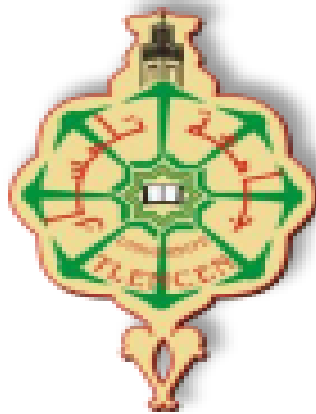


République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Aboubekr Belkaïd Tlemcen
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de la Terre et de l'Univers
Département de Biologie



Cours de physiologie des grandes fonctions
Destiné aux étudiants de la 3^{ème} année Licence génétique
Domaine sciences de la nature et de la vie
Filière sciences biologiques

Dr. Djamila MERGHACHE

Novembre 2023

Intitulé de la Licence : Génétique

Semestre : 6

Intitulé de l'UE : Unité Fondamentale 2

Intitulé de la matière : Physiologie des grandes fonctions

Crédits : 6

Coefficients : 3

Objectifs de l'enseignement

Ce programme est basé sur les fondements de la physiologie des grandes fonctions, l'organisation générale de l'organisme humain, le fonctionnement physiologique normal,

Connaissances préalables recommandées

Bonnes connaissances en biochimie, biologie cellulaire et biologie animale.

Contenu de la matière

Matière : Physiologie des grandes fonctions

Crédits : 6

Coefficient : 3

Contenu de la matière:

Chapitre I : Sang et milieu intérieur

Chapitre II : Circulation

Chapitre III : Respiration

Chapitre IV : Digestion

Chapitre V : L'excrétion rénale

Chapitre VI : Le système nerveux

Chapitre VII : Le système musculaire

Table des matières

Introduction	01
Chapitre 1 : Le sang et le milieu intérieur	03
I. le milieu intérieur	04
1. Définition du milieu intérieur	04
2. Les compartiments du milieu intérieur	04
2.1. Le sang	04
2.2. La lymphe	04
2.3. Le liquide interstitiel	05
3. Fonction du milieu intérieur	06
II. Le sang	06
1. Définition	06
2. Fonction	06
2.1. Transport	06
2.2. Régulation	07
2.3. Protection	07
3. Principaux composants du sang	07
3.1. Plasma	07
- coagulation sanguine	08
3.2. Les éléments figurés du sang (les cellules sanguines)	10
3.2.1. Les globules rouges (hématies, érythrocytes)	10
3.2.2. Les plaquettes (thrombocytes)	11
a. Causes des déséquilibres des taux des plaquettes sanguines	12
3.2.3. Les globules blancs (leucocytes)	13
a. Définition	13
b. Localisation	13
c. Classification	13
4. Hématopoïèse	16
4.1. Sites de l'hématopoïèse	18
4.1.1. Avant la naissance	18
4.1.2. Après la naissance	18
5. Examen du sang	18

5.1. L'hémogramme	19
5.1.1. Automate	20
5.1.2. Le frottis sanguin	20

Chapitre 2 : La circulation 22

I. La circulation sanguine	23
1. définition	23
2. Types de circulation sanguine	24
2.1. La petite circulation	24
2.2. La grande circulation	25
2.3. Les organes de la circulation sanguine	25
2.3.1. Le cœur	25
2.3.2. Les vaisseaux sanguins	27
a. Les artères	27
b. Les veines	28
c. Les capillaires sanguins	29
II. La circulation lymphatique	30
1. Les constituants du système lymphatique	31
1.1. La lymphe	31
1.2. Les lymphocytes	31
1.3. Les vaisseaux lymphatiques	31
1.4. Les ganglions lymphatiques	32
1.5. La rate	33
1.6. Le thymus	33
1.7. Les amygdales	33
1.8. Les Végétations adénoïdes	33
1.9. La moelle osseuse	33
2. Rôle du système lymphatique	34
III. Comparaison entre le système sanguin et le système lymphatique	34
1. Le passage de la lymphe dans la circulation sanguine	35

Chapitre 2 : La respiration 37

1. Définition	38
2. Structure du système respiratoire	38
2.1. Les voies aériennes	39

2.2. Le parenchyme pulmonaire	40
2.3. La circulation pulmonaire	41
3. Déroulement de la respiration	41
4. Mécanisme de respiration	42
5. Régulation pulmonaire du pH	43
Chapitre 4 : la digestion	
I. Anatomie de l'appareil digestif	46
1. Digestion	47
1.1. Phase buccale et œsophagienne	47
1.1.1. Sécrétions salivaires	47
1.1.2. Composition et rôle de la salive	48
1.1.3. Mastication	48
1.1.4. La déglutition	48
1.1.5. Rôles de l'œsophage	49
1.2. La phase gastrique de la digestion	49
1.2.1. Rôles de l'estomac	50
1.3. La phase intestinale	52
1.3.1. Anatomie fonctionnelle de l'intestin grêle	52
2. Absorption	53
3. Le côlon	54
Chapitre 5 : L'excrétion rénale	
1. Cible de l'excrétion	56
2. Appareil excrétoire	57
3. Rôles des reins	57
4. Excrétion rénale	58
4. 1. La filtration glomérulaire	58
4. 2. La réabsorption tubulaire	59
4. 3. La sécrétion tubulaire	60
Chapitre 6 : Le système nerveux	
1. Le système nerveux	62
1.1. Le système nerveux central (névraxe)	63
1.2. Le système nerveux périphérique	63
1.2.1. Le système nerveux somatique	63
1.2.2. Le système nerveux autonome (végétatif)	65

2. Le tissu nerveux	65
2.1. Les neurones (les cellules nerveuses)	68
2.1.1. Structure du neurone	68
a. les dendrites	69
b. l'axone	69
2.1.2. Types de neurones	70
2.2. Les cellules gliales	71
2.2.1. Les astrocytes	71
2.2.2. Les oligodendrocytes	71
2.2.3. Les microglies	72
2.2.4. Les épendymocytes	72
2.3. Le potentiel d'action	72
3. Les synapses	74
3.1. Les synapses chimiques	74
3.2. Les synapses électriques	75
4. Excitabilité du neurone	76
5. La fonction neuromusculaire	76
Chapitre 7 : Le système musculaire	
I. généralités sur le muscle	79
1. Terminologie	79
2. Définition	79
3. Les fonctions du tissu musculaire	79
4. Les caractéristiques du tissu musculaire	80
II. types de muscles.....	80
1. Le muscle lisse	82
2. Muscle strié squelettique	82
3. Le muscle strié cardiaque	84
4. organisation structurale des myofibrilles	84
III. Mécanisme de la contraction musculaire	85
1. Mécanisme moléculaire de la contraction musculaire	85
2. Énergie de la contraction musculaire	86
Conclusion	88
Références bibliographiques	90

Liste de figures

Figure N° 1	Les constituants du milieu intérieur	05
Figure N° 2	L'organisation des constituants du milieu intérieur	05
Figure N° 3	La composition du sang	08
Figure N° 4	La coagulation du sang	09
Figure N° 5	le processus d'hémostase	09
Figure N° 6	Le mécanisme de coagulation sanguine	10
Figure N° 7	Les érythrocytes	11
Figure N° 8	Les plaquettes sanguines	12
Figure N° 9	Les granulocytes	14
Figure N° 10	Les monocytes	16
Figure N° 11	Les deux lignés hématopoïétiques	17
Figure N° 12	Les mécanismes d'hématopoïèse	17
Figure N° 13	Automate d'hématologie	19
Figure N° 14	Préparation du frottis sanguin	20
Figure N° 15	Frottis sanguin	21
Figure N° 16	La petite circulation	24
Figure N° 17	Schéma de la petite et la grande circulation	25
Figure N° 18	Vue antérieure du thorax	26
Figure N° 19	Coupe longitudinale dans le cœur	26
Figure N° 20	Trajet parcourus par le sang dans le cœur	27
Figure N° 21	L'arbre artériel et l'aorte	28
Figure N° 22	Les veines et les veines caves	29
Figure N° 23	Le système circulatoire capillaire	30
Figure N° 24	Les constituants du système lymphatique	30
Figure N° 25	Les organes du système lymphatique	31
Figure N° 26	Structure d'un ganglion lymphatique	32
Figure N° 27	La moelle osseuse	34
Figure N° 28	Schéma explicatif de l'organisation de la circulation sanguine et lymphatique	35
Figure N° 29	Diagramme montrant le passage de la lymphe dans système veineux par les vaisseaux et les canaux lymphatiques	36
Figure N° 30	Coupe longitudinale dans l'appareil respiratoire	38
Figure N° 31	L'appareil respiratoire	39
Figure N° 32	L'arbre pulmonaire (les bronches et les bronchioles pulmonaires).....	40

Figure N° 33	Coupe transversale d'un alvéolaire.....	41
Figure N° 34	Mécanisme de la respiration	42
Figure N° 35	Sac alvéolaire	42
Figure N° 36	Les échanges gazeux entre les alvéoles pulmonaires et les capillaires	43
Figure N° 37	Le système digestif	46
Figure N° 38	les glandes salivaires	47
Figure N° 39	L'œsophage	49
Figure N° 40	Les différentes parties de l'estomac	51
Figure N° 41	Le système intestinal	52
Figure N° 42	Propriétés et histologie de l'intestin grêle. Structures impliquées dans la capacité d'absorption intestinale	53
Figure N° 43	Le système rénal	56
Figure N° 44	Anatomie rénale chez l'Homme	57
Figure N° 45	Structure générale du corpuscule rénal et détails de l'appareil juxta-glomérulaire et des capillaires glomérulaires chez l'Homme	58
Figure N° 46	Anatomie du néphron (A) (Lacour, 2013) et glomérule	59
Figure N° 47	Le mécanisme de passage à travers la paroi glomérulaire	59
Figure N° 48	Les trois étapes de filtration rénale	60
Figure N° 49	Le système nerveux central (en vert) et système nerveux périphérique	62
Figure N° 50	Organisation du contrôle moteur	63
Figure N° 51	Organisation des systèmes nerveux sympathiques et parasympathiques	64
Figure N° 52	Les neurones pré-ganglionnaires et post-ganglionnaires	67
Figure N° 53	La structure d'un neurone myélinisé	69
Figure N° 54	Ultrastructure d'un neurone	70
Figure N° 55	Classification histologique de quelques types de neurones	71
Figure N° 56	La stimulation neuromusculaire	73
Figure N° 57	La réponse musculaire à une stimulation	73
Figure N° 58	Le mécanisme de propagation du potentiel d'action	73
Figure N° 59	Synapses	74
Figure N° 60	Les synapses chimiques	75
Figure N° 61	Les synapses électriques	76
Figure N° 62	Schéma de jonction neuromusculaire chez la grenouille	77
Figure N° 63	Schéma illustrant les différences structurelles entre les trois types de muscles	80
Figure N° 64	Organisation générale d'un muscle strié	82
Figure N° 65	Ultrastructure de la fibre musculaire striée	83
Figure N° 66	Ultrastructure des myofibrilles	85
Figure N° 67	Métabolisme énergétique de la fibre musculaire	86

Liste des abréviations

CaCl ₂ :	Le chlorure de calcium
CCMH :	Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine
CFU :	Colony Forming Unit
CFU-E :	Colony Forming Unit – Erythrocyte
CFU-GM :	Colony Forming Unit – Granulocyte Macrophage
CSH :	Cellules souches hématopoétiques
CFU-Meg :	Colony Forming Unit – Megacaryocyte
FI :	Facteur de coagulation 1
FSC :	Formule sanguine complète
HCO ₃ ⁻ :	Ion bicarbonate
IgA :	Les immunoglobulines
KCl :	Le chlorure de potassium
LCS :	Liquide cérebrospinal
MgCl :	Le chlorure de magnésium
NaHCO ₃ :	Bicarbonate de sodium
NFS :	Numération et formule sanguine
NK :	Natural killer
SNC :	Le système nerveux central
SNP :	Le système nerveux périphérique
SOS :	Sphincter œsophagien supérieur
SOI :	Sphincter œsophagien inférieur
TCMH :	Teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine
VGM :	Volume globulaire moyen

Avant-propos

Ce polycopié de cours, conforme au programme, s'adresse aux étudiants de 3^{ème} année Licence génétique. Le contenu de ce module est basé sur sept chapitres.

Le premier chapitre s'intéresse au milieu intérieur et au sang, leurs fonctions, compositions, caractéristiques,

Le deuxième chapitre aborde l'appareil circulatoire, à savoir la circulation sanguine (la petite et la grande) et la circulation lymphatique.

Pour le troisième chapitre, nous avons développé la structure du système respiratoire, le déroulement et le mécanisme de la respiration, ainsi que la régulation pulmonaire du pH.

En effet, l'Anatomie de l'appareil digestif et les phases de digestion (buccale et œsophagienne et intestinale) ont été abordés dans le quatrième chapitre.

Le cinquième chapitre s'occupe du processus physiologique du système d'excrétion rénale, le rôle des reins et les trois étapes de l'excrétion rénale.

Au niveau du sixième chapitre, nous avons décrit en détail, le système nerveux (SNC et SNP), le tissu nerveux, les types de cellules nerveuses ainsi que leurs structures et les synapses.

Le dernier chapitre évoque les types et les caractéristiques des muscles dans l'organisme ainsi que les propriétés du mécanisme de contraction des muscles et les sources d'énergie nécessaires pour ce processus.

Introduction

Introduction

Au sein de l'organisme, l'homéostasie est maintenue, en parfait équilibre, d'une manière régulière. Ce processus de régulation par lequel l'organisme sauvegarde les différentes constantes du milieu intérieur entre les limites des valeurs normales, est assurée par le système nerveux et le système endocrinien qui permettent d'identifier et de corriger d'éventuelles perturbations. Tout dysfonctionnement, est perfectionné par un ensemble d'organes (reins, poumons, foie, ...), de tissus (glandes) et de cellules.

En outre, le corps humain est un milieu ouvert qui effectue des échanges continuels avec le milieu extérieur. Ces échanges peuvent constituer en gains ou en pertes de biomolécules. Les cellules, qui sont les principales composantes responsables de ces échanges, doivent maintenir un équilibre dans leur composition chimique et dans certaines caractéristiques physiques.

Pour arriver à une régulation, soit un retour vers l'équilibre dans le corps humain, qui est une étape cruciale, plusieurs éléments peuvent être modifiés :

- Augmentation ou diminution de rythme cardiaque et de rythme de ventilation.
- Dilatation (ouverture) ou constriction (fermeture) des vaisseaux sanguins, pour varier la quantité de sang qui circule dans l'organisme (variation de la pression sanguine).
- Augmentation de la miction (urine) pour éliminer les excès d'eau et de sels.
- Augmentation de la sudation, pour éliminer par la sueur des excès d'eau et de sels en plus de diminuer la température corporelle.
- Augmentation des contractions par les muscles pour produire de la chaleur.
- Augmentation ou diminution de la faim ou de la soif.

D'un point de vue moléculaire, la cellule assimile des molécules endogènes et/ou exogènes qui sont apportées par le système cardiovasculaire et libère, par la suite, des déchets métaboliques qui seront éliminés par le biais du système excrétoire.

Chapitre 1 : Le sang et le milieu intérieur

I. le milieu intérieur

L'organisme vivant se caractérise par un état de stabilité apparente. Cette stabilité révèle :

- un fonctionnement parfaitement coordonné des organes.
- Une intervention permanente de plusieurs mécanismes régulateurs corrigeant les inévitables perturbations liées à ce fonctionnement.
- Chez les organismes pluricellulaires, les cellules baignent dans un environnement liquide, s'interposant entre le milieu extérieur proprement dit et le milieu intracellulaire.
- L'environnement liquide est appelé aussi *milieu intérieur*

1. Définition du milieu intérieur

Le sang (plasma), le liquide interstitiel et la lymphe forment le milieu intérieur. Donc il regroupe les différents liquides de l'organisme (Figure N°1).

2. Les compartiments du milieu intérieur

Le milieu intérieur est le milieu de vie de toutes les cellules. Il est composé du sang et de la lymphe (la lymphe **interstitielle** (liquide interstitiel) et la lymphe **circulante**) (Figure N°2).

2.1. Le sang

Le sang est constitué d'une partie solide figurée par les cellules (les hématies, les leucocytes, et les thrombocytes), baignant dans un liquide : le plasma.

2.2. La lymphe

- C'est un liquide biologique blanchâtre et transporté par le système lymphatique (vaisseaux lymphatiques);
- Sa composition est analogue à celle du plasma sanguin sauf protéines;
- Elle contient des globules blancs, notamment des lymphocytes ;
- Dépourvue de globules rouges;
- Elle est plus pauvre en nutriments que le sang et plus riche en déchets;
- Un corps humain moyen contient environ huit à dix litres de lymphe, à comparer à ses cinq litres de sang;

Son débit est relativement faible, de 2 à 4 L/jour (pour comparer le débit sanguin est de 5 L/min).

2.3. Le liquide interstitiel

Le liquide interstitiel ou interstitium a une composition ionique proche de celle du plasma sanguin. Le liquide interstitiel remplit l'espace entre les cellules et les capillaires sanguins. Il facilite les échanges de nutriments et de déchets entre ceux-ci.

Dès qu'il rentre dans un vaisseau lymphatique, il donne naissance à la lymphe (canalisée et interstitielle).

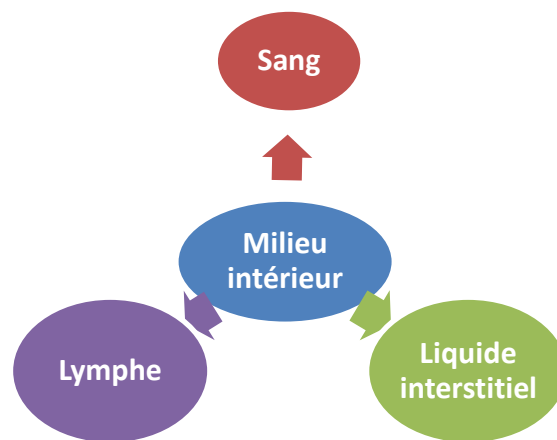


Figure N° 1 : Les constituants du milieu intérieur

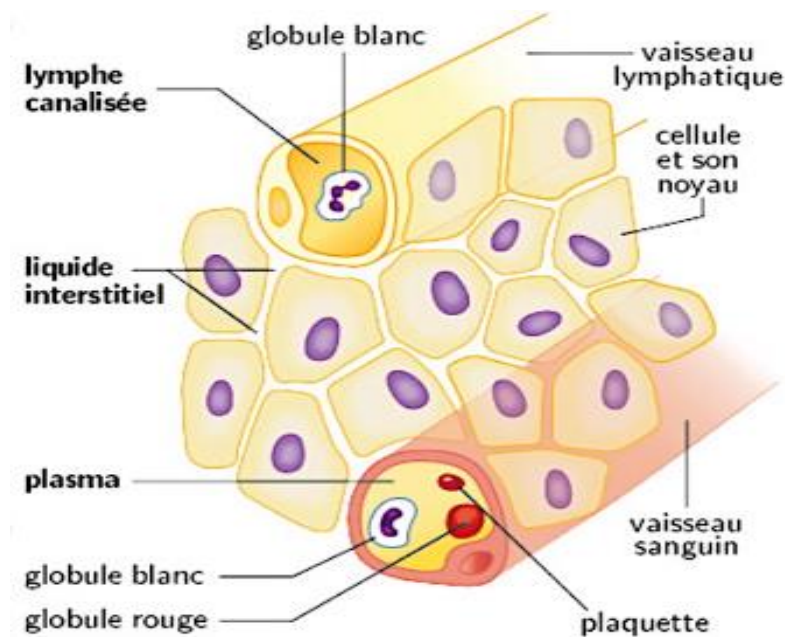


Figure N°2 : L'organisation des constituants du milieu intérieur (Anonyme 1)

3. Fonction du milieu intérieur

En contact direct avec les cellules de l'organisme, la composition du milieu intérieur doit permettre à chaque cellule de prélever les éléments indispensables qui lui sont nécessaires.

De même, c'est dans ce milieu que sont déversés les déchets de l'activité cellulaire, qui sont par la suite, apportés aux sites d'élimination.

Le milieu intérieur constitue le véritable environnement de vie des cellules de l'organisme.

II. Le sang

1. Définition

C'est un liquide biologique vital qui circule continuellement dans les vaisseaux sanguins et le cœur, notamment grâce à la pompe cardiaque.

Le sang est un liquide visqueux et opaque qui représente 7% à 8% du volume corporel (nouveau-né 250ml, adulte 4 à 5 l). Il est composé d'un fluide aqueux, le plasma, et de milliards de cellules, principalement les globules rouges, qui lui donnent sa couleur.

Ce liquide transporte le dioxygène et les éléments nutritifs nécessaires aux processus vitaux de tous les tissus du corps, ainsi que les déchets, tels que le dioxyde de carbone ou les déchets, vers les sites d'évacuation (reins, poumons, foie, intestins).

Le sang riche en O₂ est de couleur rouge vif alors que le sang pauvre en oxygène est de couleur sombre (d'où les codes couleurs bleue et rouge utilisés en anatomie);

Le pH physiologiques est compris entre 7,35 et 7,45 : il est légèrement alcalin ;

Chez l'adulte, c'est la moelle osseuse qui produit les cellules sanguines au cours d'un processus appelé l'hématopoïèse ;

Il permet également d'acheminer les cellules et les molécules du système immunitaire vers les tissus, et de diffuser les hormones dans tout l'organisme.

2. Fonction : plusieurs fonctions sont assurées par le sang, il s'agit du transport, régulation et protection.

2.1. Transport

1. transport des molécules (dioxygène et dioxyde de carbone)
2. transporte les nutriments provenant de la digestion
3. transport des hormones produites par les glandes sécrétrices (endocrines)

4. transporte les déchets produits par les cellules qui constituent l'organisme

2.2. Régulation

Le sang intervient dans la régulation de la température corporelle : **homéotherme** (répartition dans tout l'organisme de la chaleur excédante) et le maintient le pH normal.

2.3. Protection

1. Prévention de l'hémorragie avec formation d'un caillot sanguin formé par les thrombocytes
2. Prévention de l'infection, car le sang transporte leucocytes et anticorps.

3. Les principaux composants du sang

3.1. Le plasma

Le plasma est le liquide clair, de couleur paille sauf après un repas gras ou il prend une apparence laiteuse à cause de la présence de la matière grasse. Dans le plasma baignent les cellules sanguines (90 % eau et 10 % solutés). Il est d'une composition complexe comportant, en milieu aqueux, des protéines avec un taux de 6% (albumine, globulines, fibrinogène, anticorps, ...), des électrolytes (le chlorure de sodium à 0,9%), des glucides, des lipides, des déchets (Urée, lactate, ...), des hormones... (Figure N° 3). Grâce à sa composition et sa teneur élevée en eau, le plasma favorise l'écoulement du sang dans les capillaires.

Le sel majoritaire présent dans le plasma est le chlorure de sodium, en plus petite quantité, on trouve NaHCO_3 , KCl , CaCl_2 , MgCl , ... en plus de leur rôle important dans le potentiel d'action et la pompe à sodium, ces électrolytes agissent comme solvants des protéines du plasma, en favorisant leur déplacement et transport.

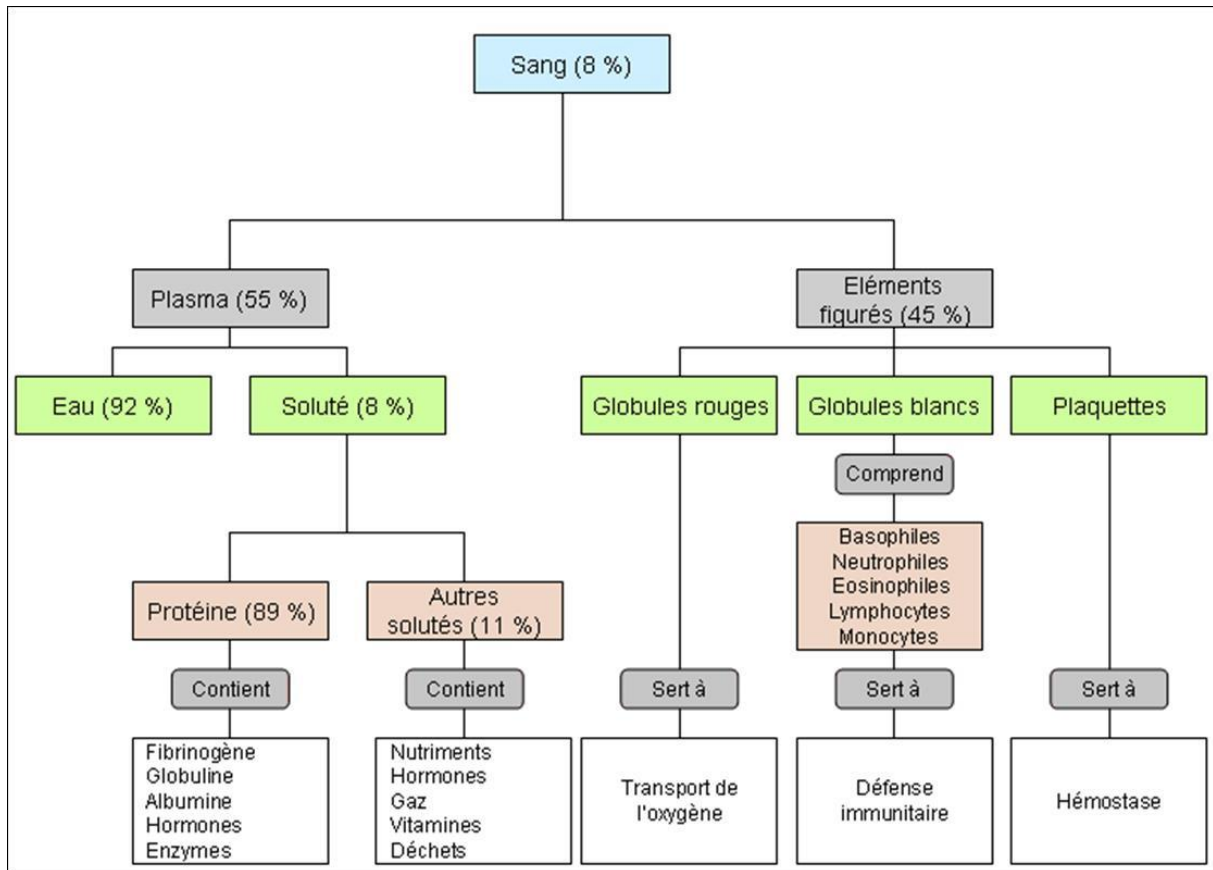


Figure N°3: La composition du sang (Anonyme 2)

- La coagulation sanguine

La coagulation est un phénomène essentiel à la protection du système vasculaire. Elle empêche les saignements excessifs en cas de coupure.

La coagulation doit suivre un équilibre :

- Si elle est insuffisante, elle peut être à l'origine de saignements spontanés (hémorragies).
- Au contraire, lorsque la coagulation est excessive, elle peut être associée à la formation de caillots sanguins. Ceux-ci peuvent voyager à travers les vaisseaux vers le cœur, les poumons ou le cerveau et avoir des conséquences graves (thrombose veineuse profonde, embolie pulmonaire, crise cardiaque, ...) (Figure N°4 et 5).

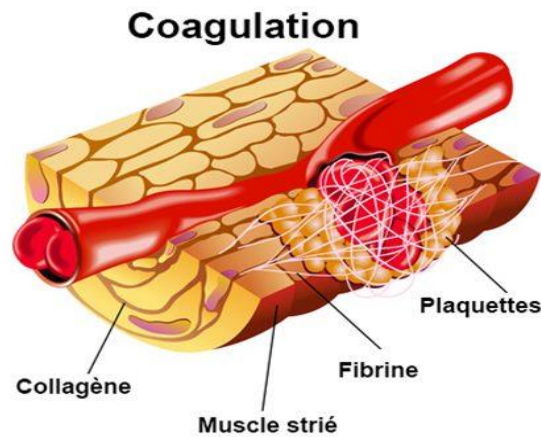


Figure N°4: La coagulation du sang (Anonyme 3)

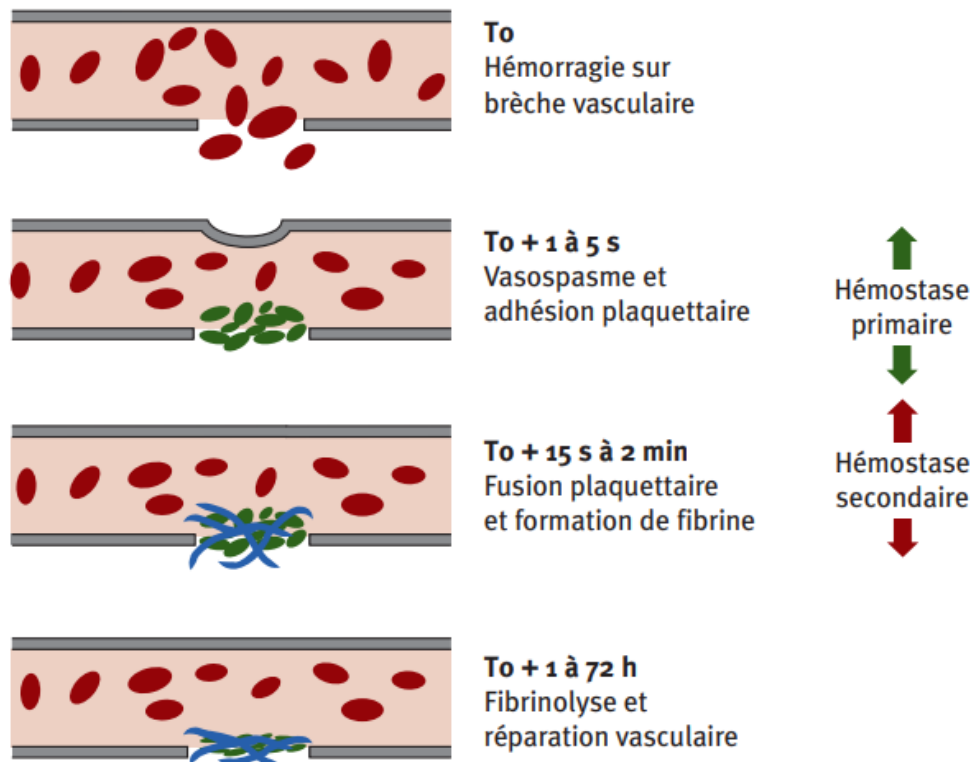


Figure N°5: Le processus d'hémostase (Guyton et Hall, 2023)

Remarque

Le plasma : Il peut être obtenu, après recueil du sang dans un tube avec anticoagulant (hépariné, EDTA, citraté), par sédimentation ou plus rapidement par centrifugation.

Le sérum : Lors de la coagulation sanguine le sang se sépare en un caillot sanguin d'une part et le sérum d'autre part. Le sérum est la partie du plasma qui reste liquide après la coagulation.

Le **fibrinogène** ou « facteur I » (FI : facteur un) est un facteur de la coagulation. C'est une protéine du plasma sanguin qui se transforme en fibrine lors de la coagulation. Ce fibrinogène passera sous forme de fibrine ce qui permettra la coagulation (Figure N° 6).

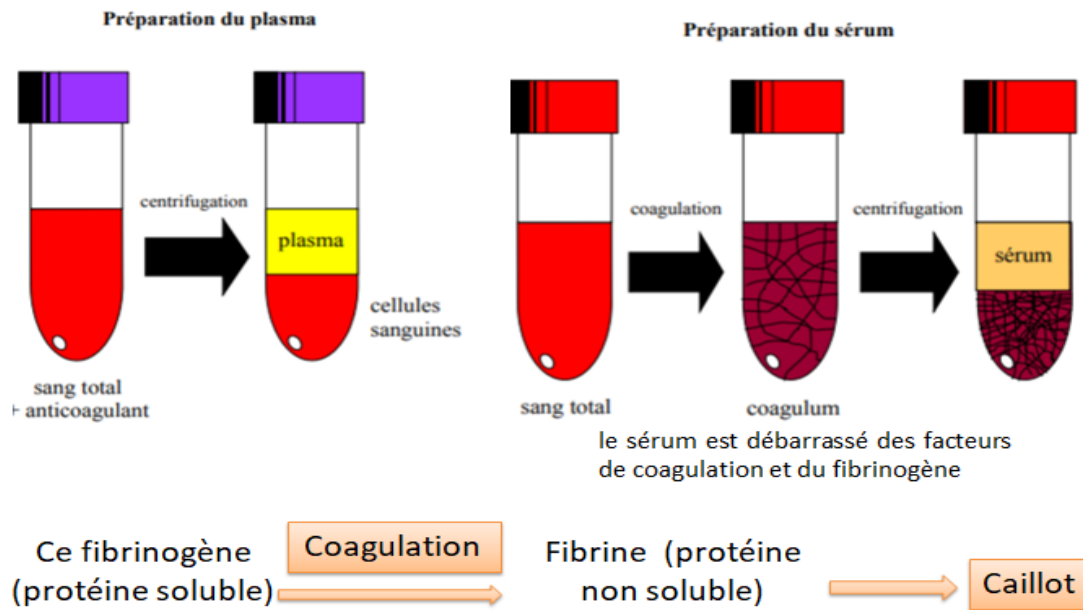


Figure N°6: Le mécanisme de coagulation sanguine

3.2. Les éléments figurés du sang (les cellules sanguines)

3.2.1. Les globules rouges (hématies, érythrocytes)

Ce sont des cellules sanguines indispensables à l'oxygénation de l'organisme. Ils ont une forme de disque biconcave et déformable, avec un diamètre de 7 à 8 μm et une épaisseur de 3 μm . Leur durée de vie moyenne est de 120 jours. Les globules rouges jeunes (réticulocyte) sont riches en ARN. Les hématies les plus âgées sont pauvres en ARN et indéformables (Figure N° 7).

Le vieillissement des hématies se traduit par leur destruction par la rate et le fer sera recyclé (absorption intestinale du fer médiocre).

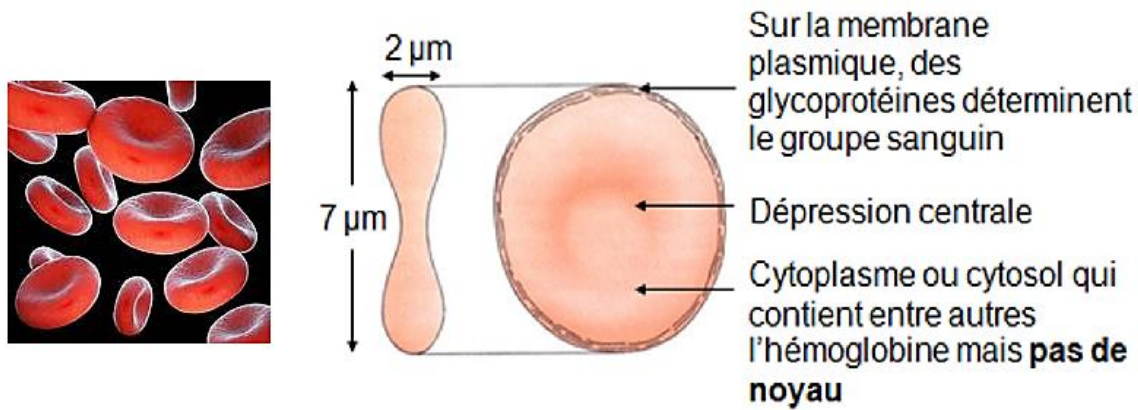


Figure N°7: Les érythrocytes (Anonyme 4)

Les globules rouges sont dépourvus de noyau et d'organites intracellulaires. Il s'agit de sacs saturés en hémoglobine. Ils sont hyperspécialisés dans les fonctions :

- d'échanges gazeux au niveau pulmonaire et tissulaire
- du transport de l'oxygène et du gaz carbonique

L'organisme s'adapte à une demande accrue en O_2 par :

- l'augmentation du débit cardiaque
- l'augmentation du nombre de globules rouges

Remarque

Une diminution du taux d'hémoglobine, est souvent accompagnée d'une réduction du nombre des globules rouges. Cela est peut être le signe :

- ⊕ d'une anémie d'origine centrale (moelle osseuse) ;
- ⊕ d'un cancer, leucémie, ... ;
- ⊕ d'une hémolyse ;
- ⊕ d'une hémorragie ;
- ⊕ d'une carence en fer, anémie inflammatoire.

3.2.2. Les plaquettes (thrombocytes)

Les plaquettes sanguines sont des cellules sans noyau formées dans la moelle osseuse.

Elles jouent un rôle essentiel dans la coagulation car elles forment des agrégats qui vont "boucher" une blessure (coupure, plaie) juste après qu'elle se produise et avant que les autres

facteurs de la coagulation ne se déclenchent. Les plaquettes permettent d'éviter un saignement à l'intérieur du corps.

Les plaquettes ont une forme discoïdale avec un diamètre de 1,5µm et une épaisseur qui varie de 0,5 à 2µm. Leurs taux de production est de $2 \cdot 10^{11}$ plaquettes/24h avec une durée de vie de 9 à 10 jours (Figure N° 8). Les thrombocytes sont ainsi dépourvus de noyaux (anucléés) mais, à l'opposé des érythrocytes, conservent leurs organites (notamment les mitochondries). Le lieu de dégradation des thrombocytes est la rate.

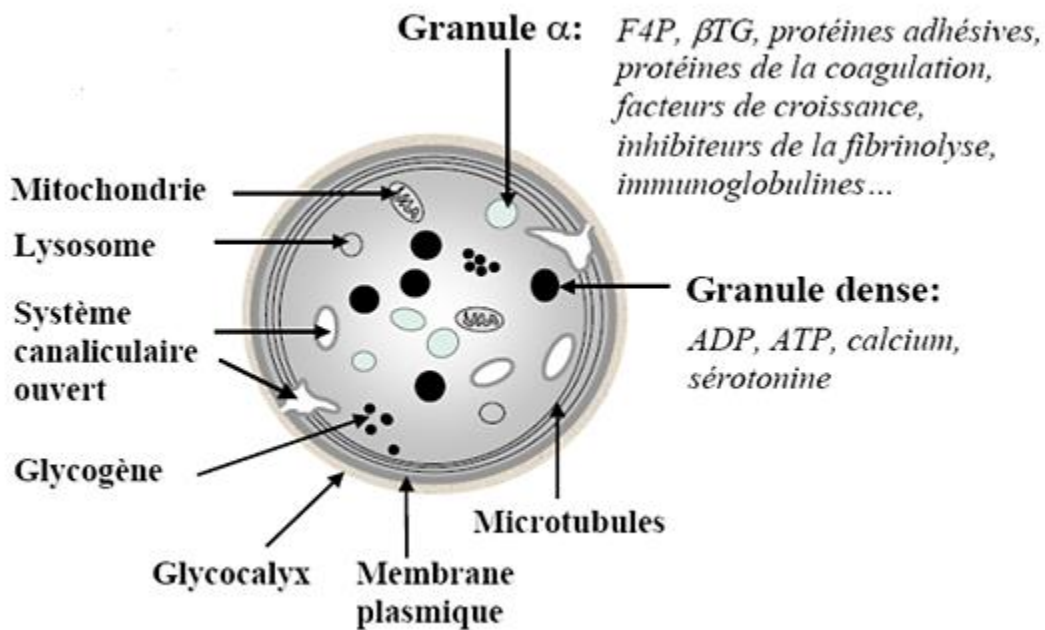


Figure N° 8 : Les plaquettes sanguines (Bouhsane, 2022)

a. Causes des déséquilibres des taux des plaquettes sanguines

- Causes du taux de plaquettes sanguines bas

Le taux des thrombocytes peut être réduit suite à :

- ✿ une destruction plaquettaire souvent observée chez les patients polytransfusés (transfusions répétées de sang).
- ✿ une maladie virale (mononucléose infectieuse, hépatite, varicelle, oreillons, rubéole, etc) ;
- ✿ un purpura néonatal (taches rouges qui apparaissent sur la peau du nouveau-né)
- ✿ une toxo-allergie médicamenteuse (allergie provoquée par des médicaments)

- ✿ une collagénose (ensemble de maladies qui touchent le tissu conjonctif présent dans les muscles, les articulations, le cœur, le système nerveux et l'appareil digestif).

- Causes du taux de plaquettes sanguines élevé

Sous l'influence de certains troubles physiologiques circonstanciels ou pathologiques, le taux de thrombocytes peut augmenter. Il s'agit :

- ✿ d'une splénectomie (ablation de la rate) ;
- ✿ d'une hémorragie massive ou d'une intervention chirurgicale ;
- ✿ de brûlures graves ;
- ✿ de traumatismes.
- ✿ d'un cancer du pancréas, du côlon, de l'ovaire, du rein, des bronches ou de la maladie de Hodgkin (un type de cancer du système lymphatique) ;
- ✿ d'une maladie infectieuse ou bactérienne (comme la tuberculose) ;
- ✿ d'une maladie inflammatoire ;
- ✿ d'une carence en fer chronique.

3.2.3. Les globules blancs (leucocytes)

a. Définition

Les globules blancs, également appelés leucocytes, correspondent à des cellules du système immunitaire. Ils jouent un rôle essentiel dans la lutte contre les infections et les cancers.

b. Localisation

Comme les hématies (globules rouges) et les thrombocytes (plaquettes), les leucocytes peuvent circuler dans le sang. Les globules blancs ont également la particularité d'être présents dans le système lymphatique (lymphe), dans certains tissus conjonctifs et dans certains organes lymphoïdes comme les ganglions ou la rate.

c. Classification

Les leucocytes constituent une grande famille de cellules. En fonction de leur morphologie, celles-ci peuvent être classées en trois groupes distincts :

- **Les granulocytes**

Les granulocytes, représentant entre 40% et 80% des leucocytes présents dans l'organisme, qui regroupent les granulocytes neutrophiles, basophiles et éosinophiles ;

➤ **Les granulocytes neutrophiles**

Ce sont des phagocytes (cellules capables d'avalier et de digérer les antigènes). Ils possèdent des granules qui peuvent être exocytés (déversés hors de la cellule) afin de limiter l'inflammation à l'endroit de l'infection. Les neutrophiles, qui réagissent aux colorants neutres, et qui possèdent une fonction de phagocyte (Figure N° 9).

➤ **Les granulocytes basophiles**

Ce sont des cellules qui attirent les autres globules blancs en déversant l'histamine (protéine impliquée dans la réaction inflammatoire et les allergies) contenue dans leurs granules. Les basophiles, réagissent aux colorants basiques (Figure N° 9).

➤ **Les granulocytes éosinophiles**

Ce sont des granulocytes qui se colorent à l'éosine, et qui combattent les parasites en déversant les enzymes contenues dans les granules (Figure N° 9).

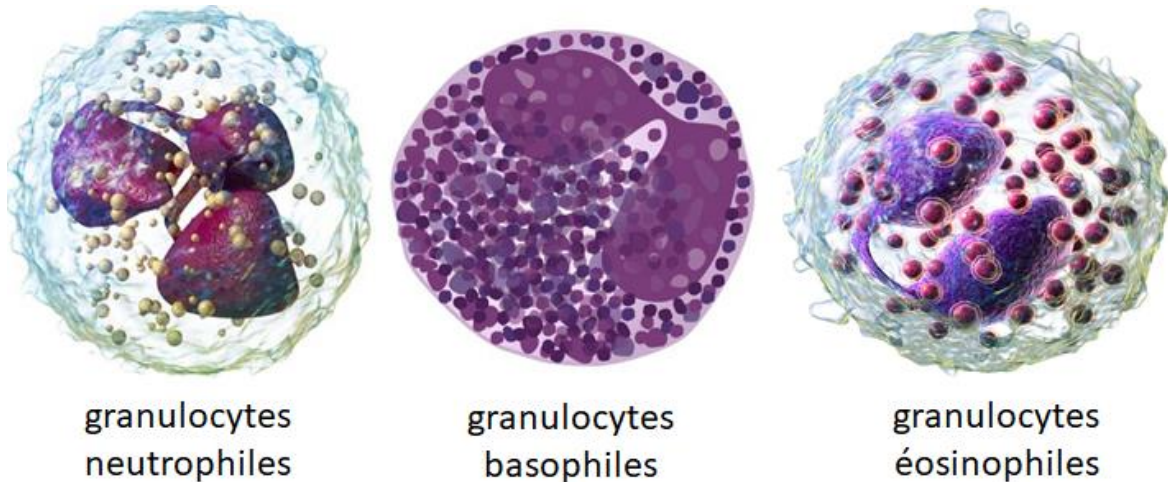


Figure N° 9 : Les granulocytes (Anonyme 5)

- **Les lymphocytes**

On les retrouve dans le sang, la moelle osseuse (où ils sont produits) et les tissus lymphoïdes (rate, ganglions lymphatiques).

Les familles de lymphocytes se différencient d'un point de vue moléculaire (suivant les récepteurs situés à la surface cellulaire).

Les lymphocytes jouent un rôle central dans le système immunitaire, c'est pourquoi leur taux sanguin augmente lors des infections.

- Les lymphocytes B (développés dans la bourse de Fabricius chez les oiseaux, d'où le B) sont responsables de la production des anticorps.
- Les lymphocytes T (maturés dans le thymus, d'où le T) permettent de maintenir la réponse immunitaire et de détruire les agents pathogènes ;
- les cellules « Natural Killer » (NK), qui interviennent dans la destruction des cellules altérées comme les cellules infectées ou tumorales ;

- **Les monocytes**

Les monocytes, représentant entre 2 % et 10 % des leucocytes de l'organisme, qui englobent les macrophages et les cellules dendritiques (Figure N° 10). Ce sont de grosses cellules sanguines (20 à 40 µm) mobiles produites par la moelle osseuse, évoluent en passant dans les tissus biologiques en macrophages et cellules dendritiques.

➤ **Les macrophages**

Sont des cellules qui proviennent de la transformation des monocytes. Localisées dans les tissus pouvant être soumises à des infections ou accumulation de débris à éliminer (foie, poumons, ganglions lymphatiques, rate, ...).

Ex: Ostéoclastes, microglies (le cerveau et la moelle épinière), histiocytes (tissu conjonctif), macrophages alvéolaires (poumons), cellules mésangiales (reins), cellules de Kupffer (foie), ...)

➤ **Les cellules dendritiques**

Ce sont des cellules présentatrices d'antigènes et qui présentent des dendrites (des prolongements cytoplasmiques). Les cellules dendritiques déclenchent la réponse immunitaire (dont les acteurs principaux sont les lymphocytes T et les lymphocytes B).

Elles résident dans les tissus à l'état immature et ont une morphologie très variée. On peut citer parmi elles les cellules de Langerhans et plasmacytoïdes (tissus conjonctifs et organes lymphoïdes).

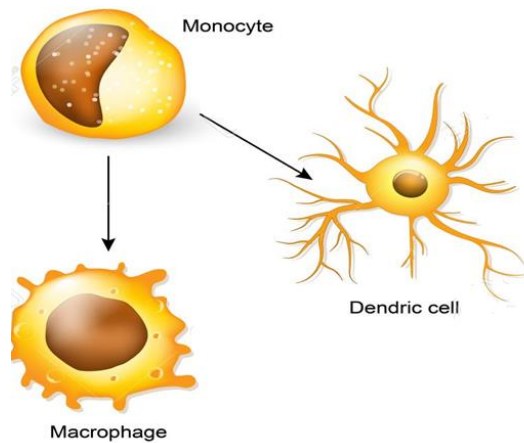


Figure N° 10: Les monocytes (Anonyme 6)

4. Hématopoïèse

C'est l'ensemble des mécanismes qui conduisent à la production **continue** et **régulée** des cellules sanguines circulantes à partir de Cellules Souches Hématopoïétiques (CSH).

Ces mécanismes forment un système complexe qui permet un ajustement précis de la production des cellules aux besoins de l'organisme, soit en raison du renouvellement des populations cellulaires, soit en raison des agressions extérieures (infections, hémorragies, etc..).

Les leucocytes sont fabriqués dans la moelle osseuse à partir des CSH dont il existe deux lignées, myéloïde et lymphoïde (Figure N° 11). La lignée myéloïde est à l'origine des granulocytes et des monocytes ; elle assure également la synthèse des autres cellules du sang : les érythrocytes et les plaquettes. La lignée lymphoïde est à l'origine des lymphocytes ; parmi ceux-ci, seuls les lymphocytes T quittent la moelle avant maturité pour se rendre au niveau du thymus afin d'y terminer leur développement (Figure N° 12).

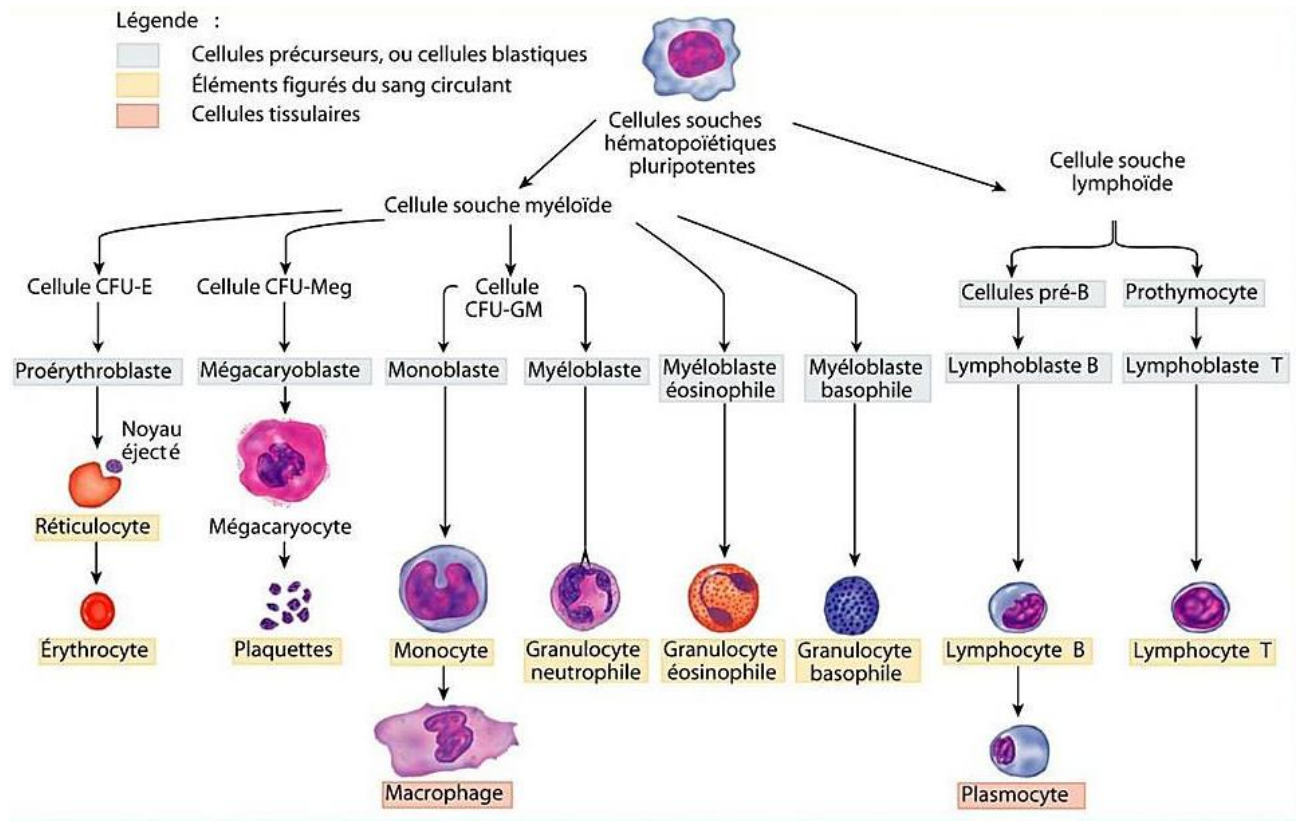


Figure N° 11: Les deux lignés hématopoïétiques (Ovalle and Nahirney, 2013)

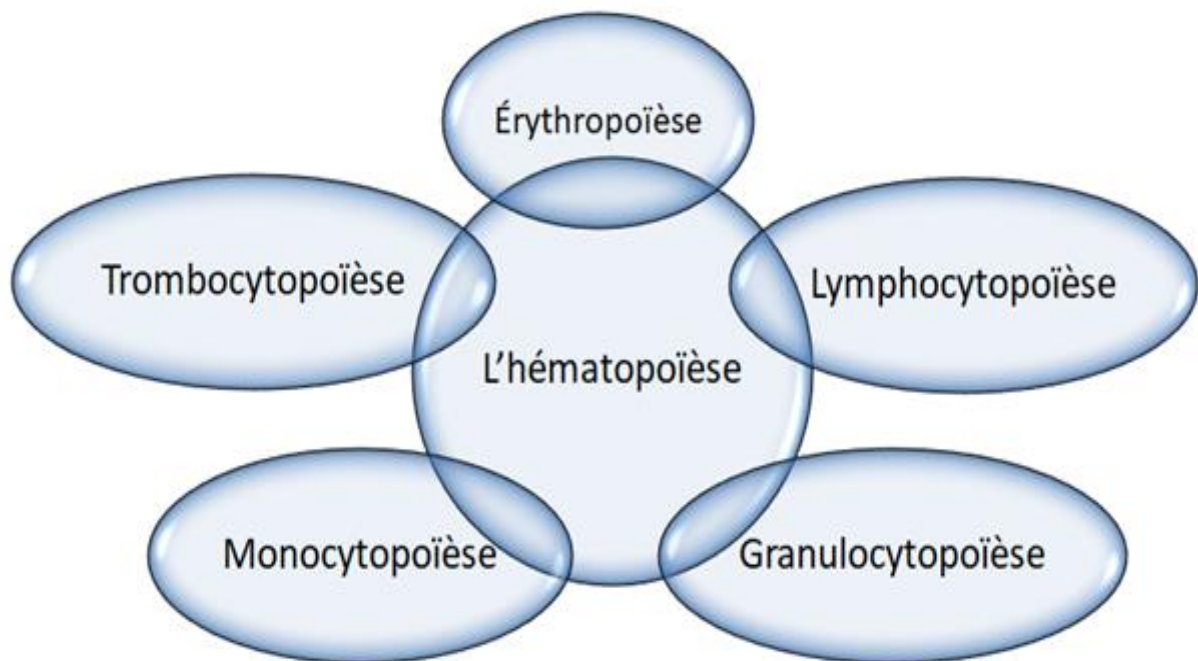


Figure N° 12: Les mécanismes d'hématopoïèse

4.1. Sites de l'hématopoïèse

4.1.1. Avant la naissance

L'hématopoïèse commence vers la troisième semaine de vie intra-utérine et ses sites de production changent tout au long de la vie.

Jusqu'au deuxième mois de gestation, l'hématopoïèse est principalement mésoblastique, se produisant dans le sac vitellin.

Du deuxième au sixième mois de grossesse, elle se déroule principalement dans le foie et la rate.

À partir du sixième mois de gestation, l'hématopoïèse est essentiellement médullaire et coïncide avec l'ossification du squelette.

4.1.2. Après la naissance

L'hématopoïèse normale a lieu exclusivement dans la moelle osseuse. Jusqu'à l'âge de 5 ans, tous les os possèdent une activité hématopoïétique.

Au fur et à mesure que les années passent, la moelle des os longs est progressivement remplacée par du tissu adipeux.

Chez les adultes, seuls les os du crâne, du bassin, les vertèbres, les côtes, le sternum et le fémur proximal sont en mesure de produire des cellules sanguines.

5. Examen du sang

L'examen du sang se fait grâce à un prélèvement sanguin. Celui-ci permet d'analyser le sang par d'un professionnel de santé afin de diagnostiquer certaines maladies. Il peut également servir à faire un bilan général. Les résultats permettent de confirmer ou d'infirmer un diagnostic médical précédemment fait lors d'une consultation médicale.

Les principaux examens du sang effectués aux laboratoires d'analyses médicales sont :

- Hémogramme (analyse des cellules du sang) ;
- le dosage de la ferritine (taux de fer) ;
- une analyse de la glycémie ;
- un bilan lipidique, hormonal, rénal, hépatique,

5.1. L'hémogramme (*numération et formule sanguine* (NFS))

Ou *examen hématologique complet* ou *formule sanguine complète* (FSC) ou *hémato complet*) est l'analyse quantitative et qualitative des éléments figurés du sang : hématies (globules rouges ou érythrocytes), leucocytes (globules blancs) et thrombocytes (plaquettes).

Certains paramètres liés à ce type d'examen sont mesurés (taux d'hémoglobine, volume globulaire moyen = **VGM**) et d'autres sont calculés (hématocrite, teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine = **TCMH**, concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine = **CCMH**).

- **L'hématocrite: volume occupé par les globules rouges** dans le sang par rapport au volume total de sang (%), le taux d'hématocrite est mesuré lors d'une analyse de sang pour prévenir, diagnostiquer ou suivre certaines anomalies sanguines comme l'anémie.
- **Le volume globulaire moyen (VGM):** rend compte du volume moyen des globules rouges (volume de leur taille).
- **Concentration corpusculaire moyenne en hémoglobine: (CCMH)** correspond à la concentration moyenne en hémoglobine par hématie (hémoglobine divisée par hématocrite).
- **La teneur corpusculaire moyenne en hémoglobine (TCMH)** correspond à la quantité de moyenne de l'hémoglobine comprise dans 1 globule rouge.

L'hémogramme est souvent réalisé à l'aide d'**automates** (figure N°13) ou anciennement par examen microscopique du frottis sanguin (étude morphologique).



Figure N° 13 : Automate d'hématologie (Anonyme 7)

5.1.1. Automate

La plupart des automates se base sur la détection optique. Ce principe consiste à faire traverser le sang dans un micro canal dont le très faible diamètre contraint les cellules à passer une par une. Ce micro canal est franchi transversalement par un faisceau lumineux. L'interaction comporte également une diffusion et une diffraction de la lumière dépendant de plusieurs paramètres dont la taille et la forme de la cellule. La lumière est essentiellement détectée par une cellule photoélectrique et chaque variation d'intensité lumineuse est convertie en signal électrique.

5.1.2. Le frottis sanguin

C'est du sang étalé sur une lame de microscope, pour observer les cellules et les dénombrer. Le sang subit une coloration pour révéler certaines cellules qui sans cela seraient transparentes (non visibles) (figure N° 14 et 15).

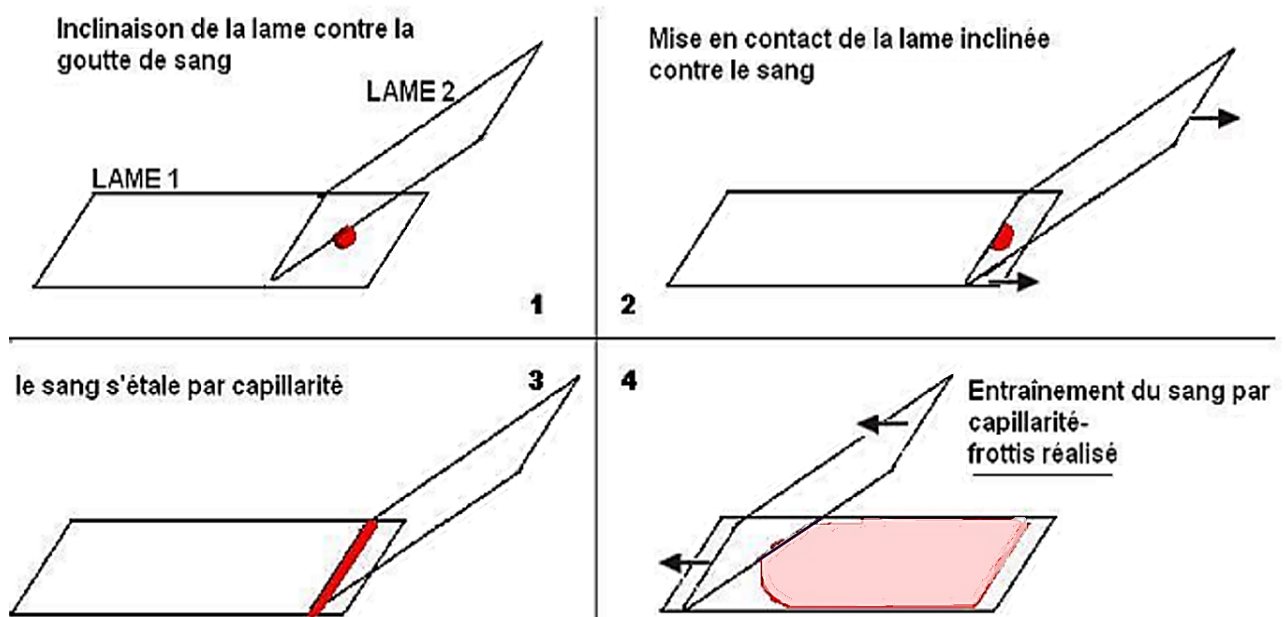


Figure N° 14 : Préparation du frottis sanguin (Anonyme 8)

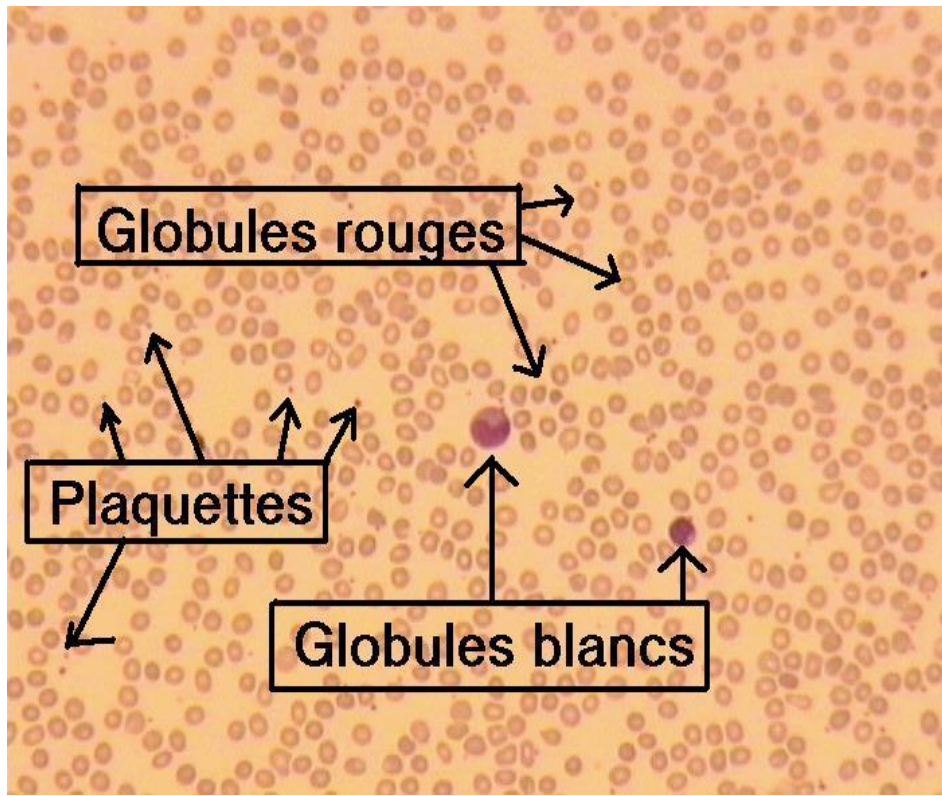


Figure N° 15 : Frottis sanguin (Theml, 2000)

Chapitre 2 : la circulation

Introduction

Le système circulatoire est un système vital qui contribue à la distribution de l'oxygène, des nutriments et des hormones dans tout le corps.

Le système circulatoire aide également à éliminer les déchets de l'organisme, tels que le dioxyde de carbone et autres. Simultanément, le système circulatoire est responsable du maintien de la pression sanguine, de la lutte contre les infections et de l'élimination des toxines du sang.

L'appareil circulatoire comprend une pompe, le cœur, et un ensemble de conduits, les vaisseaux (artères, artérioles, capillaires, veines, veinules et lymphatiques), qui véhiculent le sang à travers tout l'organisme.

I. La circulation sanguine

1. Définition

Le système circulatoire se compose du cœur, du sang et des vaisseaux sanguins. En faisant circuler le sang à travers le corps, ce système apporte des particules d'aliments, des gaz à chaque cellule. Il débarrasse aussi les cellules de leurs déchets.

Le système circulatoire des humains comprend trois principaux types de vaisseaux sanguins: les artères, les veines et les capillaires.

Le sang est continuellement pompé et éjecté hors du cœur par des vaisseaux différents. Il existe deux circuits vasculaires qui ont tous les 2 leur origine et leurs fins dans le cœur.

Remarque

Jusqu'au 13^e siècle, la circulation du sang est un phénomène mal connu. L'hypothèse dominante, celle de Galien, date du 2^e siècle. Ce dernier, dévoila qu'il existe deux systèmes circulatoires. Le premier, relie à la partie droite du cœur, alimente les poumons et le second est chargé d'éliminer toutes substances produites par le corps. Une partie du sang contenu dans la cavité droite du cœur traverse la cloison qui divise le cœur en deux pour l'alimenter. Il fallait attendre le 13^e siècle pour qu'**Ibn Al-Nafis**, médecin musulman syrien, proposa une description plus juste de la petite circulation sanguine (circulation pulmonaire).

Cette hypothèse n'est adoptée qu'au 16^e siècle par des scientifiques européen comme Servet et Colombo.

2. Types de circulation sanguine

Le sang est continuellement pompé et éjecté hors du cœur par des vaisseaux différents. Il existe deux circuits vasculaires qui ont tous les deux leur origine et leurs fins dans le cœur.

Ces deux circuits sont représentés par :

-la petite circulation, où le sang part du cœur droit par l'artère pulmonaire pour aller dans les poumons se régénérer et revenir au cœur gauche par les veines pulmonaires.

-la grande circulation, où le sang part des organes pour aller vers le cœur droit par les veines caves.

2.1. La petite circulation

On parle de petite circulation ou circulation pulmonaire pour l'ensemble suivant :

- Cœur droit (oreillette + ventricule)
- Artères et veines pulmonaires
- Poumons

C'est dans les capillaires pulmonaires que se font les échanges gazeux au niveau des alvéoles pulmonaires. Le sang est débarrassé de CO_2 et enrichi en O_2 . Le sang oxygéné est drainé par les veines pulmonaires et acheminé vers l'oreillette gauche puis le ventricule gauche, c'est le circuit d'oxygénation du sang (Figure N°16).

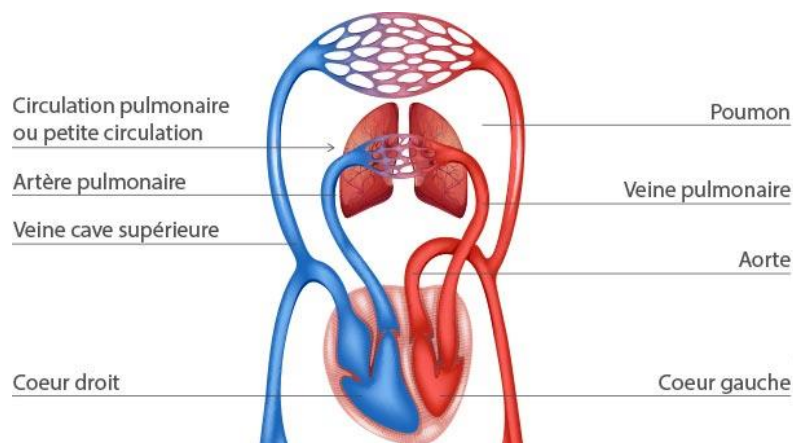


Figure N° 16 : La petite circulation (Pierre, 2015)

2.2. La grande circulation

Où le sang part du cœur gauche par l'aorte, vers les organes selon trois trajets (un vers le système digestif, un deuxième vers les reins et un troisième vers la tête, les membres et le tronc) et revient au cœur droit par les veines caves supérieures et inférieures (Figure N°17).

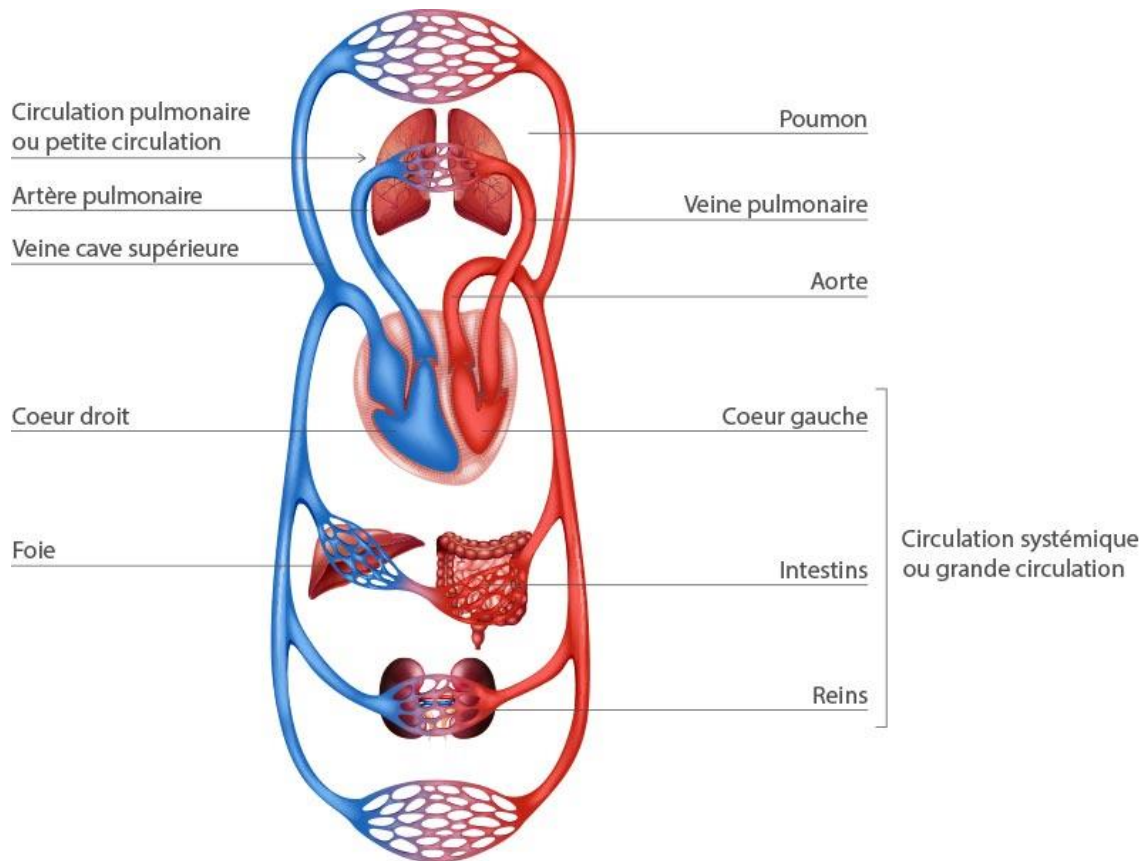


Figure N°17 : Schéma de la petite et la grande circulation (Pierre, 2015)

2.3. Les organes de la circulation sanguine

Cet appareil comprend au total cinq parties :

2.3.1. Le cœur

C'est l'organe propulseur central. Il s'agit d'un muscle, brun rouge, qui pèse environ 250 g chez l'adulte. C'est un organe creux formé du cœur droit et du cœur gauche qui sont entièrement séparés (Figure N° 18).

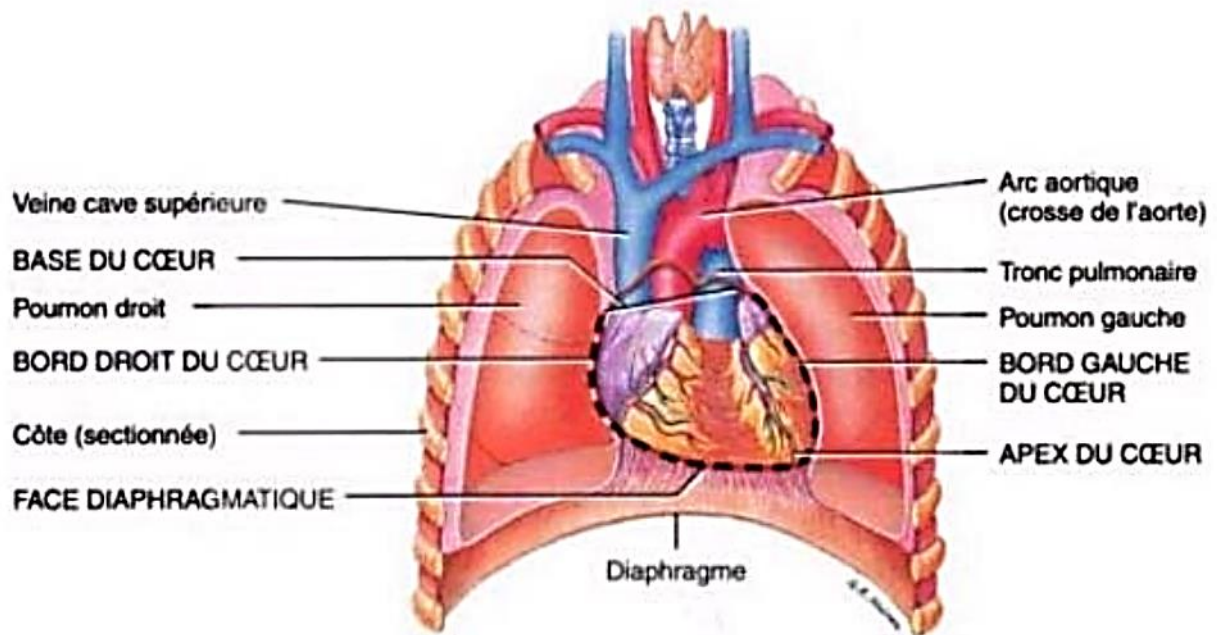


Figure N° 18 : Vue antérieure du thorax (Tortora et Grabowski, 2002)

Il délimite 4 cavités:

- 2 oreillettes droites et gauche et 2 ventricules droits et gauches;
- Les oreillettes communiquent avec les ventricules avec par : la valve droite tricuspide et la valve gauche mitrale (figure N° 19).

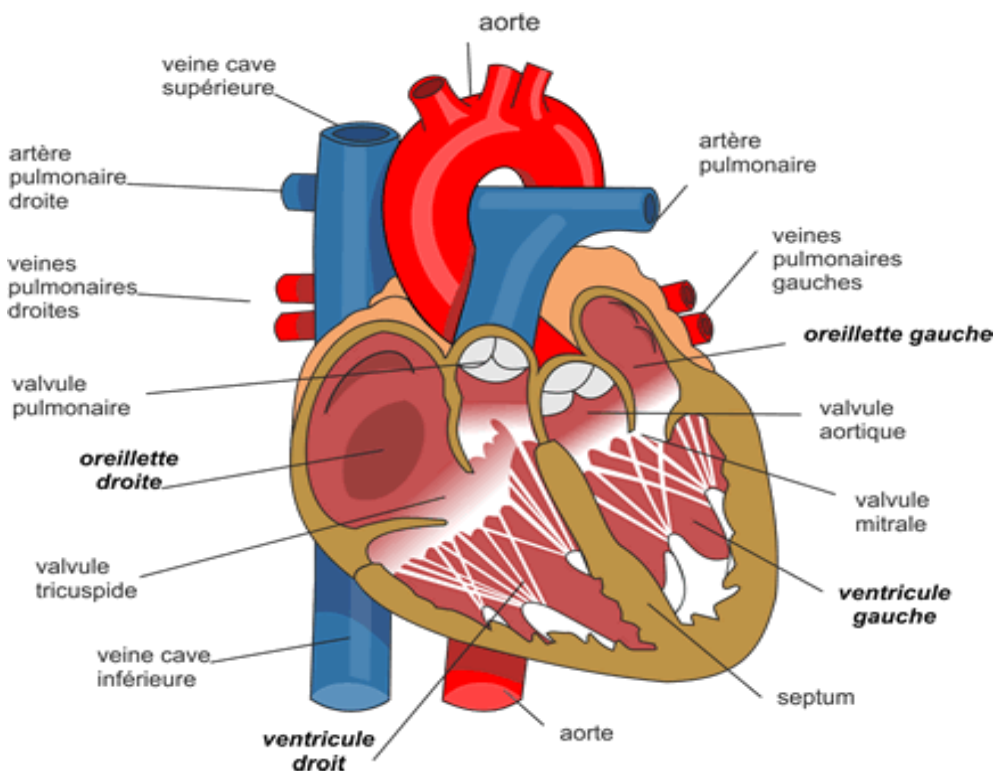


Figure N° 19 : Coupe longitudinale dans le cœur (Annonyme 9)

Après son oxygénation, le sang parcourt **un circuit fermé** : il est éjecté du **ventricule** gauche du cœur dans **l'aorte** et dans ses branches de division, traverse les capillaires, il revient à **l'oreillette** droite par le système des deux **veines caves**. Ce circuit forme **la grande circulation**, qui pourvoit à l'apport sanguin de tous les **tissus**, et sur laquelle se greffe en parallèle la circulation propre à chaque organe (Figure N° 20).

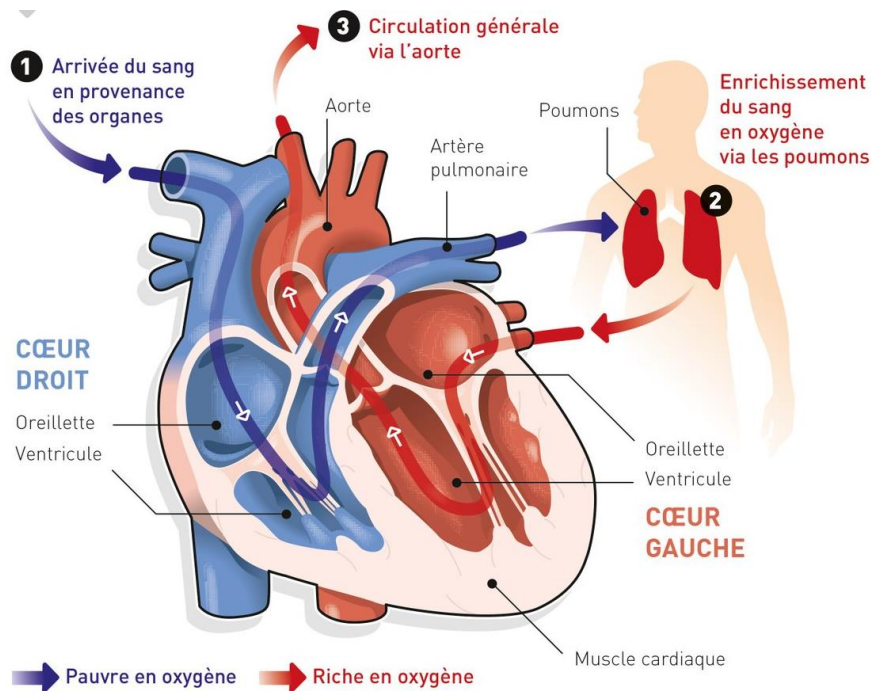


Figure N° 20 : Trajet parcourus par le sang dans le cœur (Anonyme 10)

2.3.2. Les vaisseaux sanguins

Le sang circule dans un réseau constitué de 100 000 km de canalisations, aux calibres parfaitement adaptés à leurs fonctions : les artères, depuis la grosse aorte (2,5 centimètres de diamètre) jusqu'aux petites artérioles (environ 2 mm), conduisent le sang chargé d'oxygène du cœur vers les organes et les capillaires à l'intérieur de chaque organe. Les veinules sont les premiers tissus à recevoir le sang sortant des capillaires. Les veines ramènent au cœur le sang chargé de gaz carbonique.

a. Les artères

Ce sont des vaisseaux partant du cœur et distribuant le sang dans les organes.

- ✿ Les artères sont des tubes flexibles aux parois épaisses.
- ✿ Leur diamètre diminue au fur et à mesure qu'elles s'éloignent du cœur et qu'elles se subdivisent ;

- ✿ L'ensemble constitue l'arbre artériel (Figure N° 21);
- ✿ Leurs ultimes ramifications sont les artérioles, qui alimentent les vaisseaux capillaires ;
- ✿ Parmi les principales, l'aorte (issue du ventricule gauche) et ses branches de division distribuent le sang oxygéné, rouge, à l'ensemble des tissus, sauf aux poumons ;
- ✿ **Les artères pulmonaires véhiculent le sang bleu, riche en gaz carbonique, du ventricule droit vers les poumons, où il sera oxygéné ;**
- ✿ L'aorte est l'artère d'origine de toutes les artères du corps. C'est par elle que passe tout le sang oxygéné qui va irriguer l'ensemble de l'organisme. L'aorte naît au niveau du ventricule gauche par un orifice nommé aortique (Figure N° 21).

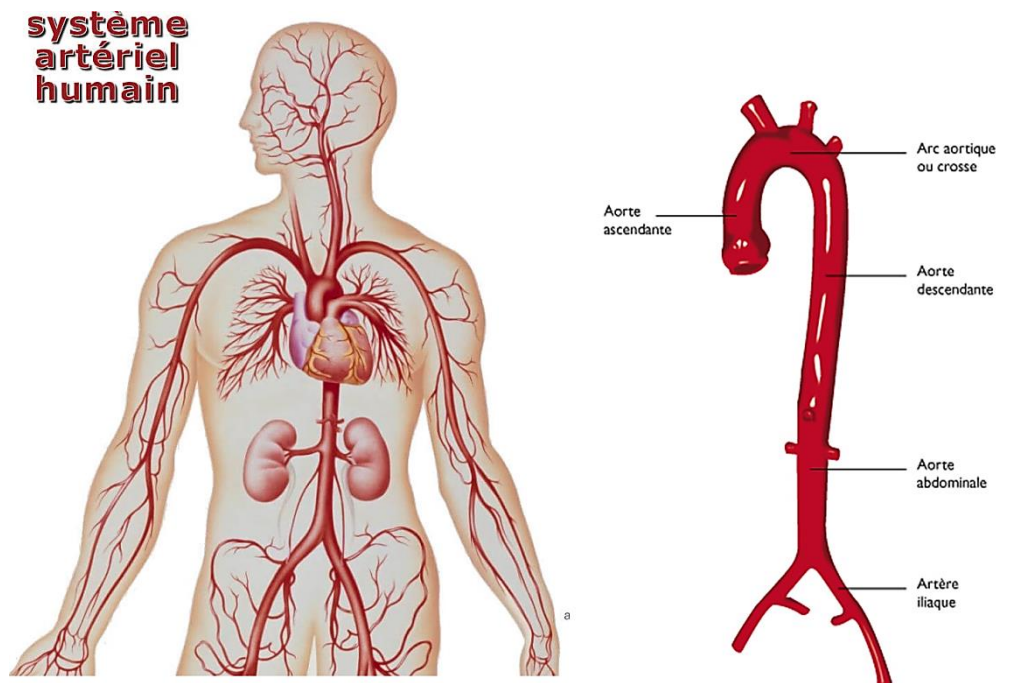


Figure N° 21 : L'arbre artériel et l'aorte (Anonyme 11)

b. Les veines

Les veines, qui sortent des organes et ramènent le sang au cœur.

- Les veines de la petite circulation sont les quatre **veines pulmonaires**, qui ramènent le sang « rouge », riche en oxygène, des poumons vers l'oreillette gauche.
- **Les veines caves** (الوريد الأجوف) ramenant le sang bleu (désaturée en oxygène et chargée de gaz carbonique) vers le cœur droit. Les veines caves sont au nombre de deux (Figure N° 22).

- **La veine cave supérieure** draine le sang de la moitié supérieure du corps (tête, cou, membres supérieurs et thorax).
- **La veine cave inférieure**, la plus volumineuse, draine le sang de la moitié inférieure du corps (abdomen, bassin et membres inférieurs). Elle a un débit deux fois plus important que celui de la veine cave supérieure.
- Les deux veines caves se jettent dans l'oreillette droite.

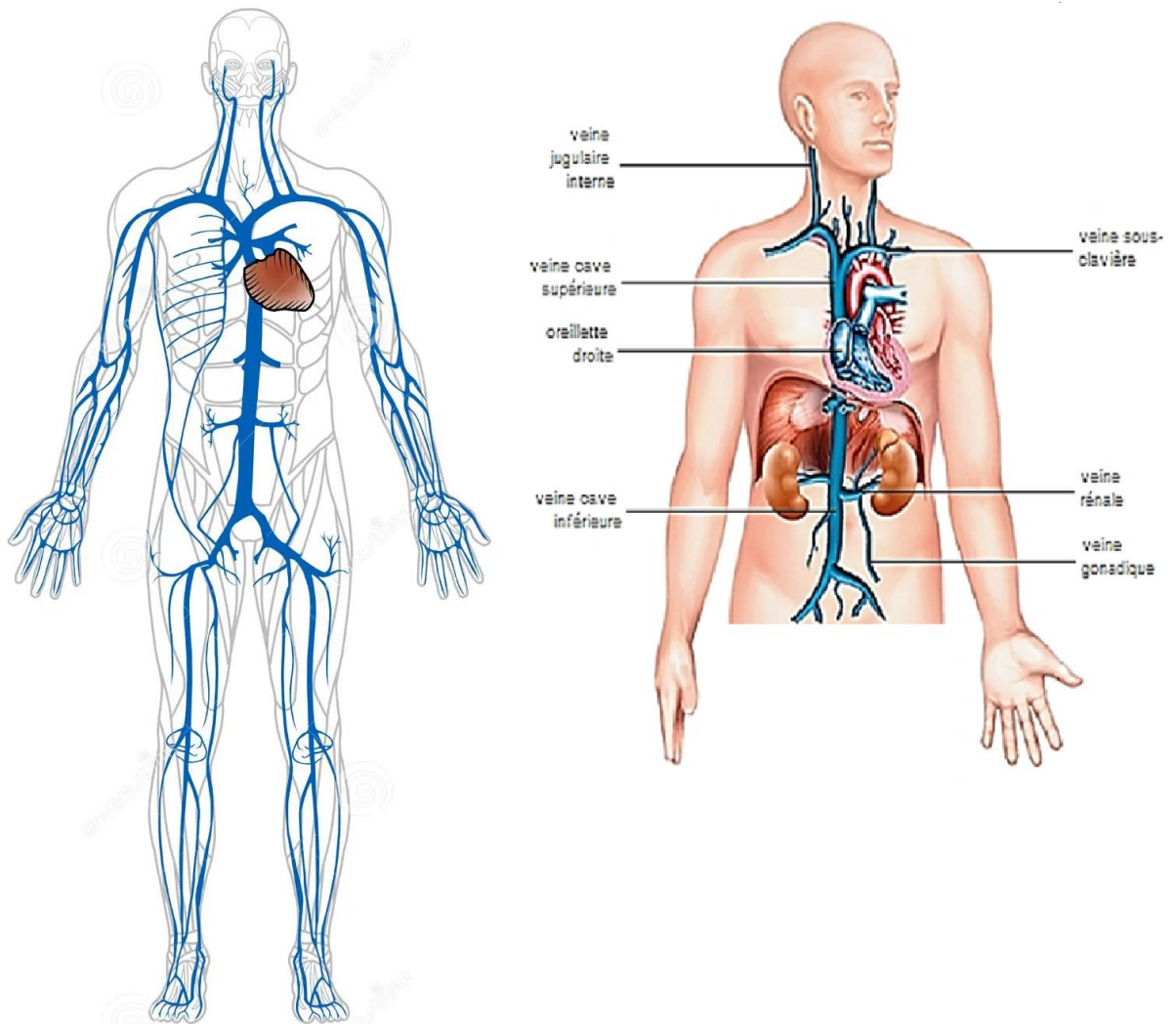


Figure N° 22 : Les veines et les veines caves (Anonyme 12)

c. Les capillaires sanguins

Ce sont de très petits vaisseaux extrêmement fins, de 5 à 10 micromètres de diamètre de la grandeur d'un cheveu (capillus = le cheveu). Formés dans chaque organe par les subdivisions successives des artères et disposés en réseaux; ils se réunissent ensuite ensemble pour former la veine sortant de l'organe (Figure N° 23).



Figure N° 23 : Le système circulatoire capillaire (Anonyme 13)

II. La circulation lymphatique

La circulation lymphatique s'effectue au sein d'un système vasculaire particulier qui complète le système circulatoire sanguin auquel il est intimement lié. Ce système lymphatique draine de façon unidirectionnelle les ultrafiltrats que le système circulatoire abandonne dans le liquide interstitiel et les transforme en lymphe dès son origine dans le capillaire lymphatique.

Les vaisseaux lymphatiques sont organisés en un système de canaux très plats et sinueux, relayés régulièrement par des ganglions. Ils transportent la lymphe. Le système lymphatique suit un trajet parallèle au système sanguin veineux.

Plusieurs organes, tissus et cellules interviennent dans les défenses spécifiques du système lymphatiques (Figure N° 24 et 25).

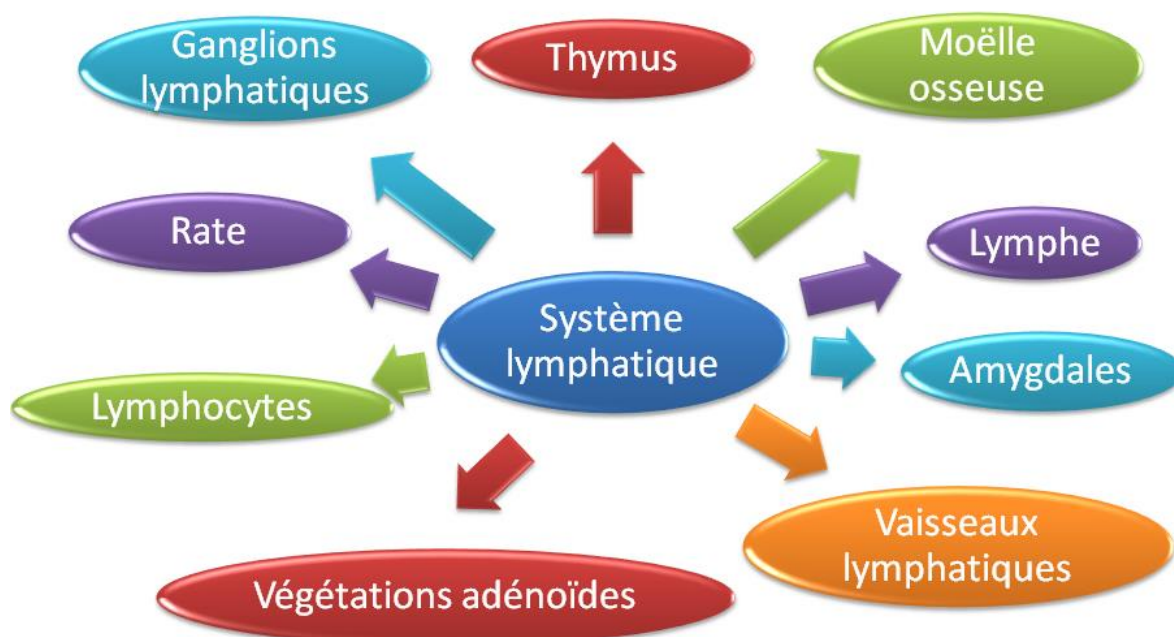


Figure N° 24 : Les constituants du système lymphatique

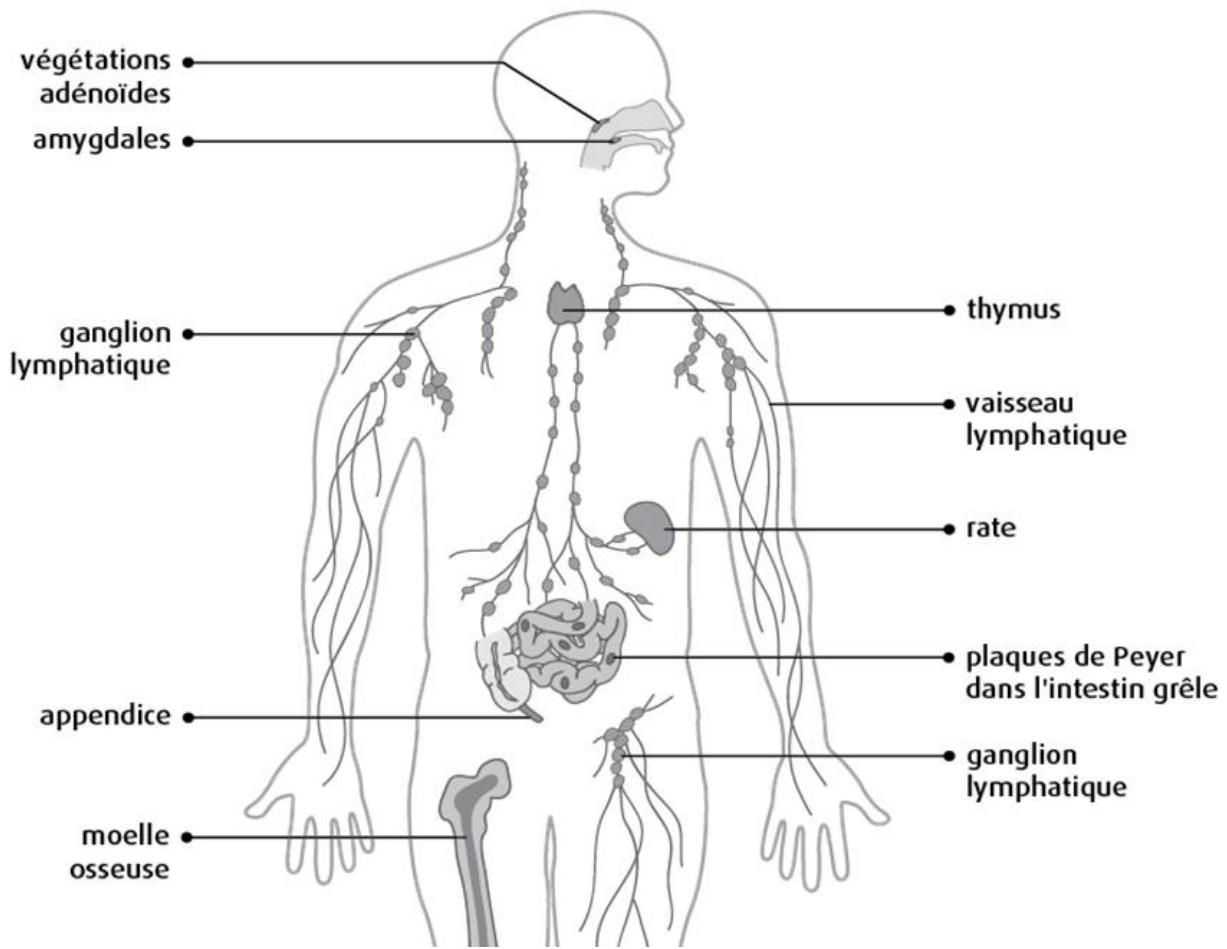


Figure N° 25 : Les organes du système lymphatique (Anonyme 14)

1. Les constituants du système lymphatique

1.1. La lymphe

La lymphe (liquide lymphatique) est un liquide clair, jaunâtre, qui transporte les globules blancs (lymphocytes), les anticorps, ..., dans tout le corps. La lymphe circule dans le réseau de ganglions et de vaisseaux lymphatiques.

1.2. Les lymphocytes

Les lymphocytes sont des globules blancs essentiels au système immunitaire.

1.3. Les vaisseaux lymphatiques

Il existe trois principaux types de vaisseaux lymphatiques :

- ❁ **capillaires lymphatiques**: tubes microscopiques par lesquels le liquide tissulaire entre dans le système lymphatique;

- **vaisseaux lymphatiques** : tubes qui font entrer la lymphe dans les ganglions lymphatiques et qui l'en évacuent;
- **tubes collecteurs** : tubes qui retournent la lymphe dans la circulation sanguine.

1.4. Les ganglions lymphatiques

Ce sont de petits organes en forme d'haricot qui filtrent la lymphe. La taille des ganglions lymphatiques varie, mais ils mesurent habituellement moins de 1 cm (ils peuvent atteindre jusqu'à 1,5 cm). On trouve beaucoup de ganglions dispersés dans tout le corps. Le nombre de ganglions lymphatiques varie d'une partie du corps à l'autre (Figure N° 26).

Les ganglions lymphatiques contiennent deux types de globules blancs qui combattent les microorganismes envahissants :

- lymphocytes : attaquent les virus, les bactéries, ...
- Macrophages : englobent et détruisent les substances étrangères, les cellules endommagées et les débris cellulaires.

Les ganglions lymphatiques sont regroupés dans diverses régions, notamment, le cou (ganglions cervicaux), la cavité thoracique (ganglions thoraciques et médiastinaux), les aisselles (ganglions axillaires) et la cavité abdominale (ganglions para-aortiques et mésentériques).

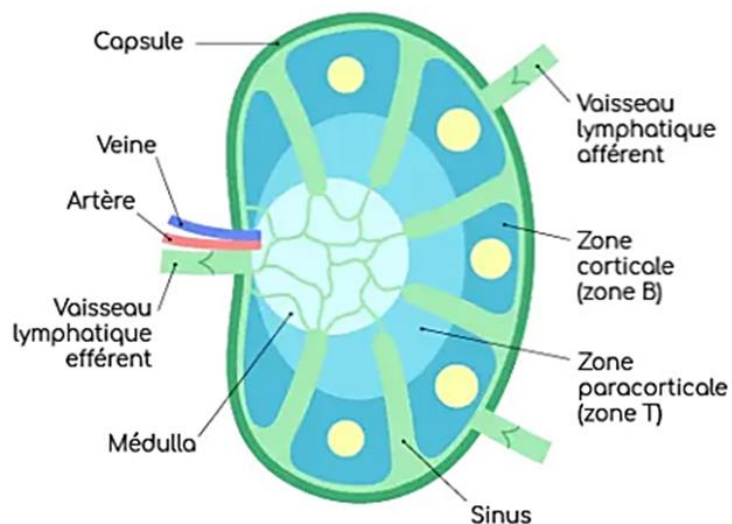


Figure N° 26 : Structure d'un ganglion lymphatique (Anonyme 15)

1.5. La rate

La rate est le plus gros organe lymphatique. Elle est située dans la partie supérieure gauche de la cavité abdominale.

Ses fonctions sont les suivantes :

- La fabrication, l'emmagasinage et évacuation des lymphocytes
- La destruction des vieux globules rouges
- filtration du sang : elle intervient dans le contrôle des infections à bactéries encapsulées, en particulier les pneumocoques et les méningocoques ;

1.6. Le thymus

Le thymus se situe dans le thorax. C'est là où les lymphocytes T parviennent à maturité et se multiplient.

1.7. Les amygdales

Les amygdales, situées dans la gorge, consistent en 2 petites masses de tissu lymphatique qui contiennent des lymphocytes.

1.8. Les végétations adénoïdes

Situées à l'arrière du nez (rhinopharynx ou nasopharynx). Il s'agit de petite masse de tissu lymphatique qui contient des lymphocytes. Elles portent aussi parfois le nom d'amygdale pharyngée. Présentes chez les nourrissons et les enfants, les végétations adénoïdes commencent à diminuer de volume juste avant la puberté. Elles sont habituellement absentes chez l'adulte.

1.9. La moelle osseuse

La moelle osseuse est le tissu mou et spongieux situé au centre de certains os. Elle contient les cellules sanguines immatures appelées CSH. Ces cellules se développent pour former les cellules sanguines (Figure N° 27).

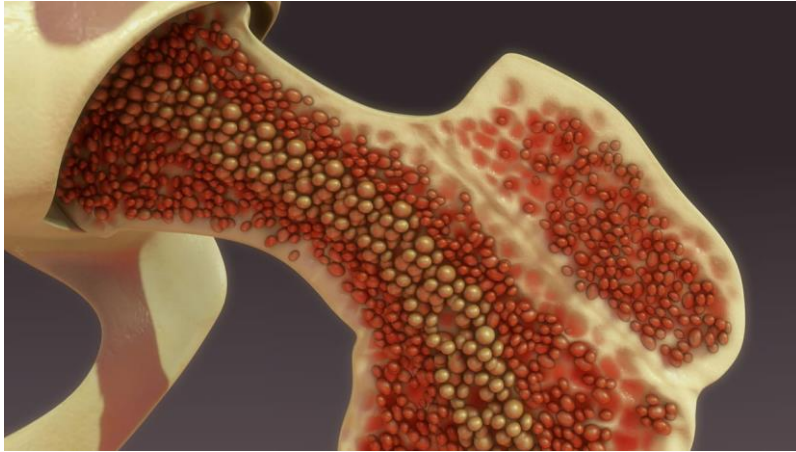


Figure N° 27 : La moelle osseuse (Anonyme 16)

2. Rôle du système lymphatique

- Faire circuler les liquides et réguler leur niveau dans le corps :

Tout excès de liquide qui s'échappe de la circulation sanguine est recueilli par le système lymphatique et renvoyé. Ceci permet d'empêcher la formation d'œdème (gonflement dû à un excès de liquide) et maintient les niveaux de liquide dans le corps et dans la circulation sanguine à des limites normales.

- Absorber les graisses contenues dans le système digestif :

Les vaisseaux lymphatiques spéciaux, qu'on appelle chylifères (l'intestin grêle) et sont responsables d'absorber les graisses (chylomicron) et les vitamines liposolubles des aliments. Les graisses sont ensuite transportées vers la circulation sanguine et utilisées selon les besoins.

- Défendre le corps contre les infections (défenses immunitaires)

III. Comparaison entre le système sanguin et le système lymphatique

Bien que la structure du système lymphatique ait des similitudes avec celle du système sanguin, il existe certaines différences. La plus importante est l'**absence de pompe** dans le système lymphatique. Si le sang est propulsé par l'activité de pompe du cœur, la lymphe circule quant à elle grâce la structure des parois des vaisseaux lymphatiques, aux contractions musculaires et aux mouvements du corps.

Le canal thoracique (ou conduit thoracique) permet de collecter la lymphe. C'est un long conduit, mesurant environ 40 cm et un diamètre de 5 mm chez l'adulte. Le canal thoracique et la grande veine lymphatique déversent entre 4 et 10 mL de lymphe dans le sang/ min.

Il s'étend verticalement dans le thorax, Le conduit thoracique et l'aorte traversent le diaphragme par le même orifice (Figure N° 28).

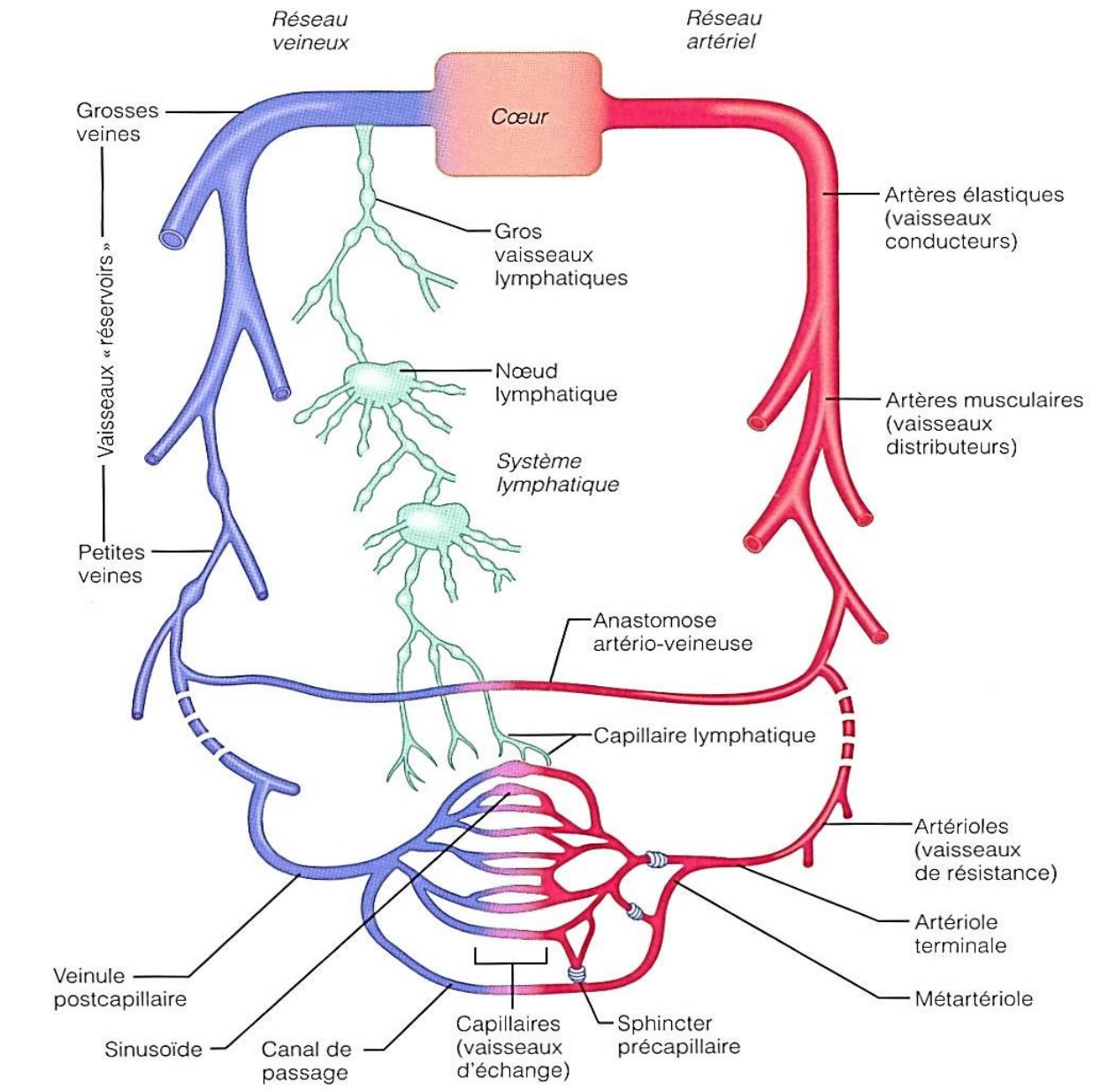


Figure N° 28 : Schéma explicatif de l'organisation de la circulation sanguine et lymphatique (Anonyme 17)

1. Le passage de la lymphe dans la circulation sanguine

Les vaisseaux lymphatiques se drainent dans des canaux collecteurs qui vident leur contenu dans les deux veines sous-clavières, situées sous les clavicules. Ces veines se rejoignent pour former la veine cave supérieure (Figure N° 29).

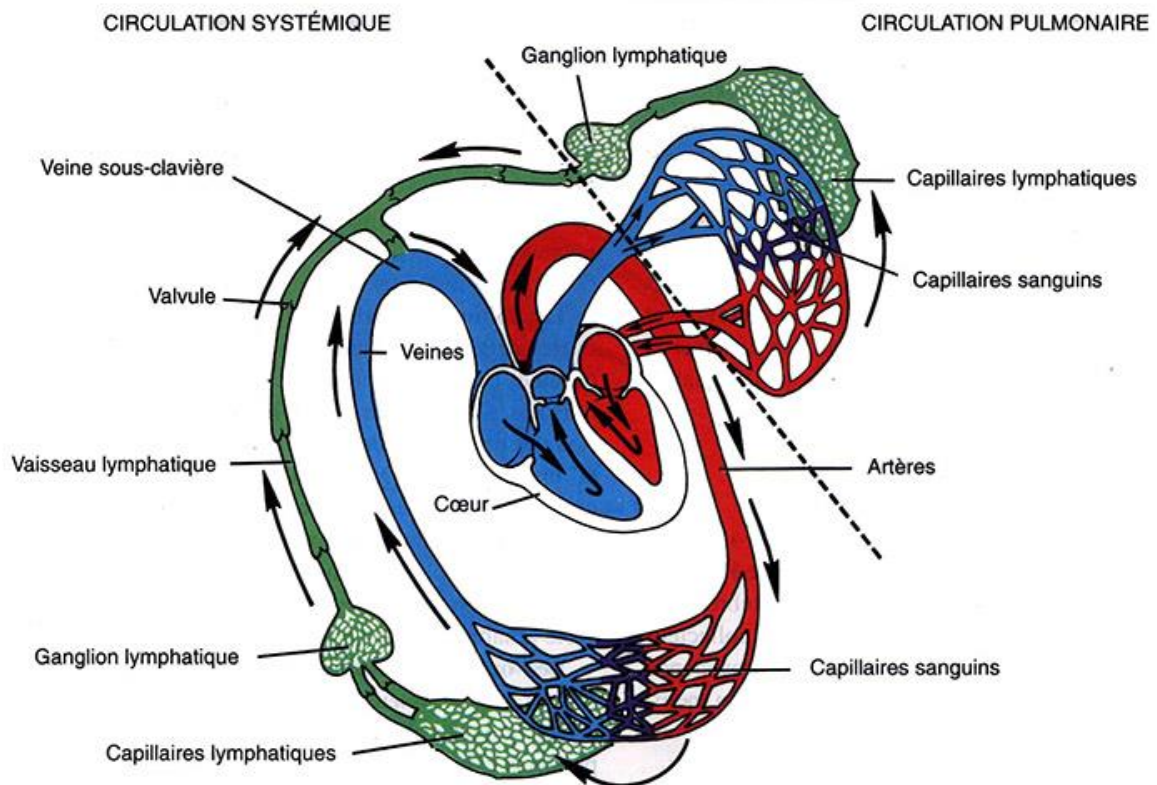


Figure N° 29 : Diagramme montrant le passage de la lymphe dans système veineux par les vaisseaux et les canaux lymphatiques (représentés en vert) (Anonyme 18)

Chapitre 3 : La respiration

1. Définition

C'est un mécanisme physique par lequel les organismes vivants prélèvent l'oxygène du milieu ambiant, l'utilisent et rejettent le dioxyde de carbone et de la vapeur d'eau présents dans le sang. La respiration permet aux cellules de consommer du glucose et du dioxygène afin de produire de l'énergie.

2. Structure du système respiratoire

Le système respiratoire est formé de deux éléments cruciaux, le thorax et les poumons, reliés entre eux par la plèvre (une double membrane séreuse qui enveloppe les poumons et tapisse l'intérieur de la cavité thoracique) (figure N° 30).

La plèvre qui entoure et protège les poumons, est constituée de deux feuillets (figure N° 30).

Entre lesquelles, il y a la cavité pleurale qui est tapissée par un film liquidien (liquide pleural) qui va permettre le glissement et donc les mouvements des poumons vers le haut et vers le bas.

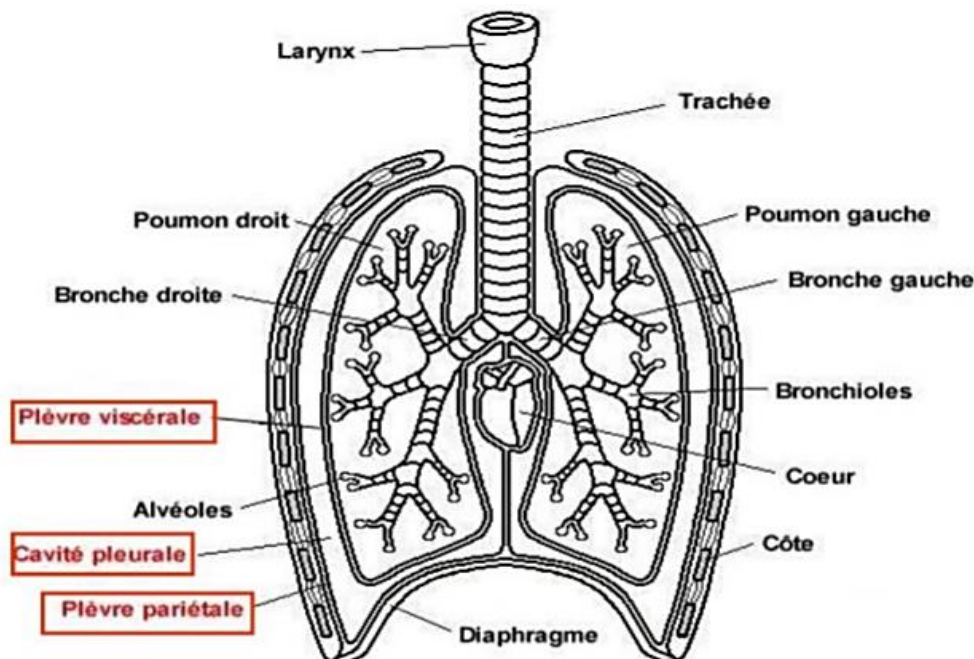


Figure N° 30 : Coupe longitudinale dans l'appareil respiratoire (Marieb, 1999)

Le thorax est une cavité fermée, constituée de paroi osseuse et musculaire, et comprend les poumons ainsi que les organes médiastinaux, à savoir le cœur, l'œsophage, la trachée, les nerfs et certains vaisseaux sanguins et lymphatiques.

Les poumons renferment **les voies aériennes, le parenchyme pulmonaire et la circulation pulmonaire.**

Les poumons se reposent sur le diaphragme et présentent des différences anatomiques :

- ✿ Le poumon droit → 3 lobes (650 g) séparés par deux scissures
- ✿ Le poumon gauche → 2 lobes (550g) séparés par une scissure située dans la cage thoracique.

2.1. Les voies aériennes

Elles sont composées de haut en bas du **nez (narines)**, de la **bouche**, du **pharynx**, du **larynx**, de la **trachée**, des **deux bronches primaires (droite et gauche)** qui rentre dans les poumons, des **bronchioles**, des **conduits** puis des **sacs alvéolaires** (figure N° 31 et 32).

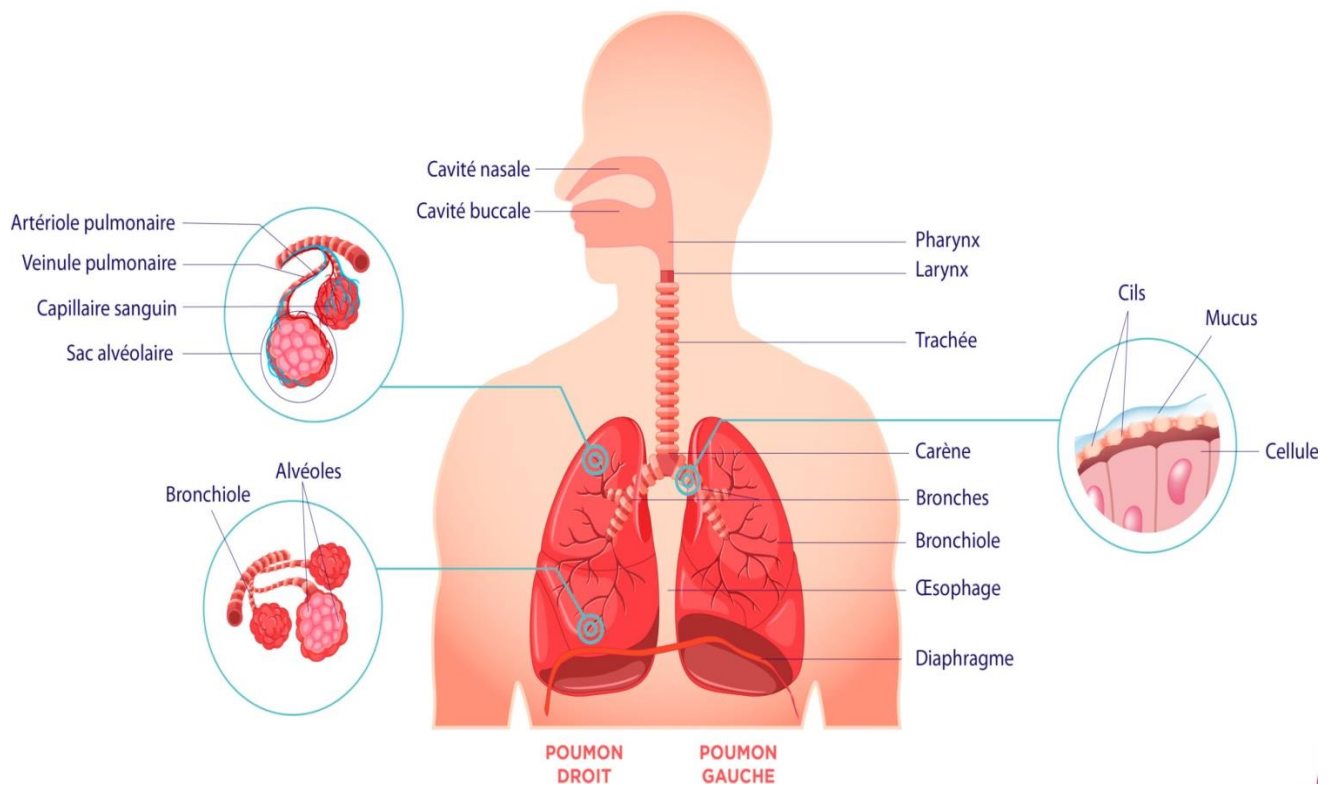
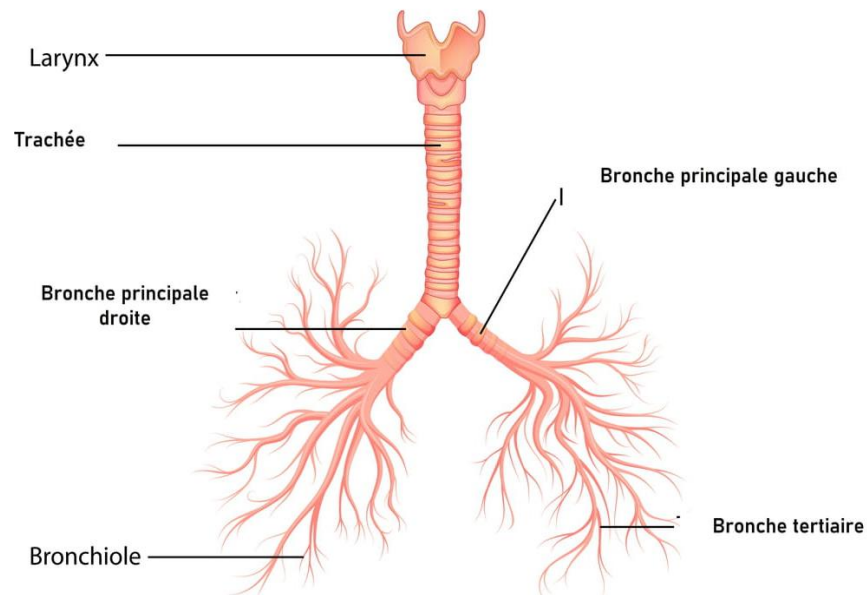


Figure N° 31 : L'appareil respiratoire (Anonyme 19)



❁ **Figure N° 32 : L'arbre pulmonaire (les bronches et les bronchioles pulmonaires)**
(Anonyme 20)

2.2. Le parenchyme pulmonaire

Il s'agit du tissu fonctionnel des poumons. Il est constitué des bronchioles, des conduits alvéolaires et des alvéoles

La paroi alvéolaire est constituée de deux principaux types de cellules épithéliales : les pneumocytes de type I (cellules pavimenteuses pulmonaires) et les pneumocytes de type II.

Le premier type cellulaire forme un revêtement continu sur la paroi alvéolaire, tandis que les pneumocytes de type II sont responsables de la capacité de production du liquide alvéolaire, qui maintient l'humidité des cellules alvéolaires. En effet, la paroi alvéolaire contient également des macrophages alvéolaires (figure N° 33).

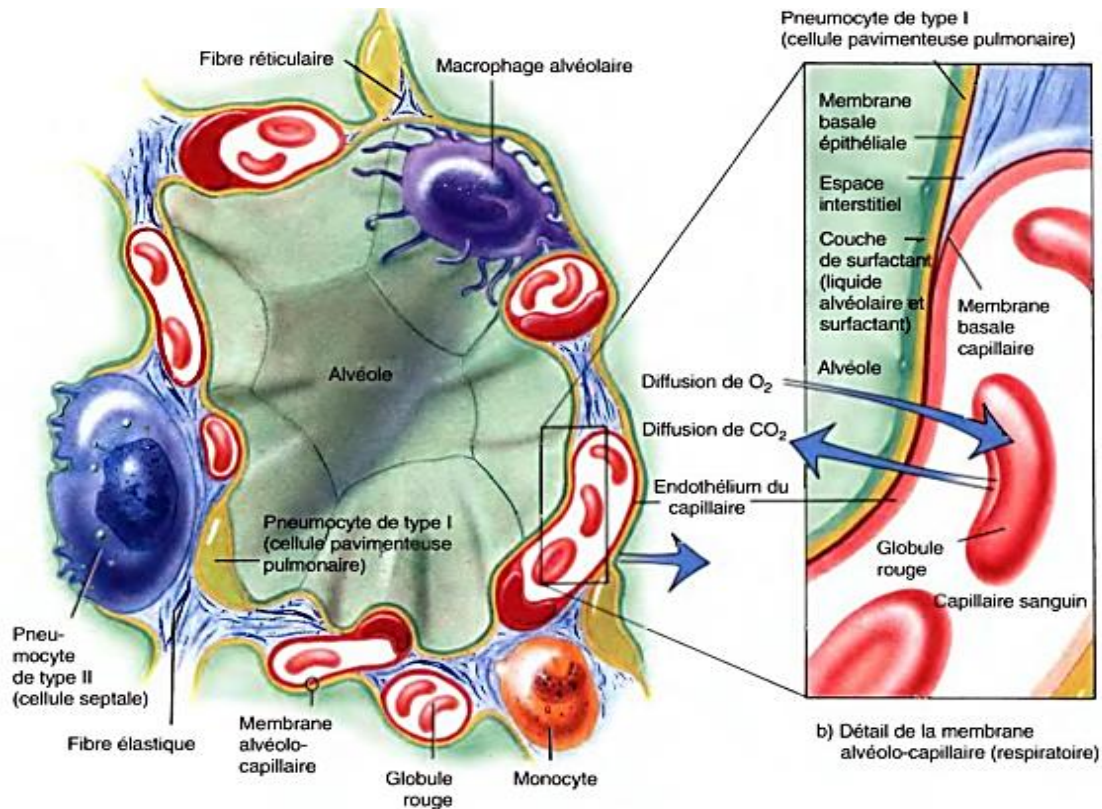


Figure N° 33 : Coupe transversale d'un alvéolaire (Anonyme 21)

2.3. La circulation pulmonaire

Les poumons reçoivent la totalité du débit sanguin cardiaque qui sort du ventricule droit par des artères pulmonaires, c'est le cycle d'oxygénation du sang.

3. Déroulement de la respiration:

Ce système est un ensemble de passages qui filtre l'air et qui le transporte à l'intérieur du poumon où les échanges gazeux vont s'opérer au niveau des sacs alvéolaires. **Le diaphragme est le muscle principal de la respiration.**

Elle s'effectue en 5 étapes :

- 1- Ventilation pulmonaire (VE) et sa régulation (mouvement des gazes dans et hors des poumons)
- 2- Échanges gazeux alvéolo-capillaires
- 3- Transport des gaz (CO_2 et O_2) par le sang
- 4- Échanges gazeux hémato-cellulaires
- 5- Respiration cellulaire (le passage des gaz des capillaires vers les tissus) (figure N° 34).

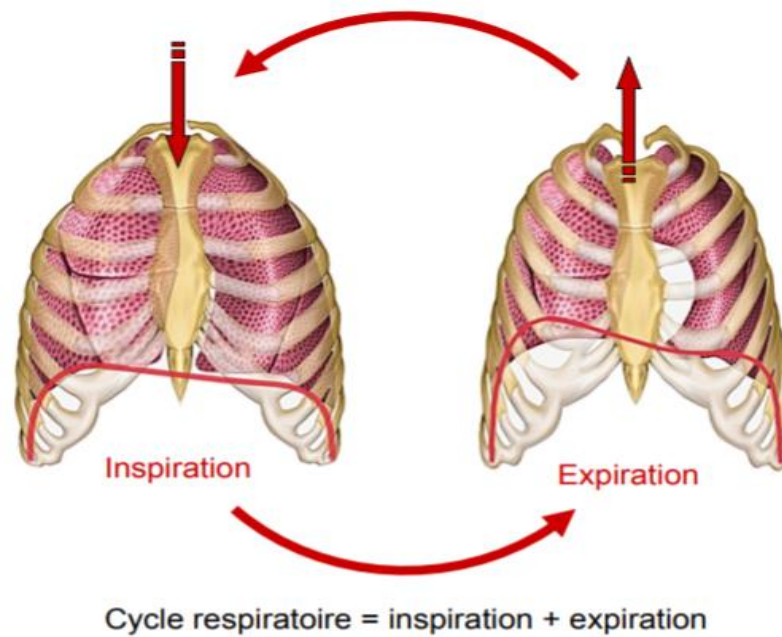


Figure N° 34 : Mécanisme de la respiration (Anonyme 22)

4. Mécanisme de respiration

Le système respiratoire permet les échanges gazeux qui se déroulent entre les millions d'alvéoles pulmonaires et les capillaires qui les enveloppent (figure N° 35). L'oxygène inhalé passe des alvéoles au sang des capillaires, et le dioxyde de carbone du sang des capillaires à l'air dans les alvéoles (figure N° 36).

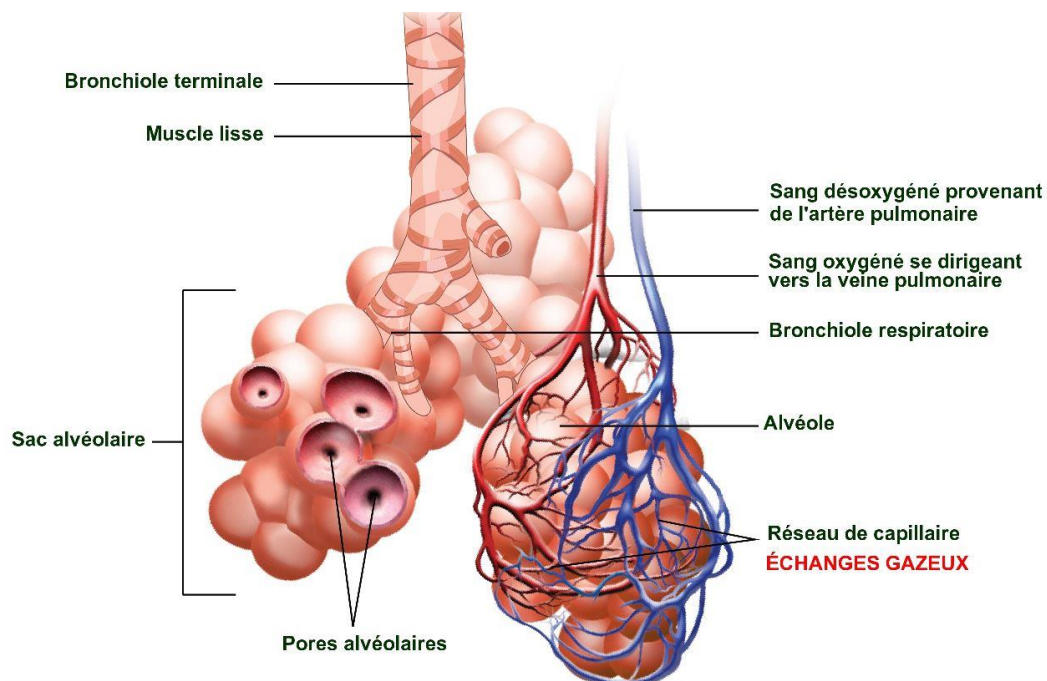


Figure N° 35 : Sac alvéolaire (Anonyme 23)

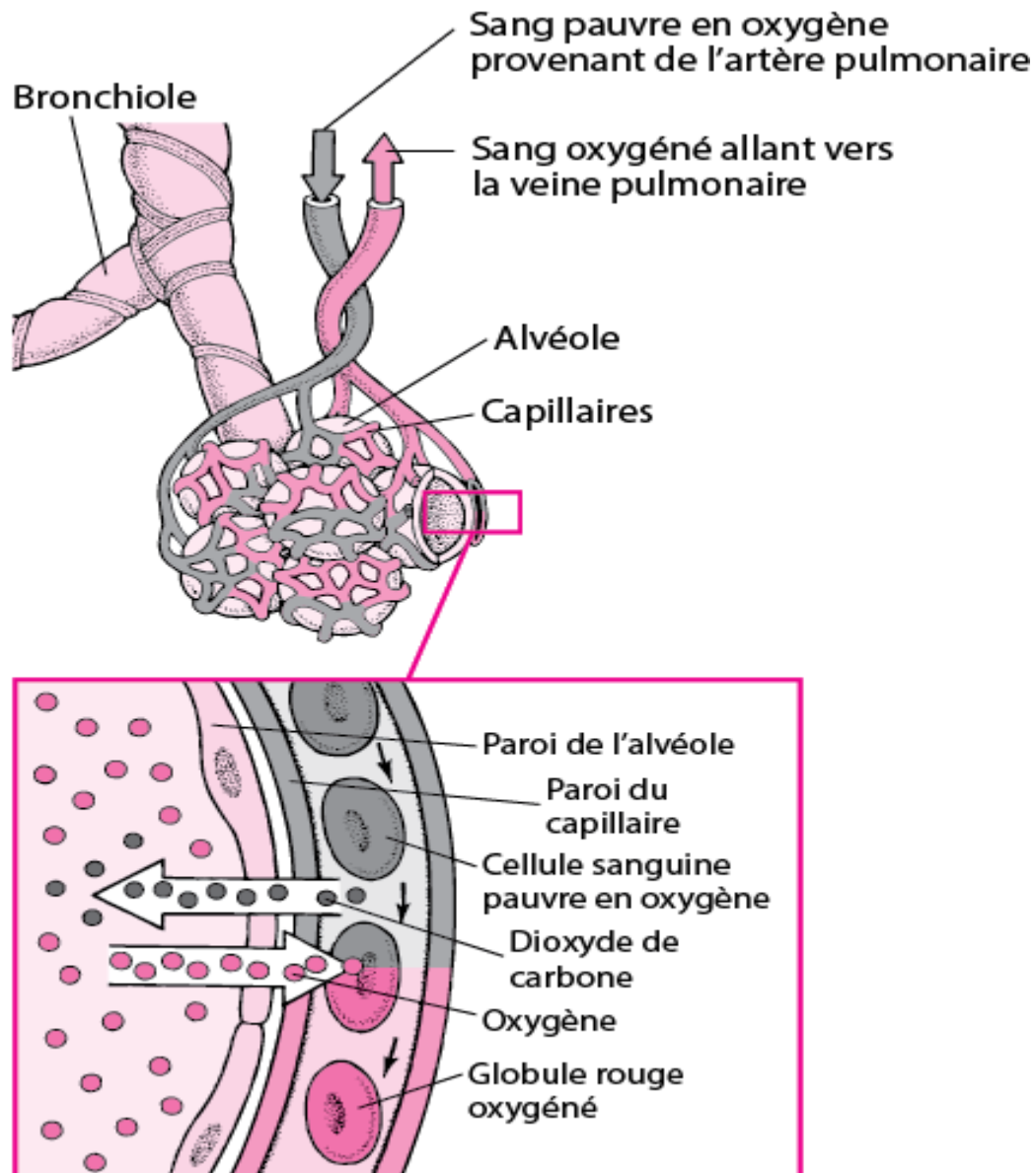


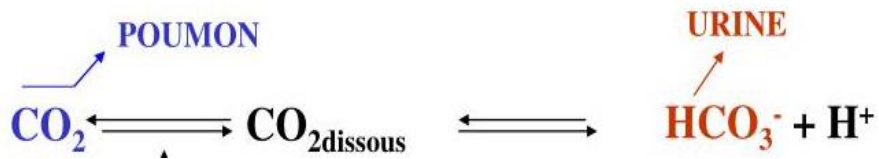
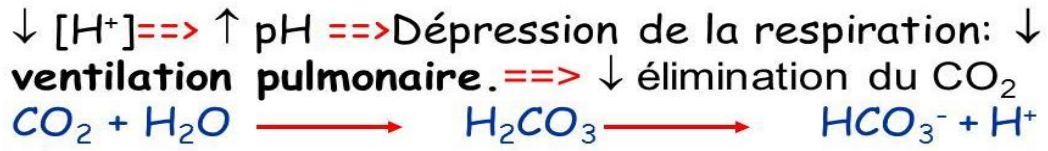
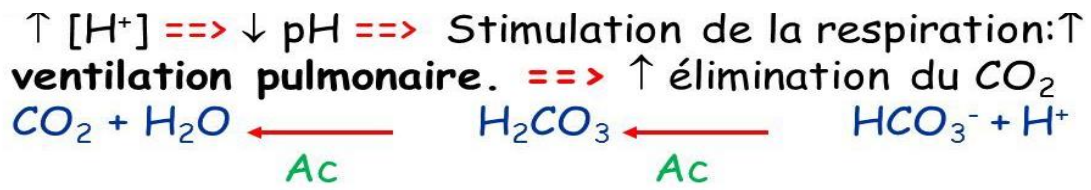
Figure N° 36 : Les échanges gazeux entre les alvéoles pulmonaires et les capillaires

(Anonyme 24)

5. Régulation pulmonaire du pH

L'équilibre acido-basique de l'organisme est défini par la concentration en ions hydrogène (H^+) des cellules. Il est essentiellement régulé par deux organes : le poumon assure l'élimination du CO_2 et le rein régule la concentration en bicarbonates.

Des variations du pH plasmatique surviennent cependant en physiologie (exercice, par exemple) ou en pathologie. Cependant, des pH inférieurs à 7 et supérieurs à 7,8 sont incompatibles avec la vie.



Chapitre 4 : La digestion

I. Anatomie de l'appareil digestif

Le tube digestif est constitué des organes creux dans lesquels transitent les aliments au cours de la digestion. Il est constitué successivement par : la cavité buccale, le pharynx, l'œsophage, l'estomac, l'intestin grêle, le côlon, le rectum et l'anus. Associé à ce tractus, il y a des organes pleins glandulaires possédant une fonction de sécrétion de diverses substances nécessaires à l'assimilation des nutriments : les glandes salivaires, le foie et la vésicule biliaire et le pancréas (figure N° 37). Les grandes fonctions du tube digestif sont la **digestion**, la **sécrétion**, l'**absorption**, la **motricité**.

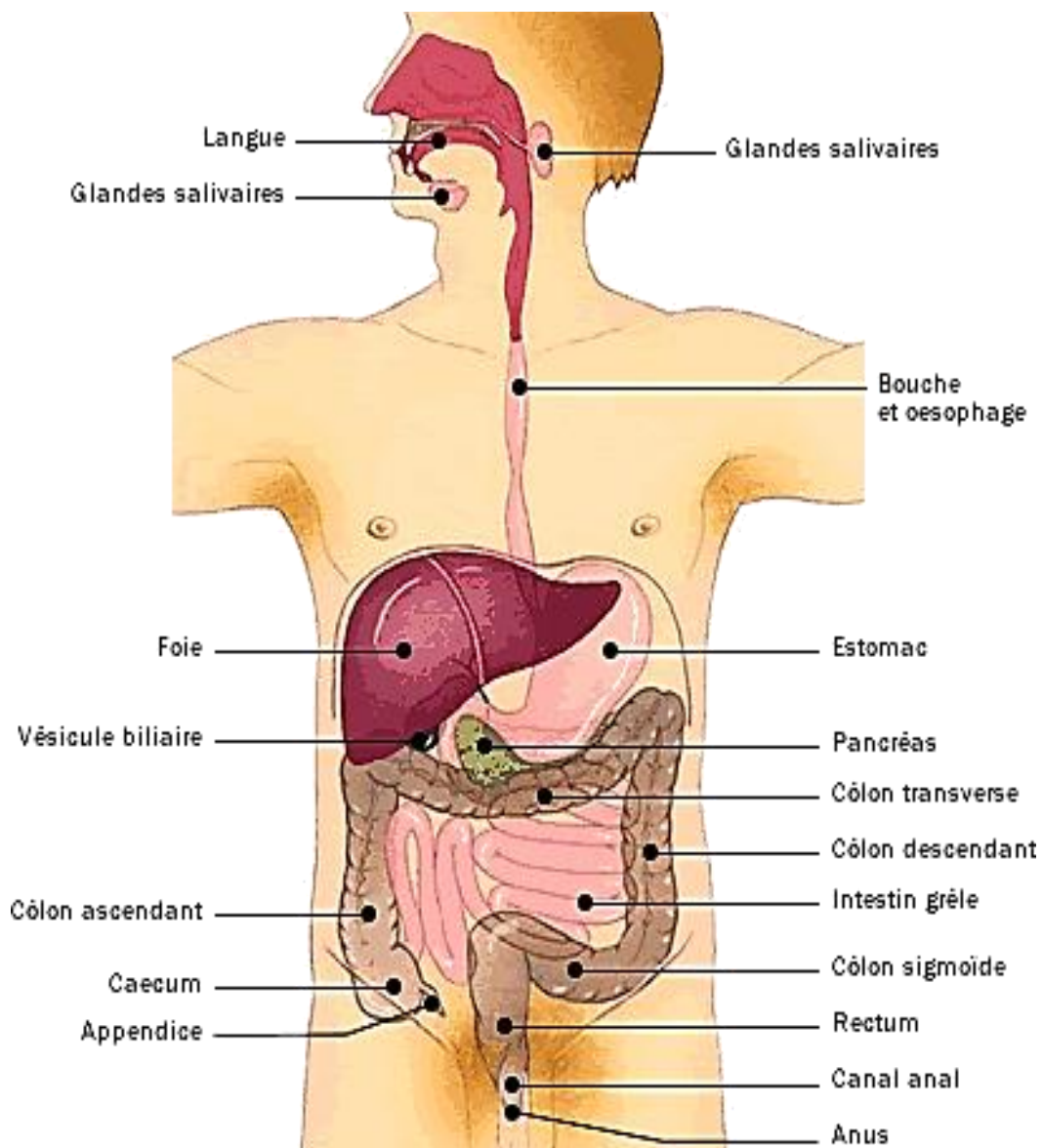


Figure N° 37 : Le système digestif (Anonyme 25)

1. Digestion

De la bouche à l'anus, la nourriture subit de multiples transformations chimiques et mécaniques. Ces modifications peuvent être divisées en 3 phases selon le lieu (l'organe) où les aliments sont transformés en nutriments :

- La phase buccale et œsophagienne
- La phase gastrique
- La phase intestinale

Ces organes jouent des rôles particuliers dans de la digestion des aliments grâce à leurs **mouvements et sécrétions respectifs.**

1.1. Phase buccale et œsophagienne

1.1.1. Sécrétions salivaires

- La salive est produite par 3 paires de glandes (figure N° 38).
- Le volume salivaire quotidien ainsi produit peut atteindre 1500 ml de sécrétions alcalines (pH entre 7 et 8).
- La sécrétion salivaire est essentiellement réflexe nerveuse, déclenchée par la présence d'aliments dans la bouche.
- Avant même l'ingestion d'aliments, le système digestif se prépare à leur arrivée. La vue, l'odorat, l'ouïe (bruit de la viande qui grille) ou tout simplement le conditionnement suffisent à initier l'activité digestive.

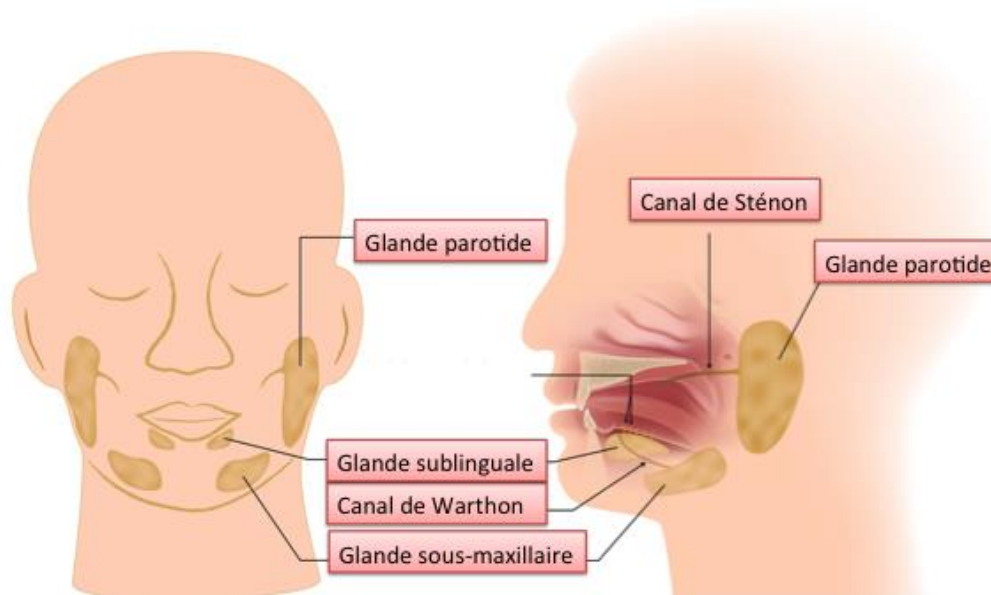


Figure N° 38 : les glandes salivaires (Anonyme 26)

1.1.2. Composition et rôle de la salive

Composée à 99% d'eau (+ électrolytes Na/K et bicarbonates). Elle exerce plusieurs fonctions : un effet hydratant et lubrifiant sur le bol alimentaire, la digestion de l'amidon (amylase salivaire), solubilisation des substances qui vont donner le goût à l'alimentation, rinçage de la bouche et effets antiseptiques.

La salive contient des enzymes salivaires :

L'amylase salivaire : agit à un pH optimum de 6,9 proche du pH salivaire et conserve une certaine activité (courte durée) dans l'estomac. Elle coupe les liaisons glucidiques de l'amidon et du glycogène.

La Lipase linguale : agit à pH 2,2 à 5, conditions qui sont celles de l'estomac. Substrat préférentiel : triglycérides à chaîne moyenne (le lait). Digère 10-30% des lipides de la ration.

Les lysozymes : petite protéine glycolytique qui a un rôle antiseptique.

Les mucines salivaires : Grosses molécules qui donnent à la salive sa viscosité.

Les immunoglobulines (IgA) : qui détruisent les bactéries à l'origine des caries et de la mauvaise haleine.

1.1.3. Mastication

La mastication est essentielle à la digestion adéquate des aliments. Elle sert à broyer et à séparer les aliments en petites particules. De plus, la mastication favorise le mélange de la salive aux aliments. La salive et la mastication remplissent donc plusieurs fonctions :

- La mastication réduit les aliments en petites particules.
- Elle aide à la formation d'un bol alimentaire pour la déglutition.
- La salive débute la digestion des lipides et de l'amidon.
- Elle facilite la gustation par la solubilisation des particules.
- Elle nettoie la bouche et assure une action antibactérienne.
- Elle neutralise le reflux gastrique acide dans l'œsophage par son pH alcalin.

1.1.4. La déglutition

C'est l'ensemble des phénomènes mécaniques qui conduit les aliments de la bouche à l'estomac. Elle comprend :

- **Temps buccal** : phase volontaire, bouche fermée, pointe de la langue en contact avec la partie antérieure du palais. En un mouvement avant vers arrière la base de la langue s'élève et fait basculer le bol dans le pharynx.
- **Temps pharyngien** : très court, arrêt de la ventilation (apnée), fermeture de l'orifice postérieur des fosses nasales par élévation du voile du palais. Le larynx bascule en haut et en avant. L'épiglotte se rabat en avant et les cordes vocales se ferment (figure N° 39).
- **Temps œsophagien** : le bol alimentaire déclenche un mouvement péristaltique (contraction simultanée de la couche musculaire circulaire et longitudinale). L'œsophage est fermé par un sphincter, le cardia, qui s'oppose au reflux de liquide acide gastrique dans l'œsophage (reflux gastro- œsophagien).

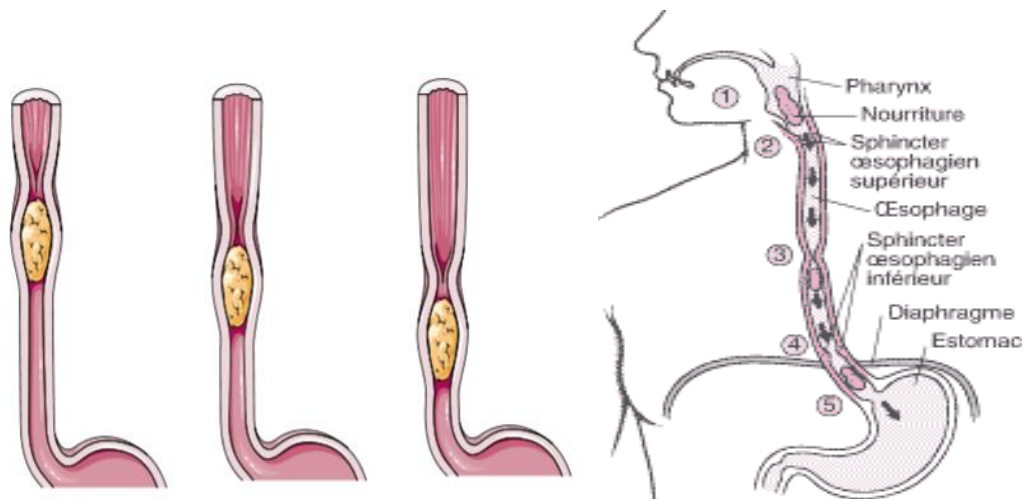


Figure N° 39 : L'œsophage (Anonyme 27)

1.1.5. Rôles de l'œsophage

En plus de leur fonction de propulsion des aliments vers l'estomac, les différentes parties de l'œsophage remplissent des rôles de protection :

- Sphincter œsophagien supérieur (SOS) : Il protège les voies respiratoires supérieures en empêchant les aliments de s'y introduire.
- Corps de l'œsophage : Il empêche, grâce aux ondes péristaltiques secondaires, le reflux gastrique de monter dans l'œsophage lorsque le sphincter œsophagien inférieur ne remplit pas adéquatement son rôle de barrière anti-reflux.
- Sphincter œsophagien inférieur (SOI) : Il a un rôle de barrière antireflux.

1.2. La phase gastrique de la digestion

1.2.1. Rôles de l'estomac

L'estomac reçoit le bol alimentaire qu'il mélange à ses sécrétions et qu'il transforme en chyme. L'estomac peut être divisé en 3 parties fonctionnelles (figure N° 40) :

- **Région du cardia** (à l'entrée de l'estomac). Cette portion sécrète du mucus ce qui favorise le glissement et l'entrée des aliments dans l'estomac. Le cardia prévient le reflux gastro-œsophagien par son anatomie et ses sécrétions alcalines qui abaissent le pH du reflux gastrique.
- **Le corps et le fundus** : Sous l'influence du nerf vague, ils se laissent distendre par l'ingestion des aliments. Puisque la majeure partie du contenu gastrique se trouve au niveau de ces 2 régions, il est logique que ce soit à ce niveau que l'on retrouve le plus de cellules sécrétant le pepsinogène, la lipase gastrique, le facteur intrinsèque ainsi que le HCL.
- **L'antré et le pylore** : Ces 2 régions servent de malaxeur en triturant la nourriture. Les contractions au niveau de ces régions mélangent et broient les aliments avant de les laisser sortir en petite quantité par le pylore. Le pylore étant riche en cellules de surface, cela lui permet de diminuer l'acidité du chyme qu'il laisse sortir dans le duodénum (protégeant ainsi la muqueuse intestinale de l'acidité).
- L'estomac est un réservoir à la fois extensible et contractile, possédant deux fonctions **la malaxation du bol alimentaire et le début de la digestion grâce à ses sécrétions** :
 - - une sécrétion acide, composée d'acide chlorhydrique HCl, qui abaisse le pH gastrique à 2 lors de la digestion, et qui permet l'activation des enzymes gastriques et pancréatiques ;
 - - une sécrétion enzymatique, composée de deux enzymes : **la pepsine**, qui digère les grosses protéines ; **la lipase gastrique**, qui commence la digestion des graisses.
- Les cellules de la paroi gastrique sont protégées par un mucus alcalin (à pH élevé). L'ensemble des sécrétions augmente au moment du début de la digestion et diminue lorsque l'estomac se vide. Les aliments vont donc être mélangés aux deux enzymes dans un milieu très acide, ce qui permet le début de la dégradation des nutriments complexes en éléments plus petits et plus facilement assimilables. L'orifice de sortie de l'estomac, **le pylore**, laisse passer ensuite par petites quantités des portions du bol alimentaires sous l'effet de contractions locales de la paroi, elles-mêmes sous contrôle parasympathique. Ce passage se fait d'autant plus facilement que les aliments sont à une température proche de celle de l'organisme (37°C). Les aliments sont ainsi expulsés dans la portion initiale de l'intestin grêle, le duodénum.

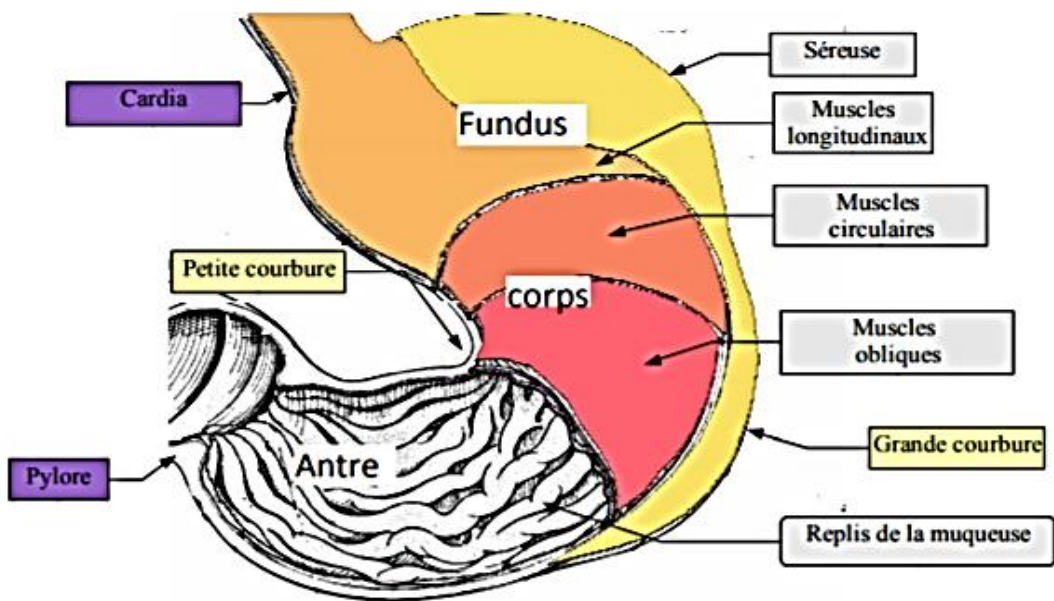
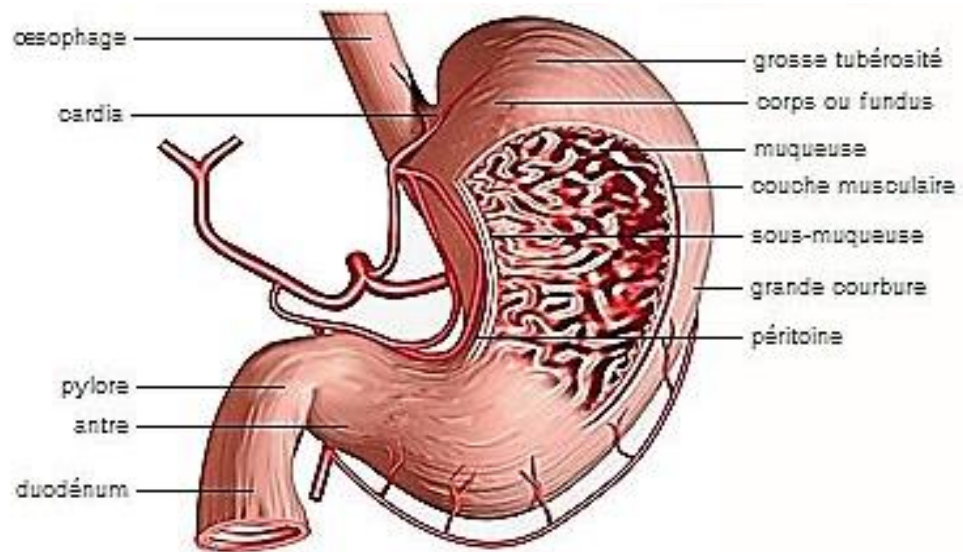


Figure N° 40 : Les différentes parties de l'estomac (Anonyme 28)

1.3. La phase intestinale

1.3.1. Anatomie fonctionnelle de l'intestin grêle

L'intestin grêle comprend :

- **le duodénum** : mesurant environ 30 cm, c'est lieu du mélange du bol alimentaire avec les enzymes pancréatiques et les sels biliaires (figure N° 41);
- **Le jéjunum** : 3 à 4 m de long, absorption des glucides, des lipides et des protéides par les cellules intestinales, les entérocytes (figure N° 42);
- **L'iléon** : 1 m de long, où se poursuit l'absorption des nutriments, absorption spécifique de la vitamine B12 et des sels biliaires à la fin de l'intestin grêle (iléon terminal).

Ces deux dernières portions sont très vascularisées, grâce à l'artère mésentérique supérieure, car les besoins sanguins sont très importants lors de l'absorption des nutriments, afin de les transporter au reste de l'organisme. C'est ce qui rend difficile la coexistence d'un effort physique intense, c'est à dire des besoins sanguins musculaires, avec la digestion, donc des besoins sanguins intestinaux et il en résultera une contraction importante de certaines zones, comme le pylore, empêchant la progression du bol alimentaire et favorisant des régurgitations voire des vomissements en amont.

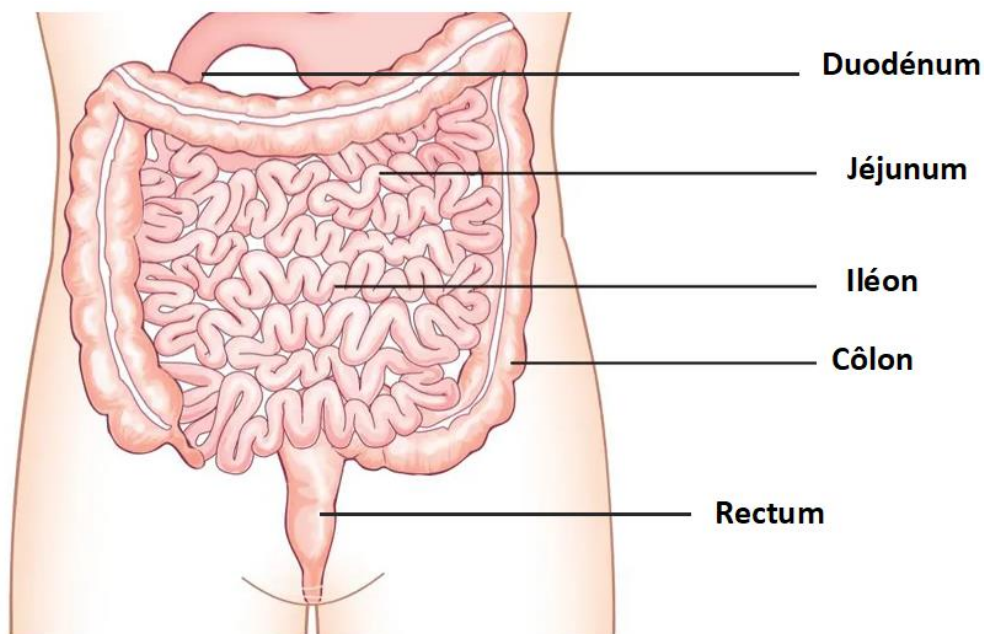


Figure N° 41 : Le système intestinal (Marteanu et Seksik, 2021)

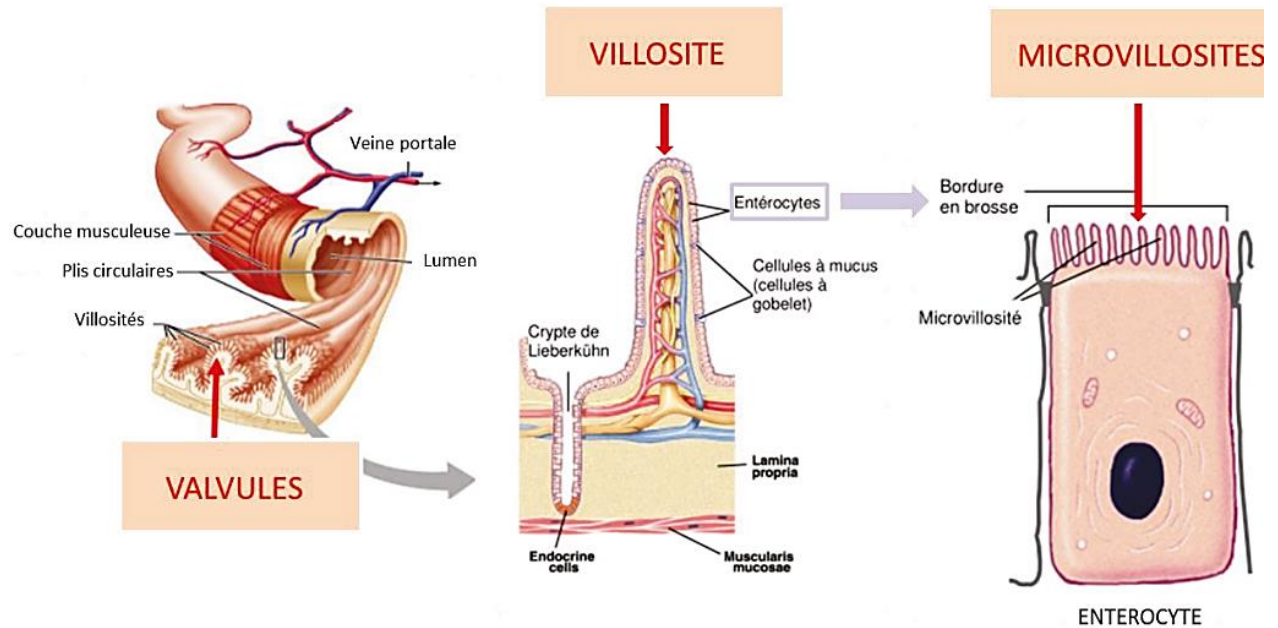


Figure N° 42 : Propriétés et histologie de l'intestin grêle. Structures impliquées dans la capacité d'absorption intestinale (Marieb and Hoehn, 2010)

Plusieurs sécrétions arrivent au niveau duodéal, en provenance du pancréas et du foie.

Les sécrétions pancréatiques sont :

- des enzymes protéolytiques, capables de digérer les protéines en acides aminés ;
- une amylase qui transforme l'amidon et le glycogène en maltose ;
- des enzymes capables de digérer les graisses, notamment la lipase pancréatique.

Les sécrétions hépatiques

Venant de la vésicule biliaire, sont composées des sels biliaires, indispensables à la digestion des graisses car ils permettent la dilution des acides gras hydrophobes.

2. Absorption

Elle est différente selon la nature du nutriment :

- les glucides sont absorbés par des transporteurs présents sur les membranes des entérocytes, sous forme de glucose ou de disaccharides : maltose, lactose ou saccharose, dont la digestion se poursuit à l'intérieur des entérocytes pour donner du glucose, du fructose et du galactose grâce aux enzymes (Sucrase, glucoamylase et lactase). Les sucres « lents » doivent donc subir

toutes les étapes de digestion avant d'être absorbés, alors que les sucres « rapides » sont absorbés très rapidement, provoquant un pic de glycémie.

- les protéines sont absorbées sous forme d'acides aminés dont 20 sont utilisés par l'organisme pour qu'il synthétise ensuite ses propres protéines.

- les lipides sont absorbés sous forme d'acides gras et de cholestérol, puis ils sont regroupés dans les entérocytes avant d'être secrétés dans la circulation lymphatique sous forme de chylomicrons, à destination du foie.

- les vitamines sont également absorbées au niveau intestinal, soit par diffusion si elles sont hydrophobes soit par transport membranaire. Certaines sont nécessaires à l'assimilation d'autres nutriments ou la facilite, comme par exemple la vitamine B1 qui facilite l'absorption du glucose.

Le passage de tous les glucides de l'entérocyte à la circulation du sang se fait grâce aux transporteurs GLUT 2.

- les électrolytes (sodium, chlorure, potassium, calcium, magnésium et bicarbonates) sont aussi absorbés au niveau intestinal par des canaux protéiques présents dans la membrane des entérocytes.

- l'eau : en plus de l'apport oral, l'intestin reçoit l'eau contenue dans les différentes sécrétions digestives. Environ 98% des 9 litres d'eau présents dans le tube digestif sont réabsorbés par l'intestin grêle et le côlon, ne laissant ainsi que 200 ml d'eau dans les selles.

3. Le côlon

Puisque la digestion est généralement complétée plus haut dans l'intestin, le côlon ne joue qu'un rôle secondaire dans ce processus. Les bactéries présentes dans le côlon peuvent cependant digérer, par putréfaction les protéines qui se présentent à ce niveau. Bien qu'il soit peu actif dans la digestion des nutriments, le côlon remplit tout de même plusieurs fonctions :

- Absorption de l'eau et des ions.
- Fermentation bactérienne des nutriments non absorbés.
- Entreposage des déchets et des matériaux non digestibles.
- Élimination des déchets et des matériaux non digestibles.

Chapitre 5 : L'excrétion rénale

1. Cible de l'excrétion

Le fonctionnement des cellules produit des déchets toxiques (essentiellement de l'urée et du gaz carbonique). Une accumulation importante de déchets dans les cellules provoque rapidement leur empoisonnement et leur asphyxie, car elles deviennent alors incapables d'absorber des aliments ou de l'oxygène. L'incapacité du corps à éliminer ses déchets entraîne la mort.

2. Appareil excrétoire

Chaque cellule rejette ses déchets dans la circulation sanguine qui les transporte aux organes d'excrétion: les reins, les poumons, la peau et le tube digestif. Ces organes se chargent de les éliminer hors du corps.

Les reins sont des organes d'excrétion importants. Ils sont constitués d'innombrables "filtres" microscopiques destinés à filtrer le sang (figure N° 43).

Pour entamer la physiologie rénale, il faut tout d'abord aborder l'anatomie et l'histologie du rein, puisqu'il existe une corrélation structure/fonction étroite.

Les fonctions rénales sont fortement dépendantes de la grande vascularisation de cet organe en plus, de la présence d'unité structurale de base qui est le néphron.

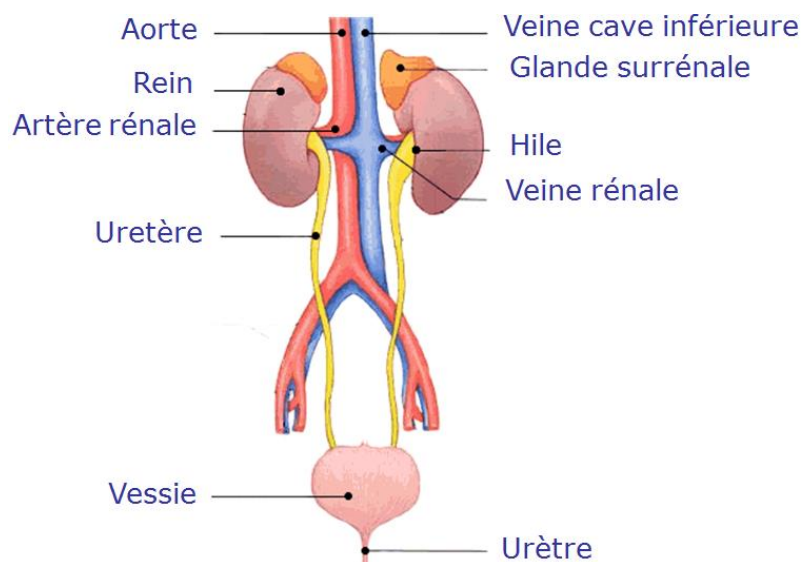


Figure N° 43 : Le système rénal (Anonyme 30)

Les reins sont des organes en forme d'haricots qui représentent une part essentielle des voies urinaires. Chacun mesure environ 10 à 12 cm de longueur et pèse environ 150 grammes. Les reins sont localisés de part et d'autre de la colonne vertébrale, derrière la cavité abdominale (qui contient les organes digestifs) (figure N°44).

Les deux reins reçoivent le sang des artères rénales (une branche de l'aorte). Le sang passe dans les artérioles et pénètrent dans les glomérules,

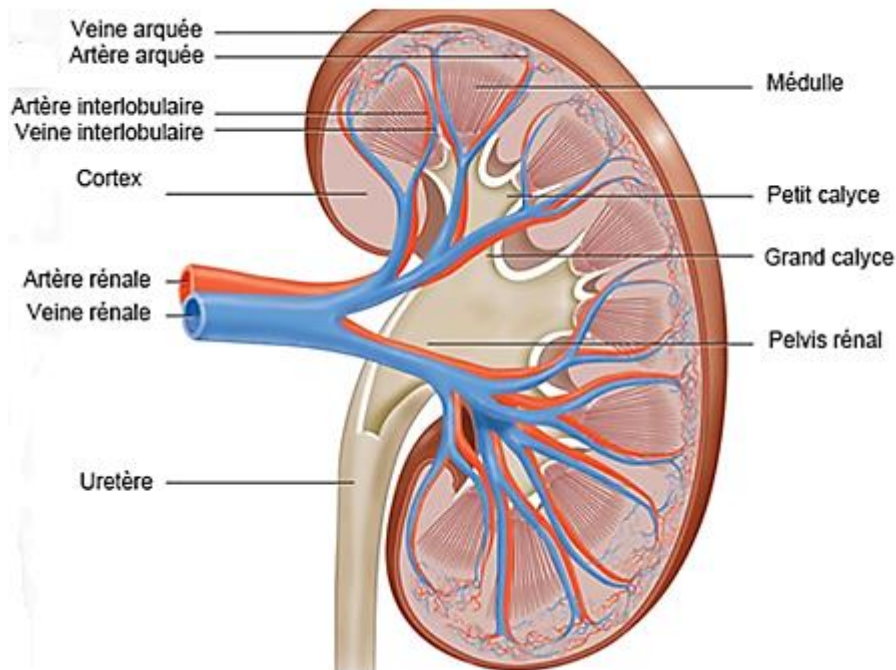


Figure N°44 : Anatomie rénale chez l'Homme (Standring, 2005)

Le **néphron** est une structure microscopique et constitue l'unité fonctionnelle du rein, qui filtre le sang, pour former l'urine. Chaque néphron renferme un **glomérule**, qui est entouré d'une structure à paroi fine, nommée la capsule de Bowman, et un **tubule rénal** qui évacue le liquide. Ce dernier est composé de trois segments spécialisés, le tube contourné proximal, l'anse de Henlé et le tube contourné distal, qui permettent la modification de composition de l'ultrafiltrat glomérulaire (par phénomène de sécrétion et de réabsorption entre le fluide tubulaire et les capillaires). Une troisième partie du néphron consiste en un **canal collecteur**, qui évacue le liquide du tubule en aboutissant à l'urine définitive (À la sortie du canal collecteur).

3. Rôles des reins

Le rein est impliqué dans plusieurs processus, mais sa principale fonction est d'assurer la détoxification de l'organisme en évacuant les déchets par l'urine. Il filtre le plasma sanguin et assure l'homéostasie (équilibre de l'eau et des ions) du corps. La diurèse (formation d'urine) atteint 1,5 litre par jour.

Les reins sont dotés de glandes à la partie supérieure de l'organe, appelées glandes surrénales qui ont une fonction endocrine : elles sécrètent des hormones (érythropoïétine, corticostéroïdes, adrénaline). Le rein régule aussi la pression artérielle.

Remarque

En plus de leur rôle de régulateur et de filtre, les reins produisent également plusieurs hormones, des enzymes et des vitamines dont :

- La **rénine**, indispensable à la régulation de la tension artérielle.
- L'**érythropoïétine** (EPO) qui agit sur la moelle osseuse pour produire des globules rouges en quantité suffisante pour véhiculer l'oxygène dans l'organisme.
- Le **calcitriol**, forme active de la vitamine D, qui permet l'absorption du calcium par l'intestin et sa fixation dans les os, afin de garantir leur bon état et leur robustesse.

4. Excrétion rénale

4. 1. La filtration glomérulaire

C'est un processus de filtration du plasma induisant la formation de l'urine primitive. Ce phénomène est purement passif et ne dépend que des différences de pression de part et d'autre de la paroi glomérulaire.

Le diamètre des pores des capillaires du glomérule est assez large (70 nm) pour permettre le passage de molécules de $MM < 60.000$. Seules les formes libres passent, celles liées aux protéines plasmatiques ne passent pas. Après filtration dans le tubule, les composés polaires et hydrosolubles sont excrétés dans l'urine (urine primitive ou filtrat) (figure N°45, 46 et 47).

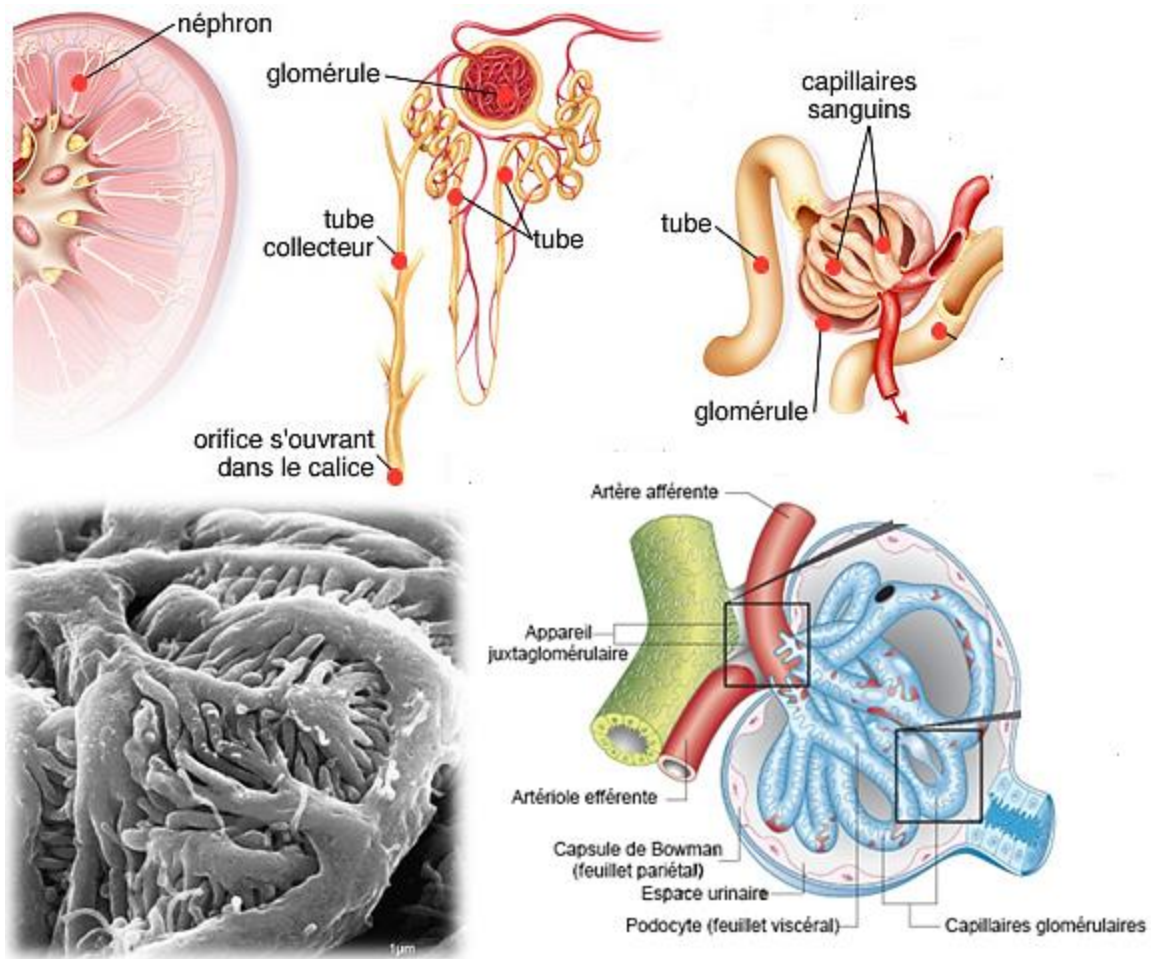


Figure N°45 : Structure générale du corpuscule rénal et détails de l'appareil juxtaglomérulaire et des capillaires glomérulaires chez l'Homme (Standring, 2005)

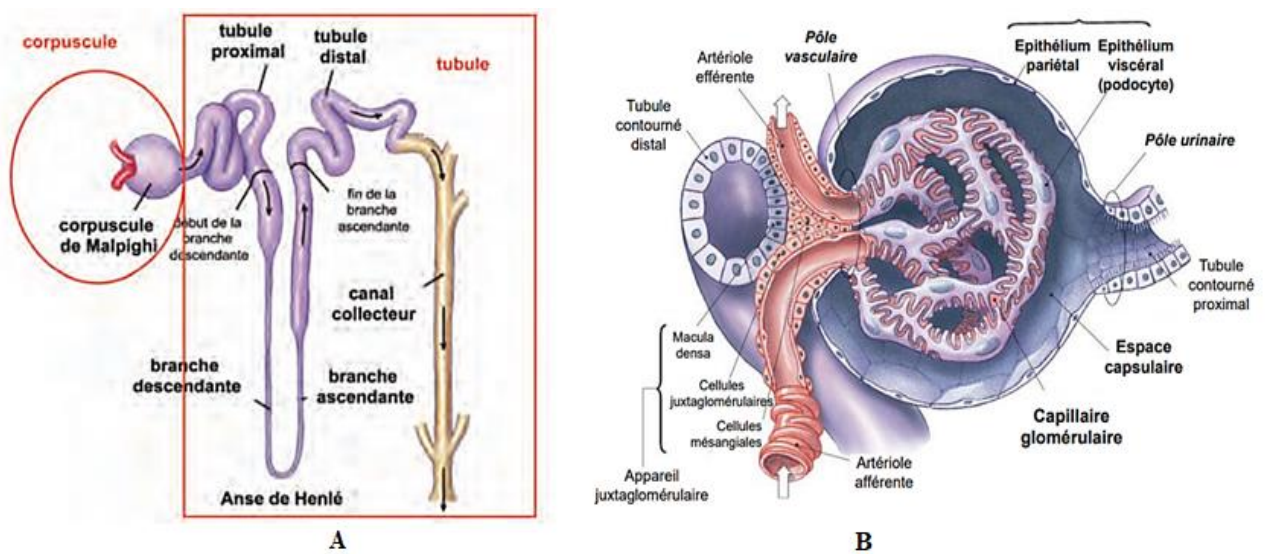


Figure N° 46 : Anatomie du néphron (A) (Lacour, 2013) et glomérule (B) (Anonyme 31)

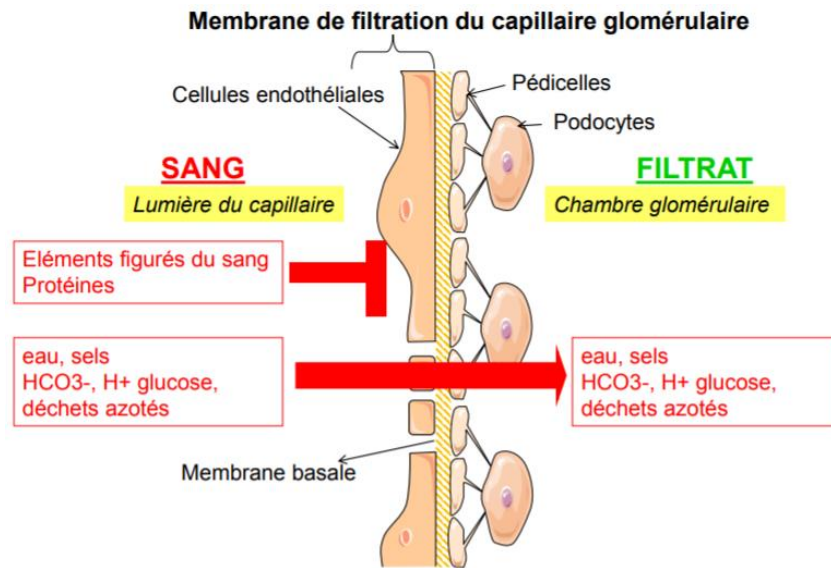


Figure N° 47 : Le mécanisme de passage à travers la paroi glomérulaire (Khellali, 2021)

4. 2. La réabsorption tubulaire

La réabsorption tubulaire est un processus qui peut être soit actif soit passif et permet le transfert de substances de la lumière du tubule rénal vers les capillaires péri-tubulaires (de la lumière du néphron vers le sang).

La résorption active concerne essentiellement les substances endogènes telles que le sodium, le potassium, le glucose et les acides aminés.

4. 3. La sécrétion tubulaire

Le processus de sécrétion tubulaire est un mécanisme de transport actif, qui utilise des transporteurs spécifiques, des capillaires péri-tubulaires vers la lumière du tubule rénal (du liquide péri-tubulaire vers la lumière tubulaire)

Le liquide péri-tubulaire est constitué par du sang qui a déjà été filtré au niveau du glomérule où il s'est appauvri en diverses substances de faible poids moléculaire (figure N° 48).

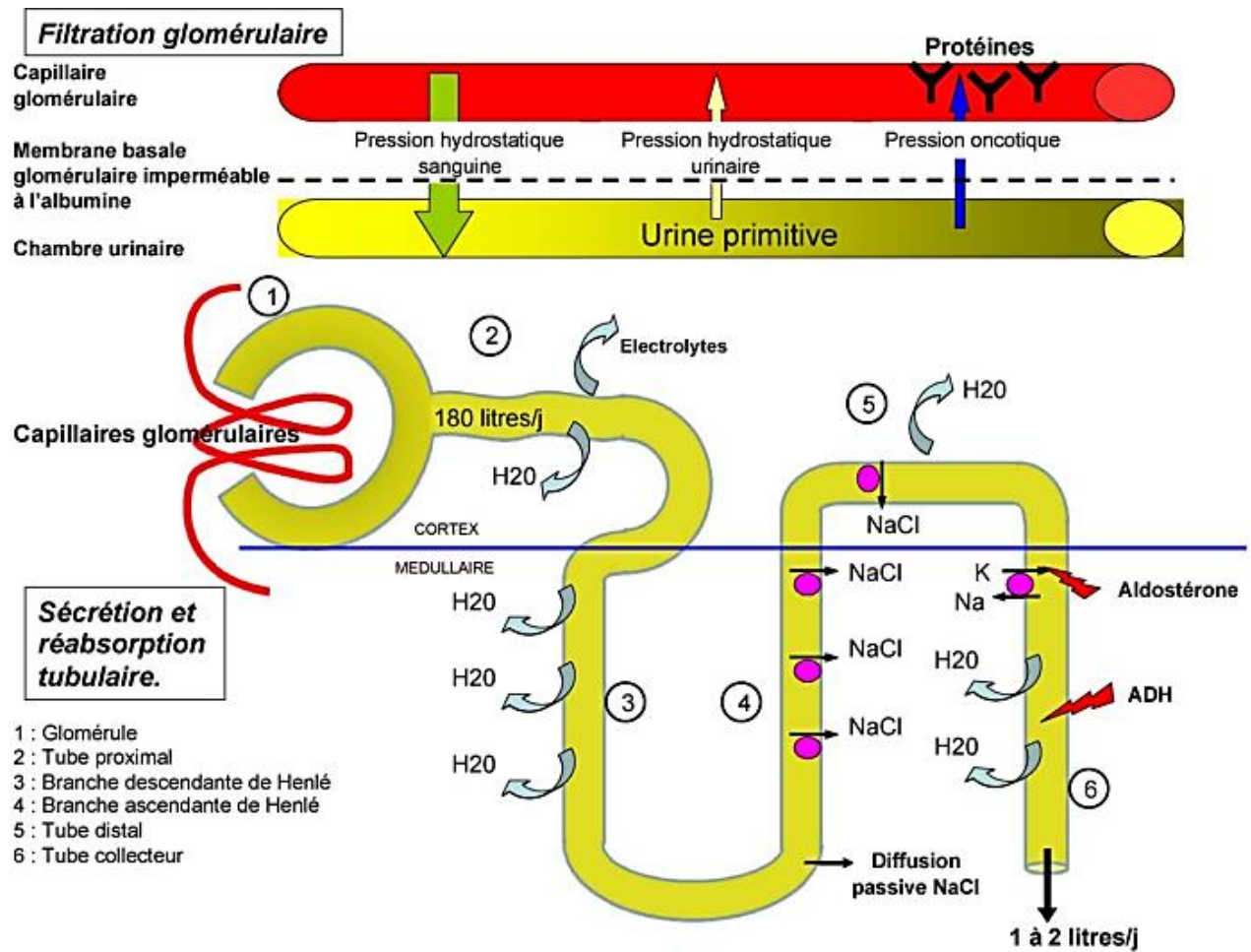


Figure N° 48 : Les trois étapes de filtration rénale (Daroux et coll., 2009)

Chapitre 6 : Le système nerveux

Chez les vertébrés, les informations sont analysées, traitées par le système nerveux doté de plusieurs types cellulaires qui enregistrent et organisent les réponses à transmettre à l'ensemble du corps, sous forme d'impulsion électrique : les potentiels d'action.

1. Le système nerveux

C'est un système constitué d'environ 10^{11} cellules. Selon la littérature, les cellules gliales (neuroglie) sont présentes d'un facteur de 10 à 50 fois plus élevée. Les neurones montrent les propriétés d'intégration et de transmission de l'influx nerveux, tandis que la neuroglie est le tissu de soutien des neurones. Ce système physiologique comporte deux divisions : le système nerveux central (SNC) et le système nerveux périphérique (SNP) (figure N°49).

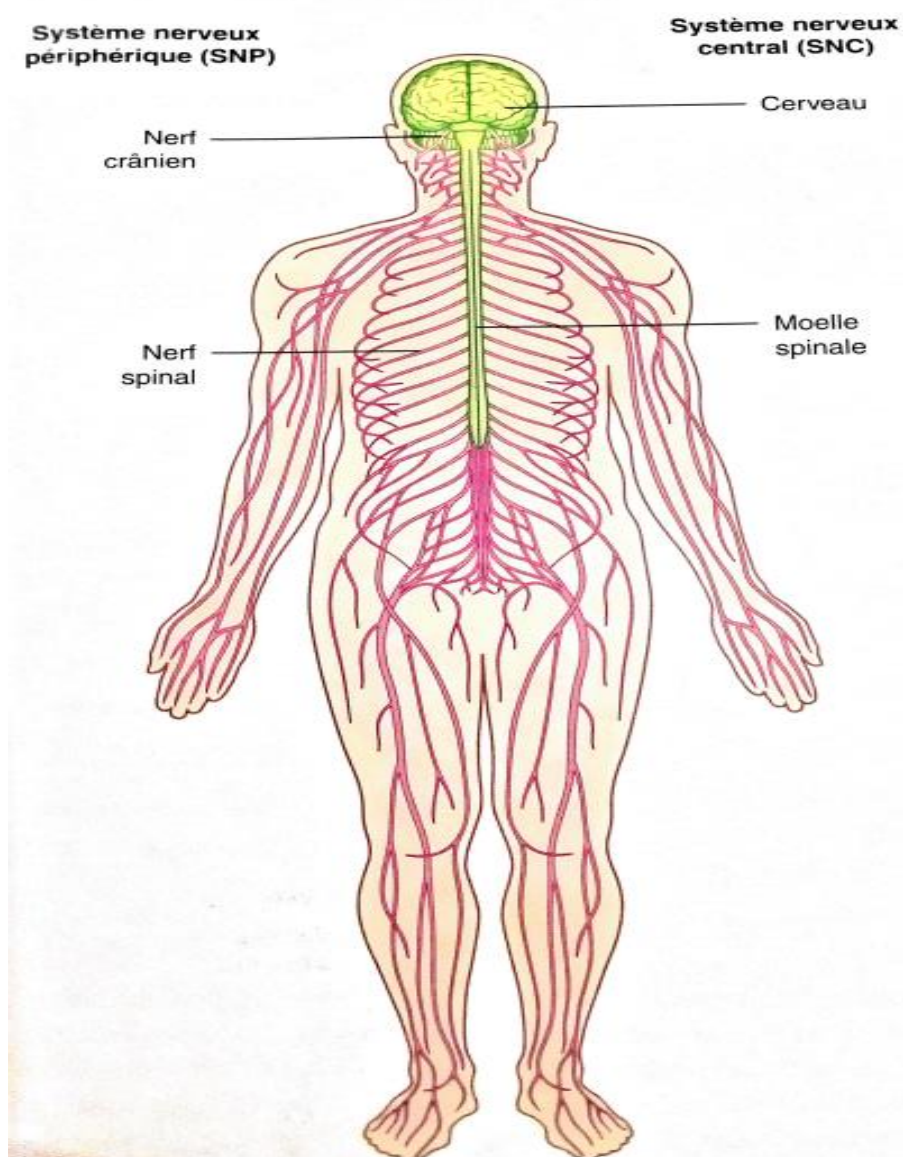


Figure N°49: Le système nerveux central (en vert) et système nerveux périphérique (en rouge) (Drake et coll., 2010)

1.1. Le système nerveux central (névraxe)

Il est présent chez les vertébrés et plus particulièrement chez les mammifères (Figure N° 50). Ce système est constitué de l'encéphale (qui inclut le cerveau, le cervelet et le tronc cérébral) et la moelle épinière (spinale) localisés respectivement dans la boîte crânienne et le canal vertébral. Le SNC est protégé par les méninges et le liquide cébrospinal (LCS) contenu dans l'espace sous arachnoïdien.

L'encéphale et la moelle épinière sont constitués de matière grise (corps cellulaire des neurones) et de substances ou matière blanche (fibres nerveuses myélinisées regroupées en faisceaux). L'ensemble constitue le système nerveux cérébro-spinal.

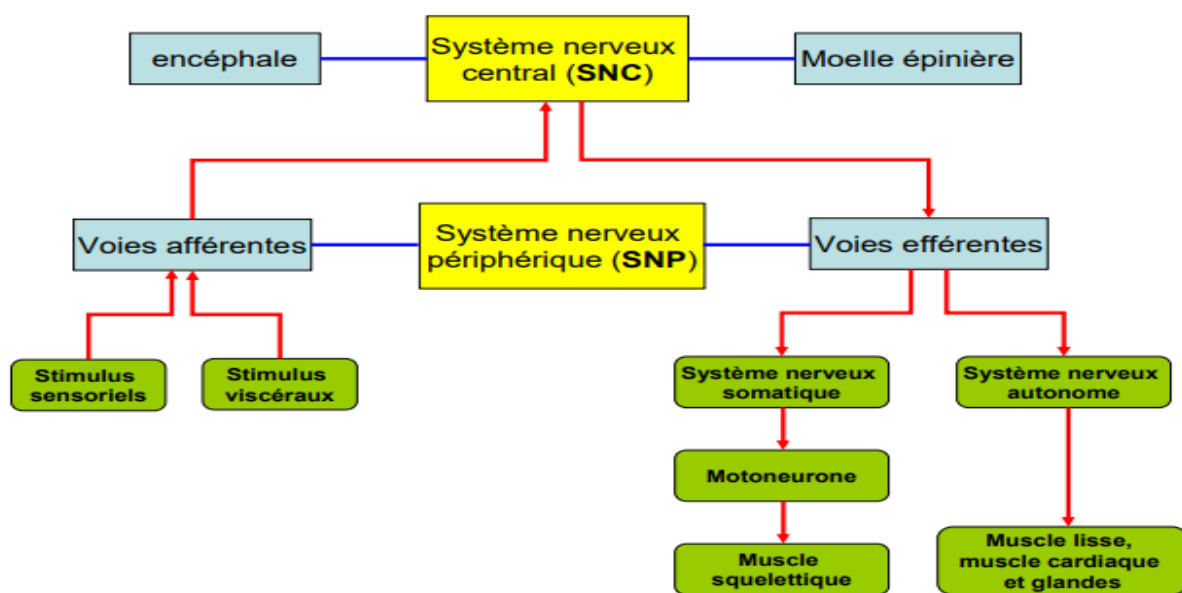


Figure N°50: Organisation du contrôle moteur (Benoussaad, 2009)

1.2. Le système nerveux périphérique

C'est la portion du système nerveux située en dehors du névraxe. Il est constitué de nerfs et de ganglions renfermant des corps cellulaires neuronaux. Il est constitué de plusieurs paires de nerfs, 12 paires de nerfs crâniens qui partent de l'encéphale et trente et une paires de nerfs rachidiens (spinaux) qui sortent de la moelle épinière toute au long de la colonne vertébrale.

Ce système est subdivisé en deux types :

1.2.1. Le système nerveux somatique

Représenté par les neurones sensitifs (afférents). Ils conduisent l'information des récepteurs périphériques vers le SNC qui va transmettre à son tour les influx nerveux jusqu'aux muscles squelettiques (organes d'exécution). Il s'agit des afférences nerveuse provenant de la peau, du

tissu sous cutané, des muscles et des tendons. Ce système nerveux est volontaire et commande les muscles striés et les organes de sens.

1.2.2. Le système nerveux autonome (végétatif)

Il est constitué de neurones sensitifs qui transportent l'information des récepteurs situés dans organes internes (viscères, poumons, cœur, utérus, tube digestif, vaisseaux), vers le SNC et des neurones moteurs issues du SNC qui transmettent l'influx nerveux aux muscles lisses (organes internes). Ce système s'occupe de toutes les fonctions que notre organisme ne les contrôle pas de manière volontaire : les fonctions végétatives. En effet, il participe aux régulations physiologiques (thermiques, cardiaques, artérielles, respiratoires, digestives ou liées à la miction).

Le système nerveux végétatif présente certaines caractéristiques :

- Assure l'innervation des viscères (cœur, tractus digestif, tissus glandulaires), des muscles lisses vasculaires et de divers éléments cutanés (glandes sudoripares, muscles pilomoteurs).
- Sa commande est **involontaire** mais elle est influencée par la fonction du SNC (le tronc cérébral, l'hypothalamus)
- La partie périphérique du SNV est **bi-neuronale**, ainsi le neurone émanant de la moelle épinière dit neurone **pré-ganglionnaire** rejoint un ganglion où il établit un contact synaptique avec un second neurone dit **post-ganglionnaire** qui gagne les cellules effectrices.

Le système nerveux végétatif est composé de deux parties :

- **le système nerveux sympathique** exerce un rôle stimulateur. De même, il s'occupe de la mise en alerte du corps en cas de risques.

Exemple : en cas d'un danger, il prépare le corps à un effort physique en accélérant le rythme cardiaque tout en ralentissant parallèlement des fonctions secondaires telles que la digestion.

- **le système nerveux parasympathique** possède un rôle inhibiteur qui assure le retour vers l'état ordinaire de fonctionnement.

Exemple : suite à un effort physique, ce système ralentit la fréquence cardiaque.

Le système nerveux **parasymphatique** domine pendant la majorité des activités liées au repos et à la digestion. Cependant, le système **sympathique** domine dans les situations de détresses (combat, fuite, ...). La quasi-totalité des activités quotidiennes résultent d'un équilibre entre les deux systèmes.

Ces deux systèmes autonomes sont responsables du maintien de l'homéostasie.

Les voies sympathiques (orthosymphatique) et parasymphatiques sont composées de neurones en série. Le premier, nommé neurone pré-ganglionnaire, mais dans le système nerveux central et se termine dans un ganglion végétatif à l'extérieur du SNC. Ces neurones forment des synapses avec le second neurone de la voie, le neurone post-ganglionnaire. Le soma de ce neurone se trouve dans le ganglion et son axone se termine dans le tissu cible. En moyenne, un neurone pré-ganglionnaire entrant dans un ganglion forme des synapses avec 8 ou 9 neurones post-ganglionnaires (figure N°51).

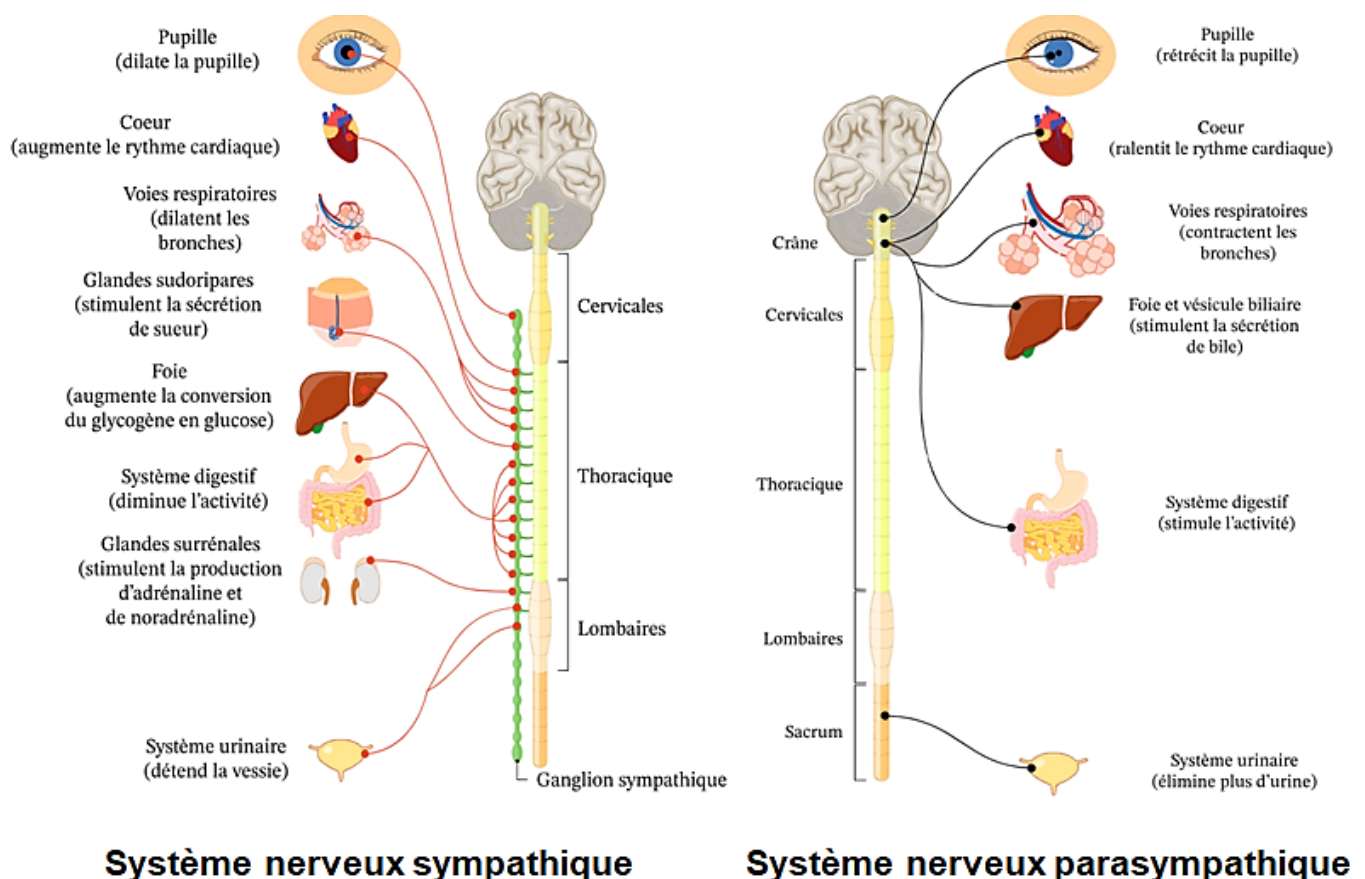
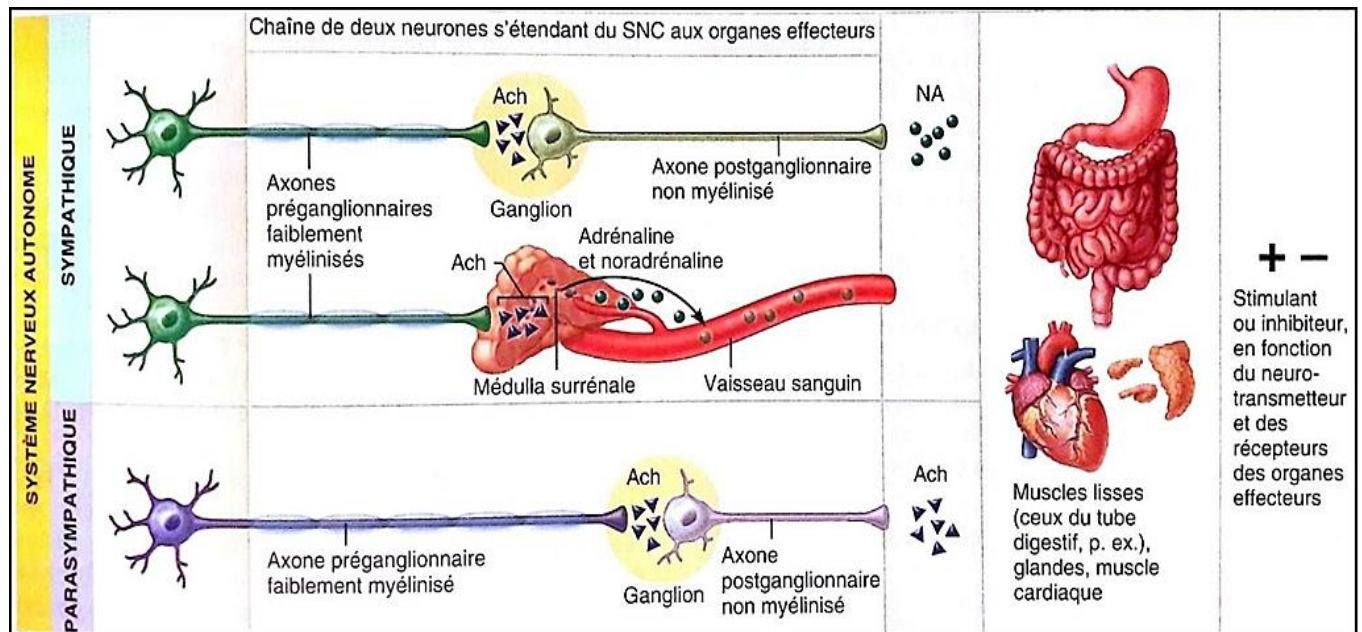


Figure N°51: Organisation des systèmes nerveux sympathiques et parasymphatiques (Khellali, 2023)

Ils exercent leurs actions, qui sont habituellement opposées, grâce à des molécules appelées neurotransmetteurs.

- Le neurone pré-ganglionnaire est myélinisé, le neurone post-ganglionnaire est non myélinisé.
- Pour le SNV le neurotransmetteur des synapses ganglionnaires est l'**acétylcholine** et leurs récepteurs sont **nicotiniques**.
- Cependant les neurotransmetteurs des neurones post-ganglionnaires sont l'**adrénaline** et la **noradrénaline** et leur récepteur est dit **adrénergique (figure N°52)**.



Ach : acétylcholine NA : noradrénaline

Figure N°52: Les neurones pré-ganglionnaires et post-ganglionnaires (Anonyme 32)

Les neurotransmetteurs

- **Système parasympathique** → Neurotransmetteur : Acétylcholine → Synthétisé dans la terminaison synaptique, à partir d'acétylCoA et de choline au niveau du soma, des vésicules issues du réseau trans-golgien sont acheminés grâce aux microtubules vers le bouton synaptique pour y être remplies d'acétylcholine. Ces vésicules sont organisées en deux pools : l'un de réserve, et l'autre prêt à l'exocytose dans la zone active.
- **Système sympathique** → Neurotransmetteurs : Noradrénaline, adrénaline → la synthèse s'effectue à partir de la tyrosine (acide aminé indispensable). La noradrénaline est stockée aux extrémités des fibres sympathiques postganglionnaires dans des granules. Ces dernières sont synthétisées dans le soma du neurone puis migrent le long de l'axone vers le bouton synaptique.

Remarque

À l'opposition des autres cellules de l'organisme, les neurones présentent des caractères électriques marqués. Ils sont facilement excitables puisque leur seuil d'excitation est bas.

2. Le tissu nerveux

Malgré sa complexité ce tissu est formé de cellules classées en deux grands groupes : les neurones et les cellules gliales.

2.1. Les neurones (les cellules nerveuses)

Le nombre de cellules nerveuses proprement dites dans le cerveau humain est aux alentours de 10^{11} cellule, en plus des cellules souches cérébrales qui sont dépourvues de la capacité de se diviser.

Les cellules nerveuses sont spécialisées dans la réception et la transmission de signaux électriques. Ces cellules se connectent entre eux et/ou avec leurs cibles (muscles et glandes) grâce aux prolongements émis par le corps cellulaire : dendrites et axones.

Les neurones renferment une zone réceptrice (dendrites et éventuellement le corps cellulaire), zone d'intégration cellulaire laquelle est susceptible de créer le potentiel d'action, zone de conduction ou le potentiel d'action se propage et la zone effectrice ou de transmission figurée par les terminaisons.

2.1.1. Structure du neurone

Il s'agit de structure variable en forme et taille, constitué de corps cellulaire (soma ou péricaryon), des dendrites (prolongements) et d'une arborisation terminale (axone).

Le corps cellulaire contient un cytoplasme avec les organites cellulaires à savoir un noyau volumineux, l'appareil de Golgi, les mitochondries, le corps de Nissl, les lysosomes, ... (Figure N°53).

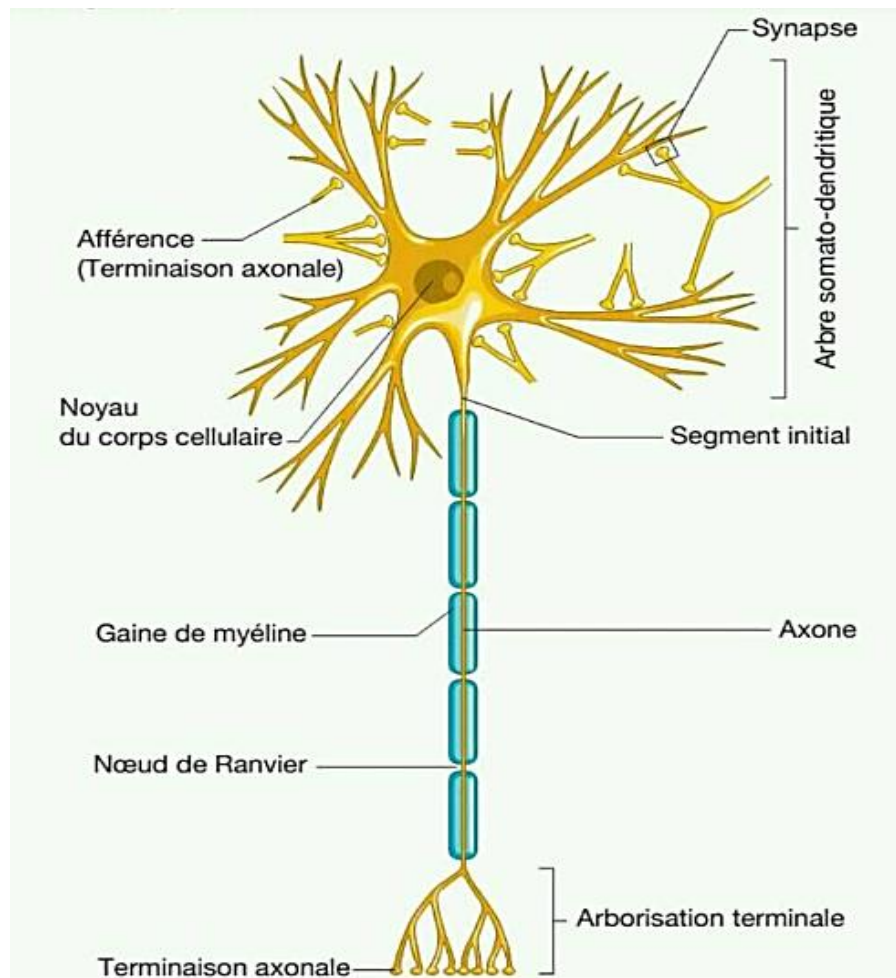


Figure N° 53 : La structure d'un neurone myélinisé (Vibert et coll., 2011)

a. les dendrites : sont très nombreux, courtes, hérissés de petites protubérances en forme de boutons appelées les épines dendritiques (synapses). Ces derniers établissent plusieurs connexions avec les autres neurones.

b. l'axone : connu aussi sous l'appellation de cylindraxe, est un prolongement du corps cellulaire. Le cytoplasme axonique (axoplasme) renferme plusieurs mitochondries, mais dépourvu de réticulum endoplasmique rugueux. L'axone est muni de neurofibrilles longitudinaux qui s'occupent du transport des protéines synthétisées dans le corps de Nissl vers les terminaisons axonales (figure N° 54).

Remarque

Les corps de Nissl se trouvent dans le péricaryon et dans la première partie des dendrites; ils sont absents dans l'axone et dans le cône axonique. Le corps de Nissl représente le réticulum endoplasmique rugueux d'un neurone (figure N° 54).

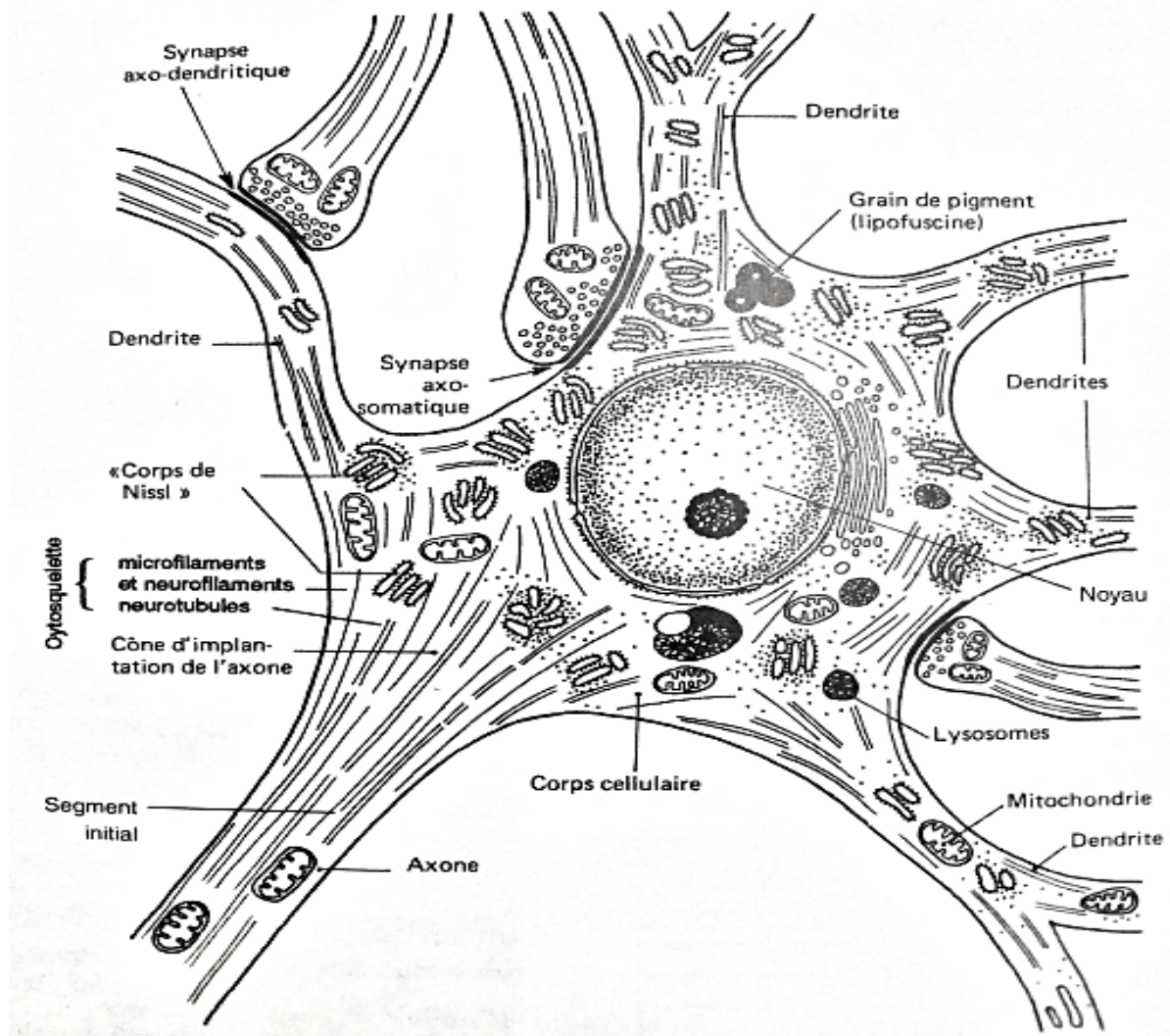


Figure N° 54 : Ultrastructure d'un neurone (Poirier et coll., 1999)

2.1.2. Types de neurones

Selon le nombre de prolongements qui partent du soma, on distingue trois types de neurones :

- Les neurones multipolaires : ce sont des formes étoilées, munies de plusieurs dendrites et un seul axone.
- Les neurones bipolaires : il s'agit d'une seule dendrite et un seul axone.
- Les neurones unipolaires : sont caractérisés par un seul prolongement qui sort du corps cellulaire (figure N° 55).

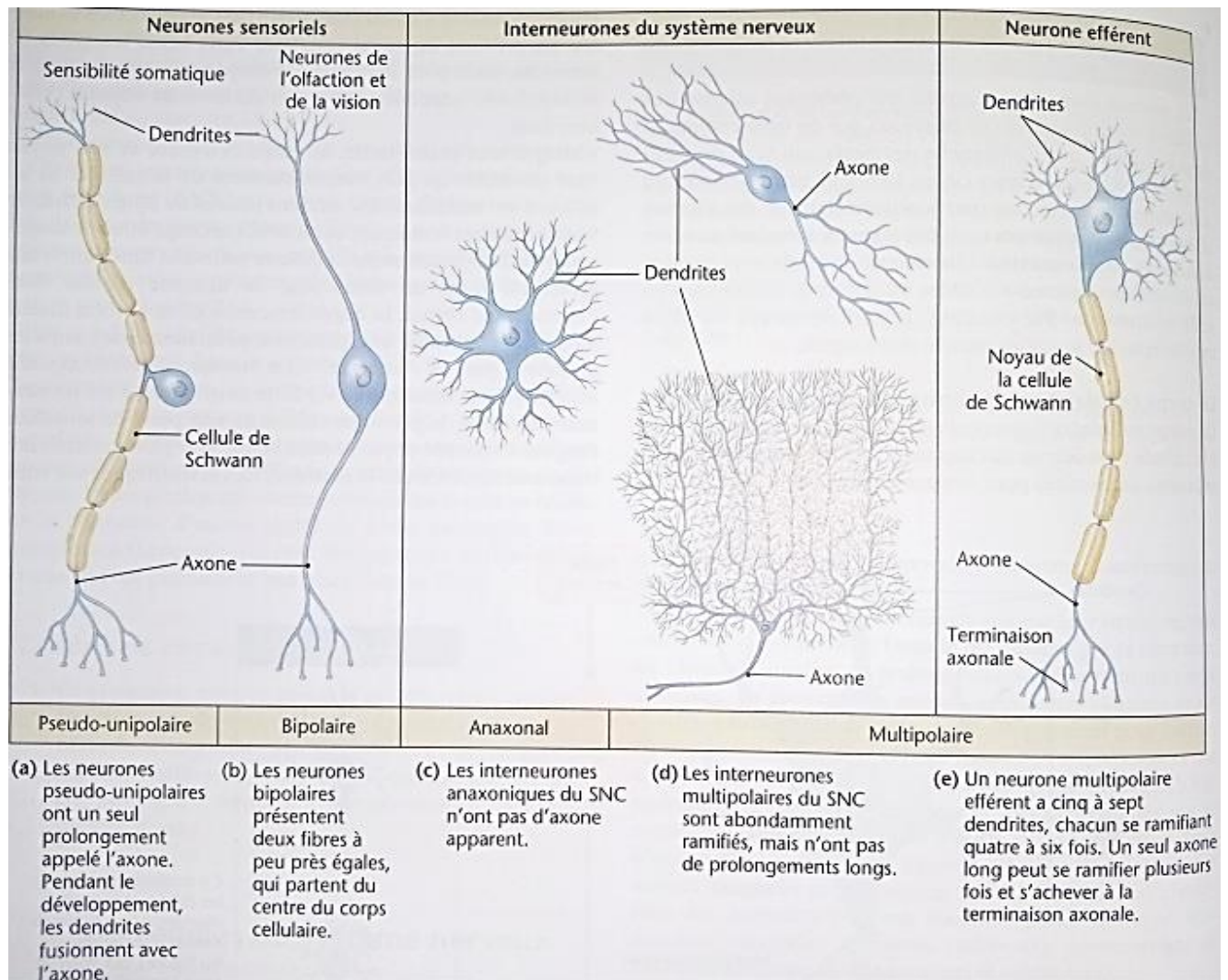


Figure N° 55 : Classification histologique de quelques types de neurones

(Lamb et coll., 1990)

2.2. Les cellules gliales

Ce sont les cellules plus nombreuses que les neurones. Elles occupent environ 50% du volume total du tissu nerveux. Dans le SNC, il y a quatre types de cellules gliales : les astrocytes, les oligodendrocytes, les microglies et les cellules épendymaires.

2.2.1. Les astrocytes

Ces cellules émettent des prolongements jusqu'aux vaisseaux sanguins contribuant à relier ces derniers aux neurones.

2.2.2. Les oligodendrocytes

En plus des astrocytes, ces cellules constituent la macroglie. Les oligodendrocytes sont les cellules qui forment la gaine de myéline qui recouvrent les axones et favorise la transmission

de l'influx nerveux. Ces cellules myélinisantes permettent de protéger les neurones et maintiennent leur bon état de fonctionnement en leur apportant de l'énergie. Ces cellules présentent la capacité de myélinisation de plusieurs fibres nerveuses (un oligodendrocyte forme un segment de myéline sur 20 à 70 fibres différentes).

2.2.3. Les microglies

Ce sont des petites cellules phagocytaires et minoritaires de 5 à 10% de cellules gliales. Elles dérivent des mastocytes sanguins qui passent dans le cerveau au cours du développement embryonnaire.

2.2.4. Les cellules épendymaires

Ce sont des cellules gliales spécialisées qui forment une couche perméable appelée l'épendyme qui sépare les compartiments liquidiens du système nerveux central. Il s'agit d'une fine membrane qui tapisse les cavités (ou ventricules) du cerveau et la colonne centrale de la moelle épinière.

Le rôle principal des cellules épendymaires est de produire le liquide céphalo-rachidien qui remplit ces ventricules.

2.3. Le potentiel d'action

Il est propagé à partir des cellules nerveuses et favorise la transmission de l'influx nerveux dans l'organisme.

Ce potentiel se réfère à un passage de courant circulaire en segment (quelques millimètres) sur la surface de l'axone. La mise en évidence de la propriété de conduction des neurones est réalisée par un dispositif d'enregistrement (myographe) placé à distance du système de stimulation.

Si la stimulation du neurone est suffisante, l'enregistrement d'un potentiel d'action est possible. Le délai de réponse est fonction de la distance entre le point de stimulation et le l'appareil d'enregistrement. Cette distance et le temps de latence, sont deux paramètres qui permettent le calcul de la vitesse de conduction de la fibre nerveuse (figure N° 56, 57 et 58).

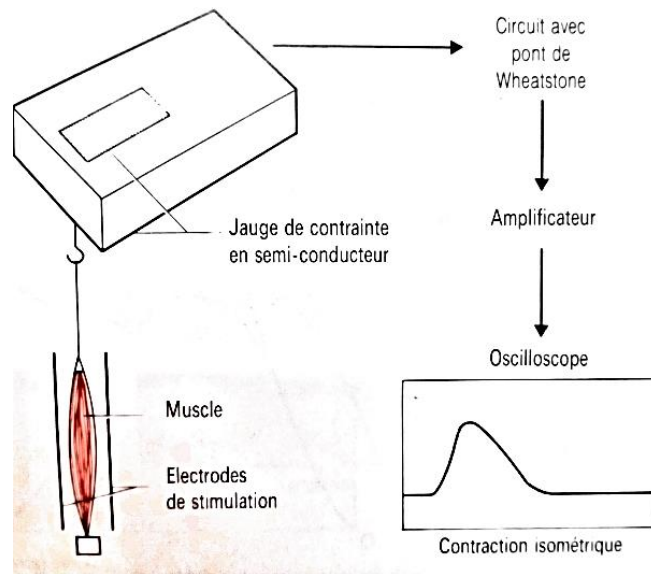


Figure N° 56 : La stimulation neuromusculaire (Lamb et coll., 1990)

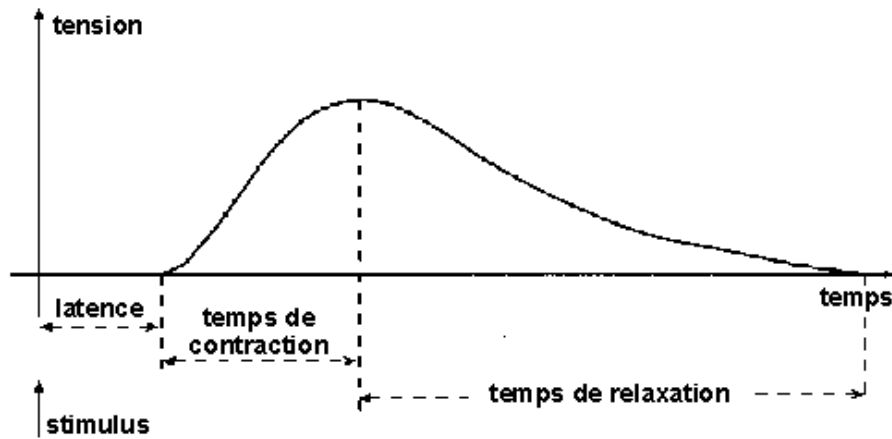


Figure N° 57 : La réponse musculaire à une stimulation (Bouisset et Maton, S1995)

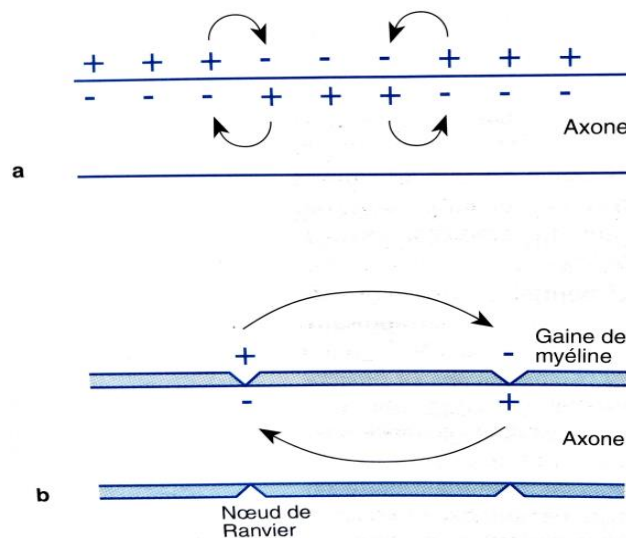


Figure N° 58 : Le mécanisme de propagation du potentiel d'action (Calas et coll., 2016)

Remarques

- Les oligodendrocytes dans le SNC et les cellules de Schwann dans le SNP ont la capacité de synthétiser de grandes quantités de membrane qui s'enroulent autour des axones pour former la gaine de myéline.
- Les cellules de Schwann est un type de cellules gliales qui s'occupent de l'isolation myélinique des axones du système nerveux périphérique.
- La myéline est synthétisée par les oligodendrocytes dans le système nerveux central et par les cellules de Schwann dans le système nerveux périphérique. Leur propriété commune est leur capacité de synthétiser une énorme quantité de membrane qui s'enroule autour des axones et forme, après compactage, la gaine de myéline.

3. Les synapses

Ce sont des zones de jonction (ou de communication) entre un neurone et un autre neurone, une cellule musculaire (lisse, striée, myocarde) ou une cellule glandulaire. Le passage de l'information d'un neurone à son effecteur se déroule au niveau de point de contact nommés synapses (figure N° 59). Ils sont de deux types, les synapses chimiques et physiques.

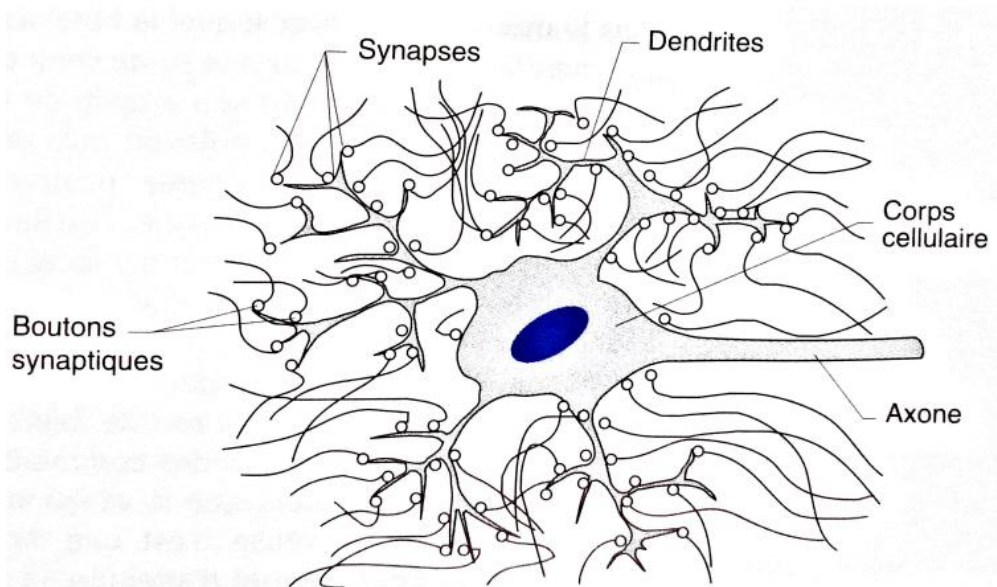


Figure N° 59 : Synapses (Ader et coll., 2006)

3.1. Les synapses chimiques

C'est l'endroit du contact et de transmission des signaux entre les neurones et leurs effecteurs (muscle et glandes). Au sein desquelles, il se produit la libération d'intermédiaires chimiques, les neuromédiateurs. Ce type représente la majorité des synapses (figure N°60).

3.2. Les synapses électriques

Au niveau de ce type de synapses, l'espace entre les deux membranes des cellules nerveuses est très restreint (environ 15 nm). Les cellules sont reliées par des canaux (jonctions de communications) ou se passent les ions d'un neurone à l'autre (figure N°61).

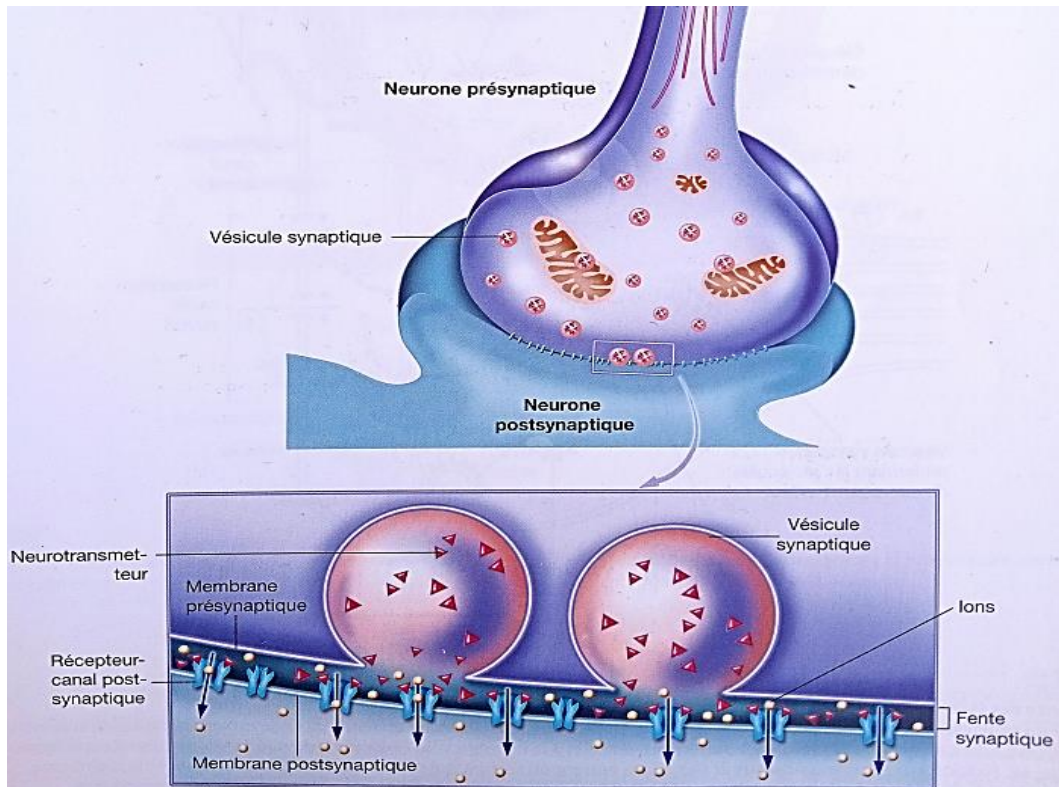


Figure N° 60 : Les synapses chimiques (Rousset et Perlemuter, 2010)

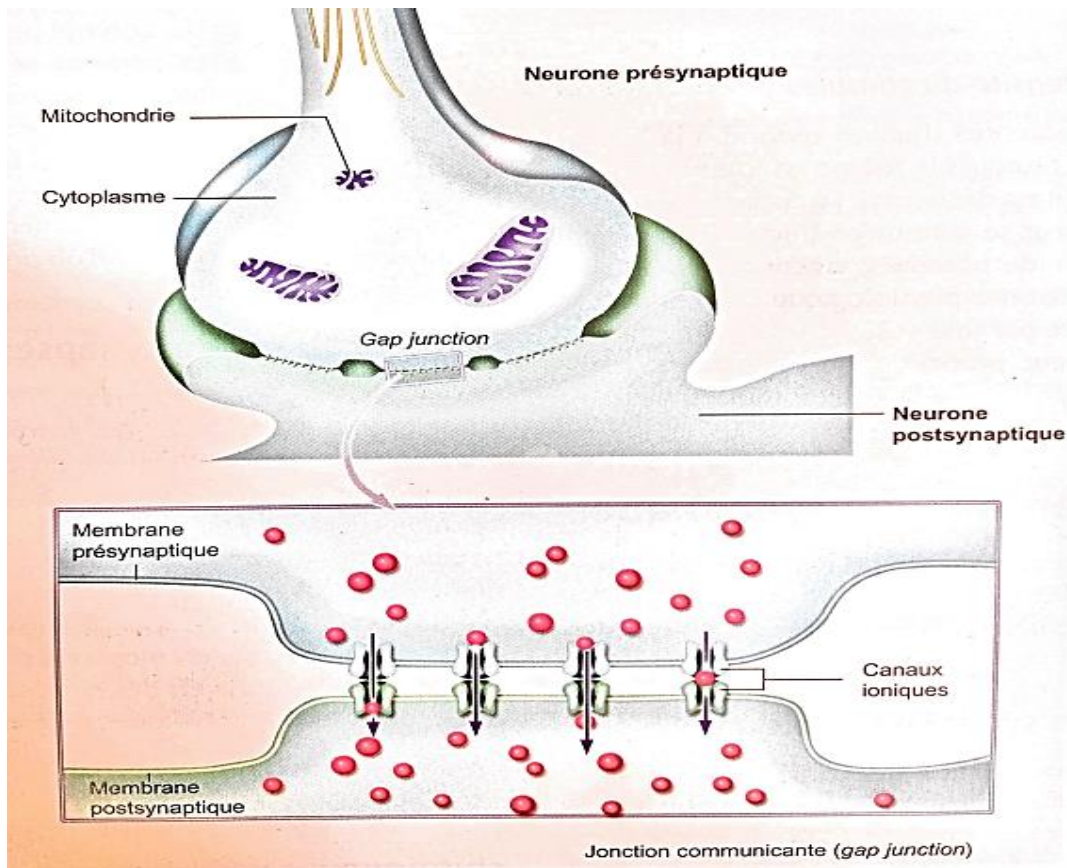


Figure N° 61 : Les synapses électriques (Rousset et Perlemuter, 2010)

4. Excitabilité du neurone

Le neurone est une cellule excitable qui peut modifier son potentiel au niveau de la membrane sous l'effet d'un stimulus ou excitant (action externe). Les excitants peuvent être physiologiques en agissant souvent au niveau des dendrites en cas des messages sensitifs et de l'axone pour les messages moteurs.

5. La fonction neuromusculaire

C'est la zone de contact entre le neurone (médullaire) et une fibre musculaire squelettique. Cette zone possède toutes les caractéristiques morphologiques et fonctionnelles d'une synapse (figure N° 62).

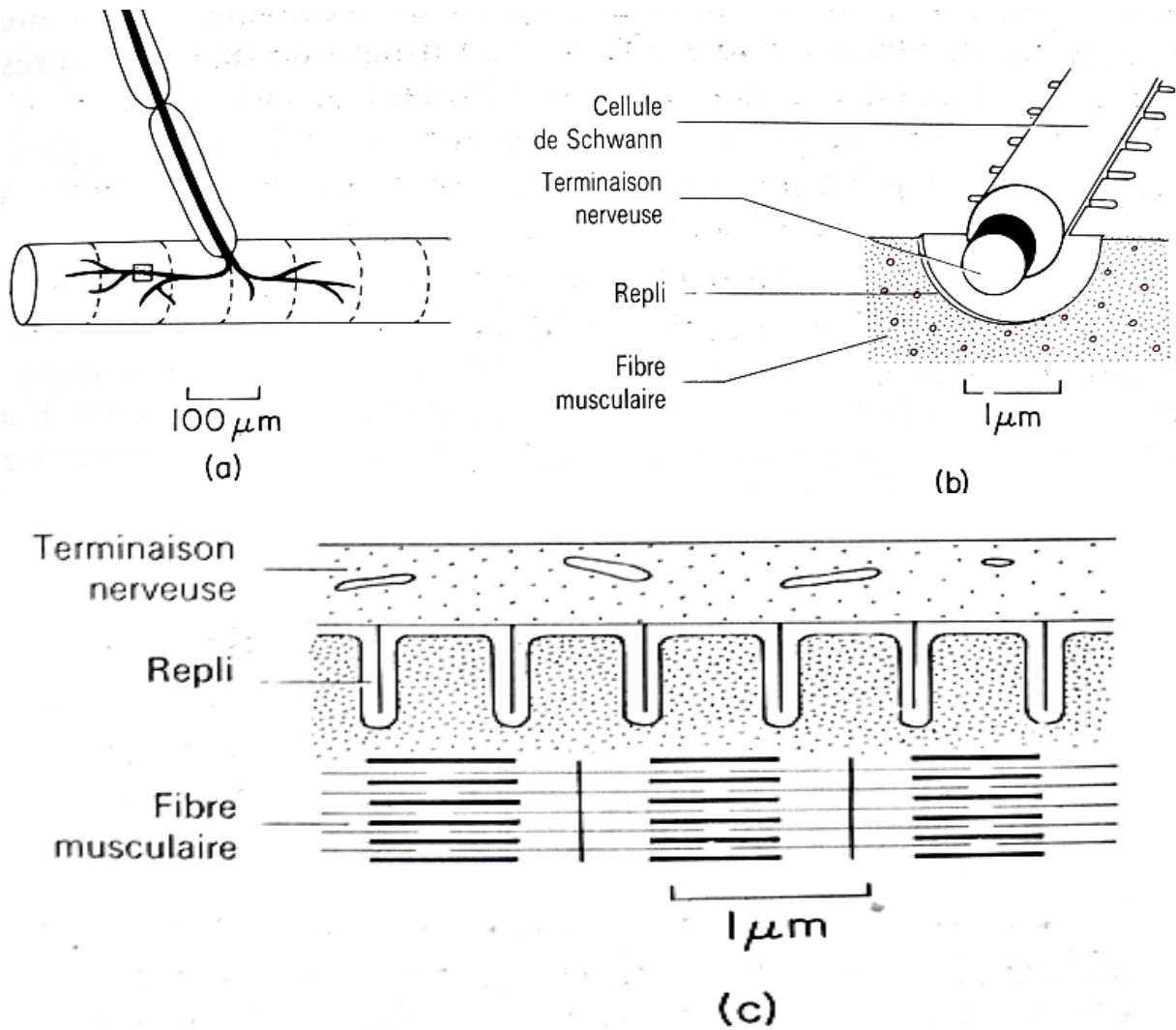


Figure N° 62 : Schéma de jonction neuromusculaire chez le grenouille : en (b) et (c) des agrandissements de la région de la fibre musculaire nerveuse indiquée en (a) (Lamb et coll., 1990)

Chapitre 7 : Le système musculaire

Le muscle est l'un des tissus fondamentaux de l'organisme. Il constitue environ la moitié de la masse corporelle totale. Ce tissu participe à plusieurs fonctions indispensables à la vie de l'organisme, à savoir la respiration, la digestion, la circulation du sang, l'évacuation..., ainsi qu'à son adaptation au milieu environnant (locomotion).

La cellule musculaire ressemble à la cellule nerveuse du point de vue excitabilité sous l'influence d'excitants chimiques, électriques ou mécaniques.

I. généralités sur le muscle

1. Terminologie

Couramment, une terminologie particulière est employée pour certains éléments des cellules musculaires :

- la cellule musculaire = la fibre musculaire
- la membrane cytoplasmique = le sarcolemme
- le cytoplasme = le sarcoplasme
- les mitochondries = les sarcosomes
- le réticulum endoplasmique = le réticulum sarcoplasmique.

2. Définition

Le tissu musculaire est constitué par des cellules spécialisées : les myocytes (fibres musculaires), dont la fonction principale est la contraction. Ces cellules se caractérisent des autres types cellulaires sur le plan structural et fonctionnel (volontaires ou involontaires).

Ces cellules renferment des filaments protéiques d'actine et de myosine qui glissent les uns sur les autres, en produisant une contraction qui influe sur la longueur et la forme de la cellule, à la fois.

3. Les fonctions du tissu musculaire

Le muscle est lié à plusieurs fonctions, notamment :

- Le mouvement.
- La stabilisation des positions du corps et la régulation du volume des organes.
- La génération de chaleur (thermogénèse).

4. Les caractéristiques du tissu musculaire

- L'excitabilité: c'est l'aptitude à réagir à certains stimuli par la production du potentiel d'action (signaux électriques).
- La contractilité : c'est la propriété du tissu musculaire de se raccourcir et de s'épaissir (se contracter).
- L'extensibilité signifie que le muscle peut être étendu (étiré) sans endommager le tissu.
- L'élasticité : c'est la capacité du muscle de reprendre sa forme initiale après une contraction ou une extension.

II. types de muscles

Il existe plusieurs critères de différenciation du tissu musculaire. On peut les regrouper en sept grandes catégories. Il s'agit de :

- ◆ La forme et la dimension
- ◆ Le nombre et la disposition des noyaux
- ◆ Le mode d'assemblage des fibres musculaires
- ◆ L'enveloppe conjonctive en rapport avec le tissu conjonctif dense
- ◆ Le type de relation entre les cellules
- ◆ L'aspect du cytoplasme cellulaire
- ◆ La répartition des organites par rapport à l'appareil contractile

Selon les critères cités précédemment, les muscles sont classés en trois types : strié squelettique (volontaire), strié cardiaque et lisse (involontaire) (figure N°63).

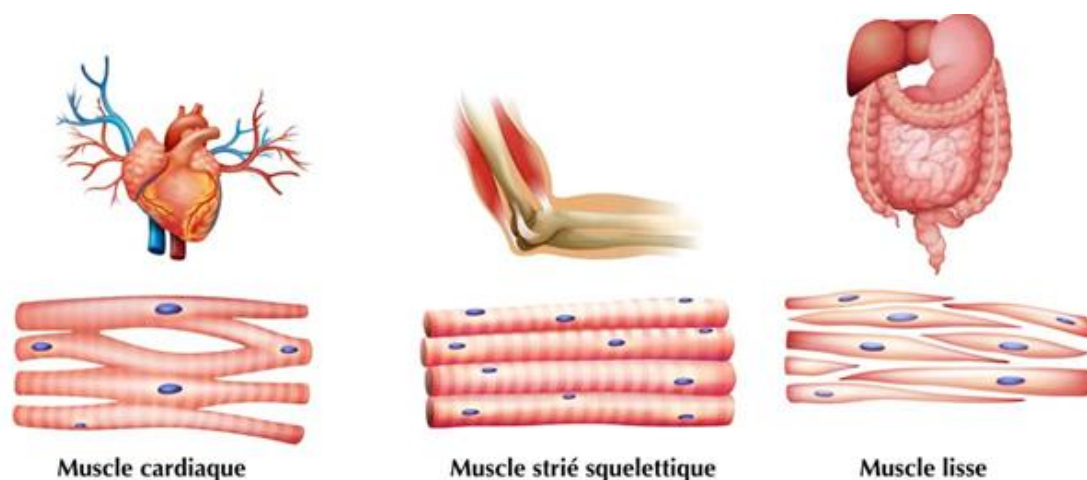


Figure N° 63 : Schéma illustrant les différences structurales entre les trois types de muscles (Anonyme 33)

1. Le muscle lisse

Ce type de muscle est caractérisé par une contraction lente et involontaire. Il se situe au niveau des organes creux en tuniques musculaires (la paroi des voies digestives, respiratoires, urinaires et génitales).

D'un point de vue microscopique, la cellule du muscle lisse est allongée, fusiforme renfermant un seul noyau central et entourée par un sarcolemme doublé d'une lame basale.

Le sarcoplasme renferme les organites cellulaires autour du noyau, à savoir une multitude de mitochondries, quelques lysosomes et enclaves lipidiques, du glycogène, un réticulum sarcoplasmique peu développé et l'appareil de Golgi.

Le sarcoplasme comporte des myofibrilles arrangés parallèlement les unes aux autres et constituée de myofilaments fins (actine), de myofilaments épais (myosine) et d'un troisième type de filaments intermédiaires appelés desmine et vimentine (n'interviennent pas dans la contraction mais fournit une sorte de squelette pour la fibre musculaire).

2. Muscle strié squelettique

C'est un type de muscles striés qui assure le rôle de motricité du corps dans son environnement, en permettant de faire bouger le squelette volontairement (contrôlé par le SNP somatique). Le muscle squelettique est un organe muni de vaisseaux sanguins, de nerfs et de tissu conjonctif. C'est le tissu musculaire associé au squelette.

L'association des muscles striés squelettiques aux os permet de déplacer le squelette pour produire un mouvement ou garder une posture. Ce type de muscle présente environ 40% de la masse corporelle chez le jeune adulte du sexe masculin.

Le muscle squelettique est enveloppé par diverses membranes. En allant de l'extérieur vers l'intérieur, nous trouverons **l'épimysium** (enveloppe qui couvre le muscle). Ensuite, le muscle se divise en faisceaux, séparés les uns des autres par le **périmysium**. Enfin, chaque faisceau est constitué de fibres musculaires entourées par **l'endomysium**. Aux extrémités du muscle, les différentes membranes conjonctives s'unissent pour former les tendons qui attachent les muscles aux os (figure N° 64).

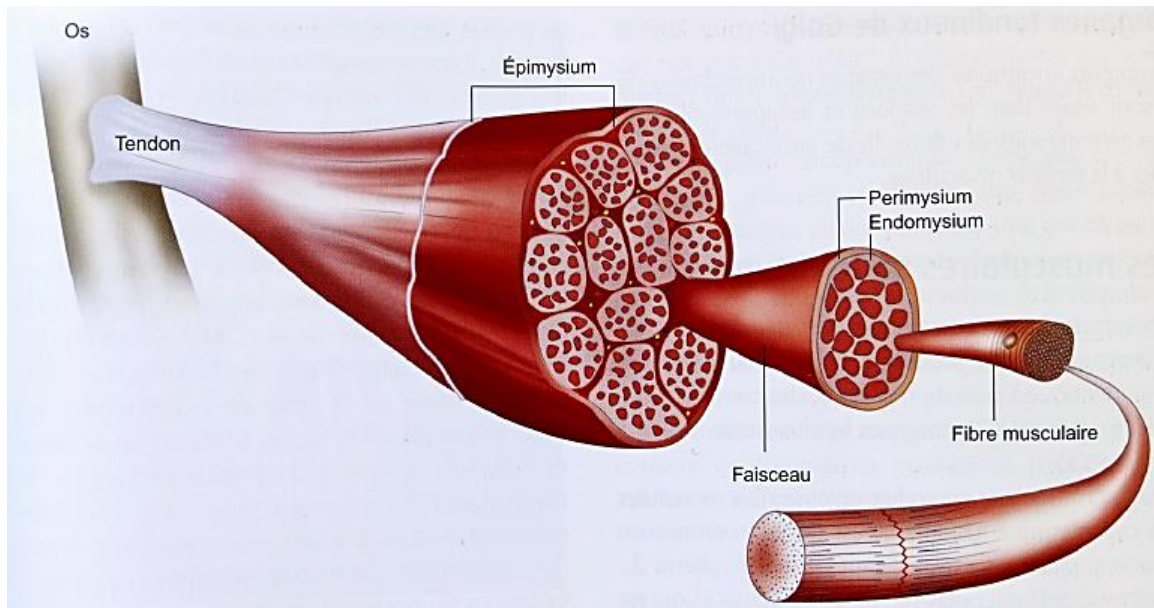


Figure N° 64 : Organisation générale d'un muscle strié (Rousset et Perlemuter, 2010)

Les fibres musculaires striées squelettiques (rhabdomyocytes) sont des cellules allongées, plurinucléées qui présentent une striation transversale régulière, limitées par une sarcolemme et leur diamètre varie de 10 à 100 μm avec une longueur variable de quelques millimètres (muscles oculaires) à plusieurs centimètres pour certains muscles squelettiques. Chaque fibre présente une striation transversale caractéristique (alternance de bandes sombres constituées de myosine et de bandes claires constituées d'actine), d'où le nom de muscle squelettique strié (figure N° 65).

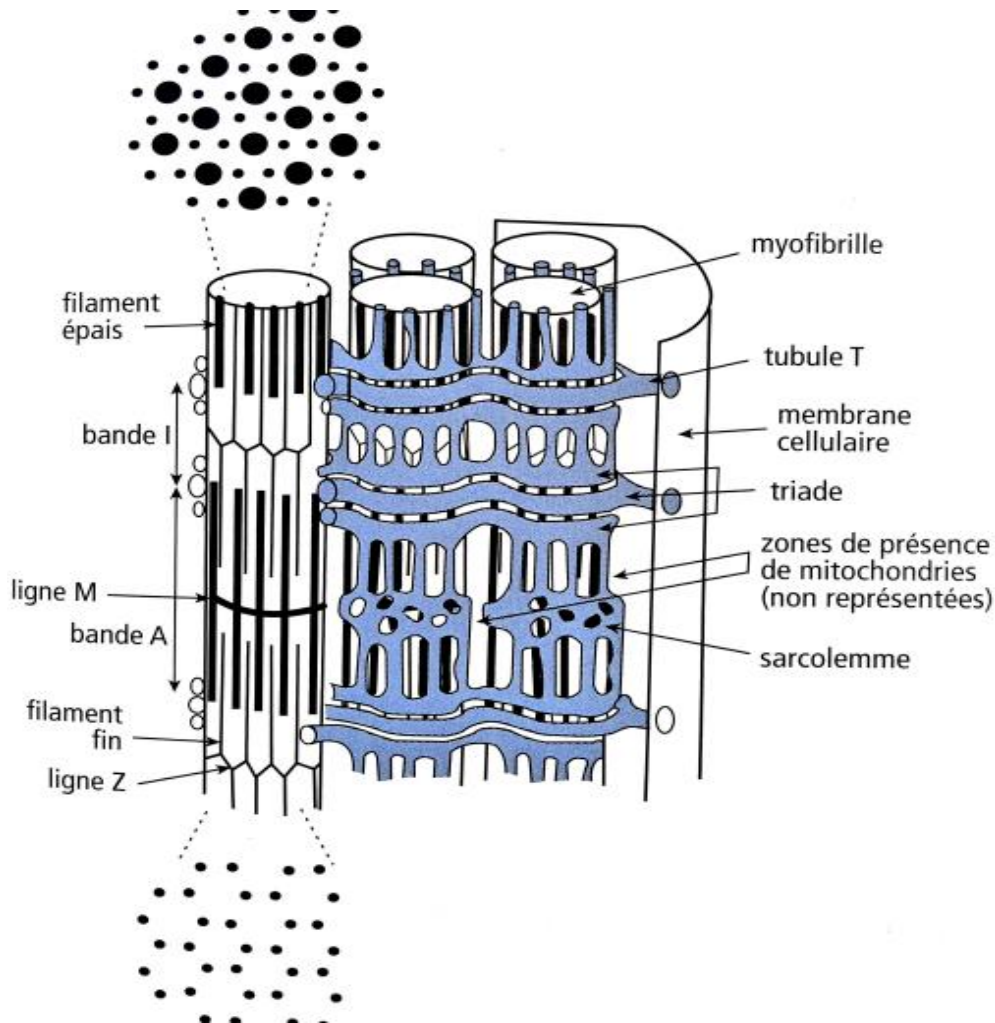


Figure N° 65 : Ultrastructure de la fibre musculaire striée (Calas et coll., 2016)

Les noyaux sont ovoïdes allongés en périphérie de la fibre et portent un appareil de Golgi au pôle de chaque noyau. Le sarcoplasme est caractérisé par l'abondance des mitochondries, la présence d'un réticulum sarcoplasmique lisse, ainsi que par les myofibrilles qui occupent la majeure partie du sarcoplasme et se groupent en faisceaux. Des enclaves cytoplasmiques sont présent, notamment les vacuoles lipidiques, le glycogène et la myoglobine.

Remarque

- La myoglobine est un pigment rouge, proche de l'hémoglobine, fixant l'oxygène apporté par le sang puis le cédant aux mitochondries.
- Les muscles striés sont des muscles rouges à l'inverse des aux muscles lisses qui possèdent une couleur blanche (pauvres en myoglobine).
- Myoplasme : désigne l'ensemble des myofibrilles.

Les cellules musculaires ne se divisent pas. En cas de lésion, elles sont remplacées par division des cellules souches inactives (cellules satellites). Par microscopie électronique, ces cellules apparaissent petites et fusiformes, situées entre la lame basale et le sarcoplasme.

3. Le muscle strié cardiaque

Le myocarde est la partie musculaire de la paroi cardiaque. Sa contraction rythmique est involontaire. Il existe deux grands types cellulaires : les fibres musculaires myocardiques et les cellules du tissu nodal (sert à la transmission de l'onde d'excitabilité à tout le myocarde).

Par microscope optique, les cellules myocardiques sont allongées, à extrémités ramifiées avec un noyau unique et central et un sarcoplasme qui est occupé par des myofibrilles.

Ce type de muscle renferme une striation transversale (semblable à celles des muscles striés squelettiques) et des densifications transversales (stries scalariformes ou disques intercalaires qui correspondent aux systèmes de jonction liant les extrémités des fibres entre elles).

4. Organisation structurale des myofibrilles

La fibre musculaire est constituée de quelques centaines à quelques milliers de **myofibrilles**, qui ont présentes sous forme de cylindres allongés. Chaque myofibrille est composée des **sarcomères**, qui sont les unités structurales et fonctionnelles du muscle.

Les myofibrilles (\varnothing de 1 à 3 μ m) sont constituées de bandes claires I (isotropes) et de bandes foncées A (anisotropes) qui s'alternent. On trouve les bandes A et I au même niveau, c'est la raison pour laquelle le muscle squelettique est strié (Figure N° 66).

-la bande A renferme une zone plus claire appelée la zone H. cette dernière est divisée au milieu par une ligne sombre.

- la bande I est renferme transversalement par une ligne étroite et sombre nommée la strie Z.

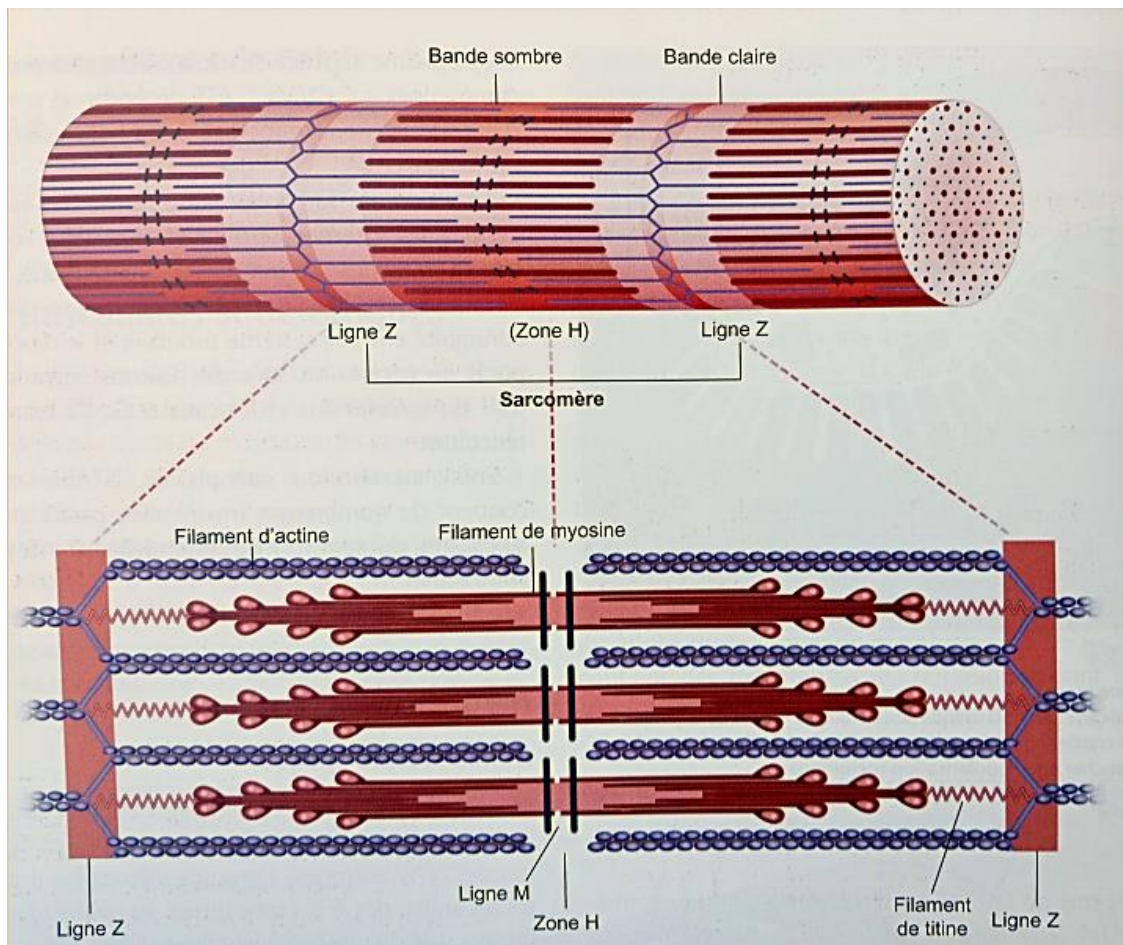


Figure N° 66: Ultrastructure des myofibrilles (Rousset et Perlemuter, 2010)

III. Mécanisme de la contraction musculaire

1. Mécanisme moléculaire de la contraction musculaire

Deux types de protéines contractiles majeures sont présents dans les muscles, la myosine (54 à 60%) et l'actine (20%). En plus de ces deux protéines, le muscle contient d'autres types qui interviennent dans le mécanisme de contraction et de régulation à savoir la tropomyosine (4,5%) et la troponine (3 à 5%).

Par ailleurs, l' α -actine (2%) et la β -actine (0,5%) jouent un rôle dans la structuration de l'appareil contractile. L'interaction actine-myosine est le principal mécanisme de contraction musculaire. Il s'agit de la formation de ponts transversaux entre les filaments de myosine (épais) et les filaments d'actine (fins).

Les filaments épais se présentent sous forme de bâtonnets avec une extrémité globulaire présentant un site ATPasique et un site de liaison pour l'actine.

Au cours du processus de contraction, les filaments fins opposés sont tirés l'un vers l'autre, ce qui diminue la distance entre les deux stries Z. Au repos, les têtes de myosine sont détachées des filaments fins. L'ADP et l'acide phosphorique étant liés à la myosine après hydrolyse de l'ATP, le complexe formé est chargé en énergie.

2. Énergie de la contraction musculaire

L'ATP est la molécule énergétique pour toutes les cellules à savoir les cellules musculaires. Le taux de cette molécule dans toutes les cellules de l'organisme est identique. Cependant, au cours de la contraction musculaire la concentration de l'ATP consommée est plus importante. Dans ce cas, il y a une nécessité que l'ATP soit hâtivement renouvelée (figure N° 67).

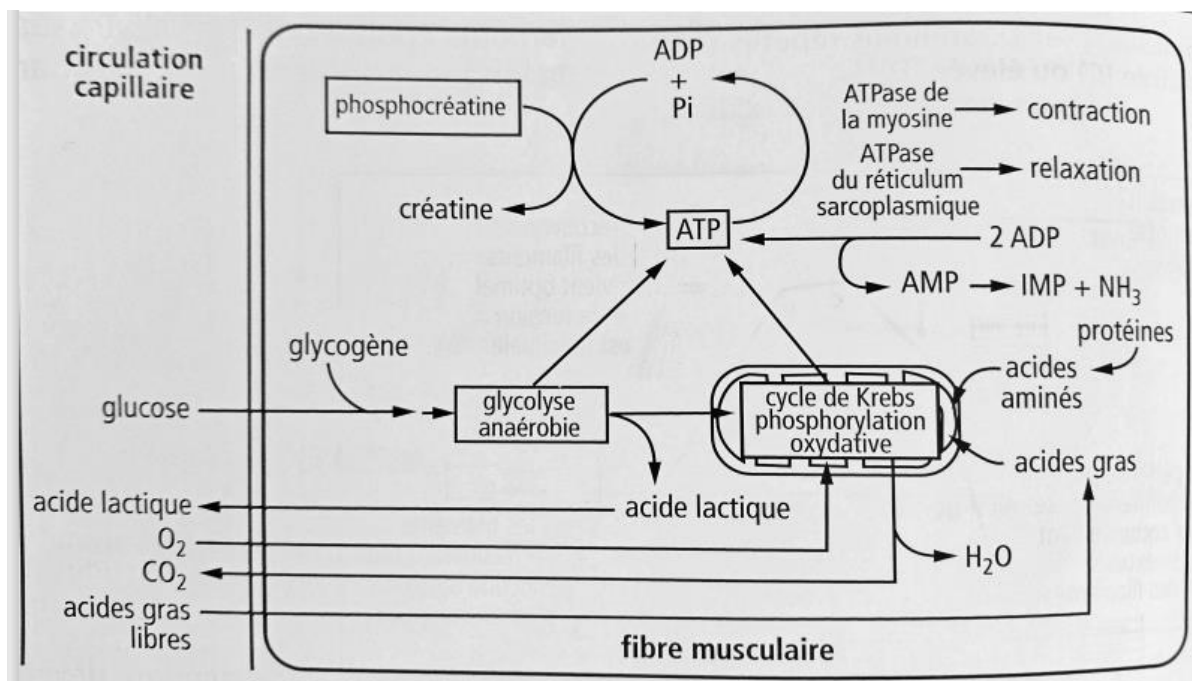
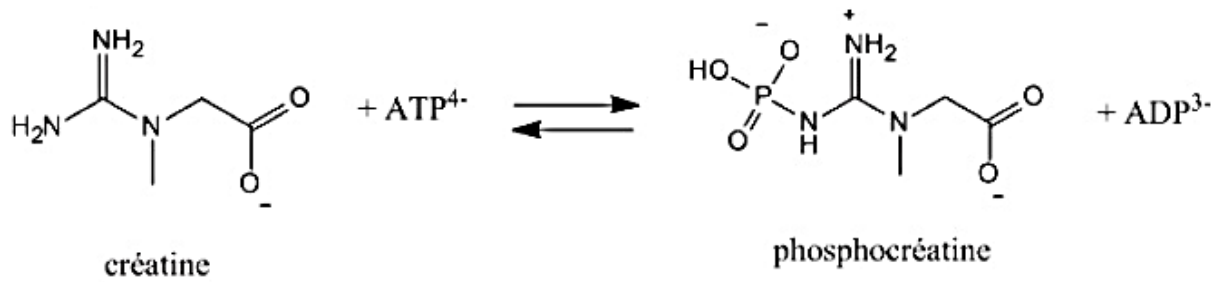


Figure N° 67: Métabolisme énergétique de la fibre musculaire (Calas et coll., 2016)

Ce processus est réalisé par le réserve de la créatine phosphate (CP) ou appelée aussi La phosphocréatine qui est une molécule de créatine liée au phosphate. Cette liaison permet une libération, rapide, d'énergie particulièrement forte et efficace (cinq fois plus importante que celle de l'APT). Cette forme d'énergie est majoritaire dans les fibres musculaires rapides (70%).



Remarque

La créatine est stockée dans vos muscles, le foie, le cerveau et les reins. Elle est donc à considérer comme une **réserve de phosphore** favorisant une **libération immédiate d'énergie** servant à la contraction musculaire ou à d'autres fonctions, là où une libération énergétique est nécessaire de manière instantanée comme dans les sports de force.

Conclusion

Le problème majeur de l'enseignant de la physiologie des grandes fonctions réside dans la nécessité de fournir des explications simples des mécanismes complexes qui dominent le contrôle des différentes fonctions de l'organisme.

Ce manuscrit propose des notions de physiologie humaine avancées et récentes de façon claire, constructive et précise en facilitant la mémorisation de l'étudiant et mettant en jeu un déroulement logique de son raisonnement.

Ce polycopié décrit d'une manière didactique et illustrée les principales fonctions vitales de la physiologie. Il propose à la lumière des progrès scientifiques, des approfondissements sur diverses notions, à savoir le milieu intérieur, les systèmes circulatoires, de l'excrétion, de la digestion et de la respiration, ainsi que la physiologie de la neurotransmission et celle des muscles.

Le contenu des sept chapitres traite la physiologie humaine telle que prévue au programme et s'adresse aux étudiants de la biologie (génétique, biochimie, microbiologie et physiologie), ainsi qu'à toutes les personnes dont la profession (pharmacie, paramédicale, ...).

Références bibliographiques

Références bibliographiques

- Ader J.-L., Carré F., Dinh-Xuan A. T., Duclos M., Kubis N., Mercier J., Mion F., Préfaut C. et Roman S. (2006) *Physiologie*. 2ème Edition Masson, Paris
- Anlar B. and Gunel-Ozcan A. (2012) Tenascin-R: Role in the central nervous system. *Int. J. Biochem. Cell Biol.* 44, 1385–1389.
- Barrett K. E. (2013) *Physiologie gastro-intestinale*, 2ème Mc Graw Hill LANGE.
- Benoussaad M. (2009) Protocole d'identification sous FES et synthèse des séquences de stimulation chez le blessé médullaire. THESE de DOCToRat DE L'UNIVERSITE MONTPELLIER II
- Bertrand A., Epelbaum S. et Denier C. (2017) *Neurologie*. 4ème Edition Elsevier-Masson, Paris.
- Bouhsane Dj. (2022) *Thrombopoïèse & Plaquettes*. Université de Constantine. [Thrombopoïèse-Plaquettes-2021-2022.pdf \(univ-constantine3.dz\)](#)
- Bouisset S., et Maton B. (1995) De l'électromyographie globale à l'étude des mouvements du répertoire. In : Bouisset S. & Maton B. (Eds), *Muscles, Posture et Mouvement* (pp. 561-562). Paris : Hermann
- Calas A., Figarella J., Perrin J.-F., Plas C et Vanneste P. (2016) *Précis de physiologie*. Edition Doin.
- Canu M.-H. (2021) *Mémo Visuel De Physiologie Humaine - Tout En Fiches – 2ème Édition*, Dunod.
- Cazenoves A. (2011) Anatomy of the autonomous nervous system: an explanation of pain projected on the thoraco-lumbar junction. *Kinésithérapie, la Revue* ; 11 : (111), 23-26

- Daroux M., Gaxatte C. , Puisieux F. , Corman B. et Boulanger E. (2009) Vieillesse rénale : facteurs de risque et néphroprotection. La presse médicale ; 38, n811 doi: 10.1016/j.lpm.2008.12.02
- Dee Unglaub Silverthorn (2007) Physiologie humaine. 4ème édition Pearson, France.
- Derrickson B. et Tortora G. (2022) Manuel d'anatomie et de physiologie humaines – 3^{ème} Édition, De Boeck.
- Drake R. L., Vogl A. W., Mitchell A. W. M. (2010) Gray's anatomie pour les étudiants. 2ème Édition, Elsevier, Paris.
- Du Y. and Dreyfus C.F. (2002) Oligodendrocytes as providers of growth factors. J. Neurosci. Res. 68, 647–654.
- El Waly B., Macchi M., Cayre M. et Durbec P. (2014) Oligodendrogenesis in the normal and pathological central nervous system. Front Neurosci 8, 145, doi:10.3389/fnins.2014.00145.
- Fan C. et al. (2014) Effect of type-2 astrocytes on the viability of dorsal root ganglion neurons and length of neuronal processes. Neural RegenRes 9,119-128, doi:10.4103/1673-5374.125339.
- Gartner, L.P. & Hiatt, J.L . (2012). *Histologia Essencial*. Rio de Janeiro: Elsevier Brasil. p238-240.
- Girard J. (2017) Rôle des reins dans l'homéostasie du glucose. Implication du cotransporteur sodium-glucose SGLT2 dans le traitement du diabète Role of the kidneys in glucose homeostasis. Implication of sodium-glucose cotransporter 2 (SGLT2) in diabetes mellitus treatment. Néphrologie & Thérapeutique ; 13 (1) : 35-41.

- Guyton AC, Hall JE. (2003) Haemostasis et coagulation sanguine. Dans : Précis de physiologie médicale. 2e éd. Traduction DinhXuan AT, Lockhart A. Piccin Nuova Libreria, Padoue. P. 446-457.
- Kamina P. Anatomie clinique (Tome 4) organes urinaires et génitaux, pelvis, coupes du tronc. Éditions Maloine. 2008.
- Khellali N. (2021) Phys_Renale.pdf (umc.edu.dz)
- Khellali N. (2023) NEUROPHYSIOLOGIE. Institut des sciences vétérinaires, Université Frères Mentouri Constantine I
- Kibble J. et Halsey C. (2009) Physiologie médicale : la vue d'ensemble. Mc Graw Hill LANGE.
- Lacour B. (2013) Normal physiology of the kidney and pathophysiological mechanisms of renal diseases. Revue Francophone des Laboratoires ; 451 : 25-37. [https://doi.org/10.1016/S1773-035X\(13\)71993-2](https://doi.org/10.1016/S1773-035X(13)71993-2)
- Lacour B. et Belon J.-P. (2015) Physiologie. Edition Elsevier-Masson, Paris.
- Lentle R. G. et Janssen P.W.M. (2011) Les processus physiques de la digestion. Édition Springer.
- Lonchamp P. (2007) Bases de physiologie générale : Grandes fonctions et régulations Broc. Edition Ellipses
- Marieb, E.N. (1999). Le système respiratoire. Anatomie et physiologie humaine, chap23, De Boeck.
- Marieb E.N. and Hoehn K. (2010) Anatomie et physiologie humaines, ERPI.
- Marieb E.N. (2019) Anatomie et physiologie humaines, chapitre 23 « Le système respiratoire ». 11ème édition MonLab.

- Marteau P. et Seksik P. (2021) [Le microbiome intestinal : un univers à l'intérieur de nous \(elsevier.com\)](#)
- Menche N. (2023) Biologie anatomie physiologie. 7ème Édition. Elsevier-Masson
- Moore K.L., Arthur F Dalley A. F. and Anne Agur M. R. (2017) Anatomie médicale, Aspects fondamentaux et applications cliniques. 4 ème Edition, De Boeck
- Myers A. K et Mulroney S. E. (2020) Physiologie Netter Mémofiches. Elsevier-Masson
- Orsal R. D. (1994) Neurophysiologie, Motricité et grandes fonctions du système nerveux central, Edition DUNOD.
- Ovalle W .K. and Nahirney P. C. (2013) Netter's Essential Histology. 2e edition Saunders
- Pierre M. (2015) Cardiologie : Généralités sur le coeur, Rythme cardiaque, Structure Anatomique (sante-sur-le-net.com)
- Sherwood L. (2015) Physiologie humaine. 3ème Édition De Boeck.
- Silbernagl S. et Despopoulos A. (2017) Atlas des couleurs de la physiologie. 7^{ème} édition Thieme
- Standring, S. (2005) Gray's Anatomy: The Anatomical Basis of Clinical Practice 39th edition, Churchill Livingstone.
- Theml H. (2000) Atlas de poche d'hématologie. Edition Médecine-science Flammarion, Paris.

- Tortora G.J. et Grabowski S.R. (2002) Système cardiovasculaire: Le cœur. Principes d'anatomie et de physiologie. Bruxelles: De Boeck Université; p. 672-708.
- Vibert J.-F., Apartis-Bourdieu E., Arnulf I., Dodet P., Huberfeld G., Mazières L., Naccache L., Willer J.-C., Worbe Y. (2011) Neurophysiologie, de la physiologie à l'exploration fonctionnelle - avec simulateur informatique. 2^{ème} Édition, collection Campus illustré. Paris : Elsevier-Masson.
- Widmaier E.P., Raff H., Strang K. T. et Pradel J.-L. (2009) Physiologie humaine : Les mécanismes du fonctionnement de l'organisme Relié. 5^{ème} édition, Maloine.
- Anonyme 1 [Ch6.1. Bilan \(corrigé\) - Le milieu intérieur et sa régulation par le rein \(studylibfr.com\)](#)
- Anonyme 2 [BIO WEB 2.0 - LE SANG \(jpboseret.eu\)](#)
- Anonyme 3 [Coagulation du sang : définition - docteurcllic.com](#)
- Anonyme 4 [\(Microsoft Word - TP 02 Immuno-hématologie\) \(univ-chlef.dz\)](#)
- Anonyme 5 [Différence entre les granulocytes et les agranulocytes : définitions, types et fonctions | Recherche d'un collègue \(collegeseach.in\)](#)
- Anonyme 6 [Différenciation De Monocytes, Ostéoclastes, Macrophages Et Cellules Dendric Clip Art Libres De Droits, Svg, Vecteurs Et Illustration. Image 63923767 \(123rf.com\)](#)
- Anonyme 7 [Automate d'hématologie - BC-6000 - Mindray Français](#)
- Anonyme 8 [Préparer pour une observation \(ac-versailles.fr\)](#)
- Anonyme 9 [L'anatomie du coeur – TPE : LE PACEMAKER \(wordpress.com\)](#)
- Anonyme 10 [Biologie du cœur - Troubles cardiaques et vasculaires - Manuels MSD pour le grand public \(msdmanuals.com\)](#)

- Anonyme 11 [Maladie aortique | CUSM Clinique Aortique - McGill University](#)
- Anonyme 12 [veine cave - LAROUSSE](#)
- Anonyme 13 [Prévenir et soulager la fragilité des vaisseaux capillaires \(oemine-nature.com\)](#)
- Anonyme 14 [Le système lymphatique | Société canadienne du cancer](#)
- Anonyme 15 [Ganglions lymphatiques : caractéristiques et fonctions - Nutrixeal Info \(nutrixeal-info.fr\)](#)
- Anonyme 16 [Moelle osseuse : localisation, rôle, maladies, greffe... \(journaldesfemmes.fr\)](#)
- Anonyme 17 [Système lymphatique – v.l.c. research – OPHYS \(wordpress.com\)](#)
- Anonyme 18 [Circulation lymphatique – v.l.c. research – OPHYS \(wordpress.com\)](#)
- Anonyme 19 [Comprendre - Association Santé Respiratoire France \(sante-respiratoire.com\)](#)
- Anonyme 20 [Arbre bronchique : définition, schéma \(journaldesfemmes.fr\)](#)
- Anonyme 21 <https://www.univ-chlef.dz/fsnv/wp-content/uploads/cours-4-HISTOLOGIE-DE-LAPPAREIL-RESPIRATOIRE.pdf>
- Anonyme 22 [appareil respiratoire - LAROUSSE](#)
- Anonyme 23 [Anatomie de l'appareil respiratoire - \(microbiologiemedicale.fr\)](#)
- Anonyme 24 [Échanges d'oxygène et de dioxyde de carbone - Troubles pulmonaires et des voies aériennes - Manuels MSD pour le grand public \(msdmanuals.com\)](#)
- Anonyme 25 [Corps humain : le rôle de l'appareil digestif - Doctissimo](#)
- Anonyme 26 [Chirurgie des glandes salivaires - Orl Poitiers](#)
- Anonyme 27 [Les faits en bref: Cancer de l'œsophage - Manuels MSD pour le grand public \(msdmanuals.com\)](#)

- Anonyme 28 [Estomac – Média LAROUSSE](#)
- Anonyme 29 [LES ÉTAPES DE LA DIGESTION \(partie 5\) : l'intestin grêle - Bonheur de Diet](#)
- Anonyme 30 [Définition | Rein \(futura-sciences.com\)](#)
- Anonyme 31 [Microsoft Word - 46 IRA.docx \(medecinesfax.org\)](#)
- Anonyme 32 <https://mystidia.com/resume-adam-m-roumani-sna/>
- Anonyme 33 <https://www.futura-sciences.com/sante/definitions/corps-humain-muscle-lisse-6675/>