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

Syllabus du cours de Physiologie Générale. Première partie, BAC I

Katuragi, Charles

2026
UB,IEPS
https://repository.ub.edu.bi/handle/123456789/2358

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

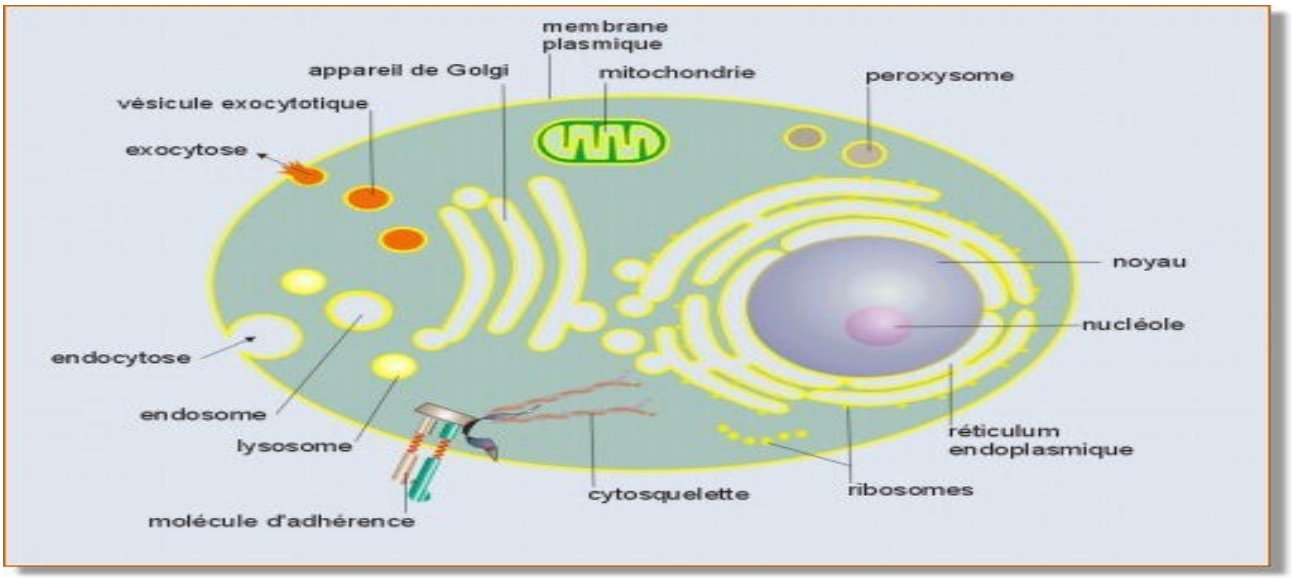
REPUBLIQUE DU BURUNDI

Ministère de l'Education Nationale et de la Recherche Scientifique

Université du Burundi

Institut d'Education Physique et des Sports

Syllabus du cours de Physiologie Générale. Première partie, BAC I



Volume horaire : 45 heures

Cours magistral : 30 heures

Travaux Pratiques : 15 heures

Enseignant : Prof Associé GATURAGI Charles, PhD

Année académique : 2025-2026

TABLE DES MATIERES

TABLE DES MATIERES i
PHYSIOLOGIE GENERALE iii
0. Introduction générale iii
1ère PARTIE 1
CHAPITRE I. PHYSIOLOGIE GENERALES : MILIEU INTRA ET EXTRA CELLULAIRE ET HOMEOSTASIE CELLULAIRE 1
Introduction : Le concept cellule 1
A. CONSTITUANTS DE LA MEMBRANE 3
B. STRUCTURE DE LA MEMBRANE PLASMIQUE 3
C. PERMEABILITE MEMBRANAIRE 4
CHAPITRE 1. PHYSIOLOGIE DES GRANDS SYSTEMES 10
Généralités 10
0. Le Système Digestif 10
1. Système Squelettique 10
2.1. Système Musculaire 11
1.2. Le système respiratoire 11
2.3 Système cardiovasculaire 12
1.3. Le système nerveux 12
1.5. Le Système Endocrinien 13
2. Système tégumentaire 14
CHAPITRE I : SYSTEME TEGUMENTAIRE 16
0. Généralités 16
1. Le système tégumentaire : des chiffres 16
2. Le système tégumentaire : une structure complexe 17
3. Le système tégumentaire : un système aux fonctions multiples 18
CHAPITRE II : SYSTEME OSSEUX 22
0. GENERALITES 22
A. ELEMENTS CONSTITUTIFS 24
A.1. Le tissu osseux contient 4 types de cellules, à savoir : 24
B. CLASSIFICATION 26
0. Le tissu osseux compact 26

1. Le tissu osseux spongieux 26
OSTEOGENESE 29
FONCTIONS PHYSIOLOGIQUES DE L'OS : 29
LE REMODELAGE OSSEUX 30
CHAPITRE III : SYSTEME MUSCULAIRE 33
0. INTRODUCTION 33
1. LE TISSU MUSCULAIRE STRIÉ 33
2. STRUCTURE GÉNÉRALE 33
3. CONTRACTION MUSCULAIRE 37
TISSU MUSCULAIRE LISSE 40
STRUCTURE GÉNÉRALE 40
CONTRACTION MUSCULAIRE 42
LE TISSU MUSCULAIRE CARDIAQUE 42
STRUCTURE GÉNÉRALE 42
CHAPITRE IV : SYSTEME NERVEUX 47
0. INTRODUCTION 47
LES STRUCTURES DU SYSTÈME NERVEUX 49
LES FONCTIONS DU SYSTÈME NERVEUX 58
L'ORGANISATION DU SYSTÈME NERVEUX 59
CHAPITRE V : LES ORGANES DE SENS 63
5.1. GENERALITES 63
TYPE DE SENS 64
Vision 64
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 71

PHYSIOLOGIE GENERALE

0. Introduction générale

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).

Dans le domaine du vivant, ce dont on ne se sert pas s'atrophie, et ce dont on se sert se développe, s'organise mieux,...

L'unité fonctionnelle, dans ce mécanisme physiologique est **la cellule.**

Les cellules évoluent dans un environnement fluctuant. Il s'opère des échanges entre cellules (milieu intérieur) et milieu extracellulaire (= liquide interstitiel)

Cette fluctuation du MEC et MIC est régulée pour ne pas sortir des limites étroites de fluctuation et par conséquent pour ne pas sombrer dans le déséquilibre. La cellule fait des échanges avec le liquide interstitiel qui lui-même fait des échanges avec le sang (les vaisseaux sanguins,...)

Ces échanges entre le MIC et le MEC (liquide interstitiel) se font à travers la **MEMBRANE PLASMIQUE.**

1ère PARTIE

CHAPITRE I. PHYSIOLOGIE GENERALES : MILIEU INTRA ET EXTRA CELLULAIRE ET HOMEOSTASIE CELLULAIRE

Introduction : Le concept cellule

Un organisme complexe est constitué de tissus possédant différentes fonctions, eux-mêmes formant des organes spécialisés (voir *figure 1*). La formation d'un tissu implique à la fois un processus de prolifération (augmentation de masse) et un processus de différenciation (spécialisation).

La cellule est une unité vivante qui a sa vie propre, c'est-à-dire qui a sa propre **homéostasie** (L'homéostasie vient du grec *homéos*: **semblable**, et *stasis*: **rester**, d'où: rester sans grandes variations), mais en même temps doit répondre aux besoins de l'organisme, c'est-à-dire doit être **réceptive.**

Les niveaux d'organisation

Pour mieux comprendre le corps humain, on a créé des niveaux d'organisation en allant des parties les plus grandes aux plus petites. Ainsi nous trouvons, dans l'ordre : **systèmes, les appareils**, **les organes**, **les tissus** et **les cellules.**

Les appareils

Un appareil est constitué par un assemblage d'organes. Par exemple, l'appareil respiratoire regroupe la trachée, les bronches et les poumons.

Les organes

Les appareils sont constitués par des organes et sont destinés à remplir une fonction spécifique. Par exemple, les os et les muscles participent à la locomotion. Les organes sont constitués par un assemblage de tissus.

Les tissus

Les tissus sont constitués par un assemblage de cellules adaptées à une fonction particulière. Il existe plusieurs types de tissus : osseux, musculaire, nerveux, etc.

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).

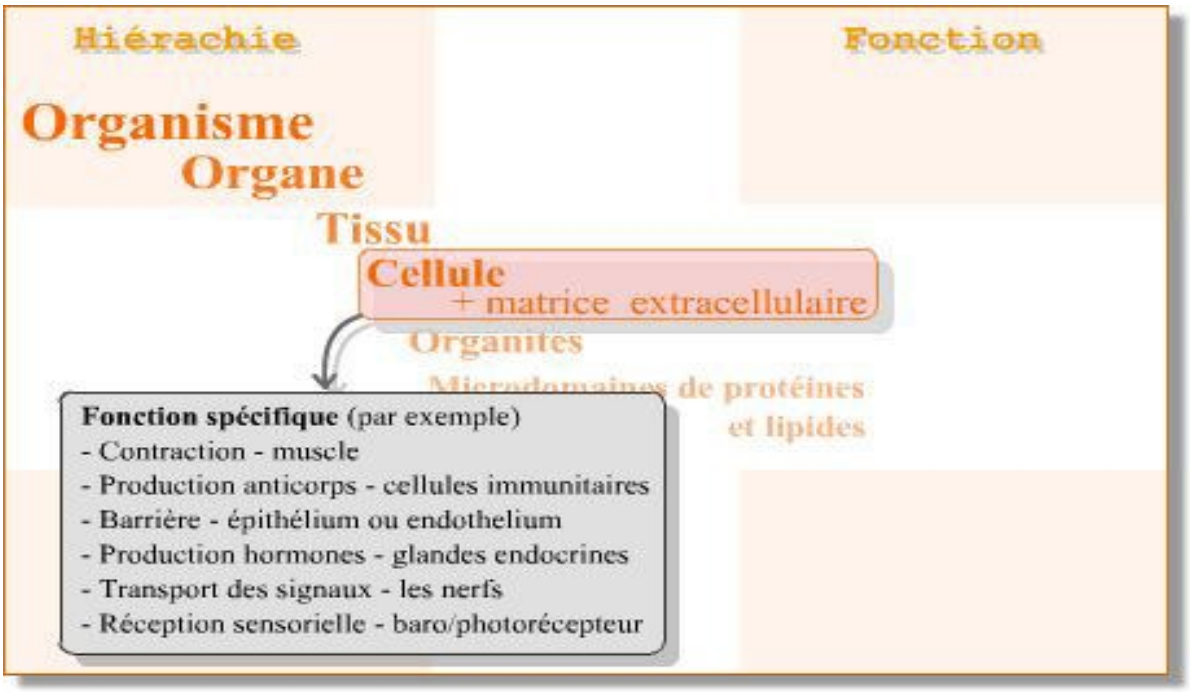


Figure 1. La hiérarchie du vivant

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.

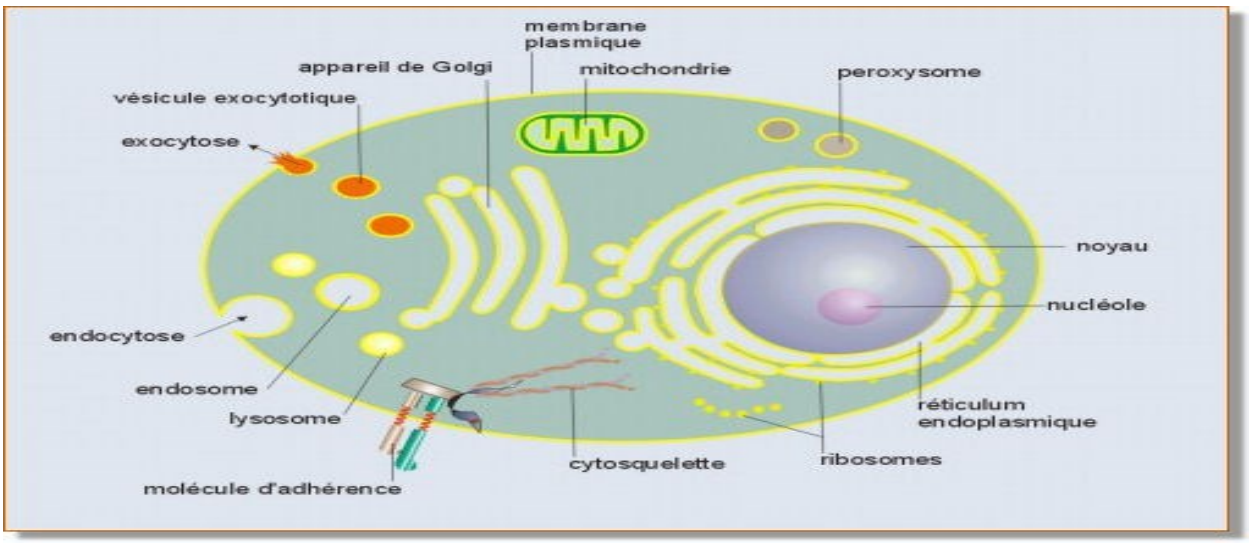


Figure 2. Les organites dans le cytoplasme

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.

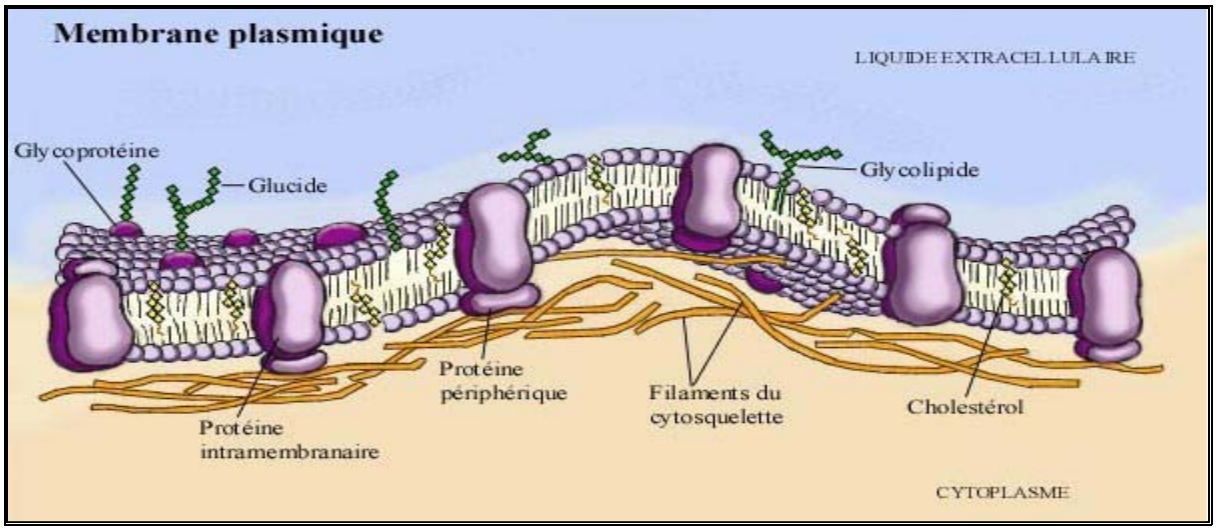


Figure 3 : Structure de la membrane cellulaire

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.

a-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 la 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.

b- 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.

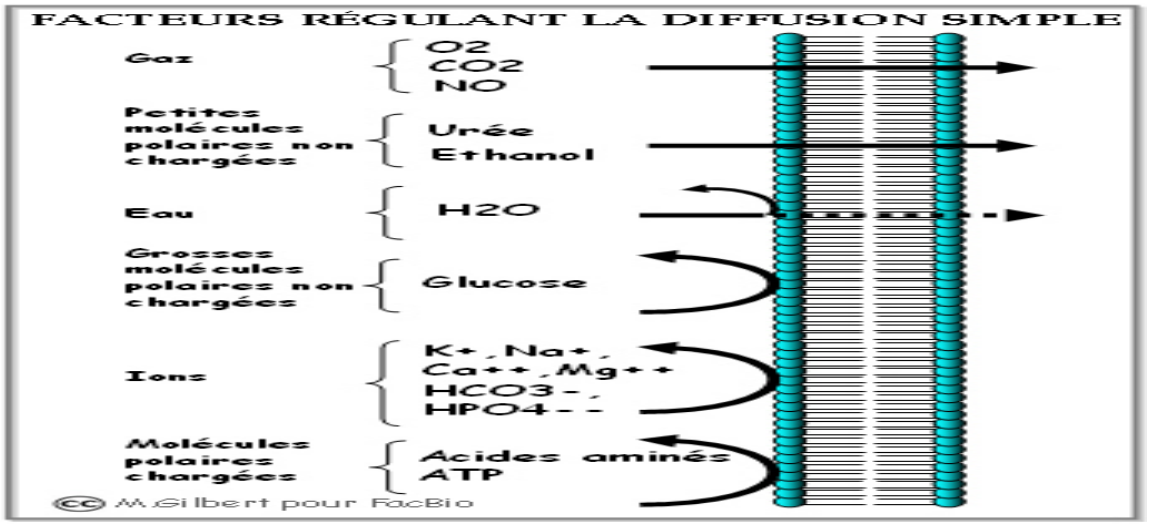


Figure 4 : Le phénomène de la diffusion

- **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.

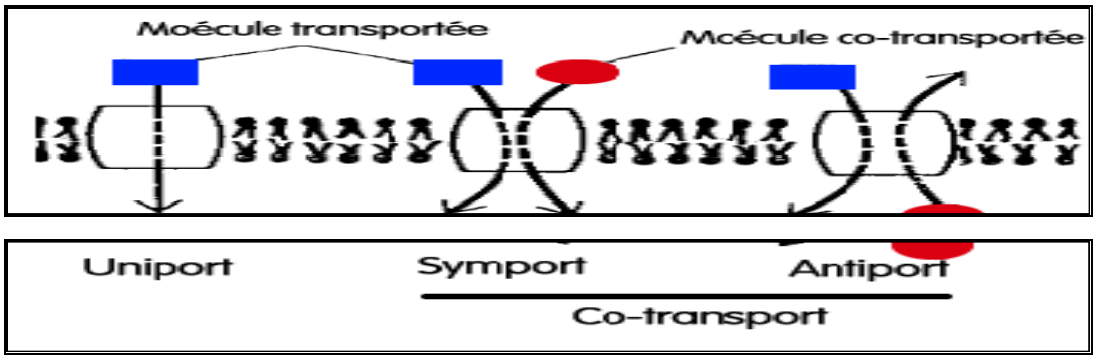


Figure 5 : Les modes de fonctionnement de la perméase

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.

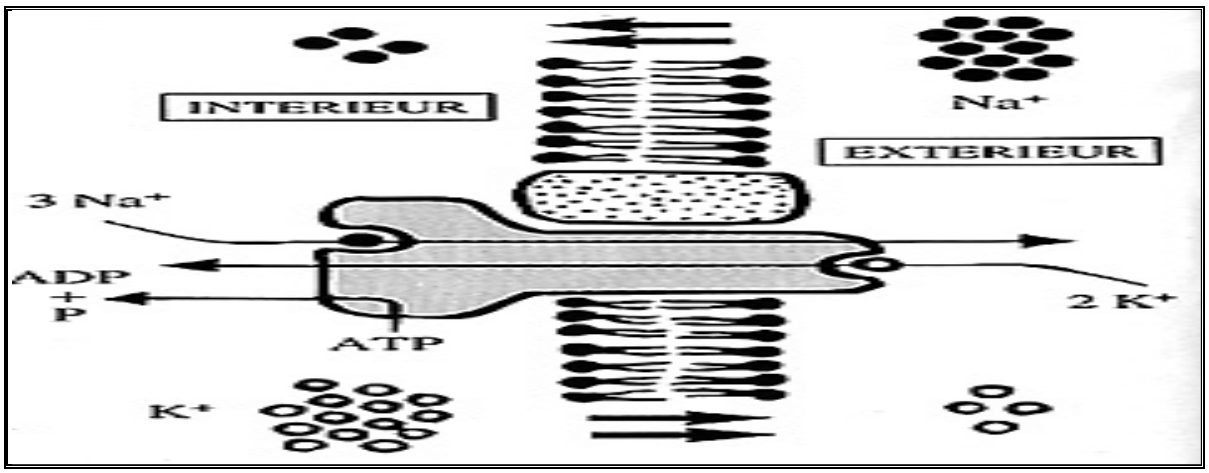


Figure 6 : la pompe Na+/K+ ATPase

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

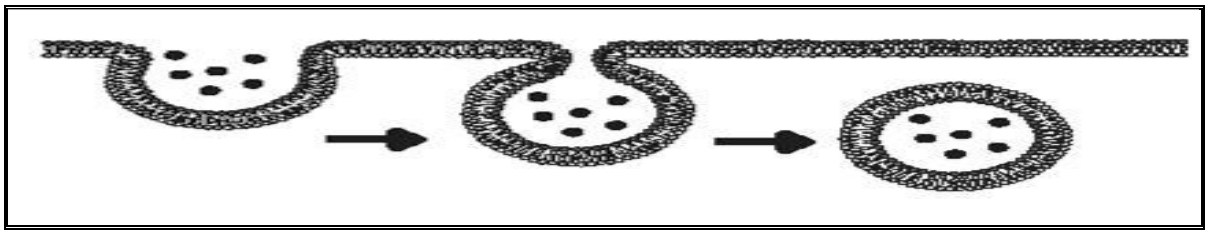
fournie par un ion ou une autre molécule qui suit son gradient électrochimique. Ce phénomène s'appelle transport couplé ou co-transport, car il couple un canal ionique à une pompe membranaire et utilise l'énergie de l'un pour activer l'autre. Selon le sens de déplacement respectif des deux molécules 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 7 : 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.

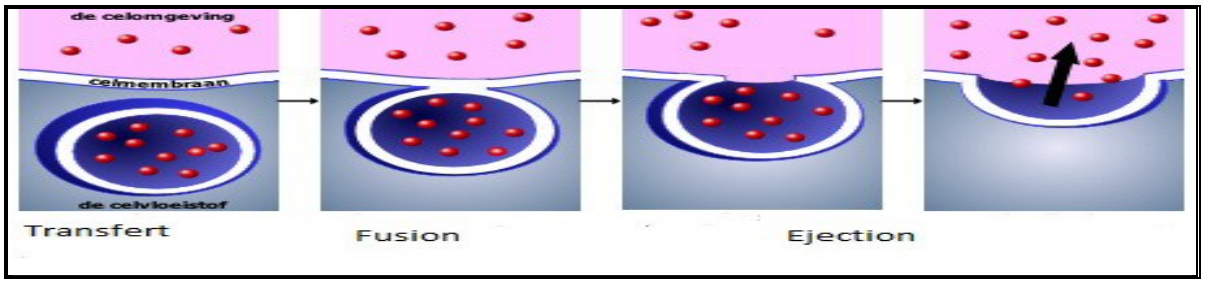


Figure 8 : Phénomène de l'exocytose

2ème PARTIE

CHAPITRE 1. PHYSIOLOGIE DES GRANDS SYSTEMES

Généralités

Le corps humain est constitué de 11 systèmes, à savoir :

0. Le Système Digestif

Ce processus est commencé par les dentes qui mastiquent les aliments. Les glandes salivaires et les substances sécrétées par l'estomac et le foie continuent les transformations chimiques. L'intestin en absorbe la partie utile et le reste est éliminé sous forme d'excréments.

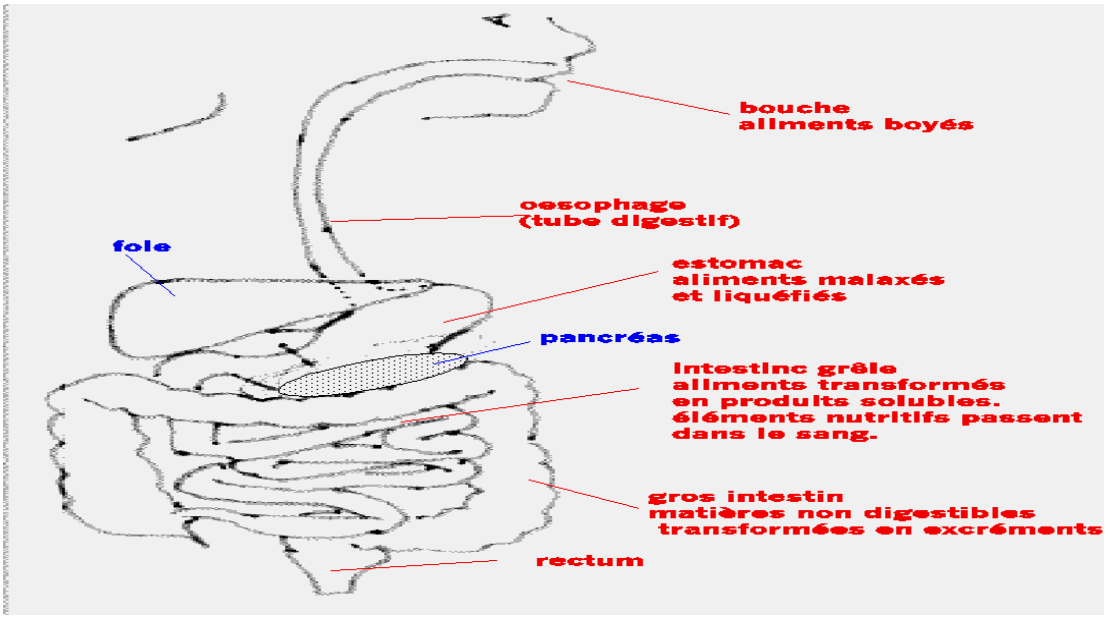


Figure 9 : Tube digestif

1. Système Squelettique

Les os protègent les parties plus fragiles du corps humain comme le cerveau et les poumons. Le squelette supporte notre corps et nous permet de nous bouger. Les os sont durs et solides mais ils ne sont pas creux. Ils ont au centre une substance molle (La **moelle)** qui fabrique de nouvelles cellules pour le sang. Les os contiennent également des vaisseaux sanguins et des nerfs.

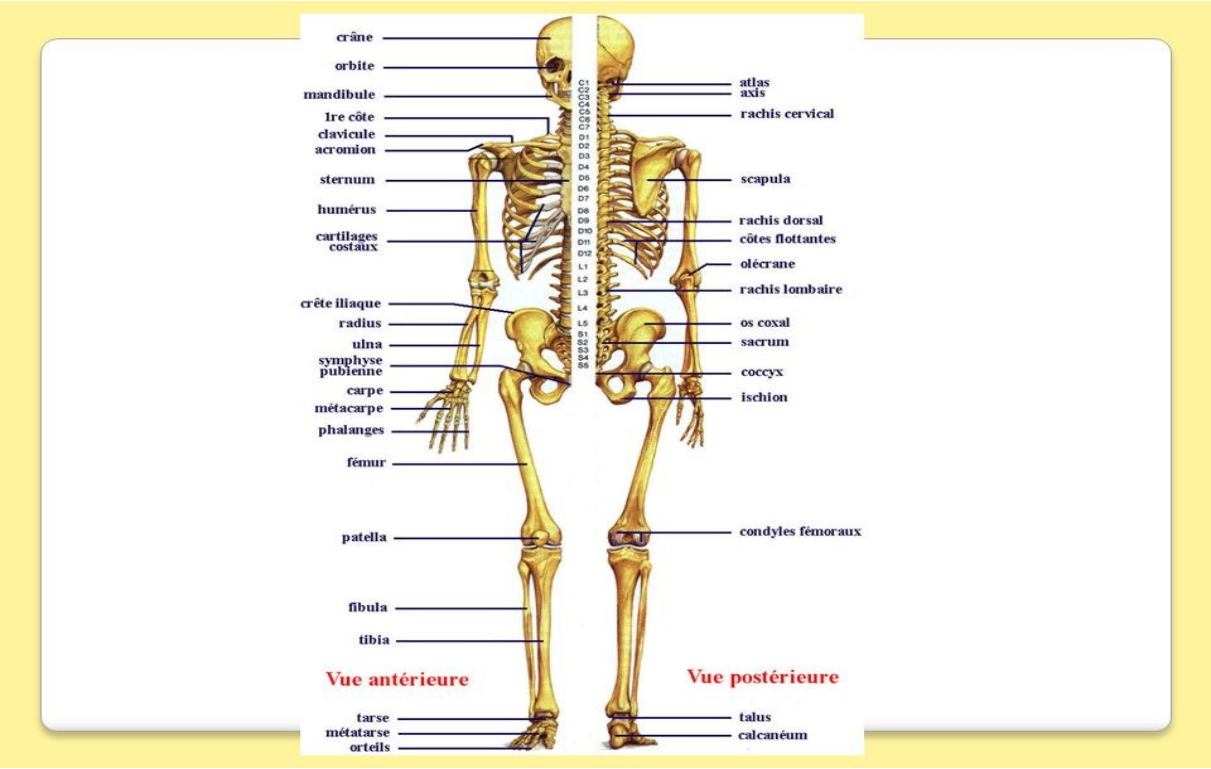


Figure 10 : Squelette humain

2.1. Système Musculaire

En se contractent, les muscles se durcissent, tirent sur les os du squelette et les font bouger. Les muscles sont fixés aux os par des tendons. Les contractions musculaires sont contrôlées par des signaux nerveux envoyés par le cerveau.



Figure 11 : Musculature

*1.2.*Le système respiratoire

De l'air pénètre par le nez, suit la trachée, pénètre dans les bronches. Les poumons se gonflent. Quand l'air est rejeté à l'extérieur, les poumons diminuent de volume. Quand l'on

respire on met en mouvement un grand muscle juste sous les poumons: le diaphragme. Il s'abaisse quand on inspire et remonte quand on expire.

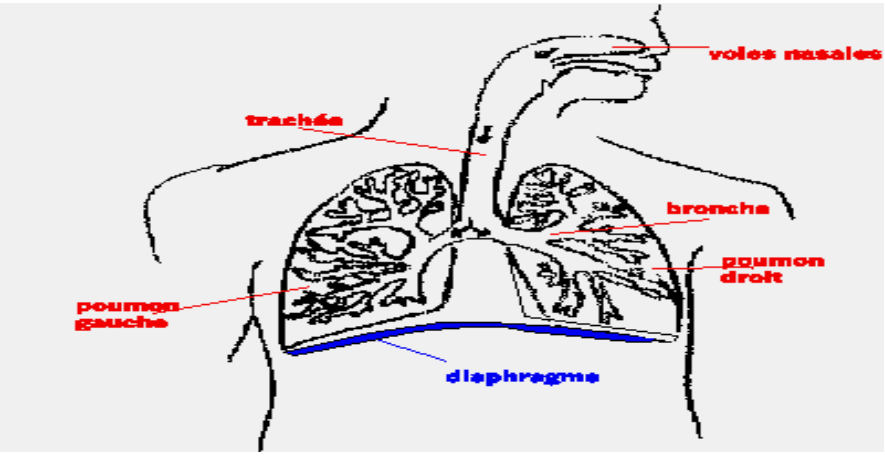


Figure 12 : Voies respiratoires

2.3 Système cardiovasculaire

Le cœur gauche propulse le sang oxygéné (rouge) dans tout notre corps pour fournir de l'oxygène aux cellules. Les cellules consomment l'oxygène et produisent du dioxyde de carbone. Le sang (bleu) revient au cœur droit chargé de dioxyde de carbone.

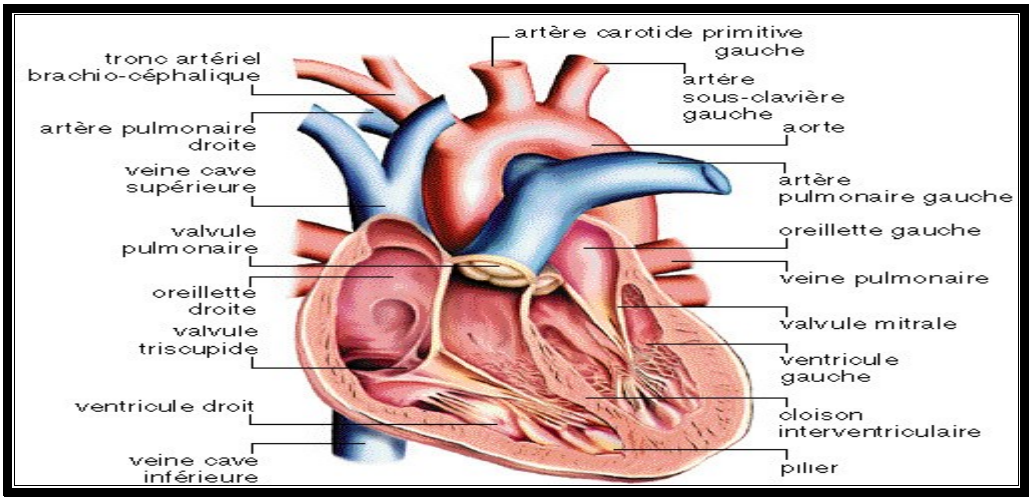


Figure 13 : Coupe frontale du cœur

1.3.Le système nerveux

Le cerveau est le centre de contrôle de ton corps il reçoit des signaux de tes sens (toucher, vue, goût, odorat, ouïe) qui le renseignent sur ton environnement puis il envoie des messages au corps pour lui indiquer ce qu'il doit faire. Les informations sont acheminées de la périphérie au cerveau et du cerveau à la périphérie grâce aux nerfs qui composent le système nerveux.

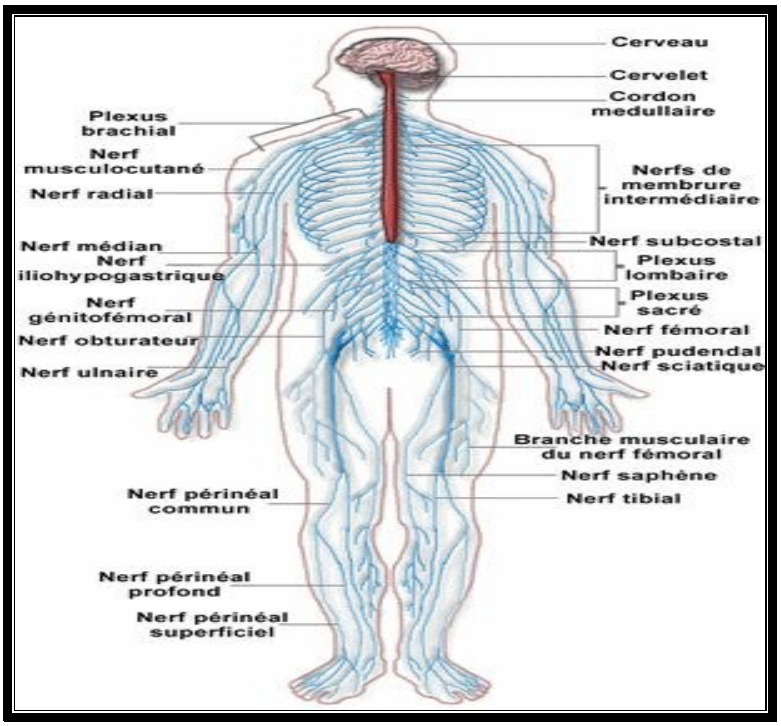


Figure 14 : Voies nerveuses

1.4. Le système urinaire

On se doit éliminer l'urée car c'est une substance toxique pour le corps si elle est très concentrée. L'urée voyage dans le système circulatoire jusqu'au rein, où le sang est filtré. L'urée ainsi qu'un peu d'eau se retrouve dans le rein lui-même, puis descend l'uretère jusqu'à la vessie, où l'urine est stockée. Lorsqu'accumulée en grande quantité, l'urine descend l'urètre vers l'extérieur du corps.

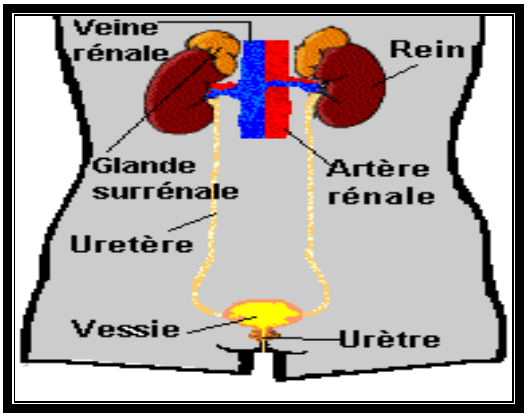


Figure 15 : Voies urinaires

1.5.Le Système Endocrinien

Les glandes endocrines contrôlent les fonctions de l'organisme par l'intermédiaire d'hormones qui sont libérées dans la circulation générale. Les hormones qu'elles libèrent régulent notamment la violence, la colère, la peur, la joie, le chagrin les pulsions sexuelles, stimulent

également la croissance et l'identité sexuelle, contrôlent la température corporelle, contribuent à la réparation des tissus lésés et aident à générer de l'énergie.

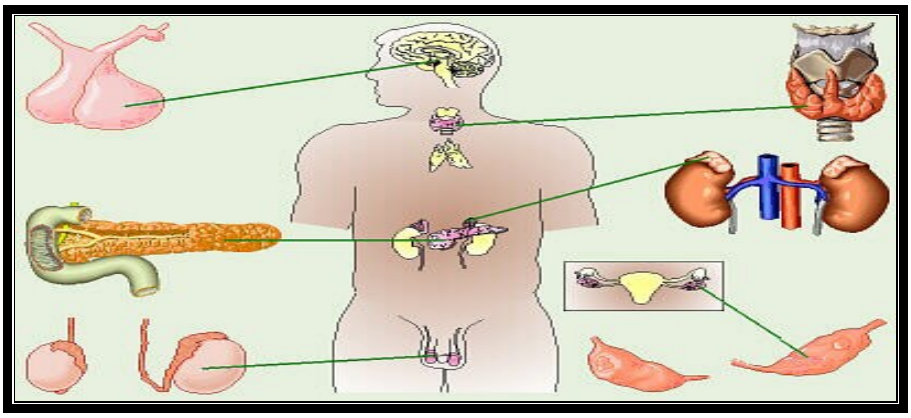


Figure 16 : Les glandes

2. Système tégumentaire

La peau contient différents types de cellules réceptrices ou sensorielles qui réagissent aux vibrations, à l'étirement, au chaud et au froid, à la douleur et à la pression. Ces cellules sont chargées d'envoyer les informations concernant la variation des sensations (différence de température, de pression..) via le système nerveux jusqu'au cerveau.

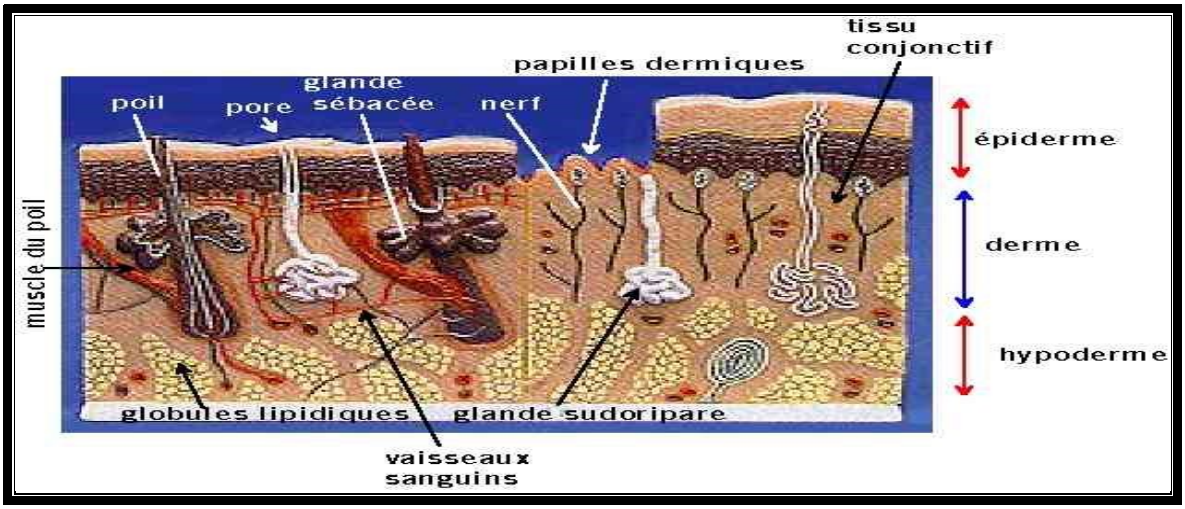


Figure 17 : Eléments constitutifs de la peau

3. Le système immunitaire

La stimulation du système immunitaire active des cellules appelées leucocytes et macrophages, ainsi que d'autres protéines de phase aiguë qui voyagent vers le site attaqué, pour identifier, détruire et enlever les pathogènes envahisseurs.

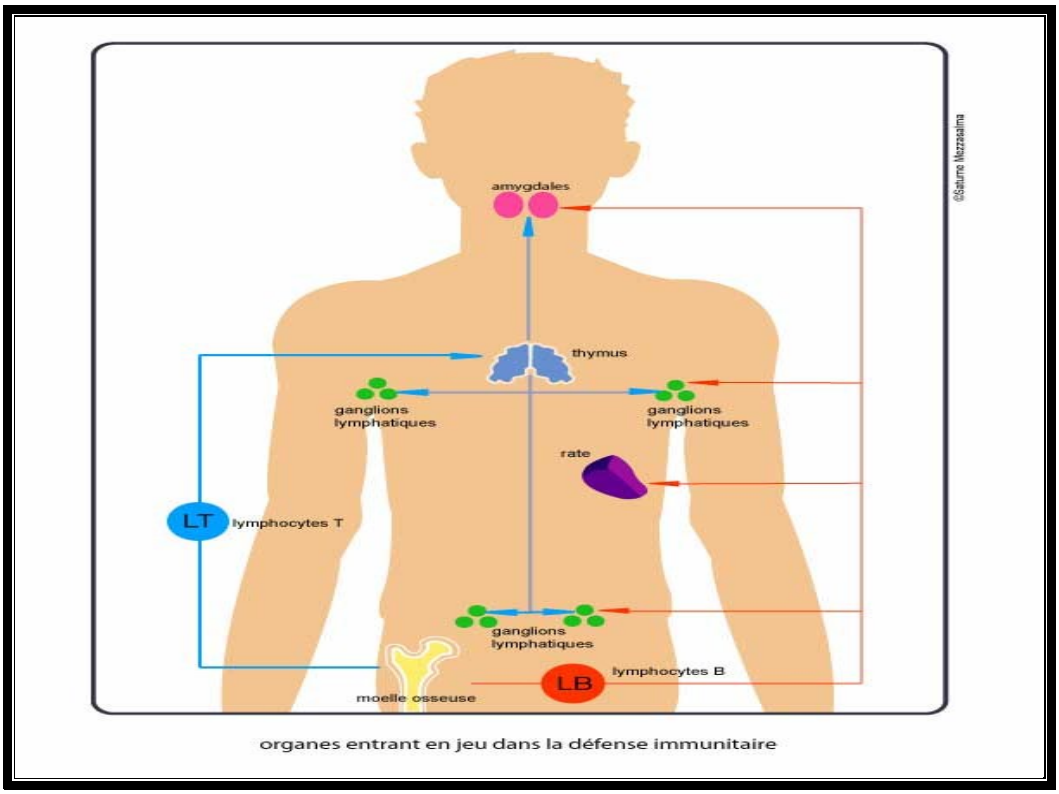


Figure 18 : Les organes entrant dans la défense immunitaire

4. Le système reproducteur

Les femmes produisent les œufs (ovules) dans les ovaires qui passent par la trompe de Fallope en direction de l'utérus.

Les hommes produisent le sperme dans les testicules et il est transporté à l'extérieur du corps par le canal éjaculatoire et le pénis. Le sperme entre dans l'utérus par le vagin et le col de l'utérus pour essayer de fertiliser l'œuf.

CHAPITRE I : SYSTEME TEGUMENTAIRE

0. Généralités

Le **système tégumentaire** (du latin *tegere*, couvrir) désigne en zoologie et en anatomie, un tissu biologique situé à l'interface du milieu intérieur et du milieu extérieur d'un organisme, au niveau du revêtement externe du corps (peau, poils, cheveux, ongles, etc.). Le système tégumentaire forme la couche externe de l'organisme.

Chez les mammifères, le **système tégumentaire** comprend la peau et les phanères (poils, ongles,). La peau contient des récepteurs sensoriels (à la pression, à la température, de la douleur), et des glandes sudoripares et sébacées.

Le **système tégumentaire** est une interface entre le corps et l'environnement. À ce titre, il a trois rôles principaux :

- **communication** : par le biais des récepteurs sensoriels, l'organisme est informé de la nature de son environnement direct ; en outre, l'apparence générale du tégument communique de manière indirecte aux autres individus des informations permettant d'estimer l'état de santé ou le vieillissement de l'organisme ;
- **protection** : d'une part, il agit comme une protection physique et chimique relative vis-à-vis des traumatismes (chocs), et peut aussi fournir une aide à l'action sur l'environnement (par exemple la griffe pour couper) ; d'autre part, il permet une protection immunitaire contre les organismes étrangers ;
- **échange** : différents mécanismes permettent de réguler l'échange de chaleur entre l'organisme et son environnement, c'est la thermorégulation.

Une dernière fonction, que l'on peut apparenter à une fonction hormonale, est la synthèse de vitamine D.

1. Le système tégumentaire : des chiffres

Le système tégumentaire est le système le plus étendu et le plus lourd du corps humain et présente des aspects divers.

- *Surface : de 1,5 m à 2 m chez un adulte de taille moyenne.*
- *Poids (sans le tissu adipeux sous- cutané) : entre 3 kg et 3,5 kg, c'est- à- dire deux fois le poids du cerveau.*
- *Épaisseur : chez un adulte jeune : 1,2 mm (< 1 mm aux paupières ; 2,6 mm au niveau du dos).*
- La couleur de la peau est un élément de différenciation des multiples ethnies qui peuplent la terre. Un certain nombre de caractéristiques différencient les peaux blanches (parfois nommées « caucasiennes ») et les peaux sombres (asiatiques et « négroïdes »).

- La pilosité permet de distinguer : la peau pileuse qui recouvre pratiquement toute la surface corporelle à l'exception de la peau glabre limitée aux paumes et aux plantes.

- Des estimations dans un centimètre carré de peau : 70 centimètres de vaisseaux sanguins, 55 cm de fibres nerveuses, 230 récepteurs sensoriels, 15 glandes sébacées, 100 à 700 glandes sudoripares eccrines selon les régions.

2. Le système tégumentaire : une structure complexe

Le système tégumentaire est formé de la peau elle- même et de diverses formations regroupées sous le nom d'annexes cutanées.

La peau est une architecture sur deux niveaux, l'épiderme en surface et le derme sous- jacent. Par convention, une peau est dite fine ou épaisse en fonction de l'épaisseur de son épiderme, mais il existe aussi des variations dans l'épaisseur de l'épiderme, du derme et de l'hypoderme suivant les régions examinées et l'âge du sujet.

• L'épiderme est la principale structure protectrice du corps, grâce à sa région la plus superficielle, la couche cornée, faite de cellules mortes sans cesse renouvelées.

• Le derme est le tissu de soutien, compressible et élastique, de l'épiderme. C'est aussi son tissu de nutrition grâce à sa très riche vascularisation alors que l'épiderme ne contient aucun vaisseau (on dit qu'il n'est pas vascularisé). Le derme renferme également les récepteurs du sens du toucher et les annexes cutanées.

Les annexes cutanées sont trois « appareils » logés dans le derme. Elles sont représentées par les appareils pilo- sébacés, les appareils sudoripares et les appareils unguéaux, dont le sol d'implantation est le derme.

L'appareil pilo- sébacé est une entité anatomique qui comprend :

• le follicule pileux qui fabrique le poil ;

• la glande sébacée qui produit le sébum ;

• le muscle pilomoteur, responsable du phénomène de l'horripilation.

L'appareil sudoripare sécrète la sueur.

L'appareil unguéal produit l'ongle.

NB :

• L'épiderme est formé de plusieurs populations cellulaires :

- les kératinocytes qui produisent la couche cornée ;
- les mélanocytes;
- les cellules de Langerhans (macrophagocytes intraépidermiques).

•L'hypoderme est constitué de tissu adipeux comme il en existe dans d'autres régions de l'organisme et ne fait donc pas vraiment partie de la peau. **Interposé entre le derme et les**

muscles sur lesquels il se moule, il n'en a pas moins des relations fonctionnelles étroites avec elle.

3. Le système tégumentaire : un système aux fonctions multiples

➢ La fonction de protection

- La peau est soumise aux multiples agressions du milieu extérieur et se comporte comme un bouclier contre les agressions mécaniques (chocs, écrasements, tractions, etc.), qu'elle doit amortir et absorber afin de préserver son intégrité et celle des tissus et organes qu'elle enveloppe. Un bouclier qui nous protège aussi contre les pollutions diverses et contre les micro- organismes.

- La peau se comporte aussi comme une ombrelle qui nous protège du soleil.

➢ La fonction de thermorégulation

De l'Arctique au Sahara, l'homme s'acclimate aux températures extrêmes du globe : de – 70°C pour la banquise nord de la Sibérie à +65 °C dans la chaleur torride des sables sahariens.

On appelle thermorégulation l'ensemble des mécanismes qui permettent à l'homme de maintenir constante sa température interne (on parle d'homéothermie) autour de 37 °C.

La peau nous protège de la chaleur grâce à la sueur qui a pour rôle d'éliminer la chaleur excédentaire de notre corps.

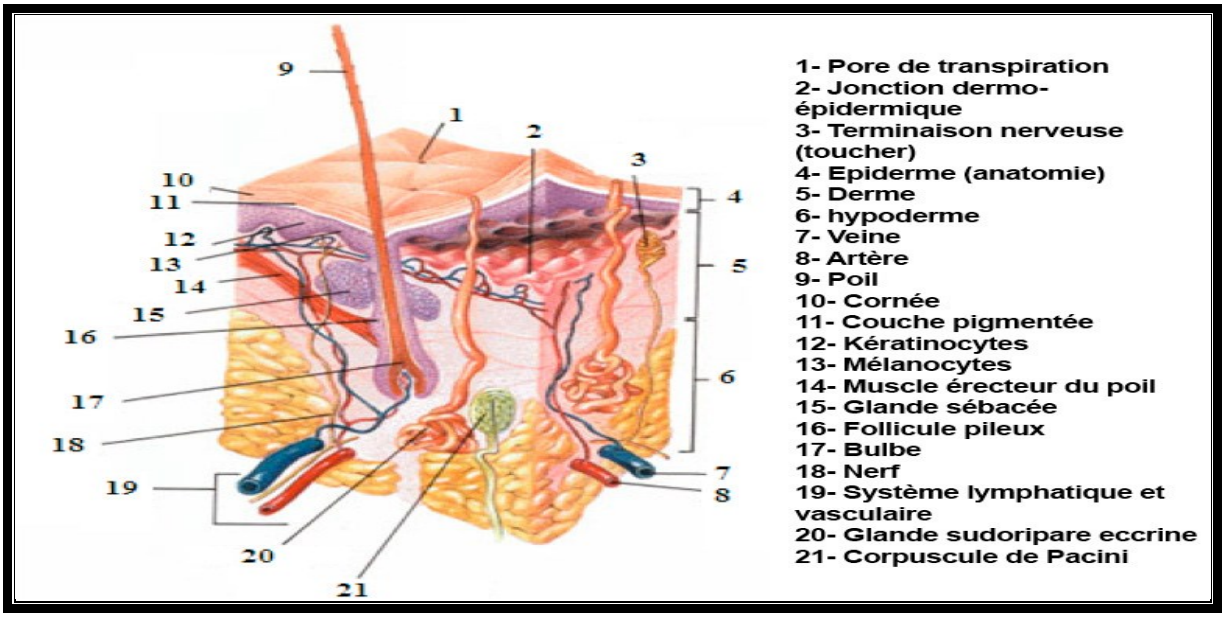


Figure 19 : Etude détaillée de la peau

➢ La fonction métabolique : synthèse de la vitamine D

C’est dans l’épiderme qu’est synthétisée la vitamine D, sous l’effet des UVB du soleil.

- **La fonction sensorielle**

La peau contient les récepteurs du sens du toucher qui captent toutes sortes de renseignements provenant du monde extérieur. Un rôle d’information qui ajoute une aide indirecte à la défense de l’organisme.

4. Le système tégumentaire : un modèle de communication et un terrain pour de nombreuses maladies

— Idéalement douce et attractive, la peau a une place privilégiée dans le relationnel humain. On comprend donc que la peau soit devenue l’objet de tous les soins pour l’embellir, en atténuer les imperfections ou les effets du temps.

— Notre tégument peut aussi révéler notre vie intérieure, ce qui se traduit dans le langage courant par l’expression « être bien (ou mal) dans sa peau », ou encore « être le reflet de notre état de santé, physique ou moral ».

— La peau est également le siège de maladies, appelées dermatoses, qui ont une particularité : en dehors de leurs propres effets nocifs sur l’organisme, elles présentent l’inconvénient majeur de se voir et ainsi de nuire à l’image de ceux qui en sont porteurs.

Pour compliquer les choses, il existe aussi des dermatoses dites « psychosomatiques », parce que des événements de la vie, vécus comme des traumatismes, peuvent jouer un rôle dans leur éclosion, sans pour autant les expliquer.

Enfin, des maladies internes peuvent s’exprimer au niveau de la peau par des anomalies, qui représentent un véritable « marqueur » de la maladie générale, d’un intérêt considérable pour la détection de celle- ci.

C’est le cas des dermatoses dites « paranéoplasiques », c’est- à- dire qui accompagnent un cancer profond.

A. La structure et la physiologie de l’épiderme

L’épiderme est la couche la plus superficielle de la peau. En contact direct avec le milieu extérieur, il assure l’essentiel des fonctions de protection de notre tégument.

Souple et résistant à la fois, il s’est adapté au cours de la lente évolution biologique des espèces, à la vie de relation très développée de l’homme actuel. (P. Valéry, Mauvaises pensées).

L’épiderme a une épaisseur inférieure à 1 mm, c’est- à- dire l’épaisseur d’une feuille de papier, avec des variations : 1 mm à 1,5 mm au niveau des paumes et des plantes, 0,04 mm au niveau des paupières.

L’épiderme présente deux faces :

— une face superficielle qui constitue la surface cutanée ;

—une face profonde.

La surface cutanée n'est pas en contact direct avec l'extérieur : elle est **recouverte d'un mélange d'eau et de lipides qui constituent le film hydrolipidique** de surface et elle est colonisée par des micro-organismes qui composent la **flore cutanée.**

La surface cutanée n'est pas lisse : elle est criblée de multiples orifices et présente un relief variable selon les régions corporelles.

- Les orifices

Les orifices pilosébacés

Les orifices pilosébacés sont des orifices d'où émergent les poils et par où s'écoulent le sébum et la sécrétion des glandes apocrines. Ils sont visibles à la loupe. L'orifice pilosébacé est aussi appelé ostium folliculaire (on dit un ostium et des ostia).

- Les pores

Les pores sont les orifices d'excrétion de la sueur. Ils ne sont vus qu'à l'aide du microscope

- Le relief de la surface cutanée

Il est représenté par l'association de dépressions de profondeur variable et de saillies à la surface de la peau :

- Le réseau microdépressionnaire de surface (RmD)

Le RmD est un réseau de sillons plus ou moins profonds qui creusent la surface de l'épiderme et qui délimitent des plateaux de formes géométriques variées.

Le RmD constitue une « réserve » d'étirement : en se déplissant, il permet une extension de l'épiderme qui serait, seul, incapable de faire face aux tractions auxquelles il est soumis. Par voie de conséquence, il augmente la surface réelle de la peau et ainsi la surface d'échanges avec le milieu extérieur.

- Les dermatoglyphes

Les dermatoglyphes (du grec derma, peau et gluphê, gravure) sont des crêtes séparées par des sillons, qui dessinent des figures courbes visibles à l'œil nu au niveau de la paume de la main et de la pulpe des doigts, où ils constituent les empreintes digitales (mot savant pour empreinte digitale : « dactylogramme »). On les observe aussi à la face plantaire du pied et des orteils mais nulle part ailleurs.

- Les lignes de la main

Anatomiquement, les « lignes de la main » correspondent à des plis de flexion, c'est- à- dire des sillons plus ou moins profonds, creusés dans la peau par le jeu des multiples articulations des os de la main.

L'étude de l'organisation de ces sillons, variée à l'infini, est le fondement de la chiromancie. Un procédé de divination qui consiste à prédire les grandes orientations de la vie par l'observation de la « ligne de vie », de la « ligne de cœur » ou encore de la « ligne de tête ».

Cette activité, spécifiquement humaine, aurait plusieurs millénaires.

- Les rides

Profondes de 100 µm à plusieurs millimètres, les rides sont les dépressions les plus visibles et représentent le principal « marqueur » du vieillissement de la peau.

L'exposition au soleil creuse ces dépressions.

La face profonde de l'épiderme

C'est la zone d'amarrage de l'épiderme et du derme, qui constitue la jonction dermo-épidermique. Cette région de transition se présente comme une ligne ondulée sur une coupe de peau.

Sur le plan histologique, l'épiderme est constitué de plusieurs populations cellulaires :

−**les kératinocytes**, éléments dominants par le nombre et organisés en quatre couches cellulaires. On distingue de la profondeur vers la surface : la couche basale, la couche épineuse, la couche granuleuse et la couche cornée.

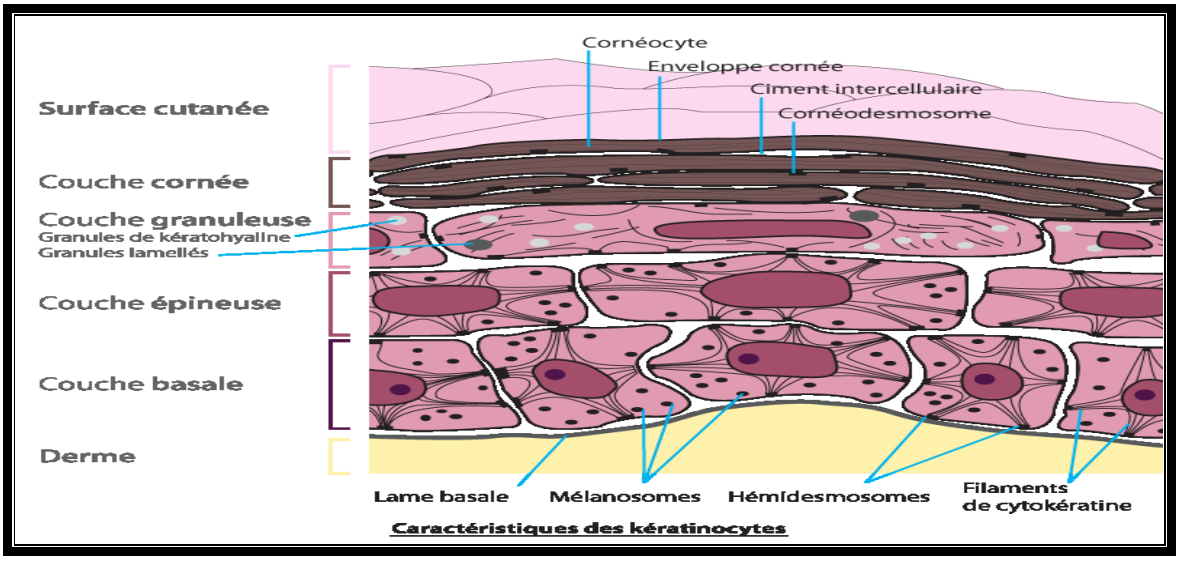


Figure 20 : Les couches épidermiques

Les kératinocytes sont des cellules épidermiques dont la fonction est de fabriquer des protéines très résistantes, nommées kératines. Ils représentent 90% des cellules de l'épiderme et constituent la population cellulaire la plus importante, quantitativement, de l'épiderme.

−des cellules dendritiques, dont il existe trois sortes :

- les mélanocytes reposent sur la lame basale et provenant des crêtes neurales ;
- les macrophagocytes intra- épidermiques (cellules de Langerhans) localisées dans la couche épineuse provenant des cellules immunocompétentes;

- les épithélioïdocytes du tact (cellules de Merkel interposés entre les cellules basales dont ils sont proches au point de vue morphologique et provenant des kératinocytes basaux du fœtus.

Ces diverses variétés cellulaires vivent en symbiose pour faire de l'épiderme un formidable organe de défense.

Comme tous les épithéliums, l'épiderme est dépourvu de vaisseaux sanguins et lymphatiques. C'est la raison pour laquelle l'incision de la seule couche épidermique ne provoque pas de saignement, contrairement au derme qui est richement vascularisé. La nutrition des cellules qui le composent se fait à partir des capillaires dermiques, via le liquide interstitiel qui circule dans les espaces intercellulaires.

Par contre, l'épiderme est innervé : la présence de fibres nerveuses dans l'épiderme, longtemps discutée, est aujourd'hui démontrée

CHAPITRE II : SYSTEME OSSEUX

0. GENERALITES

Le squelette humain comprend 208 os. Ceux-ci sont reliés entre eux par le biais des articulations.

Chaque os se caractérise par un tissu superficiel dense et dur qui prend le nom d'os cortical (ou os compact). Ce tissu est lui-même recouvert par le périoste qui permet, entre autres, la croissance de l'os en épaisseur.

Dessous, se trouve l'os dit trabéculaire (ou spongieux) qui se compose d'une matrice moins dense, mais elle aussi solidifiée par différents minéraux et le calcium en particulier.

De manière globale, l'os est constitué par :

- la zone ostéoïde (une trame essentiellement composée de collagène) ;
- une partie minérale (constituée de calcium et de phosphore) ;
- trois types de cellules :
    - les ostéoblastes (qui élaborent la matrice osseuse),
    - les ostéocytes,
    - les ostéoclastes (qui détruisent la matrice osseuse).

Le tissu osseux, comme le tissu cartilagineux, est un « tissu squelettique », tissu conjonctif spécialisé, caractérisé par la nature solide de la MEC. La matrice osseuse a la particularité de se calcifier, ce qui la rend opaque aux rayons X et permet l'étude des os par radiographie.

Comme tout tissu conjonctif, les **tissus osseux** sont constitués de cellules dispersées dans une matrice extracellulaire abondante. La substance fondamentale est dure, rigide et imprégnée de

sels de calcium, ce qui différencie les tissus osseux des autres classes de tissus conjonctifs que sont les tissus conjonctifs proprement dits et les tissus cartilagineux. Les tissus osseux forment, à 25 %, les organes durs que l'on appelle os.

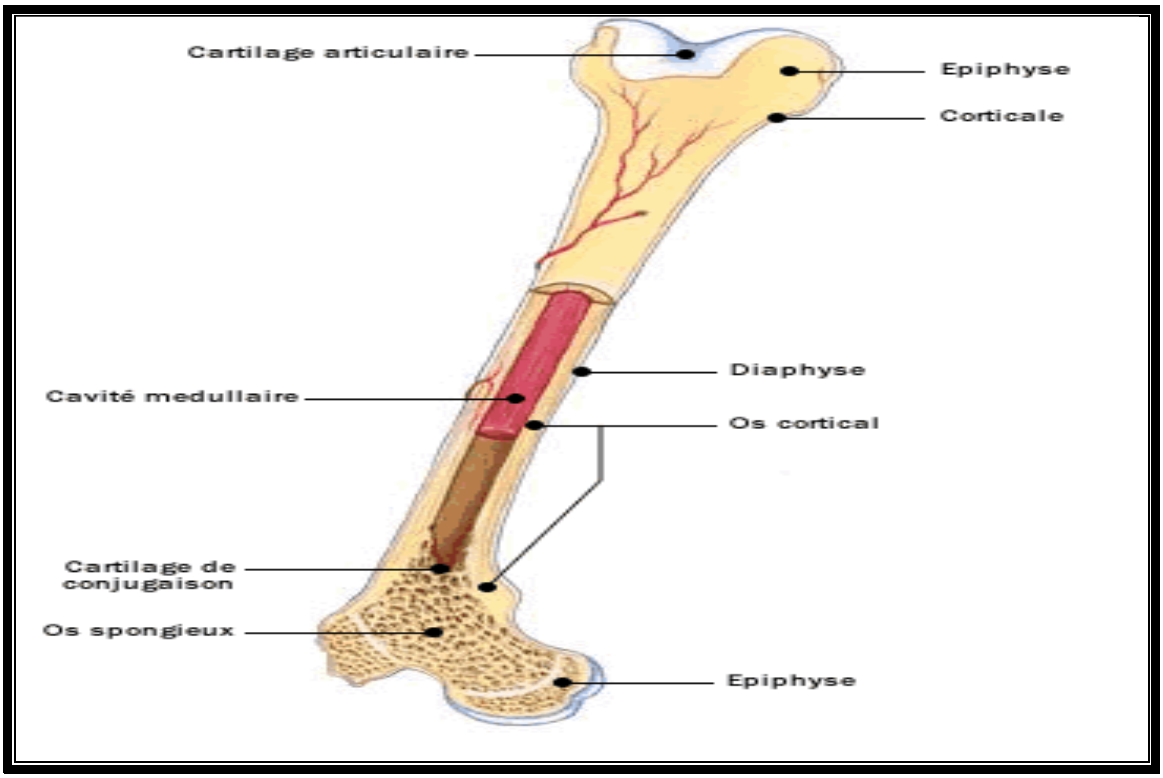


Figure 21: Les parties anatomiques de l'os

Les os, principalement constitués de tissu osseux, contiennent également du tissu hématopoïétique, du tissu adipeux, des vaisseaux, des nerfs, du tissu cartilagineux et du tissu conjonctif.

Il existe 3 variétés anatomiques d'os : **les os longs** (comme le tibia, le fémur), **courts** (comme les os du carpe) et **plats** (comme le sternum, les côtes).

Les os longs se décomposent en :

- diaphyse : la partie moyenne située entre les épiphyses ;
- épiphyses : les extrémités supérieure et inférieure de l'os qui sont recouvertes de cartilage et permettent l'articulation des os entre eux.

On peut également distinguer une zone supplémentaire, la métaphyse, qui est une zone de transition entre l'épiphyse et la diaphyse.

Sauf au niveau des surfaces articulaires où se trouvent les cartilages articulaires, les os longs, courts ou plats, sont entourés par le ***périoste*****,** constitué par une couche externe de tissu conjonctif fibreux et par une couche interne contenant les cellules ostéoprogénitrices. La

cavité centrale des os longs est bordée par ***l'endoste***, constitué d'une fine couche de tissu conjonctif contenant des cellules ostéoprogénitrices et des cellules bordantes.

L'os constitue une réserve phosphocalcique pour le corps humain, puisqu'il détient 99 % du calcium du corps et 90 % du phosphore.

A. ELEMENTS CONSTITUTIFS

A.1. Le tissu osseux contient 4 types de cellules, à savoir :

Les cellules **bordantes**, les **ostéoblastes** et les **ostéocytes** sont les cellules ostéoformatrices. Les **ostéoclastes** sont ostéorésorbants.

Les ostéoblastes, les ostéoclastes et les cellules bordantes de l'os se trouvent à la surface des plages de tissu osseux, alors que les ostéocytes sont situés à l'intérieur de la matrice osseuse. Contrairement aux cellules ostéoformatrices qui dérivent de cellules-souches mésenchymateuses pluripotentes, les ostéoclastes dérivent de la lignée hématopoïétique monocytaire (cellule-souche hématopoïétique).

Les ostéoblastes sont des cellules ostéoformatrices cubiques situées à la surface externe et interne du tissu osseux en croissance. Ils sont reliés entre eux et avec les ostéocytes par des jonctions communicantes. Leur membrane plasmique renferme en abondance de la *phosphatase alcaline*. Les ostéoblastes élaborent les constituants organiques de la MEC ; de ce fait, leur cytoplasme est riche en organites impliqués dans la synthèse protéique (réticulum endoplasmique granulaire abondant, appareil de Golgi volumineux). Le devenir des ostéoblastes peut se faire selon 3 voies : 1) transformation en ostéocytes en s'entourant complètement de MEC, 2) mise au repos sous la forme de cellules bordantes tapissant les surfaces osseuses ou 3) mort par apoptose.

Les ostéocytes sont des ostéoblastes différenciés, incapables de se diviser, entièrement entourés par la MEC osseuse minéralisée. Les ostéocytes siègent dans des logettes (ostéoplastes) d'où partent des canalicules anastomosés contenant leurs prolongements cytoplasmiques, fins, nombreux, plus ou moins longs, reliés entre eux par des jonctions communicantes. Leur corps cellulaire est de plus petite taille que celui des ostéoblastes, fusiforme, possédant moins d'organites que les ostéoblastes. Les ostéocytes, avec des capacités de synthèse et de résorption limitées, participent au maintien de la matrice osseuse et contribuent à l'homéostasie de la calcémie.

Les cellules bordantes sont des **ostéoblastes au repos**, susceptibles, s'ils sont sollicités, de redevenir des ostéoblastes actifs. Elles revêtent les surfaces osseuses qui, à un moment donné, ne sont soumises ni à formation ni à résorption osseuse. Ce sont des cellules aplaties et allongées, possédant peu d'organites et reliées entre elles et avec les ostéocytes voisins par des jonctions communicantes.

Les ostéoclastes sont des cellules post-mitotiques, très volumineuses, de 20 à 100 μm de diamètre, plurinucléées, hautement mobiles, capable de se déplacer à la surface des travées osseuses d'un site de résorption à un autre. Lorsqu'il est activé, l'ostéoclaste, cellule ostéoresorbantes, développe son appareil lysosomal et se polarise fortement ; sa membrane plasmique se différencie en deux domaines séparés par un anneau étanche de jonctions cellule-MEC : un domaine apical qui développe une *bordure en brosse* au contact de la surface osseuse et un domaine basolatéral situé à l'opposé.

Les cellules des tissus osseux comprennent des cellules fixes (ostéoblastes et ostéocytes) ou étrangères (ostéoclastes). La matrice extracellulaire ou substance osseuse est formée d'une partie organique (fibres de collagène de type I et substance fondamentale) et d'une partie minérale (principalement des sels de calcium). Cette matrice est peu hydratée : le tissu osseux est constitué à 50 % d'eau, ce qui en fait un des tissus les moins hydratés après l'émail des dents. Cette faible hydratation est due à la faible teneur en protéoglycanes tels que le chondroïtine sulfate présent à l'inverse en grande quantité dans le tissu cartilagineux.

A.2. La matrice extracellulaire

La MEC de l'os comporte une partie organique et une phase minérale.

- ***La matrice organique***

La MEC organique est composée de microfibrilles de collagène I, de protéoglycanes, d'ostéopontine (reliant l'hydroxyapatite aux cellules osseuses), d'ostéonectine (intervenant dans la minéralisation par son affinité pour le collagène I et le calcium), d'ostéocalcine (marqueur des ostéoblastes matures, intervenant dans la minéralisation), de sialoprotéine osseuse et de thrombospondine (permettant l'attache des cellules osseuses à la MEC via un récepteur membranaire de la famille des intégrines). La MEC osseuse contient des cytokines et facteurs de croissance sécrétés par les ostéoblastes et jouant un rôle fondamental dans la régulation du remodelage du tissu osseux et de la minéralisation de la MEC osseuse

- ***La phase minérale***

Elle est constituée de cristaux d'hydroxyapatite (phosphate de calcium cristallisé) et de carbonate de calcium. Ces cristaux sont visibles en ME entre les fibres de collagène et/ou à l'intérieur de celles-ci, sous la forme de petites aiguilles hexagonales, denses aux électrons. **Les ions Ca^{++} et PO_4^{3-} situés en surface des cristaux participent à des échanges rapides avec le liquide interstitiel et donc avec le courant sanguin.** L'os, qui contient 98 % du calcium de l'organisme, représente un réservoir de calcium et joue un rôle primordial dans le métabolisme phosphocalcique. **La minéralisation de la MEC osseuse rend compte de la dureté de l'os.**

B. CLASSIFICATION

Selon la disposition des lamelles et des cellules, selon la densité de la substance fondamentale, le tissu osseux peut se présenter sous 2 formes :

0. **Le tissu osseux compact**
1. **Le tissu osseux spongieux**

Les travées sont disposées de manière à répondre à une résistance maximale contre les pressions et les forces.

- **Le tissu osseux compact (ou cortical ou haversien)**

Il est très résistant et possède une substance fondamentale très dense. Les lamelles sont serrées les unes contre les autres rendant l'os épais et solide. Il est principalement constitué d'**ostéones** ou **systèmes de Havers** fait de lamelles osseuses cylindriques disposées concentriquement autour du canal de Havers. Entre les lamelles, se situent les ostéoplastes contenant le corps cellulaire des ostéocytes. Le canal de Havers contient des capillaires sanguins et des filets nerveux amyéliniques enrobés d'un peu de tissu conjonctif lâche. Les canaux de Havers sont reliés entre eux, avec la cavité médullaire et avec la surface de l'os par des canaux transversaux ou obliques, les canaux de Volkmann. Cette disposition confère à l'os compact un maximum de résistance. Entre les ostéones se trouvent des lamelles osseuses, vestiges d'ostéones anciens partiellement résorbés et constituant les systèmes interstitiels. La diaphyse des os longs est bordée extérieurement et intérieurement par des lamelles osseuses circonférentielles, réalisant le système circonférentiel externe et le système circonférentiel interne.

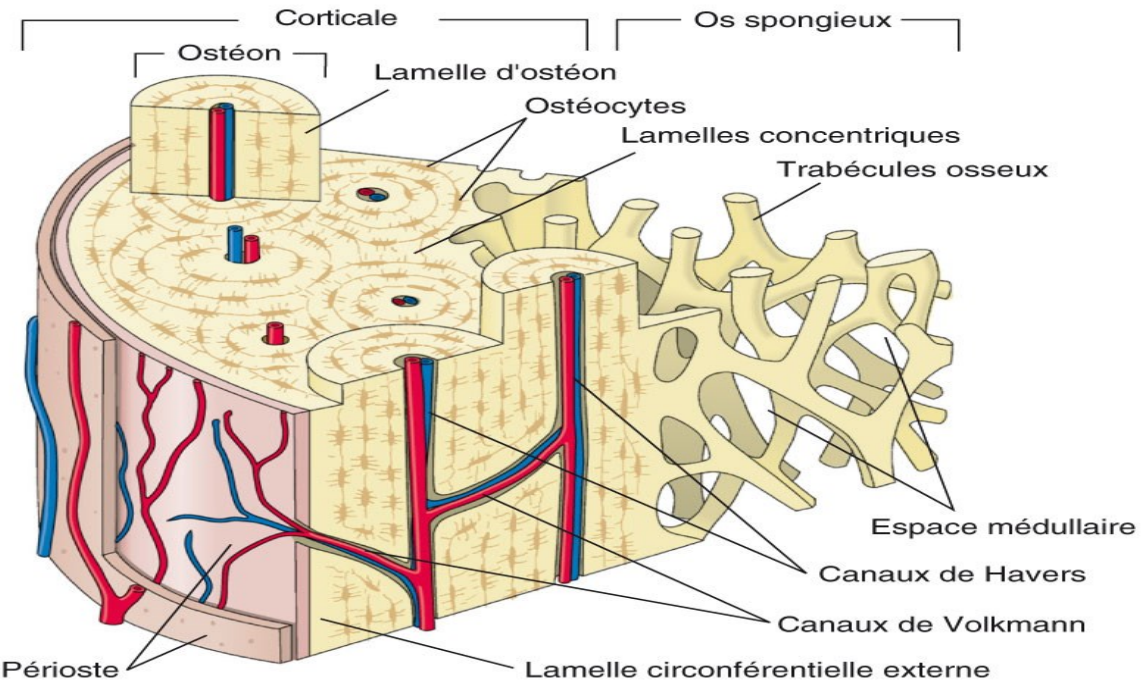


Figure. 22

- **Le tissu osseux spongieux (ou trabéculaire)**

Il est moins dense et plus léger que le tissu compact. Il est constitué de lamelles organisées en travées ressemblant à une éponge.

Le tissu osseux spongieux siège essentiellement dans les os courts et les os plats (sternum, ailes iliaques) ainsi que dans les épiphyses des os longs. Il est formé par un lacis tridimensionnel de spicules ou trabécules de tissu osseux, ramifiés et anastomosés, délimitant un labyrinthe d'espaces inter communicants occupés par de la moelle osseuse et des vaisseaux.

En outre, selon le degré de maturation et/ou le mode d'organisation, il se distingue trois catégories de tissus osseux:

1. tissu osseux réticulaire ;
2. tissu osseux lamellaire ;
3. tissu osseux spongieux.

- **Tissu osseux réticulaire**

Souvent appelé *os immature* ou encore *tissu osseux tissé*. Il est mécaniquement faible. Les cellules de ce tissu sont nombreuses et disposées sans ordre. La matrice est peu minéralisée, contient des faisceaux de fibres de collagène à disposition aléatoire. Ce type d'os existe au

cours de développement. Il a généralement une durée de vie courte car il disparait pour être remplacé par un tissu osseux lamellaire.

- **Tissu osseux lamellaire**

Chez l'adulte, le tissu osseux est dit **lamellaire**, parce que la matrice osseuse est disposée en **lamelles** superposées où les microfibrilles de collagène sont arrangées parallèlement selon une direction qui se modifie dans chaque lamelle successive. Chez le fœtus et le jeune enfant, ou en cas de fracture, ou encore au cours de certaines maladies, la trame de microfibrilles de collagène produite par les ostéoblastes est irrégulière et le tissu osseux est transitoirement non-lamellaire (« tissu osseux tissé »).

Beaucoup plus abondant, il forme 90 % du tissu osseux de l'organisme. La matrice osseuse occupe 95 % du volume de ce tissu. Il est mécaniquement résistant, caractérisé par une matrice minéralisée disposée en lamelles parallèles et concentriques.

- L'os lamellaire compact (Haversien) :

C'est un tissu qui n'est jamais primaire mais qui apparait au cours du développement en remplacement d'un tissu osseux préexistant. Il est principalement constitué des ostéones ou système de Harvers qui sont faits de 4 - 20 lamelles osseuses cylindriques disposées concentriquement autour du canal de Harvers. Les canaux du Harvers contiennent des capillaires sanguins et des nerfs amyéliniques enrobés dans un tissu conjonctif lâche. Ils sont reliés entre eux, avec la cavité médullaire et avec la surface de l'os par des canaux transversaux ou obliques : les canaux de Volkmann.

Dans les ostéones les fibres de collagène sont arrangées parallèlement dans une lamelle. Entre les lamelles se situent les ostéoplastes contenant les ostéocytes disposés parallèlement au grand axe de lamelles.

Les ostéones sont disposées parallèlement les unes aux autres et parallèlement au grand axe des diaphyses des os longs.

- L'os lamellaire compact (non Haversien) :

La diaphyse des os longs est bordée extérieurement et intérieurement par des lamelles osseuses concentriques à la cavité médullaire et qui séparent les systèmes haversiens de l'endoste et du périoste. Ces lamelles forment le système circonférentiel (ou fondamental) interne et le système circonférentiel (ou fondamental) externe.

- **Tissu osseux spongieux**

Représente 10 % du squelette chez l'adulte, la matrice osseuse forme 20 % du volume de ce tissu. Il est essentiellement dans les os courts et les os plats (sternum) ainsi que dans les épiphyses des os long. La partie solide serait constituée de tissu osseux lamellaire, et les

cavités, de forme et de tailles irrégulières sont communicantes entre elles et sont occupées par la moelle osseuse et les vaisseaux.

OSTEOGENESE

L'ostéogenèse, ou formation du tissu osseux, utilise un processus de métaplasie au cours duquel un tissu conjonctif est transformé en tissu osseux. **Trois types d'ossifications se distinguent au cours de la vie** :

- l'ossification primaire : Deux types selon le modèle (cartilagineux ou conjonctif) : peut-être soit endochondrale (se fait à partir de tissu cartilagineux préexistant), soit endoconjonctive (par hypertrophie, condensation et différenciation ostéogénique de cellules mésenchymateuses). Cette phase d'ossification primaire se fait pendant l'embryogénèse ;
- l'ossification secondaire : il y a destruction du tissu osseux primaire non lamellaire néoformé par les premiers ostéoclastes puis reconstruction par des ostéoblastes d'un tissu osseux secondaire lamellaire (compact, spongieux ou haversien). Il y a donc remplacement du premier tissu osseux. Ceci se fait également pendant l'embryogenèse ;
- l'ossification tertiaire : que l'on appelle aussi le remodelage osseux permanent. C'est l'équilibre permanent entre la construction et la destruction pendant toute la vie (par exemple lors de la croissance ou lors d'une fracture il y a plus de construction que de destruction, alors que pendant la sénescence c'est l'inverse : exemple de l'ostéoporose).

Chez l'homme, la synthèse de la matrice osseuse a lieu dès la phase embryonnaire et atteint un « pic de masse osseuse » en moyenne deux ans après la puberté chez la femme, trois chez l'homme, ce qui explique la taille plus grand de ce dernier qui a des os plus solides. Chez l'adulte, 10 % de la masse osseuse se renouvelle annuellement. **Le remodelage osseux permet de maintenir l'homéostasie calcique et de conserver l'intégrité du squelette**. Le capital osseux diminue avec l'âge (ostéoporose), la femme perdant environ 40 % de son capital osseux entre 40 et 80 ans alors qu'il est de 5 à 30 % chez l'homme.

FONCTIONS PHYSIOLOGIQUES DE L'OS :

Les os possèdent une **structure** destinée à leur conférer toutes les qualités nécessaires pour assurer leurs rôles principaux :

- légers : suffisamment en tout cas pour ne pas gêner leur mobilité ;
- souples : malgré leur solidité, ils possèdent une relative souplesse ;
- solides : ils sont capables de résister à de multiples contraintes (pressions, tractions, compressions) sans se briser.

Le squelette a 3 fonctions. 1) **Fonction mécanique** : le tissu osseux est un des tissus les plus résistants de l'organisme, capable de supporter des contraintes mécaniques, donnant à l'os son rôle de soutien du corps et de protection des organes. 2) **Fonction métabolique** : le tissu osseux est un tissu dynamique, constamment remodelé sous l'effet des pressions mécaniques, entraînant la libération ou le stockage de sels minéraux, et assurant ainsi dans une large mesure (conjointement avec l'intestin et les reins) le contrôle du métabolisme phosphocalcique. 3) F**onction hématopoïétique** : les os renferment dans leurs espaces médullaires, la moelle hématopoïétique, dont les cellules souches, à l'origine des 3 lignées de globules du sang, se trouvent au voisinage des cellules osseuses. Les *cellules stromales de la moelle osseuse* fournissent un support structural et fonctionnel aux cellules hématopoïétiques. Certaines d'entre elles sont des cellules-souches multipotentes susceptibles de se différencier dans de multiples lignages différents (fibroblastes, chondrocytes, ostéoblastes, adipocytes…).

LE REMODELAGE OSSEUX.

L'os est un tissu vivant, et, chez l'homme, comme chez la femme, il fait l'objet d'un remodelage osseux permanent, tout au long de la vie, assuré par deux types de cellules :

Les ***ostéoclastes***, issus de cellules précurseurs hématopoïétiques; ce sont de grandes cellules contenant plusieurs noyaux, caractérisées par une zone d'ancrage sur l'os, une bordure en brosse, de nombreuses mitochondries et un appareil de Golgi développé.

Ils possèdent un équipement enzymatique important qui permet l'acidification et la dissolution de la phase minérale de la matrice osseuse; des ions H+ sont produits par une anhydrase carbonique intra cytoplasmique et excrétés dans la chambre de résorption par une pompe à protons. Parallèlement des enzymes lysosomiales sont sécrétées (phosphatases acides, cathepsine K, métallo protéases) qui assurent la dissolution de la phase organique de la matrice osseuse, aboutissant à une lacune de résorption. L'action de ces cellules est contrôlée par des hormones systémiques, elle est stimulée par l'hormone parathyroïdienne (PTH) et le métabolite actif de la vitamine D, la 1,25 dihydroxyvitamine D (1,25(OH) 2 D), freinée par la calcitonine et par les œstrogènes. Il existe aussi un niveau de régulation locale, par des cytokines (autrefois regroupées sous le nom de facteurs d'activation des ostéoclastes ou OAF), et qui comprennent, entre autres, l'IL-1, IL-6 et le TNF-α. Les différents agents impliqués dans la régulation de la résorption conditionnent donc la vie des ostéoclastes et la survenue de leur mort ou apoptose.

Les ***ostéoblastes.*** Ces cellules mononuclées, disposées en couches monocellulaires sur les surfaces osseuses, ont pour fonction d'élaborer un os nouveau après l'action des ostéoclastes (il faut 100 à 1000 ostéoblastes pour reconstituer le volume d'os résorbé par un ostéoclaste !). Elles ont un précurseur mésenchymateux (la cellule stromale) commun aux fibroblastes, aux chondrocytes et aux adipocytes. Les ostéoblastes synthétisent des protéines qui constituent une matrice non minéralisée, composée de collagène de type I et de protéines non

collagéniques, le tissu ostéoïde ; ils produisent aussi des enzymes (phosphatases alcalines) qui permettent le dépôt de cristaux d'hydroxyapatite et assurent ainsi la calcification de la matrice. Un facteur de croissance, le TGF- α, libéré de la matrice osseuse lors de la phase de dissolution de l'os par les ostéoclastes, pourrait être le facteur de couplage, le médiateur entre la fin de la résorption et l'initiation de la formation. Le contrôle de la formation osseuse fait intervenir la PTH et les hormones sexuelles. Les glucocorticoïdes en excès induisent l'apoptose prématurée des ostéoblastes et une dépression marquée de l'ostéo formation.

On rencontre, emmurés au sein de la matrice osseuse, les ***ostéocytes***, qui sont en fait d' "anciens ostéoblastes", contenus dans de petites logettes (les ostéoplastes). Possédant de longs prolongements, les ostéocytes sont reliés les uns aux autres et communiquent avec la surface osseuse par un système de prolongements cellulaires cheminant dans un système de canalicules ménagés entre les fibres de collagène de la matrice osseuse. Jouant vraisemblablement un rôle de récepteurs mécaniques, ces cellules pourraient exercer une influence importante sur la vitalité des autres cellules osseuses. Il est possible aussi que ce soit l'apoptose des ostéocytes qui constitue le facteur déclenchant l'ancrage des ostéoclastes sur les surfaces osseuses et la mise en place du processus de résorption et de remodelage.

L'unité de remodelage osseux ("basic multicellular unit" ou bmu)

De la même manière que l'on considère le néphron comme l'unité fonctionnelle du métabolisme rénal, on définit les activités des ostéoclastes et des ostéoblastes comme couplées dans le temps et dans l'espace au sein d'une unité fonctionnelle, l'unité cellulaire de remodelage ou BMU.

LA RÉGULATION PHYSIOLOGIQUE DU MÉTABOLISMEOSSEUX CHEZ L'HOMME ; LE RÔLE PRÉSUMÉDES OESTROGÈNES.

Il est largement démontré que l'insuffisance gonadique (après castration médicale ou chirurgicale) s'accompagne d'une élévation de la résorption ostéoclastique et d'une perte osseuse souvent très marquée, tandis que la supplémentation en testostérone induit dans ces conditions une freination du remodelage et un gain osseux significatif. Ceci a conduit à considérer classiquement que le développement osseux et le remodelage tout au long de l'existence étaient conditionnés chez l'homme par le taux des androgènes circulants….

La carence progressive en testostérone observée chez l'homme au cours du vieillissement exercerait donc indirectement ses effets sur l'os, par le biais d'un déficit en œstrogènes.

L'ÉVOLUTION DE LA MASSE OSSEUSE AU COURS DU TEMPS

Elle est d'abord caractérisée par une ***phase d'acquisition***. Après une première phase de croissance osseuse rapide de la naissance à 4 ans, survient une seconde phase lors de la puberté débutant et finissant plus tardivement chez le garçon que chez la fille. Le capital osseux maximum ("peak bone mass" des auteurs anglo-saxons) est atteint dans les deux sexes vers 20 ans. L'acquisition du pic de masse osseuse est conditionnée par le terrain génétique (ainsi les enfants de sujets ostéoporotiques ont une masse osseuse lombaire et fémorale plus basse que les sujets contrôles), l'activité physique (en particulier les exercices en charge) et les facteurs nutritionnels (apports en produits lactés, en protéines).

La croissance pré-pubertaire, qui conditionne largement la taille des pièces osseuses, est plus longue de 2ans en moyenne chez l'homme. A l'âge adulte, au début de la troisième décennie le ***capital osseux maximum,*** est supérieur d'environ 30 % à celui de la femme, essentiellement d'ailleurs en raison de la plus grande taille des os ; le diamètre des os longs et les surfaces vertébrales sont ainsi plus élevés de 20 à 25 %, contribuant à une résistance biomécanique accrue. Il n'y pas, chez l'homme, de perte osseuse rapide comme on l'observe chez la femme dans les 5 à 8 ans qui suivent l'arrêt de la sécrétion des œstrogènes. A partir de 40 – 45 ans débute toutefois chez l'homme, une perte d'os dans les vertèbres, lente, linéaire, de l'ordre de 3 % par décennie. Globalement à80 ans la perte osseuse est de l'ordre de 25 à 30 % chez l'homme, très inférieure à la diminution de l'ordre de40 à 50 % enregistrée chez la femme.

Néanmoins il est démontré que le risque fracturaire est, chez l'homme comme chez la femme, lié à la baisse de densité minérale.

NB :

Tissus cartilagineux et osseux peuvent éventuellement se rencontrer au voisinage l'un de l'autre au niveau des coupes histologiques. Le périoste est le tissu conjonctif proprement dit qui entoure l'os.

Ces deux tissus partagent une caractéristique morphologique commune puisqu'ils sont formés par des cellules logées dans des cavités dispersées dans la matrice extracellulaire. Plusieurs caractéristiques permettent toutefois de les discerner l'un de l'autre.

CHAPITRE III : SYSTEME MUSCULAIRE

0. INTRODUCTION

Le tissu musculaire possède une propriété physiologique, la contractilité, assurée par les cellules musculaires ou myocytes dénommées de façon abusive "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. 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. 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.

1. LE TISSU MUSCULAIRE STRIÉ

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.

2. STRUCTURE GÉNÉRALE

Les muscles striés sont formés de cellules musculaires juxtaposées parallèlement, organisées en faisceaux. 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 cellules mesurent 10 à100 µm de diamètre et ont une longueur variable de quelques centaines de µm (musclesoculaires) 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.

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.

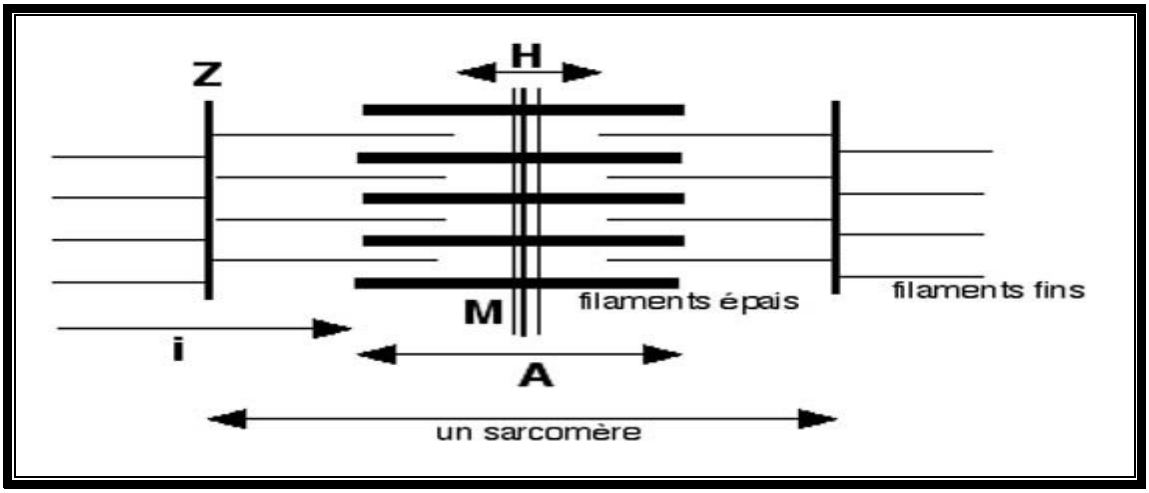


Figure 23 : Sarcomère (unité contractile)

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.

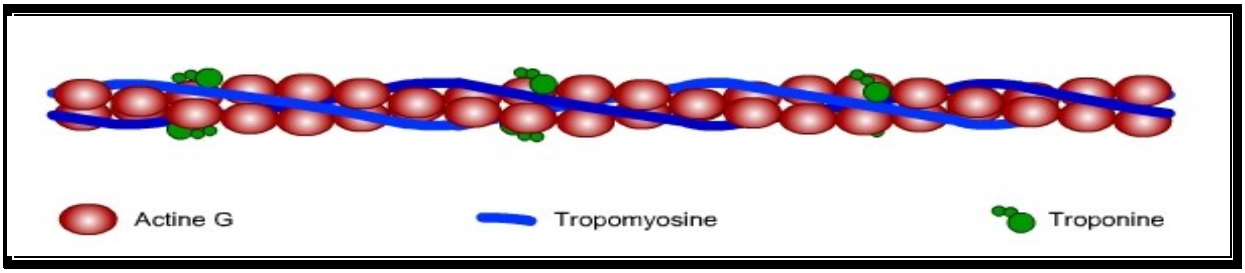
Les mitochondries sont nombreuses, entre les myofibrilles et sous la membrane plasmique. Elles assurent l'énergie nécessaire à la cellule. Le glycogène est relativement abondant, apparaissant sous la forme de particules dispersées dans les bandes de sarcoplasme.

Myofibrilles

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.



ou

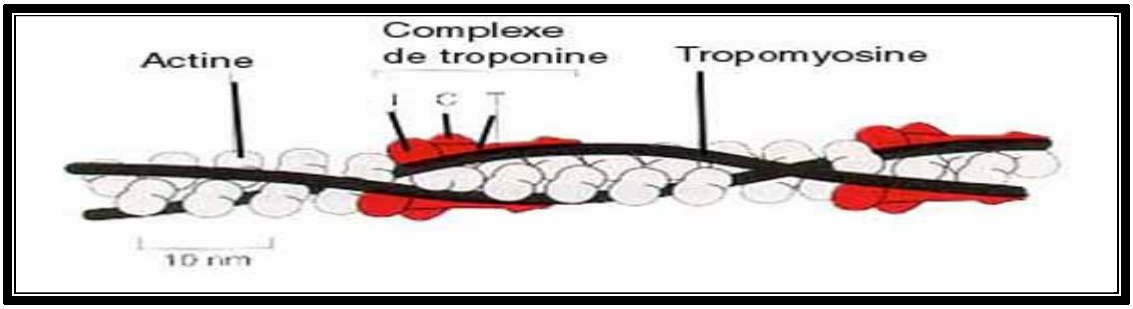


Figure 24 : Myofilament fin

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.
-

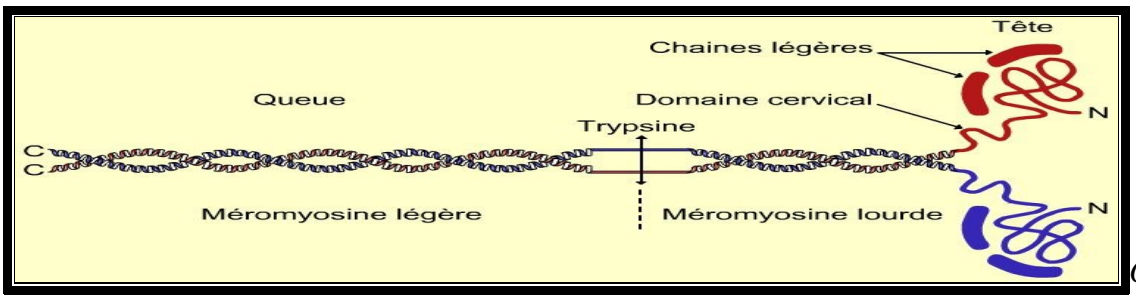
Myofilaments épais

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 super hélice, les deux têtes globulaires se trouvant côte à côte.



Ou

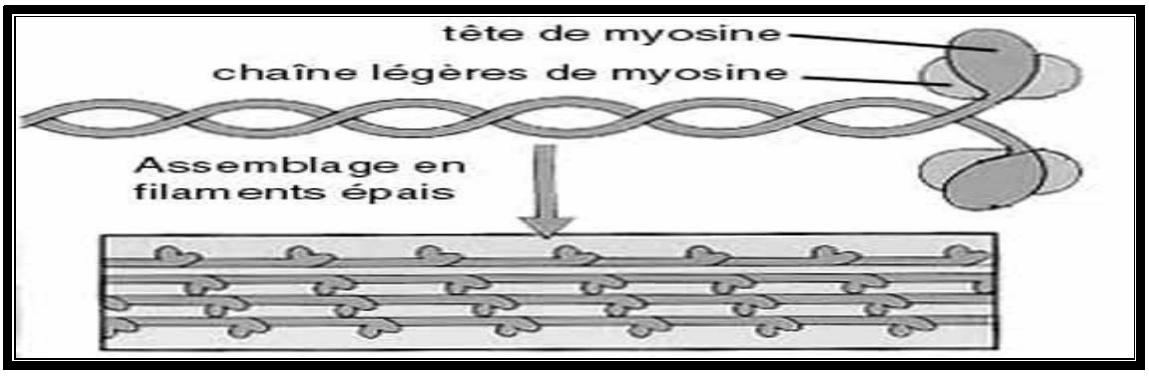


Figure 25 : Structure de la molécule de myosine II

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.

3. 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

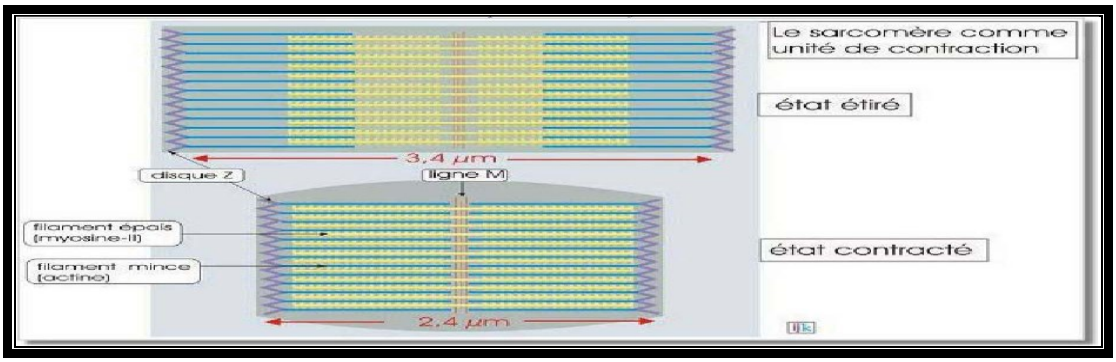


Figure 26 : Le sarcomère comme unité de contraction

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.** On a donc une levée de l'inhibition de la liaison actine-myosine

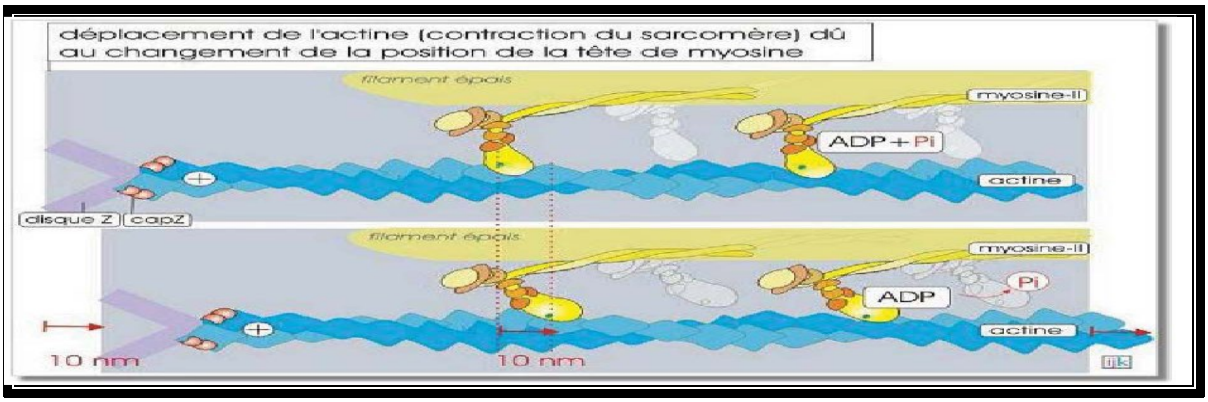


Figure 27 : Déplacement de l'actine (contraction du sarcomère) dû au changement de la position de la tête de myosine

C- Le cycle ATPasique de l'actomyosine

La suite des évènements peut, en première approximation, être découpée en quatre étapes:

1. Au repos, la myosine est couplée à de l'ADP et du phosphate inorganique (Pi). Après démasquage des sites de liaison de la myosine portés par l'actine en présence de calcium, les têtes de myosine vont se lier à l'actine.
2. Le départ du phosphate inorganique, puis de l'ADP, va stabiliser la liaison actine-myosine et entraîner un changement de conformation de la myosine. L'angle que fait la tête de myosine avec la queue allongée va diminuer de 90° à 45°. Myosine et actine étant liées, ce changement de conformation va entraîner un mouvement relatif entre filaments fins et filaments épais. La configuration obtenue, stable en absence d'ATP,

est appelée configuration *rigor* car elle est à l'origine de la rigidité cadavérique (*rigor mortis*).

3. La liaison d'une molécule d'ATP sur la tête de myosine entraîne la dissociation de la liaison actine-myosine.
4. Enfin l'hydrolyse de cet ATP en ADP + Pi entraîne un changement de conformation de la myosine : l'angle formé par la tête et la queue de myosine revient à sa valeur initiale. Au final, la tête de myosine s'est donc déplacée vers l'extrémité "plus" du filament d'actine (située côté strie Z).

Ce cycle peut se reproduire aussi longtemps que la concentration en calcium reste élevée. A chaque fois, la myosine se fixe un peu plus près de l'extrémité "plus" du filament d'actine, c'est à dire plus près du disque Z. Comme la même chose se produit à l'autre extrémité du filament de myosine, les deux disques Z se rapprochent, ce qui correspond à un raccourcissement du sarcomère.

Au repos, la myosine ne peut pas être liée à l'actine en raison de l'action inhibitrice de la troponine I. En présence de calcium, la liaison actine-myosine devient possible.

- **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 ultra structurale 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 ultra structurale 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.

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.

STRUCTURE GÉNÉRALE

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

sarcoplasmique 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.

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).

Myofilaments fins

Ce sont des filaments d'actine (isoforme spécifique du muscle lisse) qui s'insèrent au niveau des corps denses du sarcolemme. Ils sont liés à de la tropomyosine mais il n'y a pas de troponine.

Myofilaments épais

Les myofilaments épais sont composés de myosine qui est d'un type différent de celui des cellules musculaires striées. Ces filaments sont instables et ne se formeraient que lorsque la fibre subit une excitation, par polymérisation des molécules de myosine dispersées dans le sarcoplasme. Les myofilaments épais sont beaucoup moins nombreux que dans la cellule striée (environ 1 pour 12 myofilaments fins).

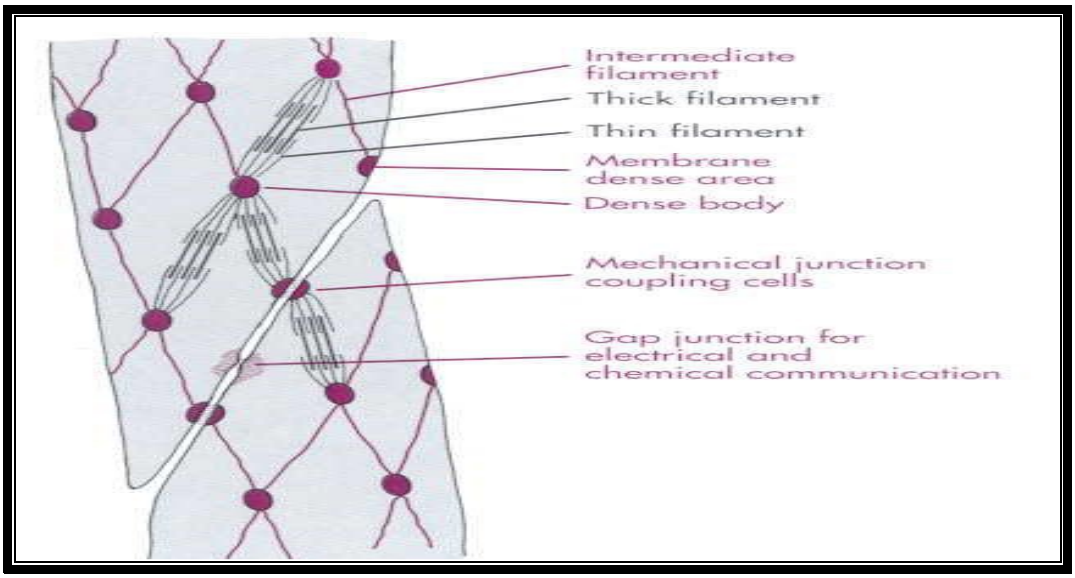


Figure 28 : Structure du muscle lisse

CONTRACTION MUSCULAIRE

La contraction du tissu musculaire lisse est différente de celle du muscle strié. Elle est dépendante des ions Ca++ mais le contrôle des mouvements calciques est différent du muscle strié : les ions Ca++ libres sont séquestrés dans le réticulum sarcoplasmique puis sont libérés au moment de l'excitation de la membrane cellulaire. Dans le sarcoplasme, ils se lient à une protéine appelée calmoduline. Le complexe ainsi formé active une enzyme située sur la chaîne légère de la myosine qui peut ainsi se lier à l'actine. Les deux protéines peuvent ensuite interagir d'une manière identique à ce qui se passe dans le muscle strié.

LE TISSU MUSCULAIRE CARDIAQUE

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 **mono nucléées ;**

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

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

STRUCTURE GÉNÉRALE

Les cellules myocardiques sont allongées s'associent les unes aux autres pour former des travées anastomosées séparées les unes des autres par du **tissu conjonctif très vascularisé**.

Sur ces travées, on retrouve une striation identique à celle du muscle strié liée à la présence des myofibrilles d'**actine** et de **myosine**.

3.1. CONTRACTION MUSCULAIRE

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.

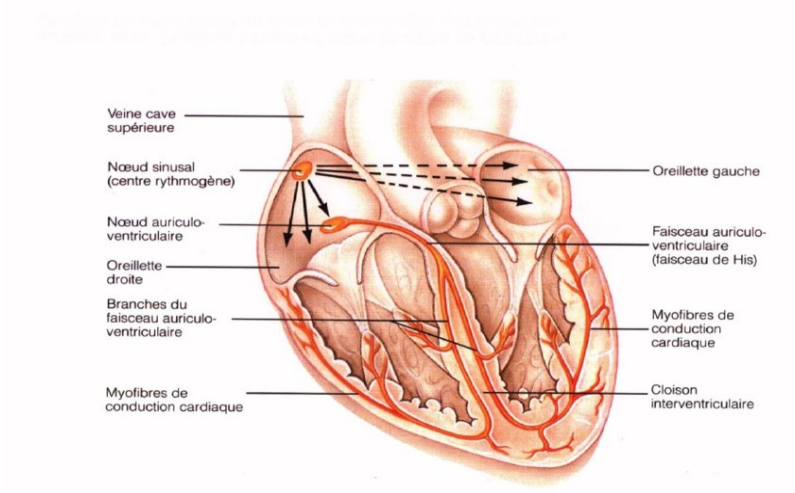


Figure 29 : Système de stimulation cardiaque

- 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.

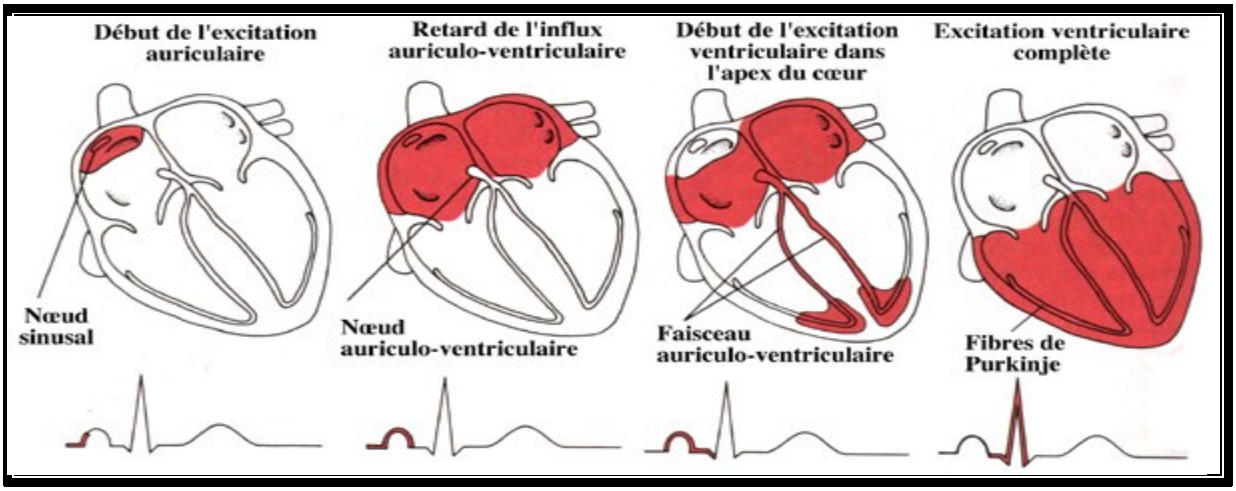


Figure 30 : Conduction des impulsions dans le tissu cardiaque

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

CHAPITRE IV : SYSTEME NERVEUX

0. 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.

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).

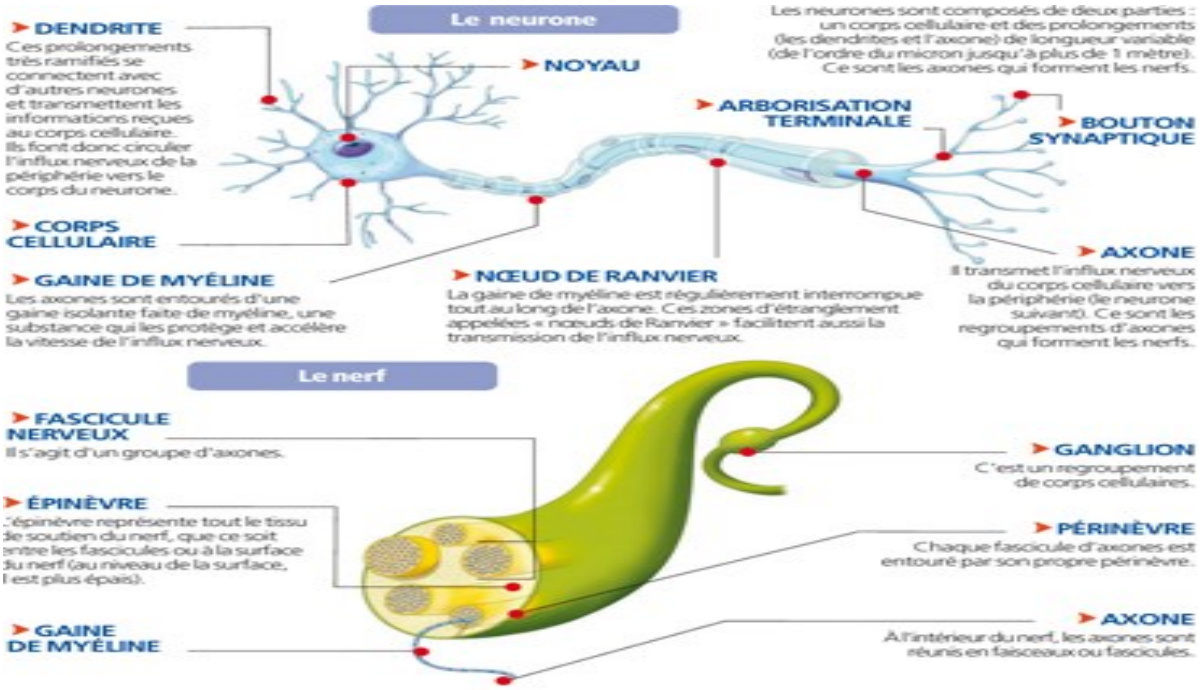
Les neurones sont des cellules nerveuses que l'on trouve dans le SNC et le SNP. On les trouve à la fois dans le cerveau et la moelle épinière (corps cellulaires) et dans les nerfs (axones) et les ganglions (corps cellulaires).

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 SNPla 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 31 : 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.

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

  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 32 : 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**.

LES STRUCTURES DU SYSTÈME NERVEUX

Pesant seulement 2 kg, soit environ 3 % de la masse corporelle totale, le **système nerveux** est l'un des plus petits des 11 systèmes du corps humain, et pourtant le plus complexe. Il se compose de milliards de neurones et de glyocytes plus nombreux encore, qui forment un réseau serré et rigoureusement organisé. **Les structures qui constituent le système nerveux comprennent :**

- l'encéphale,
- les nerfs crâniens et leurs ramifications ;
- la moelle épinière, les nerfs spinaux et leurs ramifications ;
- les ganglions ;
- ainsi que les plexus entériques et les récepteurs sensoriels.

A- ENCEPHALE

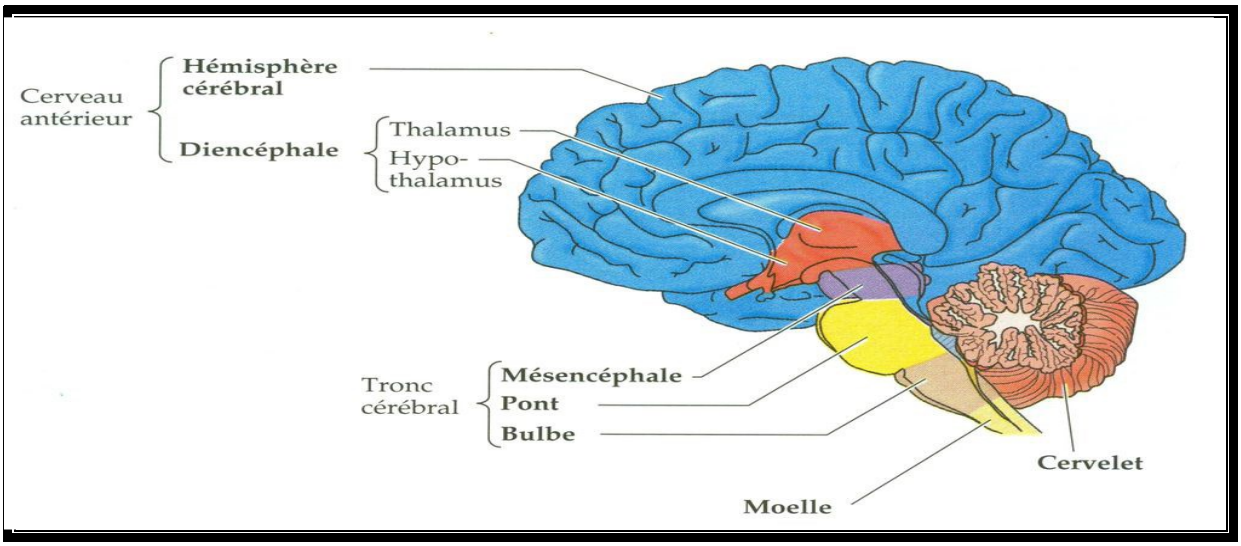


Figure 33 : Les éléments de l'encéphale

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.

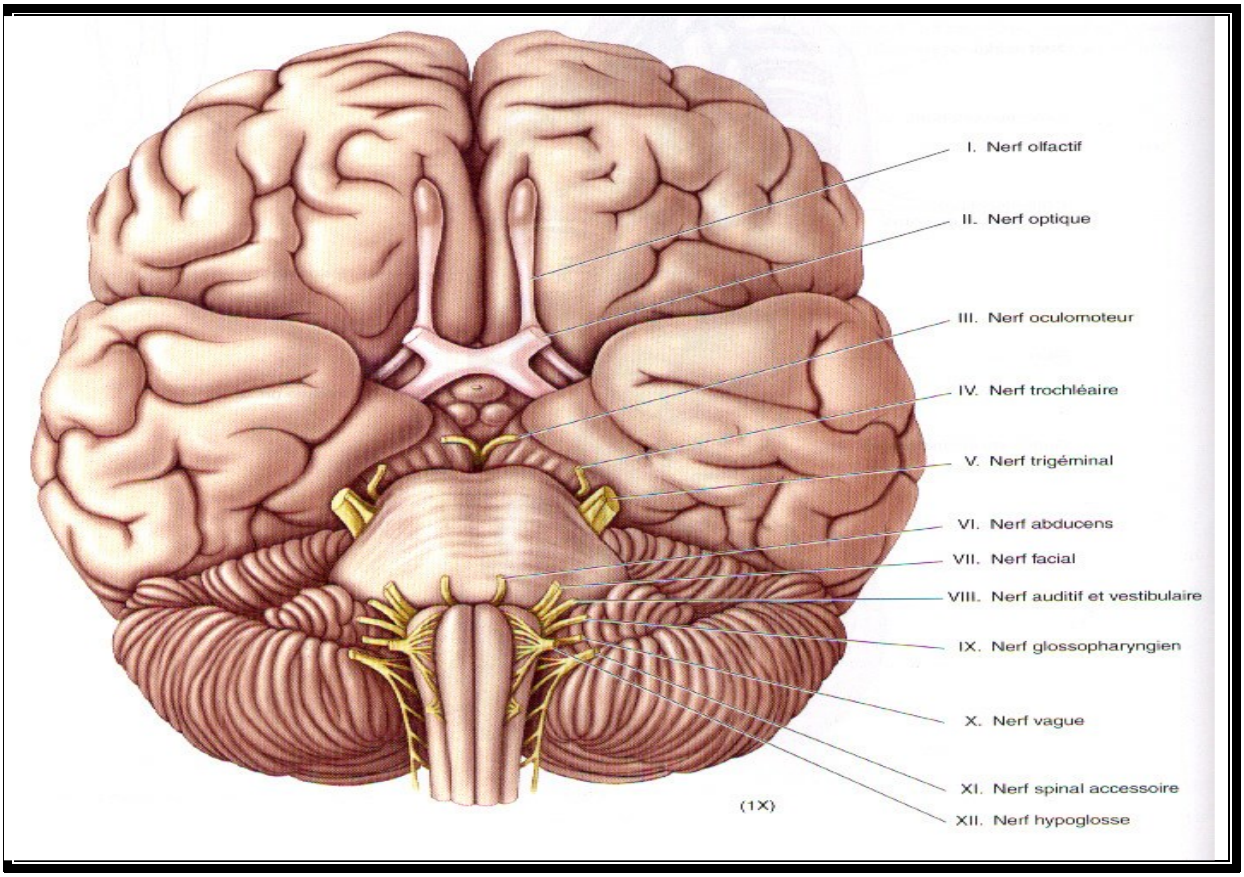


Figure 34 : Emplacement des zones des douze paires de nerfs crâniens

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.

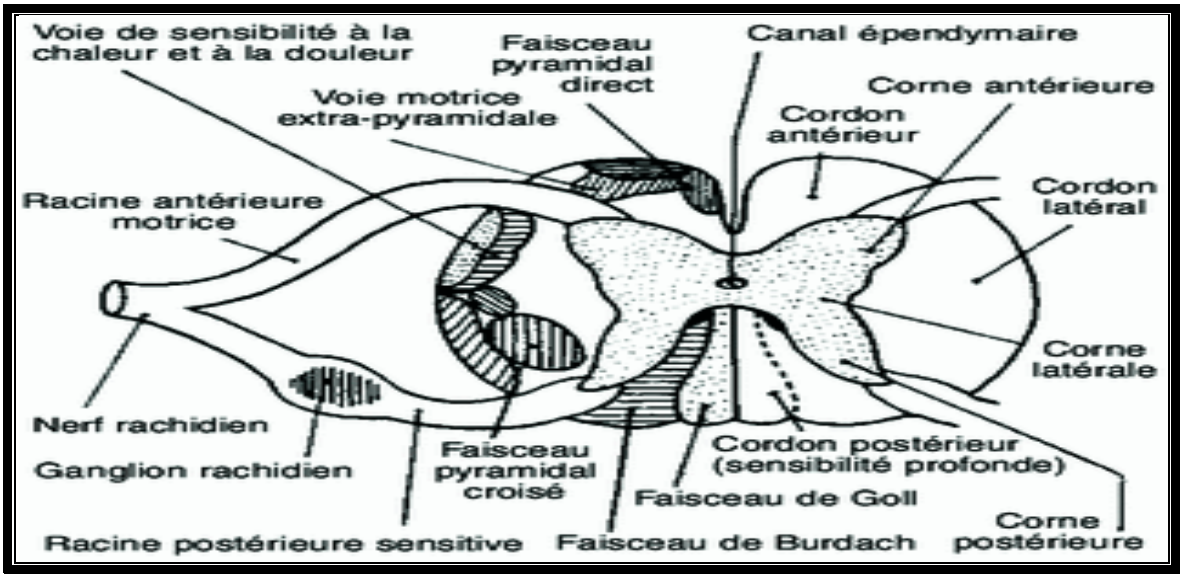


Figure 35 : ME et les deux racines nerveuses

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** (*ganglion*: 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 (interneurones**) : conduisent les influx des neurones sensoriels aux neurones moteurs.

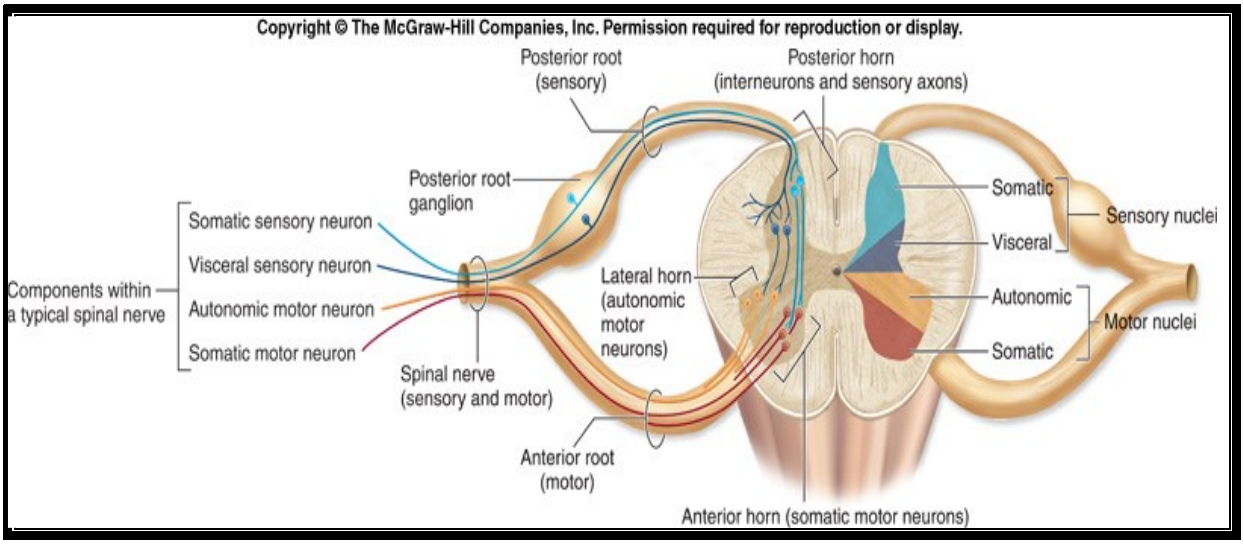


Figure 36 : Types de neurones

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 (microfilaments, 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.**

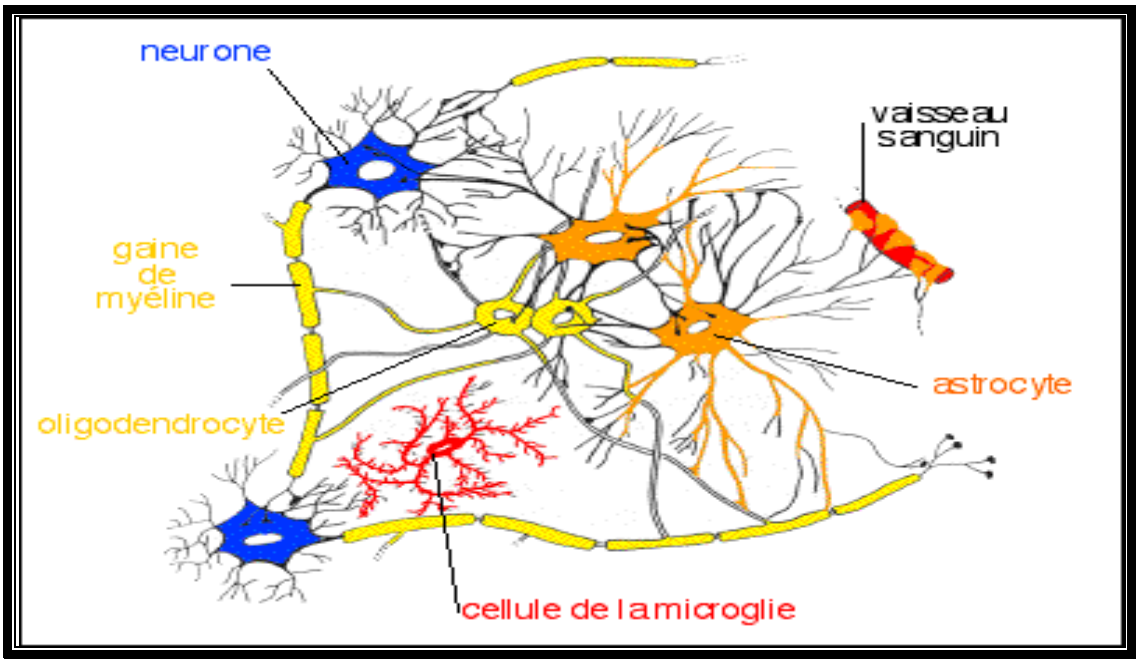


Figure 37 : Les cellules du tissu de soutien du SN

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 intravasculaires. 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 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.

L'ORGANISATION DU SYSTÈME NERVEUX

Le système nerveux est formé de deux sous-systèmes : le **système nerveux central** (**SNC**), qui se compose de l'encéphale et de la moelle épinière, et le **système nerveux périphérique** (**SNP**), qui comprend toutes les parties du système nerveux situées à l'extérieur du SNC. Le SNC intègre toutes sortes de messages sensoriels afférents (entrants). Il est en outre le siège des pensées, des émotions et des souvenirs. La plupart des influx nerveux qui provoquent la contraction des muscles et l'activité sécrétrice des glandes proviennent du SNC. Le SNP comprend les nerfs crâniens et les nerfs spinaux de même que leurs ramifications respectives, ainsi que les ganglions et les récepteurs sensoriels.

Le SNP se subdivise en trois parties : le système nerveux dit *somatique* (SNS) (*sôma* : corps), le système nerveux dit *autonome* (SNA) (*autonomos* : qui se régit par ses propres lois) et le système nerveux entérique (SNE) (*enteron* : intestin).

Le **système nerveux somatique** (**SNS**) se compose de deux types de neurones : 1) des neurones sensitifs qui transmettent au SNC l'information provenant des récepteurs sensoriels somatiques de la tête et de la peau ainsi que des propriocepteurs situés dans les articulations et les muscles, mais aussi l'information provenant des récepteurs sensoriels spécialisés de la vue, de l'ouïe, du goût et de l'odorat ;

2) des neurones moteurs qui acheminent les influx depuis le SNC jusqu'aux *muscles squelettiques* seulement. Étant donné que les réponses motrices ainsi produites peuvent être régies consciemment, l'activité de cette partie du SNP est dite *volontaire*.

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).

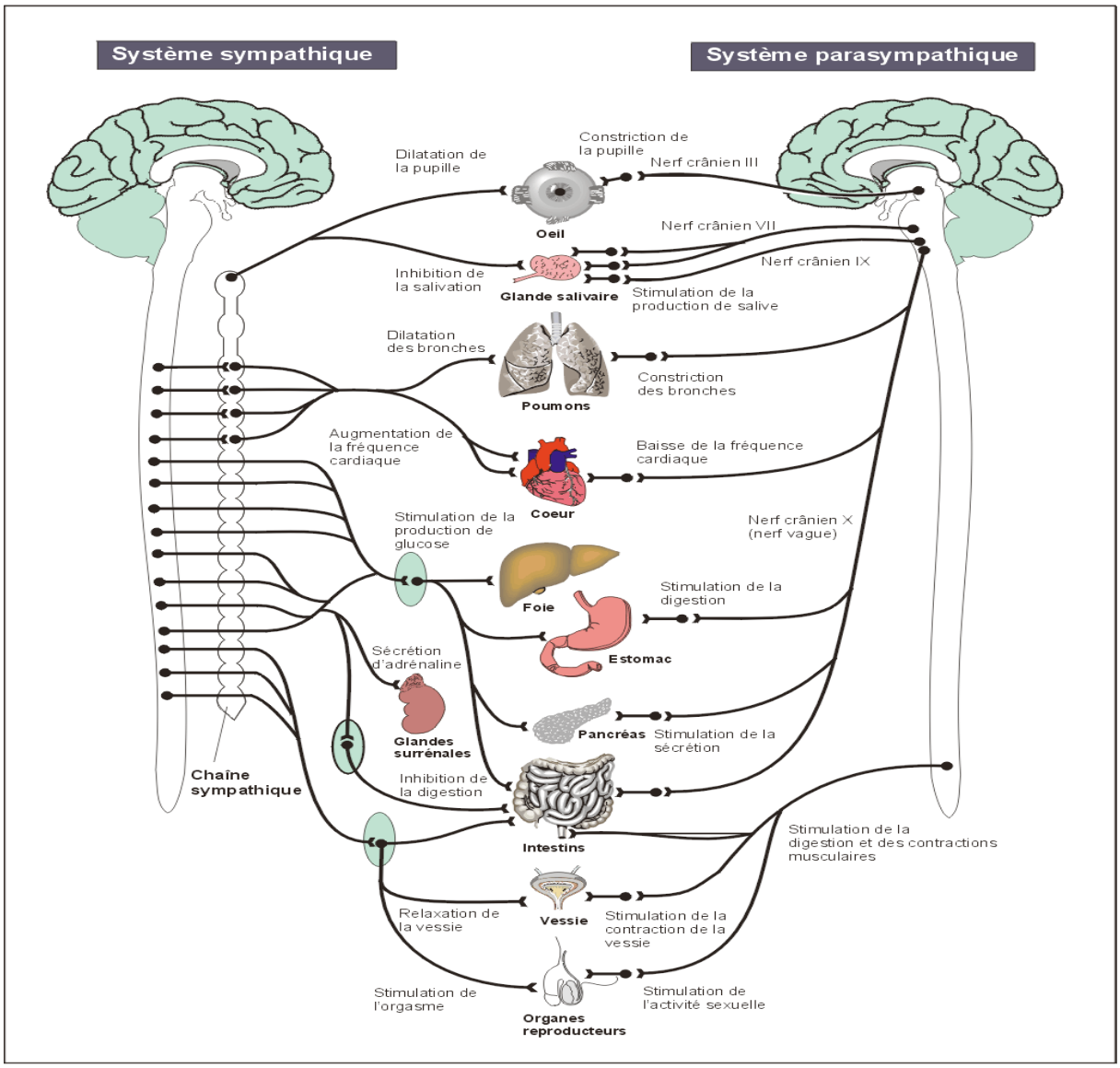


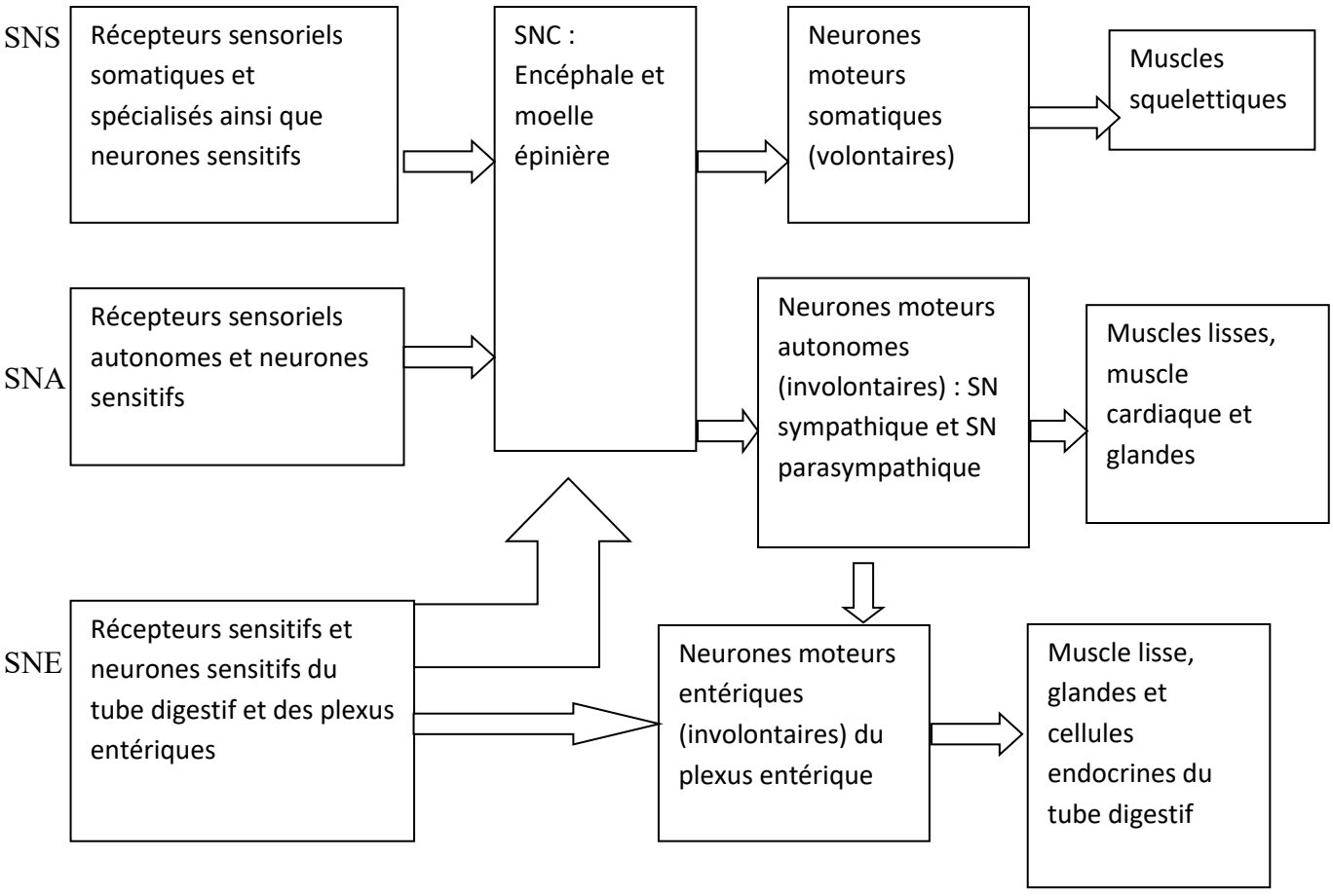
Figure 38 : Le SNA (Sympathique et Parasympathique).

Le **système nerveux entérique** (**SNE**) constitue en quelque sorte « le cerveau de l'intestin ». Son activité est involontaire.

Autrefois considéré comme une composante du SNA, le SNE comprend environ 100 millions de neurones, situés dans les plexus entériques, qui s'étendent sur presque toute la longueur du tube digestif. Un grand nombre de neurones des plexus entériques fonctionnent de manière relativement indépendante du SNA et du SNC; ils communiquent néanmoins avec le SNC par l'intermédiaire de neurones sympathiques et parasympathiques.

Les neurones sensitifs du SNE détectent les modifications de la valeur de facteurs contrôlés – tels que la valeur du pH – à la suite des changements chimiques qui se produisent dans le tube digestif, ainsi que l'étirement de ses parois à la suite de l'arrivée des aliments.

Les neurones moteurs entériques régissent la contraction des muscles lisses (qui font avancer les aliments dans le tube digestif), les sécrétions des organes digestifs (notamment la sécrétion d'acide par l'estomac) et l'activité des cellules endocrines du tube digestif (qui sécrètent des hormones).



I. 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.

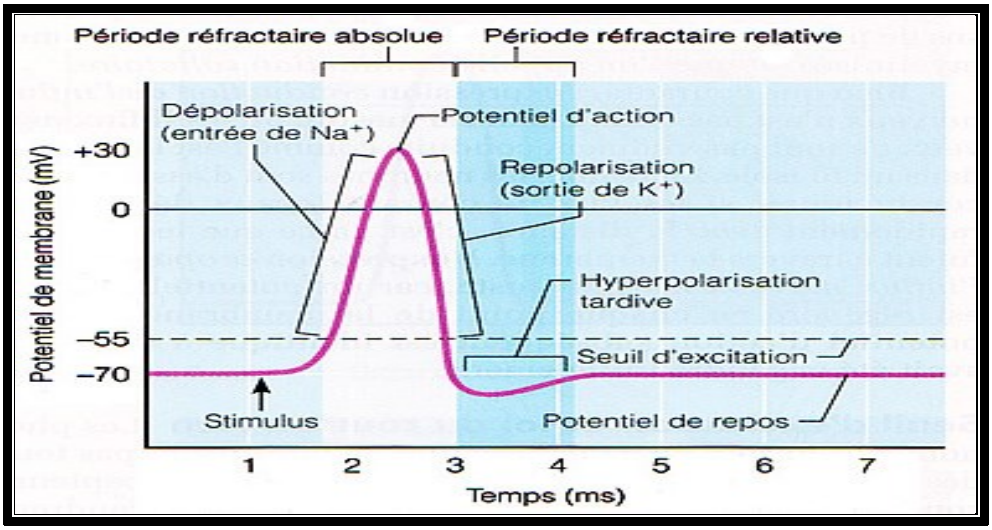


Figure 39: Potentiel d'action

5.1. GENERALITES

Du point de vue physiologique, les **sens** sont les organes de la perception. Les sens et leur fonctionnement, leur classification, et la théorie épistémologique qui soutient leur étude sont des sujets abordés par plusieurs disciplines, principalement les neurosciences, mais aussi la psychologie cognitive (ou science cognitive), et toutes les philosophies ayant trait à la perception.

Il est communément admis, depuis Aristote que l'être humain possèderait cinq sens. En fait, il en possède au moins sept.

La définition la plus largement admise, proposée historiquement par la physiologiste **Bessa Vugo,** est celle qui fait des sens un système de récepteurs, ou cellules sensitives, capable de capter et de traduire plusieurs formes d'énergie (stimuli) et de les transmettre au système nerveux central sous forme d'influx nerveux. Ces influx nerveux, les sensations proprement dites, sont alors interprétés par l'encéphale, pour en permettre la perception. L'influx nerveux est ensuite codé sous forme de potentiels d'actions et l'information transmise à des régions spécialisées du cerveau. Selon le type de stimulation, les centres de traitement du cerveau diffèrent. Il existe en effet une zone spécialisée dans le traitement des stimuli olfactifs, visuels, tactiles, etc.

Il n'y a pas d'accord véritable des neurophysiologistes sur le nombre exact de sens chez l'humain et les autres animaux. La multiplicité des rapports entre le monde sensible et le monde intelligible laisse augurer des difficultés rencontrées dans la recherche d'une définition précise. Une définition largement répandue et réductrice sous-entend le monde sensible comme restreint à cinq sens : **goût, odorat, ouïe, vue et toucher.**

1- L'ouïe nous permet d'entendre. Les organes de l'ouïe sont les oreilles. Celui qui n'entend pas est sourd, il est atteint de surdité.

2- La vue nous permet de voir. Les organes de la vue sont les yeux. Celui qui ne voit pas est aveugle, il est atteint de cécité.

3- L'odorat nous permet de sentir. L'organe de l'odorat est le nez. Celui qui ne sent pas est atteint d'anosmie.

4- Le goût nous permet de goûter. L'organe du goût est la langue. Celui qui n'a plus de goût est atteint d'agueusie.

5- Le toucher nous permet de toucher. Les organes du toucher sont les doigts. Celui qui ne peut pas toucher est atteint d'insensibilité.

Mais il est admis que la perception sensorielle des animaux est en fait plus vaste. Pour les mammifères, dont l'Homme**, on peut citer le sens de l'équilibre perçu au moyen des trois canaux semi-circulaires de l'oreille interne,** le sens de la **proprioception** qui nous signale la position relative des membres de notre corps et qui nous permet par exemple (même aveugle ou simplement les yeux fermés) d'amener notre index sur le bout du nez.

Ces sens ne rentrent pas dans les cinq sens couramment connus.

Une discipline controversée, la métapsychique, a proposé à différentes époques, **un sixième sens** qui permettrait la communication entre l'être vivant et d'autres êtres vivants, sans que soient connus les organes de perception, les énergies et mécanismes médiateurs, ou les organes effecteurs, à la source de ces phénomènes.

TYPE DE SENS

Vision

La vision est un processus très complexe qui nécessite la participation de nombreux éléments des yeux et du cerveau. Lorsqu'une personne regarde autour d'elle, les rayons lumineux frappent et se réfléchissent sur les objets qui l'entourent. Ces rayons lumineux, qui cheminent généralement en ligne droite, pénètrent alors dans l'œil et s'infléchissent lorsqu'ils traversent la courbure de la cornée. Ce processus est appelé réfraction. Après cette réfraction, l'entrée de lumière est régulée grâce à l'iris (partie colorée de l'œil) et la pupille (tache noire au cœur de l'iris). Les muscles de l'iris s'adaptent constamment pour réguler la quantité de lumière à laquelle la pupille est exposée. La lumière qui est autorisée à passer à travers la pupille poursuit son chemin et traverse le cristallin, qui fonctionne comme une lentille d'appareil-photo. Le cristallin de l'œil continue d'infléchir les rayons lumineux et les inverse: l'image de l'objet est projetée à l'envers sur la rétine, qui tapisse le globe oculaire et contient les cellules sensorielles de la vision. La rétine est composée de nombreuses cellules photosensibles, appelées **cônes et bâtonnets.** Il y a davantage de bâtonnets, qui ont pour fonction principale la vision en lumière crépusculaire. Les cônes contiennent une substance appelée rhodopsine, responsable de la vision des couleurs et des détails. La rétine transforme l'énergie lumineuse en messages électriques qui sont transmis au cerveau par le nerf optique et le chiasma optique. Le chiasma optique est une structure en forme de X, qui véhicule les messages du côté opposé du cerveau dans les bandelettes optiques. C'est là que les fibres de la moitié nasale de la rétine se croisent pour rejoindre la bandelette optique du côté opposé et se prolonger jusqu'au thalamus. Le thalamus contient des fibres qui servent de relais pour transporter les messages jusqu'au cortex visuel du cerveau, qui se charge de reformer une image tridimensionnelle.

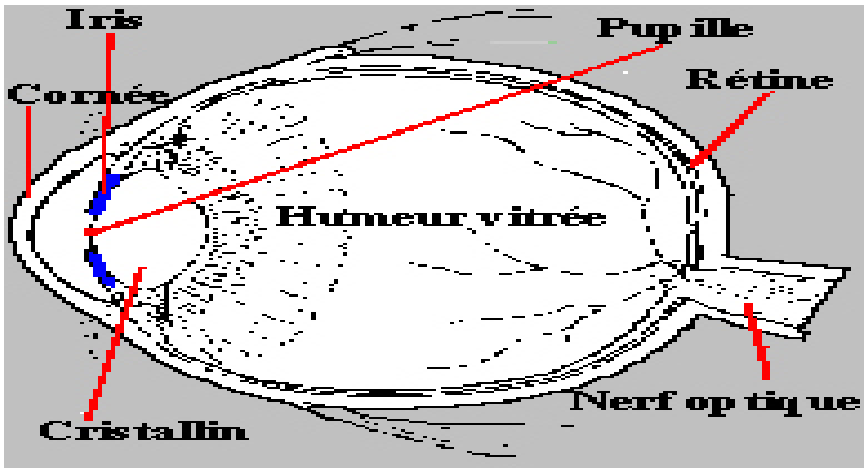


Figure 40 : Les parties de l'œil

La partie la plus importante de l'œil est le globe oculaire qui est le véritable organe de la vue. Le globe oculaire a la forme d'une sphère, et il est formé de trois couches de tissus superposées :

- la sclérotique ;
- la choroïde avec l'iris et la pupille, qui forment ensemble l'uvée ;
- la rétine où se trouvent les cellules nerveuses d'où part le nerf optique.

L'électroception (ou électroréception), le plus signicatif des sens non-humains, est la capacité à détecter les champs électriques. Les humains (et probablement les autres mammifères) peuvent détecter les champs électriques indirectement, par le biais de l'effet qu'ils provoquent sur les poils. Par exemple, un ballon électriquement chargé exercera une force d'attraction sur des cheveux, ce qui peut être senti par le toucher, et être identifié comme provenant d'une charge électrique (et non du vent ou autre chose).

A. Toucher

Le toucher fournit des informations par contact de la peau avec la surface des objets. La peau a deux couches, son épaisseur est de un à quatre millimètres selon les parties du corps. Elle est très élastique, ce qui lui permet une certaine plasticité. C'est par la peau que proviennent les sensations du toucher : tactile (reconnaissance de textures), ou même émotionnelle (sensualité...). La première couche superficielle de revêtement s'appelle « épiderme ». La deuxième couche est une partie profonde où se trouvent les terminaisons nerveuses, elle s'appelle « derme ».

Le toucher chez l'Homme est le sens le plus fondamental qui apparaît vers le troisième mois de la vie utérine : la peau tactile est le premier-né des organes humains et le plus sensible.

Le toucher est probablement le sens le plus indispensable à la survie de l'être humain. Il nous permet le contact avec l'environnement et fonctionne comme un système d'alarme naturel. Sans le toucher, il serait impossible de faire la distinction entre un lieu dangereux et un lieu sûr. Le sens du toucher est dû à la présence de nombreux récepteurs et corpuscules situés sous la peau. Chacun d'entre eux a une tâche particulière et répond à la chaleur, au froid, à la pression ou à la douleur.

Les corpuscules de Pacini sont les plus volumineux de ces organes sensoriels et sont situés dans la partie la plus interne du derme (hypoderme). Ils siègent principalement dans les régions palmo-plantaires et transmettent les informations relatives au tact et à la pression. Ils informent le cerveau des mouvements du corps. **Les corpuscules de Meissner**, en forme d'olive, sont surtout abondants dans la pulpe des doigts et véhiculent les informations relatives au tact: ils informent le cerveau que la peau a été touchée. **Les disques de Merkel** sont des organes plats répartis dans les mêmes régions que les corpuscules de Meissner. Il informe le cerveau lorsque la peau est touchée de façon continue. Les récepteurs certainement les plus mystérieux sont les **corpuscules de Ruffini et de Krause.** Ils sont entourés de tissu conjonctif et de fibres nerveuses. On pense qu'ils servent essentiellement de système d'alarme, car ils sont sensibles au froid, au chaud, à la pression et à la douleur.

La couche la plus externe de la peau, l'épiderme, contient un réseau de terminaisons nerveuses libres, chargées de transformer les informations recueillies par les récepteurs sensoriels en influx nerveux électriques. Les fibres nerveuses qui véhiculent ces informations rejoignent la **moelle épinière**, qui les transmet au **cerveau**, qui se charge de les analyser et de les comprendre. Ce sens remarquable qu'est le toucher nous protège tous les jours des agressions de l'environnement.

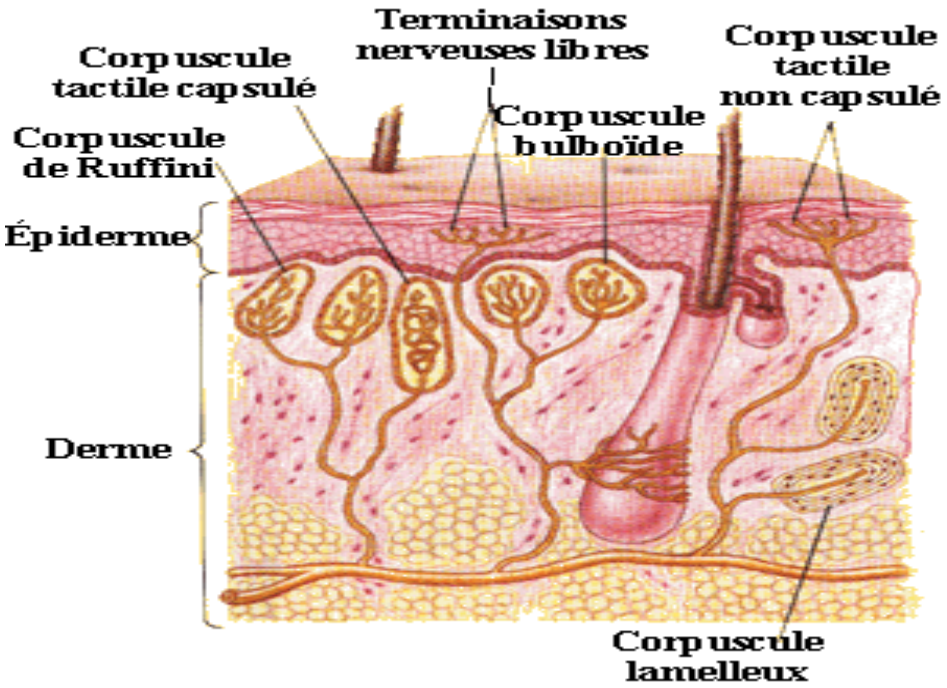


Figure 41 : Les corpuscules de la peau

La thermoception ou thermoréception est le sens de perception de la chaleur et de l'absence de chaleur (froid) par la peau. C'est le premier sens non identifié explicitement par Aristote. En outre il existe des désaccords subsistant quant au nombre de sens consacrés à ce type de perception, étant donné le fait que les thermorécepteurs cutanés diffèrent sensiblement des thermorécepteurs homéostatiques qui permettent un rétrocontrôle de la température interne du corps.

Le principal exemple de réception polymodale est la nociception : c'est la perception des stimulus lésionnels ou potentiellement lésionnels. Elle est associée à la douleur. Elle peut être regroupée en un à trois sens, ceci dépendant de la méthode de classification. Les trois types de nocicepteurs sont :

- les récepteurs cutanés au niveau de la peau.
- les récepteurs somatiques au niveau des articulations et des os.
- les récepteurs viscéraux au niveau des organes viscéraux.

B. Ouïe

L'ouïe ou l'audition est la capacité de percevoir des sons. Elle résulte de la propagation d'ondes longitudinales dans l'atmosphère émises dans une bande de fréquences allant de 20 à 20 000 hertz chez l'Homme (voire jusqu'à 24 000 hertz selon les personnes), puis reçues et adaptées par l'organe de l'audition, l'oreille.

Les sons sont créés par une perturbation dans l'air, appelée vibration. Pour que vous puissiez entendre la télévision ou votre voisin, la vibration doit faire un voyage long et complexe dans votre oreille, jusqu'à votre cerveau.

La partie externe de l'oreille comprend deux parties, le pavillon et le conduit auditif externe. Le pavillon a une forme spécifique permettant de capter et canaliser les vibrations vers l'oreille moyenne ou caisse du tympan. Celle-ci augmente l'intensité des ondes sonores et les transforme en vibrations mécaniques qui peuvent se transmettre à l'oreille interne. La force de ces vibrations provoque le mouvement de trois osselets, les 3 plus petits **os** du corps, présents dans l'oreille moyenne: le marteau, l'enclume et l'étrier. Le mouvement du dernier osselet, l'étrier, transmet les vibrations à travers la fenêtre ovale jusqu'à l'oreille interne, appelée labyrinthe, car elle comporte plusieurs cavités. L'oreille interne contient deux liquides, l'endolymphe et la périlymphe. L'endolymphe contribue au contrôle de l'équilibre, tandis que la périlymphe est chargée de recevoir les vibrations sonores. Lorsque les vibrations atteignent la périlymphe, elles provoquent des ondes de pression correspondant aux ondes sonores. Ces ondes de pression permettent de communiquer les vibrations à la partie la plus délicate et la plus interne de l'oreille humaine, la cochlée. L'oreille interne est située dans un os appelé rocher. Elle a la forme d'un limaçon et contient de nombreuses cellules réceptrices pourvues de cils microscopiques. Les ondes mécaniques font bouger les cils, ce qui active la production d'influx nerveux chargés de transmettre l'information au nerf auditif, jusqu'au cortex auditif du **cerveau.** C'est à ce niveau que les vibrations sont finalement reconnues et perçues comme des sons. Ce long processus se produit des milliers de fois tous les jours en une fraction de seconde.

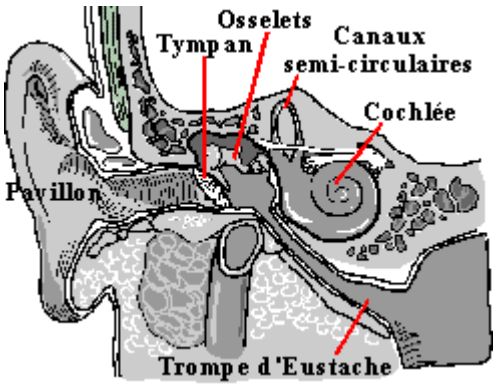


Figure 42 : les éléments constitutifs de l'oreille

Particulièrement développée chez certaines espèces animales telles que les chauves-souris et les cétacés, **l'écholocalisation** est la perception d'un environnement et la localisation d'obstacles à l'aide de l'ouïe, par l'analyse de la réflexion (ou échos) d'ondes sonores ou ultrasonores émises par le sujet.

Certains aveugles utilisent l'écholocation pour se déplacer dans leur environnement. Ils émettent des sons, que ce soit en tapant avec leur canne, en tapant du pied ou en produisant des clics avec leur bouche.

C. Proprioception

La proprioception est la perception du corps, à laquelle les gens ont fréquemment recours sans savoir qu'elle existe.

Plus facilement démontrée qu'expliquée, la proprioception est la perception « inconsciente » de l'endroit où se trouvent les différentes parties du corps, et ce à chaque instant (ceci peut être démontré à une personne en lui demandant d'effectuer un mouvement quelconque, comme celui de lever la main, alors qu'elle a les yeux fermés ; la personne en question aura, à chaque instant du mouvement effectué, la connaissance de l'endroit où se trouve la partie du corps déplacée, en l'occurrence sa main ; cette connaissance est permise par la proprioception, puisqu'en principe les autres sens ne peuvent être renseignés à son sujet). Le muscle strié est pourvu de deux organes perceptifs dédiés à la perception du tonus musculaire (ou toniception qui fait partie de la proprioception) : l'organe tendineux de Golgi et le fuseau neuro-musculaire dont le rôle est d'évaluer la tension du muscle dans lequel ils sont inclus.

D. Équilibrioception

Le sens de l'équilibre est principalement lié au système vestibulaire de l'oreille interne. Pour faire simple, les cellules réceptrices ont des cils situés dans une cavité remplie de liquide. Lorsque le liquide bouge sous l'effet d'un changement d'orientation de la tête ou sous l'effet d'une accélération, les cils bougent et les cellules transmettent un signal au système nerveux, renseignant sur les caractéristiques du mouvement.

E. Goût

Comment pouvons-nous déguster les aliments? L'anatomie de la langue plus en détails, est composée de *nombreux* organes sensoriels, appelées papilles, dispersés sur sa surface. On regroupe les papilles d'après leur forme: papilles caliciformes, foliées ou fongiformes. Les bourgeons du goût se trouvent sur les papilles. Ils sont composés de nombreuses cellules, qui se régénèrent tous les 10 à 14 jours. Ils contiennent les récepteurs gustatifs permettant de discerner les quatre saveurs fondamentales: ***le sucré, l'acide (ou aigre), le salé et l'amer***. **Les papilles caliciformes s**ont regroupées et forment un "V" à l'arrière de la langue. Elles sont sensibles ***à l'amer et à l'acide***. Les **papilles foliées** sont situées sur les bords de la langue, derrière les papilles caliciformes. Elles sont sensibles à ***l'acide.*** Les **papilles fongiformes** sont les plus abondantes, elles couvrent la pointe de la langue et sont sensibles au ***sucré et au salé***. Il convient de remarquer que la bouche et la gorge contiennent également des cellules sensorielles qui participent à l'élaboration du goût.

L'anatomie des bourgeons du goût permet de mieux comprendre les mécanismes du signal gustatif. Certaines cellules fonctionnent comme des récepteurs sensoriels qui transmettent au cerveau les informations chimiques correspondant aux caractéristiques gustatives des aliments présents dans la bouche. Chaque cellule réceptrice a une forme unique, qui répond à un type de signal chimique donné. Les signaux émis par les récepteurs gustatifs sont véhiculés principalement par trois nerfs crâniens. Ils sont transmis jusqu'au **système nerveux central**, où des régions du cerveau décodent l'information chimique et la traduit en sensation gustative. Il importe également de remarquer que la vue et l'odorat participent également, de façon indirecte, à l'élaboration du goût.

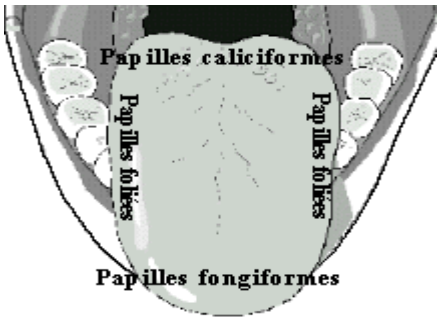


Figure 43 : Les types de papilles gustatives

F. Odorat

Le nez est un organe très sensible qui est capable de percevoir des milliers d'odeurs. L'olfaction est le deuxième des sens après le goût à utiliser une réaction moléculaire donc « chimique ». Selon la théorie physiologique actuellement en vigueur, des configurations spécifiques combinant des centaines de cellules olfactives, sont amenées à réagir à une certaine particularité de la molécule odorante. Si on respire par le nez, l'air passe directement dans la gorge et une toute petite partie arrive alors aux cellules olfactives. Ces cellules vont transmettre des impulsions informatives au nerf olfactif qui envoie un signal électrique au cerveau, lui permettant de reconnaître l'odeur par le système olfactif. **Les neurones récepteurs olfactifs diffèrent des autres neurones en cela qu'ils meurent et se régénèrent à intervalles réguliers.**

Comment le corps humain peut-il faire la différence entre l'odeur des gâteaux en train de cuire et l'odeur de brûlé? Autrefois, c'était un grand mystère pour de nombreux chercheurs. C'est ce type de questions qui a amené les chercheurs à s'intéresser davantage à l'origine des odeurs, c'est-à-dire les molécules véhiculées par l'air. La taille des molécules émises par les substances odorantes intervient sur la longueur du trajet qu'elles peuvent accomplir. Les molécules les plus légères voyagent plus vite. On dit qu'elles sont volatiles. Lorsqu'elles pénètrent dans le nez, ces molécules vont atteindre un tissu appelé "membrane olfactive". La membrane olfactive est une région très petite située au sommet de la cavité nasale. Cette membrane est composée de tissu jaune-gris et couverte d'un épais mucus et contient de nombreuses cellules réceptrices. On suppose que chaque type de cellule réceptrice est sensible aux dimensions d'une molécule particulière. Dès qu'une molécule se fixe sur le récepteur qui lui correspond, elle déclenche la formation d'un influx nerveux. L'influx nerveux chemine

jusqu'au cerveau par l'intermédiaire d'un os très fin appelé lame criblée, derrière lequel se trouvent les bulbes olfactifs, premier relais avec le cerveau. Ces derniers contiennent de nombreuses structures appelées glomérules. La fonction principale de ces structures est de distribuer les influx nerveux convergents au cerveau de façon ordonnée. Au niveau du cerveau, les influx sont dispersés dans différentes régions qui analysent et décodent ces influx et permettent la perception de l'odeur. Les scientifiques ont déterminé que le cerveau humain peut identifier des milliers d'odeurs différentes. L'odorat est donc l'une des fonctions les plus remarquables du corps humain. Comment le corps humain peut-il faire la différence entre l'odeur des gâteaux en train de cuire et l'odeur de brûlé? Autrefois, c'était un grand mystère pour de nombreux chercheurs. C'est ce type de questions qui a amené les chercheurs à s'intéresser davantage à l'origine des odeurs, c'est-à-dire les molécules véhiculées par l'air. La taille des molécules émises pas les substances odorantes intervient sur la longueur du trajet qu'elles peuvent accomplir. Les molécules les plus légères voyagent plus vite. On dit qu'elles sont volatiles. Lorsqu'elles pénètrent dans le nez, ces molécules vont atteindre un tissu appelé "membrane olfactive". La membrane olfactive est une région très petite située au sommet de la cavité nasale. Cette membrane est composée de tissu jaune-gris et couverte d'un épais mucus et contient de nombreuses cellules réceptrices. On suppose que chaque type de cellule réceptrice est sensible aux dimensions d'une molécule particulière. Dès qu'une molécule se fixe sur le récepteur qui lui correspond, elle déclenche la formation d'un influx nerveux. L'influx nerveux chemine jusqu'au cerveau par l'intermédiaire d'un os très fin appelé lame criblée, derrière lequel se trouvent les bulbes olfactifs, premier relais avec le cerveau. Ces derniers contiennent de nombreuses structures appelées glomérules. La fonction principale de ces structures est de distribuer les influx nerveux convergents au cerveau de façon ordonnée. Au niveau du cerveau, les influx sont dispersés dans différentes régions qui analysent et décodent ces influx et permettent la perception de l'odeur. Les scientifiques ont déterminé que le cerveau humain peut identifier des milliers d'odeurs différentes. L'odorat est donc l'une des fonctions les plus remarquables du corps humain.



Figure 43 : Les bulbes olfactifs

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Abed N**. Homéostasie du milieu intérieur.** Support de cours, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université des Frères Mentouri –Constantine 1, 42p.
2. Conu M.H. Bérézowski V, Durez P, Lnglet C, Mariot P, Pétrault O. **Cours de Physiologie humaine.** Sciences de la Vie, STAPS, Santé, 3è Edition, Dunod, 2016, 2021, 2025. 11 rue Paul Bert, 92240 Matakof, ISBN 978-2-10-087276-3.
3. Sherwood L. **Physiologie humaine.** 3è Edition, de boeck, Fond Jean Pâques, 4-1348 Louvain-la-Neuve, 2015, ISBN 978-8-8041-8996-9 ? 38p.
4. Brahim A. C. **Cours de Physiologie des grandes fonctions.** Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université d'Oran Mohamed Boudiaf, 104p.
5. Zayed J, Panisset M, Mergler D (2003). **Système nerveux. In :** Environnement et Santé publique-Fondements et Pratique, pp 669-712. Gérin M, Gosselin P, Cordier S, Viau C, Quénel P, Dewailly E, rédacteurs. Edissen/Jec &Doc, Acton Vale/Paris.
6. Kohler C. **Les organes de sens.** Collège Universitaire et hospitalier des biologistes, embryologistes, cytologistes et cytogénéticiens, 2020-2021, 21p.
7. Rouvière, H., & Delmas, A. (2002). **Anatomie humaine : Descriptive, topographique et fonctionnelle** (15e éd., Tomes 1-5). France : Editions Masson.
8. Kamina, P. (2006). **Anatomie Clinique** (4e éd., Tomes I-V). France : Editions Maloine.
9. Moore, K. L., Agur, A. M. R., Dalley, A. F., & Dhem, A. (2011). **Anatomie médicale : Aspects fondamentaux et applications cliniques** (3e éd.). Belgique : DE BOECK SUP.
10. Drake, R. L., Vogl, A. W., Mitchell, A., Duparc, F., & Duparc, J. (2020). **Anatomie - Le Manuel pour les étudiants** (4e éd.). France : Elsevier Masson
11. Florin A.M. **Le tissu osseux.** Med@TICE-Etudes de Santé. Université Joseph Fourier, Grenoble 1, A U : 2011-2012, 95p.
12. Bayoud K. **Le système tégumentaire.** Département de Pharmacie, Université de Batna1
13. Kayoueche F.Z. **Physiologie du muscle.** Institut des Sciences, Université des Frères Mentouri-Constantine 1, 43p.