UNIVERSITÉ DU BURUNDI
GRENIER DU SAVOIR DU BURUNDI
Dépôt institutionnel officiel
https://repository.ub.edu.bi

Syllabus du cours de Physiologie Générale

Gaturagi, Charles

2026
UB, FM
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2360

Document téléchargé depuis le **Grenier du Savoir du Burundi** — https://repository.ub.edu.bi

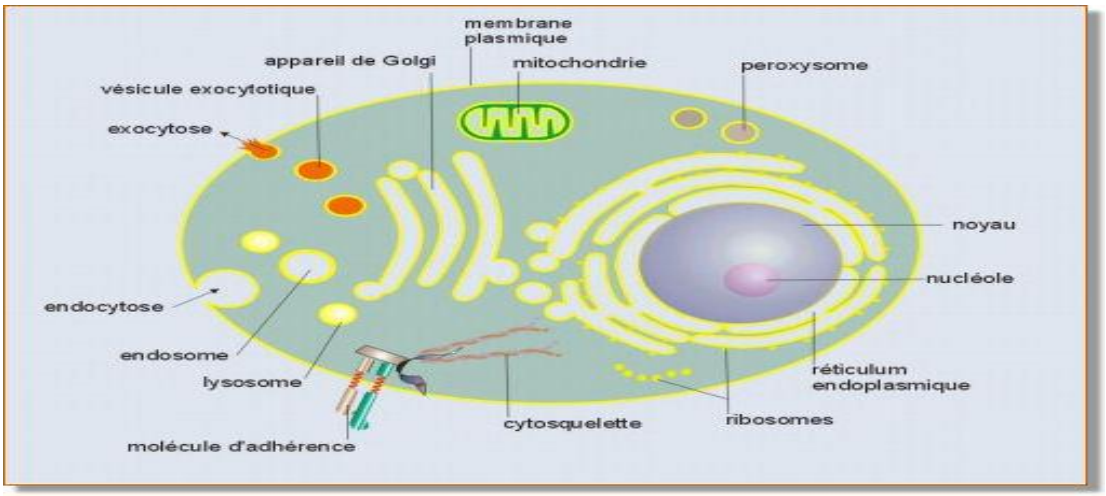
République du Burundi

Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche Scientifique

Université du Burundi

Faculté de Médecine

Syllabus du cours de Physiologie Générale



Volume horaire : 30 heures
Cours magistral : 20 heures
Travaux pratiques : 10 heures

Enseignant : Prof Associé GATURAGI Charles PhD

Année Académique : 2025-2026

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES i
I.1. Introduction 1
CHAPITRE II : PHYSIOLOGIE DU NERF 12
II.1. Introduction 12
II.2. Les fonctions du système nerveux 27
II.3. La physiologie de la conduction nerveuse. 28
CHAPITRE III : PHYSIOLOGIE DE LA CELLULE MUSCULAIRE 30
III.1. Introduction 30
III.2. Le tissu musculaire strié squelettique 32
III.2.1.Structure générale 32
III.2.2.Contraction musculaire 37
III.3.Tissu musculaire lisse 40
III.3.1. Structure générale 41
III.3.2. Contraction musculaire 43
III.4. Le tissu musculaire cardiaque 45
III.4.1. Structure générale 46
III.4.2. Contraction musculaire 47
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 53

CHAPITRE I : PHYSIOLOGIE DE LA MEMBRANE CELLULAIRE

I.1. Introduction

La physiologie est la science qui étudie les fonctions normales du vivant, à l'échelle des cellules, des tissus ou des organes. La physiologie est différente de pathologie.

La Physiologie étudie les **régulations des fonctions** des organes. La régulation est continue, et **les ajustements se font à l'échelle de quelques secondes (le cœur) jusqu'à plusieurs mois** (les muscles).

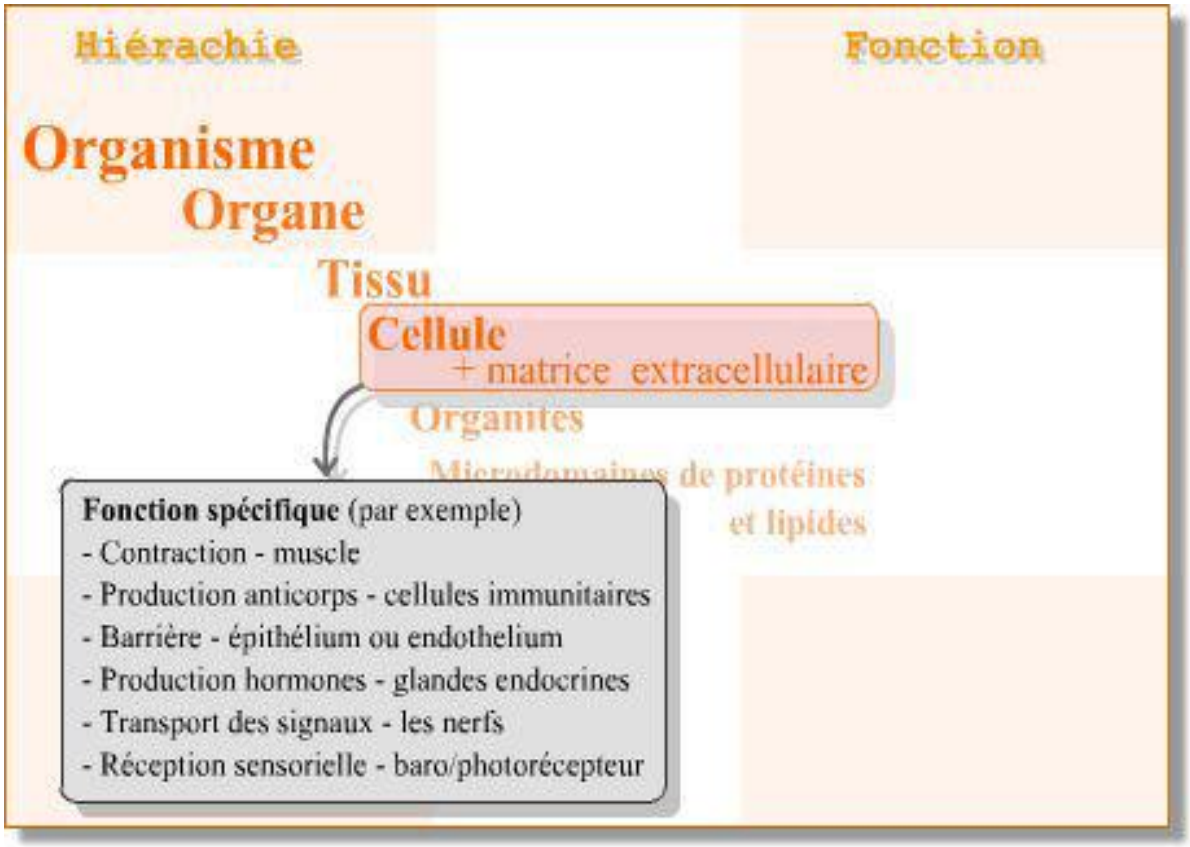


Figure 1. La hiérarchie du vivant

Le corps humain est composé de plusieurs milliards de cellules qui forment différents tissus et organes. Ces organes font, à leur tour, partie des systèmes qui accomplissent des tâches spécifiques afin d'assurer le bon fonctionnement de l'organisme.

Notre corps est constitué de 11 systèmes

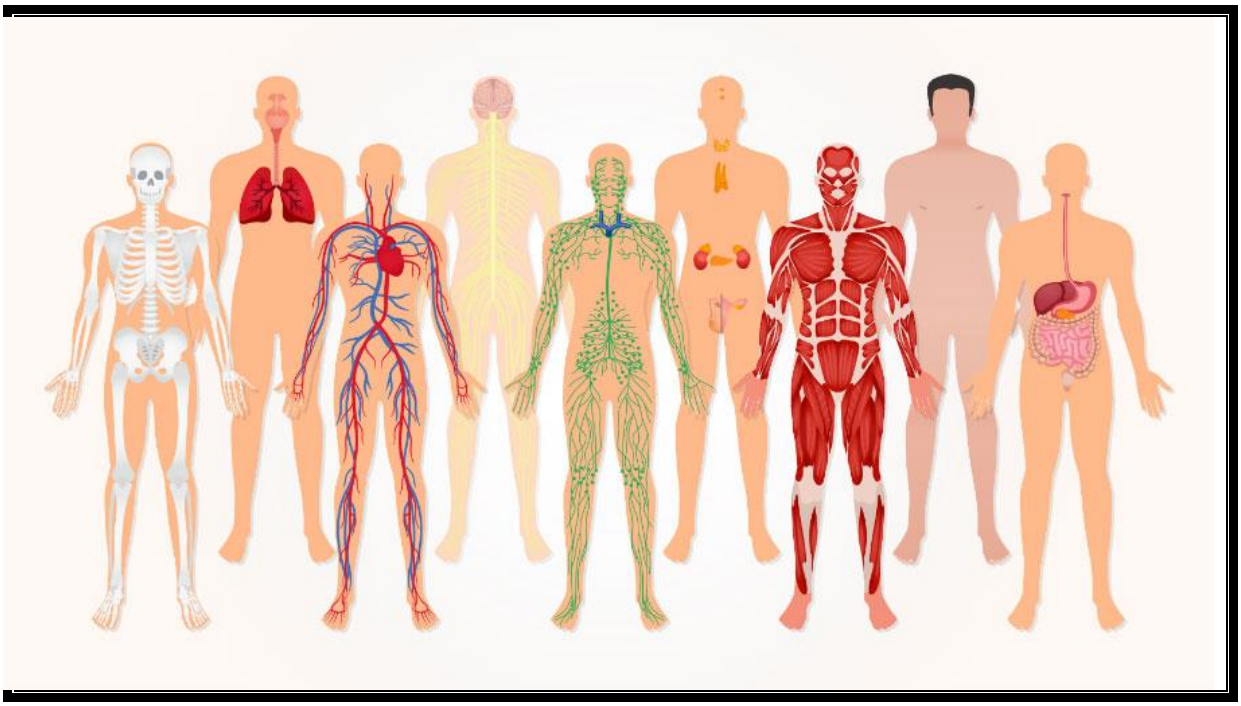


Figure 2 : 11 systèmes

- Système nerveux
- Système respiratoire
- Système circulatoire ou cardiovasculaire
- Système digestif
- Système urinaire
- Système endocrinien
- Système reproducteur
- Système musculaire
- Système osseux
- Système immunitaire
- Système tégumentaire

Les cellules

La cellule est la plus petite unité morphologique de l'organisme. Elle est l'unité de base de tous les êtres vivants. Sa dimension est de l'ordre de micron (millième de mm).

Il existe **environ 200 à 250 types de cellules différentes dans notre corps**. Ces cellules constituent nos organes et nos tissus, ou contribuent à défendre notre organisme quand elles relèvent du système immunitaire. **De plus, la plupart des cellules sont remplacées à mesure qu'elles meurent**. Les cellules cutanées de l'épiderme vivent ainsi environ un mois, puis sont remplacées au fur et à mesure qu'elles tombent – les fameuses "*peaux mortes*". Dans le sang, lorsque les globules rouges doivent être remplacés car ils ne remplissent plus leur rôle, ils

sont filtrés dans la rate. **De nouveaux globules rouges sont produits par la moelle osseuse pour les remplacer**. Ainsi, nous sommes constitués de cellules toujours identiques, car codées par notre ADN, mais toujours différentes, car en remplacement permanent.

Les cellules organiques présentent une grande diversité de formes qui sont souvent liées à leur fonction spécifique, mais également selon leur tissu d'origine (épithélial, conjonctif, musculaire ou nerveux). Cependant leur devenir peut évoluer dans le temps.

On peut observer

- des formes sphériques (globules rouges, cellules adipeuses),
- cylindriques (cellules musculaires),
- ramifiées (cellules nerveuses),
- et aplaties (cellules épithéliales).

Voici quelques exemples de types de cellules et leurs formes caractéristiques :

- **Globules rouges (érythrocytes):**

Disques biconcaves, optimisant le transport de l'oxygène et la circulation dans les vaisseaux sanguins.

- **Cellules musculaires (myocytes):**

Cylindriques, avec des noyaux allongés, permettant la contraction pour le mouvement.

- **Cellules nerveuses (neurones):**

Formes très variées, avec des corps cellulaires ronds ou ovoïdes et des prolongements (axones et dendrites) pour la transmission des signaux.

- **Cellules adipeuses (adipocytes):**

Sphériques, stockant les lipides.

- **Cellules épithéliales:**

Peuvent être aplaties (cellules pavimenteuses), cubiques ou prismatiques, formant des couches protectrices et tapissant les surfaces internes et externes du corps.

- **Cellules du tissu conjonctif:**

Peuvent être aplaties et allongées (fibrocytes), offrant un soutien et une connexion entre les différents tissus.
Bref, ces variations de formes sont essentielles pour le fonctionnement optimal des différentes parties du corps humain.

Les cellules sont caractérisées par leur **membrane**, leur **noyau** et leur **cytoplasme**. Pour bien fonctionner, les cellules ont compartimenté leur processus biochimiques dans le cytoplasme et ces compartiments sont les **organites cellulaires** (ou organelles) (voir *figure 2*). Les organites ont leur anatomie fonctionnelle et ont leurs processus biochimiques propres.

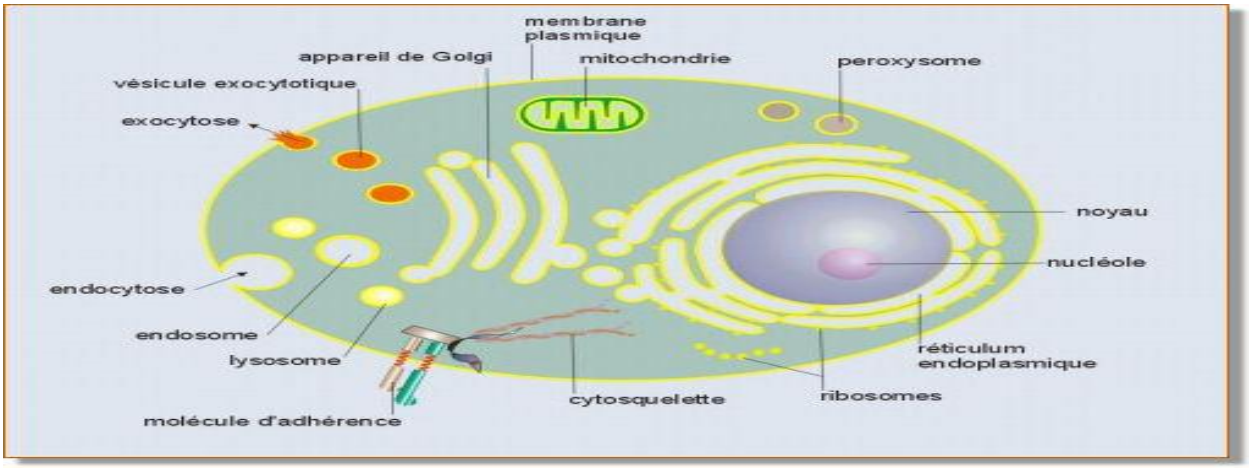


Figure 3. Les organites dans le cytoplasme

Selon leur fonction principale, les organites interviennent dans les processus **de *synthèse* ou de *dégradation* métaboliques.** Cette distinction arbitraire a l'intérêt de montrer le dynamisme du métabolisme cellulaire. Les constituants sont soumis à un renouvellement permanent qui permet à la cellule de répondre au mieux aux sollicitations physiologiques.

A la surface de la cellule, existe une couche cytoplasmique de très faible épaisseur, formant une enveloppe continue appelée la **membrane plasmique.** Par une de ses faces, cette membrane est en contact avec le milieu extracellulaire et par l'autre, avec le hyalographe de la cellule.
Toutes les membranes biologiques, y compris la membrane plasmique et les membranes internes des cellules eucaryotes, ont une structure globale commune: ce sont les assemblages de molécules de lipides et de protéines maintenus ensemble par les interactions non

covalentes. Les molécules lipidiques sont organisées en double couche continue. **Cette double couche lipidique constitue la structure de base de la membrane et sert de barrière relativement imperméable aux flux de la plupart des molécules hydrophiles.**
Les molécules protéiques sont « dissoutes » dans la double couche lipidique et **interviennent dans diverses fonctions** de la membrane: certaines servent à transporter des molécules spécifiques vers l'intérieur ou vers l'extérieur des cellules ; d'autres sont des enzymes qui catalysent des réactions associées à la membrane ; d'autres encore servent de liens structuraux entre le cytosquelette de la cellule et la matrice extracellulaire ou de récepteurs recevant et convertissant des signaux chimiques qui proviennent de l'environnement de la cellule.

A- CONSTITUANTS DE LA MEMBRANE

La composition des membranes cellulaires peut être connue en séparant les différents constituants des cellules et en procédant à leur analyse chimique. C'est de cette manière que l'on a pu déterminer qu'elles sont formées de phospholipides, de protides et de glucides.

Membrane plasmique :

- Protéines: Protéines intégrées ou intrinsèques, Protéines périphériques ou extrinsèques, Glycoprotéines
- Lipides: Phospholipides, Cholestérol, Glycolipides
- Glucides: Glycoprotéines, Glycolipides

B- STRUCTURE DE LA MEMBRANE PLASMIQUE

Elle est composée d'une double couche de lipides (principalement des phospholipides, mais également du cholestérol et des glycolipides) dans laquelle sont insérées diverses protéines tels des récepteurs : Protéines, généralement situées à la surface des cellules, capable de fixer une molécule informative (médiateurs chimiques, neurotransmetteurs, hormones...) et de convertir ce message extracellulaire en signal intracellulaire, entraînant une réponse de la part de la cellule, des transporteurs et des enzymes.

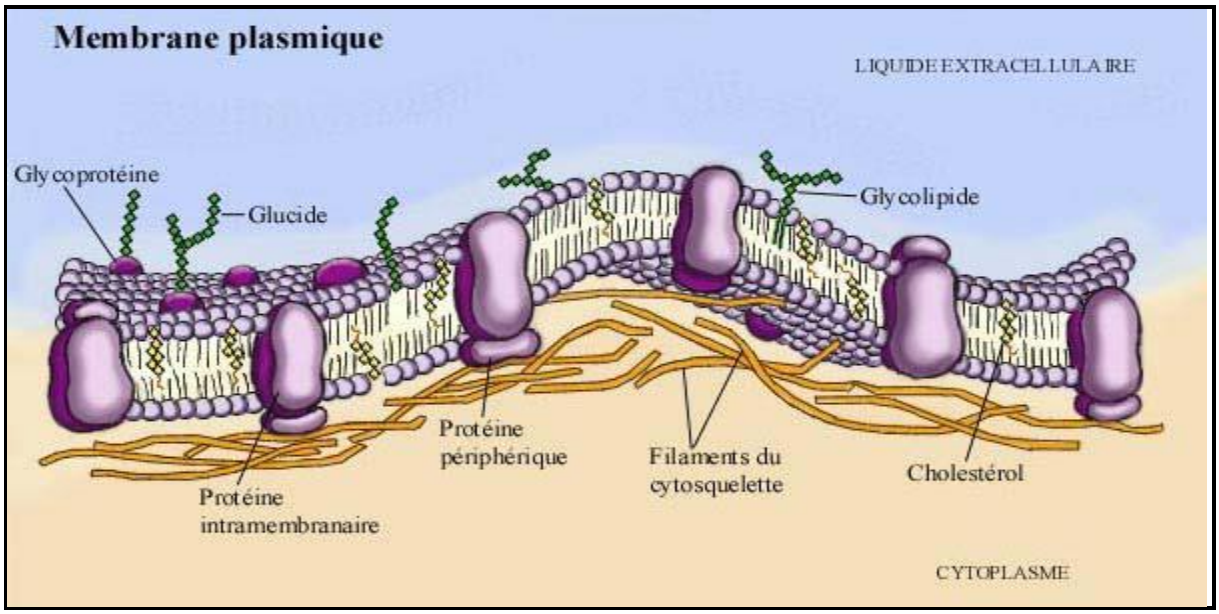


Figure 4 : Structure de la membrane cellulaire

C- PERMEABILITE MEMBRANAIRE

Toute cellule vivante se développe, se reproduit et assure une activité métabolique déterminée. De ce fait, elle est amenée à importer des matières premières et à éliminer des produits terminaux de son activité. Ceci doit se faire à travers la membrane plasmique qui entoure son cytoplasme. Le passage de toutes ces substances à travers la membrane est qualifié de perméabilité. **La perméabilité est la propriété que possède la surface cellulaire d'absorber directement des substances du milieu extracellulaire et d'y éliminer d'autres substances. Elle peut prendre différentes formes dont deux principales.**

La perméabilité de la membrane plasmique est sélective : les molécules liposolubles et les gaz la traversent facilement, tandis que seulement certaines molécules hydrosolubles la traversent grâce à des transporteurs spécifiques de chacune d'elles**.**

1- Perméabilité passive ou transport passif:

Le transport passif est un transport qui se fait sans consommation d'énergie, il se fait donc le long du gradient électrochimique (ou gradient de concentration). Il permet, de faire passer une substance à travers une membrane d'un milieu très concentré en cette substance vers le milieu le moins concentré en cette substance.

L'osmose

L'osmose est un phénomène physique passif qui a lieu seulement si les solutions sont séparées par une membrane semi-perméable. Seules les molécules d'eau traversent la membrane de la solution hypotonique (la plus diluée) vers la solution hypertonique (solution la plus concentrée) jusqu'à ce que les solutions soient isotoniques (de même concentrations). On rencontre l'osmose aussi bien pour la cellule vivante que pour la cellule morte.

Si les deux milieux sont de même concentrations, aucun mouvement d'eau n'est perceptible: la cellule est en équilibre osmotique.

A priori, l'eau n'étant pas soluble dans les lipides, il est pratiquement impossible qu'elle puisse traverser directement la couche phospholipidique de la membrane cytoplasmique. D'autre part, il ne saurait être question de retarder le passage de l'eau, un élément aussi essentiel au maintien de l'intégrité cellulaire.

On sait maintenant que le libre passage de l'eau se fait par l'intermédiaire de protéines intégrées qui traversent complètement la double couche lipidique: on parle de "p**ores membranaires**". Ces protéines ou pores ressemblent à de petits canaux dont la forme évoque celle d'un tunnel placé verticalement à travers la membrane cytoplasmique et, par conséquent, de façon à ce que l'orifice central permette à l'eau et, à l'occasion, à certaines petites molécules dissoutes dans l'eau de diffuser librement de part et d'autre de la membrane cytoplasmique. On doit comprendre ici que le pore membranaire est un moyen de transport assez spécial dans ce sens que c'est la configuration de la protéine en forme de tunnel qui permet la diffusion passive de l'eau.

Diffusion

C'est le passage de substances d'un compartiment où cette substance est très concentrée vers un compartiment à faible concentration en cette substance suivant son gradient de concentration.

- **Diffusion simple :**

La diffusion simple est la diffusion dans la membrane à travers la bicouche phospholipidique.

Ce type de passage est un phénomène physique passif et n'est possible que si la molécule est « soluble » dans la membrane phospholipidique, c'est-à-dire qu'elle peut traverser directement la bicouche de phospholipides. La molécule doit donc être hydrophobe (apolaire) ou, si elle est hydrophile (polaire), être suffisamment petite (en pratique : éthanol). Donc, cette diffusion est conditionnée par certains facteurs :

Facteurs régulant la diffusion simple:

• **La taille des molécules :** les molécules dont la masse moléculaire est supérieure à 150 Da, ne peuvent traverser la bicouche lipidique. Cette règle, ne s'applique qu'aux molécules de petite dimension.

• **L'absence de polarité :** une molécule polarisée ne traverse pas la membrane que par diffusion facilitée.

• **L'absence de charge :** une molécule chargée, même de très petite dimension, ne pénètre pas la bicouche lipidique.

• **Le coefficient de partition :** c'est le rapport « solubilité dans les lipides /solubilité dans l'eau »; plus ce rapport s'élève, plus la facilité de passage transmembranaire de la substance augmente.

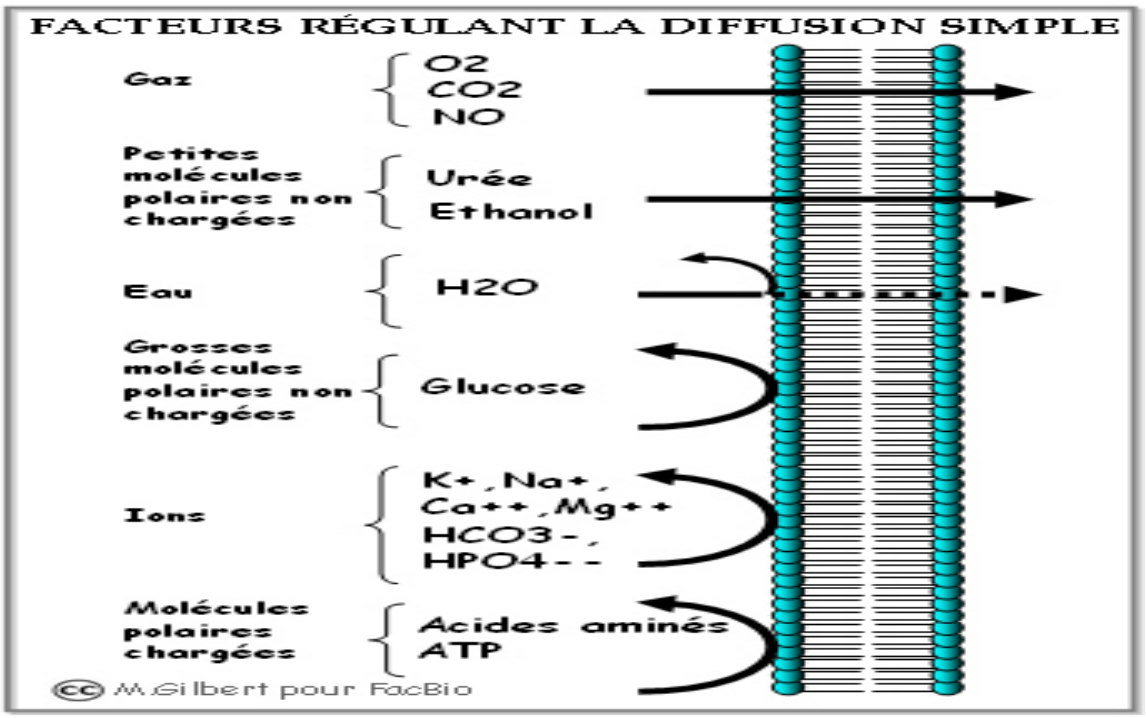


Figure 5 : Le phénomène de la diffusion

➢ **Diffusion facilitée :**

Les molécules hydrosolubles comme les ions, les glucides et les acides aminés ne peuvent diffuser à travers la membrane lipidique à des vitesses suffisantes pour satisfaire les besoins des cellules. Le transport de ces molécules sera donc assuré par un groupe de protéines membranaires intégrées spécialisées: il s'agit **des "protéines transporteurs" spécifiques aussi appelées "perméases".** Ces transporteurs peuvent se présenter par :

• **Les protéines de canal (canaux ioniques) :** Les protéines-canal assurent un transport passif de molécules à travers la membrane. Le passage des molécules à travers un canal suit les lois de la diffusion. Cependant elles peuvent être plus ou moins sélectives. Elles peuvent aussi se fermer et s'ouvrir en fonctions de différents stimuli (électrique, chimique, mécanique...). La protéine ne doit pas changer de forme pour permettre le passage. Ce transport par les protéines de canal est très spécifique ; il ne laisse passer qu'une ou quelques sortes de molécules et pas d'autres mais il est très rapide.

• **Les transporteurs :** ils changent de forme pour déplacer des molécules d'un côté à l'autre d'une membrane. Ce transport est similaire à celui des protéines canaux, si ce n'est qu'il est généralement moins rapide.

Selon le nombre et le sens de déplacement des substances à transporter et également le mode de fonctionnement de la perméase, on distingue :

- **Le mode uniport :** ce mode implique une protéine de transport pour faire traverser une seule substance de part et d'autre de la membrane selon les lois de la diffusion.
- **Le mode symport :** c'est un mode qui utilise un co transporteur, donc il fait passer deux substances dans le même sens selon leurs gradients de concentration.
- **Le mode antiport :** il s'agit ici, de faire traverser deux substances à travers la membrane dans deux sens différents.

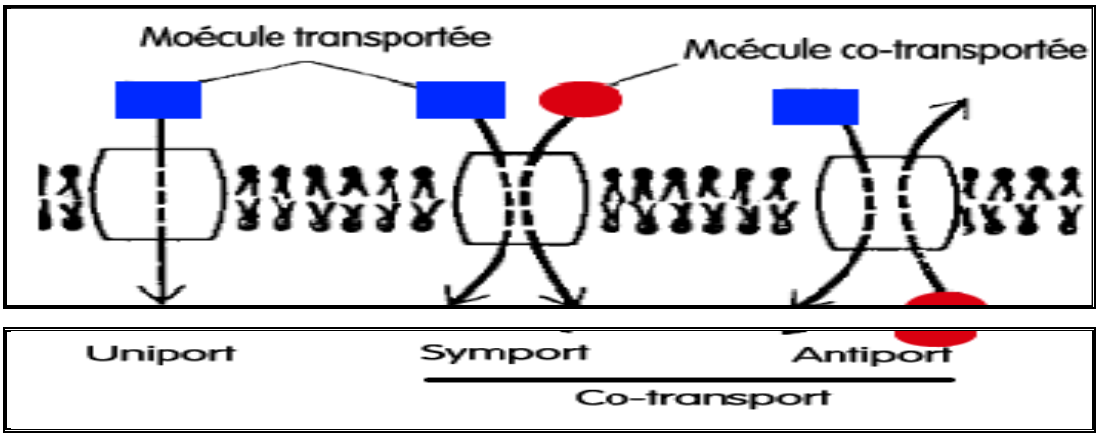


Figure 6 : Les modes de fonctionnement de la perméase

2- La perméabilité active ou le transport actif :

Le transport actif implique le transfert d'une molécule contre le gradient de concentration (c'est-à-dire du compartiment le moins concentré = solution hypotonique vers le compartiment le plus concentré = solution hypertonique). Il y a donc nécessité de fournir de l'énergie car ce transport n'est pas spontané. Il existe deux types de transport actif selon la source d'énergie utilisée mais dans les 2 cas une protéine de transport est nécessaire.

a-Transport actif primaire : Dans ce type de transport, le transporteur utilise directement l'énergie fournie par une réaction exoénergétique (le plus souvent l'hydrolyse de l'ATP). Le transporteur le plus connu est la pompe Na+/K+ (ou Na+/K+ ATPase) qui expulse trois ions sodium et fait entrer deux ions potassium pour chaque molécule d'ATP hydrolysée.

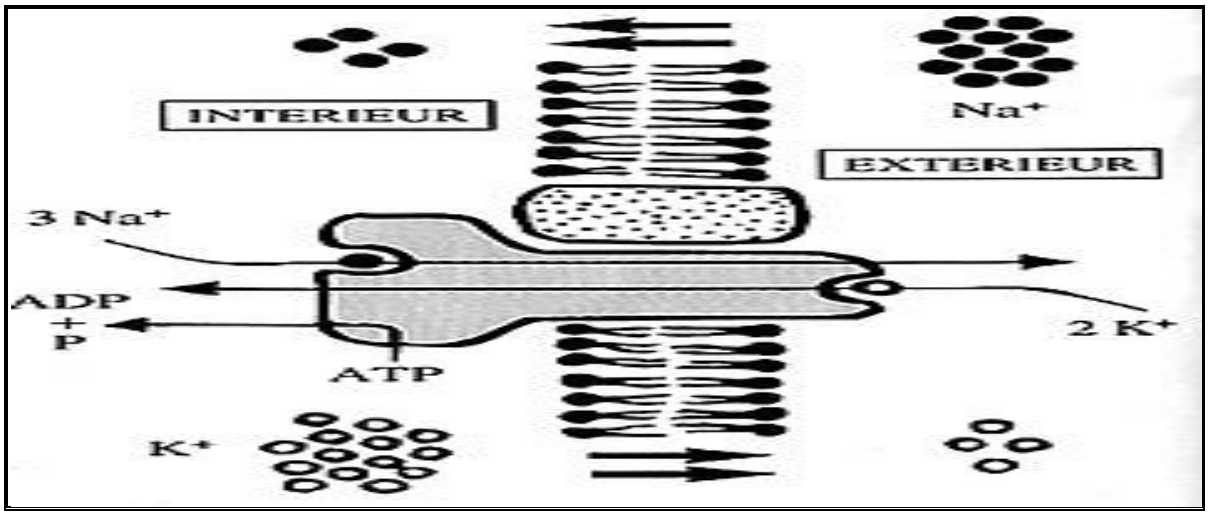


Figure 7 : la pompe Na+/K+ ATPase

b-Transport actif secondaire :

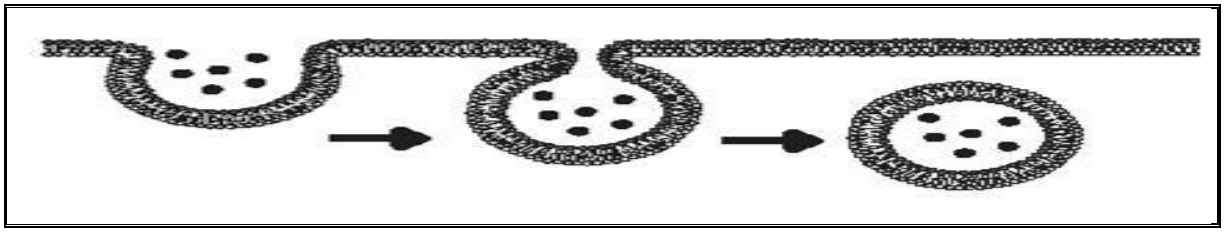
Dans ce type de transport, le déplacement contre le gradient de concentration de la molécule est réalisé par la dissipation d'un autre gradient, lui-même construit par un transport actif primaire. C'est le cas par exemple du transport de chlorure dans certains épithéliums qui sécrètent du Na Cl. Le transport de molécules contre leur gradient électrochimique ne nécessite pas forcément l'hydrolyse de l'ATP. Il existe de nombreux cas où l'énergie est fournie par un ion ou une autre molécule qui suit son gradient électrochimique. Ce phénomène s'appelle transport couplé ou co-transport, car il couple un canal ionique à une pompe membranaire et utilise l'énergie de l'un pour activer l'autre. Selon le sens de déplacement respectif des deux molécules on parle de **symport** (l'ion et la molécule transportée traversent la membrane dans le même sens) ou **d'antiport** (les deux espèces chimiques se déplacent en sens inverse). Ces transports couplés sont très utilisés par la cellule pour récupérer les molécules nécessaires à son métabolisme dans le milieu extérieur.

Pour le transport actif, l'énergie vient du gradient électrochimique, entretenu entre autre par la pompe Na+/K+, et que l'on peut considérer que c'est bien l'ATP qui a fourni l'énergie, de manière indirecte, d'où le terme de transport primaire pour désigner les pompes ATPasiques et de transport secondaire pour les transports couplés.

3-Perméabilité des macros molécules :

- **L'endocytose :**

Dans ce processus les éléments qui vont entrer, se trouvent "capturés" dans une vésicule qui provient d'un repliement de la membrane cytoplasmique autour de ceux - ci. Cette vésicule va ensuite se retrouver du coté intracellulaire.



Contact et accolement **englobement** **formation de vacuole et transfert**

Figure 8 : Le phénomène de l'endocytose

• **La pinocytose :** C'est un phénomène de l'endocytose, qui concerne le passage de substances à l'état liquide. Ce phénomène est très fréquent chez les cellules intestinales.

• **La phagocytose :** Ce phénomène est analogue à celui de la pinocytose, sauf que la substance à faire traverser est à l'état solide**.** On le rencontre chez les macrophages (globules blancs) ou dans l'alimentation de la majorité des organismes unicellulaires aquatiques tels que l'amibe.

- **L'exocytose :**

Dans ce cas des particules destinées à être excrétées hors de la cellule sont entourées dans une vésicule (qui provient le plus souvent de l'appareil de Golgi). Celle-ci va fusionner avec la membrane cytoplasmique puis son contenu va être libéré du côté extracellulaire.

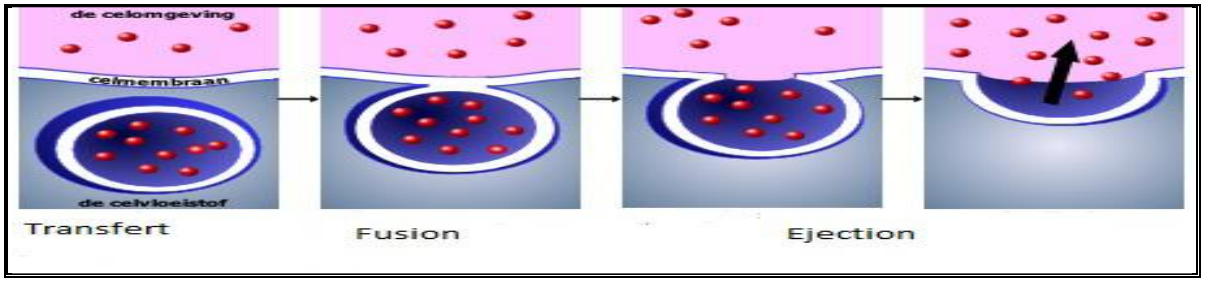


Figure 9 : Phénomène de l'exocytose

CHAPITRE II : PHYSIOLOGIE DU NERF

II.1. Introduction

Globalement, les différentes structures anatomiques du système nerveux peuvent être regroupées selon qu'elles appartiennent au *système nerveux central* (SNC) ou au *système nerveux périphérique* (SNP).

Le système nerveux central comprend l'ENCEPHALE ainsi que la MOELLE EPINIERE. L'encéphale correspond aux trois organes qui sont situés dans la cavité de la boîte crânienne qui sont le cerveau, le cervelet et le tronc cérébral. La moelle épinière est située dans le canal rachidien qui résulte de la superposition des vertèbres de la colonne vertébrale. Ces organes du système nerveux central sont des centres d'**intégration** qui analysent et interprètent les informations sensorielles afin de donner des commandes motrices basées sur l'expérience de l'individu, sur les réflexes ainsi que sur les conditions qui prévalent dans l'environnement externe.

Le système nerveux périphérique est composé des organes du système nerveux situés à l'extérieur de la cavité crânienne et du canal rachidien donc à l'extérieur du système nerveux central. Ces organes correspondent aux différents nerfs rattachés à l'encéphale ou à la moelle épinière. Les nerfs qui se rattachent au tronc cérébral de l'encéphale sont appelés des **nerfs crâniens** alors que ceux qui se rattachent à la moelle épinière sont des **nerfs rachidiens** car ils émergent du canal rachidien.

Ces nerfs constituent **LES VOIES AFFERENTES** aussi appelées voies sensitives qui acheminent les informations des récepteurs vers le système nerveux central et **LES VOIES EFFERENTES** aussi appelées voies motrices qui acheminent les réponses du système nerveux central vers les effecteurs. Les voies efférentes se divisent en deux parties :

- les efférentes **somatiques** qui amènent les réponses vers les muscles squelettiques.
- les efférentes **autonomes** qui amènent les réponses vers les muscles lisses, le muscle cardiaque et les glandes, et qui se divisent elles-mêmes en efférentes sympathiques et en efférentes parasympathiques.

Le **système nerveux autonome** (**SNA**) se compose aussi de deux types de neurones :

1) des neurones sensitifs qui transmettent au SNC l'information provenant des récepteurs sensoriels autonomes (situés principalement dans les vaisseaux sanguins et les viscères, tels l'estomac et les poumons) ;

2) des neurones moteurs qui transmettent les influx nerveux depuis le SNC jusqu'aux *muscles lisses*, au *muscle cardiaque* et aux *glandes*. Étant donné que, normalement, les réponses

motrices produites par le SNA ne sont pas assujetties à une régulation consciente, l'activité de cette partie du SNP est dite *involontaire*. La partie motrice du SNA comprend deux subdivisions, le **système nerveux sympathique** et le **système nerveux parasympathique**. À quelques exceptions près, ces deux subdivisions innervent la plupart des effecteurs et elles ont habituellement des effets antagonistes l'une par rapport à l'autre.

Les nerfs sympathiques proviennent de la moelle épinière (nerfs spinaux). Ils utilisent la **noradrénaline** comme neurotransmetteur. Le système sympathique est mis en jeu dans les situations nécessitant une réponse urgente (fuite, agression, besoins énergétiques importants).

Les nerfs parasympathiques sont pour la plupart des nerfs crâniens (le nerf vague, ou X, surtout). Ils utilisent l'a**cétylcholine** comme neurotransmetteur.

Ainsi, les neurones sympathiques augmentent la fréquence cardiaque, tandis que les neurones parasympathiques la diminuent. De manière générale, le système nerveux sympathique intervient dans l'activité physique et dans les actions d'urgence (réaction de lutte ou de fuite), alors que le système nerveux parasympathique intervient au cours du repos (économies d'énergie, facilitation de la digestion).

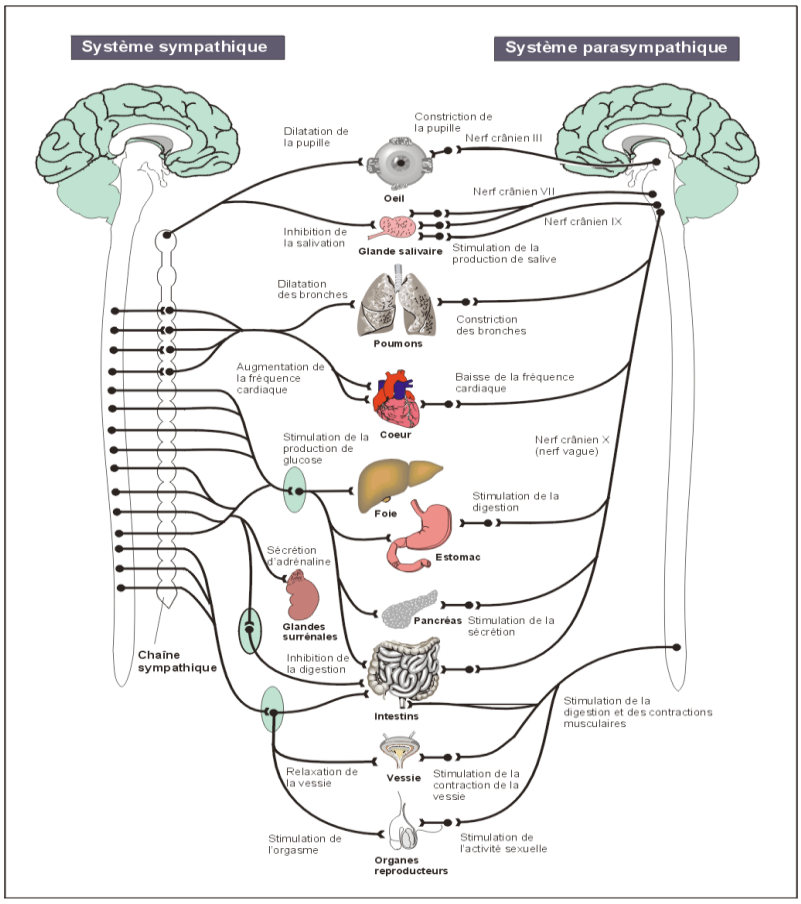


Figure 10 : Le SNA (Sympathique et Parasympathique).

LES NERFS SPLANCHNIQUES

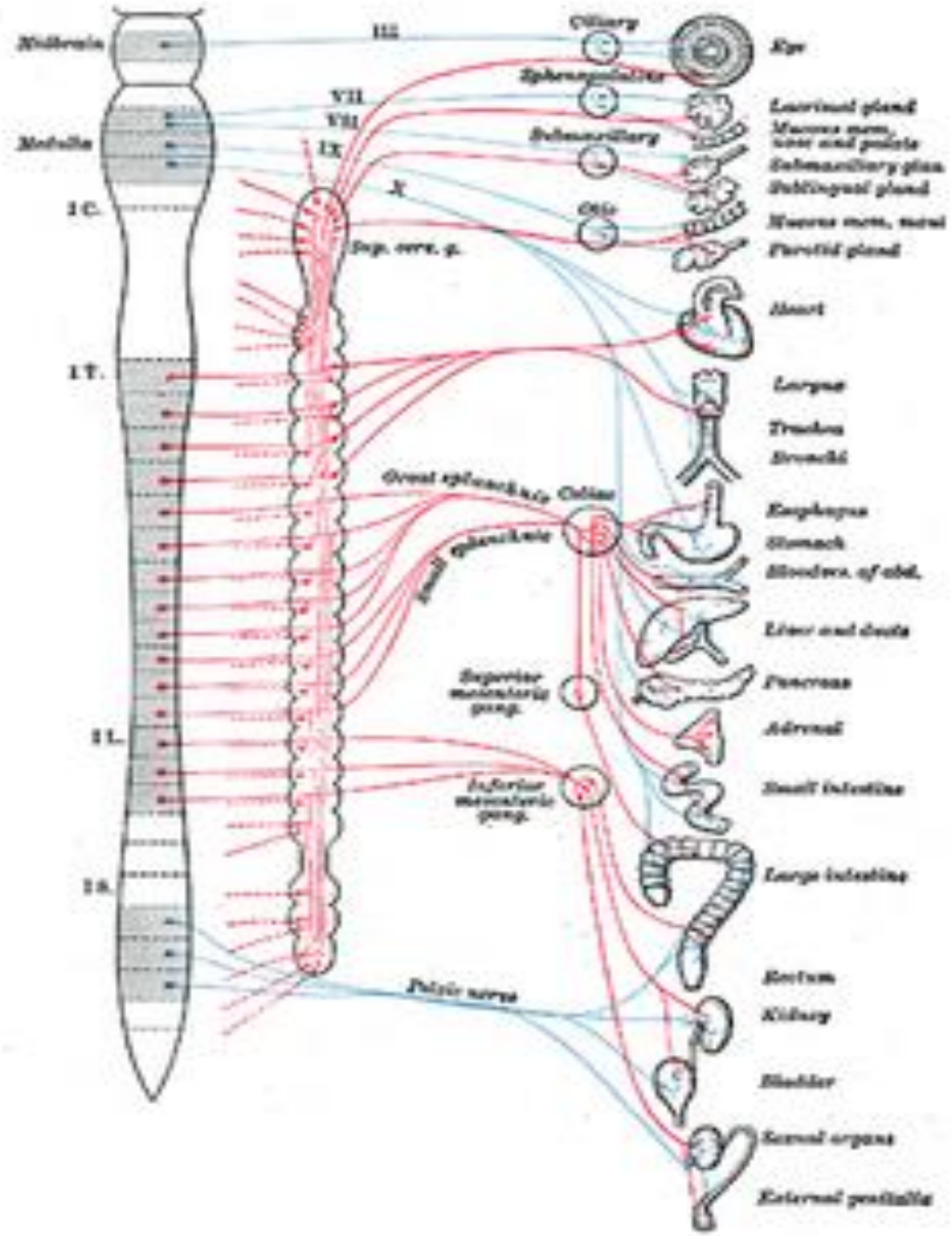


Figure 11 : Sympathique en Rouge et Parasympathique en Bleu

Les **nerfs splanchniques** sont des nerfs du système nerveux autonome innervant les viscères de l'abdomen et du pelvis. Ils peuvent être denature sympathique ou parasympathique. Les nerfs sympathiques sont les nerfs splanchniques thoraciques, lombaires et sacrés, issus des troncs sympathiques. Les nerfs parasympathiques sont les nerfs splanchniques pelviens, issus des branches ventrales des deuxième, troisième et quatrième nerfs spinaux sacrés.

a. Nerfs splanchniques sympathiques

Les nerfs splanchniques sympathiques sont issus des troncs sympathiques ; il existe les nerfs splanchniques thoraciques, lombaires et sacrés, issus respectivement des parties thoraciques, lombaires et sacrées des troncs sympathiques. Les nerfs thoraciques sont au nombre de trois : les nerfs splanchniques grand, petit et inférieur. L'ensemble de ces nerfs se dirige vers les plexus pré vertébraux tels que les plexus cœliaque, aortique et hypogastrique supérieur.

Les neurones contenus dans ces nerfs ont leur corps cellulaires situés dans les cornes latérales de la substance grise de la moelle spinale, présentes uniquement au niveau de ses segments thoraciques et premier et deuxième lombaires. Leurs axones empruntent la partie initiale des nerfs spinaux qu'ils quittent au niveau des rameaux communicants blancs pour rejoindre les troncs sympathiques. Après un trajet variable au sein des troncs sympathiques, les axones empruntent les nerfs splanchniques thoraciques, lombaires et sacrés, puis font synapse au niveau des ganglions pré vertébraux. Le neurotransmetteur au niveau de ces synapses est l'acétylcholine. L'ensemble des viscères abdominopelviens est innervée par ces nerfs, via des neurones post-ganglionnaires pour la grande majorité. Une petite partie de ces axones innerve directement, sans neurones post-ganglionnaires, la partie médullaire des glandes surrénales et stimule la sécrétion de catécholamines.

b. Nerfs splanchniques parasympathiques

Les nerfs splanchniques parasympathiques sont les nerfs splanchniques pelviens. Ils sont issus des rameaux ventraux des deuxième, troisième et quatrième nerfs spinaux sacrés et se rendent vers les plexus hypogastriques inférieurs, situés en avant des artères iliaques internes.

Les neurones de ces nerfs ont leur corps cellulaires situés dans la substance grise des deuxième, troisième et quatrième niveaux sacrés de la moelle spinale. Les corps cellulaires sont situés entre les cornes antérieure et postérieure, sans qu'il y ait de corne latérale macroscopiquement visible à ce niveau.

Les axones de ces neurones empruntent les parties initiales des branches ventrales des deuxième, troisième et quatrième nerfs spinaux sacrés, qu'ils quittent via les nerfs splanchniques pelviens pour se rendre vers les plexus hypogastriques inférieurs. Par le biais des différentes connexions nerveuses, ils se rendent près des parois des viscères où ils font synapse avec des neurones post-ganglionnaires. Le neurotransmetteur de ces synapses est l'acétylcholine. Ces nerfs innervent les viscères pelviens ainsi que, pour les viscères abdominaux, uniquement la portion descendante du côlon. L'innervation de la majorité des viscères abdominaux n'est pas assurée par les nerfs splanchniques pelviens, mais par les fibres des nerfs vagues, issues du tronc cérébral et cheminant dans le cou puis le thorax pour rejoindre l'abdomen.

A- ENCEPHALE

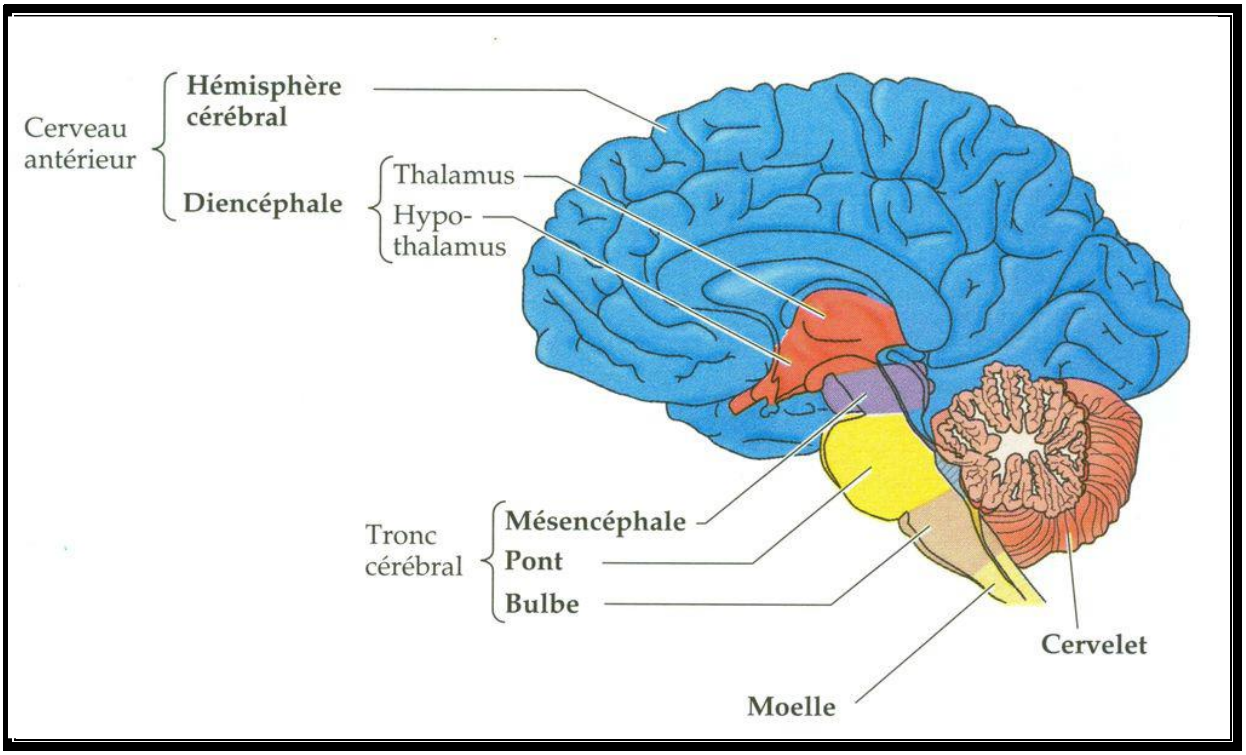


Figure 12 : Les éléments de l'encéphale

L'encéphale est en entier situé dans la boîte crânienne. Il est constitué par :

1° Le cerveau, situé en entier dans l'espace sus-tentoriel, et formé de deux hémisphères droit et gauche, incomplètement séparés l'un de l'autre par la scissure inter hémisphérique marquée par la faux du cerveau, et réunis l'un à l'autre à leur partie centrale

2° Le tronc cérébral, qui émerge de la face inférieure du cerveau, et comporte de haut en bas trois parties : les pédoncules cérébraux droit et gauche, la protubérance annulaire, et le bulbe rachidien. Du tronc cérébral émergent tous les nerfs crâniens sauf le nerf optique et le nerf olfactif situés en entier au-dessus de la tente du cervelet.

3° Le cervelet, situé comme le tronc cérébral dans la fosse postérieure et donc séparé du cerveau par la tente du cervelet. Il est formé de deux hémisphères droit et gauche, réunis par le vermis. Ils sont reliés au tronc cérébral à droite comme à gauche par les pédoncules cérébelleux supérieur, moyen, et inférieur.

Logé dans le crâne, l'**encéphale** contient environ 100 milliards (10^{11}) de neurones. Douze paires (un nerf gauche et un nerf droit) de **nerfs crâniens**, numérotées de I à XII, émergent du tronc cérébral, structure située à la base de l'encéphale. Un **nerf** est un faisceau formé de centaines ou de milliers d'axones associés à du tissu conjonctif et à des vaisseaux sanguins, et qui ne se trouve ni dans l'encéphale ni dans la moelle épinière. Chaque nerf suit un trajet bien précis et innerve une région particulière du corps. Ainsi, le nerf crânien I transmet les signaux relatifs à l'odorat du nez jusqu'à l'encéphale. La plupart des nerfs crâniens innervent la tête.

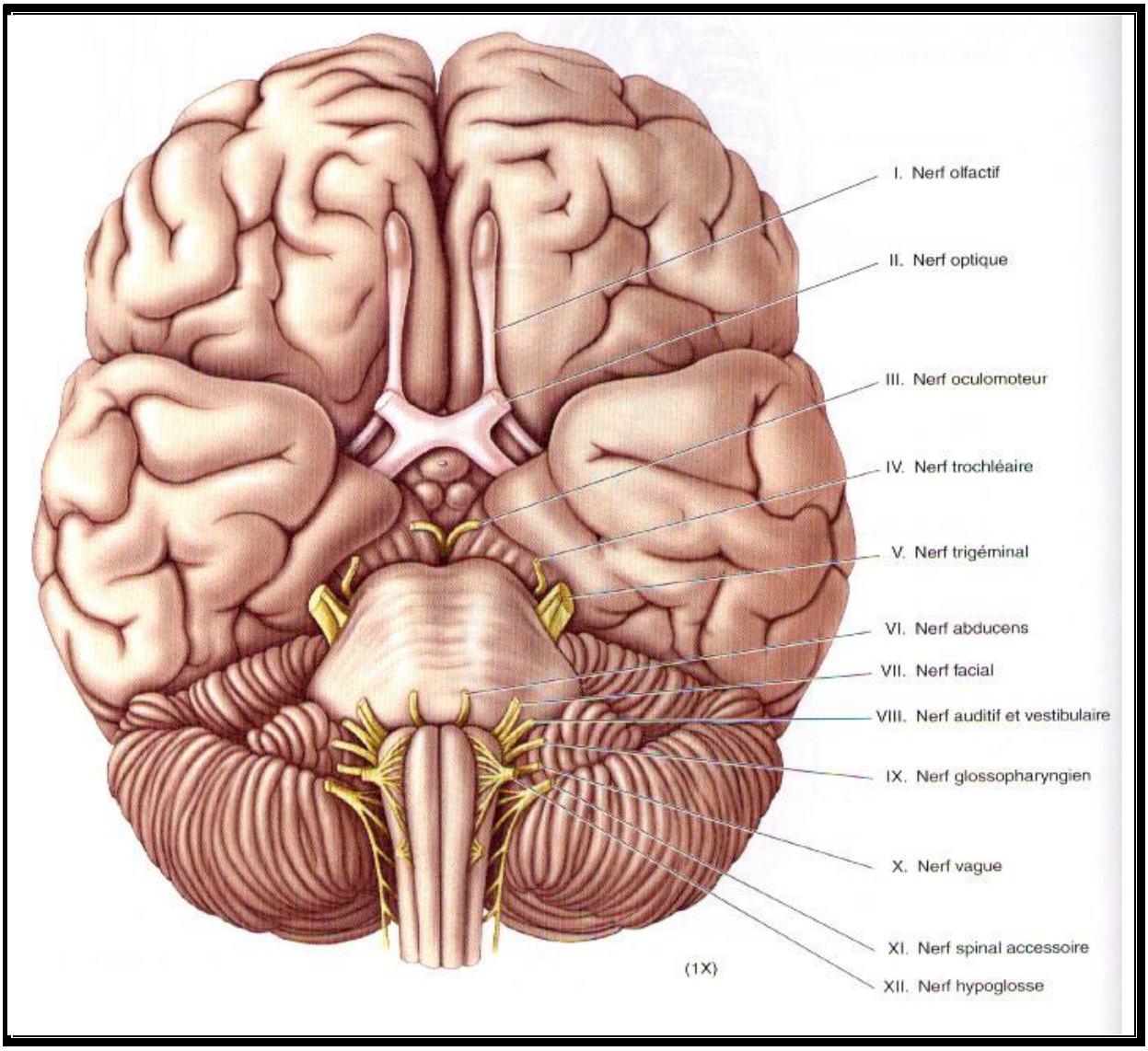


Figure 13: Emplacement des zones des douze paires de nerfs crâniens

Nom du nerf	Fonction
Nerf olfactif	Sensorielle: nerf de l'odorat.
Nerf optique	Sensorielle: nerf de la vision/
Nerf oculomoteur	Motrice: nerf de la motricité de l'œil.
Nerf trochléaire	Motrice: nerf de la motricité du muscle oblique supérieur de l'œil.
Nerf trijumeau	Mixte: nerf de la motricité des muscles qui mastiquent et nerf sensoriel pour les téguments (poils, épiderme, cheveux,…) de la face.
Nerf abducens	Motrice: nerf de la motricité du muscle droit externe de l'œil.
Nerf facial	Mixte: nerf moteur pour la motricité des mimiques, de la partie antérieure de la langue et nerf sensoriel (apporte au cerveau les sensations de goût provenant des deux tiers antérieurs de la langue).
Nerf auditif	Sensorielle: nerf assurant l'audition et participant à l'équilibre.
Nerf glossopharyngien	Mixte: nerf de la motricité de la gorge, de la glande parotide et nerf sensibilité du sinus carotidien, du pharynx de l'oreille (moyenne, externe), de la gustation.
Nerf vague	Mixte: régulation végétative (digestion, fréquence cardiaque) et nerf sensorimoteur (larynx et production de sons).
Nerf accessoire	Motrice: nerf qui permet la motricité de certains muscles du cou.
Nerf hypoglosse	Motrice: nerf assurant la mobilité des muscles de la langue.

B- MOELLE EPINIERE

La moelle épinière prolonge le tronc cérébral et le bulbe rachidien. Elle commence immédiatement en dessous du trou occipital. Elle est située en entier dans le canal rachidien qu'elle n'occupe pas sur toute sa hauteur, car la moelle se termine environ au niveau de la

première vertèbre lombaire (L1). De la moelle et à chaque espace intervertébral sortent les nerfs spinaux constitués d'une racine antérieure, motrice, et d'une racine postérieure sensitive.

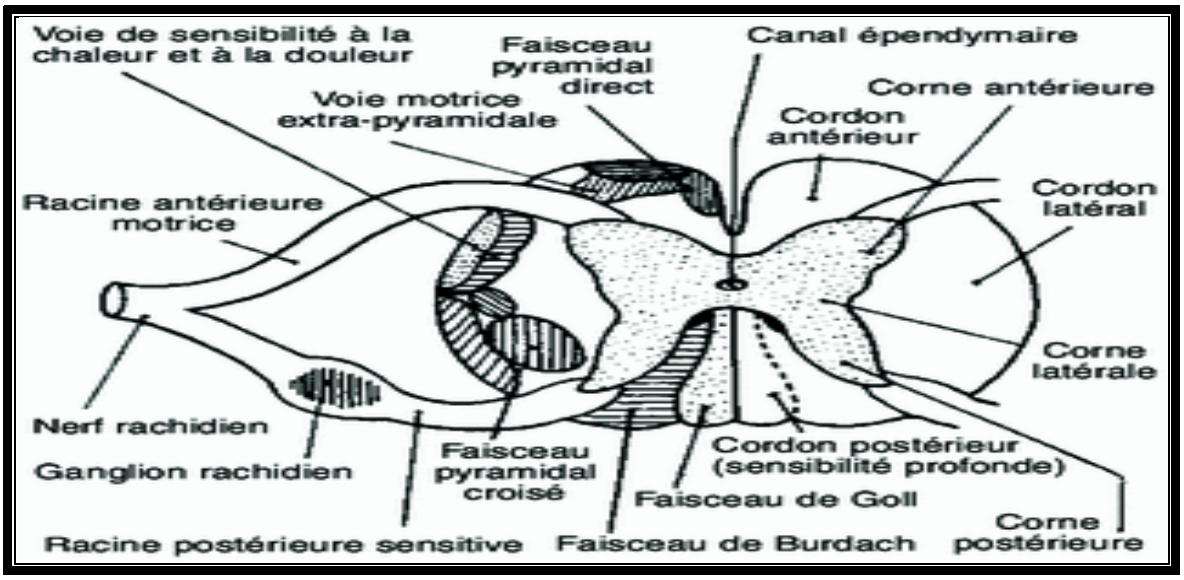


Figure 14 : ME et les deux racines nerveuses

En dessous de L1 et jusqu'au sacrum, le canal rachidien est occupé par les racines des nerfs spinaux issues de la moelle lombaire ; l'ensemble de ces racines forme ce que l'on appelle par ressemblance " la queue-de-cheval".

Encerclée par les os de la colonne vertébrale, la **moelle épinière** rejoint l'encéphale à travers le foramen magnum du crâne.

Elle contient environ 100 millions de neurones. Trente et une paires de **nerfs spinaux**, ou nerfs rachidiens, émergent de la moelle épinière, chacun innervant une région particulière du côté droit et du côté gauche du corps. Les **ganglions** (*gagglion*: nœud, tumeur) sont de petites masses de tissu nerveux qui contiennent essentiellement des corps cellulaires de neurones ; ils sont situés en dehors de l'encéphale et de la moelle épinière. Les ganglions sont étroitement associés aux nerfs crâniens et spinaux.

C- SUBSTANCE GRISE ET SUBSTANCE BLANCHE

A quelque niveau que ce soit, le système nerveux central est formé de deux parties différentes caractérisées par leur teinte : la substance grise et la substance blanche.

Au niveau du cerveau, on décrit

- une couche de substance grise recouvrant l'ensemble des hémisphères dont elle suit les sillons : c'est l'écorce cérébrale ou cortex cérébral.

- une couche de substance blanche immédiatement sous l'écorce grise.
- une zone centrale plus complexe où l'on distingue une partie de substance blanche constituant les commissures unissant les deux hémisphères, et une partie d'amas de substance grise qui constitue les noyaux gris centraux.

Au niveau de la moelle épinière, la substance grise forme le centre, présent sur toute la hauteur de la moelle, dessinant un H ou une forme de papillon sur une coupe transversale.

D- ELEMENTS CELLULAIRES DU SYSTEME NERVEUX

La substance grise est formée de cellules ; la substance blanche est formée de fibres. La cellule et la fibre ne sont que les deux parties d'un même élément essentiel du système nerveux : le neurone.

Les neurones sont de trois types :

- **Les neurones sensoriels** : conduisent les influx nerveux jusqu'au SNC.

-Sensoriels somatiques : conduisent les influx qui proviennent des récepteurs de la peau, des os, des muscles et des articulations.

-Sensoriels viscéraux : conduisent les influx qui proviennent des viscères.

- **Les neurones moteurs** : conduisent les influx en provenance du SNC.

-Somatiques moteurs : innervent les muscles squelettiques.

-Viscéraux moteurs (autonomes moteurs) : innervent le muscle cardiaque, les muscles lisses et les glandes.

- **Les neurones d'association (inter neurones)** : conduisent les influx des neurones sensoriels aux neurones moteurs.

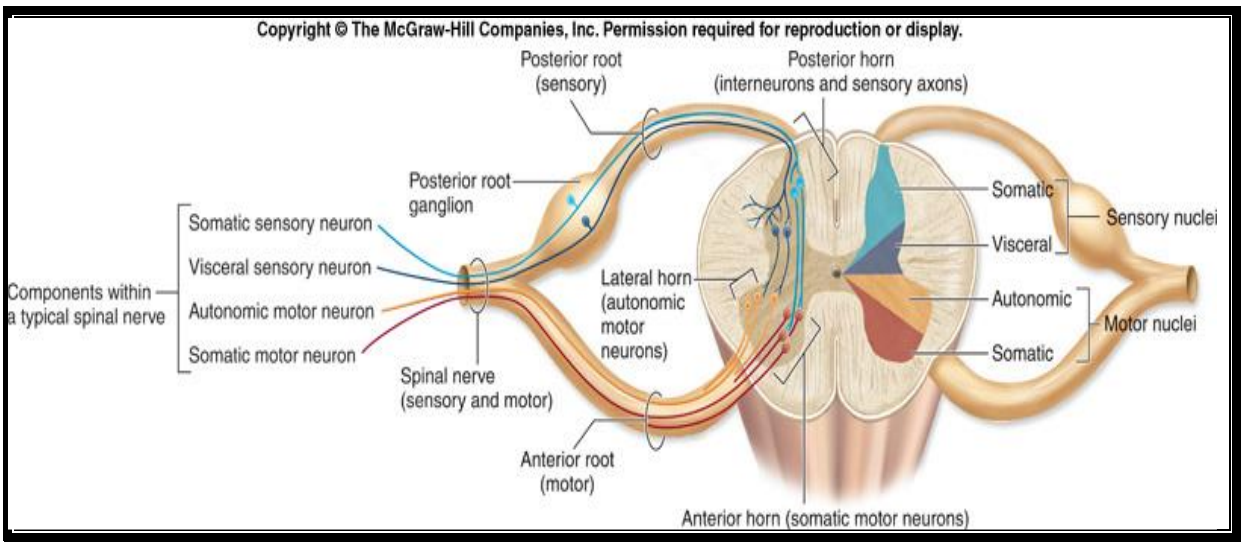


Figure 15: Types de neurones

Le neurone n'est pas la seule cellule présente dans le système nerveux.

A côté de lui, il existe un tissu de soutien et des cellules nourricières : les cellules gliales.

1. Le neurone

Le neurone est une cellule anatomiquement et physiologiquement spécialisée dans la réception, l'intégration et la transmission d'informations. Ce rôle complexe lui vaut d'être une cellule ordinaire dans la constitution de sa membrane, son noyau, ses organites, et une cellule singulière, excitable et sécrétrice, adaptée aux tâches de formation, d'entretien et de fonctionnement de réseaux.

En effet, le neurone isolé n'existe pas. Chacun d'entre eux est intégré dans des réseaux multiples, ordonnés et hiérarchisés chargés de recevoir ou transmettre un signal, ou de coordonner une fonction complexe.

La transmission nerveuse se fait par l'intermédiaire de plusieurs neurones qui sont en rapport les uns avec les autres par leurs dendrites ou par l'articulation d'un axone avec les dendrites d'une ou de plusieurs cellules voisines. La jonction entre les éléments de deux cellules constitue une synapse.

Le neurone ne se reproduit pas, malgré l'importance de son activité enzymatique et son stock chromosomique. Son activité est entièrement dédiée à ses fonctions de récepteur et de transmetteur. Il se compose d'un corps cellulaire, des dendrites, d'un axone, de synapses et d'un cytosquelette.

a. le corps cellulaire

Le corps cellulaire du neurone est de forme et de tailles variées. Arrondi ou ovalaire, parfois triangulaire ou pyramidal, il peut mesurer de 5 à 120 microns de diamètre. Il comporte un noyau unique, clair, central, bien limité, et le cytoplasme qui contient les éléments communs à toutes les cellules. Le cytoplasme est riche en organites : il contient de nombreux corps de Nissl, substance basophile caractéristique témoin de l'activité enzymatique, l'appareil de Golgi, des mitochondries et de nombreux éléments du cytosquelette (microfilaments, neurofilaments, microtubules).

b. les dendrites

Ce sont des prolongements courts, ramifiés, nombreux, qui s'allongent comme des antennes à partir du corps cellulaire. Cette arborisation offre ainsi une plus grande surface de contact entre les cellules nerveuses.

c. l'axone

L'axone, en général unique, est le prolongement le plus long du neurone. Il se termine par de nombreuses ramifications comparables aux dendrites, les boutons terminaux. Le mode de ramification de l'axone et des dendrites est très divers. La multiplicité de ces terminaisons dendritiques fait qu'un axone peut recevoir jusqu'à 100000 entrées.

L'axone est constitué d'une enveloppe, l'*axolemne* et d'un cytoplasme appelé *axoplasme*. Prolongement du cytoplasme cellulaire, l'axoplasme en diffère par l'absence de corps de Nissl et d'appareil de Golgi. Les organites et éléments du cytosquelette s'alignent ici longitudinalement, parallèlement à l'axe de l'axone. Fait essentiel, l'axoplasme ne peut assurer la synthèse et le renouvellement des macromolécules qui le constituent. Elles proviennent du corps cellulaire et sont apportées grâce au transport axonal.

L'axolemne est recouvert d'une gaine. Il existe deux sortes de gaines permettant de différencier les fibres myéliniques des fibres amyéliniques. Dans les fibres myéliniques, l'axolemne est recouvert d'un enroulement de myéline, et cette gaine présente par place des étranglements appelés nœuds de Ranvier.

Cette gaine de myéline est elle-même entourée de cellules de Schwann, à l'origine de la myéline. La myéline donne aux fibres qu'elle recouvre un aspect blanchâtre. Les fibres myéliniques constituent la substance blanche du tissu cérébral. Les fibres amyéliniques ou fibres nues, d'un diamètre évidemment plus petit, sont recouvertes directement par les cellules de Schwann.

Le transport axonal s'effectue dans les deux sens, du corps cellulaire vers l'extrémité de l'axone et l'inverse. Il peut être rapide (transport de l'information) ou lent (transport de substances).

d. les synapses

Les synapses sont des zones de contact spécialisées entre les neurones, ou entre le neurone et son site effecteur (exemple : la jonction neuromusculaire). Elles assurent le transfert des signaux entre les cellules. On distingue :

- des synapses électriques, en contact direct les unes avec les autres, et qui permettent une propagation rapide des signaux électriques entre deux cellules. Elles sont rares chez l'homme.
- des synapses chimiques qui utilisent un messager chimique (neurotransmetteur) pour transmettre l'information. Il existe un espace large de 20 à 30 nanomètres entre les deux éléments cellulaires : c'est *la fente synaptique*. Elle est traversée par le neurotransmetteur libéré par *l'élément pré-synaptique* qui transmet le signal à *l'élément post-synaptique*.
- des synapses mixtes, qui associent une synapse chimique et une synapse électrique.

On parle de *complexe synaptique* pour désigner l'élément pré-synaptique, la fente synaptique, et l'élément post-synaptique. Les *vésicules synaptiques* sont des organites de stockage du neurotransmetteur qui peut être libéré dans la fente synaptique. En face, la membrane post-synaptique est composée de structures protéiques servant de point d'ancrage pour les récepteurs post-synaptiques. Il existe une grande diversité de synapses entre les axones et les dendrites, entre axones, ou entre les dendrites entre elles.

e. le cytosquelette

Les éléments du cytosquelette du neurone (micro-filaments, microtubules, et filaments intermédiaires) sont plus abondants que dans les autres cellules de l'organisme. Le cytosquelette neuronal détermine et maintient la morphologie du neurone, et assure un rôle dans la neurogénèse et la synaptogénèse : il assure le transfert des macromolécules entre le cytoplasme et les prolongements neuronaux (axones ou dendrites), et, au niveau synaptique, il participe aux processus de libération des neurotransmetteurs car il permet la fixation des récepteurs membranaires.

2. Les cellules gliales

Les cellules gliales constituent le tissu de soutien du système nerveux. Elles assurent le lien avec les vaisseaux sanguins et apportent les nutriments essentiels au fonctionnement métabolique du système nerveux. Contrairement aux cellules neuronales, les cellules gliales peuvent se multiplier, voire proliférer et devenir cancéreuses. On distingue plusieurs types de **cellules gliales : les astrocytes, les oligodendrocytes, la microglie, et les cellules épendymaires.**

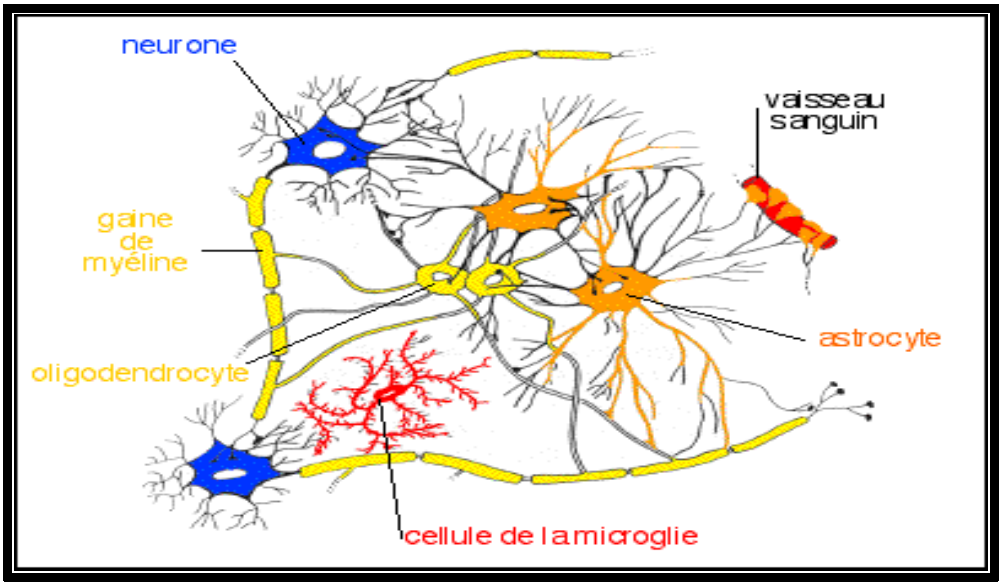


Figure 16 : Les cellules du tissu de soutien du SN

a. les astrocytes

Ce sont les cellules les plus nombreuses de l'encéphale. **Véritable tissu de soutien, elles assurent le support métabolique et la synthèse des principaux constituants du système nerveux**. Elles n'ont pas de rôle direct dans la transmission de l'influx nerveux. Elles ont un aspect étoilé, ramifié, autour d'un corps cellulaire volumineux. Ces prolongements assurent les contacts intercellulaires et certains de ces prolongements sont en contact direct avec la membrane basale des vaisseaux qu'ils entourent complètement. Les astrocytes constituent ici une barrière anatomique s'opposant à la pénétration des liquides et substrats intra-vasculaires. Ils sont les constituants de la barrière hémato-encéphalique

b. Les oligodendrocytes

Ce sont des cellules plus petites et moins nombreuses que les astrocytes. **Leur rôle principal est l'élaboration de la myéline qui entoure les axones**. Dans les nerfs périphériques, les cellules de la gaine de Schwann sont analogues aux oligodendrocytes.

c. La microglie

Elle est formée de petites cellules à cytoplasme peu abondant. **Elles ont des propriétés de phagocytose**.

d. Les cellules épendymaires

Ce sont des cellules cylindriques ou cubiques à noyau volumineux qui recouvrent et tapissent les cavités ventriculaires de l'encéphale et le canal central de la moelle épinière. Leur bord libre a l'aspect d'une brosse. **Elles jouent un rôle important dans les échanges entre le liquide cérébro-spinal et le parenchyme cérébral.**

Les nerfs sont des organes du système nerveux périphérique composés de fibres capables de transmettre des informations sensorielles du corps vers le cerveau et d'acheminer les informations motrices du cerveau vers les muscles, organes et glandes. Ils assurent donc une fonction de transmission de l'influx nerveux entre le système nerveux central (encéphale et moelle épinière) et le système nerveux périphérique (l'organisme).

Les neurones sont des cellules nerveuses que l'on trouve dans le SNC et le SNP. On les trouve à la fois dans le cerveau et la moelle épinière (corps cellulaires) et dans les nerfs (axones) et les ganglions (corps cellulaires).

Bien qu'ils varient considérablement par leur forme et leur taille, les neurones sont composés en général **d'un corps cellulaire, de dendrites, et d'un axone**.

L'extrémité légèrement élargie des ramifications de l'axone est **la terminaison axonale** qui contient les **vésicules synaptiques** qui produisent les neurotransmetteurs et les secrètent dans la fente synaptique.

La myéline est une couche isolante de nature lipidique qui entoure l'axone de nombreux neurones. Cette couche est produite par des cellules spécialisées de la névroglie. Dans le SNP, la gaine de myéline est formée de segments séparés par de petits intervalles (les nœuds de Ranvier). La myéline assure l'association des fibres nerveuses qu'elles entourent et permet d'accélérer la conduction de l'influx le long de l'axone.

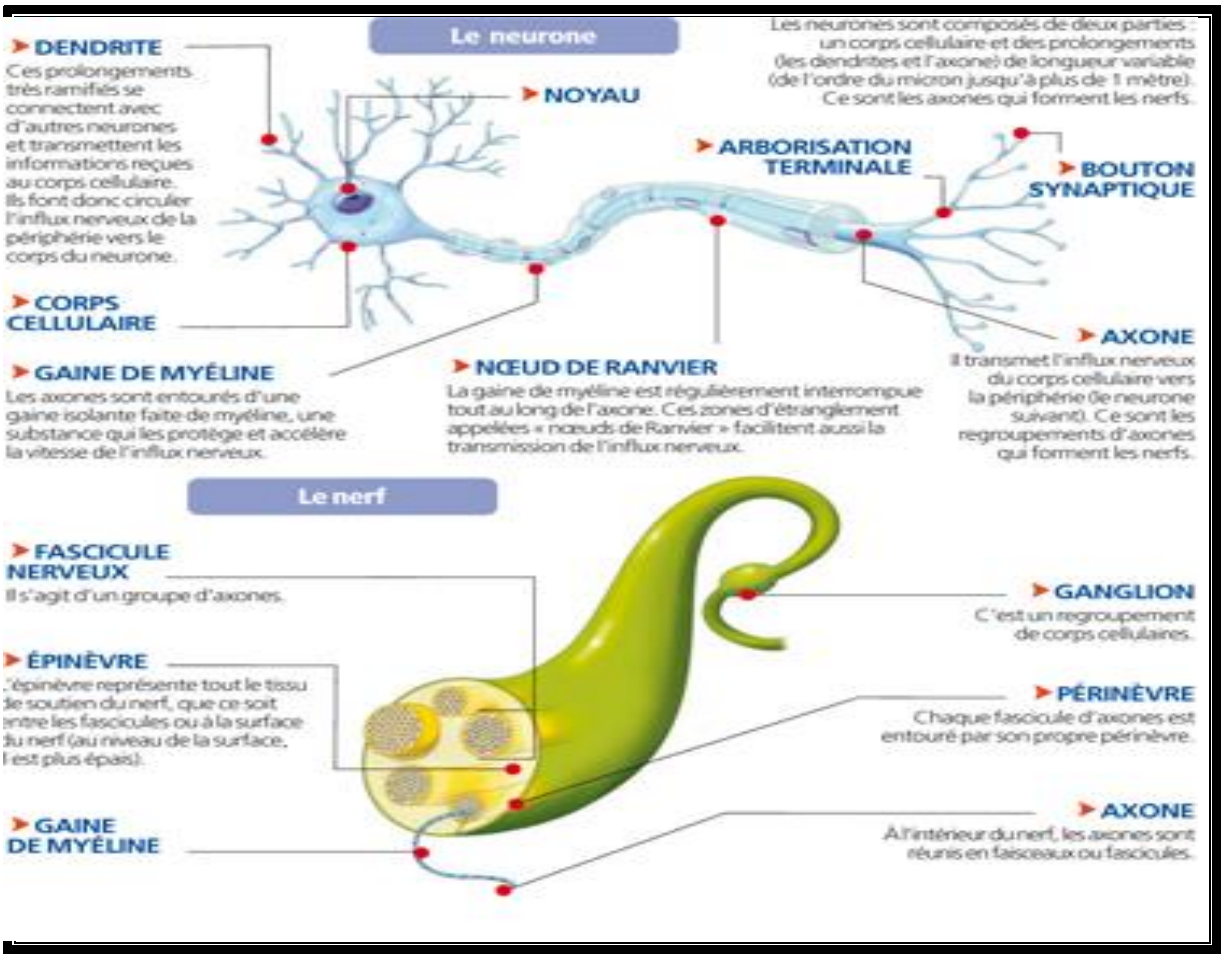


Figure 17 : Structure du nerf et d'un neurone

Les nerfs sensitifs (ou afférents) transmettent les informations venant de la peau, des organes de sens, des muscles, des articulations, des glandes et des organes vers le système nerveux central.

Les nerfs moteurs(ou efférents) réagissent aux informations données par les nerfs sensitifs et déclenchent des réactions, qui partent du système nerveux central pour rejoindre les organes du système périphérique. La plupart des nerfs sont mixtes, à la fois sensitifs et moteurs.

Les nerfs végétatifs transmettent les informations du système nerveux central aux organes et aux glandes pour assurer les diverses fonctions physiologiques (digestion, respiration...)

Le SNC renferme 43 paires de racines nerveuses:

- **Les 12 paires de nerfs crâniens** sont numérotées de 1 à 12, suivant leur ordre de sortie de la cavité crânienne. Ils ont un rôle sensoriel (nerfs olfactif, optique et auditif), moteur (nerfs oculaires, pathétique, spinal et grand hypoglosse) ou mixte (nerfs trijumeaux, facial glosso-pharyngien et pneumogastrique).
- **Les 31 paires de nerfs rachidiens** sont reliées à la moelle épinière. Chaque nerf se divise en deux racines : la racine postérieure est sensitive, tandis que la racine antérieure est motrice. Tous les nerfs rachidiens sont donc mixtes (moteurs et sensitifs). Les branches antérieures s'unissent en formant des plexus (cervical, dorsal, lombaire, sacré).

Dans ces nerfs circule l'information nerveuse ou l'influx nerveux.

L'influx nerveux est un phénomène de nature électrique qui circule d'un neurone à l'autre grâce à une articulation appelée « synapse ».

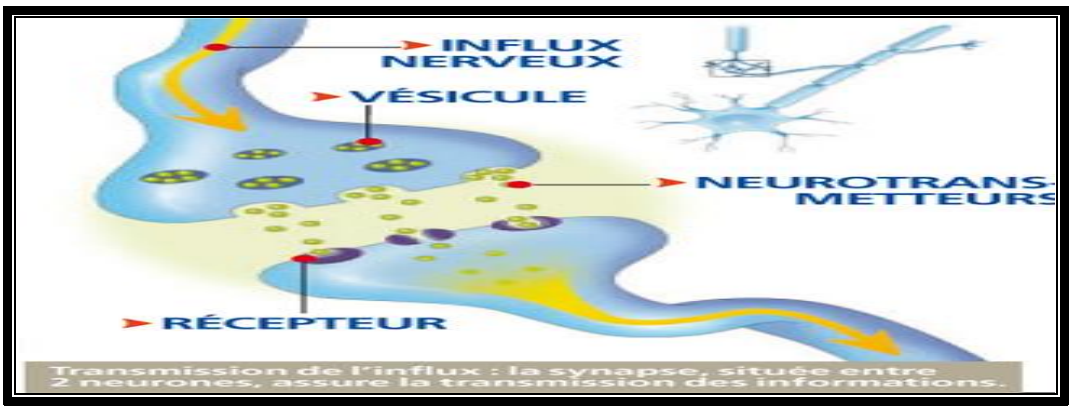


Figure 18 : Synapse

La majorité de ces points de liaison entre neurones sont situés :

• **Entre l'extrémité d'un axone** (corpuscule nerveux terminal) **et les dendrites d'un autre neurone ;**

• **Entre l'extrémité d'un axone et le corps cellulaire d'un autre neurone.** Le neurone qui reçoit l'information l'envoie au suivant et l'influx chemine ainsi très rapidement le long des fibres nerveuses (jusqu'à 100 m/s). Les synapses qui relient l'extrémité d'un axone à un muscle sont appelées **terminaisons neuromusculaires**. Celles qui rejoignent une glande sont des **terminaisons neuro glandulaires**.

II.2. Les fonctions du système nerveux

Notre système nerveux s'acquitte de tâches nombreuses et complexes. Il nous permet de percevoir différentes odeurs (sensations), de parler (langage) et de nous rappeler les événements (mémoire) ; il émet aussi les signaux qui déterminent les mouvements du corps et régule le fonctionnement des organes internes. Ces tâches se regroupent en trois fonctions fondamentales :

- **la fonction sensorielle,**
- **la fonction intégrative**
- **et la fonction motrice.**

• ***La fonction sensorielle***. Les récepteurs sensoriels *détectent* les stimuli internes, par exemple l'augmentation de l'acidité du sang, et les stimuli externes, par exemple la chute d'une goutte de pluie sur le bras. Les **neurones sensitifs**, ou neurones afférents (*afferre* : porter vers), transmettent l'information sensorielle à l'encéphale et à la moelle épinière par l'intermédiaire des nerfs crâniens et des nerfs spinaux.

• ***La fonction intégrative***. Le système nerveux *intègre*, ou traite, l'information sensorielle. Pour ce faire, il analyse l'information et en emmagasine une partie, puis il décide des réponses à y apporter. L'une des principales fonctions intégratives du système nerveux est la **perception**, c'est-à-dire la prise de conscience de l'existence des stimuli sensoriels. La perception se forme dans le cerveau. La plupart des neurones qui contribuent à la fonction intégrative sont des **interneurones**, ou neurones d'association, soit des neurones à axone court qui communiquent avec des neurones avoisinants de l'encéphale ou de la moelle épinière. Les interneurones constituent l'immense majorité des neurones du corps humain.

• ***La fonction motrice***. Une fois que l'information sensorielle est intégrée, le système nerveux peut y *répondre*, c'est-à-dire qu'il peut déterminer la réponse motrice à y apporter, par

exemple une contraction musculaire ou une sécrétion glandulaire. Les neurones qui accomplissent cette fonction sont les **neurones moteurs**, aussi appelés neurones efférents (*efferre* : porter hors) ou encore motoneurones. Ils transmettent l'information provenant de l'encéphale vers la moelle épinière ou l'information provenant de l'encéphale et de la moelle épinière vers les **effecteurs** (les muscles et certaines glandes) par l'intermédiaire des nerfs crâniens et des nerfs spinaux. En stimulant les effecteurs, les neurones moteurs déclenchent les contractions musculaires et les sécrétions glandulaires.

NB : L'arc reflexe.

Un arc réflexe nécessite cinq éléments.

Le récepteur = Terminaisons dendritiques d'un neurone sensoriel, situées dans la peau, au niveau d'un tendon ou d'une articulation, ou situées au niveau d'autres organes périphériques, qui répondent à des stimuli spécifiques.

Le neurone sensoriel =Part du récepteur et passe à travers la racine dorsale pour amener les influx sensitifs jusqu'à la corne dorsale de la moelle épinière.

Le centre nerveux = Substance grise de la moelle épinière où les neurones sensitifs et moteurs s'articulent lentement ou via un ou plusieurs inter neurones.

Le neurone moteur= Conduit les influx nerveux de la corne ventrale de la moelle épinière, par la racine ventrale, jusqu'à l'organe effecteur.

L'effecteur = Le muscle qui répond à l'influx moteur par la contraction ou la glande qui répond à cet influx par la sécrétion.

II.3. La physiologie de la conduction nerveuse.

De part et d'autre de la membrane plasmique d'un neurone qui n'assure pas la conduction d'un influx nerveux (au repos), il existe une différence de potentiel, appelé potentiel de repos. Ce potentiel de repos est dû à une répartition inégale des particules chargées (ions) dans le compartiment extracellulaire et dans le compartiment intracellulaire.

L'information portée par un influx nerveux est transmise d'un point à un autre de l'organisme par la variation brutale du potentiel de repos qui se propage le long de la membrane neuronale. Cette perturbation qui 'se déplace' est un potentiel d'action et se déroule de la façon suivante :

1. N'importe quel stimulus, électrique, mécanique ou chimique, appliqué en un point de la membrane neuronale, est suffisant pour modifier le potentiel de repos.
2. Au point de stimulation, la perméabilité membranaire aux ions sodium (Na+) augmente.

3. (Na+) traverse rapidement la membrane et pénètre dans la cellule : localement la membrane est dépolarisée (potentiel membranaire= O).

4. L'entrée de (Na+) dans la cellule se poursuit ; l'intérieur de la cellule devient chargé positivement par rapport à l'extérieur (inversion du potentiel membranaire).

5. L'inversion du potentiel membranaire au point de stimulation produit un courant local qui stimule la région adjacente de la membrane.

6. Au point de stimulation initiale, la perméabilité membranaire au sodium diminue et la perméabilité à (K+) augmente.

7. (K+) sort rapidement de la cellule et rétablit une charge nette positive à l'extérieur de la cellule par rapport à l'intérieur (repolarisation).

8. Les pompes à sodium et à potassium font ressortir le (Na+) et rentrer (K+). Le cycle se répète et se propage de cette façon le long de la membrane neuronale.

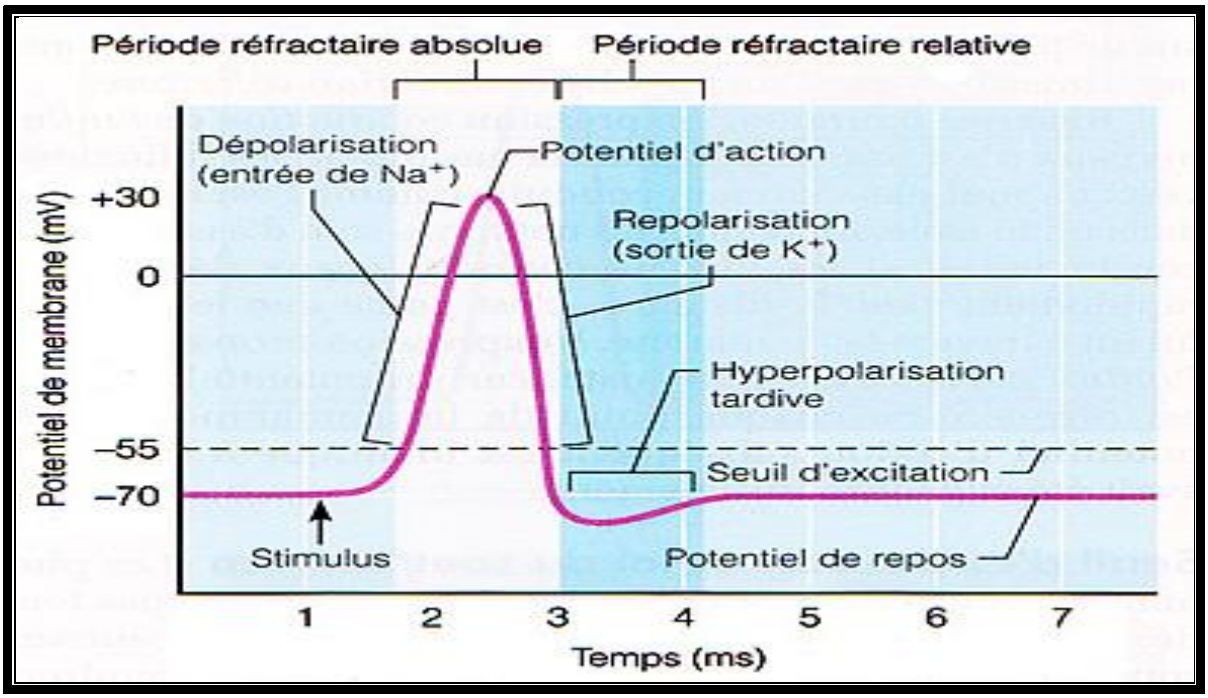


Figure 19: Potentiel d'action

CHAPITRE III : PHYSIOLOGIE DE LA CELLULE MUSCULAIRE

III.1. Introduction

La physiologie de la cellule musculaire, ou myocyte, concerne son fonctionnement, notamment la contraction et la production d'énergie. Ces cellules, spécialisées dans la contraction, transforment l'énergie chimique en énergie mécanique pour produire force et mouvement. Les muscles, constitués de fibres musculaires, permettent le mouvement et la résistance aux forces externes. La physiologie musculaire est essentielle pour la locomotion, le maintien de la posture, la régulation de la température corporelle, et le fonctionnement des organes internes.

Une bonne compréhension de la physiologie musculaire est cruciale pour le diagnostic et le traitement des maladies musculaires.

Le tissu musculaire possède une propriété physiologique, la contractilité, assurée par les cellules musculaires ou myocytes dénommées "fibres" musculaires. Ces cellules sont caractérisées par la présence dans leur cytoplasme de nombreuses myofibrilles composées de myofilaments groupés parallèlement selon le grand axe de la cellule.

Il existe **trois types de tissu musculaire** composés de cellules musculaires ou myocytes :

• ***Le tissu musculaire strié***, qui dérive des myotomes, est généralement associé au squelette, et est composé de cellules (rhabdomyocytes) qui présentent une striation transversale. Contrairement aux muscles lisses, les rhabdomyocytes ont plusieurs noyaux situés en périphérie de la cellule. Il est à contraction volontaire.

• ***Le tissu musculaire lisse*****,** formé de léiomyocytes, également d'origine mésenchymateuse, est localisé dans la paroi des viscères et des vaisseaux. Les léiomyocytes sont caractérisés par leur forme allongée et fusiforme, effilée aux extrémités, avec un noyau unique, allongé et situé au centre. Contrairement aux muscles squelettiques, les ML ne présentent pas de stries. La contraction des muscles lisses, sous la dépendance du système nerveux végétatif, est involontaire.

• ***Le tissu musculaire cardiaque*** est composé de cardiomyocytes provenant du mésenchyme. Il est très semblable au tissu musculaire strié et on ne le trouve chez l'Homme qu'au niveau du myocarde. Il se caractérise par son aptitude à se contracter rythmiquement et harmonieusement de façon spontanée. Il est innervé par le système nerveux végétatif : le

rythme des battements cardiaques est déterminé par l'activité du nœud sino-auriculaire mais peut être modifié par les influx sympathiques et parasympathiques.

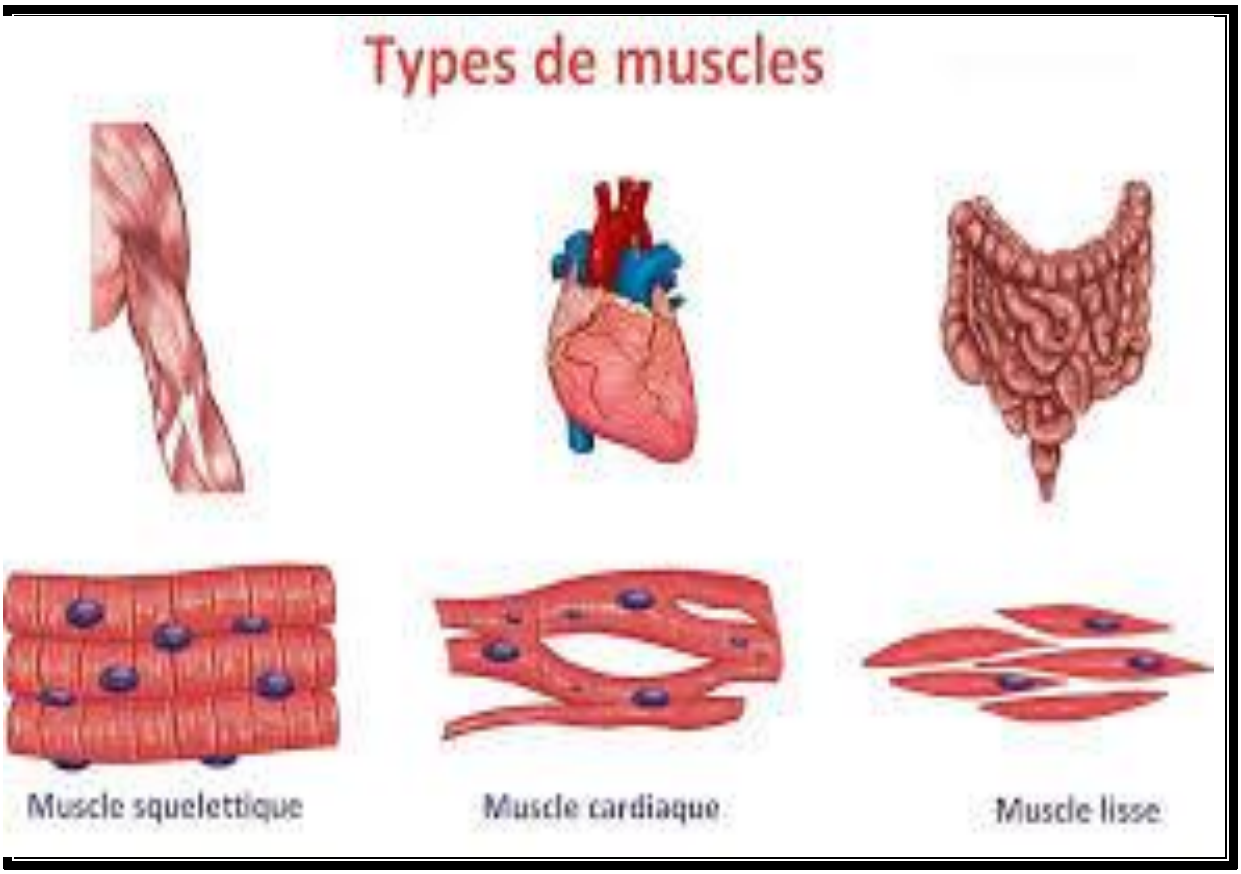


Figure 20: Types de muscles

Caractéristiques générales

a- Types de muscles

Il existe trois types de muscles : squelettique, lisse et cardiaque. Ces trois types différent par : la structure de leurs cellules, leurs situation dans le corps, leurs fonction et par le mode de déclenchement de leur contraction.

b- Fonctions des muscles :

• Production des mouvements

• Maintien de la posture

• Stabilisation des articulations

• Dégagement de la chaleur

b- Caractéristiques fonctionnelles des muscles

• **L'excitabilité :** est la capacité de percevoir un stimulus et d'y répondre. Le stimulus peut être un neurotransmetteur libéré par une cellule nerveuse, la

réponse est la production le long du sarcolemme, d'un signal électrique qui est à l'origine de la contraction musculaire.

• **La contractilité :** est la capacité de se contracter avec force en présence de la stimulation appropriée.

• **L'extensibilité :** est la faculté d'étirement ; lorsqu'elles se contractent, les fibres musculaires se raccourcissent, mais lorsqu'elles sont détendues, on peut les étirer au-delà de leur longueur de repos.

• **L'élasticité :** est la possibilité qu'ont les fibres musculaires de reprendre leur longueur de repos lorsqu'on les relâche.

III.2. Le tissu musculaire strié squelettique

L'élément fondamental du tissu musculaire strié est la cellule musculaire squelettique, responsable des mouvements volontaires et du maintien de la posture. Cette cellule est sous l'influence du système nerveux central. La cellule musculaire est caractérisée par une striation transversale résultant de l'organisation des myofilaments. Ceux-ci sont composés de filaments épais : la myosine et de filaments fins : l'actine. La contraction musculaire est permise grâce à l'interaction entre les deux types de filaments : elle est réalisée par le raccourcissement des "fibres" musculaires. Elle résulte du glissement actif des filaments épais de myosine entre les filaments fins d'actine.

III.2.1.Structure générale

Les muscles striés sont formés de cellules musculaires juxtaposées parallèlement, organisées en faisceaux.

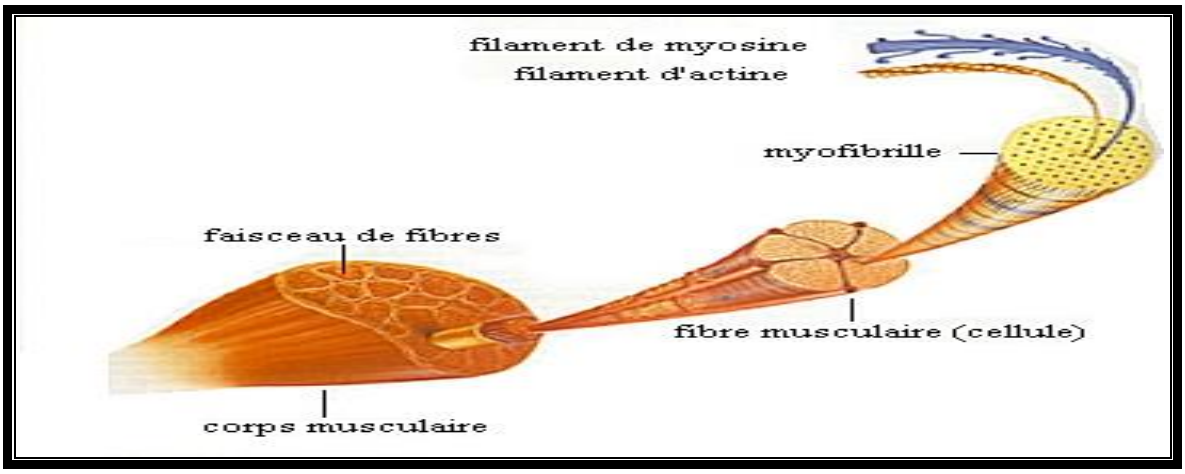


Figure 21 : Structure du muscle

Le muscle est entouré de tissu conjonctif vasculaire : l'**épimysium** d'où partent des travées conjonctives (formant le **périmysium**) qui divisent le muscle en faisceaux. Ce tissu conjonctif est le support du **réseau vasculaire** et entoure l'ensemble des **éléments nerveux**.

Chaque fibre musculaire est également entourée de tissu conjonctif : l'**endomysium**, provenant du périmysium. Les cellules musculaires ne se divisent pas. En cas de lésion, elles sont remplacées par division des **cellules satellites**, cellules souches inactives qui ne sont pas visibles en microscopie optique. En microscopie électronique, elles apparaissent petites et fusiformes, situées entre la lame basale et la membrane plasmique des myocytes.

En microscopie optique, les "fibres" musculaires apparaissent comme des éléments allongés, plurinucléés qui présentent une striation transversale régulière.

Ces FM mesurent 10 à100 µm de diamètre et ont une longueur variable de quelques centaines de µm (muscles oculaires) à plusieurs centimètres pour certains muscles squelettiques.

La membrane plasmique entoure la cellule et est doublée d'une lame basale : l'ensemble forme le **sarcolemme**.

Plusieurs centaines de noyaux sont en périphérie de la cellule contre la membrane plasmique. Ils sont ovoïdes allongés dans le sens de la fibre.

Le sarcoplasme est caractérisé notamment par les myofibrilles ainsi que par l'abondance de mitochondries, la présence d'un réticulum sarcoplasmique lisse organisé de façon spécifique. Il contient en, plus, une grande réserve de glycogène ainsi que de la myoglobine, une protéine qui se lie à l'oxygène et n'existe dans aucun autre type de cellule

Les myofibrilles occupent la majeure partie du cytoplasme et se groupent en faisceaux. Les myofibrilles s'organisent en cylindres disposés parallèlement et présentant une striation périodique caractérisée par l'alternance de **bandes sombres A** (anisotropes) et de **bandes claires I** (isotropes). La partie centrale des disques I est marquée par la **strie Z**. La zone plus claire qui apparaît au milieu du disque A est la **strie H** elle-même centrée par la **ligne M**. L'élément répétitif et fonctionnel de base est le **sarcomère** délimité par deux stries Z.

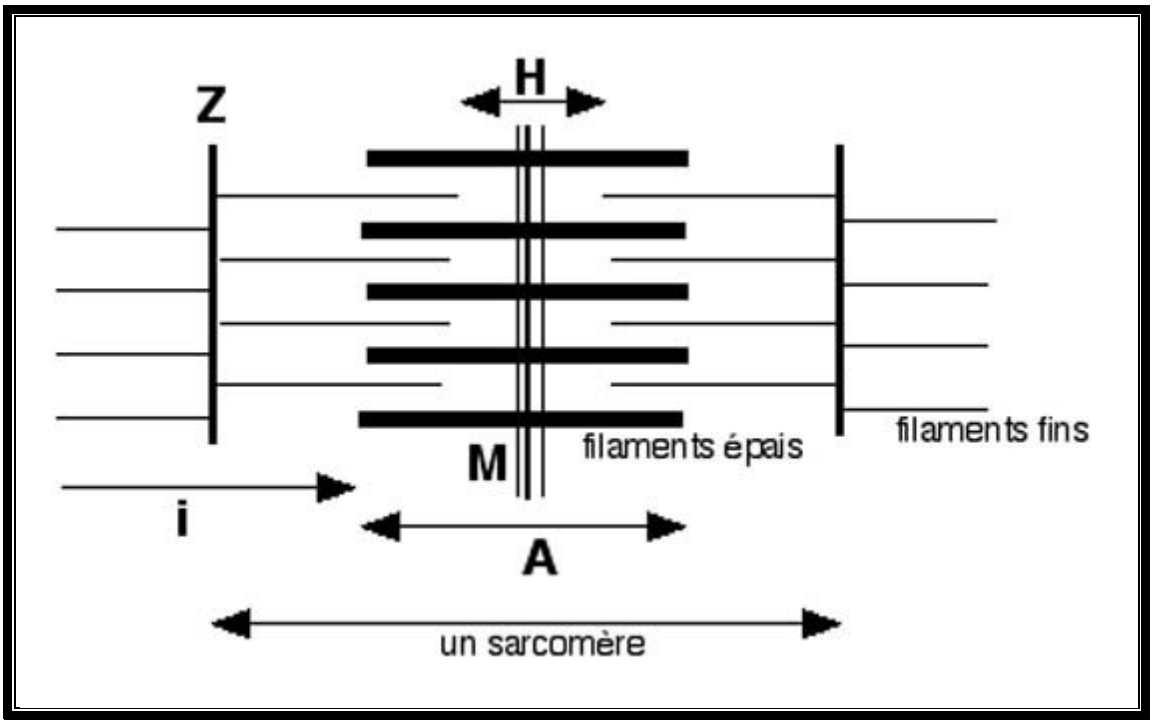


Figure 22 : Sarcomère (unité contractile)

Le réticulum sarcoplasmique est un réticulum lisse disposé en tubules longitudinaux dont l'extrémité est dilatée en regard de la jonction disque A disque I. Les tubules sont reliés les uns aux autres par des tubules transversaux en regard des stries Z. Le système T est un ensemble de canalicules transversaux qui sont des invaginations tubulaires de la membrane plasmique entourant les myofibrilles aux jonctions bande A bande I.

Les mitochondries sont nombreuses, entre les myofibrilles et sous la membrane plasmique. Elles assurent l'énergie nécessaire à la cellule. Le glycogène est relativement abondant, apparaissant sous la forme de particules dispersées dans les bandes de sarcoplasme.

La FM est composée de **Myofibrilles,** parallèles qui parcourent toute la longueur de la fibre. Sur la longueur de chaque myofibrille, les myofilaments s'organise en alternance de bandes sombres et claires, appelées stries.

Myofilaments fins

Les myofilaments fins ont un diamètre de 8 nm et sont constitués de plusieurs types de molécules, **l'actine G, la tropomyosine et la troponine**.

Les filaments d'actine sont composés de deux chaînes linéaires qui s'enroulent l'une autour de l'autre pour former une double hélice.

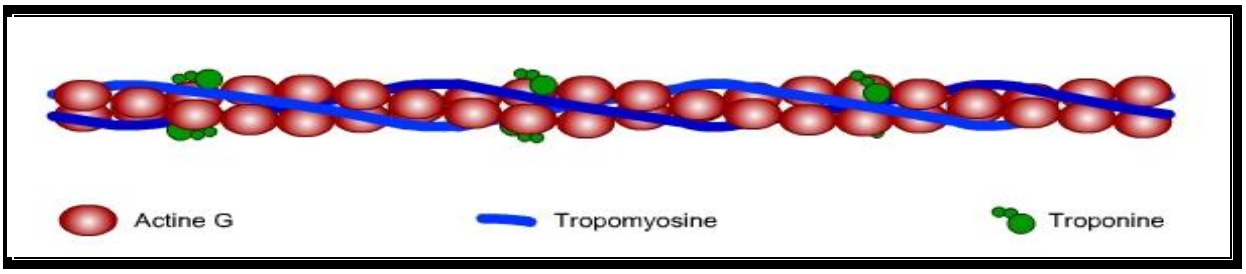
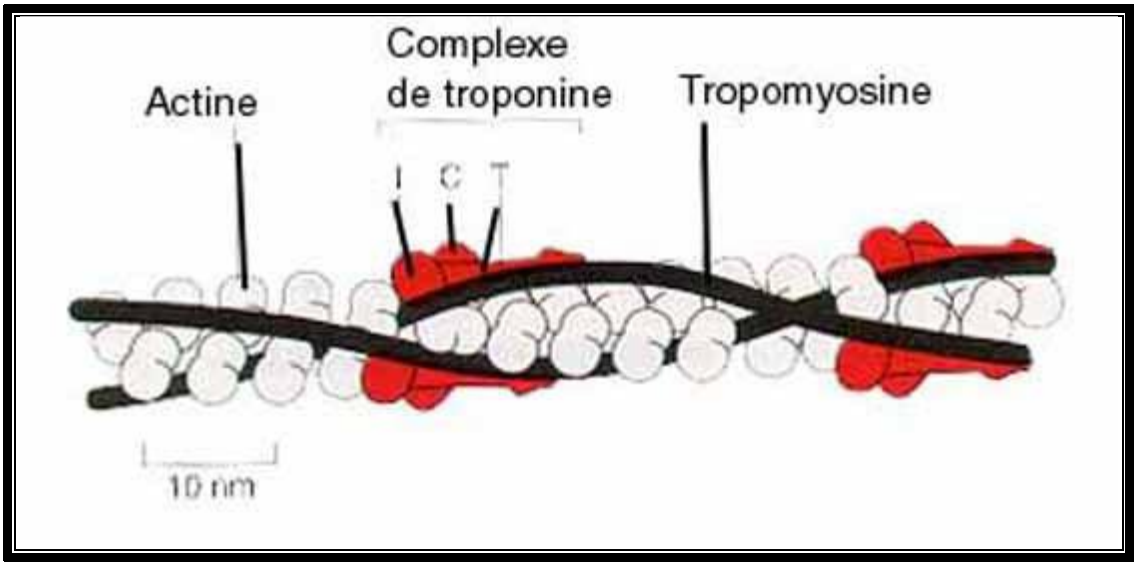


Figure 23 : Myofilament fin

ou



La tropomyosine est une protéine allongée qui se lie à l'actine G en se logeant au creux des sillons de la double hélice formée par l'actine. A l'état de repos, les molécules de myosine (voir les filaments épais ci-dessous) sont également en contact avec la tropomyosine.

A chaque extrémité d'une molécule de tropomyosine, soit un intervalle correspondant à 7 molécules d'actine, une molécule de troponine vient se lier avec la tropomyosine. La troponine est une molécule composée de 3 chaînes respectivement dénommées troponine-T, troponine-I et troponine-C.

Chaque chaîne possède une fonction différente :

- **la troponine-T est responsable de la liaison troponine-tropomyosine ;**
- **la troponine-I possède une activité inhibitrice de l'activité ATPasique de la myosine ;**
- **la troponine-C possède 4 sites de fixation pour le calcium qui, lorsqu'ils sont occupés, lèvent l'action de la troponine I.**
-

Myofilaments épais

Les filaments épais de myosine sont constitués par l'association de 200 à 300 molécules de myosine native. Chaque molécule est composée de deux chaînes lourdes en forme de club de golf dont les queues s'enroulent l'une autour de l'autre et de quatre chaînes légères fixées sur les têtes des chaînes lourdes. Plusieurs molécules se rassemblent en rangées régulières pour former le filament.

Molécule de myosine

Les filaments épais ont un diamètre d'environ 15 nm et sont essentiellement constitués d'une espèce moléculaire, la myosine II.

La myosine II est une molécule allongée, composée de deux chaînes lourdes et de quatre chaînes légères. Chaque chaîne lourde est constituée d'une queue C-terminale allongée et fibrillaire en hélice alpha, d'une tête globulaire N-terminale enzymatique à activité ATPasique associée à deux chaînes légères, et d'un domaine cervical déformable reliant les deux extrémités. Tête globulaire et partie cervicale forment la méromyosine lourde, la partie fibrillaire caudale formant la méromyosine légère. Les queues allongées de deux chaînes lourdes de myosine s'enroulent l'une autour de l'autre en une superhélice, les deux têtes globulaires se trouvant côte à côte.

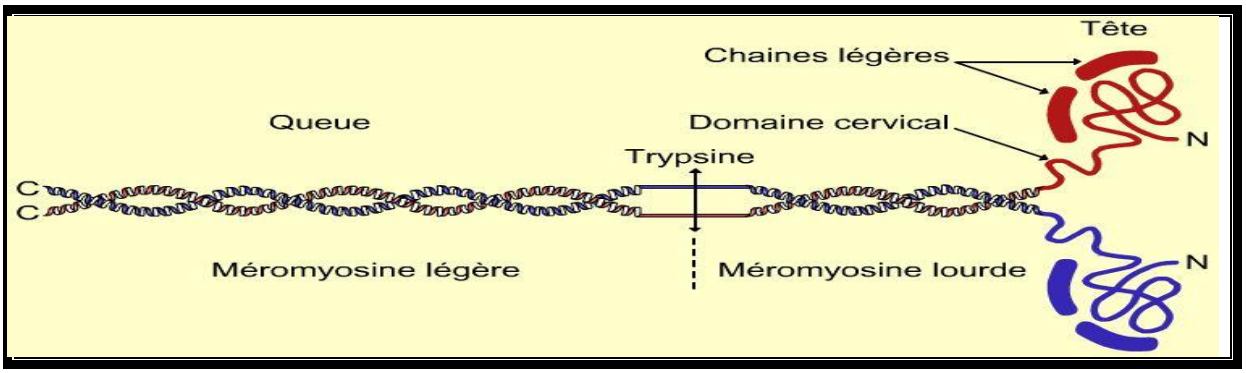
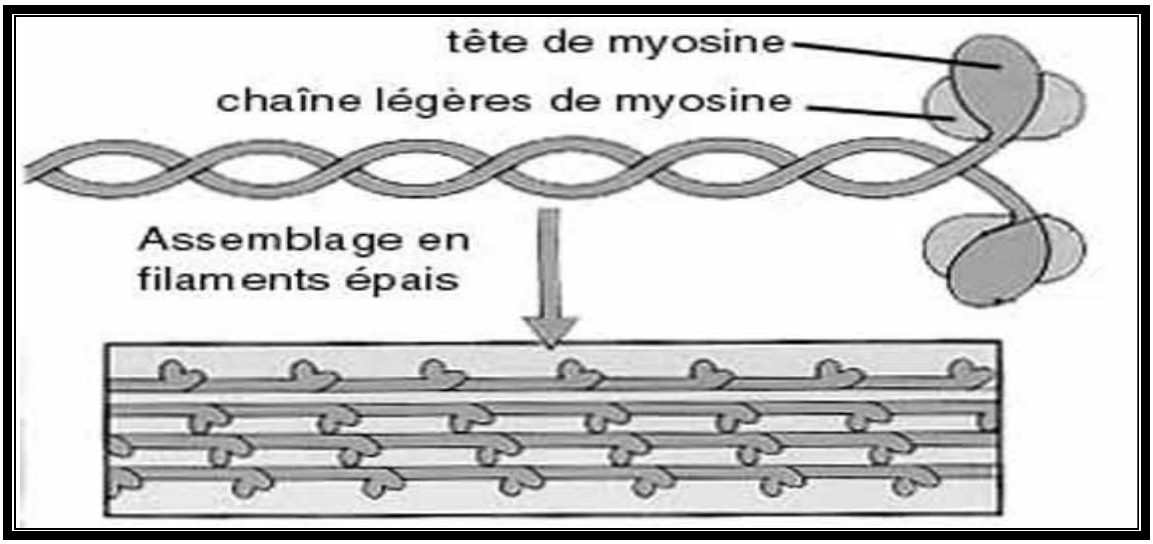


Figure 24: Structure de la molécule de myosine II

Ou



Le fonctionnement du muscle squelettique dépend de l'alignement précis des myofilaments d'actine et de myosine dans la myofibrille. Ceci est permis grâce à des protéines qui lient entre eux les myofilaments et leur confère l'élasticité nécessaire qui leur permet de retrouver leur forme initiale après la contraction.

III.2.2.Contraction musculaire

La contraction musculaire se traduit par un **raccourcissement** des "fibres" musculaires qui est visible uniquement au niveau des bandes I alors que les disques sombres gardent une longueur constante. Lors de la contraction musculaire, les myofilaments d'actine glissent entre les myofilaments de myosine. Ce mouvement est commandé par les têtes des molécules de myosine qui se lient puis se détachent de la molécule d'actine et "marchent" ainsi sur les filaments d'actine. Le déplacement de la myosine sur l'actine est possible grâce à l'hydrolyse de molécules d'ATP.

La **régulation** de la contraction musculaire est réalisée par les molécules associées à la molécule d'actine : la **tropomyosine**, au repos masque le site de la liaison actine - myosine ; la libération de ce site est sous l'influence des **ions Ca++** initialement contenus dans les citernes du réticulum sarcoplasmique. L'i**nflux nerveux,** provoque une dépolarisation de la membrane plasmique qui s'étend le long des membranes du système T puis est transférée au réticulum par l'intermédiaire des triades. La dépolarisation du réticulum provoque la libération du Ca++ qui active la contraction musculaire.

- **Le couplage excitation - contraction**

L'évènement déclenchant de la contraction musculaire est une augmentation de la concentration intracellulaire en calcium. Au repos, cette concentration est d'environ 0,1 $\mu mol.L^{-1}$. Lors d'une stimulation, cette concentration peut grimper jusqu'à 0,1 $mmol.L^{-1}$ soit une augmentation d'un facteur 1000.

Le couplage excitation - contraction correspond aux mécanismes permettant cette forte augmentation. Dans les muscles squelettiques, cette augmentation est majoritairement due à la libération massive d'ions calcium stockés dans le reticulum sarcoplasmique.

L'arrivée d'un potentiel d'action dans la terminaison nerveuse d'un neurone moteur déclenche la libération du neuromédiateur (de l'acétylcholine) dans la fente synaptique. Après diffusion dans l'espace inter synaptique, l'acétylcholine va se lier à son récepteur spécifique, le récepteur nicotinique de l'acétylcholine. Celui-ci est un récepteur canal cationique ouvert par la présence de son ligand. Son ouverture entraîne la dépolarisation locale de la membrane post-synaptique musculaire. Le potentiel de plaque excitateur ainsi généré va provoquer la naissance d'une vague de dépolarisation propagée sur tout le sarcolème (membrane plasmique musculaire) correspondant à un potentiel d'action musculaire. Cette propagation est due à l'ouverture de canaux sodiques et calciques voltages dépendants selon un décours temporel précis.

- **Le raccourcissement des sarcomères**

A- Mouvement relatif des filaments d'actine et de myosine

La contraction musculaire correspond à un raccourcissement des sarcomères dû au glissement relatif des filaments d'actine et de myosine : les deux disques Z délimitant un sarcomère se rapprochent l'un de l'autre. Ce phénomène se produisant simultanément pour tous les sarcomères de la cellule, il en résulte un raccourcissement global de la cellule musculaire selon l'axe longitudinal

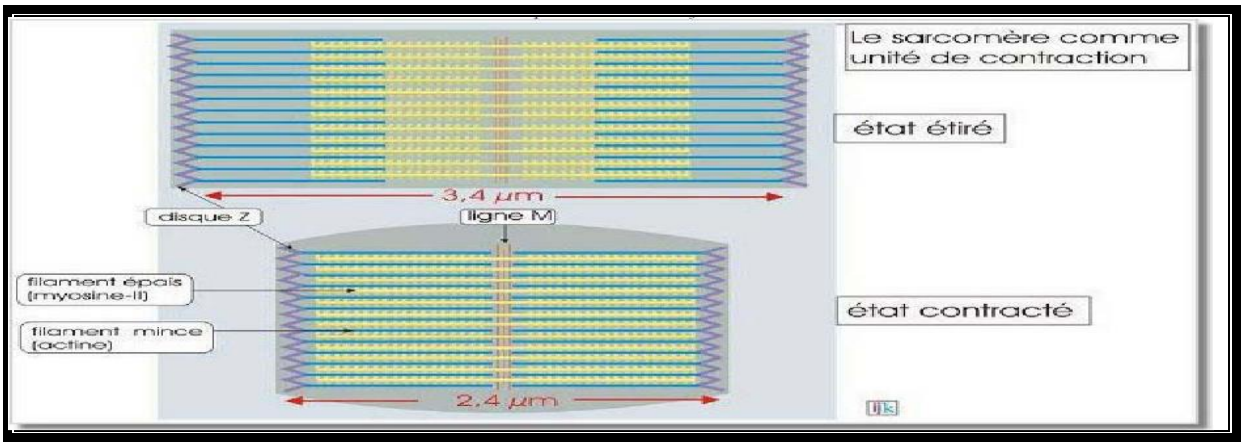


Figure 25 : Le sarcomère comme unité de contraction

B- L'activation par le calcium

Lorsque la troponine C n'est pas liée à du calcium (et en présence de troponine T et de tropomyosine), la troponine I inhibe l'interaction actine-myosine en faisant occuper par la tropomyosine le site d'interaction de la myosine situé sur l'actine. La liaison de calcium sur la troponine C entraîne un changement de conformation de la troponine, ce qui déplace légèrement la tropomyosine qui lui est liée, démasquant ainsi les sites de liaison actine-myosine = CONTRACTION. On a donc une levée de l'inhibition de la liaison actine-myosine

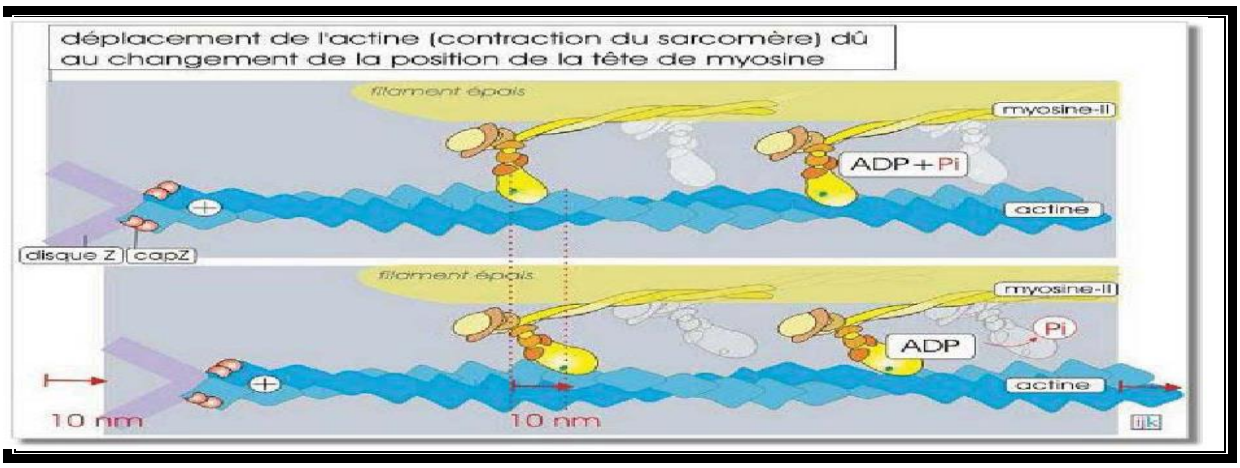


Figure 26 : Déplacement de l'actine (contraction du sarcomère) dû au changement de la position de la tête de myosine

Le relâchement du muscle

La contraction musculaire est provoquée par une augmentation de la concentration en calcium intracellulaire, le relâchement est donc obtenu par un retour à la concentration initiale. L'augmentation de la concentration en calcium intracellulaire ne dure que quelques millisecondes**. Le retour à la situation initiale est rapidement obtenu par l'action convergente de trois phénomènes :**

1. La fermeture rapide des canaux calciques
2. La liaison du calcium sur différentes protéines (dont la troponine)
3. Le pompage actif vers la lumière du reticulum sarcoplasmique par des ATPases calcium-dépendantes.

On estime que le temps nécessaire pour ramener le taux de calcium intracellulaire à sa valeur de repos est de l'ordre de 30 ms. La concentration en calcium diminuant, on a dissociation du calcium lié à la troponine C, ceci entraînant le rétablissement de l'inhibition exercée par la troponine I sur la liaison actine-myosine. En conséquence, le muscle se relâche.

- **Conclusion**

Dans le mécanisme assurant la contraction musculaire, l'élément clef de la régulation **est l'ion calcium**. Mais ce qui est frappant, c'est de voir à quel point l'organisation ultrastructurale est essentielle dans le fonctionnement de cette cellule : triades permettant la libération massive d'ions calcium; organisation des sarcomères permettant le raccourcissement de la cellule; sans même parler de l'organisation ultrastructurale de la jonction neuromusculaire.

On estime que le temps nécessaire pour ramener le taux de calcium intracellulaire à sa valeur de repos est de l'ordre de 30 ms. La concentration en calcium diminuant, on a dissociation du calcium lié à la troponine C, ceci entraînant le rétablissement de l'inhibition exercée par la troponine I sur la liaison actine-myosine. En conséquence, le muscle se relâche.

III.3.Tissu musculaire lisse

Les cellules musculaires lisses possèdent des myofibrilles homogènes, moins organisées que celles des muscles striés. Elles sont groupées en faisceaux pour former les **tuniques** musculaires des **organes creux** (appareil digestif, voies urinaires, appareils génitaux…), les

parois des vaisseaux sanguins. Elles sont soumises à des contractions lentes et soutenues, non contrôlées par la volonté.

On classe habituellement les muscles lisses en deux grandes catégories :

1) Les muscles lisses unitaires. Appelés également muscles viscéraux, ils sont les plus nombreux mais ne sont pas adaptés à la réalisation des mouvements fins. Leurs cellules se contractent généralement en harmonie les unes avec les autres et de façon rythmique. On constate un couplage électrique grâce à la présence des jonctions ouvertes. D'autre part il existe des potentiels d'action spontanés. Cette variété de muscle autorise un déplacement des substances dans les cavités (vessie) dans les tubes (intestin).

2) Les muscles lisses multi unitaires. Ce type de muscles lisses dont la stimulation nerveuse entraîne des contractions graduées se rencontre particulièrement dans:

- Les grosses voies respiratoires
- Les muscles arrecteurs des poils
- Les grandes artères
- Les muscles sphincters de la pupille (permettant de régler le diamètre des pupilles)
- Les muscles ciliaires (permettant d'effectuer la mise au point)

Dans ce cas les jonctions ouvertes sont rares par rapport à celles des muscles lisses unitaires, les dépolarisations sont spontanées et synchrones également. Les fibres musculaires, à l'image de celles des muscles striés squelettiques, sont indépendantes les unes des autres et particulièrement bien munies en terminaisons nerveuses dont chacune est à l'origine d'une unité motrice comportant un certain nombre de fibres musculaires.

III.3.1. Structure générale

Les fibres (cellules) musculaires lisses fonctionnent essentiellement en anaérobie et fournissent des contractions lentes et soutenues, ou rythmiques, permettant les mouvements non volontaires sous contrôle des deux composantes du **système nerveux autonome** (végétatif), avec des effets opposés du système nerveux **sympathique** (contraction) et du système nerveux **parasympathique** (relaxation). Cependant, l'activation des muscles lisses n'est pas toujours causée par des stimuli nerveux mais peuvent répondre à un certain nombre de substances hormonales (ex : la gastrine

entraînant la contraction des muscles lisses de l'estomac) ou changements chimiques locaux (libération d'histamine, excès de CO_2, manque d'O_2, diminution du pH).

La cellule musculaire lisse est **fusiforme** avec un corps cellulaire renflé et deux extrémités effilées. Sa longueur varie de 15 (au niveau des petits vaisseaux sanguins) à 500 µm (au niveau de l'utérus). Chaque cellule est entourée du sarcolemme formé de la membrane sarcoplamique et de la lame basale et contient des **myofilaments** orientés selon le grand axe de la cellule.

La cellule musculaire lisse ne présente pas de myofilaments hautement organisés comme dans la cellule musculaire striée mais elle possède un ensemble de faisceaux irréguliers de **protéines contractiles** (**myofilaments fins et épais)** qui s'entrecroisent dans le sarcoplasme et s'insèrent sur des points d'ancrage (**corps denses**) situés soit au niveau de la membrane plasmique, où ils sont comparables à des systèmes de jonctions adhérentes, soit au sein du sarcoplasme. Les cellules musculaires lisses communiquent entre elles par des **jonctions communicantes** (appelées aussi nexus) qui permettent notamment la diffusion de l'excitation entre les cellules. Le sarcolemme est le siège de nombreuses **invaginations** qui forment des structures semblables aux vésicules d'endocytose qui seraient l'équivalent des triades du système T des cellules musculaires striées.

Les filaments intermédiaires s'insèrent sur les corps denses. **Le réticulum sarcoplasmique** est peu développé. Il intervient dans les mouvements intracellulaires du Ca++. Il n'y a pas de tubules T mais des cavéoles (qui pourraient représenter des ébauches de tubules T mais dont le rôle est mal connu). Le RS est peu développé, mais les filaments étant proches du sarcolemme, la majeure partie du Ca2+ utilisé entre par les canaux membranaires. Néanmoins, la contraction utilise aussi en moindre proportion le Ca2+ du RS.

Les fibres musculaires lisses peuvent être organisées sous différentes formes :

- **Fibres musculaires isolées** dans du tissu conjonctif : dans la capsule ou le stroma de certains organes pleins tels que la prostate, la rate, le corps caverneux, dans le chorion des villosités intestinales, dans le tissu conjonctif sous-cutané tel que le scrotum et le mamelon.
- **Fibres musculaires organisées en couches ou en tuniques** : dans la couche musculaire de la paroi de la plupart des organes creux des voies respiratoires (bronches) et digestives (intestin) et des systèmes urinaire et génital (vessie, utérus), dans la paroi de tous les vaisseaux sanguins (sauf les plus petits, les capillaires), dans la paroi des canaux excréteurs des glandes (glandes sudoripares, glandes mammaires).

- **Fibres musculaires groupées en véritables petits muscles** : dans les yeux, où ils fonctionnent pour régler le diamètre de la pupille (muscle sphincter de la pupille), et pour effectuer la mise au point (muscle ciliaire) ; et dans la peau où ils font dresser les cheveux et poils en réponse au froid ou à la peur (« chair de poule », muscle arrecteur du poil).

Le muscle n'est jamais en contact avec le contenu des organes : il y a l'endothélium vasculaire ou la muqueuse digestive + le tissu conjonctif pour soutenir la tension des organes creux (ex. vessie, rectum...).

Les cellules sont liées à des matrices de tissu conjonctif, ainsi qu'entre elles par des jonctions gap qui servent aussi à la communication électrique et chimique (TD).

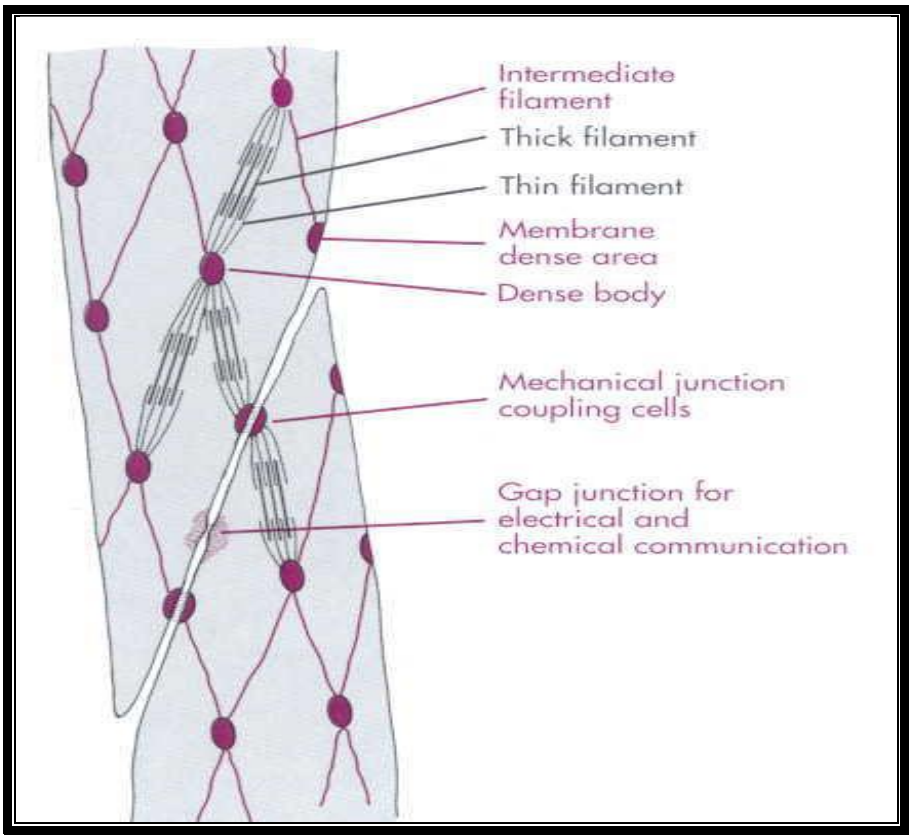


Figure 27 : Structure du muscle lisse

III.3.2. Contraction musculaire

Comme dans les muscles striés, la contraction des cellules musculaires lisses est le résultat du glissement des myofilaments d'actine entre les myofilaments de myosine. Cependant, les myofilaments d'actine et de myosine ne sont pas organisés en sarcomères comme dans les fibres musculaires striées. Les myofilaments fins d'actine sont agencés en réseau dans le sarcoplasme, reliés entre eux et ancrés au sarcolemme au niveau des **corps denses**,

équivalents des stries Z des sarcomères des fibres musculaires striées. Les **corps denses** sont également reliés entre eux par un réseau de filaments intermédiaires constitués de protéines desmine et squelettine dans les muscles lisses viscéraux, et de protéine vimentine dans les muscles lisses vasculaires.

Les myofilaments fins d'actine (isoforme spécifique du muscle lisse) sont liés à des protéines telles que la **tropomyosine**, la **calponine** et la **caldesmone** ; au contraire du muscle strié, **il n'y a pas de troponine**. Les cellules musculaires lisses possèdent moins de myofilaments épais de myosine (de type différent de celui présent dans les fibres musculaires striées) que les fibres musculaires striées.

Dans les cellules musculaires lisses, l'interaction de la myosine avec l'actine ne peut avoir lieu que si **les têtes de myosine sont phosphorylées**. Les ions calcium, une fois libéré dans le sarcoplasme, se fixent à la protéine calmoduline. Les complexes calcium-calmoduline activent des enzymes (kinases des chaînes légères de myosine) qui catalysent la **phosphorylation des chaînes légères des têtes de myosine** qui peuvent alors se fixer à l'actine ; ce processus requiert l'hydrolyse de molécules d'**ATP**. Cette phosphorylation permet de démasquer les sites de liaison de l'actine sur les têtes des chaînes lourdes de myosine, les cycles d'attachement-détachement des ponts d'union actine-myosine sont semblables à ceux se produisant dans les fibres musculaires striées.

L'augmentation des ions Ca^{2+} dans le sarcoplasme est liée à une libération des ions calcium du réticulum sarcoplasmique (par les canaux calciques), et à une entrée des ions calcium extracellulaires au niveau des cavéoles (au niveau du sarcolemme), ce qui est caractéristique de ces cellules musculaires lisses.

Les filaments contractiles étant disposées dans un réseau maillé inséré au niveau du sarcolemme par l'intermédiaire des corps denses, le processus de contraction produit un raccourcissement de la cellule qui prend alors une forme globulaire, contrastant avec sa forme allongée au repos.

La tension produite par la contraction est transmise au réseau environnant de lames basales, permettant ainsi à plusieurs cellules musculaires lisses de se contracter comme une seule unité.

Pour que la contraction cesse, il est nécessaire que la concentration en ions calcium sarcoplasmiques diminue pour réduire les complexes calcium-calmoduline. La relaxation nécessite également la déphosphorylation (enzymes phosphatases) des chaînes légères de myosine afin de rompre les ponts d'union actine-myosine.

Par rapport à la fibre musculaire striée, le raccourcissement peut être beaucoup plus important : dans la fibre striée, le raccourcissement est limité au déplacement possible des myofilaments dans le sarcomère tandis que dans la fibre lisse les filaments de myosine peuvent parcourir une plus grande distance le long des filaments d'actine ancrés aux corps denses.

Les forces produites par la contraction sont moins importantes que celles produites par un muscle strié, en revanche, la contraction peut durer beaucoup plus longtemps. Les contractions des fibres musculaires lisses sont lentes et continues.

Il existe deux sources possibles pouvant déclencher la contraction des muscles lisses :

1. Une activité électrique spontanée de la fibre musculaire en l'absence d'influx nerveux ou hormonal. La membrane plasmique se dépolarise spontanément et progressivement jusqu'à atteindre un potentiel seuil se propageant aux autres cellules. Ce potentiel spontané est appelé potentiel pacemaker.
2. Un influx nerveux apporté par un neurone moteur du système nerveux végétatif

III.4. Le tissu musculaire cardiaque

Les cellules musculaires cardiaques, ou cardiomyocytes, sont des cellules contractiles composant le muscle cardiaque.

Il existe plusieurs types de cardiomyocytes :

- les **cardiomyocytes contractiles**, riches en myofibrilles. Ils représentent la majeure partie des cardiomyocytes et assurent la **contraction** du muscle cardiaque –les **cellules cardionectrices**, pauvres en myofibrilles. Elles permettent **l'initiation et la conduction** de la contraction musculaire à travers le tissu cardiaque ;

-les **cellules myoendocrines**, pauvres en myofibrilles. Elles **sécrètent un peptide**, appelé facteur natriurétique auriculaire, qui provoque l'augmentation de la natriurèse (concentration de sodium dans les urines), qui permet de baisser la pression artérielle.

Comme les cellules musculaires striées, les cellules du muscle cardiaque (ou cellules **myocardiques**) possèdent des stries. Cependant, les myofilaments d'**actine** et de **myosine** diffèrent des précédentes par certains points :

● Les cellules musculaires cardiaques sont **mononuclées ;**

● Elles sont beaucoup **plus courtes avec des systèmes de jonction ;**

●Les cellules satellites n'existent pas et de ce fait, la **régénérescence impossible**

III.4.1. Structure générale

Les cardiomyocytes contractiles sont des cellules mesurant 120 µm de long et 20 à 30 µm de diamètre chez l'adulte. Ces cellules contiennent un noyau central (voire deux au plus), de nombreuses mitochondries (25 à 35% du volume cellulaire), conférant à ces cellules une grande résistance à la fatigue, et surtout des **myofibrilles** agencées de manière linéaire et qui constituent la majeure partie de ces cellules. A l'instar des fibres musculaires striées, leur aspect strié est dû à l'alignement organisé de leurs myofilaments d'actine et de myosine pour former des unités contractiles répétitives sur toute la longueur des myofibrilles : les **sarcomères**.

Les extrémités des cardiomyocytes sont divisées en plusieurs branches anastomosées avec plusieurs autres cellules, ce qui forme un réseau complexe de cardiomyocytes en continuité.

Le sarcolemme des cardiomyocytes se différencie de celui des fibres musculaires striées par l'absence de plaques motrices et par la présence de **contacts intercellulaires** visualisables en microscopie optique sous forme de stries appelées « **stries scalariformes** » (ou disques intercalaires). Ces contacts intercellulaires localisés au niveau des stries scalariformes sont constitués de 3 éléments :

- Des desmosomes reliés aux filaments intermédiaires de desmine ;
- Des jonctions adhérentes reliées aux filaments d'actine ;
- Des jonctions communicantes ou nexus ;

Ces systèmes de jonctions intercellulaires permettent la transmission des forces contractiles et la diffusion de l'excitation musculaire d'une cellule à l'autre.

Les cardiomyocytes sont entourés d'une trame de tissu conjonctif lâche qui renferme de nombreux capillaires, l'**endomysium**, et sont regroupés en travées également entourées de tissu conjonctif, l'**épimysium**.

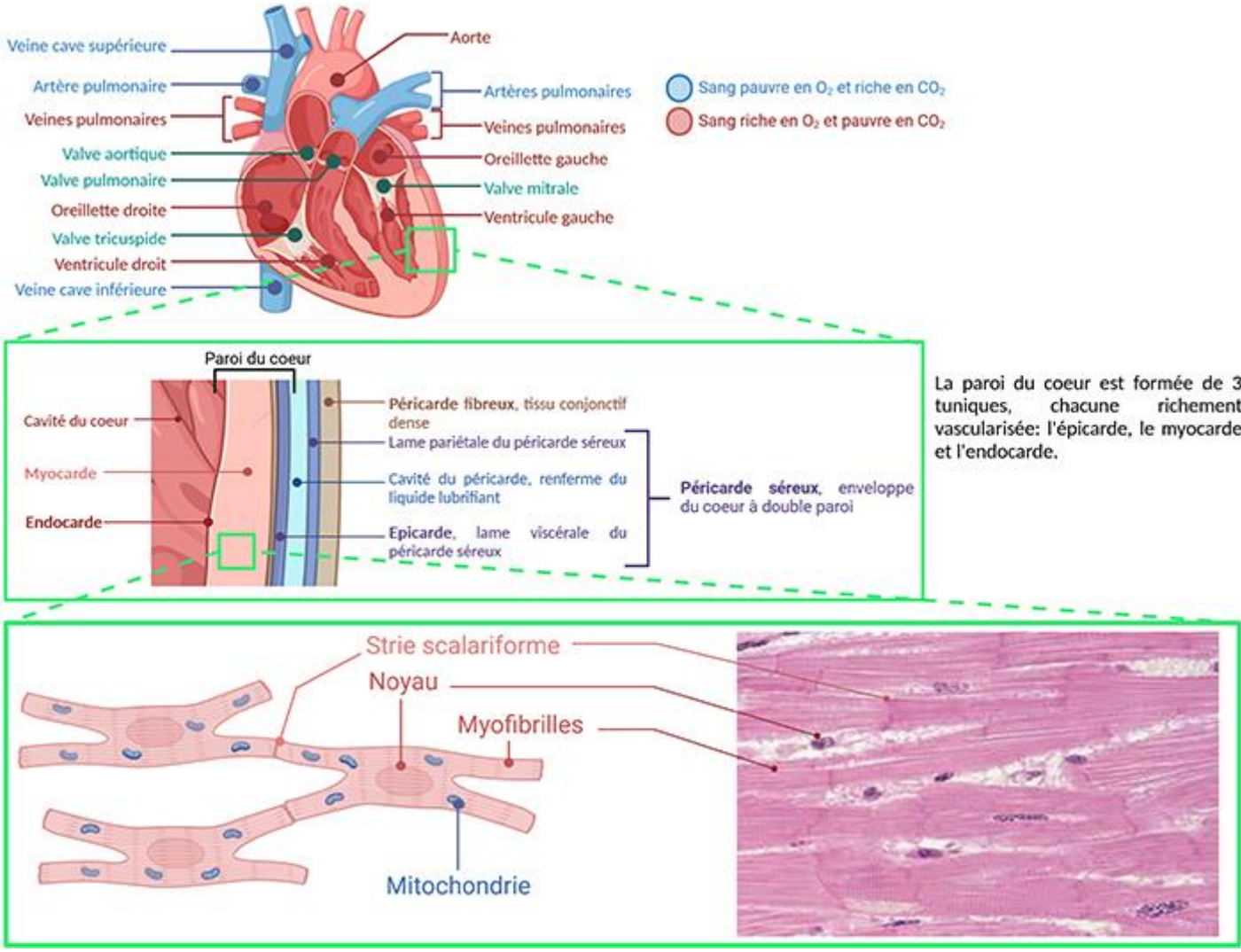


Figure 28 : Les tuniques de la paroi du cœur

III.4.2. Contraction musculaire

Dans le muscle cardiaque, l'organe tout entier se contracte d'un bloc ou ne se contracte pas du tout, alors que dans le muscle squelettique, seules les fibres musculaires individuellement stimulées par des fibres nerveuses se contractent. Cette action coordonnée dans le muscle cardiaque est possible parce que tous les myocytes cardiaques constituent une seule unité contractile grâce aux systèmes de jonctions intercellulaires au niveau des stries scalariformes.

L'enchaînement des phénomènes moléculaires conduisant à la contraction est semblable à celui se déroulant dans les fibres musculaires striées. Cependant, dans les cellules musculaires cardiaques, le système du transport des ions Ca^{2+} est moins complexe : les tubules T (invaginations du sarcolemme) sont plus larges et moins nombreux, le réticulum

sarcoplasmique est moins développé et est dépourvu de citernes terminales ; par conséquent, il n'y a pas de triades dans les cellules musculaires cardiaques.

La production d'ATP nécessaire à la contraction (glissement des myofilaments de myosine sur les myofilaments d'actine) est assurée par les très nombreuses mitochondries et repose presque exclusivement sur la respiration aérobie ; le muscle cardiaque ne peut donc fonctionner efficacement sans oxygène, contrairement aux muscles squelettiques.

Bref, la contraction du muscle cardiaque est contrôlée par la concentration en ions Ca++ d'une façon identique à celle de la cellule musculaire striée mais :

● Le système T est formé d'invaginations plus volumineuses

● Le réticulum sarcoplasmique est moins régulier et moins bien organisé

● Les diades sont en regard des stries Z et non pas en regard de la jonction A-I

● La propagation de l'onde de contraction dans l'ensemble du myocarde est assurée par les jonctions de type nexus des traits scalariformes.

L'activité contractile permanente nécessite un besoin énorme d'énergie et donc une **vascularisation** importante. Celle-ci est apportée par les artères coronaires droite et gauche : A gauche, l'artère coronaire se divise en deux branches principales qui irriguent la face antérieure du cœur. L'artère coronaire droite irrigue la face postérieure.

Sur le plan anatomo-histologique, le cœur comporte **deux types de cellules** :

* Cellules qui produisent spontanément et conduisent l'impulsion (**cellules du tissu nodal).**

* Cellules qui répondent à ces impulsions par un raccourcissement (**cellules du myocarde indifférencié)**

Le cœur présente trois propriétés principales : **Automatisme, excitabilité et conduction.**

Le cœur trouve en lui-même sa propre source d'activité, il ne possède ni innervation sensitive, ni motrice, son activité rythmique est automatique, assurée" par un système électrique particulier : **tissu nodal**.

- Le système nerveux végétatif n'intervient qu'à titre de régulateur surajouté qui fait varier le rythme et adapter à chaque instant le travail cardiaque aux besoins de l'organisme.

- Le tissu nodal est caractérisé par : l'automatisme, l'excitabilité et conduction.

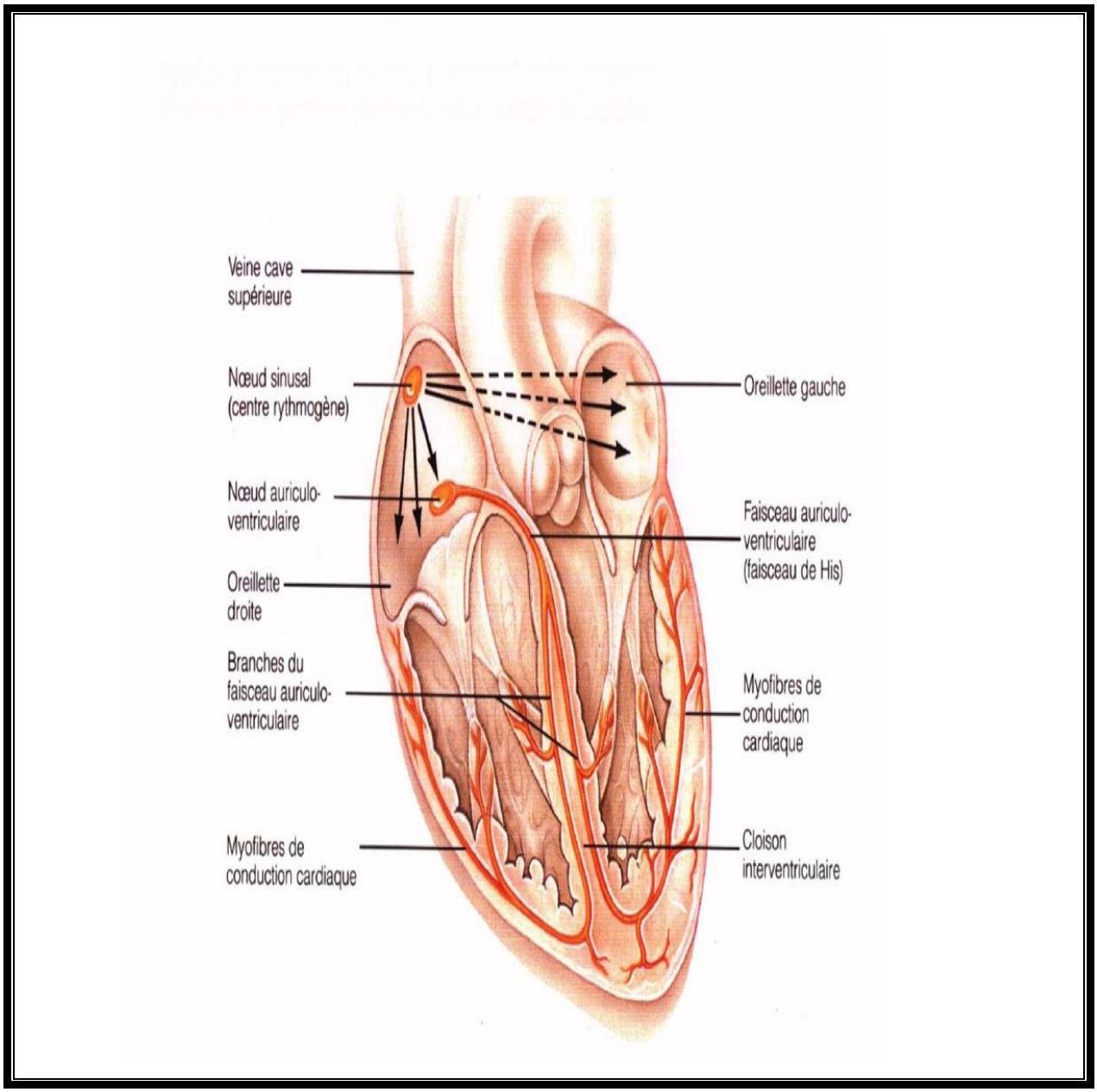


Figure 29 : Système de stimulation cardiaque

- Le tissu nodal est fait de :

* **Le nœud sino-auriculaire (NSA) : ou nœud de Keith et Flack** situé dans la paroi postérieure de l'oreillette droite, à proximité de l'abouchement de la veine cave supérieure.

* **Le nœud auriculo-ventriculaire (NAV) : ou nœud d'Aschoff Tawara** situé dans la région postérieure droite du septum inter auriculaire proche de la valve auriculo- ventriculaire (tricuspide).

* Ce **nœud est prolongé par le faisceau de His** au niveau du septum inter ventriculaire qui se divise après un court trajet de 1cm en **2 branches : droite, grêle, et gauche épaisse** qui se

divise très tôt en **deux sous branches : antéro-supérieure gauche et postéro-inférieure gauche.**

* Enfin les deux branches donnent d'innombrables ramifications sous endocardiques : c'est le **réseau de purkinje** qui s'étend de proche en proche dans le myocarde indifférencié.

- **L'automatisme :**

- Le tissu nodal possède un centre d'automatisme au niveau du nœud SA qui se dépolarise spontanément et envoie des impulsions électriques de façon rythmique (sans stimulation externe), ceci est en raison de l'instabilité du potentiel de repos. Cette instabilité du potentiel de repos est en rapport avec un phénomène de perméabilité membranaire aux ions au cours du temps.

- La vitesse avec laquelle le potentiel membranaire rejoint le seuil de décharge détermine la fréquence à laquelle le tissu nodal se dépolarise, et **la fréquence cardiaque :**

* Si la pente de dépolarisation spontanée est forte → la dépolarisation est plus rapide.

* Si la pente de dépolarisation spontanée est lente → la dépolarisation est moins rapide.

NB : cette pente de dépolarisation peut être modifiée sous l'influence de certaines conditions (effort, stress, médicament) :

- Elle est abaissée par l'acétylcholine du système parasympathique → bradycardie.
- Elle est accélérée par les catécholamines du système sympathique → tachycardie.

- Il faut noter que le **nœud sinusal** est le Pacemaker, il impose son rythme à tout le cœur (rythme sinusal : 70 à 80 bpm) car sa fréquence de décharge est la plus élevée par rapport à celle du nœud AV :

40 à 60 /min, ou le faisceau de His : 20 à 40/min. En cas de défaillance du nœud SA, c'est le tissu sous jacent qui prend la commande.

- **Excitabilité cardiaque :**

- Correspond à la propriété de répondre à un stimulus physiologiquement électrique par un potentiel d'action dont la morphologie dépend du type de cellule cardiaque.

- D'ailleurs dès que la potentiel diastolique maximal atteint le seuil critique, il se produit une dépolarisation brutale due à l'entrée massive de **Na+** (c'est un mouvement passif car se fait dans sens du gradient du Na+), la membrane devient hyper polarisée : + 20mV, puis survient une hyperpolarisation brève et rapide due à un courant potassique transitoire sortant, ensuite il

y a un plateau très particulier au myocarde maintenu par un courant de Ca^{++} entrant et qui joue un rôle majeur dans le couplage « excitation-contraction », enfin survient la repolarisation terminale en rapport avec la sortie potassique retardée (tous ces mouvements sont passifs). Après tout ça l'équilibre ionique est rétabli (pompe Na+/ K+ ATPase).

- Il faut noter qu'après chaque activation, les cellules cardiaques demandent un temps avant de pouvoir être stimulées à nouveau : c'est la période réfractaire.

- Modification de l'excitabilité cardiaque :

* Le cœur est autonome mais l'innervation sympathique et parasympathique est nécessaire à l'adaptation de la fonction cardiaque

*** Les caractéristiques suivantes peuvent être modifiées :**

- **Fréquence de la formation des impulsions,** le pacemaker : **effet chronotrope** :
  - Effet chronotrope –, par le système parasympathique.
  - Effet chronotrope +, par le système sympathique.
  - **La vitesse de conduction de l'excitation** : spécialement dans nœud AV : **effet dromotrope** :
  - Effet dromotrope –, par le parasympathique.
  - Effet dromotrope +, par le sympathique.
  - **La force de contractilité du cœur** : **effet inotrope** :
  - Effet inotrope +, par le sympathique.
  - Effet inotrope –, par le parasympathique.
  - La modification du **niveau d'excitation ou de stimulation : effet bathmotrope.**

➢ **Conduction cardiaque :**

Du point de vue fonctionnel, le myocarde ventriculaire est un **syncytium,** c'est-à-dire que les cellules ne sont pas isolées les unes des autres : une excitation qui soit quelque part dans le ventricule conduit, quelle que soit sa localisation, à une contraction complète dans les deux ventricules : « **loi du tout ou rien** », il en est **de même pour les oreillettes.**

L'excitation du cœur **naît normalement au niveau du nœud SA,** de là l'excitation se **propage** de proche en proche par l'intermédiaire de **trois faisceaux intra-auriculaires,** pour dépolariser toute la masse des oreillettes, celles-ci se contractent en bloc, puis **l'impulsion converge vers le nœud AV**. La dépolarisation des oreillettes est complète en 0,1s, ceci est dû à un ralentissement du flux au niveau du nœud AV.

NB : ce délai 0,1s peut être raccourci par la stimulation du système nerveux sympathique, comme il peut être allongé par stimulation du système nerveux parasympathique. L'impulsion ensuite **empreinte le faisceau de His, ses deux branches** droite et gauche, et enfin l'onde de **dépolarisation se propage dans le réseau de Purkinje** à conduction rapide à toutes les parties des ventricules en 0,08 à 0,1s.

Le trajet de la **dépolarisation** au sein **des ventricules se fait du côté gauche du septum inter ventriculaire vers le côté droit,** L'onde de **dépolarisation s'étend ensuite sur la partie inférieure du septum vers la pointe du cœur**, elle **remonte** le long des parois ventriculaires **vers le plancher auriculo-ventriculaire.**

Progressivement, l'impulsion diffuse de la face endocardique vers l'épicarde. Les dernières régions à être dépolarisées sont : la partie postéro-basale du ventricule gauche et le cône pulmonaire. Donc l'excitation parcourt le cœur de l'intérieur vers l'extérieur et de la pointe vers la base.

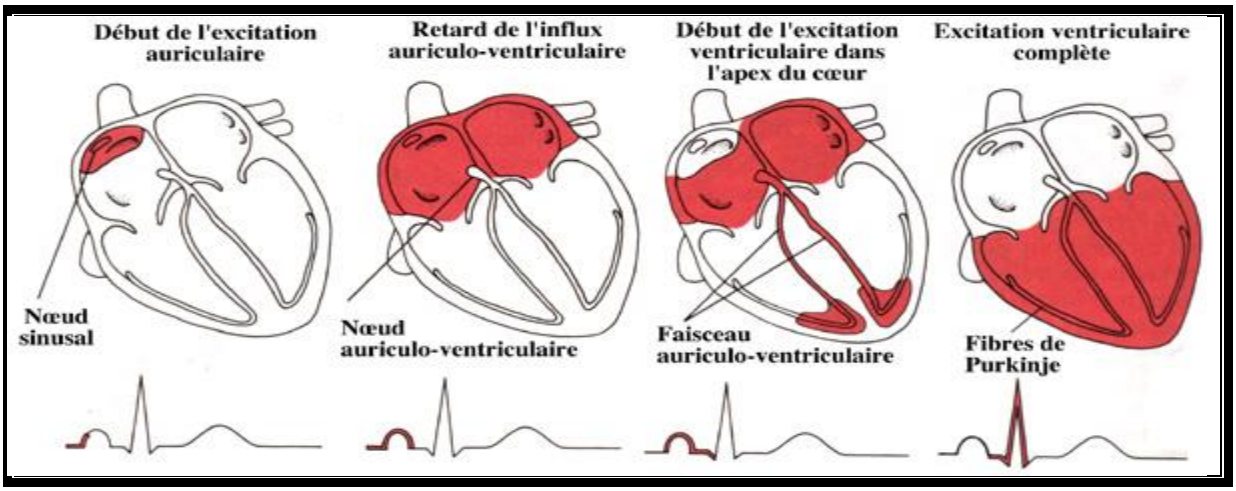


Figure 30 : Conduction des impulsions dans le tissu cardiaque

NB : cette activité électrique du cœur peut être enregistrée sous forme de tracé électrocardiographique (ECG).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **Kherouf M.** La communication intercellulaire. *Service de Physiologie clinique et des exploitations fonctionnelles,* CHU Benhabis, Constantine, 68p
2. **Belmas V.** La cellule. Cours IFSI. 107p
3. **Doudi H.** Physiologie membranaire. *Support cours de Physiologie cellulaire et moléculaire* –L3 BMC, UFM Constantine 1, 24p
4. **Rachid W.** Les membranes biologiques : structures et fonctions. *UE2-Biologie cellulaire,* Université Joseph Fourier de Grenoble, 75p.
5. **Cailloce D.** Anatomie physiologie du système nerveux. CHU Limoges. 62P
6. **Martani M.** Physiologie du muscle. *Service de Physiologie clinique et des exploitations fonctionnelles,* CHU Constantine 3, 15p