

THEME 3B - Contraction musculaire et apport d'énergie

Classe : Terminale SPECIALITE SVT
Durée conseillée : 3 semaines
Nombre de TP : 3

En rouge : Bilans à faire noter aux élèves
En bleu : Activités pratiques
En vert : Problématique et hypothèses

INTRODUCTION GENERALE :

Le mouvement de l'organisme est déclenché par la communication nerveuse (cf chapitre précédent) qui permet la contraction des muscles. Les cellules (fibres) musculaires présentes dans les muscles vont alors se raccourcir mais aussi s'épaissir. Le raccourcissement de l'ensemble des cellules et donc du muscle induit une force de tension sur les tendons qui vont alors transmettre cette force au squelette (os et articulations). D'autre part, la contraction musculaire nécessite de l'énergie (ATP) qui provient de la dégradation du glucose (respiration/fermentation). Le glucose est présent en permanence dans le sang à une concentration régulée (glycémie).

Problématique : Comment les cellules musculaires mobilisent-elles le glucose afin de produire de l'énergie nécessaire à leur raccourcissement et à la contraction du muscle ?

Ce thème sera donc traité en 3 chapitres :

- 1- Contraction et nécessité d'ATP
- 2- Production d'ATP par la dégradation du glucose (respiration/fermentation)
- 3- Gestion des réserves de glucose et régulation de la glycémie



Chapitre 1 : La cellule musculaire et la contraction

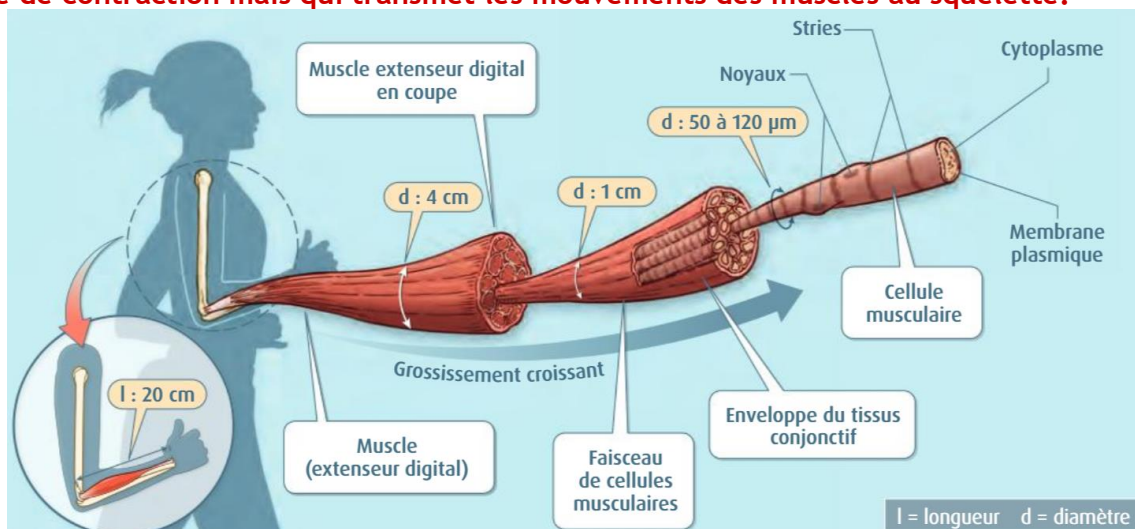
I. L'organisation du muscle et des fibres musculaires

[Voir TP1 : La contraction musculaire](#)

1. Organisation générale du muscle (p424)

Le muscle est un organe composé de nombreuses cellules très allongées appelées **fibres musculaires**. Ces cellules possèdent plusieurs noyaux (plurinucléées) et sont striées. Elles s'associent en groupe pour former des **faisceaux musculaires**, entourés d'un tissu conjonctif fibreux et protecteur (*endomysium*). Enfin, l'ensemble des faisceaux est également emballé dans un tissu conjonctif plus superficiel (*pérимysium* et *épимysium*).

Chaque muscle est fixé au squelette par les **tendons** : c'est un tissu conjonctif qui n'a pas de capacité de contraction mais qui transmet les mouvements des muscles au squelette.

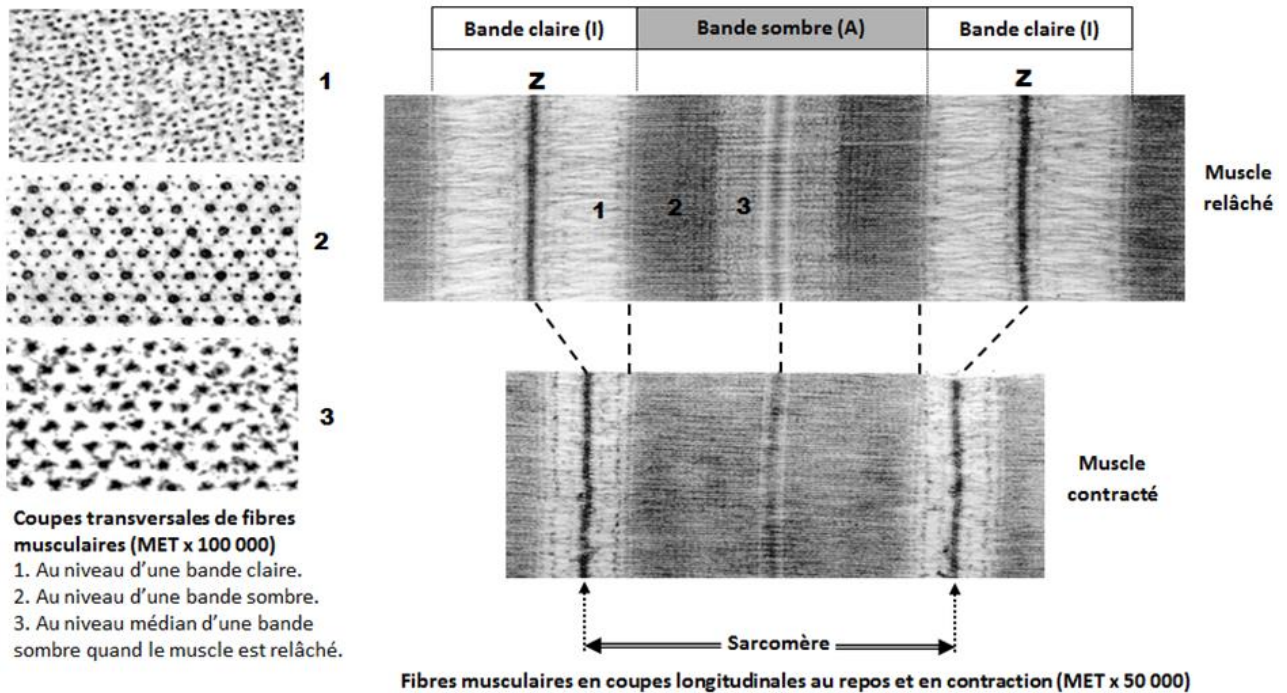


Document 1 : Schéma de l'organisation du muscle (doc 4p425 BELIN)

2. Organisation générale des cellules musculaires (p425)

Les cellules musculaires sont des cellules très spécialisées contenant des **protéines** appelées **myofibrilles** (ou myofilaments) qui correspondent principalement à **l'actine** et la **myosine**. Ces protéines font partie du **cytosquelette** : c'est un ensemble de protéines qui maintient les structures intracellulaires (organites, chromosomes lors des divisions ...).

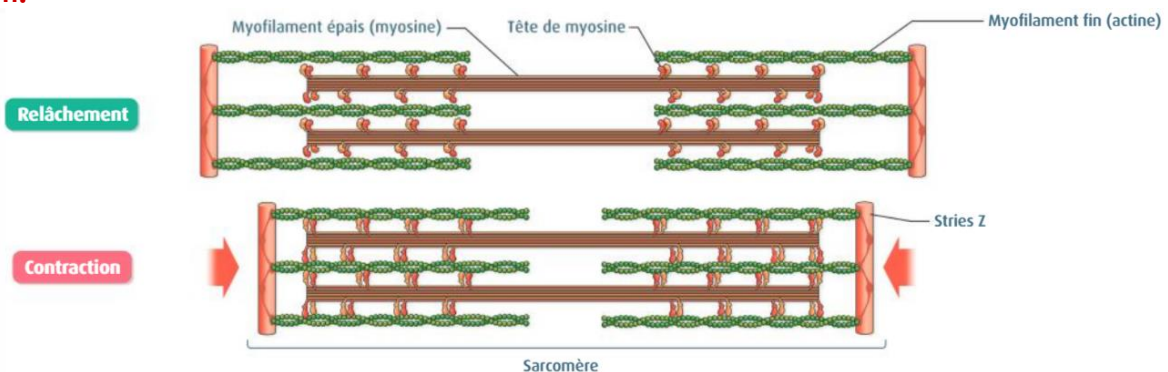
L'observation des myofibrilles au MET (Microscope Electronique à Transmission) montre qu'elles sont formées d'une succession de **sarcomères** : ce sont des unités structurales et fonctionnelles des cellules musculaires. Chaque sarcomère est délimité par des stries majeures : les **stries Z** (visibles en MO). Entre chaque strie Z, on observe une **bande sombre (A)**, au centre, et des **bandes claires (I)**, à cheval sur les stries Z. Un sarcomère est donc constitué d'une bande A centrale et de 2 demi-bandes sur les côtés. Chaque fibre musculaire comprend un très grand nombre de sarcomères (> 10 000).



3. Le raccourcissement des sarcomères et des cellules musculaires (p426)

Les bandes A sombres contiennent les **myosines**, qui sont des **myofilaments épais** de myosine (d'où leur caractère sombre) alors que les bandes I comprennent des **myofilaments fins** d'actine. Lors de la contraction, on remarque que les bandes I (claires) se réduisent mais pas les bandes A (sombres). Ceci suggère que l'actine et la myosine glissent l'une sur l'autre au mouvement de la contraction, ce qui permet le raccourcissement du sarcomère.

Ainsi, les sarcomères et l'ensemble des cellules musculaires et le muscle dans son intégralité vont se raccourcir, ce qui permet le mouvement. En moyenne, la longueur d'un sarcomère passe de 2,5 μm à 2 μm , ce qui permet à une myofibrille formée de 20 000 sarcomères de se raccourcir de 1 cm.

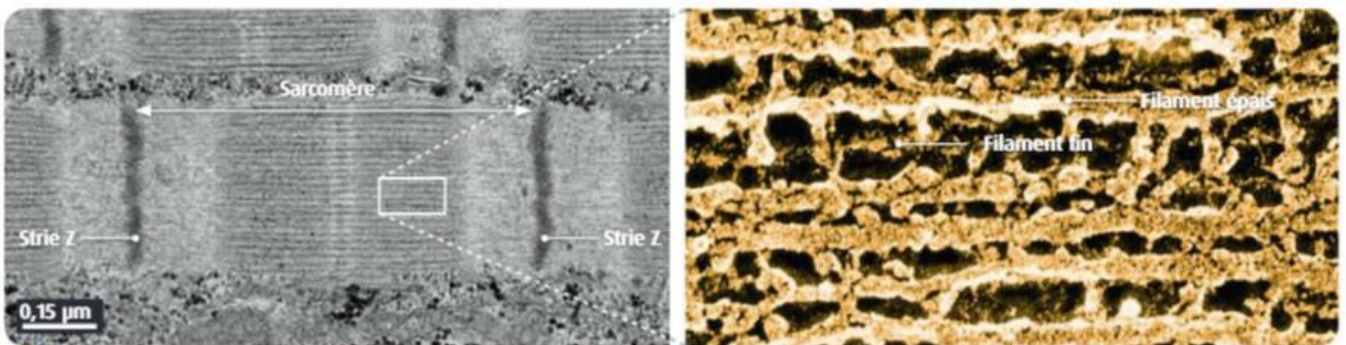


II. Le fonctionnement du complexe acto-myosine

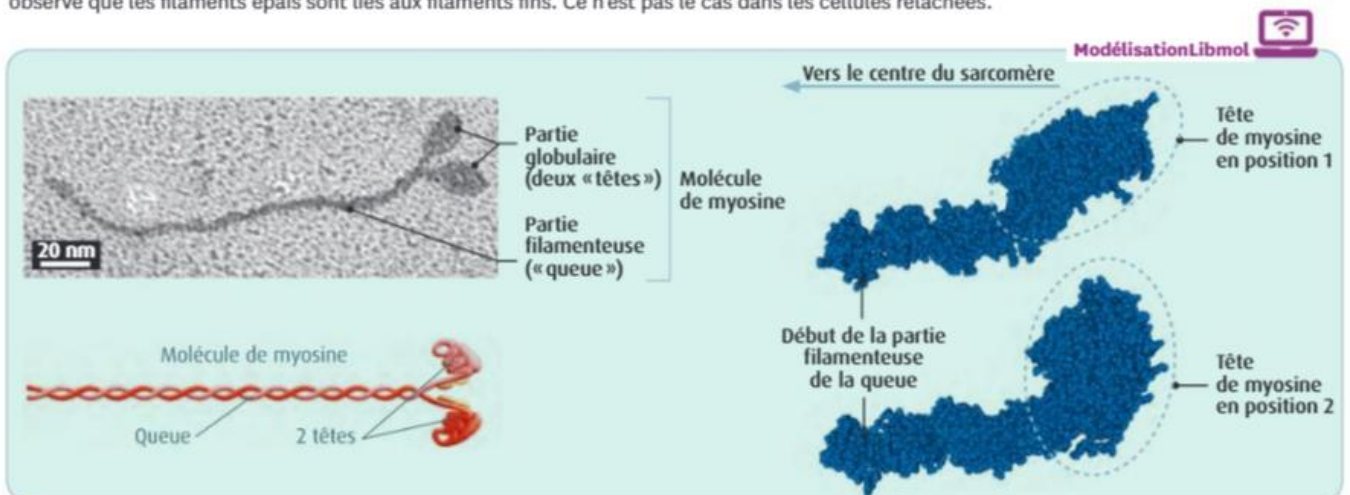
1. Le complexe acto-myosine (p427)

L'actine est une protéine globulaire (Actine G) qui peut se polymériser (s'associer en grand nombre) pour former des filaments d'actine (Actine F). L'actine F forme donc des sortes de petits câbles torsadés qui restent très fins.

La myosine est constituée en 2 parties : une queue assez longue (de l'ordre de 100 nm) et 2 têtes globuleuses. Les myosines ont la capacité à s'associer en grand nombre et forment alors des fibres épaisses. Les têtes de myosine ont la capacité à s'associer à l'actine et peuvent également se recourber, ce qui permet de déplacer les filaments d'actine.



4 Détail d'un sarcomère dans une cellule musculaire contractée observée au MET. Dans la cellule musculaire contractée, on observe que les filaments épais sont liés aux filaments fins. Ce n'est pas le cas dans les cellules relâchées.



5 Myosine observée au MET. Cette molécule est formée d'une partie filamenteuse (« queue ») et de 2 parties globulaires (« têtes »). Ces têtes peuvent pivoter et prendre deux positions différentes (dans les modélisations moléculaires, une seule tête de myosine et une petite partie de la « queue » est figurée à chaque fois).

Document 4 : Observation de l'actine (doc 4) et de la myosine (doc 5)

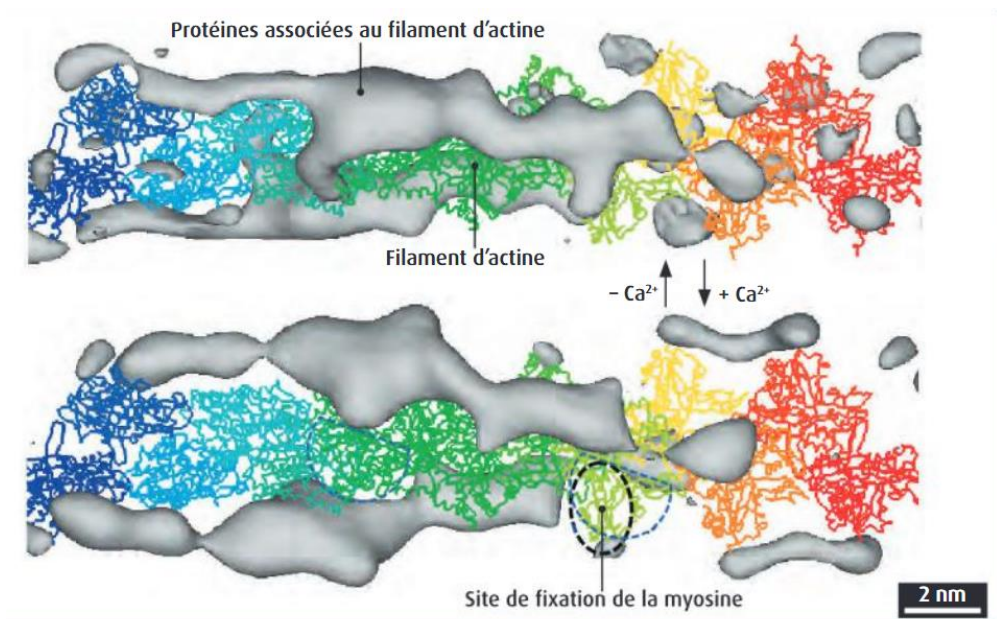
Source : BELIN p427

2. Le déclenchement de la contraction par le calcium (p428-429)

Lorsqu'un potentiel d'action arrive au niveau de la plaque motrice (cf chapitre 3 - Neuro), les neurotransmetteurs vont être libérés (exocytose des vésicules) et ils vont se fixer sur des récepteurs post-synaptiques. Ceci va induire l'entrée d'ions Ca^{2+} dans la cellule musculaire.

De plus, l'entrée de calcium sera amplifiée par le fait que la cellule musculaire contient des réserves de calcium dans son réticulum endoplasmique (on l'appelle réticulum sarcoplasmique chez les cellules musculaires). Ces réserves sont libérées par le calcium apporté par la stimulation nerveuse (canaux calciques calcium-dépendant).

Le calcium est très important pour la contraction car c'est lui qui va permettre la fixation de la myosine sur l'actine. En effet, le calcium agit sur des protéines régulatrices fixés sur l'actine (troponine), ce qui démasque les sites de fixation pour la myosine.



5 Modèles tridimensionnels du filament fin d'actine révélés par la microscopie électronique. On observe un changement d'organisation de certaines protéines (en gris) associées au filament fin d'actine (en couleurs) selon qu'il y a ou non des ions Ca^{2+} dans le cytoplasme de la cellule musculaire.

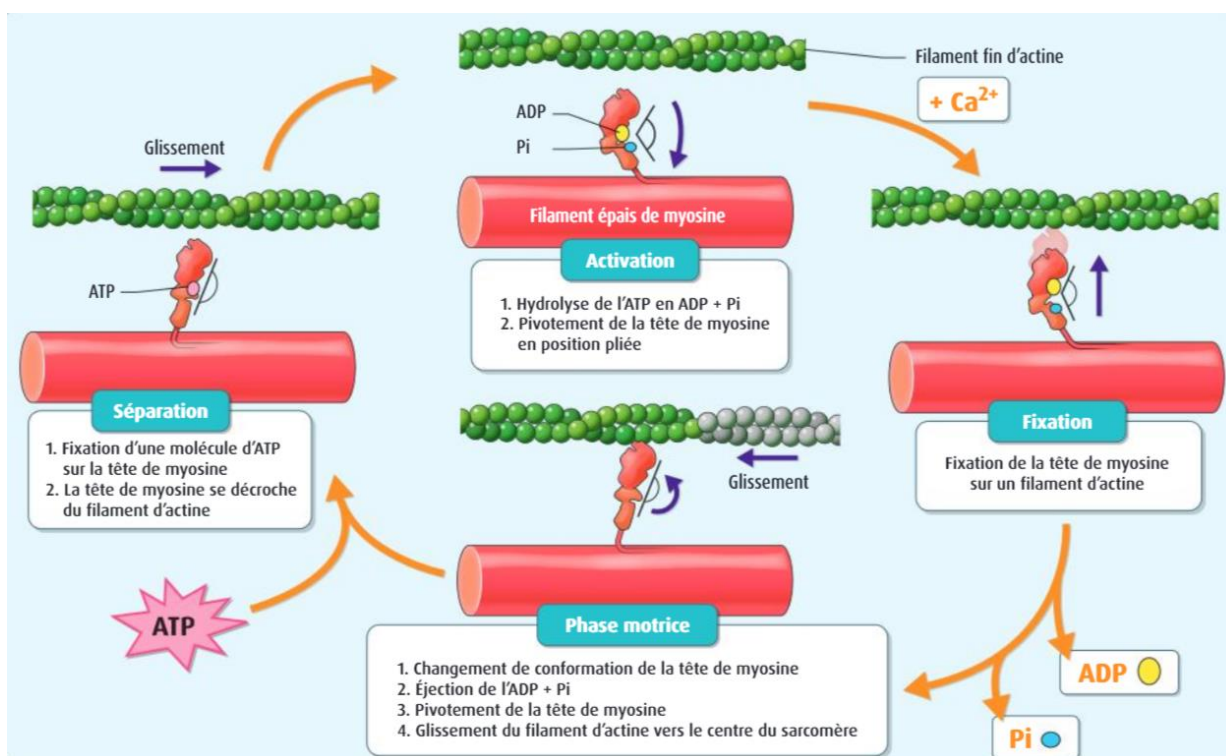
Document 5 : L'action du calcium sur le complexe acto-myosine (doc 5 p429 BELIN)

3. La mobilisation du complexe acto-myosine et l'ATP (p428-429)

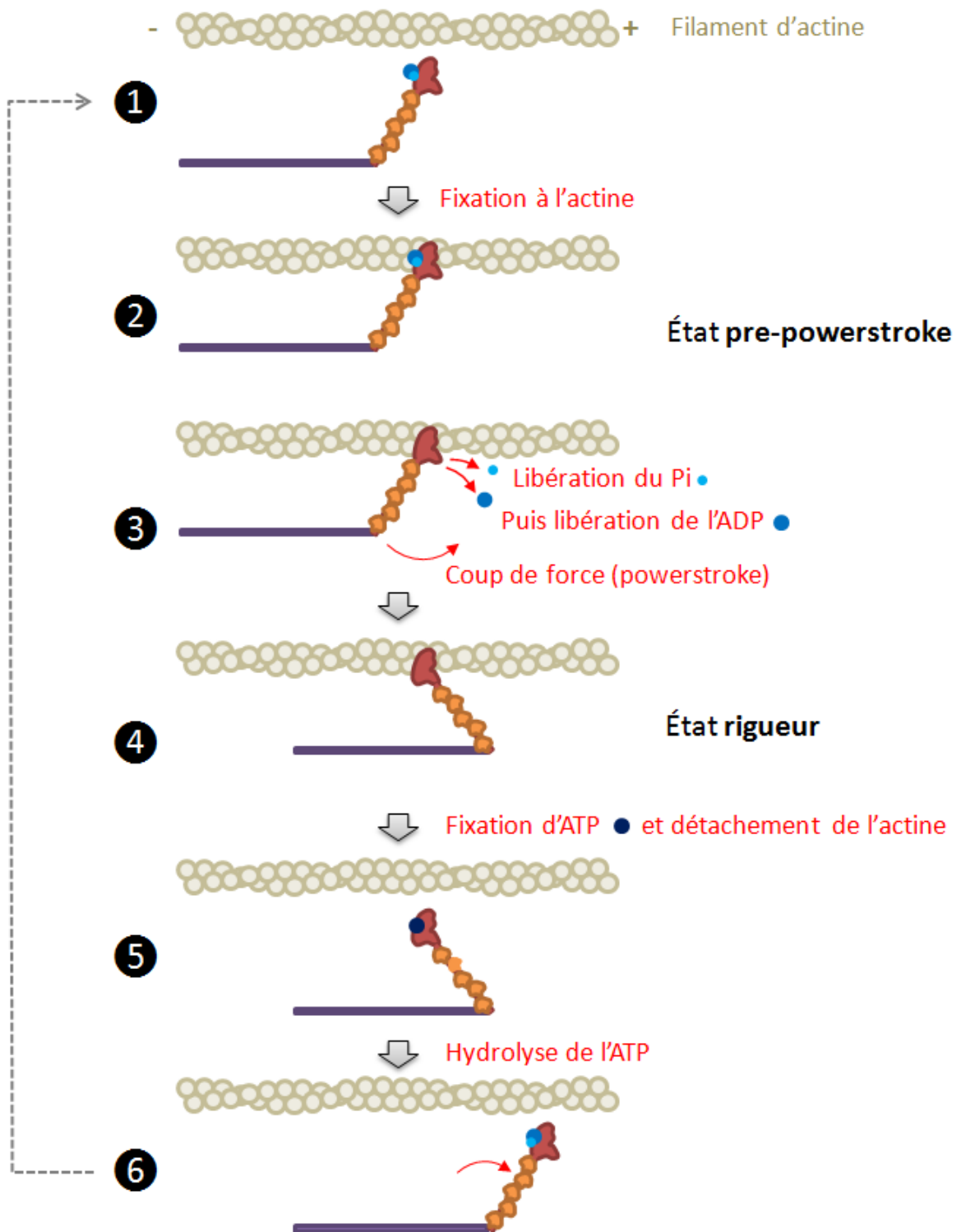
Après l'entrée de calcium, la myosine peut se fixer à l'actine. Elle se fixe dans une position « *pre-powerstroke* » dont l'angle est plutôt ouvert. Après la fixation, la myosine va hydrolyser (dégrader) l'ATP, ce qui va permettre de faire pivoter la tête de myosine vers « l'arrière » (état « *rigueur* »). Le mouvement est brutal (« *coup de force* »).

Ensuite, de l'ATP est à nouveau fixé par la myosine pour permettre son détachement de l'actine et le retour à l'état initial (*pre-powerstroke*).

L'ATP est donc nécessaire à la phase de « relâchement ». Ceci est cohérent avec 2 observations : la rigidité cadavérique qui s'observe après le décès d'une personne (très fortes contractions des muscles non approvisionnés en ATP) et les crampes (forte contraction lorsque l'ATP vient à manquer).



Document 6a : La fonctionnement du complexe acto-myosine (doc 6p429 BELIN)



Document 6b : Le déplacement de la myosine au cours de la contraction

Source : <http://svt.enseigne.ac-lyon.fr/spip/spip.php?article653>

III. Cellules musculaires et santé

1. Crampes, courbatures

Le muscle est un organe qui consomme énormément de ressources énergétiques. L'approvisionnement en sang et en nutriments doit être optimal sans quoi la contraction est perturbée. En particulier, des crampes peuvent apparaître en cas de manque d'ATP : dans ce cas, la myosine est bloquée dans son état rigueur, fixée à l'actine. Il y a donc une contraction importante et douloureuse.

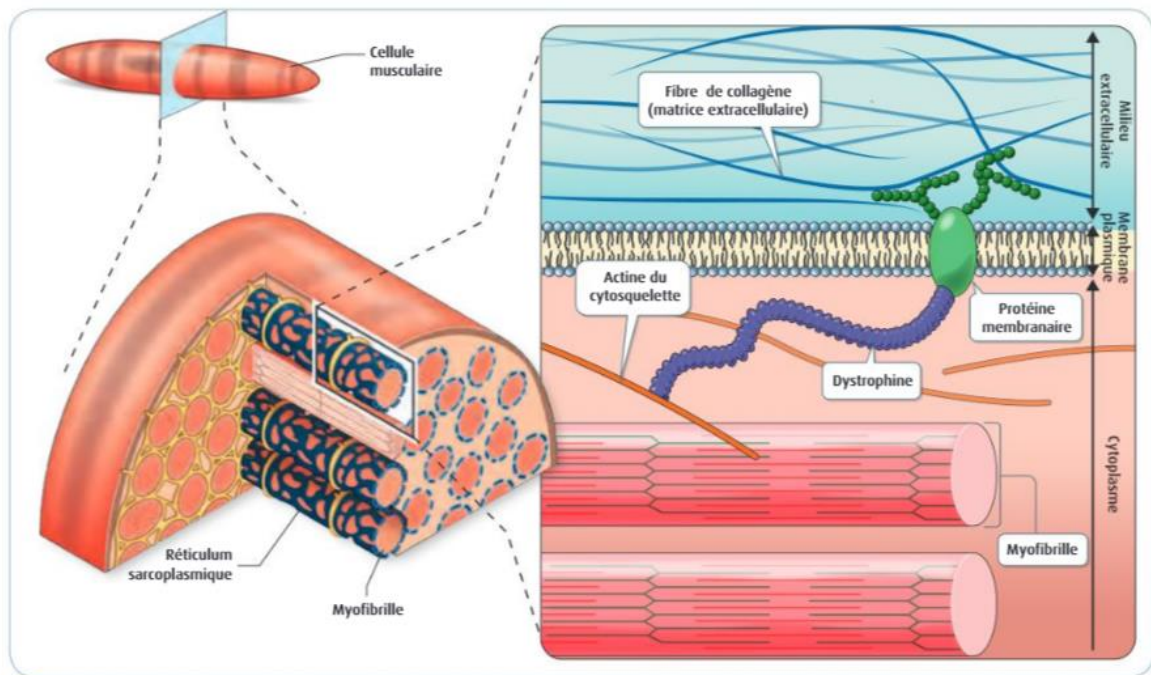
Les courbatures peuvent également être une conséquence d'un manque d'apports nutritifs. Lorsque l'effort est trop intense ou trop rapide, le dioxygène peut manquer. Dans ce cas, la fourniture de l'énergie sera assurée par la fermentation qui produit de l'acide lactique. Il n'est pas directement responsable des courbatures mais les micro-lésions consécutives à l'effort seront accentuées, ce qui cause les courbatures.

2. Les myopathies

Certaines maladies génétiques affectent le fonctionnement du muscle. En particulier, la myopathie de Duchenne est causée par des mutations sur le gène de la dystrophine.

La dystrophine est une protéine de très grande taille qui attache le complexe acto-myosine aux membranes des cellules musculaires. L'absence ou un défaut de cette protéine empêche de transmettre le raccourcissement aux membranes et donc à l'ensemble du muscle.

Dans de nombreux cas, les myopathies présentent aussi un caractère dégénératif qui accentue les symptômes au cours du temps.



Document 7 : Schéma montrant l'importance de la dystrophine (doc 6 p431 BELIN)

Conclusion

Les cellules musculaires sont de très longues fibres riches en protéines (complexe acto-myosine). Ces dernières sont capables de glisser les unes sur les autres pour permettre le raccourcissement des sarcomères et la contraction de l'ensemble du muscle, ce qui aboutit au mouvement. La contraction est déclenchée par le calcium et entretenu par l'ATP.

On peut maintenant se demander comment l'ATP est produit dans les cellules ?

La contraction musculaire aux différentes échelles

