



Savoir & Comprendre

Le muscle squelettique

Juin 2003

Repères

Le mot muscle vient du mot latin *musculus* qui signifie « petite souris ». Les muscles peuvent être considérés comme les « moteurs » de l'organisme. Les propriétés des muscles : excitabilité, contractilité, élasticité,... leur permettent de générer force et mouvement. Le système nerveux est indispensable à leur fonctionnement.

Les muscles striés squelettiques sont constitués de cellules allongées : les fibres musculaires. Associées en faisceaux, ces fibres sont rendues solidaires par des enveloppes élastiques.

Chaque fibre musculaire présente de nombreux noyaux répartis à la périphérie de la cellule. Elle est délimitée par une membrane (sarcolemme) et contient dans son cytoplasme (sarcoplasma) des myofibrilles qui constituent le support de la contraction musculaire.

Les myofibrilles présentent une structure filamentaire régulière (myofilaments) qui donne au muscle son aspect strié au microscope.

Une fibre musculaire résulte de la fusion de plusieurs cellules non différenciées à noyau unique appelées myoblastes. Le myotube, formé par la fusion des myoblastes, est caractérisé par des noyaux en position centrale.

Puis, lors de la différenciation du myotube en fibre musculaire, les noyaux vont se placer en périphérie de la cellule musculaire.

ORGANISATION ANATOMIQUE

Associées en faisceaux, les cellules musculaires sont rendues solidaires par des enveloppes de tissu conjonctif.

Un muscle squelettique est constitué de faisceaux musculaires formés eux-mêmes d'un ensemble de fibres musculaires. Chaque muscle est inséré sur l'os par l'intermédiaire de tendons constitués essentiellement de tissu fibreux, élastique et solide.

Enveloppe de tissu conjonctif

Une loge musculaire comprend un groupe de muscles enveloppés d'un tissu d'emballage : l'aponévrose. Les aponévroses sont

inextensibles, elles soutiennent les cellules musculaires et leur imposent de se contracter selon un certain axe. Elles sont en rapport avec les tendons qui relient les muscles aux os. La rupture de l'aponévrose est responsable d'une hernie musculaire.

Innervation et vascularisation du muscle

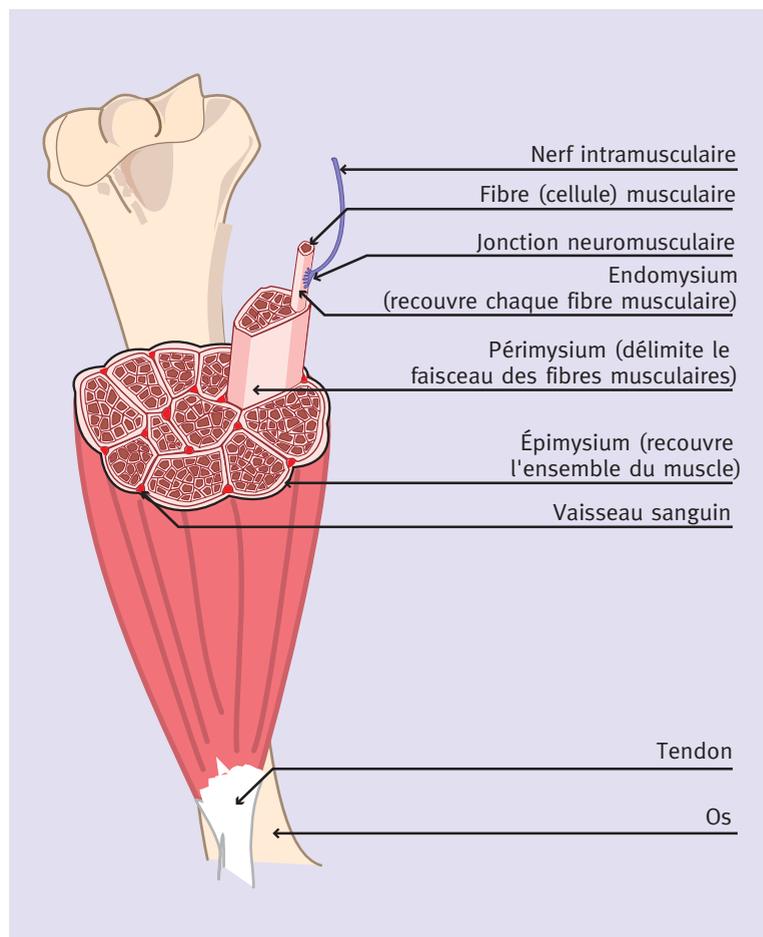
Outre les fibres musculaires et le tissu conjonctif qui le constituent, un muscle est parcouru par des vaisseaux sanguins et des fibres nerveuses.

L'activité normale d'un muscle squelettique est tributaire de son innervation. Chaque fibre muscu-

laire squelettique est en contact avec une terminaison nerveuse qui régit son activité.

Les fibres nerveuses motrices (ou nerfs moteurs) transmettent aux muscles les ordres émis (influx nerveux) par le système nerveux central. Les muscles se contractent de façon consciente (par exemple le biceps qui plie le bras) ou inconsciente (les muscles respiratoires).

Assurée par des artères et des veines, la vascularisation est essentielle au fonctionnement musculaire. Les artères fournissent au tissu musculaire les nutriments et l'oxygène nécessaires à son fonctionnement. Les veines suivent le chemin inverse de celui des artères. La circulation de retour débarrasse le muscle des déchets provenant du travail musculaire (acide lactique, dioxyde de carbone ou CO₂). L'accumulation de l'acide lactique nuit à la poursuite de l'effort musculaire.



Anatomie du muscle strié squelettique

Un muscle squelettique est entouré de plusieurs couches de tissu conjonctif :

- l'endomysium entoure chaque fibre musculaire ;
- le péricymium assemble les différentes fibres musculaires en faisceau de fibres musculaires ;
- l'épimysium recouvre l'ensemble du muscle.

Après avoir traversé l'épimysium, les vaisseaux sanguins (artérioles, veinules) qui assurent la vascularisation du muscle, donnent naissance à un fin réseau de capillaires qui gagne le péricymium puis l'endomysium pour vasculariser chaque fibre musculaire. Les prolongements des nerfs gagnent également le péricymium. Ils se terminent en arborisation dont les ramifications se terminent dans la jonction neuromusculaire pour innover les différentes fibres musculaires.

CARACTÉRISTIQUES FONCTIONNELLES

Les propriétés du muscle (excitabilité, contractilité, élasticité...) lui permettent de remplir ses fonctions.

Excitabilité

C'est la faculté de percevoir un stimulus et d'y répondre. En ce qui concerne les muscles squelettiques, le stimulus est de nature chimique : l'acétylcholine qui est libérée par la terminaison nerveuse motrice. La réponse de la fibre musculaire est la production et la propagation le long de sa membrane d'un courant électrique (potentiel d'action) qui est à l'origine de la contraction musculaire.

Contractilité

C'est la capacité de se contracter avec force en présence de la stimulation appropriée. Cette propriété est spécifique du tissu musculaire.

Élasticité

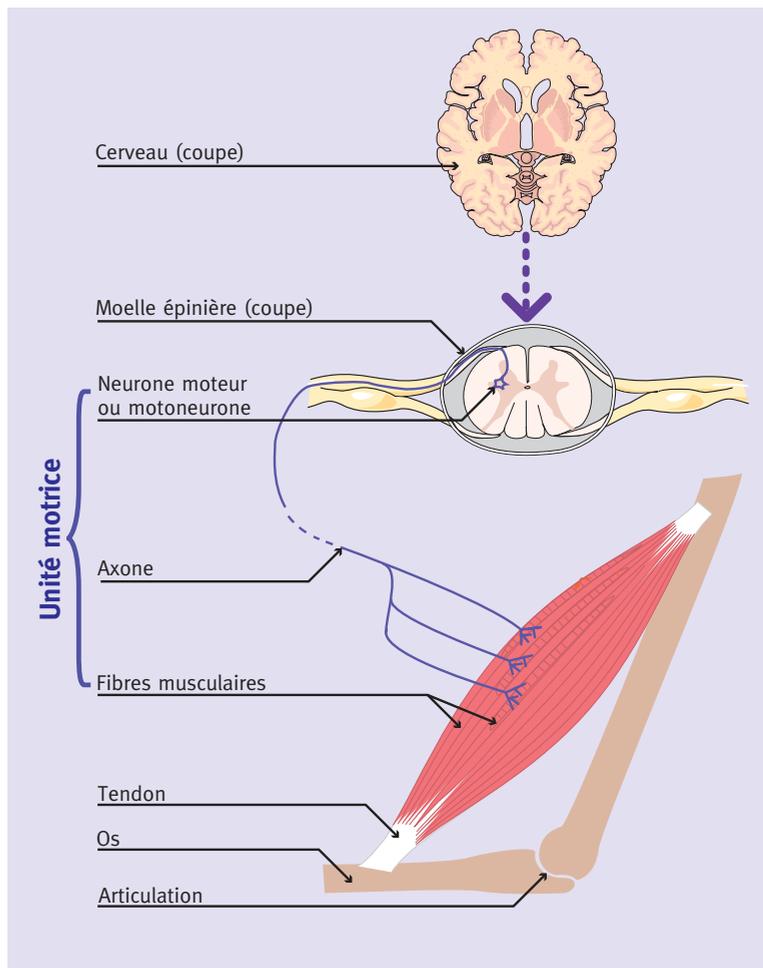
L'élasticité est une propriété physique du muscle. C'est la capacité qu'ont les fibres musculaires de s'étirer et de reprendre leur longueur de repos, après l'étirement. L'élasticité joue un rôle d'amortisseur lors de variations brutales de la contraction.

Extensibilité

C'est la faculté d'étirement. Si lorsque les fibres musculaires se contractent, elles raccourcissent, lorsqu'elles sont relâchées, on peut les étirer au-delà de la longueur de repos.

Plasticité

Le muscle a la propriété de modifier sa structure selon le travail qu'il effectue. Selon le type d'entraîne-



L'activité musculaire est contrôlée par le système nerveux.

Les fibres musculaires sont innervées par des fibres motrices α ou motoneurones α . Chaque motoneurone innerve plusieurs fibres musculaires qu'il active de façon synchrone. La structure de base autour de laquelle s'articule la physiologie musculaire est l'unité motrice. Une unité motrice est formée par un motoneurone (neurone moteur) situé dans la moelle épinière, son prolongement (axone) qui chemine dans le nerf périphérique et l'ensemble des fibres musculaires que le motoneurone innerve. Chaque axone moteur se divise en un certain nombre de ramifications, chacune d'elles innervant une seule fibre musculaire. Ainsi au niveau du muscle biceps brachial, un motoneurone innerve en moyenne 100 fibres musculaires qu'il active de façon synchrone. Lors d'un mouvement, le contrôle de la force de contraction est lié au nombre d'unités motrices recrutées.

ment (ou d'utilisation), le muscle s'adapte au type d'effort.

Ainsi, on peut rendre un muscle plus résistant ou plus endurant. Chez les coureurs sprinters, il existe une prédominance de fibres

musculaires de type « résistant » au niveau des membres inférieurs alors que chez les coureurs marathoniens, ce sont les fibres musculaires de type « endurant » qui prédominent.

DIFFÉRENTS TYPES DE FIBRES MUSCULAIRES

Des méthodes histochimiques basées sur l'étude des enzymes du métabolisme musculaire permettent de distinguer différents types de fibres musculaires.

Les fibres de type I à contraction lente ou fibres rouges

Elles sont nombreuses dans les muscles rouges. De petits diamètres et très vascularisées, ces fibres contiennent de nombreuses mitochondries et peu de glycogène.

Les fibres I sont peu fatigables, elles sont surtout utilisées lors d'exercices peu puissants et prolongés (maintien de la posture).

Les fibres de type II à contraction rapide

Elles sont localisées dans les muscles pâles, elles sont appelées aussi fibres blanches. Elles sont de plus grand diamètre, pauvres en mitochondries, peu vascularisées, mais elles sont riches en glycogène. Ces fibres sont très fatigables, mais très puissantes, elles sont sollicitées lors des exercices brefs mais intenses.

Les fibres de type IIa

Ce sont des fibres intermédiaires dont le pourcentage varie selon les muscles de l'organisme et selon l'individu.

Le rapport fibres lentes/rapides peut évoluer en fonction de l'entraînement et du type d'exercice pratiqué. De nombreuses fibres IIa ou intermédiaires évoluent vers le type I à la suite d'exercices prolongés et modérés (entraînement endurant). En revanche, des exercices brefs et intenses, 30 secondes à 2 minutes (entraînement en résistance), provoquent l'évolution des fibres IIa vers le type II (fibres rapides).

ORGANISATION CELLULAIRE

Associées en faisceaux, les cellules musculaires sont rendues solidaires par des enveloppes de tissu conjonctif.

Chaque faisceau musculaire est formé d'un ensemble de fibres musculaires. La fibre musculaire est une cellule allongée dont la longueur peut atteindre plusieurs centimètres.

Noyaux

Contrairement aux autres cellules de l'organisme, la cellule musculaire possède plusieurs noyaux (plurinucléée). Elle résulte de la fusion de cellules à un seul noyau, mononucléées : les myoblastes (au cours du développement embryonnaire) ou les cellules satellites (au cours de la régénération après la naissance).

La fibre musculaire mature (plurinucléée) contient de multiples noyaux disposés en périphérie de la cellule.

Sarcolemme

La fibre musculaire est entourée d'une membrane : le sarcolemme. Il présente de fines invaginations tubulaires (tubules transverses ou tubules T) réparties régulièrement le long de la fibre musculaire et y pénétrant profondément.

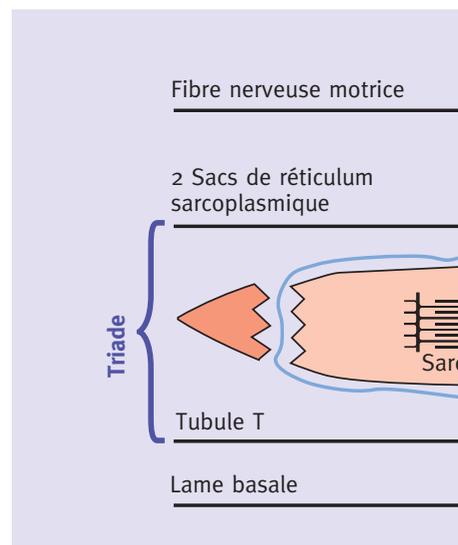
Sarcoplasme

Le cytoplasme de la fibre musculaire, appelé sarcoplasme, contient les organites responsables de son fonctionnement (réticulum endoplasmique, mitochondries, ...) et le cytosquelette⁽¹⁾.

Dans le sarcoplasme, se trouvent des réserves importantes de glycogène (« carburant » de la cellule musculaire) ainsi que la myoglobine (fournisseur d'oxygène de la cellule musculaire).

Réticulum endoplasmique lisse et tubule T

La fibre musculaire possède un réticulum sarcoplasmique⁽²⁾ (RS) lisse particulièrement développé. Celui-ci forme des expansions de telle sorte que 2 sacs de réticulum sarcoplasmique entourent chaque



tubule T pour former une triade. La triade est la structure qui permet le passage du signal nerveux (potentiel d'action) et la libération du calcium à partir du RS, c'est-à-dire le couplage de l'excitation à la contraction.

Myofibrilles

L'essentiel du cytosquelette musculaire est constitué de myofibrilles qui sont les éléments contractiles des cellules des muscles squelettiques. Chaque myofibrille est composée d'une chaîne d'unités contractiles répétitives, les sarcomères.

Sarcomère

Sur la longueur de chaque myofibrille, il existe une alternance de bandes foncées (bandes A) et claires (bandes I). Chaque bande A est coupée en son milieu par une rayure claire (zone H). Au milieu de la bande I, se trouve une zone plus foncée (strie Z). La région d'une myofibrille comprise entre deux stries Z successives représente un sarcomère. C'est la plus petite unité contractile de la fibre musculaire.

JONCTION NEUROMUSCULAIRE

C'est une zone privilégiée au niveau de laquelle s'effectue la neurotransmission.

La jonction neuromusculaire est une synapse particulière entre chacun des contacts étroits entre une terminaison axonale motrice et une fibre musculaire.

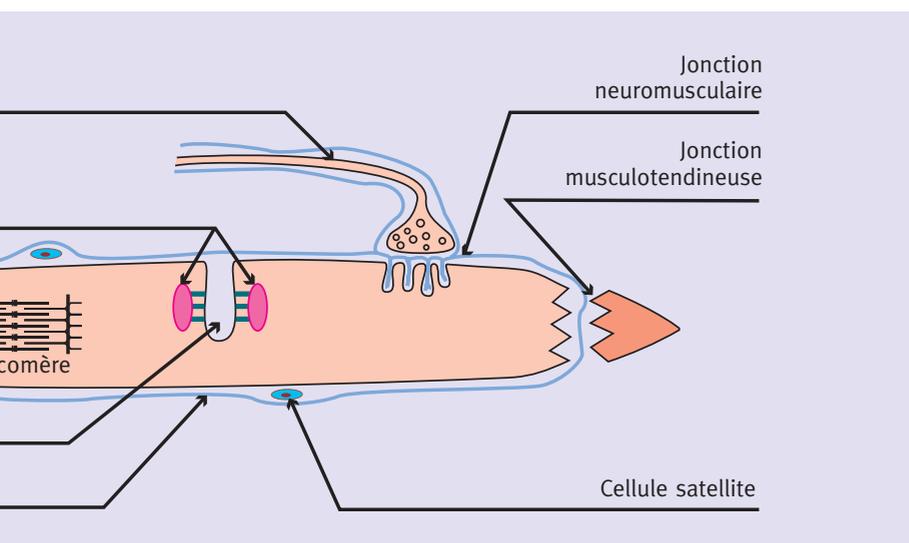
Le neurotransmetteur, l'acétylcholine, libéré par la terminaison nerveuse se lie au récepteur de l'acétylcholine, au niveau du sarcolemme et déclenche un courant électrique : le potentiel d'action. Celui-ci se propage tout le long du sarcolemme et provoque au niveau de la triade le passage d'un signal électrique du tubule T au réticulum sarcoplasmique qui libère alors les ions calcium (Ca^{++}). Les ions calcium libérés, en diffusant entre les filaments protéiques d'actine et de myosine, provoquent la contraction des myofibrilles.

Myofilaments

Au niveau moléculaire, les stries des myofibrilles sont formées par une disposition ordonnée de deux types de filaments de protéine ou myofilaments à l'intérieur du sarcomère. Les filaments épais sont composés de molécules de myosine. Les filaments fins sont composés principalement d'actine.

Mitochondries

Le muscle est une véritable usine métabolique consommant de l'énergie. Le sarcoplasme d'une fibre musculaire contient de très nombreuses mitochondries. Ce sont elles qui produisent de l'énergie (ATP) directement utilisable par la fibre musculaire pour contracter ses myofibrilles.

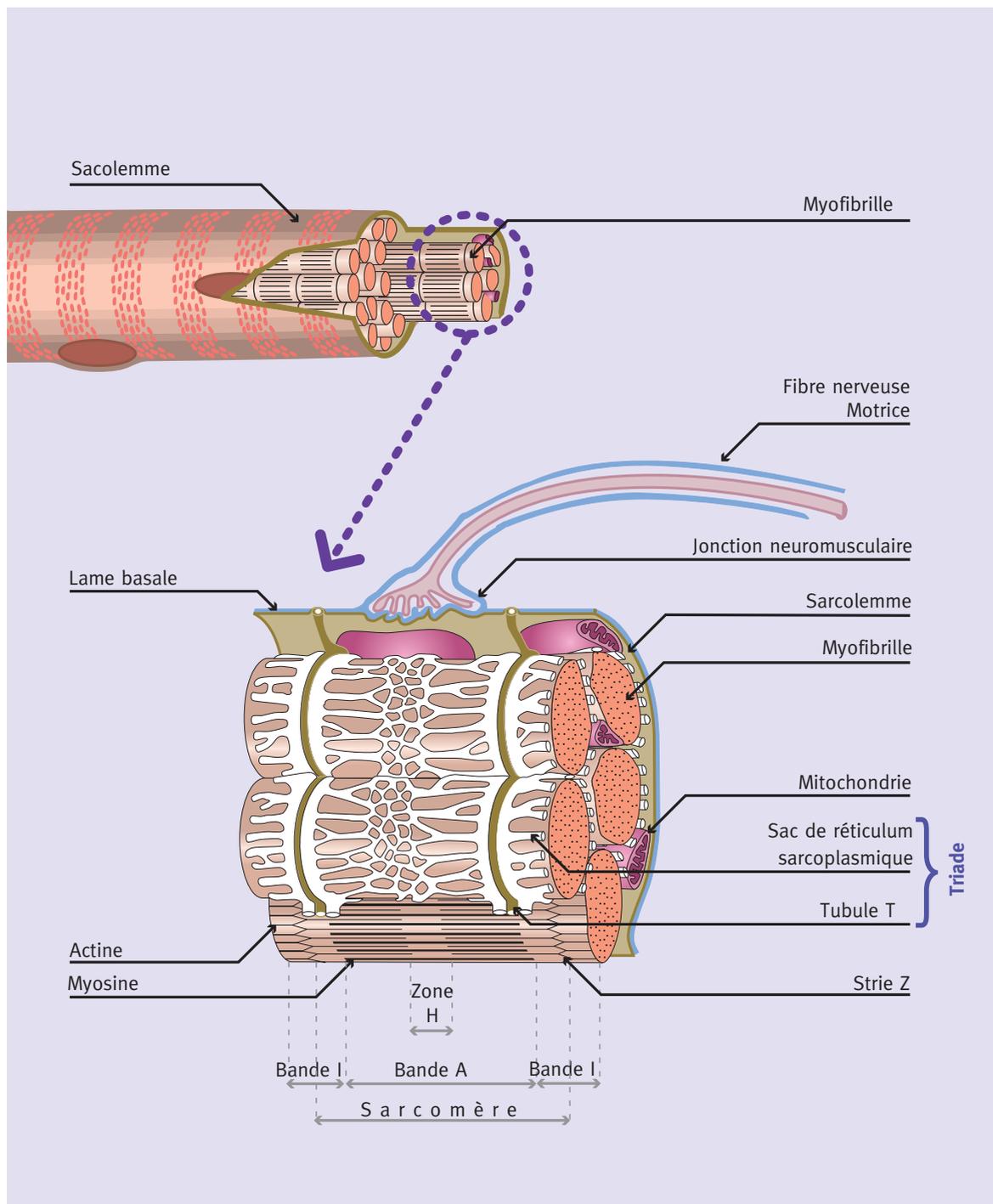


(1) Le cytosquelette constitue l'armature cellulaire. Dans la cellule musculaire, l'essentiel du cytosquelette est constitué des éléments contractiles, les myofibrilles.

(2) Le réticulum sarcoplasmique lisse est un réseau de cavités cellulaires. Il constitue la réserve de calcium nécessaire à la contraction musculaire.

Fibre musculaire.

Chaque fibre musculaire a une forme cylindrique et un diamètre de 50 micromètres, elle s'étend d'une extrémité tendineuse à l'autre. Elle est délimitée par une membrane, le sarcolemme entouré par un réseau moléculaire constituant la lame basale. C'est sous cette lame basale que sont situées les cellules satellites ou myoblastes dormants.



De la fibre musculaire aux myofilaments.

De nombreuses myofibrilles occupent l'intérieur des fibres musculaires et en constituent les éléments contractiles.

Les sarcomères se caractérisent par l'association, en une trame hexagonale, de filaments protéiques fins (actine) et épais (myosine). C'est le glissement des filaments les uns sur les autres qui réalise la contraction des myofibrilles.

DÉVELOPPEMENT DU MUSCLE

Née du feuillet moyen de l'embryon (mésoderme), la cellule musculaire passe par plusieurs stades de développement.

Croissance du muscle

Pendant l'enfance et la puberté, la croissance va entraîner une augmentation du volume du corps musculaire d'environ 20 fois.

La croissance du muscle après la naissance ne dépend pas d'une augmentation du nombre des fibres musculaires (environ 250 millions), mais d'une augmentation de leur diamètre (liée à la synthèse de nouvelles myofibrilles) et de leur longueur.

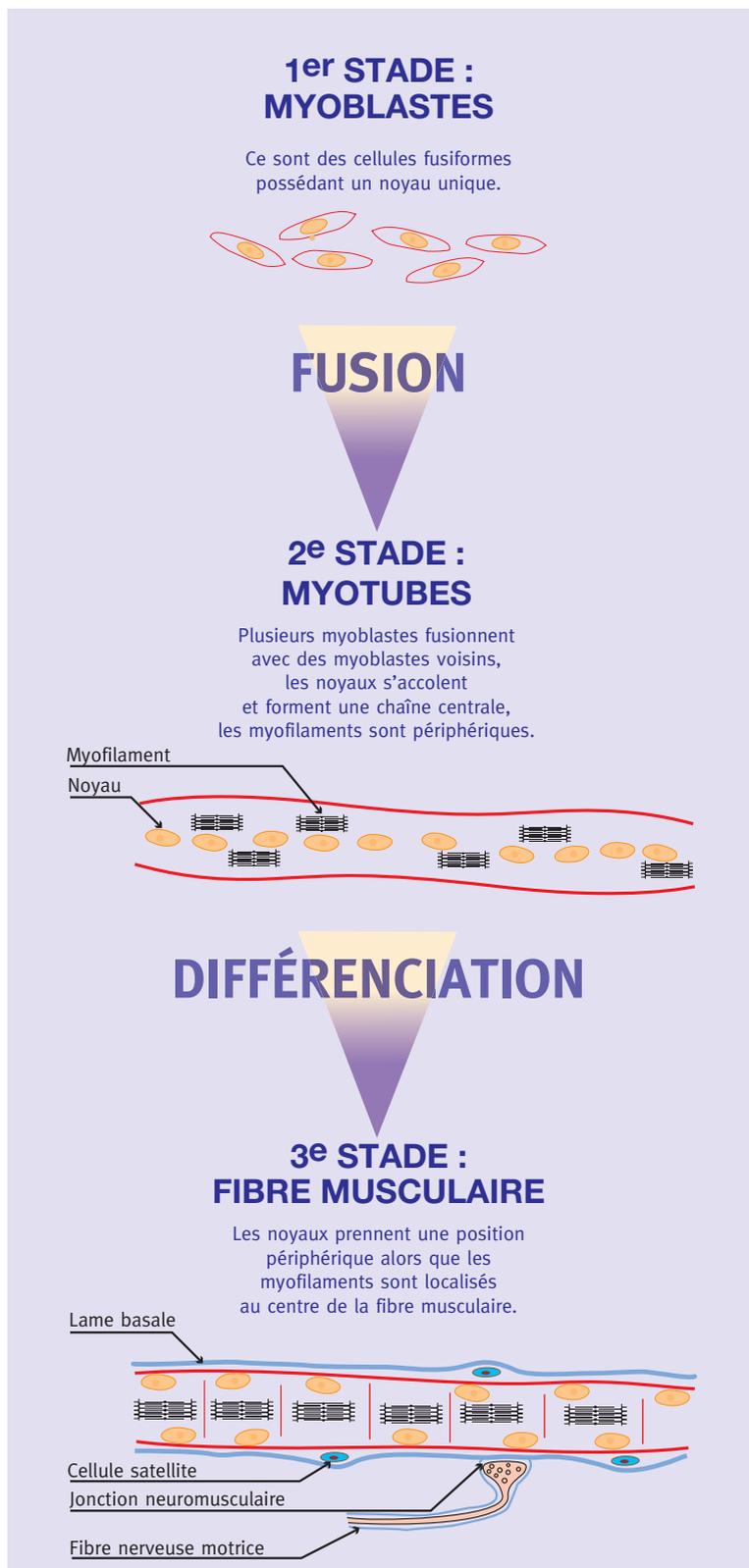
Ces modifications sont soumises à des facteurs nerveux, mécaniques et hormonaux.

Vieillesse du muscle

Avec l'âge, les muscles s'aminçissent et leur force diminue. Un facteur de non-utilisation ou de sous-utilisation joue un rôle important dans l'atrophie des fibres musculaires. Il y a perte de fibres musculaires, diminution de leur taille... Un facteur de dénervation s'ajoute souvent à ces lésions musculaires.

Myogénèse d'une fibre musculaire.

Le myotube, issu de la fusion de plusieurs myoblastes, se différencie en fibre musculaire mature (noyaux multiples en périphérie). Des axones venus des neurones de la moelle épinière créent une jonction neuromusculaire vers la dixième semaine de la vie embryonnaire.





Association Française contre les Myopathies

Association reconnue d'utilité publique

1, rue de l'Internationale - BF 59
91002 Evry cedex
Téléphone : 01 69 47 28 28
Télécopie : 01 60 77 12 16
www.afm-france.org

Siège social : AFM - Institut de Myologie
47-83, boulevard de l'Hôpital
75651 Paris cedex 13

POUR EN SAVOIR PLUS...

Repères Savoir & Comprendre

«Percer le secret des maladies»

«Le système musculaire»

www.afm-france.org