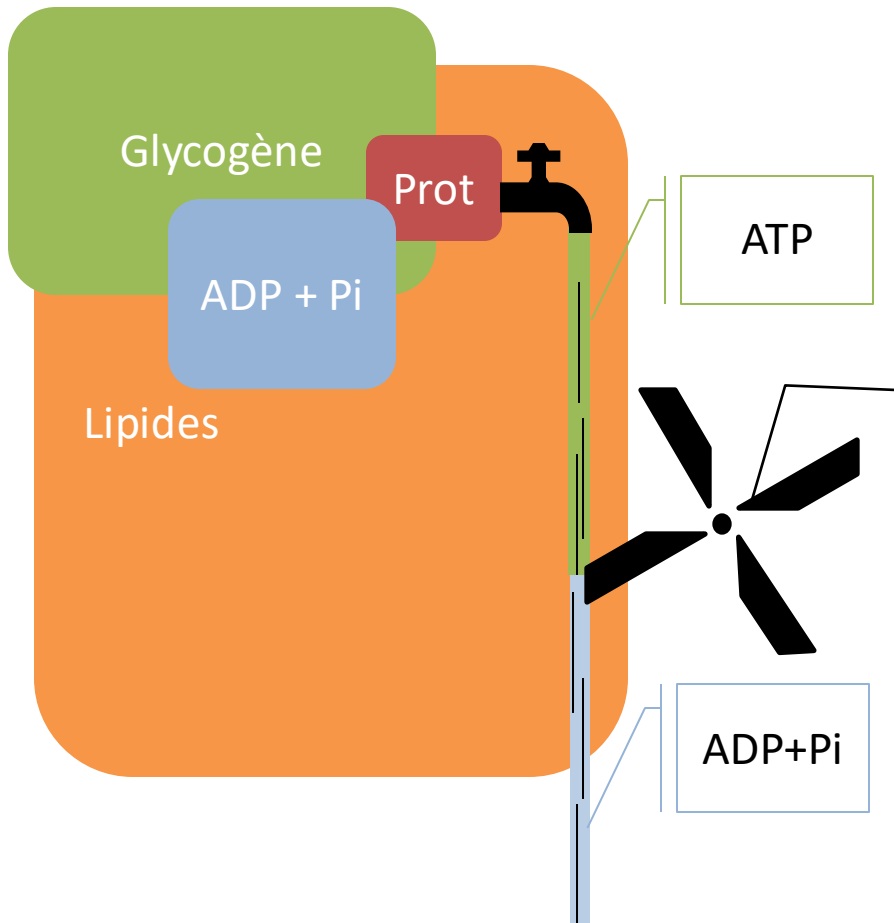
- L'entraînement aérobie prolongé va **déplacer les stocks de lipides directement dans les muscles** afin de le rendre disponible plus rapidement et d'épargner plus rapidement du glucose.
- L'entraînement aérobie n'aurait pas spécifiquement d'effet sur les stocks en glycogène. Cependant, la glycolyse aérobie deviendrait plus efficace grâce à une augmentation des **transporteurs en glucose GLUT-4**

VI. Amélioration de la filière aérobie



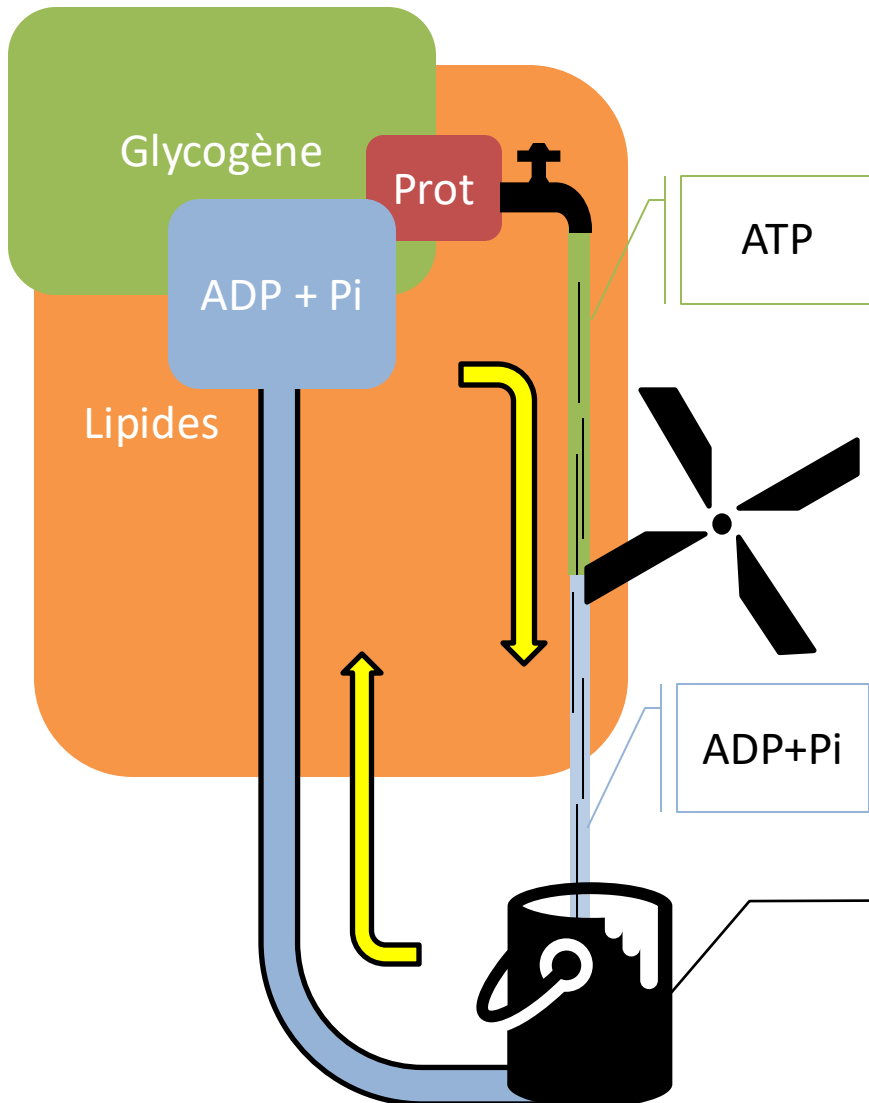
- L'entraînement aérobie à haute intensité rend la **B-oxydation plus rapide et efficace**, permettant d'extraire + vite + d'énergie venant des lipides.
- Un apport plus important en glucose à l'entrée de la glycolyse aérobie **boosterait la vitesse de rotation du cycle de Krebs**, permettant de synthétiser l'ATP plus rapidement.

VI. Amélioration de la filière aérobie



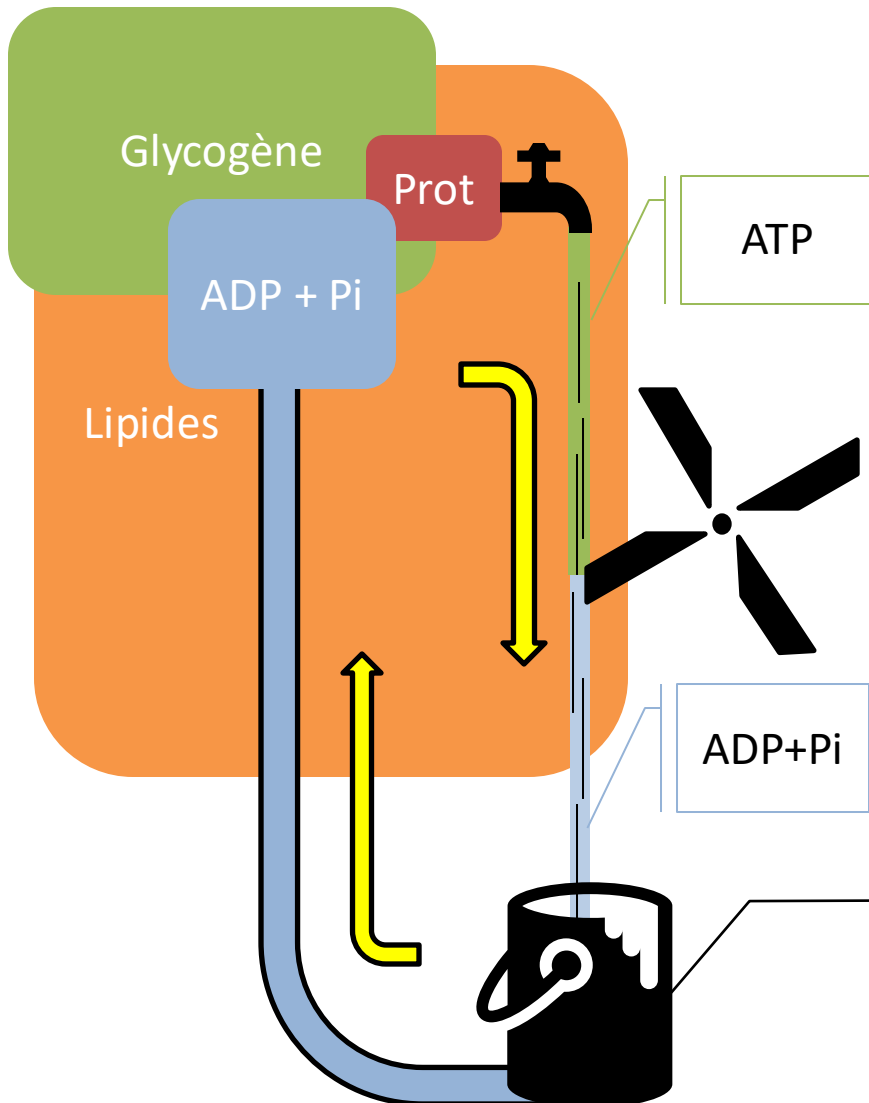
- L'entraînement en aérobie permet **d'augmenter la proportion en fibre lente d'un muscle**. Augmentant par la même occasion le nombre de mitochondries travaillant pour la filière aérobie. Ces changements aboutissent à rendre un muscle **plus endurant à l'effort**.
- L'entraînement en puissance maximale aérobie (=PMA), permet de doter de mitochondries **les fibres musculaires rapide de type 2X**. Ce phénomène permettrait de rendre ces fibres **plus endurantes sans perdre leurs propriétés de force et d'explosivité**. Toutefois, une fibre rapide ne pourra jamais posséder une densité mitochondriale aussi importante qu'une fibre lente.

VI. Amélioration de la filière aérobie



- L'entraînement en aérobie permet de resynthétiser plus vite les **stocks en phosphocréatine** pour soutenir la filière anaérobie alactique
- Une densité mitochondriale plus importante permet de **mieux recycler le lactate en énergie**
- Une densité mitochondriale + importante semblerait **limiter l'accumulation excessive d'ion H+** lors d'effort lactique. Cependant, cela serait aussi lié à une **diminution de la puissance de la filière lactique**.
- Les **capacités antioxydantes** du cycle de krebs ne se déroulant que dans les mitochondries soutiendrait la **régénération des tissus et la diminution des inflammations**.

VI. Amélioration de la filière aérobie



En résumé :

- Augmentation du nombre de fibres lentes
- Augmentation de la densité mitochondriales
- Soutiens des filières anaérobies accrues
- Capacité de récupération accrue
- Capacité d'endurance lors d'effort long accrue
- Soutiens la régénération des tissus et prévient les inflammations excessives.

VII. La filière aérobie en pratique

Allure d'échauffement

- **Intensité** : **50 à 60% de VMA** ou 65/70% de FCmax
- **Durée** : **Potentiellement infinie**, minimum 10 minutes pour que le système respiratoire et cardiaque et la filière aérobie rompent totalement leurs inerties.
- **Récupération** : Non nécessaire.

VII. La filière aérobie en pratique

Travail d'endurance fondamentale

- **Intensité** : **60% à 70% de VMA** ou 70/80% de FCmax
- **Durée** : **Potentiellement infinie**, intensité réservée pour les efforts longs et continue ou lors de récupération active.
- **Récupération** : Effort continue donc pas de récupération nécessaire entre plusieurs séries. On peut cependant observer une récupération de 24h à 72h entre deux séances de ce type.

VII. La filière aérobie en pratique

Travail d'endurance active

- **Intensité** : **70% à 80% de VMA** ou 80/85% de FCmax
- **Durée** : Allure 10km du débutant et allure marathon du coureur confirmé.
- **Récupération** : Sur effort fractionné, récupération de 3 à 6 minutes trottinées, le temps nécessaire à la fréquence cardiaque pour revenir à des valeurs fondamentales. Sur des efforts continues, pas de récupération.

Sur ce type de travail, nous allons surtout agir sur l'efficacité du système respiratoire et sur la capacité d'oxydation des lipides.

VII. La filière aérobie en pratique

Travail de résistance ou travail au seuil

- **Intensité** : **80% à 100% de VMA** ou 85/90% de FCmax
- **Durée** :
 - Allure 5km chez le débutant
 - Allure 10km à semi-marathon chez le confirmé
 - Allure 10km à marathon chez le haut-niveau
- **Récupération** : Sur effort fractionné, alternance de récupération courte active inférieure au temps d'effort et de récupération passive plus longue de 2 à 3 minutes

Ici, nous cherchons à repousser le seuil à des intensités plus élevés pour permettre au corps de courir plus vite sans accumulation lactique. Nous repoussons donc la vitesse à laquelle la filière lactique devient majoritaire et dominante dans la création d'énergie.

VII. La filière aérobie en pratique

Travail à VMA

- **Intensité** : **90% à 100% de VMA** ou 90/100% de FCmax
- **Durée** :
 - Allure 2/3km chez le débutant et le confirmé
 - Allure 5km/10km chez le haut-niveau
 - Efforts de 30 secondes (100% VMA) à 45 minutes (90% VMA)
- **Récupération** : Sur effort fractionné, alternance de récupération courte active égale au temps d'effort et de récupération passive plus longue de 3 à 4 minutes

Ici, nous agissons sur la puissance de la filière. Ce type de travail va permettre à la filière aérobie de tourner plus vite et de délivrer plus d'ATP.