



جامعة محمد لمين دباغين سطيف 2
Mohamed Lamine Debaghine Setif 2 University

كلية العلوم الإنسانية والاجتماعية

Faculté Sciences Humaines et Sociales

قسم علوم وتقنيات النشاطات البدنية والرياضية

Département des sciences et techniques des activités physiques et
sportives

COURS physiologie générale



à l'usage des étudiants de 1^{ère} année Licence

S₂ 2020/2021
Dr AOUIR.S

Conférence : 01

LES NOTIONS DE BASE :

Chaque filière énergétique possède :

- Une capacité
- Une puissance
- 1- La capacité : c'est la quantité totale (contenance) d'énergie disponible dans le réservoir
- 2- La puissance : c'est la quantité maximale d'énergie utilisable par unité de temps (débit du robinet)

On peut chercher à améliorer sa puissance et/ou améliorer sa capacité ; ce n'est pas le même type d'entraînement. On jouera alors sur les paramètres d'intensité, de durée de travail et de temps de récupération.

1- Le VO_2max :

La consommation maximale d'oxygène ou VO_2max ; le $\text{VO}_2\text{ Max}$ d'un individu est le volume maximal d'oxygène qu'il peut consommer par unité de temps au cours d'un exercice suffisamment intense pour le conduire jusqu'à l'épuisement, et mettant en jeu des masses musculaires importante. Elle s'exprime en litres par minute (L/mn) ou millilitres par minute et par kilogrammes de masse corporelle (ml/mn/kg).

Le VO_2max est le facteur de la performance des activités aérobies qui a le plus d'importance.

Exemple de valeurs de VO_2max :

Dans la population : 18 / 22 ans modérément actifs :

- 38 à 42 ml/kg/mn chez les femmes
- 44 à 50 ml/kg/mn chez les hommes

Après 25 / 30 ans, baisse de 1 % par an. Effets de l'âge et de la sédentarité

La VO_2max est un indicateur de santé. Statistiquement, les sujets ayant une bonne O_2max ont une longévité plus longue que les sédentaires.

- Chez le sportif (ve) de haut niveau :

80 à 84 chez hommes pratiquant des courses d'endurance. La valeur la plus élevée a été relevée chez un skieur de fond norvégien champion du monde : 94 ml kg-min .

2- La fréquence cardiaque :

- La fréquence cardiaque (FC), ou rythme cardiaque, définit le nombre de battements du cœur par minute (BPM). On parle de « pouls », qui correspond à la perception du sang éjecté par le cœur dans une artère. C'est pratiquement le seul indicateur physiologique qui est utilisable sur le terrain pour renseigner sur l'intensité de l'exercice.

a- **La FC de repos (FCR)** correspond à la fréquence cardiaque au repos. Elle doit être prise le matin, dans son lit en se réveillant, ou avec nos élèves, après quelques minutes de calme, de préférence en position allongée. L'entraînement a un impact sur la fréquence cardiaque au repos.

Ainsi, pour un adulte sédentaire la fréquence cardiaque au repos est d'environ 60 à 80 pulsations par minute. Pour un sportif entraîné, cette même fréquence peut descendre jusqu'à environ 40-50 pulsations par minute.

b- **La fréquence cardiaque maximum (FC max)** est le nombre maximum de battements par minute du cœur, c'est-à-dire que le cœur ne peut pas battre plus vite que la FC max. L'effort maximum est donc à 100% de la FC max, impossible d'aller plus haut. 100% de la FC max correspond donc théoriquement à 100% VO₂max.

La fréquence cardiaque augmente de façon linéaire en fonction de la puissance de l'exercice. Mais à un % donné d'intensité ne correspond pas le même % de FC max. (ex : Pour une intensité à 80% de VO₂max, la FC correspondante ne sera pas 80% de FC max)

Selon Astrand, la FCmax peut être calculée ainsi avec une approximation à plus ou moins 10 pulsations/minute :

- Pour les femmes : $FC_{max} = 226 - \text{âge}$
- Pour les hommes : $FC_{max} = 220 - \text{âge}$

c- La fréquence cardiaque de réserve est la différence entre la FCmax et la FC repos : **$FC_{réserve} = FC_{max} - FC_{repos}$**

d- La fréquence cardiaque d'entraînement (FCE) est la fréquence cardiaque « ciblée » durant un exercice musculaire à une intensité définie. Elle peut être calculée selon la méthode de **Karvonen**, qui semble plus « individualisée » puisqu'elle tient compte non seulement de la FCmax de l'individu mais aussi de sa FC de repos et de sa FC de réserve :

$$FCE = (FC_{réserve}) \times (\% \text{ intensité de travail choisi}) + FC_{repos}$$

3- Les seuils

On peut évaluer la position des seuils en se servant de l'indice de mesure "lactatémie".

- 1- Le seuil aérobie : Très légère production de lactates Production d'environ 2 m moles de lactates / litre de sang. Correspond en moyenne à environ 65 % du VO_2 max.
- 2- Le seuil anaérobie : Seuil de vitesse à partir duquel le métabolisme anaérobie intervient massivement dans le renouvellement de l'ATP. A partir de ce seuil, il faut travailler par intervalles (voir méthode de développement des capacités aérobies et anaérobies). Correspond en moyenne à environ 85 % du VO_2 max.

LES RESSOURCES ENERGETIQUES :

Introduction :

L'organisme face à l'effort physique : Lorsqu'on passe d'un état de repos relatif (dépense énergétique faible) à un état d'exercice plus intense (dépense énergétique plus élevée), l'organisme doit s'adapter afin de compenser cette augmentation d'énergie .

Pour cela, il y a :

- Augmentation du rythme respiratoire
- Augmentation du rythme cardiaque
- Production de chaleur
- Coloration de la peau

Pour développer ses ressources énergétiques, il est nécessaire d'améliorer ses fonctions cardio-respiratoires pour que l'organisme puisse produire et utiliser plus efficacement l'énergie nécessaire à tout exercice musculaire.

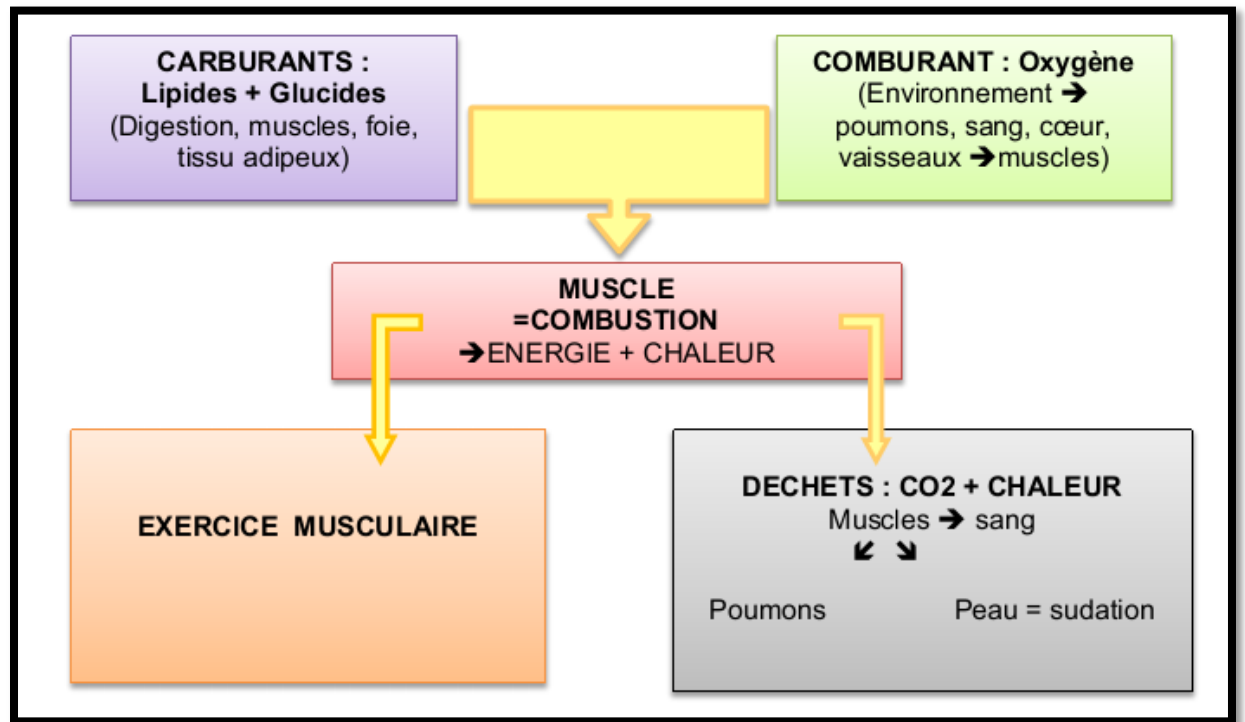
1- La production d'énergie :

La production d'énergie provient d'une combustion qui a lieu dans le muscle ,le corps a besoin de « carburants », issus des aliments et transformés pour être utilisables par le muscle.

Selon l'intensité et la durée de l'exercice, cette combustion peut utiliser des «carburants » différents présents dans le muscle lui-même ou transportés par le sang :

- Pour les exercices de longue durée et de faible intensité, c'est surtout un mélange composé d'une petite quantité de glucides (sucres) et d'une grande quantité de lipides (graisses) qui en constitue le carburant essentiel.
- Lorsque l'intensité de l'exercice augmente progressivement, les proportions lipides/glucides s'inversent.
- A l'opposé, pour les exercices intenses, ce sont essentiellement les glucides et, plus particulièrement l'un d'entre eux « le glycogène », qui en deviennent les carburants presque exclusifs.

Comme dans toute combustion, ces carburants ne peuvent « brûler » longtemps sans apport conséquent d'oxygène. L'oxygène constitue, en quelque sorte, le « comburant» de toute combustion.



L'oxygène est transporté par le sang et utilisé dans les muscles, lorsque l'intensité de l'exercice augmente, le cœur (la « pompe » cardiaque) et la respiration s'accélèrent pour apporter plus d'oxygène et produire plus d'énergie. On dit que l'exercice se fait en « aérobie ». Quand l'exercice devient trop intense, voire maximal, l'organisme va rencontrer des difficultés pour transporter et utiliser l'oxygène, l'énergie sera produite sans oxygène durant un temps limité.

Conférence : 03

Les filières énergétiques :



Il existe deux voies de production d'énergie qui se succèdent.

a- En l'absence d'oxygène : c'est la voie anaérobie

b- En présence d'oxygène : c'est la voie aérobie

Les filières énergétiques sont les différentes modalités de resynthèse de l'ATP et tout effort est défini par son intensité et sa durée.

1-Processus anaérobie alactique (système ATP-CP)

Ainsi appelé car il n'utilise pas d'oxygène et ne produit pas d'acide lactique. Dans ce processus qui intervient presque immédiatement, la resynthèse de l'ATP est assurée par une substance riche en phosphore : la Créatine-Phosphate (P.C.) ; encore appelée phosphocréatine.

Schématisons le processus : $P.C + A.D.P = A.T.P. + Créatine$

Cette réaction resynthétise l'ATP à un très grand débit (grande puissance) mais sa capacité est limitée (faible capacité). Ceci est dû au faible taux de P.C, au niveau musculaire. On considère que, sollicité à pleine puissance, ce processus s'épuise après quelques secondes (7" à 10") à 100 %, 20 à 30" à 70 % de la VO_2max .

Cette source énergétique qui ne nécessite pas la présence d'oxygène et ne s'accompagne pas de formation d'acide lactique est appelée source anaérobie alactique. Pour poursuivre l'exercice, un second processus va donc s'enclencher. Il est en effet stimulé par la présence de créatine au niveau musculaire.

2- Processus anaérobie lactique (le système glycolique)

Ainsi appelé car il n'utilise pas d'oxygène mais produit de l'acide lactique au niveau musculaire. Cette fois, c'est la dégradation d'une autre substance intramusculaire « le glycogène » qui va permettre la resynthèse de l'A.T.P.

3-Filière aérobie (avec oxygène)

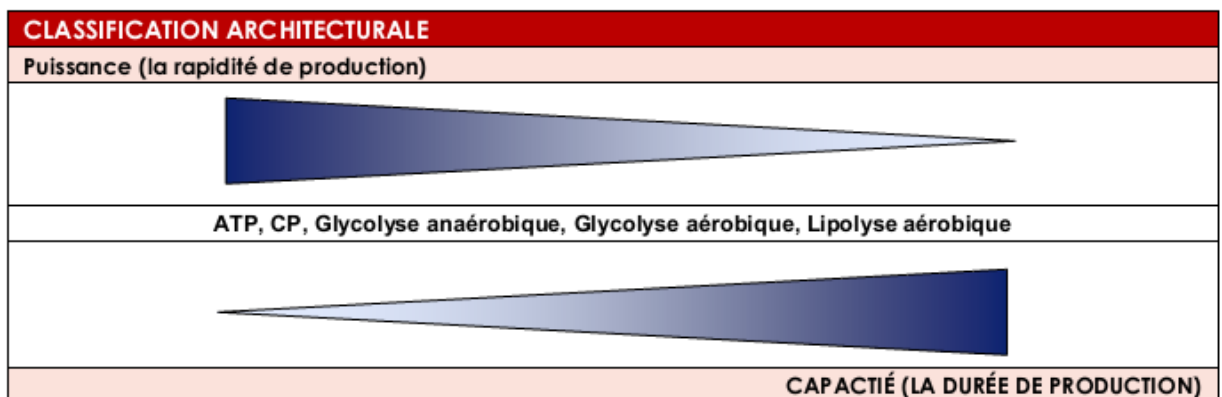
Cette troisième filière a la possibilité de produire de l'énergie à long terme. Pour être en mesure de produire cette énergie, cette filière se sert du glycogène (qui est converti en glucose), du glucose sanguin et des acides gras.

Donc, pour obtenir de l'énergie, ces molécules sont dégradées de manière à transférer l'énergie produite dans un milieu où l'ATP peut être renouvelée, c'est-à-dire dans la mitochondrie (celle-ci peut être considérée comme étant la

fabrique de production énergétique de la cellule musculaire.

L'utilisation aérobie du glycogène est beaucoup plus productive en terme d'ATP, car elle en produit 13fois plus que son utilisation anaérobie. Cependant, la puissance et la rapidité de production générée par celle-ci sont beaucoup plus faibles.

Concernant les acides gras, les lipides peuvent être oxydés. Par contre, ils doivent avant tout être mobilisés et ce procédé se nomme la lipolyse. Les graisses sont un immense réservoir d'énergie, mais avec une puissance réduite.



Résumé des caractéristiques essentielles des différentes filières énergétiques D'après M.Pradet (1989)

	Anaérobie Alactique	Anaérobie Lactique	Aérobie
Substrats	ATP CP	Glucides (glucoses et glycogène)	Glucides Lipides Protéines (faible %)
Délai d'efficacité maximum	Nul	20 à 30 secondes	1 à 3minutes
Puissance	Très élevée + + + +	Elevée + +	Dépend du VO2 max
Temps d'épuisement à puissance maximale	2 à 3 secondes	25 à 40 secondes	3 à 15 mn
Capacité	Très Faible +	Faible +	Illimitée + + + + +
Temps d'épuisement de la capacité (réserve)	Entre 7 et 20 secondes	2 minutes	Dépend du % du VO2 max utilisé

LES TYPES DE FIBRES MUSCULAIRES

Introduction :

Dans son ensemble, les fibres musculaires ne sont pas toutes identiques ; un muscle squelettique isolé renferme essentiellement deux types de fibres : les fibres lentes (type I) et les fibres rapides (type II).

a- Les fibres lentes (type I)

Les fibres lentes, elles, possèdent des caractéristiques à prédominance aérobie, car elles recèlent d'un grand nombre de mitochondries, d'un grand nombre de myoglobines, d'une forte concentration d'enzymes propres au métabolisme aérobie, ses fibres sont plus vascularisées et finalement, elles ont une forte résistance à la fatigue.

- fibre rouge de contraction lente
- Très résistante à la fatigue
- Métabolisme aérobie oxydatif
- Riche en mitochondries
- Réseau capillaire très dense pouvant atteindre 200 km par 100 g du muscle, chaque fibre étant en contact avec 06 à 08 capillaire .

b- Les fibres rapides (type II)

Les fibres rapides sont au service de la filière anaérobie, elles sont moins endurantes que les fibres lentes (type I), mais elles ont un plus grand potentiel de force/vitesse de contraction. En résumé, elles sont peu vascularisées, leurs mitochondries et leurs myoglobines se retrouvent en moins grand nombre et elles possèdent une forte concentration d'enzymes propres au métabolisme anaérobie.

- Fibre blanche de contraction rapide
- Métabolisme anaérobie
- Pauvre en mitochondrie
- Moins oxydatif et plus anaérobie
- Développe une grande puissance mais de courte durée
- Très fatigable
- Riche en glycogène

Les fibres de type II peuvent être divisées en trois sous-groupes, c'est-à-dire les fibres de types IIa, les fibres de types IIb et les fibres de types IIc.

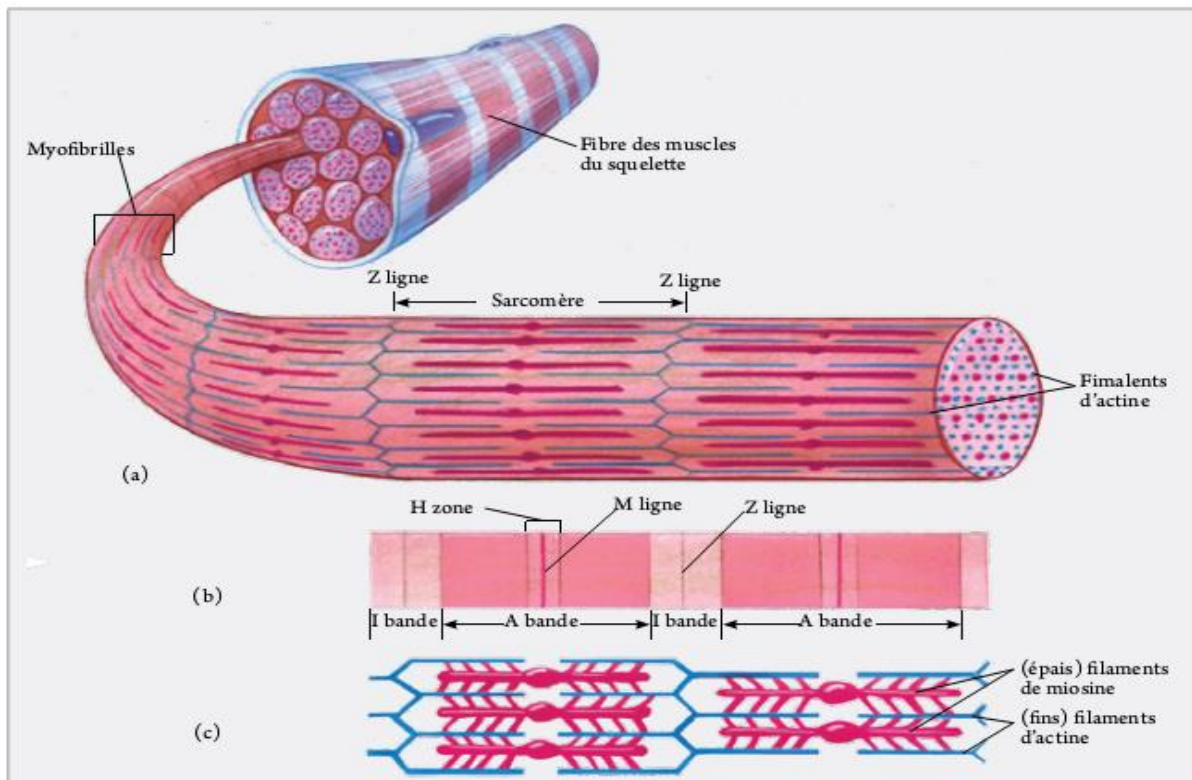
a- Les fibres de types IIa :elles sont concentrées de fibres intermédiaires, alors elles sont considérées comme ayant des capacités anaérobie et aérobie.

b- Les fibres de types IIb :elles sont considérées comme ayant exclusivement des fibres anaérobies.

Les fibres de types IIc : Le muscle strié squelettique en possède très peu.

Conférence : 05

Mécanismes de la contraction musculaire



La théorie qui prévaut actuellement pour expliquer comment les muscles créent des tensions internes (forces) est celle dite "des filaments glissants" développée Huxley (1957) et basée sur le modèle de Hanson et Huxley (1955).

Elle stipule que, lors de la contraction musculaire, les filaments d'actine se glissent entre les filaments de myosine. Ce glissement a d'abord été mis en évidence par microscopie électronique (Figure 1).

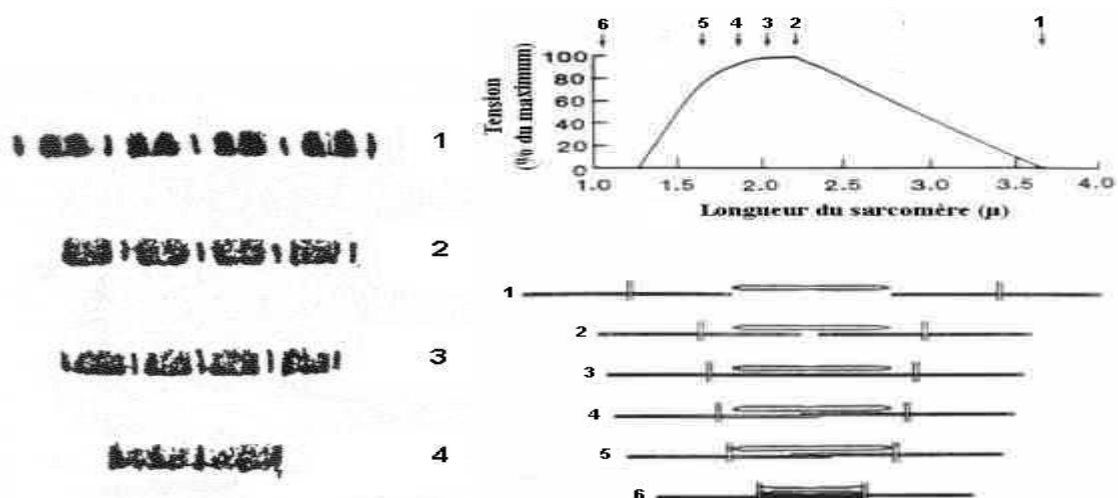


Figure 1 : Démonstration de la théorie des filaments glissants d'après Gorgon et coll. (1966).

A gauche, les images obtenues avec un microscope électronique. A droite le schéma explicatif de la théorie des filaments glissants. Chaque chiffre représente un index de position que l'on peut repérer à la fois sur les photos (à gauche), sur la courbe tension-longueur (en haut à droite) et sur le schéma représentatif du processus qui se déroule lors de la contraction musculaire, c'est-à-dire le raccourcissement des sarcomères (en bas à droite) lorsque la résistance extérieure est inférieure à la tension générée par le sarcomère.

La position 2 correspond à la longueur de repos du sarcomère. C'est la longueur optimale pour développer la force la plus élevée car à cette longueur que peuvent se former le plus grand nombre de ponts d'acto-myosine. Or, plus leur nombre est important, plus il y a de possibilités de transformer de l'énergie chimique en énergie mécanique. Pour la position 1, la longueur du sarcomère correspond à 160% de celle mesurée au repos, et les filaments ne se chevauchent plus. Il s'en suit qu'aucun pont d'actine-myosine ne peut se former. Par conséquent, la force que le muscle peut développer est nulle.

Par contre, en position 4 (80% de la longueur de repos), le chevauchement des deux myofilaments d'actine entraîne une diminution de la force produite du fait de la réduction de l'accessibilité des sites d'attache aux têtes de myosines. Cet effet s'amplifie pour des longueurs de sarcomère inférieures (75% en position 5 et 45% en position 6).

Par la suite, des grossissements plus poussés ont confirmé les premiers résultats comme le montre la figure 2 lors d'enregistrements réalisés au cours d'un allongement de l'échantillon de fibres musculaires. C'est le degré de recouvrement (Figure 2) qui informera sur les possibilités de production de force (nombres de ponts d'acto-myosine) et surtout de son intensité.

Des relations entre ces grandeurs mécaniques ont pu être mises en évidence en condition isométrique pour une longueur de fibre musculaire donnée (relation force-longueur) ou un angle articulaire donné (relation force-angle) ou à une vitesse de mouvement donnée (relation force-vitesse).

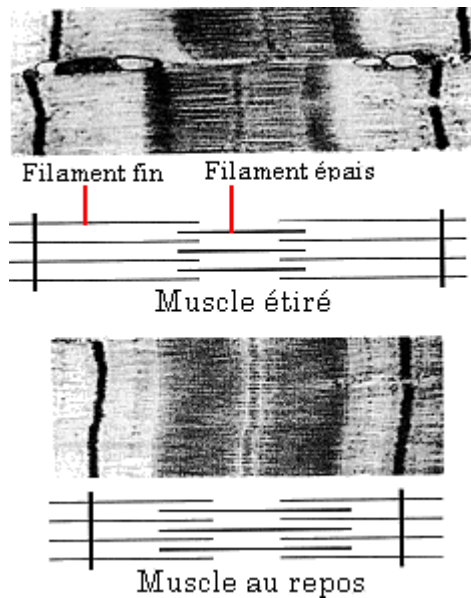
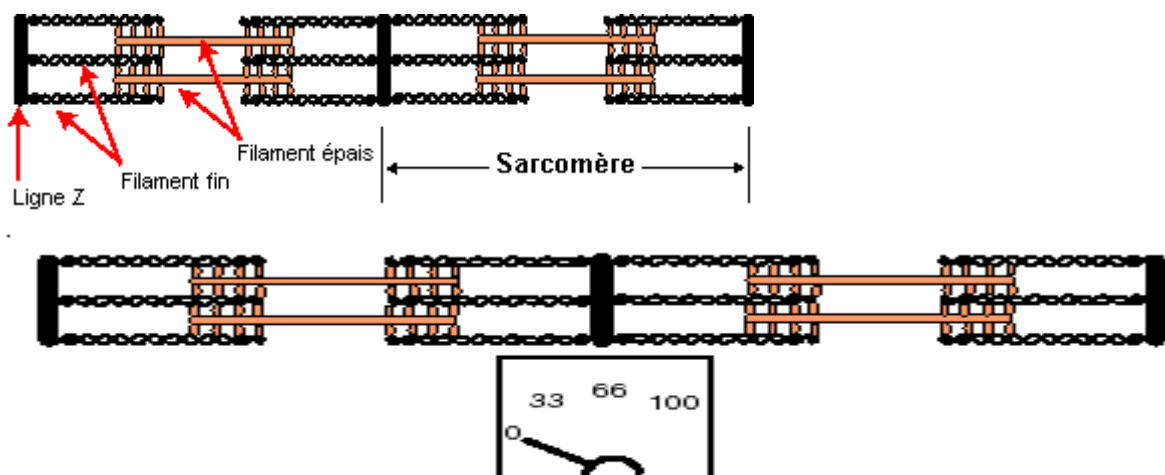


Figure 2 : Mise en évidence du glissement des filaments composant le sarcomère par la microscopie électronique à fort grossissement.

L'animation ci-dessous montre bien que la tension générée par le sarcomère est proportionnelle au taux de recouvrement des myofilaments fins et épais.



Le nombre du cadran indique le pourcentage de force maximale généré en fonction du taux de recouvrement entre les deux myofilaments.

Ce glissement est le résultat de la formation de ponts d'union entre les têtes de myosine et certains sites des filaments d'actine déclencher une réaction chimique (hydrolyse de l'ATP) qui libère l'énergie nécessaire l'accrochage des têtes de myosine et, par-là même, d'exercer une traction sur les filaments fins pour les faire glisser entre les filaments épais. Comme le montre l'animation ci-dessus, la force générée est

directement proportionnelle au nombre de ponts d'actine-myosine formés. Selon la force extérieure qui s'oppose à la tension ainsi générée, il y aura ou non raccourcissement du muscle.

Donc, il se produit dans le muscle une transformation d'énergie chimique en énergie mécanique (Figure 3).

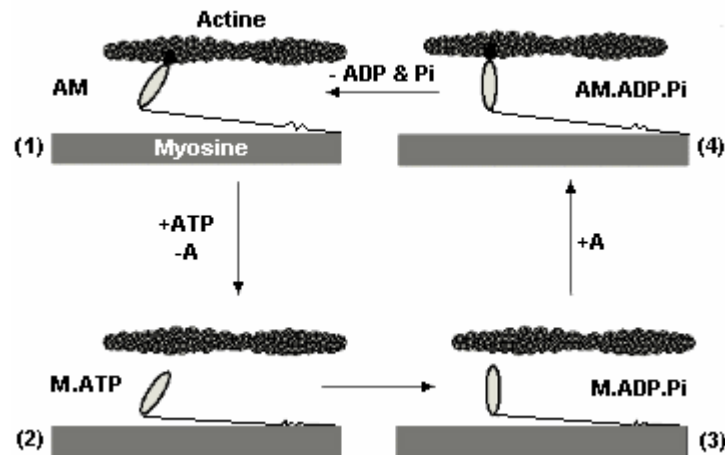


Figure 3 : Production de la force grâce l'interaction entre l'actine et la myosine.

- 1_ La myosine (M) est attachée à l'actine (A) formant ainsi le complexe actomyosine (AM).
- 2_ Une molécule d'ATP se fixe sur la tête du filament épais de myosine ce qui permet de la décrocher du filament fin d'actine (-A).
- 3_ Grâce à l'enzyme qu'elle contient, la tête de myosine hydrolyse l'ATP et peut alors s'accrocher sur l'actine (+A).
- 4_ Le basculement de la tête de myosine fait glisser le filament d'actine vers la partie centrale du sarcomère.

Une fois ce travail mécanique terminé, l'ADP se détache de la tête de myosine et le cycle peut recommencer.