

Histologie de l'appareil locomoteur

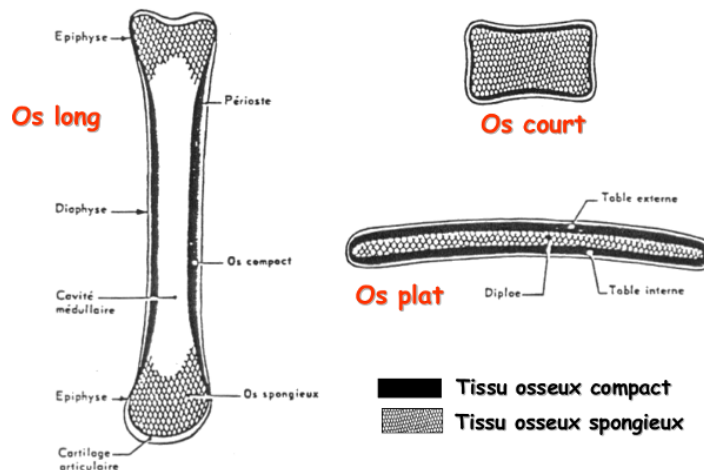
2018-2019

1 Histologie du tissu osseux

Les os du squelette appendiculaire constituent la charpente de l'appareil locomoteur.

1.1 Généralités

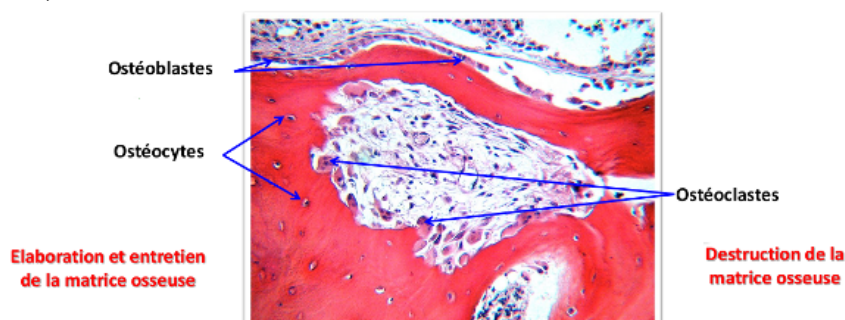
Le tissu osseux est un tissu **conjonctif de soutien** d'origine **mésenchymateuse**. Il possède une **matrice extracellulaire dure et rigide** avec une fraction organique et une fraction minérale (phosphate de calcium). Il est en **perpétuel remaniement** (remodelage osseux). Pour l'étudier, on doit le tremper dans des bains d'acide et d'EDTA afin de le couper.



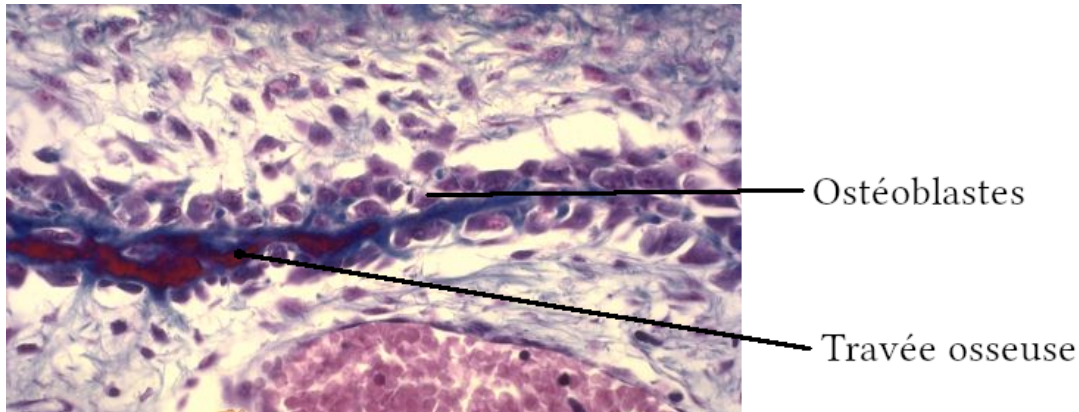
L'organe os contient 25% de tissu osseux, 60% de moelle hématopoïétique et 15% de tissu conjonctivo-vasculaire.

1.2 Les constituants du tissu osseux

Il existe 3 catégories de cellules : **ostéoblastes** et **ostéocytes** qui fabriquent et entretiennent la matrice osseuse, l'**ostéoclaste** détruit la matrice osseuse.



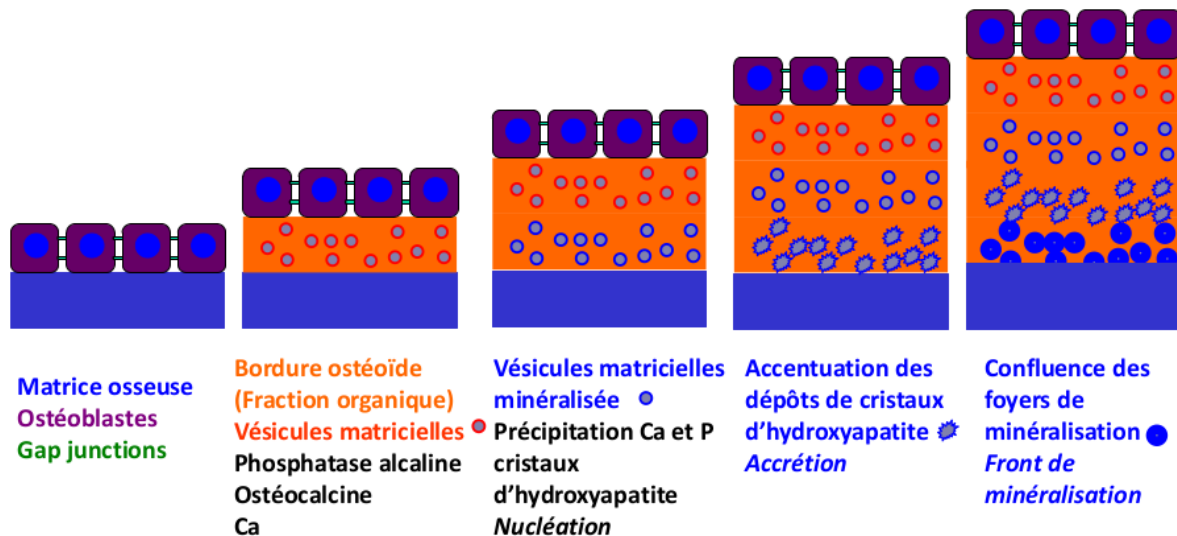
1.2.1 Ostéoblastes



Les ostéoblastes proviennent des cellules souches mésenchymateuses de la moelle osseuse hématopoïétique. Ils possèdent des digitations au pôle basal et des prolongements cytoplasmiques courts latéraux avec des « gap junctions » qui leur permettent de beaucoup communiquer entre eux.

Les ostéoblastes activés sont des cellules cubiques avec un grand noyau rond qui mesurent de **20 à 30 μm** . Quand ils sont au repos, ils sont aplatis et on les appelle « **cellules bordantes** ».

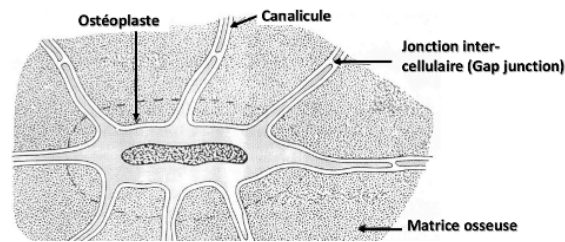
Ils synthétisent la matrice organique et ils la minéralisent par **apposition osseuse**. Grâce à la **phosphatase alcaline** qu'il synthétise et libère dans les digitations, il produit la matrice extra-cellulaire (bordure ostéoïde) qui se calcifie petit à petit.



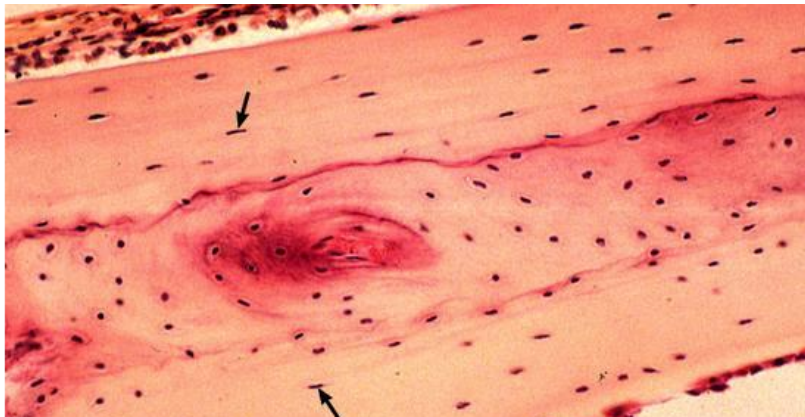
Ils régulent le remodelage osseux. En réponse à la stimulation des récepteurs membranaires à la PTH (parathormone) ils sécrètent :

- RANK-L (receptor activator of NK- κ B ligand) qui active les ostéoclastes
- OPG (ostéoprotégérine)

1.2.2 Ostéocytes

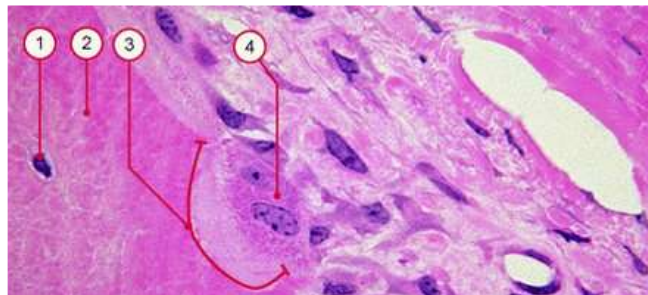


Ce sont des cellules aplaties de 20-30µm dispersées dans des lacunes de la **matrice ostéoïde et osseuse** : les **ostéoplastes**. Elles possèdent des **prolongements cytoplasmiques** longs en contact avec les autres qui forment des **jonctions communicantes** avec lesquelles ils communiquent entre eux et avec les ostéoblastes.



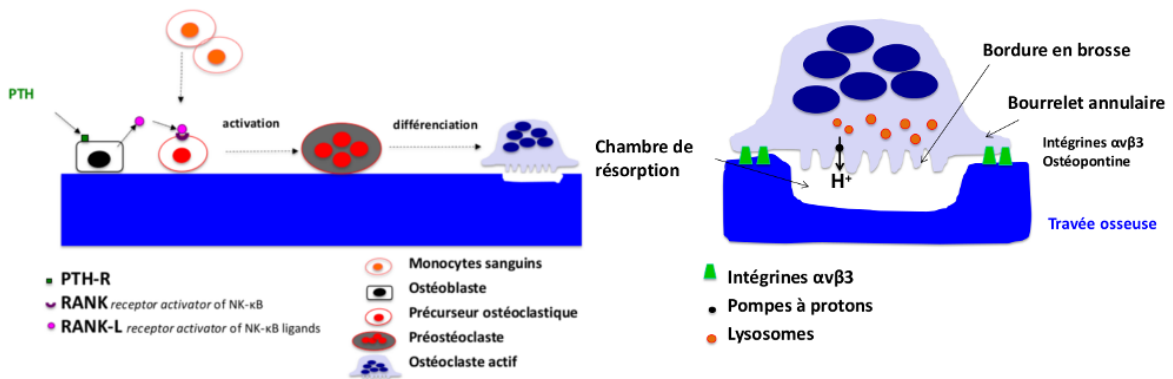
Les ostéocytes sont des cellules mécanoréceptrices : ils réagissent aux sollicitations et communiquent en commandant la destruction ou la synthèse osseuse. Ils maintiennent la trophicité du tissu osseux, et assurent l'homéostasie phosphatocalcique. L'ostéoplaste s'élargit quand l'ostéocyte meurt ou quand il y a une hypersécrétion de parathormone - PTH.

1.2.3 Ostéoclastes



1. Ostéocyte
2. matrice osseuse
3. lacune de Howship
4. Ostéoclaste à plusieurs noyaux

Ils proviennent des monocytes sanguins et non pas des cellules mésenchymateuses. Ce sont d'énormes cellules plurinucléées polarisées de 100µm chargées de la destruction de la matrice osseuse. Ils ont une durée de vie de 12 jours. Ils possèdent des microvillosités au pôle basal, face à la **lacune de Howship**, trou formé par la resorption osseuse.

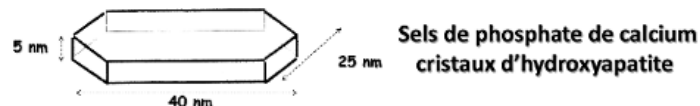


- Destruction de la travée osseuse par acidification et libération d'enzymes : phosphatase acide (TRAP) et protéases (cathepsine K).
- Élimination des débris par phagocytose puis transcytoses (les déchets traversent la cellule avant d'être libérés).

1.2.4 La matrice extracellulaire (MEC)

Elle est produite par les ostéoblastes :

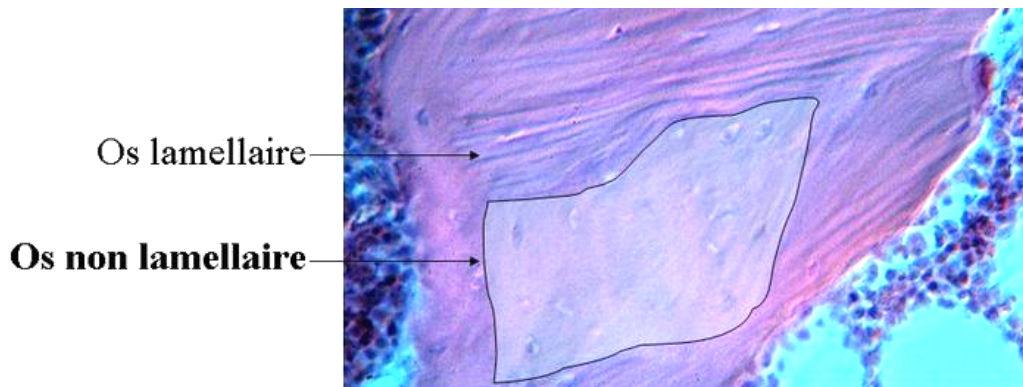
- La **fraction organique** ou substance ostéoïde représente 30% de l'os sec dont 95% de fibres de collagène de type I et 5% de substance fondamentale : Protéoglycanes (chondroïtine sulfate, kératine sulfate), glycoprotéines (Ostéonectine, Ostéocalcine et Ostéopontine) et facteurs de croissance : BMP (Bone morphogenic proteins)
- La **fraction minérale** représente 70% de l'os sec. C'est un réservoir d'ions minéraux : calcium, phosphate, carbonate et magnésium. Elle contient des sels de phosphate de calcium qui forment des cristaux d'**hydroxyapatite**, mais aussi du carbonate de calcium et phosphate de magnésium dans une moindre mesure.



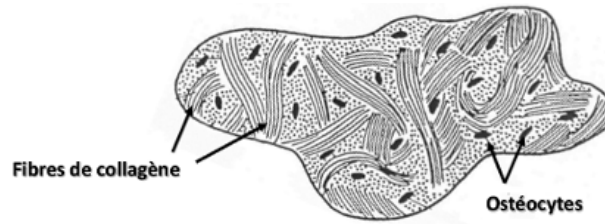
Une glycoprotéine d'adhérence, l'ostéonectine, fixe les fibres collagène I aux cristaux osseux.

1.3 Caractérisation des tissus osseux

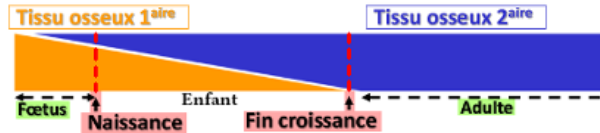
1.3.1 Tissu osseux non lamellaire ou primaire



C'est l'os Primaire ou « os tissé ». Il est traversé par des fibres de collagène et contient des ostéocytes, il est peu minéralisé.



Il se trouve dans les ébauches osseuses du fœtus durant le processus d'ossification. On le trouve chez l'adulte dans les osselets de l'oreille, et il constitue le cal osseux qui se forme après une fracture.



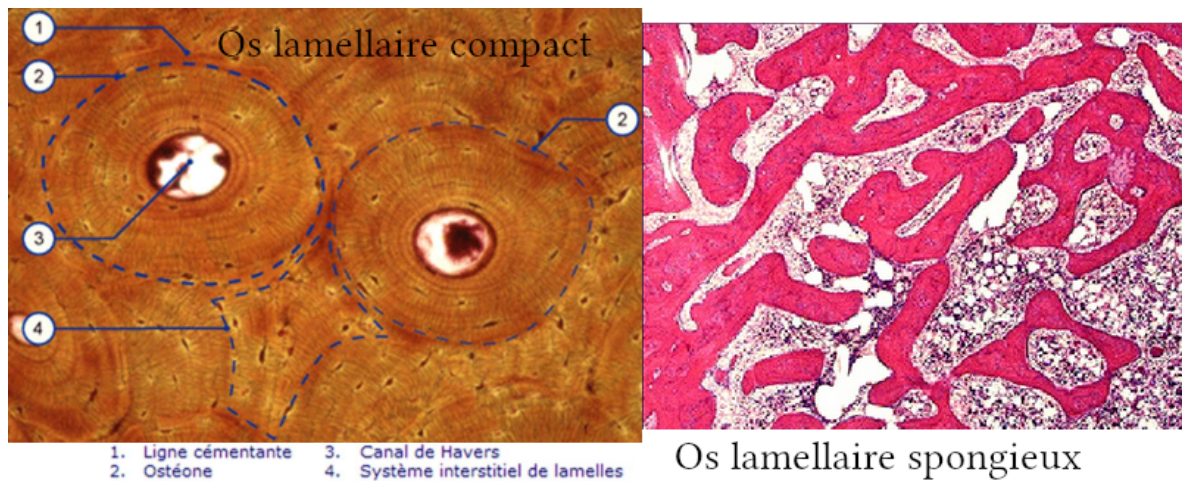
Le tissu osseux primaire est provisoire et sera transformé en os secondaire au cours de la croissance.

1.3.2 Os compact et os spongieux

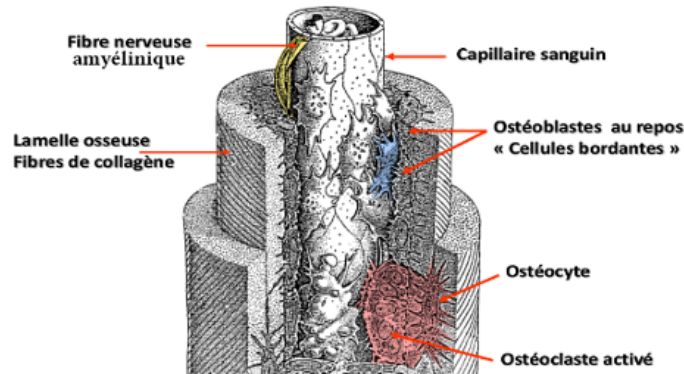
	<p>Os long</p> <p>Épiphyse Diaphyse</p>	<p>Os court</p>	<p>Os plat</p>
Périphérie	Os compact	Os compact	Os compact
Centre	Os Spongieux Cavité Médulaire	Os spongieux	Os spongieux

L'os compact forme la diaphyse des os longs alors que l'os spongieux se trouve dans les épiphyses des os longs, les os plats et dans les os courts.

1.3.3 Tissu osseux lamellaire, secondaire ou Haversien



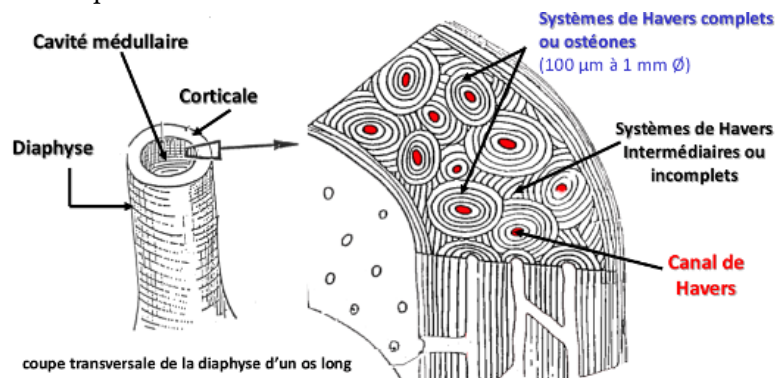
Il est constitué par des couches de fibres parallèles de collagène perpendiculaires les unes aux autres. Il est fortement minéralisé : il contient moins d'ostéocytes. Il est constitué de **systèmes de Havers ou ostéones**, structure cylindrique en perpétuel remodellement.



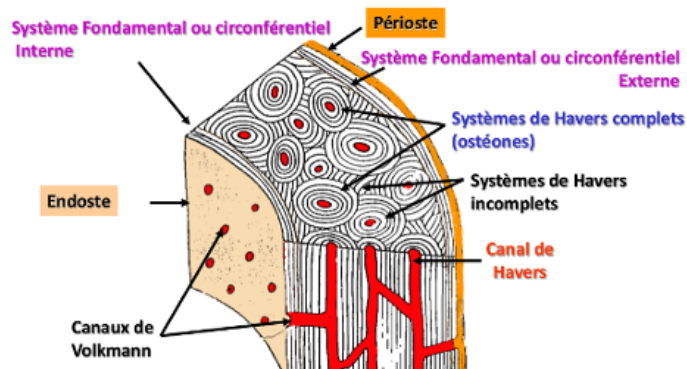
Un canal de Havers est traversé par un capillaire sanguin ainsi qu'une fibre nerveuse

Il existe 2 types de tissu osseux lamellaire :

On trouve du **tissu osseux haversien compact** dans la partie corticale des os longs. Il est résistant aux contraintes mécaniques.

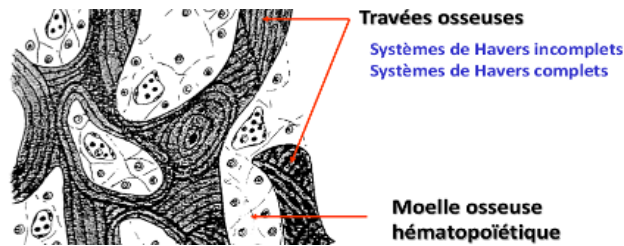


Les ostéones plus anciennes sont progressivement remplacées par des neuves, en permanence. La **ligne cémentante** sépare la périphérie du système de l'ostéone du reste du tissu osseux : les cellules de part et d'autre de cette ligne ne communiquent pas entre elles. Un système de Havers complet (ou ostéone) mesure de 1 à 10 mm de haut, et 0.1 à 1 mm de diamètre, il possède une dizaine de lamelles osseuses.



Le périoste est du tissu conjonctif dense non orienté, l'endoste et du tissu conjonctif fin. Les **canaux de Volkmann** relient le système capillaire du périoste avec les capillaires des ostéones et le système de l'endoste.

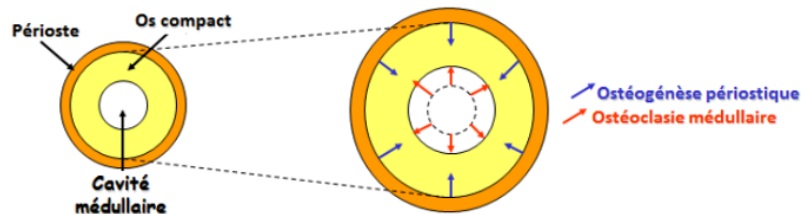
Le **tissu osseux haversien spongieux** se situe à l'intérieur de l'épiphyse des os longs, et dans les os courts et plats. Les cloisons s'orientent selon les contraintes mécaniques qui s'appliquent sur l'os.



L'os spongieux contient la moelle hématopoïétique d'où viennent les cellules sanguines

1.3.4 L'endoste et le périoste

Le **périoste** contient une couche externe fibreuse vascularisée et une couche interne responsable de l'ostéogénèse contenant des cellules mésenchymateuses ostéoprogénitrices. L'**endoste** est constitué de tissu conjonctif fin tapissant les cavités vascularisées du tissu osseux. Il contient aussi des cellules mésenchymateuses ostéoprogénitrices.



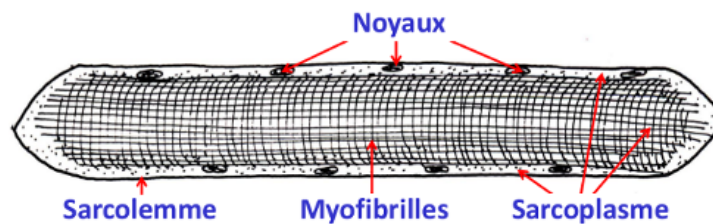
La croissance diaphysaire ou croissance en épaisseur de l'os

2 Histologie du tissu musculaire strié squelettique

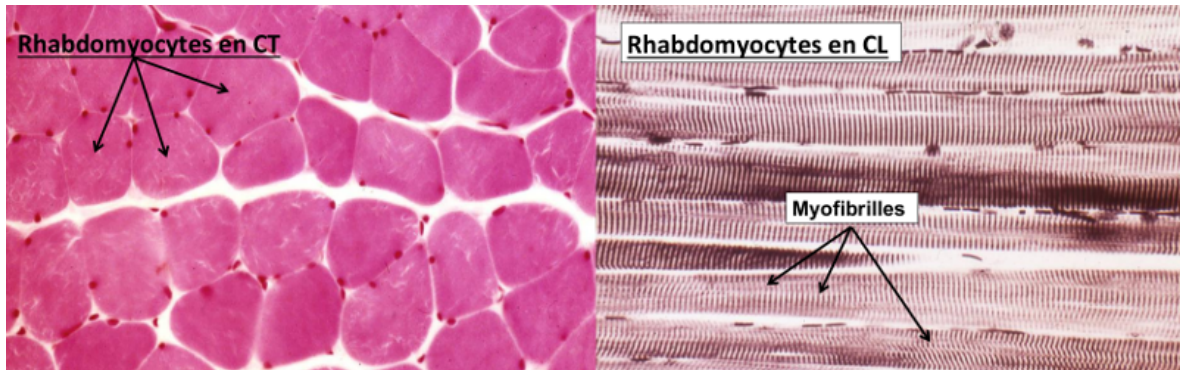


Les muscles striés squelettiques sont les muscles de l'appareil locomoteur, à contraction volontaire. Leur cellule principale est le rhabdomyocyte qui contient les unités contractiles.

2.1 Structure générale des rhabdomyocytes



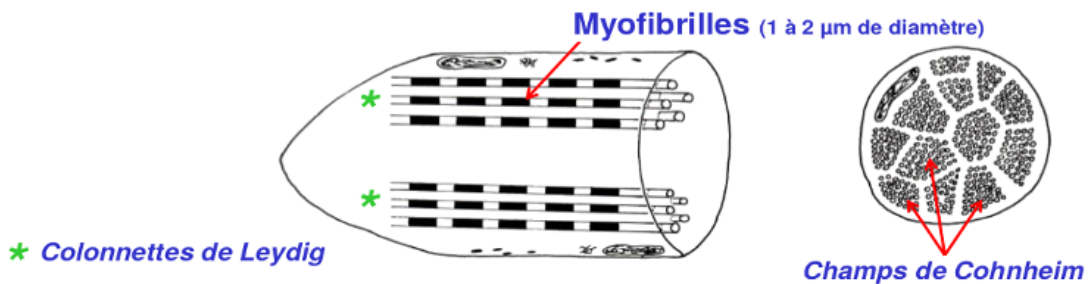
Ils mesurent jusqu'à 10cm de long et 10-100 μm de diamètre. Leur membrane plasmique s'appelle **sarcolemme**, elle est doublée d'une lame basale et est très résistante. Elle s'invagine régulièrement en doigts de gant perpendiculairement à l'axe de la cellule, en lien étroit avec le réticulum endoplasmique (appelé dans ces cellules **réticulum sarcoplasmique** - très développé). À ce niveau se situent des petits orifices : les tubules Transverses ou tubules T.



Les rhabdomyocytes sont multinucléés car ces cellules sont le résultat de la fusion de plusieurs cellules durant la vie embryonnaire. Les noyaux sont refoulés sous le sarcolemme à la périphérie et possèdent une forme ovale. Dans ces cellules musculaires, le cytoplasme s'appelle le **sarcoplasme**.

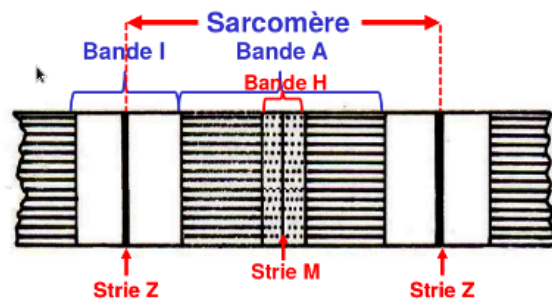
2.2 Les myofibrilles

Les très nombreuses myofibrilles du rhabdomyocyte sont responsables de la contraction musculaire. Elles se disposent régulièrement, parallèlement au grand axe de la cellule.



En MO, on observe des myofibrilles de 1 à 2 μm de diamètre, parallèles entre elles et au grand axe de la cellule. La structure qu'elles forment sur une coupe longitudinale s'appelle **colonnette de Leydig** et celle formée sur une coupe transversale s'appelle **champ de Cohnheim**. Elles présentent une striation transversale très régulière avec un alignement parfait entre les bandes claires sur les différentes myofibrilles. Les myofibrilles sont séparées les unes des autres par du sarcoplasme et des mitochondries.

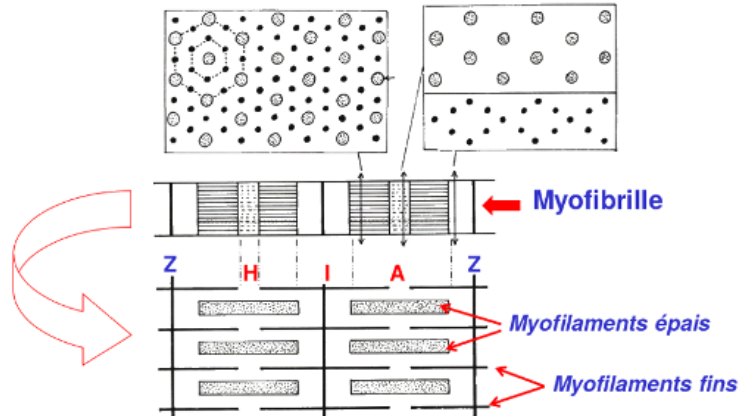
2.2.1 Le sarcomère



Le sarcomère est l'unité contractile de la myofibrille. Il mesure 2-3 μm de long. Les bandes sombres sont appelées bandes A pour anisotrope. Elles présentent une bande un peu plus claire au centre (la bande H de Hensen) divisée en 2 par une strie sombre (strie M). Les bandes claires sont appelées Bandes I pour isotropes. Elle présentent une strie sombre au milieu de la bande appelée strie Z ou disque Z. Le sarcomère est la structure délimitée par 2 stries Z.

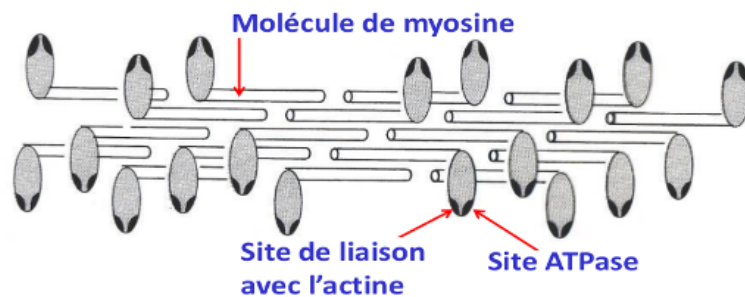
2.2.2 Microscopie électronique

La bande A (sombre) marque le territoire des myofilaments épais. Les myofilaments fins vont de la strie Z à la bande H.

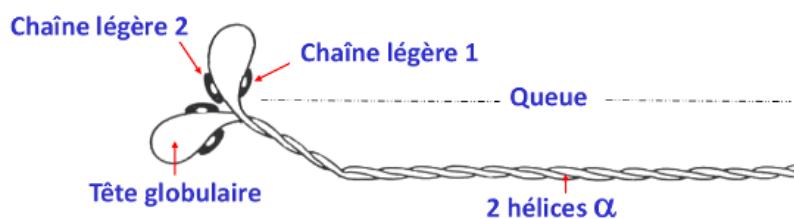


Les myofilaments ont une disposition hexagonale extrêmement régulière visible sur la coupe transversale. Au niveau de la strie M, il y a des ponts d'union protéiques qui relient les filaments épais entre eux qui viennent les maintenir et les centrer.

2.2.3 Myofilament épais

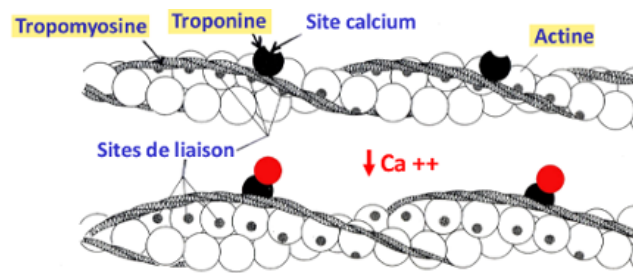


Le myofilament épais est un assemblage très régulier de molécules unitaires de myosine disposées « tête-bêche ». Il mesure 15nm de diamètre.



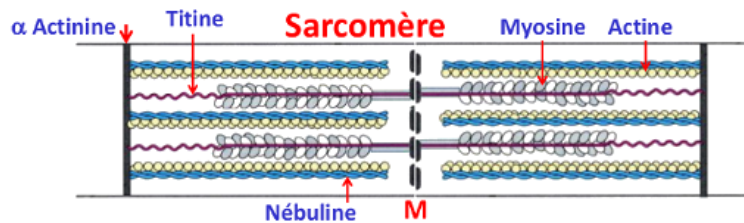
Chaque molécule de myosine II possède 2 chaînes lourdes en hélices α associées formant les 2 têtes globulaires sur lesquelles se fixent les 4 chaînes légères. On y trouve un site de liaison avec l'actine et un site ATP-asique.

2.2.4 Myofilament fin



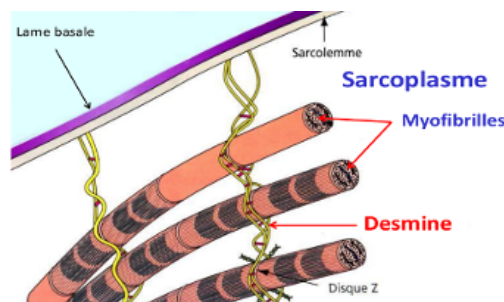
Le myofilament fin est formé d'une double hélice d'actine associée à 2 doubles hélices de tropomyosine portant de la troponine. Il mesure 5nm de diamètre. Au repos, la tropomyosine vient recouvrir les sites de liaison de l'actine pour la myosine. Lors de l'influx nerveux, la troponine vient fixer le calcium libéré par le réticulum sarcoplasmique, ce qui dévoile les sites de liaison et déclenche la contraction.

2.2.5 Protéines



- La nébuline possède un rôle dans la polymérisation de l'actine lors de la formation du myofilament, elle le stabilise.
- La titine hélicoïdale élastique permet la résistance du sarcomère lors de l'étirement et maintient le myofilament épais.
- L' α -actinine est constitutive des disques Z et permet la liaison à l'actine et à la titine.

2.2.6 Ancrage des myofibrilles entre elles et au sarcolemme

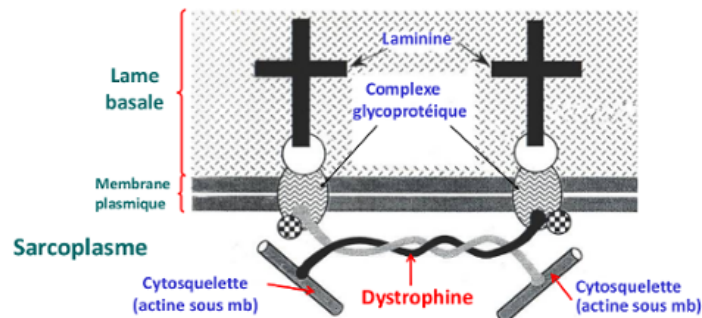


Les filaments intermédiaires de desmine ancrés dans le sarcolemme viennent s'enrouler autour des myofibrilles au niveau des disques Z ce qui conduit à leur alignement parfait observable en MO.

2.3 Autres constituants du rhabdomyocyte

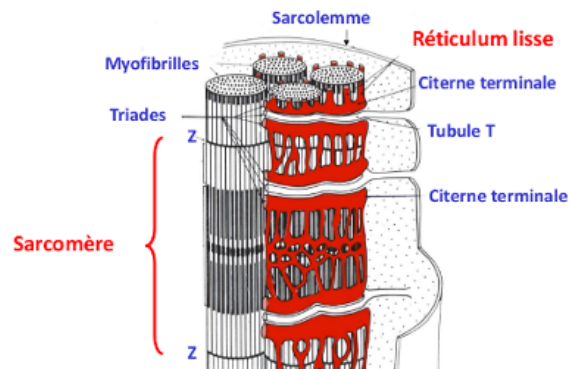
2.3.1 Cytosquelette sous le sarcolemme

Le sarcolemme est renforcé ce qui lui permet de résister aux déformations permanentes.



La **dystrophine** est la principale molécule sarcolemmique qui joue ce rôle : elle est fixée d'une part sur un complexe glycoprotéique transmembranaire et d'autre part sur le cytosquelette d'actine sous-membranaire. Elle fixe le cytosquelette sous membranaire à la basale grâce à la laminine. Elle est distribuée de façon non régulière, et est concentrée au niveau des costamères.

2.3.2 Réticulum sarcoplasmique



Il est représenté en rouge. C'est un réseau anastomosé de canalicules qui convergent vers des citernes terminales accolées aux tubules T. Il constitue un réservoir d'ions Ca^{2+} . C'est la libération de ces ions calcium lors de la dépolarisation du sarcolemme qui provoque la contraction du muscle. Une **triade** est un tubule T entouré de ses 2 citernes terminales. Elles se situent à la jonction entre les bandes claires et les bandes sombres des myofibrilles du rhabdomyocyte.

2.3.3 Autres constituants du Rhabdomyocyte

- On observe les constituants classiques des cellules de l'organisme : appareil de Golgi, lysosomes, mitochondries, REG...
- Il possède aussi en quantité importante de la myoglobine, molécule qui fixe et transporte l'oxygène responsable de l'aspect rouge des fibres musculaires.
- On trouve aussi des molécules impliqués dans le stockage et la production d'énergie : le glycogène, l'ATP, la phosphocréatine.

2.4 Différentes variétés de cellules musculaires

2.4.1 Les cellules extra-fusales

Ce sont les rhabdomyocytes proprement dits, cellules les plus nombreuses du muscle strié squelettique. Leur rôle principal est la contraction, dont le carburant est l'ATP. Elles utilisent plusieurs voies métabolique pour produire leur énergie :

1. Phosphorylation de l'ADP par la phosphocréatine : Très rapide et très rapidement épuisée, toutes les fibres.
2. Phosphorylation par voie glycolytique

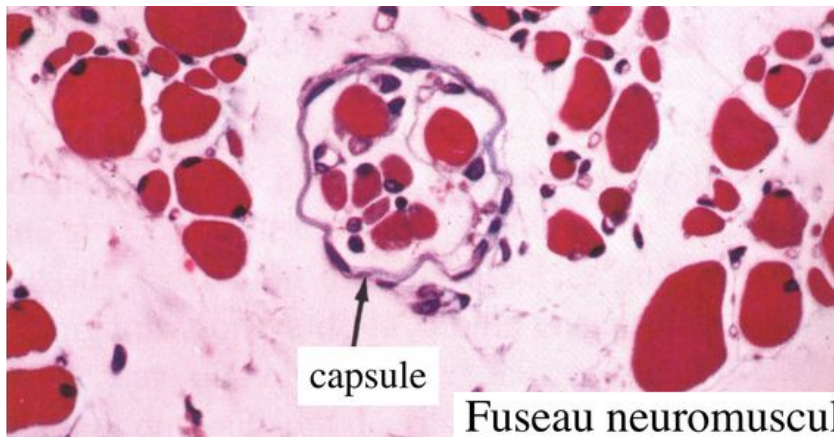
3. Phosphorylation oxydative par les mitochondries

On distingue plusieurs types de fibre musculaire en fonction de la voie prépondérante utilisée par les cellules :

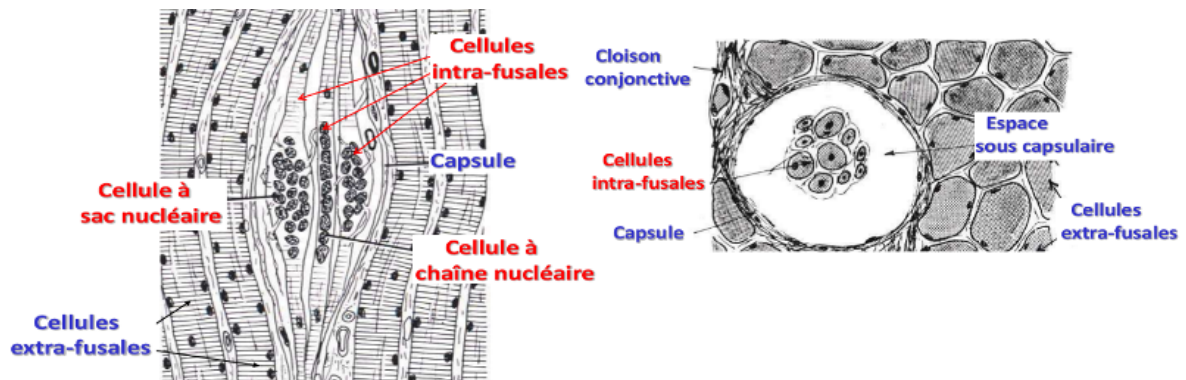
	Fibres rouges lentes oxydatives I	Fibres blanches IIb rapides glycolytiques	IIa Fibres rouges rapides oxydatives (intermédiaires)
Phosphorylation oxydative	+++	+	+++
Mitochondries	+++	+	+++
Myoglobine	+++	+	+++
Capillaires	+++	+	+++
Activité ATPasique	+	+++	+++
Contraction	Lente	Rapide	Rapide
Fatigabilité	Lente	Rapide	Moyenne
Activité glycolytique	+	+++	++
Glycogène	+	+++	++
Diamètre	+	+++	++
Myofibrilles	+	+++	++

Au sein d'un muscle strié squelettique on retrouve les 3 types cellulaires. Ça peut varier selon l'entraînement. Les fibres impliquées dans la posture sont plutôt des fibres rouges lentes et oxydatives, alors que les muscles qui ont une activité plus importante seront plus de type blanche rapide. On peut distinguer ces types la présence plus ou moins abondante de glycogène que l'on met en évidence grâce à la réaction du PAS qui fait apparaître rose le glycogène.

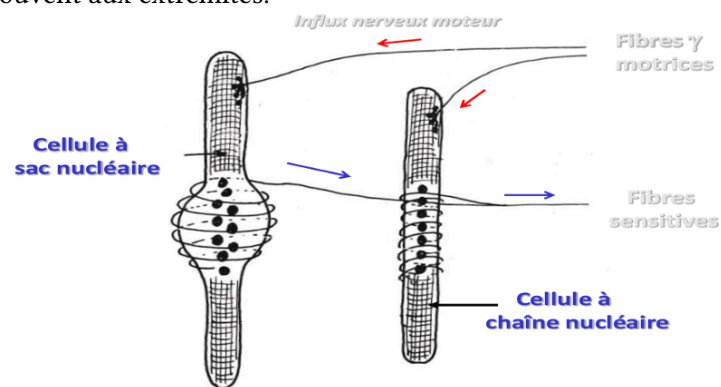
2.4.2 Les cellules intra-fusales



Ces cellules sont présentes au niveau des fuseaux neuro-musculaire (petits organes sensitifs au sein des muscles striés squelettiques). Ce sont des rhabdomyocytes particulières, on distingue les **cellules à sac nucléaire** qui contiennent plusieurs noyaux au centre dans un renflement des **cellules à chaîne nucléaire** qui ne possèdent pas de renflement.

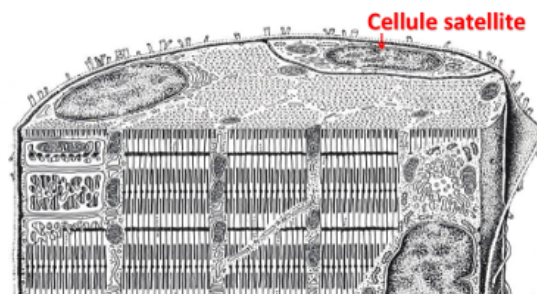


Dans les 2 cas, on n'observe pas de myofibrilles dans la zone contenant les noyaux au centre de la cellule : elles se trouvent aux extrémités.



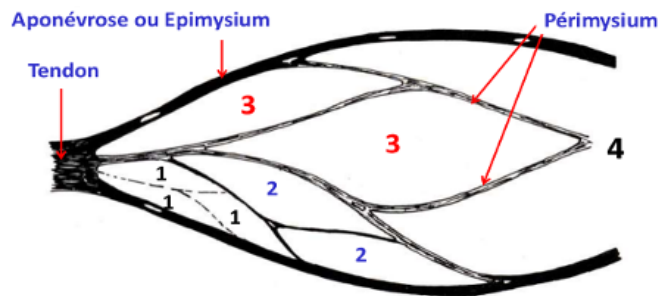
Outre l'innervation par une fibre motrice α comme tous les rhabdomyocytes, elles sont reliées par une fibre motrice γ , et leur portion centrale est entourée par une fibre nerveuse sensitive.

2.4.3 Les cellules satellites



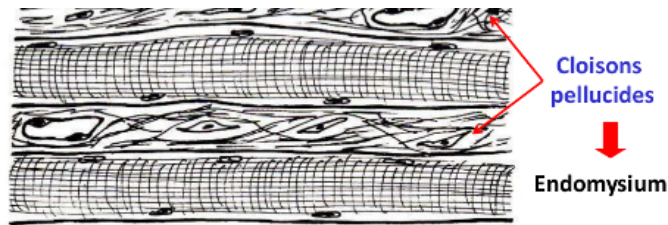
Ce sont des cellules souches qui permettent de régénérer des rhabdomyocytes. Elles se trouvent entre le sarcolemme et la basale du rhabdomyocyte. Elles sont plus petites, noyau et cytoplasme. Ce sont des cellules quiescentes dont la chromatine est condensée.

2.5 Structure du muscle strié squelettique



L'aponévrose enveloppe le muscle strié squelettique. Elle est constituée par du tissu conjonctif à prédominance collagène orienté bitendu, en continuité avec le tendon. Le muscle est séparé en faisceaux par des cloisons conjonctives constituées par un tissu conjonctif dense fibreux non orienté : le périmysium. Les faisceaux primaires se regroupent dans un faisceau secondaire, qui peuvent se rejoindre en faisceaux tertiaires selon la taille du muscle.

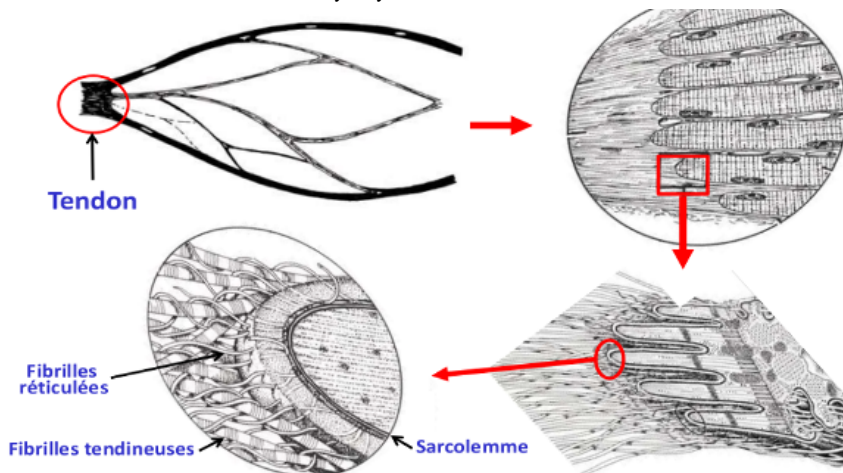
2.5.1 Dans le faisceau musculaire



Un faisceau primaire est constitué par des rhabdomyocytes séparés par des cloisons pellucides de tissu conjonctif lâche vascularisé : l'endomysium qui amène les vaisseaux et les nerfs aux cellules musculaires.

2.5.2 Zone de jonction musculo-tendineuse

Le périmysium et l'aponévrose ou épimysium transmettent aux tendons les mouvements créés par la contraction individuelle des rhabdomyocytes.



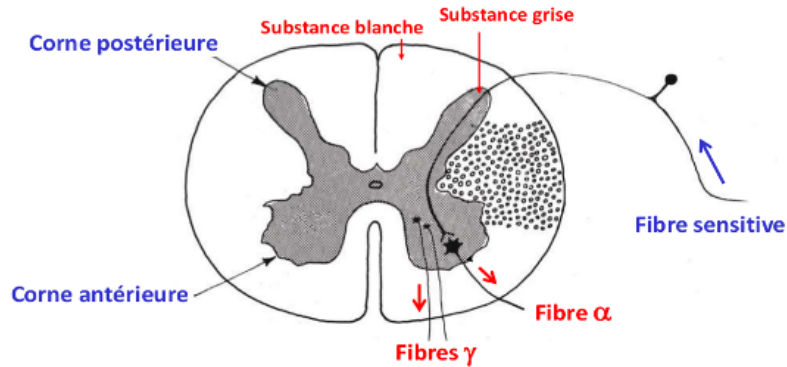
La jonction musculo-tendineuse est une zone exposée aux contraintes mécaniques. La cellule musculaire s'ancre solidement au tendons par l'intermédiaire de la basale. À fort grossissement, on observe des digitations du sarcolemme qui augmentent la surface de contact. À l'extrémité de chaque digitation de nombreuses fibres réticulées créent un maillage dans lequel viennent s'ancre les fibres

de collagène du tendon.

2.6 Innervation

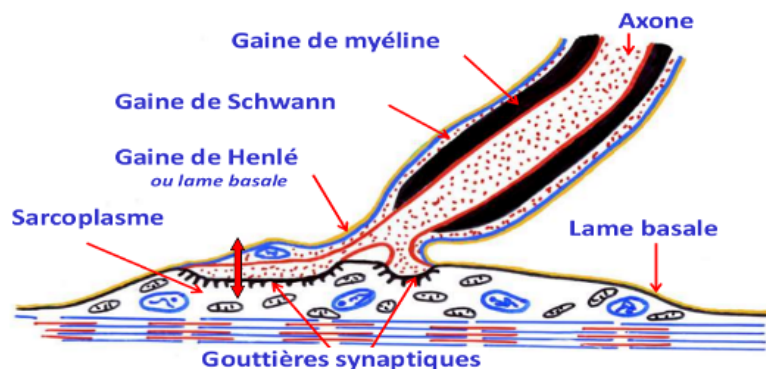
2.6.1 Innervation motrice

Elle est à l'origine de la contraction volontaire du muscle strié squelettique. Elle est sous la dépendance d'un motoneurone α situé au niveau de la moelle épinière.

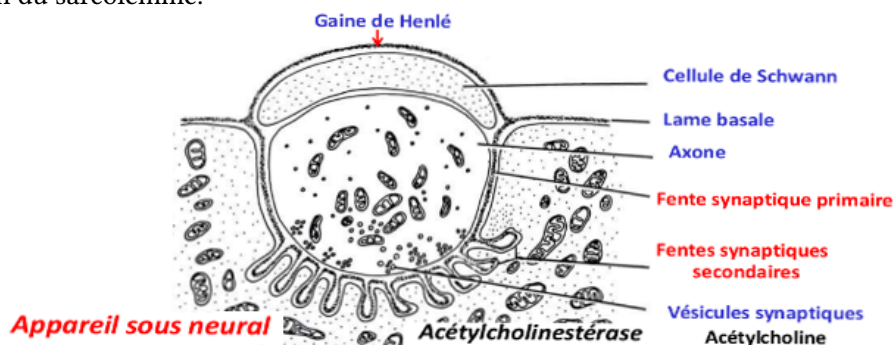


La fibre motrice α myélinisée est ramifiée et permet au motoneurone α d'innover plusieurs rhabdomyocytes au travers de synapses neuromusculaires situées au niveau de la portion centrale des rhabdomyocytes.

2.6.2 La synapse ou jonction neuro-musculaire



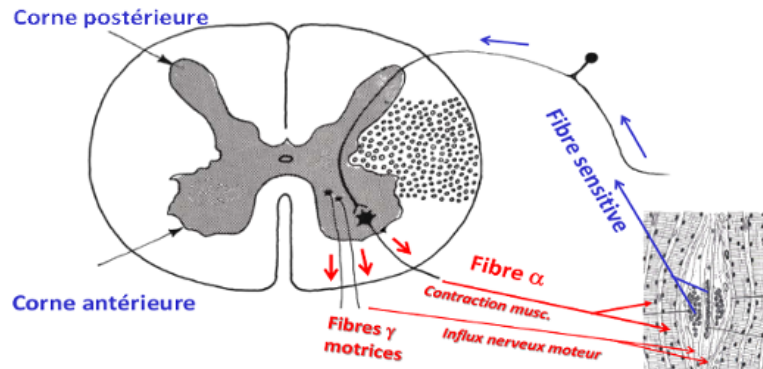
La zone de jonction s'appelle la plaque motrice, territoire qui paraît surélevé. Elle correspond à une surélévation du sarcolemme.



L'acétylcholine est le neuromédiateur des synapses musculaires. L'acétylcholinestérase est chargée de détruire l'acétylcholine qui vient se fixer aux récepteurs de l'appareil sous neural.

2.6.3 Innervation sensitive intrafusale

Elle est le fait des fuseaux neuro-musculaires. Les cellules intrafusales sont reliées par des fibres motrices γ et des fibres sensibles.



Les cellules intrafusales sont maintenues juste en dessous de leur seuil d'excitabilité (contraction basale commandé par les fibres nerveuses γ), ce qui leur permet de réagir lors d'un étirement involontaire. C'est le phénomène d'arc réflexe qui se déclenche : la fibre sensitive du fuseau neuromusculaire transmet un influx nerveux au ganglion rachidien qui est transmis au niveau de la corne antérieure de la moelle épinière par la synapse, ce qui active le motoneurone α et déclenche une contraction réflexe qui s'oppose à l'étirement (réflexe ostéo-tendineux).