



**République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique**

**Université Mustapha stambouli - Mascara  
Faculté des Sciences de la Nature et de la vie  
Département de Biologie**

---

# Cours de Physiologie des Grandes Fonctions

Destiné aux étudiants de 3ème Année Licence

Nutrition Alimentation et Pathologie

Présentée par : **Dr. Labbaci.F.Z**

**2021-2022**

## **Programme**

### **I- Le milieu intérieur**

Différents Compartiments liquides

### **II- le sang**

Rôle des éléments figurés.

Hémostase primaire et secondaire.

### **III- Système nerveux**

-Structure.

-Organisation.

- Fonctions générales.

### **IV Appareil cardiovasculaire**

-Homéostasie au repos et à l'exercice.

### **V- Appareil respiratoire**

-Anatomie fonctionnelle.

-Mécanismes.

-Homéostasie.

### **VI- Appareil urinaire**

-Anatomophysiologie.

- Homéostasie hydrominérale.

## Table des matières

<b>I. Le milieu intérieur</b> .....	1
I.1 Définition .....	1
I.2 Les différents compartiments liquides .....	1
I.2.1 Le sang .....	1
I.2.2 Le liquide interstitiel ou interstitium .....	3
I.3 La comparaison des liquides extracellulaires .....	5
I.4 Echanges entre les compartiments liquidiens .....	5
I.4.1 Mouvement de l'eau .....	5
I.5 Mouvement des électrolytes : .....	7
I.5.1 Transport passifs par diffusion .....	7
I.5.2 Transport actifs (primaire et secondaire) .....	8
I.6 Les déséquilibres hydriques .....	8
I.6.1 La déshydratation .....	8
I.6.2 L'hyperhydratation : .....	8
I.6.3 Les œdèmes : .....	9
I.7 Equilibre acido-basique du sang et du milieu intérieur .....	9
I.7.1 Introduction .....	9
I.7.2 Bilan acido-basique: .....	10
I.7.3 Bilan des entrées et des sorties: .....	10
I.8 Les systèmes tampons .....	11
I.8.1 Définition .....	11
I.8.2 Les différents systèmes tampons: .....	12
I.8.3 Régulation pulmonaire de l'équilibre acido-basique .....	14
I.9 Régulation rénale de l'équilibre acido-basique .....	15
I.9.1 Réabsorption des bicarbonates .....	16
I.9.2 Excrétion des ions H <sup>+</sup> sous forme d'acidité titrable et formation de nouveaux ions bicarbonates .....	17
I.9.3 Mécanismes tampons dans l'urine - Excrétion d'ions ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> . ...	17
I.10 Troubles de l'équilibre acido-basique .....	18
I.10.1 Acidose métabolique .....	18
I.10.2 Acidose respiratoire .....	19
I.10.3 Alcalose métabolique .....	19
I.10.4 Alcalose respiratoire .....	19

<b>II. Composition du sang</b> .....	23
II.1 Partie liquide PLASMA .....	23
II.2 Partie solide Éléments figurés .....	23
II.2.1 Les globules rouges .....	24
II.2.2 Fonction des globules rouges .....	25
II.3 Les globules blancs .....	25
II.3.1 Les monocytes .....	25
II.3.2 Les lymphocytes .....	27
II.3.3 Les polynucléaires .....	30
II.4 L'hémostase .....	36
II.4.1 Définition de l'hémostase .....	36
II.4.2 Mécanisme de l'hémostase .....	36
II.4.3 Les facteurs de coagulation .....	39
<b>III. Structure du système nerveux</b> .....	40
III.1 Définition .....	40
III.2 Organisation microscopique .....	40
III.2.1 Neurone .....	41
III.2.2 Dendrite .....	41
III.2.3 Axone .....	42
III.2.4 Synapse .....	43
III.3 Cellules gliales .....	44
III.3.1 Les astrocytes .....	45
III.3.2 Les oligodendrocytes .....	46
III.3.3 Les microglies ou microglia .....	46
III.3.4 Les cellules épendymaires .....	46
III.4 Division du système nerveux .....	47
III.4.1 Le système nerveux central. ....	47
III.4.2 Le système nerveux périphérique. ....	51
III.5 Organisation fonctionnelle .....	53
III.5.1 Système Somatique .....	53
III.5.2 Système Autonome .....	53
<b>IV. Physiologie cardiaque</b> .....	56
IV.1 Introduction .....	56
IV.2 L'anatomie du cœur .....	57
IV.2.1 Anatomie externe : .....	57

IV.2.2	Anatomie interne : .....	58
IV.3	Structure de la paroi cardiaque .....	59
IV.3.1	L'endocarde .....	59
IV.3.2	Le myocarde .....	59
IV.3.3	Le péricarde .....	59
IV.4	Tissu nodal .....	60
IV.5	Vascularisation myocardique : .....	61
IV.6	Le réseau coronaire veineux Il est constitué : .....	63
IV.7	Physiologie cardiovasculaire .....	63
IV.7.1	Physiologie générale .....	63
IV.8	Le cycle cardiaque .....	65
IV.8.1	Phénomènes régulateurs .....	66
IV.9	Pression artérielle et système cardiaque .....	67
IV.10	Fréquence cardiaque (Fc) .....	68
<b>V.</b>	<b>Appareil respiratoire</b> .....	70
V.1	Introduction .....	70
V.2	Structure du système respiratoire. ....	71
V.3	Les poumons. ....	72
V.3.1	Rôle de la plèvre. ....	73
V.4	Les zones fonctionnelles. ....	74
V.4.1	Une zone conductrice .....	74
V.4.2	Une zone respiratoire .....	74
V.5	La mécanique ventilatoire. ....	76
V.5.1	L'inspiration : un phénomène actif. ....	77
V.5.2	L'expiration : un phénomène passif. ....	78
V.6	Les volumes respiratoires. ....	79
<b>VI.</b>	<b>Anatomie de l'appareil urinaire</b> .....	81
VI.1	Le Rein .....	81
VI.2	Les voies urinaires .....	81
VI.2.1	L'uretère .....	81
VI.2.2	La vessie .....	81
VI.2.3	L'urètre .....	81
VI.3	Néphrons .....	82
VI.3.1	Les types de néphrons selon la localisation du corpuscule rénal .....	84
VI.3.2	Le corpuscule rénal .....	84

VI.3.3	La filtration glomérulaire .....	85
VI.3.4	Formation de l'urine primitive .....	86
VI.3.5	Les tubules rénaux .....	88
VI.4	La fonction exocrine du rein .....	90
VI.5	La fonction endocrine du rein .....	91
VI.6	L'homéostasie .....	91
VI.6.1	Régulation de la fonction rénale .....	91
VI.6.2	Mécanisme de la réabsorption obligatoire de l'eau .....	92
VI.7	La Rénine .....	93
VI.8	Cas pathologique .....	94

## Liste des figures

	<b>Pages</b>	
Figure 1	Composition du sang	2
Figure 2	Les organes lymphoïdes	3
Figure 3	Les compartiments liquides de l'organisme	4
Figure 4	La pression oncotique et hydrostatique exercé entre les différents milieux	6
Figure 5	Mouvements de l'eau dans le capillaire sanguin	7
Figure 6	Aspect en microscopie optique des globules rouges	26
Figure7	Aspect en microscopie électronique à balayage des globules rouges	26
Figure8	Aspect en microscopie optique des monocytes	27
Figure9	Aspect en microscopie optique des lymphocytes	28
Figure10	Aspect en microscopie électronique à balayage des lymphocytes	29
Figure11	Aspect en microscopie optique des Neutrophiles	31
Figure12	Aspect en microscopie optique des Eosinophiles	32
Figure13	Aspect en microscopie optique des basophiles	34
Figure14	Aspect en microscopie optique des plaquettes	35
Figure15	Formation du thrombus	37
Figure16	Formation du clou hémostatique	38
Figure17	Structure schématique d'un neurone	42
Figure18	Rôle de la synapse	44
Figure19	Cellules gliales	45
Figure20	Cellule épendymaire	46
Figure21	système nerveux central	48
Figure22	la moelle épinière	49
Figure23	Méninges	49
Figure24	nerfs crâniens	52
Figure25	nerfs rachidiens	52
Figure26	Localisation du cœur	56
Figure27	Anatomie externe du cœur	58
Figure28	L'anatomie interne du cœur	59
Figure29	Structure de la paroi cardiaque	60
Figure30	Tissus nodal	61
Figure31	Artères coronaires	62
Figure32	La circulation pulmonaire et la circulation systémique	64
Figure33	Le cycle cardiaque	66
Figure34	Le concept du système respiratoire	70
Figure35	Structure du système respiratoire	72
Figure36	Structure des poumons	73

Figure37	Les zones conductrice et respiratoire	74
Figure38	La capacité vitale	80
Figure39	Coupe sagittale du rein	81
Figure40	Voies urinaires	82
Figure41	L'unité fonctionnelle du rein (Néphron)	83
Figure42	Formation d'urine	88
Figure43	Anse de Henlé	89
Figure44	Mécanisme de l'excrétion minérale	92
Figure45	Régulation de la fonction rénale	93



Hb	Hémoglobine
LEC	Liquide extra cellulaire
LIC	Liquide intra cellulaire
LYM	lymphocytes
MGG	May Grünwald Giemsa
Mm Hg	Millimètres de mercure
NaCl	Chlorure de sodium
NK	Natural Killer ou tueuse naturelle
pH	Potentiel d'hydrogène
PH	Pression hydrostatique
PO	Pression oncotique
REG	Réticulum endoplasmique granuleux
REL	Réticulum endoplasmique lisse

*Liste des abréviations*

# **Chapitre 1**

## **Les différents compartiments liquides**

## I. Le milieu intérieur

### I.1 Définition

Le milieu intérieur est composé du plasma, de la lymphe et du liquide interstitiel.

En contact direct avec les cellules de l'organisme, sa composition doit permettre à chaque cellule de prélever les éléments qui lui sont nécessaires. De même, c'est dans le milieu intérieur que sont éliminés les déchets de l'activité cellulaire, déchets qui sont apportés aux sites d'élimination. Le milieu intérieur constitue le véritable milieu de vie des cellules de l'organisme. Le milieu intérieur possède 02 caractéristiques : **Caractères physico-chimiques** stables tel que :

- La concentration : (molarité et molalité).
- La pression osmotique.
- Le PH.
- La température.
- La charge électrique et le : **Caractère dynamique** qui est le renouvellement permanent de son homogénéité.

### I.2 Les différents compartiments liquides

#### I.2.1 Le sang

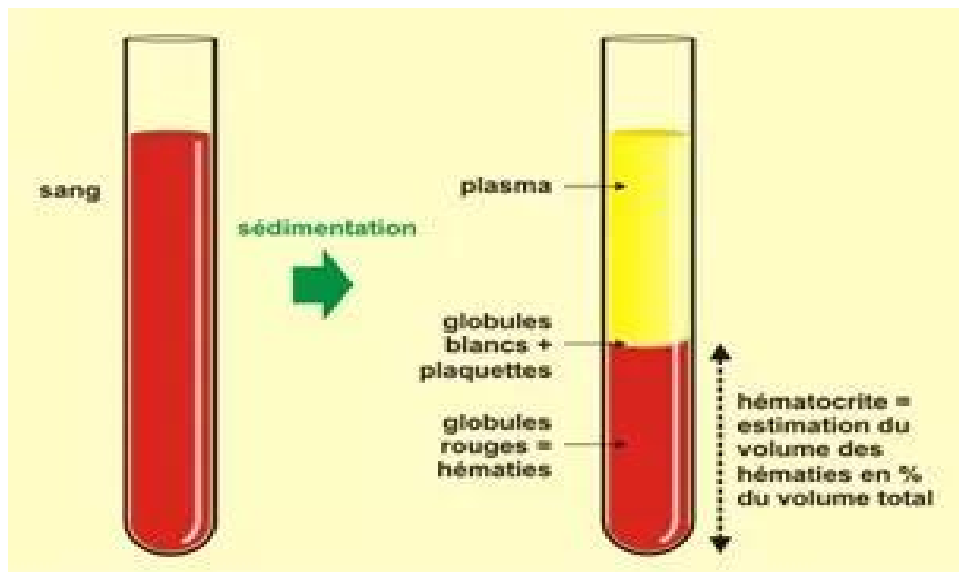
Est un liquide biologique vital qui circule continuellement dans les vaisseaux sanguins et le cœur notamment grâce à la pompe cardiaque. Il est composé d'un fluide aqueux, le plasma, et de milliards de cellules, principalement les globules rouges, qui lui donnent sa couleur (figure 1).

Ce liquide transporte le dioxygène (O<sub>2</sub>) et les éléments nutritifs nécessaires aux processus vitaux de tous les tissus du corps, ainsi que les

déchets, tels que le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ou les déchets azotés, vers les sites d'évacuation (reins, poumons, foie, intestins).

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.

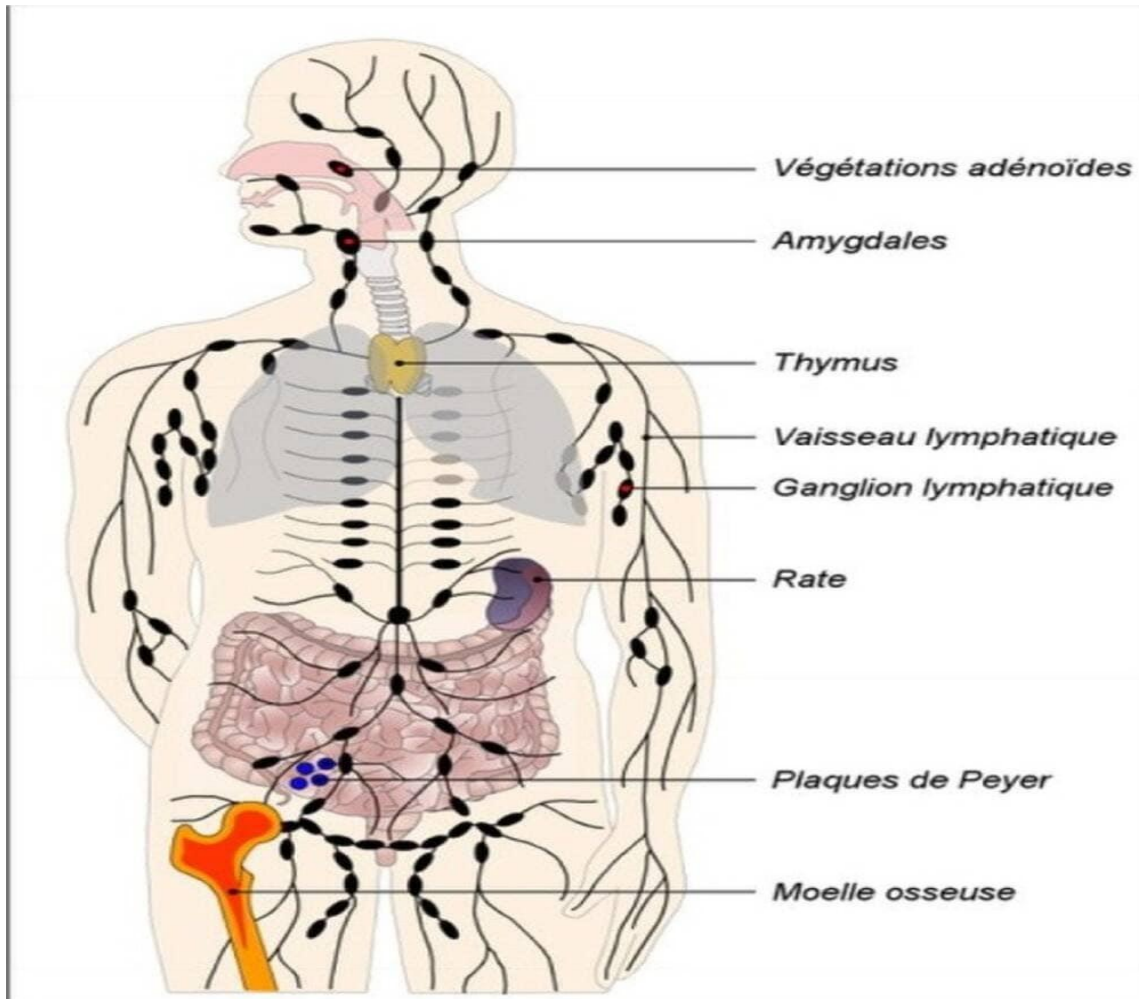
Chez l'adulte, c'est la moelle osseuse qui produit les cellules sanguines au cours d'un processus appelé l'hématopoïèse.



**Figure 1: Composition du sang**

:

(Liquide lymphatique) est un liquide clair, jaunâtre, qui transporte les globules blancs qui aident le corps à lutter contre les infections et les maladies (lymphocytes qui fabriquent des anticorps afin de combattre les bactéries, les virus et les champignons.), l'anticorps qui neutralise ou détruit une substance étrangère particulière (antigène) qui est apparue dans le corps et les éléments nutritifs dans tout le corps. La lymphe circule dans tout le réseau de ganglions et de vaisseaux lymphatiques (figure 2).



**Figure 2 : Les organes lymphoïdes**

### **I.2.2 Le liquide interstitiel ou interstitium**

L'interstitium a une composition ionique proche de celle du plasma sanguin. Le liquide interstitiel remplit l'espace entre les capillaires sanguins et les cellules (figure 3). Il facilite les échanges de nutriments et de déchets entre ceux-ci. Le surplus de liquide interstitiel est drainé par les capillaires lymphatiques où il prend le nom de lymphe et est acheminé vers le cou où il est réintégré au sang dans la veine subclavière gauche par le canal thoracique.

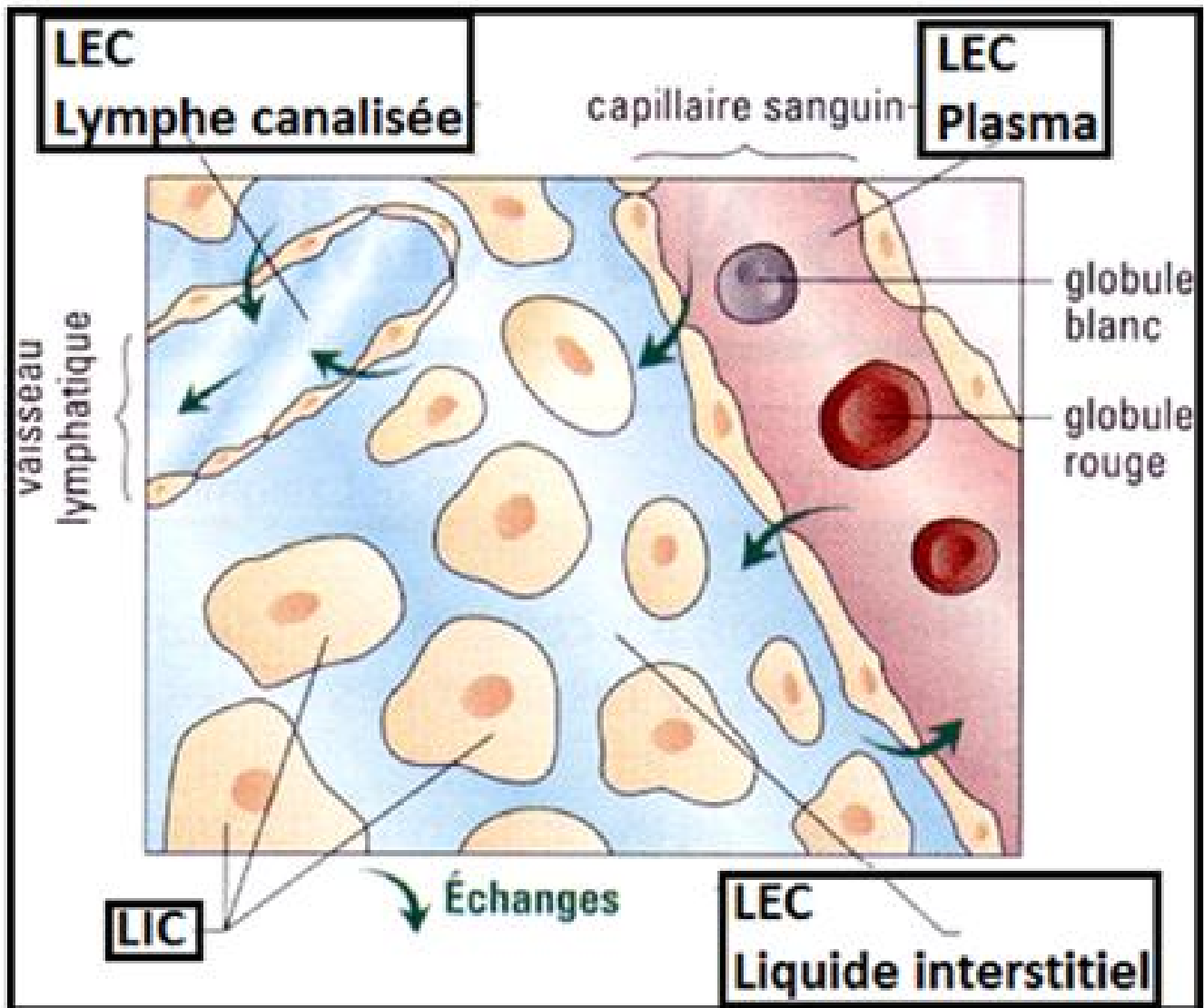


Figure 3 : Les compartiments liquides de l'organisme

Le sang	La lymphe	Le liquide interstitiel
---------	-----------	-------------------------

<ul style="list-style-type: none"> <li>- Circule dans les vaisseaux sanguins grâce à la pompe cardiaque.</li> <li>- Liquide rouge composé d'un plasma + des globules rouges, globules blancs, et des plaquettes)</li> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Circule dans des vaisseaux lymphatiques et le réseau des ganglions. Puis il rejoint le sang dans la <b>veine subclavière gauche</b></li> <li>- Liquide clair, jaunâtre qui contient des globules blancs de tous les types.</li> <li>-</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Occupe l'espace entre les capillaires sanguins et les cellules, et entre les cellules.</li> <li>- Se forme à partir du sang.</li> <li>- Composition ionique proche de celle du plasma sanguin.</li> <li>- Drainé par les capillaires lymphatiques et forme ainsi la lymphe.</li> </ul>
--	---	---

### I.3 La comparaison des liquides extracellulaires

La composition du liquide interstitiel et de la lymphe ressemble à celle du plasma. Ils contiennent toutefois moins de protéines que le plasma, car les grosses molécules de protéines traversent difficilement les cellules endothéliales qui forment les parois capillaires.

#### Tableau 1 : Composition des liquides extracellulaires

### I.4 Echanges entre les compartiments liquidiens

Le liquide plasmatique est en contact avec le milieu extérieur à travers **la peau**, le **tube digestif**, les **poumons** et les **reins**. L'échange des substances entre les compartiments liquidiens se fait par **osmose**, **diffusion** et **filtration à travers l'endothélium** ; et **le transport actif**.

#### I.4.1 Mouvement de l'eau

**I.4.1.1** Entre le compartiment intra et extra cellulaire (au travers la membrane plasmique)

##### I.4.1.1.1 La pression Osmotique :

Osmose = diffusion de l'eau

L'eau est soumise à un transport passif à travers les membranes semi-perméable. Elle passe librement entre les compartiments et sa distribution est déterminée par **le contenu osmotique** de ces compartiments, (contre le gradient de la **pression osmotique**= de la solution la moins concentrée (hypotonique) vers la solution la plus concentrée (hypertonique)).

#### I.4.1.2 Entre Compartiment vasculaire (plasma) et interstitiel (au travers l'endothélium)

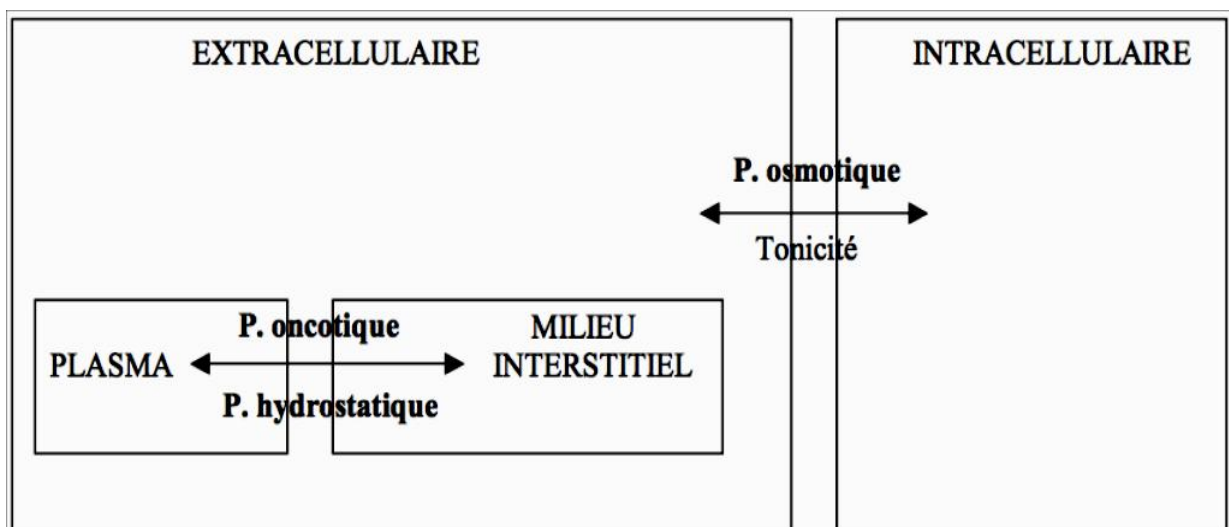
En plus la pression osmotique, les mouvements de l'eau sont régis par deux autres pressions qui sont :

##### I.4.1.2.1.1 La pression hydrostatique

Est une pression mécanique due à l'éjection du sang par le cœur elle favorise la filtration.

##### I.4.1.2.1.2 La pression oncotique plasmatique

Est une pression due à la présence de des protéines non diffusable dans le plasma, elle favorise la réabsorption.



**Figure 4 : La pression oncotique et hydrostatique exercé entre les différents milieux**



-Dans la première moitié du capillaire (pôle artériel)  $P$  Hydrostatique  $>$   $P$  oncotique, ce qui provoque une sortie d'eau et de substances dissoutes du plasma vers le liquide interstitiel (phénomène de filtration).

-Dans la 2ème moitié du capillaire (pôle veineux)  $P$  oncotique  $>$   $P$  Hydrostatique ce qui provoque retour d'eau et de soluté vers le plasma (phénomène de réabsorption).

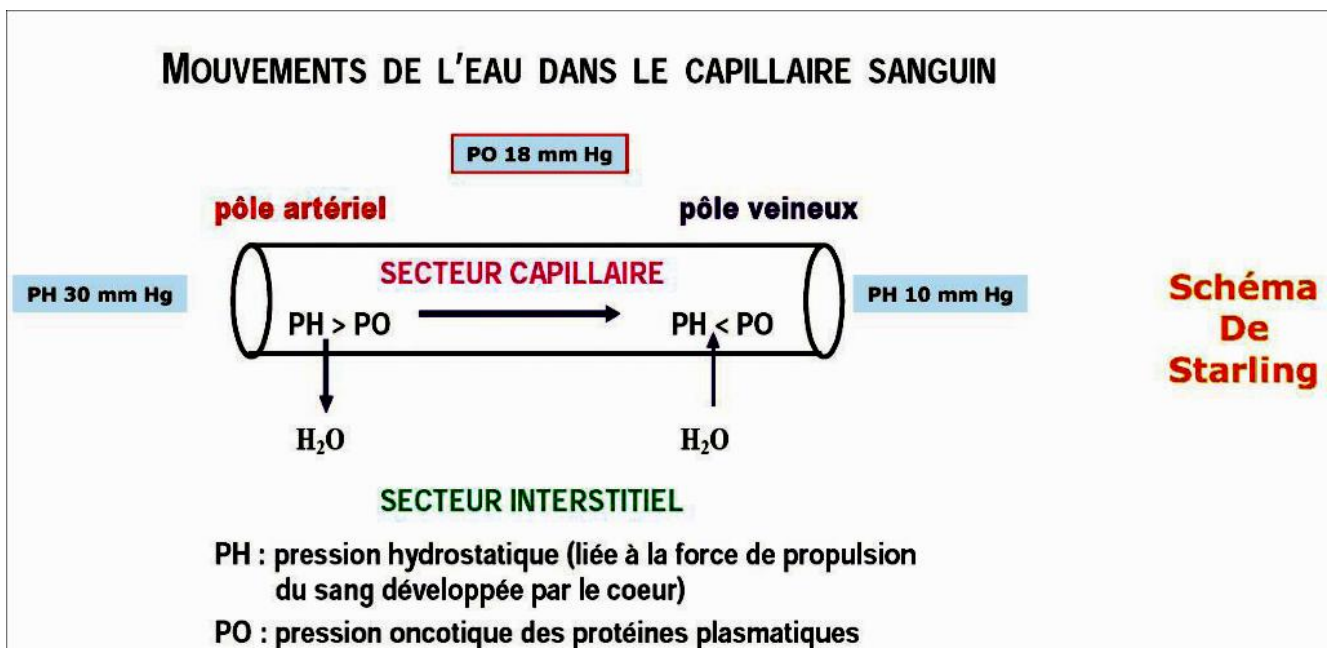


Figure 5 : Mouvements de l'eau dans le capillaire sanguin

## I.5 Mouvement des électrolytes :

### I.5.1 Transport passifs par diffusion

Les ions diffusent en fonction du gradient chimique ou électrique.

La diffusion simple se fait à travers la membrane plasmique pour les gaz du sang et quelques molécules.

La diffusion des ions se fait à travers des canaux ioniques sélectifs.

La diffusion facilitée utilise des transporteurs membranaires.

### **I.5.2 Transport actifs (primaire et secondaire)**

Transferts contre les gradients de concentration ou électrique par des pompes ioniques ATPasiques qui maintiennent des concentrations hydro électrolytiques différentes entre les 02 milieux intérieur et extérieur.

Ces pompes utilisent l'énergie libérée par l'hydrolyse de l'ATP (Transport actifs primaire)

$\Sigma$  Cations =  $\Sigma$  anions Neutralité électrique dans les liquides de l'organisme

## **I.6 Les déséquilibres hydriques**

### **I.6.1 La déshydratation**

- Les causes : hémorragies, brûlures graves, vomissements, diarrhées, diabète et l'utilisation excessive de diurétique.
- Les signes : aspect cotonneux de la muqueuse buccale, sensation de soif, sécheresse et rougeur de la peau, fièvre et confusion mentale, délire.
- Cette perte se fait au détriment du liquide extracellulaire, dans un premier temps, et ce sont les cellules qui vont perdre leur eau pour conserver la même osmolarité au liquide interstitiel, dans un deuxième temps.

### **I.6.2 L'hyperhydratation :**

- Les causes : une insuffisance rénale ou l'absorption excessive d'une grande quantité d'eau.
- Les signes : une hyponatrémie (concentration trop basse de sodium dans le sang). Cette dilution exagérée de sodium dans le liquide interstitiel va, par osmose, faire pénétrer l'eau dans les cellules, qui vont gonfler. Il est urgent de procéder à l'injection d'une solution saline hypertonique (très concentrée) afin d'extraire l'eau des cellules, et inverser ainsi le gradient

osmotique, sous peine de nausées, vomissements, crampes musculaires, œdème cérébrale, désorientation, convulsions, coma, mort.

### **I.6.3 Les œdèmes :**

- C'est une accumulation atypique de liquide dans l'espace interstitiel.
- Les causes : augmentation de la pression hydrostatique, de la perméabilité capillaire (réactions inflammatoires), insuffisance de retour de liquide dans la circulation sanguine (maladies hépatiques) ou l'obstruction des canaux lymphatiques par une tumeur ou par une radiothérapie curative.
- Les troubles causés par l'œdème : l'hypoxie (manque d'oxygène), baisse du volume circulant (diminution de la pression artérielle).

## **I.7 Equilibre acido-basique du sang et du milieu intérieur**

### **I.7.1 Introduction**

L'équilibre acido-basique, ou homéostasie du pH, est une des fonctions essentielles de l'organisme. L'activité enzymatique est très sensible aux variations de pH. L'organisme humain doit maintenir le pH de son sang dans des limites étroites (7.38-7.42), seules de faibles variations sont compatibles avec la vie; en deca c'est l'acidose et au-delà c'est l'alcalose.

Ce maintien du pH est soumis à une régulation des plus précises, c'est ce qu'on entend par: équilibre acidobasique.

## **I.7.2 Bilan acido-basique:**

### **I.7.2.1 Production d'acides**

#### **I.7.2.1.1 Acides volatils**

Le CO<sub>2</sub> est éliminé par les poumons. Il provient de l'oxydation des glucides et des lipides (10.000 à 20.000 mmoles/jour). En présence d'eau il se dissocie selon la réaction:



#### **I.7.2.1.2 Acides fixes:**

L'organisme en produit 100 mmoles/jr. éliminés par les reins. Ils comprennent:

##### **I.7.2.1.2.1 Acides inorganiques**

Ce sont des acides dont l'anion n'est pas métabolisable: acide sulfurique et l'acide phosphorique

##### **I.7.2.1.2.2 Acides organiques**

Ce sont des acides dont l'anion peut être métabolisé: acide lactique, acide acétylacétique et β hydroxybutyrique.

*Remarque : Malgré une moindre quantité, les acides fixes sont plus agressifs car fortement dissociés*

## **I.7.3 Bilan des entrées et des sorties:**

### **I.7.3.1 Entrées**

Les entrées d'acides ou de bases peuvent être alimentaires ou métaboliques. Une alimentation riche en protides aboutit à une surcharge acide. Au contraire, une alimentation végétarienne conduit, à un excès d'alcalins.

En résumé, l'organisme est beaucoup plus exposé à une surcharge acide que basique.

### **I.7.3.2 Sorties**

Elles sont assurées par deux voies: Le CO<sub>2</sub> est éliminé par les poumons et les acides fixes par le rein.

En pathologie, on peut observer des pertes digestives anormales d'acides (vomissements, aspiration digestives), ou de bases (diarrhées sécrétoires).

Lorsque l'organisme est confronté à une agression acide ou basique, perturbant ainsi son pH, celui-ci met en place des systèmes visant à rétablir le pH dans les limites physiologiques. Les moyens de lutte comprennent:

- un moyen quasi instantané, automatique mais assez vite débordé: les systèmes tampons.
- la mise en jeu d'un couple d'organes plus lents à réagir, mais particulièrement puissants: les poumons et les reins.

## **I.8 Les systèmes tampons**

### **I.8.1 Définition**

Ce sont des mélanges de substances en équilibre chimique s'opposant aux variations de pH.

L'organisme dispose de lignes de défense (systèmes tampons) pour limiter les variations de pH

### **I.8.1.1 Stabilisation**

Par les systèmes tampons chimiques (immédiat en quelques secondes). Les systèmes tampons sont la première ligne de défense, limitant de grandes variations.

### **I.8.1.2 Elimination**

Elimination du CO<sub>2</sub> par les poumons (rapide: 13 min) pouvant prendre en charge près de 75% des perturbations de l'équilibre acide base.

### **I.8.1.3 La participation des reins**

L'intervention rénale à la régulation du pH par excrétion contrôlée d'ions H<sup>+</sup> avec la régénération de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> (lent: des heures voire des jours pour modifier le pH).

Un système tampon comprend généralement :

- un acide faible et sa base conjuguée.
- une base faible et son acide conjugué.

## **I.8.2 Les différents systèmes tampons:**

Une substance tampon est constituée par un couple formé par un acide faible (incomplètement dissocié) et de sa base conjuguée (A<sup>-</sup>/AH).

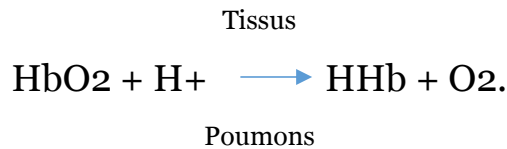
### **I.8.2.1 Le système tampon bicarbonate –acide carbonique (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)/H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>)**

Le système HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>/H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> est le système tampon le plus efficace de l'organisme, parce qu'il représente quasiment la moitié de l'effet tampon.

### **I.8.2.2 Hémoglobine (Hb<sup>-</sup>)/Hémoglobinate(HbH)**

Principal tampon érythrocytaire. Ils interviennent de 2 manières: fixation du CO<sub>2</sub> sur l'Hb pour former un dérivé carbaminé, Au niveau des tissus,

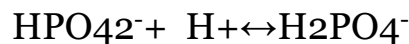
HbO<sub>2</sub> va libérer l'O<sub>2</sub> pour le délivrer aux cellules, et éponger les H<sup>+</sup> produits par l'hydratation du CO<sub>2</sub> provenant de ces mêmes cellules. Au niveau des poumons, l'Hb peut être oxygénée et libérer dans le milieu les H<sup>+</sup>.



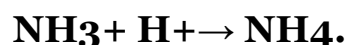
### I.8.2.3 Le système tampon (protéines/protéinates)

Les protéines cellulaires et plasmatiques, C'est le tampon le plus important au niveau intracellulaire. À pH physiologique, les protéines se comportent comme des anions et donc lient un H<sup>+</sup>. En cas d'acidose, un H<sup>+</sup> entre dans la cellule pour être fixé par les protéines tandis qu'un K<sup>+</sup> prend le chemin inverse pour préserver la neutralité électrique. C'est ainsi qu'une acidose engendre une hyperkaliémie. L'effet de ce tampon dans le plasma est négligeable.

### I.8.2.4 Le système tampon phosphate (dans l'urine): (H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>/HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)



### I.8.2.5 Excrétion de l'ion H<sup>+</sup> par l'intermédiaire de l'ion ammonium dans l'urine, selon la réaction :



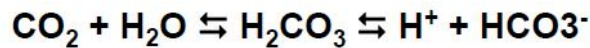
*NH<sub>3</sub>: ammoniac*

*NH<sub>4</sub><sup>+</sup>: ion ammonium*

### I.8.3 Régulation pulmonaire de l'équilibre acido-basique

#### I.8.3.1 Ventilation et pH

*Tout changement de la ventilation va modifier l'équilibre acido-basique*



##### I.8.3.1.1 Hypoventilation (Baisse de la ventilation alvéolaire)

*Observée dans l'insuffisance respiratoire. Elle conduit à une augmentation de la PCO<sub>2</sub>, donc du CO<sub>2</sub> dissous et déplace l'équation vers la droite avec une augmentation des ions H<sup>+</sup>.*



**-La ventilation pulmonaire ou ventilation par minute, qui est le volume d'air inspiré et expiré en une minute**

**-Ventilation pulmonaire (ml/min) = volume courant (ml) X fréquence respiratoire (cycles/min)**

**-Ventilation alvéolaire= (volume courant – volume de l'espace mort respiratoire) x fréquences respiratoire**

##### I.8.3.1.2 Hyperventilation (augmentation de la ventilation alvéolaire)

*Le sujet expire plus de CO<sub>2</sub> diminue ainsi la PCO<sub>2</sub>. L'équation se déplace vers la gauche, augmentant l'acide carbonique, diminuant les ions H<sup>+</sup> et augmentant donc le pH.*





### **I.8.3.1.3 Régulation de la ventilation et pH**

- La ventilation va pouvoir ajuster le pH par l'intermédiaire de 2 stimuli:  $H^+$  et  $PCO_2$
- Chémorécepteurs aortiques et carotidiens
- Stimulés par l'augmentation de  $[H^+]$  plasmatique
- Stimulation des centres respiratoires bulbaires
- Augmentation de la ventilation, élimination de plus de  $CO_2$  et transformation des ions  $H^+$  en  $H_2CO_3^-$ .
- **Chémorécepteurs centraux**
  - $H^+$  ne traversent pas la barrière hémato-encéphalique. Mais les changements de pH modifient la  $PCO_2$  et le  $CO_2$  stimule les chémorécepteurs centraux.

Cette stimulation chémosensible va permettre de répondre à toute modification du pH et du  $CO_2$  plasmatique

### **I.9 Régulation rénale de l'équilibre acido-basique**

Le rôle des reins est fondamental dans l'équilibre acido-basique puisqu'en son absence les systèmes tampons seraient progressivement consommés et une acidose fatale apparaît. Pour lutter contre l'acidose métabolique, l'action du rein s'exerce par un triple mécanisme:

- Réabsorption tubulaire des bicarbonates filtrés
- Excrétion des ions  $H^+$  sous forme d'acidité titrable\* et la régénération des bicarbonates
- Excrétion de l'ion ammonium ( $NH_4^+$ )

**\*\*Acidité titrable:**

Pour mesurer la quantité de substances acides éliminées, on les titre avec une base forte, d'où la dénomination d'acidité titrable de cette fraction d'ions  $H^+$  éliminée sous forme d'acide faible.

Formation de l'urine (3 étapes)

1. Filtration glomérulaire dans les glomérules
2. Réabsorption tubulaire dans les tubules rénaux
3. Sécrétion tubulaire dans les tubules rénaux

Notez que les tubules collecteurs (TC) permettent également la réabsorption et la sécrétion.

### **1.9.1 Réabsorption des bicarbonates**

Les bicarbonates filtrés au niveau glomérulaires sont réabsorbés à 85% au niveau des tubules proximaux (TCP) et à 10% par les tubules distaux (TCD) et à plus de 4,9% au niveau du tube collecteur du néphron.

Réabsorption des bicarbonates filtrés par le glomérule

1. Le  $CO_2$  se combine avec  $H_2O$  dans les cellules tubulaires, formant  $H_2CO_3$ .
2.  $H_2CO_3$  se dissocie en ions  $H^+$  et  $HCO_3^-$ .
3. Pour chaque ion  $H^+$  sécrété, un ion  $Na^+$  et un ion  $HCO_3^-$  sont réabsorbés par les cellules tubulaires.
4. Les ions  $H^+$  sécrétés forment  $H_2CO_3$  ; ainsi, les  $HCO_3^-$  disparaissent du filtrat au même taux de leur entrée dans le sang du capillaire péricapillaire.
5. L'  $H_2CO_3$  formé dans le filtrat se dissocie pour libérer le  $CO_2$  et  $H_2O$ .

6. Le  $\text{CO}_2$  diffuse dans les cellules tubulaires, à travers la membrane basolatérale à l'intérieur du fluide interstitiel et il rejoint le capillaire péri-tubulaire où il agit pour entraîner davantage de sécrétion d'ion hydrogène

Le transport de  $\text{HCO}_3^-$  à travers la mb baso-larérale est facilité par deux mécanismes :

- 1)  $\text{Na}^+ / \text{HCO}_3^-$  et
- 2) L'échange  $\text{Cl}^- / \text{HCO}_3^-$ .

### **I.9.2 Excrétion des ions $\text{H}^+$ sous forme d'acidité titrable et formation de nouveaux ions bicarbonates**

$\text{H}^+$  sécrété par les cellules rénales provient de la dégradation de  $\text{H}_2\text{CO}_3$  en  $\text{H}^+$  et  $\text{HCO}_3^-$ .

Dans la lumière tubulaire,  $\text{H}^+$  se combine à  $\text{HPO}_4^{2-}$  (la forme A-) du tampon phosphate pour former  $\text{HPO}_4^-$  (la forme HA) qui est excrété à pH 7,4.

Pour chaque  $\text{H}^+$  sécrété, il y a synthèse et réabsorption d'un nouveau  $\text{HCO}_3^-$ .

Aide au remplissage de la réserve  $\text{HCO}_3^-$ .

Pour mesurer la quantité de substances acides éliminées, on les titre avec une base forte, d'où la dénomination d'acidité titrable de cette fraction d'ions  $\text{H}^+$  éliminée sous forme d'acide faible.

### **I.9.3 Mécanismes tampons dans l'urine - Excrétion d'ions ammonium $\text{NH}_4^+$ .**

L'ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) qui est un acide faible

L'ion  $\text{NH}_4^+$  est synthétisé à partir de la glutamine, qui provient essentiellement du métabolisme des AA au niveau du foie.

La glutamine est transportée jusque dans les cellules tubulaires.

Une fois à l'intérieur de la cellule, chaque molécule de glutamine est métabolisée en une série de réactions pour aboutir à  $2\text{NH}_4^+$  et  $2\text{HCO}_3^-$ .

Le  $\text{NH}_4^+$  est sécrété dans la lumière tubulaire par un mécanisme de contre-transport en échange de  $\text{Na}^+$ , qui est réabsorbé. Le  $\text{HCO}_3^-$  est transporté à travers la membrane basolatérale vers le fluide interstitiel puis vers le capillaire péri-tubulaire.

Ainsi, pour chaque molécule de glutamine métabolisée,  $2\text{NH}_4^+$  sont sécrétés dans l'urine et  $2\text{HCO}_3^-$  sont réabsorbés dans le sang.

Les  $\text{HCO}_3^-$  générés par ce processus constituent de nouveaux bicarbonates.

## I.10 Troubles de l'équilibre acido-basique

### I.10.1 Acidose métabolique

Une acidose métabolique correspond à une diminution de  $[\text{HCO}_3^-]$  par surproduction de charges acides. L'acidose métabolique peut provenir : • **surcharge endogène**, par production d'acide lactique lors d'un exercice musculaire intense ou en cas d'hypoxie, acidocétose liée au jeûne ou au diabète non traité ;

• **surcharge exogène**, par consommation excessive de  $\text{NH}_4\text{Cl}$ . L'acidose peut également procéder d'un déficit de base (fuites excessives de  $\text{HCO}_3^-$  par voie digestive lors de diarrhées ou par voie rénale par une mauvaise réabsorption de  $\text{HCO}_3^-$ ).

**La compensation** est alors respiratoire : la respiration rapide et profonde permet d'éliminer davantage de  $\text{CO}_2$  ; le rein compense plus tardivement en éliminant des acides organiques et le  $\text{NH}_4^+$ .

### I.10.2 Acidose respiratoire

Une acidose respiratoire découle d'une défaillance des poumons à éliminer le CO<sub>2</sub> aussi rapidement qu'il est produit.

L'acidose respiratoire se met en place en cas d'insuffisance respiratoire (obstruction des alvéoles dans le cas de la mucoviscidose) ou d'excès de CO<sub>2</sub> atmosphérique.

**La compensation** ne pouvant alors être respiratoire, les systèmes tampons jouent beaucoup et le rein élimine une urine acide.

### I.10.3 Alcalose métabolique

Une alcalose métabolique provient d'un excès de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> dans les digestions difficiles ou des fuites d'ions H<sup>+</sup> sous la forme d'acide chlorhydrique par des vomissements.

**La compensation** est rénale et les urines s'alcalinisent.

### I.10.4 Alcalose respiratoire

Une alcalose respiratoire se produit quand le CO<sub>2</sub> est éliminé plus rapidement qu'il n'est produit. Cette baisse de CO<sub>2</sub> sanguin peut provenir d'une baisse de la pression atmosphérique en altitude qui entraîne une hyperventilation pour subvenir aux besoins de dioxygène.

**La compensation** est rénale et le rein élimine du NaHCO<sub>3</sub> au lieu de NaCl.



## ***Chapitre 2***

### ***Le sang et le rôle de ces éléments figurés***

## II. Composition du sang

Le sang est composé de cellules sanguines en suspension dans le plasma. L'ensemble est contenu dans les vaisseaux sanguins. Le volume total du sang d'un adulte humain est de 5 litres.

### II.1 Partie liquide PLASMA

Le plasma est la composante liquide du sang dans laquelle baignent les éléments figurés. Il est constitué de 90 % d'eau, 10 % d'ions et de différentes molécules qui sont ainsi transportées à travers l'organisme. Il représente 55 % du sang.

Il faut encore le distinguer du sérum sanguin, liquide issu d'un caillot sanguin rétracté, dont la composition est un peu différente de celle du plasma sanguin, car dépourvu en particulier du fibrinogène.

### II.2 Partie solide Éléments figurés

Regroupent les globules rouges, les globules blancs et les plaquettes sanguines. Ils représentent 45 % du sang.

Les cellules en suspension représentent 45% du volume total, ce qui correspond à l'hématocrite. Leur morphologie peut être étudiée sur un frottis coloré au May Grünwald Giemsa (MGG).

Il existe des différentes cellules

- Les globules rouges ou hématies

Femmes: 4 à 5 millions globules rouges dans 1mm<sup>3</sup> de sang.

Hommes: 5 à 6 millions globules rouges dans 1mm<sup>3</sup> de sang.

- Les globules blancs ou leucocytes



Il y a environ 5 000 à 11 000 globules blancs dans 1mm<sup>3</sup> de sang sain se répartissent en :

- Polynucléaires ou granulocytes : 40 à 80 % des leucocytes.
- Monocytes : 2 à 10% des leucocytes.
- Lymphocytes : 20 à 40 % des leucocytes.
- Les plaquettes : 200 à 400 000 / mm<sup>3</sup>.

Les éléments figurés du sang ont des durées de vie limitées ; il existe un équilibre dynamique entre leur production (l'hématopoïèse et la lymphopoïèse) et leur destruction. L'hématopoïèse est la production des précurseurs sanguins (prolifération, différenciation et maturation) et se déroule dans les organes hématopoïétiques (moelle osseuse chez l'adulte, foie et rate chez l'embryon). La lymphopoïèse comprend la production des précurseurs lymphoïdes qui se passe au niveau de la moelle osseuse. Elle se termine par la maturation des lymphocytes dans le thymus pour les lymphocytes T et par la prolifération des cellules dans les organes lymphoïdes secondaires.

Chez un sujet adulte normal, seuls les éléments matures passent dans le sang périphérique.

### **II.2.1 Les globules rouges**

Les globules rouges sont des cellules anucléées dont le constituant essentiel est une hémoprotéine de liaison de l'oxygène : l'hémoglobine (environ 14,5 g / 100 ml). Le rôle principal de ces cellules est d'assurer le transport de l'oxygène et du gaz carbonique entre les alvéoles pulmonaires et les tissus.

### **II.2.1.1 Aspect en microscopie optique**

Il s'agit d'une cellule de 5 à 7  $\mu$  de diamètre d'aspect homogène, coloré en orangé au May Grünwald Giemsa. Son épaisseur est de 1,8  $\mu$ m (figure 6).

### **II.2.1.2 Aspect en microscopie électronique à balayage**

Ce sont des cellules biconcaves, aplaties au centre ayant un aspect de disque. Elles ne possèdent ni mitochondrie, ni ribosome, ni REG. La membrane plasmique de l'hématie est le siège des antigènes qui déterminent les groupes sanguins (Système ABO, système rhésus et autres systèmes érythrocytaires) qui sont des récepteurs portés par les molécules de glycophorine. Ces cellules ont une durée de vie de 120 jours. Leur production est de  $200 \times 10^9$  nouvelles cellules par jour (figure 7).

## **II.2.2 Fonction des globules rouges**

Le transport de l'oxygène et du gaz carbonique se fait par l'intermédiaire de l'hémoglobine. L'hémoglobine est formée de globine, protéine associée à quatre groupements hème. Chaque hème associe un noyau porphyrique à un atome de fer ferreux.

On trouve également dans le sang circulant des réticulocytes, globules rouges jeunes possédant quelques mitochondries et des ribosomes (moins de 1% des globules rouges).

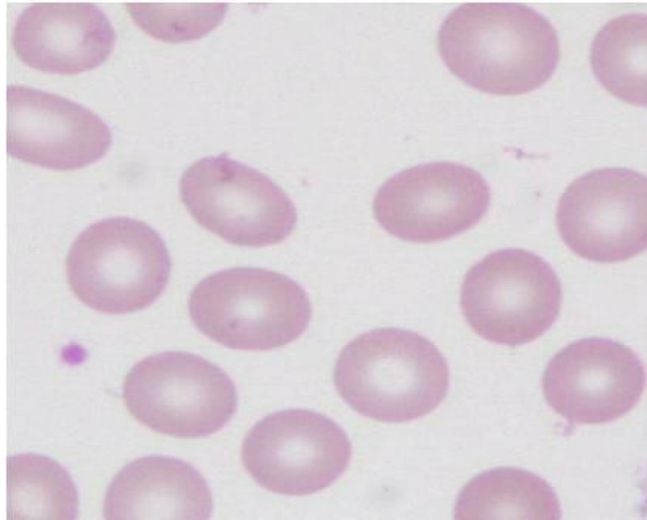
## **II.3 Les globules blancs**

Ces cellules participent aux défenses spécifiques de l'organisme.

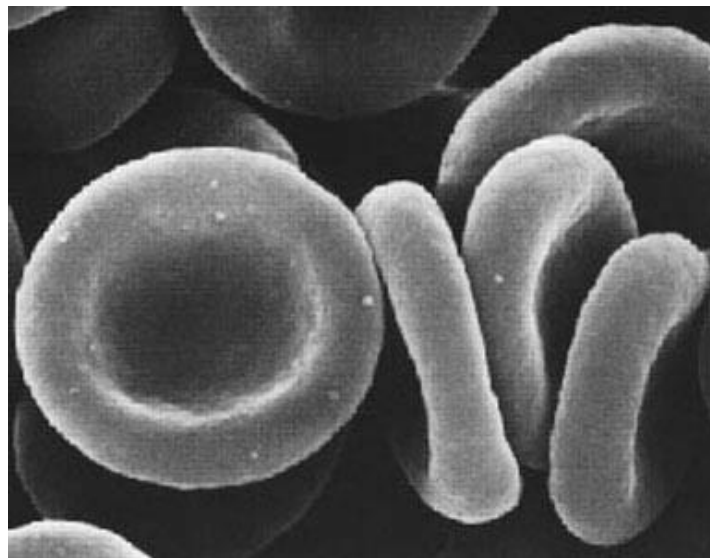
### **II.3.1 Les monocytes**

Ces cellules ont une durée de vie dans le milieu sanguin très courte (environ 24 heures). Elles passent ensuite dans les tissus où elles se différencient en macrophages. Elles appartiennent au système mononucléé phagocytaire. En microscopie optique, elles apparaissent

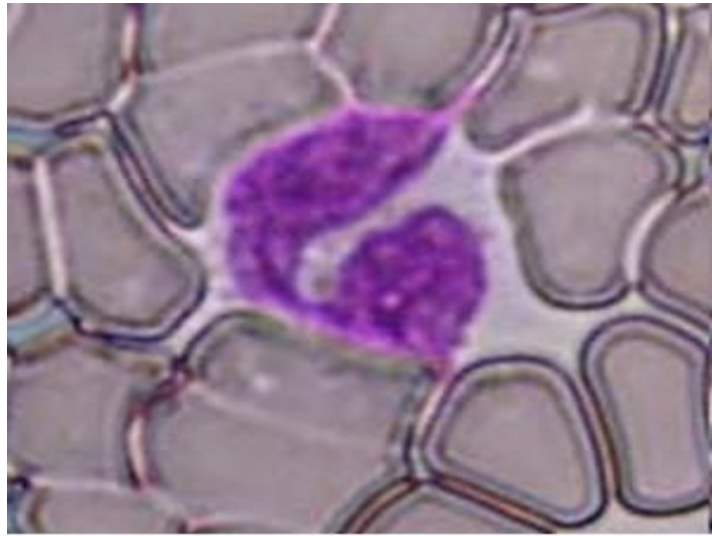
arrondies, ayant un diamètre de 15 à 20 $\mu$ m. Le cytoplasme est gris bleuté (ciel d'orage) au MGG et a un aspect un peu granuleux. Il existe en périphérie des voiles cytoplasmiques, visibles en microscopie optique. Le noyau est central, en fer à cheval ou en E (figure 8)



**Figure 6 : Aspect en microscopie optique des globules rouges**



**Figure 7 : Aspect en microscopie électronique à balayage des globules rouges**



**Figure 8 : Aspect en microscopie optique des monocytes**

### II.3.2 Les lymphocytes

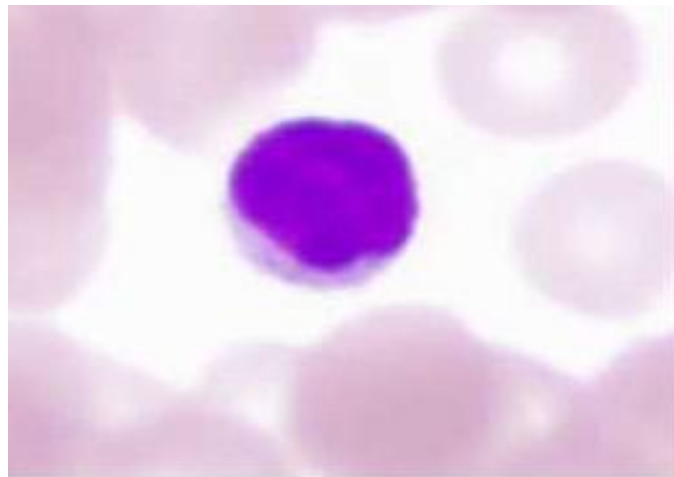
Ce sont des cellules mononucléées, au rapport nucléo / cytoplasmique élevé. Leur durée de vie est variable, certains lymphocytes mémoires peuvent avoir une durée de vie très longue. En microscopie optique, ce sont des cellules de petites tailles, environ 7  $\mu\text{m}$  de diamètre avec un noyau occupant la quasi-totalité de la cellule. Leur forme est régulière et arrondie. Il existe une petite frange cytoplasmique périphérique d'aspect mauve au MGG. Le noyau est sphérique, dense (figure 9).

En microscopie électronique à transmission, la chromatine est dense, il n'existe pas de nucléole. Le cytoplasme est pauvre en organites (quelques ribosomes et un ergoplasme réduit) (figure 10). Tous les lymphocytes sont semblables sur le plan morphologiques mais il existe plusieurs groupes de lymphocytes mis en évidence par des marqueurs antigéniques de membrane : les lymphocytes B et les lymphocytes T, dont la maturation se fait au niveau du thymus. On décrit également un troisième groupe apparenté aux lymphocytes T : Les cellules NK ou Natural Killer.

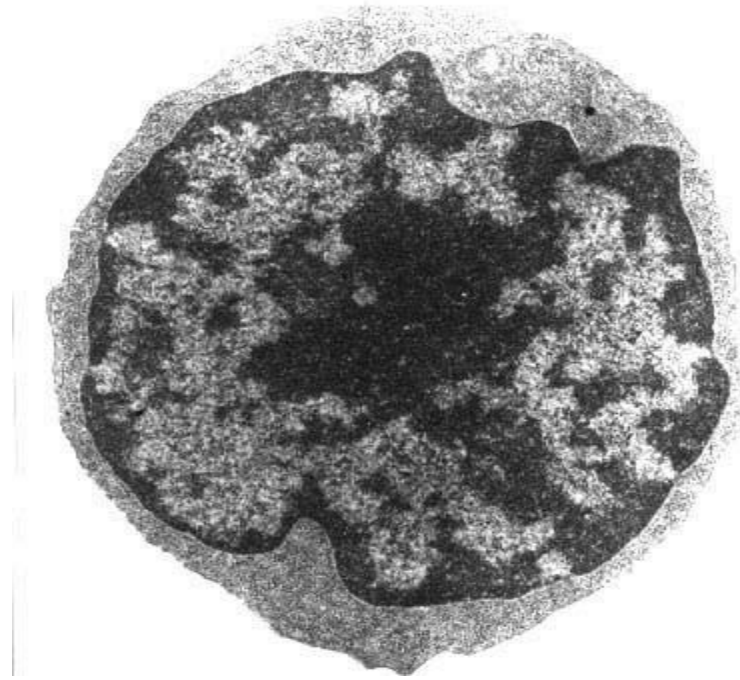
La population lymphocytaire sanguine comprend 8 à 12 % de lymphocytes B, 70 à 80 % de lymphocytes T et 5 à 15 % de cellules NK.

### **II.3.2.1 Fonction des lymphocytes**

Ces cellules sont responsables des réponses spécifiques immunitaires. Les lymphocytes B effectuent leur différenciation dans la moelle osseuse (organe lymphoïde primaire). Ils sont responsables de l'immunité humorale et peuvent fabriquer les anticorps ou immunoglobulines après présentation de l'antigène par une cellule présentatrice d'antigène (macrophages, cellules folliculaires, cellules dendritiques). Les lymphocytes B possèdent des immunoglobulines de membrane qui constituent le marqueur phénotypique de ces cellules.



**Figure 9 : Aspect en microscopie optique des lymphocytes**



**Figure 10 : Aspect en microscopie électronique à balayage des lymphocytes**

La fabrication des anticorps se fait au niveau des organes lymphoïdes secondaires où les lymphocytes se transforment en plasmocytes. Les lymphocytes T acquièrent leur différenciation au niveau du thymus (organe lymphoïde primaire).

Les lymphocytes T matures expriment le récepteur de membrane CD3. Parmi ces lymphocytes matures, on distingue plusieurs groupes caractérisés par la présence d'autres récepteurs de membrane :

Les CD4 ou T helpers qui reconnaissent l'antigène en association avec les molécules HLA de classe II (représentent environ la moitié des T).

Les CD8 ou T suppresseurs ou cytotoxiques qui reconnaissent l'antigène en association avec les molécules HLA de type I (de 20 à 30 % des T).

Les lymphocytes T participent à la réponse immunitaire humorale en stimulant ou en freinant la production d'anticorps par les lymphocytes B

mais sont également impliqués dans l'immunité cellulaire et secrètent des cytokines ou lymphokines.

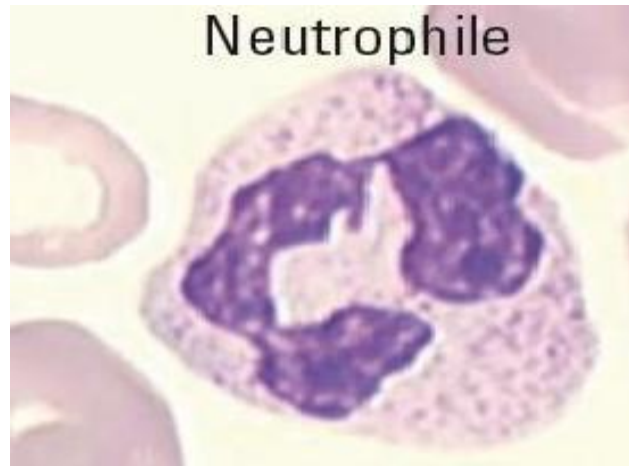
### **II.3.3 Les polynucléaires**

Ce groupe de cellules possède des caractéristiques communes. Elles contiennent un noyau plurilobé (figure 7). Les lobes sont reliés les uns aux autres par des ponts fins de chromatine. Dans le cytoplasme, il existe deux types de granulations : des granulations non spécifiques primaires, riches en hydrolases et en peroxydases, communes à l'ensemble des polynucléaires et des granulations secondaires spécifiques à chaque groupe ayant des propriétés tinctoriales différentes. Dans la cellule mature, les granulations non spécifiques diminuent.

#### **II.3.3.1 Neutrophiles**

Ce sont les polynucléaires les plus nombreux - 40 à 75 % de l'ensemble des globules blancs. Leur durée de vie est de l'ordre de 24 heures. Leurs granulations spécifiques sont neutrophiles.

En microscopie optique, ce sont des cellules d'environ 12 µm de diamètre, le noyau est généralement trilobé mais le nombre de lobes varie de 2 à 5 lobes et est un indice de maturation de la cellule (figure 11). La formule d'Arneth est la répartition des polynucléaires neutrophiles en fonction du nombre de lobes. Le cytoplasme apparaît clair, non colorable au MGG. En effet, les granulations azurophiles ne sont colorables que par la mise en évidence spécifique de la myéloperoxydase.



**Figure 11 : Aspect en microscopie optique des Neutrophiles**

En microscopie électronique, le noyau à une chromatine dense, le cytoplasme contient deux types de granulations : les granulations non spécifiques ou primaires, azurophiles qui renferment une myéloperoxydase, des hydrolases acides et du lysosyme et des granulations spécifiques secondaires, neutrophiles, de petite taille (0,3 à 0,8  $\mu\text{m}$ ) éparses dans le cytoplasme. Ces granulations sont dépourvues d'enzymes lysosomiales et de peroxydases mais contiennent du lysosyme et de la collagénase. Il existe en périphérie de la cellule une bande riche en filaments d'actine .

La fonction de ces neutrophiles est la défense non spécifique de l'organisme et notamment la lutte anti-bactérienne. Cette fonction est permise par les propriétés des neutrophiles :

Les phénomènes de diapédèse leur permettent de quitter le milieu sanguin en passant entre les cellules endothéliales. Ces phénomènes sont assurés grâce à des cytokines sécrétées sur le lieu de l'infection, notamment l'interleukine 8 (IL-8) qui active les polynucléaires neutrophiles et par les molécules d'adhésion qui apparaissent à la surface du polynucléaire et se lient à leur ligand spécifique situé sur les cellules endothéliales. Le chimiotactisme les attire sur les lieux de l'inflammation : l'IL-8 sécrété par

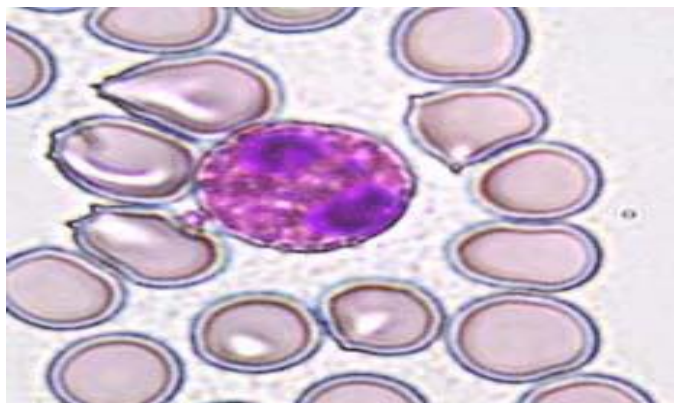


les monocytes ainsi que certaines fractions des compléments participent à ce chimiotactisme notamment en provoquant une réorientation du cytosquelette et des organites au sein de la cellule. Les propriétés de la phagocytose lui permettent de détruire les agents étrangers notamment les bactéries. La phagocytose peut être facilitée par un phénomène d'opsonisation caractérisé par une liaison spécifique des lipopolysaccharides de certaines parois bactériennes ou avec des immunoglobulines qui se lient à leur récepteur situé sur la membrane du polynucléaire. L'action de la myéloperoxydase des granulations azurophiles lui confère une activité bactéricide, qui lui permet de détruire les bactéries phagocytées.

### II.3.3.2 Eosinophiles

Ces cellules représentent 1 à 3 % des globules blancs. Elles ont une demi-vie dans le sang circulant de 4 à 5 heures puis passent dans les tissus (peau, poumon, tractus digestif) où elles restent 8 à 10 jours. La proportion d'éosinophiles dans les tissus est 100 fois plus importante que celle du sang.

En microscopie optique, leur diamètre est de 10 à 14  $\mu\text{m}$ , le noyau est généralement bi-lobé, le cytoplasme apparaît en orangé au MGG, d'aspect granuleux à cause de la présence des granulations spécifiques (figure 12). Ces granulations sont volumineuses et acidophiles.



## **Figure 12: Aspect en microscopie optique des Eosinophiles**

En microscopie électronique, les granulations spécifiques, éosinophiles sont volumineuses, de 0,5 à 1,5  $\mu\text{m}$  de diamètre et contiennent une matrice granulaire au sein de laquelle se trouve une formation cristalloïde allongée

Ces granulations contiennent une peroxydase (différente de la myéloperoxydase des neutrophiles) et des hydrolases acides.

### **II.3.3.2.1 Fonction des éosinophiles**

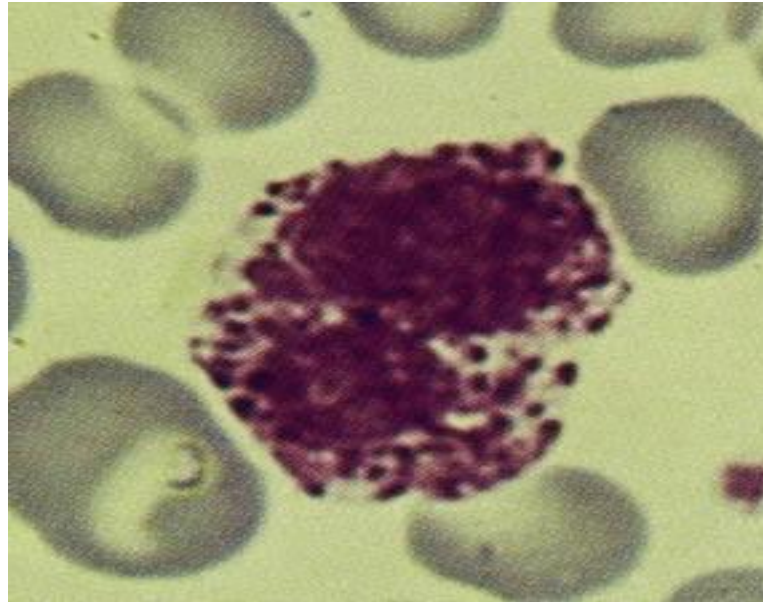
Ces cellules participent en synergie avec d'autres cellules, aux réactions d'hypersensibilité immédiate et retardée. Elles ont à des degrés moindres que les neutrophiles des propriétés de bactéricidie et de phagocytose. Elles interviennent essentiellement dans la destruction des parasites par l'intermédiaire de protéines de haut poids moléculaires (Eosinophil Cationic Protein - ECP et la Major Basic Protein - MBP) contenues dans les cristalloïdes des granulations. La membrane plasmique possède un récepteur pour les immunoglobulines de type IgE et pour l'histamine.

### **II.3.3.3 Basophiles**

Ces cellules sont les moins nombreuses des polynucléaires, (0 à 1 % de l'ensemble des globules blancs). La durée de vie de ces cellules est de 3 à 4 jours.

En microscopie optique, ces cellules ont un diamètre de 10 à 14  $\mu\text{m}$  (figure 13). Leur noyau est irrégulier. Il peut prendre un aspect de trèfle, qui est généralement masqué par les nombreuses granulations métachromatiques (prennent une coloration rouge avec les colorants acides comme le bleu de toluidine ou le bleu alcian) qui apparaissent pourpres au MGG.

En microscopie électronique, les granulations apparaissent homogènes, formées de petits grains denses entourés d'une membrane. Ces granulations basophiles contiennent de l'histamine et de l'héparine (glycosaminoglycanes sulfatés).



**Figure 13: Aspect en microscopie optique des basophiles**

#### **II.3.3.3.1 Rôle des basophiles**

C'est la cellule des manifestations allergiques de type immédiat. La membrane plasmique des basophiles possède des récepteurs pour le fragment Fc des immunoglobulines de type IgE. De ce fait, les IgE fabriquées de façon spécifique contre un allergène sont fixées à la membrane des basophiles. Quand il y a à nouveau contact avec l'allergène, le pontage des IgE par l'allergène provoque la dégranulation des basophiles, responsable des manifestations allergiques

#### **II.3.3.4 Les plaquettes**

Leur durée de vie est de 8 à 12 jours. En **microscopie optique**, les plaquettes sanguines ou thrombocytes sont des fragments cellulaires anucléés de 2 à 5  $\mu\text{m}$  de diamètre. On distingue deux zones : le centre de la

cellule (chronomère) contenant des granulations et la périphérie (hyalomère) plus homogène (figure 14).



**Figure 14: Aspect en microscopie optique des plaquettes**

En microscopie électronique, elles apparaissent riches en granulations denses aux électrons contenant de l'ADP, du glycogène. Leur cytosquelette est très développé avec notamment un faisceau marginal de microtubules circulaires et des microfilaments d'actine (thrombas thénine). Il existe également un réseau canalaire constitué par invagination de la membrane plasmique augmentant ainsi la surface de la membrane.

#### **II.3.3.4.1 Fonction des plaquettes**

Elles jouent un rôle fondamental dans les phénomènes initiaux de coagulation. Le feuillet externe de la membrane plasmique contient un épais glycolemme riche en molécule d'adhésion qui est exprimées quand la plaquette est activée. Elles adhèrent ainsi au collagène quand il y a effraction de l'endothélium. L'actine et le système de microtubules provoquent une adhésion des plaquettes entre elles. Le faisceau de microtubules en se dépolyomérisant en filaments participe à l'agrégation des plaquettes. La couronne d'actine périphérique permet également, en se contractant, l'extrusion du contenu des granulations par le réseau

canalaire, et provoque la synthèse de thromboxane à partir de l'acide arachidonique contenu dans les phospholipides de la membrane plasmique. Le thromboxane libéré a une action vasoconstrictrice. Les substances excrétées provoquent l'adhérence des autres plaquettes.

## **II.4 L'hémostase**

Le sang est composé d'un liquide = plasma et d'éléments figurés du sang = globules rouges, globules blancs, plaquettes. C'est au niveau du plasma (facteur de coagulation) et des plaquettes que se trouvent les mécanismes qui sont capables de transformer une masse liquide (sang) en une masse solide : ce phénomène s'appelle la coagulation. Elle va s'associer à des modifications vasculaires. L'ensemble est désigné sous le nom de hémostase = arrêt de l'hémorragie.

### **II.4.1 Définition de l'hémostase**

C'est l'ensemble des phénomènes qui aboutissent à l'arrêt d'une hémorragie en cas de lésions vasculaires.

### **II.4.2 Mécanisme de l'hémostase**

L'hémostase se déroule en plusieurs temps qui s'imbriquent entre eux. La réaction de l'organisme est différente selon la lésion :

- Vaisseaux capillaires → rapide (temps primaire).
  - Vaisseaux gros calibre → temps primaires et secondaire voire tertiaire.
- Formation d'un caillot par mécanismes de défense.

#### **II.4.2.1 Hémostase primaire**

Elle correspond à l'ensemble de mécanismes qui va aboutir à la formation du clou plaquettaire.

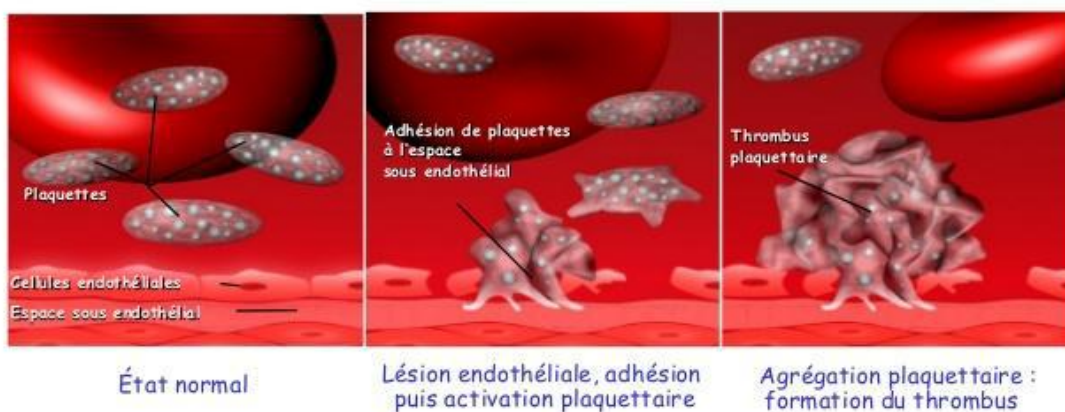
### II.4.2.1.1 Temps vasculaire = temps pariétal.

Il y a blessure d'un vaisseau → mécanismes. La paroi du vaisseau et des plaquettes va se modifier. La lésion se situe au niveau des capillaires ou des vénules = rétraction ou des artères = vasoconstriction des vaisseaux (se serrent) → le flux sanguin diminue = il ralentit la circulation.

### II.4.2.1.2 Temps plaquettaire

Les vaisseaux sont visés = blessures : les plaquettes adhèrent au collagène du tissu conjonctif de ce vaisseau = adhésion plaquettaire. Elles s'agrègent entre elles pour former un amas qui va obstruer cette brèche = clou plaquettaire = thrombus blanc : agrégation plaquettaire au niveau du tissu conjonctif (figure 15). Cette agrégation est due à la libération de l'ADP (Adésine DiPhosphate) qui vient des cellules lésées. L'amas de plaquettes libère la sérotonine et à un rôle de vasoconstriction. C'est l'étape avant la coagulation.

## PLAQUETTES = SAMU VASCULAIRE

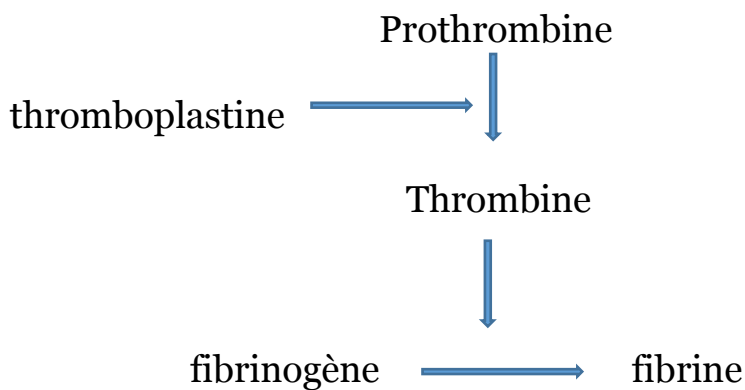


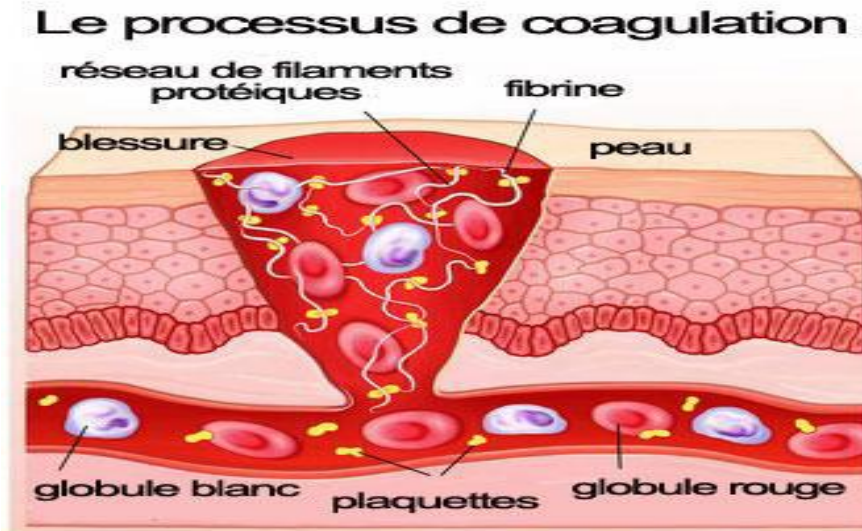
Ferguson JJ. *Antiplatelet Therapy in Clinical Practice*. London: Martin Dunitz; 2000: 15-35.

**Figure 15: Formation du thrombus** Ferguson, (2000)

### II.4.2.2 Hémostase secondaire

Le temps plasmatique = temps de coagulation constitue la coagulation proprement dite et fait intervenir de nombreux facteurs de coagulation allant de 1 à 12. Ces facteurs sont des protéines. Cette coagulation aboutit à la formation d'un thrombus rouge = caillots de fibrine enserrant dans ses mailles les globules rouges = hématies = érythrocytes qui viennent renforcer le clou plaquettaire. La coagulation est due à la transformation de la fibrine (protéine) qui s'est trouvé transformé par le fibrinogène qui lui s'est trouvé transformé par un élément supérieur = thrombine (enzyme) activée par la prothrombine (foie) activée par la thromboplastine (dans le foie) : c'est une réaction en chaîne. C'est la cascade de la coagulation (figure 16).





**Figure 16 : Formation du clou hémostatique** Ferguson, (2000)

- Ce phénomène est lié à 3 processus étroitement liés

#### **II.4.2.2.1 La thromboplastinoformation**

La transformation de la prothrombine en thrombine fait intervenir un ensemble complexe d'activateurs.

#### **II.4.2.2.2 La thrombinoformation**

Des facteurs de coagulation sont combinés et activés + calcium. Ils vont aller activer la prothrombinase (protéine) qui se transforme en prothrombine qui elle se transforme en thrombine.

#### **II.4.3 Les facteurs de coagulation**

Les facteurs de coagulation, comme leur nom l'indique, sont des molécules impliquées dans la coagulation du sang. La plupart de ces facteurs sont des molécules solubles dans le sang, à l'exception du facteur tissulaire (le facteur III) qui sera libéré lors d'un dommage au vaisseau sanguin. Vous noterez également que la plupart de ces facteurs sont produits au niveau du foie, et que la production de certains est dépendant de la vitamine K.



En conséquence, les problèmes hépatiques ou les déficits en vitamine K pourront influencer la coagulation du sang.

#### **II.4.3.1 La fibrinoformation**

La fibrine instable devient stable par le facteur VII et se transforme en fibrinase et se transforme en fibrinogène (facteur I) par la thrombine.

#### **II.4.3.2 La fibrinolyse**

La fibrinolyse= dissolution = cicatrisation en cours

Rétraction du caillot. C'est la dissolution du caillot au bout de 72 h : elle est due à l'action enzymatique plasmatique, la plasmine = la fibrinolysine

*Chapitre 3*

*Le système nerveux*

### **III. Structure du système nerveux**

#### **III.1 Définition**

Le système nerveux est un système biologique animal responsable de la coordination des actions avec l'environnement extérieur et de la communication rapide entre les différentes parties du corps.

Chez tous les vertébrés, on distingue le système nerveux central (encéphale et moelle épinière), du système nerveux périphérique (nerfs et ganglions nerveux). À l'échelle cellulaire, le système nerveux est défini par la présence de cellules hautement spécialisées appelées neurones, qui ont la capacité, très particulière, de véhiculer un signal électrochimique. En outre, le système nerveux contient des cellules de support appelées cellules gliales, qui apportent un soutien structurel et fonctionnel aux neurones.

Le système nerveux peut faillir en de nombreuses conditions : anomalies génétiques, traumatismes physiques, intoxications, infections ou simplement par l'effet du vieillissement. Une altération du système nerveux provoque le plus souvent des symptômes graves à cause de l'importance de ce système dans le fonctionnement du corps. La neurologie et la psychiatrie sont les branches de la médecine qui cherchent à soigner les pathologies du système nerveux. Les neurosciences désignent l'étude scientifique du système nerveux, tant du point de vue de sa structure que de son fonctionnement, depuis l'échelle moléculaire jusqu'au niveau des organes.

#### **III.2 Organisation microscopique**

Le système nerveux est composé de deux types cellulaires : les neurones et les cellules gliales. Les neurones constituent la partie active du système nerveux (transmission et traitement de signaux) alors que les cellules

gliales assurent une fonction support (protection, métabolisme, recyclage). En dehors des microgliocytes, ces cellules sont générées à partir d'un progéniteur commun, la cellule souche neurale.

### III.2.1 **Neurone**

Le neurone est la cellule principale du fonctionnement du système nerveux. Cette cellule excitable est capable de transmettre un signal de nature électrochimique d'un point à l'autre de l'organisme. Ce signal est constitué par la propagation de dépolarisations de la membrane plasmique couplée à la libération de molécule chimique au niveau des points de connexion avec les autres cellules. Ce mécanisme de neurotransmission est commun à l'ensemble des neurones, mais l'information que véhicule ce signal dépend du neurone (figure 17). Ainsi, les neurones du nerf optique véhiculent les informations liées à la vision alors que ceux à destination de la peau véhiculent les informations du toucher. Une fonction importante des neurones est de traiter au sein de plusieurs réseaux ces différentes formes d'informations pour permettre d'effectuer des tâches aussi complexes et variées que la mémorisation, la motricité ou l'homéostasie du corps. La grande diversité de neurone présent dans le système nerveux reflète la diversité des tâches exécutées par ces cellules.

Le neurone entre en contact avec les cellules des organes innervés ou avec les autres neurones grâce à la présence de deux types de prolongement : les dendrites et l'axone.

### III.2.2 **Dendrite**

La dendrite est un prolongement implanté sur le corps cellulaire. Il en existe souvent plusieurs pour un même neurone, qui se présente sous forme d'arborisations fines et courtes, se terminant en de très nombreuses

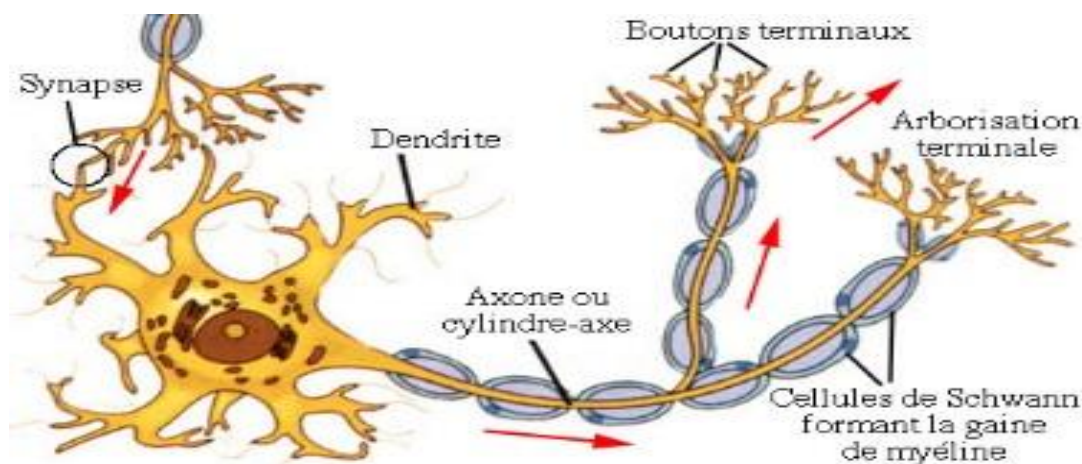
ramifications. Le nombre et la forme des dendrites varient selon le type de neurones et permettent d'identifier partiellement ce dernier.

Les dendrites sont conductrices de l'influx nerveux, mais elles ne peuvent essentiellement conduire cet influx que dans un seul sens, de l'extrémité des arborisations de la dendrite vers le corps de la cellule (direction dite « cellulipète »). Le sens de conduction de l'influx différencie les dendrites de l'axone.

Pour le traitement du signal transmis par le neurone, les dendrites constituent l'*input* (entrée de l'information) du neurone, l'axone étant alors l'*output* (sortie de l'information).

### III.2.3 Axone

L'axone se présente sous forme d'une tige allongée, de surface lisse, de calibre invariable. Il n'existe qu'un seul axone par cellule nerveuse, alors qu'il peut exister plusieurs dendrites. L'axone est parfois très court, mais sa longueur est parfois considérable : pour les nerfs périphériques par exemple, le neurone moteur est situé au niveau de la moelle épinière et la terminaison de l'axone se situe au niveau de la plaque motrice du muscle qu'il innerve, ce qui représente un trajet long parfois de plusieurs décimètres. L'axone se termine comme les dendrites par des arborisations hautement ramifiées pouvant contacter plusieurs cellules à la fois.



**Figure 17 : Structure schématique d'un neurone (d'après Farish, modifié). Les flèches rouges indiquent le sens de progression de l'influx nerveux.**

L'axone ne conduit les influx nerveux que dans un seul sens, généralement du corps de la cellule nerveuse vers les arborisations terminales de l'axone (direction dite « cellulifuge ») mais il peut potentiellement les conduire dans les deux sens. C'est ce qui se passe pour les neurones sensoriels de la peau, qui ne possèdent pas de dendrites mais un axone avec deux embranchements : un se dirigeant vers la périphérie et les récepteurs sensoriels et un vers le système nerveux central.

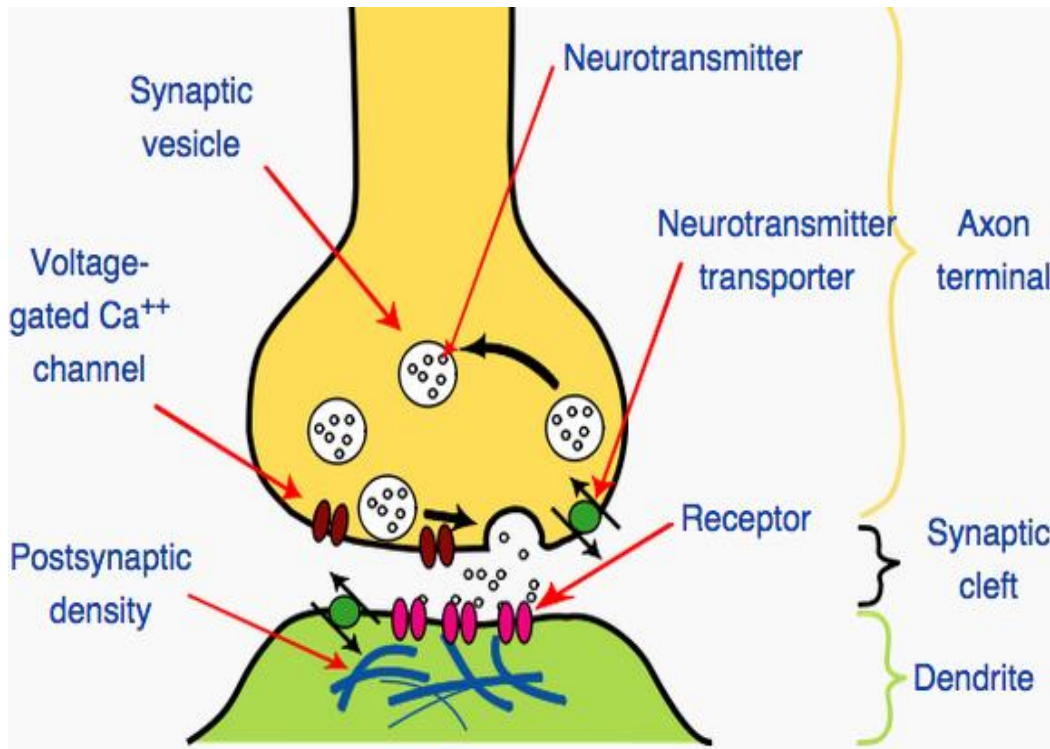
Le potentiel d'action se propage donc des récepteurs le long du premier embranchement de l'axone dans le sens cellulipète puis passe dans la seconde branche, cette fois-ci dans le sens cellulifuge jusqu'au système nerveux central. Dans ce cas de figure, le neurone ne présente pas un axone et une dendrite, mais un axone ramifié en deux branches. La partie terminale de cet axone peut libérer des neurotransmetteurs dans des synapses dites *en passant* pour effectuer des actions très rapides à la suite de la stimulation sensorielle sans attendre une réponse du système nerveux central, nettement plus long à réagir. C'est cette présence de synapses qui permet d'identifier ce prolongement comme un axone plutôt qu'une dendrite

### III.2.4 Synapse

La zone de communication entre deux cellules nerveuses, c'est-à-dire entre une terminaison d'un axone et une dendrite. La synapse est le lieu où le neurone transmet un signal à une autre cellule par la libération :

D'un signal électrique, ce mode de transmission est surtout observable chez les invertébrés et les vertébrés inférieurs.

D'un neurotransmetteur chimique. Ce signal chimique délivré par le neurone peut être excitateur (exemple : acétylcholine), inhibiteur (exemple : GABA ), ou plus subtilement moduler l'activité de la cellule réceptrice (figure 18).



**Figure 18 : Rôle de la synapse**

L'arrivée d'un influx nerveux à une synapse provoque la libération en dehors de la cellule neurotransmetteurs qui sont captés par des récepteurs de la cellule cible qui, en réponse, sera activée ou inhibée. Des exemples de neurotransmetteurs sont la sérotonine, la dopamine, l'adrénaline, l'acétylcholine, le glutamate, le GABA, l'endomorphine...

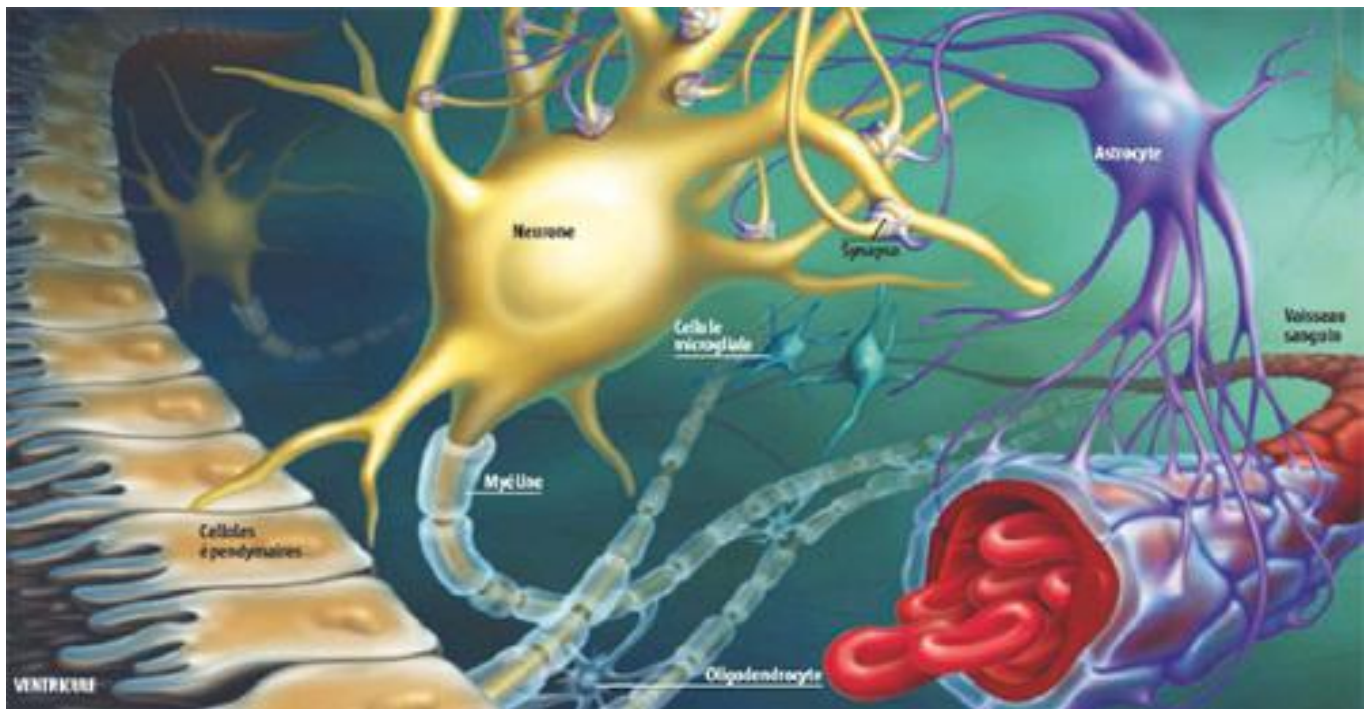
### III.3 Cellules gliales

La névroglie (ou gliocyte) ou tissu glial est neuf fois plus nombreuses que les cellules nerveuses, elles comblent tous l'espace inter-neuronal et isolent les neurones des vaisseaux sanguin (figure 19) et elles assurent plusieurs rôle :

Un rôle de soutien des organes nerveux.

Un rôle de nutrition des cellules nerveuses.

Un rôle d'isolement des éléments nerveux des tissus qui les entourent.



**Figure 19: Cellules gliales**

On distingue quatre types de cellules gliales

### III.3.1 Les astrocytes

Ce sont des cellules étoilées dotées de nombreux prolongements. Les astrocytes participent au métabolisme des neurotransmetteurs,

- Maintiennent l'équilibre du  $K^+$  qui assure la génération d'influx nerveux,
- Contribuent au développement de l'encéphale et aident à former la barrière hématoencéphalique,
- Constituent un lien entre les neurones et les vaisseaux sanguins (figure 19).



### III.3.2 Les oligodendrocytes

Sont dotés de peu de prolongements et sont plus petits que les astrocytes.

Ils forment un réseau de soutien par enroulement autour des neurones et sa principale fonction est la formation de la gaine de myéline entourant les fibres nerveuses (axones) du système nerveux central (SNC); la formation de la myéline au niveau du système nerveux périphérique étant assurée par les cellules de Schwann (figure19).

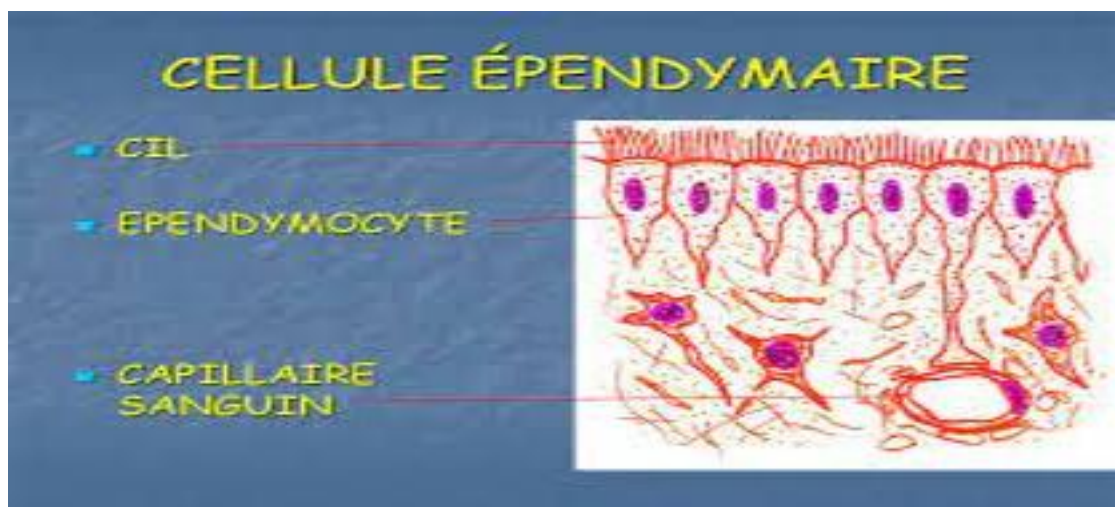
### III.3.3 Les microgliocytes ou microglia

Les microgliocytes considérée comme des cellules immunitaires du cerveau. Ce sont de petites cellules phagocytaires dérivées des monocytes qui protègent le SNC contre la maladie en englobant les microbes envahisseurs et en éliminant les débris de cellules mortes.

### III.3.4 Les cellules épendymaires

Ce sont des cellules de revêtement

Ont des formes qui varient de pavimenteuses à cylindriques, et plusieurs sont ciliées. Elles tapissent les ventricules cérébraux (espaces qui forment et font circuler le liquide céphalo-rachidien) et le canal épendymaire (figure 20).



## Figure 20 : Cellule épendymaire

### III.4 Division du système nerveux

Le système nerveux est divisé en deux parties distinctes :

#### III.4.1 Le système nerveux central.

Constitué de l'**encéphale** et la **moelle épinière**

L'encéphale est représenté par **cerveau**, le **tronc cérébral**, et le **cervelet** situés dans la boîte crânienne (figure 21)

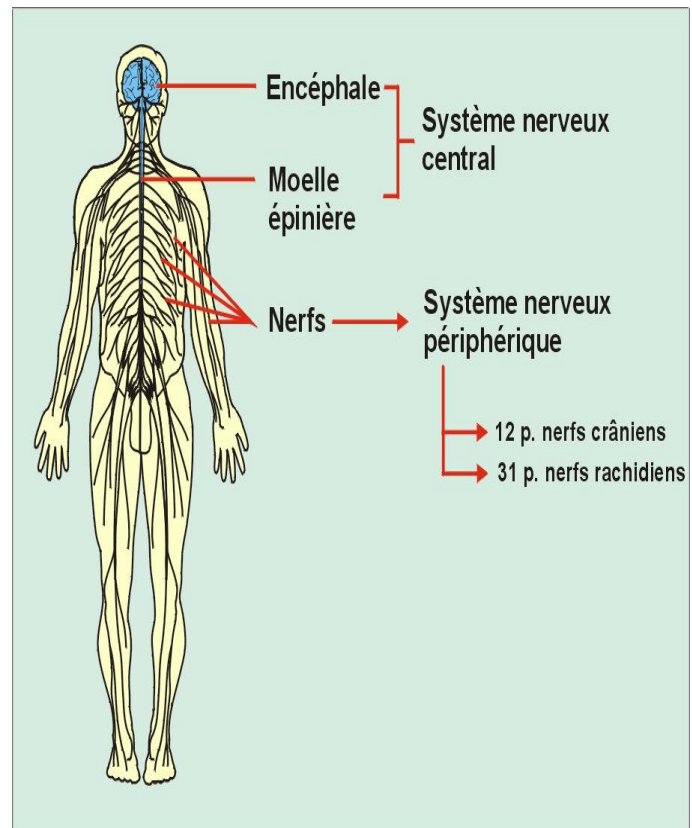
##### III.4.1.1 L'encéphale

###### III.4.1.1.1 Cerveau

Situé en entier dans l'espace sus-tentorial, et formé de deux hémisphères droit et gauche, incomplètement séparés l'un de l'autre par la scissure interhémisphérique marquée par la faux du cerveau, et réunis l'un à l'autre à leur partie centrale.

###### III.4.1.1.2 Le tronc cérébral

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



### III.4.1.1.3 Le cervelet

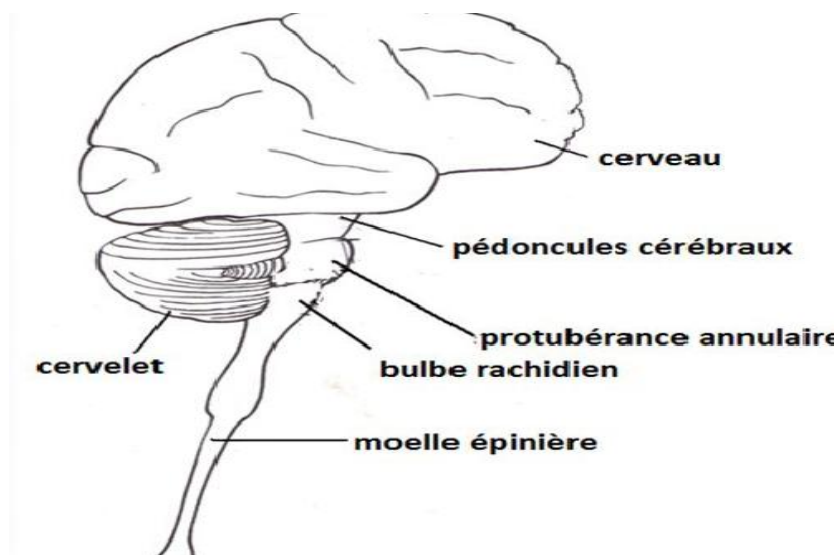
Situé comme le tronc cérébral dans la fosse postérieure et donc séparé du cerveau par la tente du cervelet.

Il est formé de deux hémisphères droit et gauche

Ils sont reliés au tronc cérébral à droite comme à gauche par les pédoncules cérébraux supérieur, moyen et inférieur. Est le « pilote automatique » du corps humain, exerçant les fonctions de maintien de la posture, équilibre, coordination entre les mouvements, mémoire gestuelle.

#### III.4.1.1.3.1 Troubles du cervelet

Une personne gravement affectée la perte de tout sens de l'équilibre et ses mouvements deviennent non coordonnés. Dans ce cas, même si le cerveau donne la commande de toucher son nez avec son index, l'individu sera incapable de coordonner ses mouvements assez pour pouvoir accomplir cette tâche pourtant simple. Des troubles peuvent être causés par le vieillissement ou une tumeur.



**Figure 21 : système nerveux central (vue latérale)**

### III.4.1.2 La moelle épinière

Apparaît comme un cordon d'environ 50 cm de long et de 1 cm de diamètre. Située à l'intérieur de la colonne vertébrale. Contient une matière grise au centre qui est responsable des actes réflexes et des informations sensorielles. La matière grise est entourée d'une matière blanche qui conduit les ordres du cerveau aux membres et qui conduit les sensations des membres au cerveau (figure 22). L'ensemble du système nerveux central est protégé par une enveloppe osseuse, constituée de la boîte crânienne pour l'encéphale et de la colonne vertébrale pour la moelle épinière. D'autres enveloppes de tissu protecteur sont situées entre l'os et le névraxe, ce sont les Méninges (figure 23).

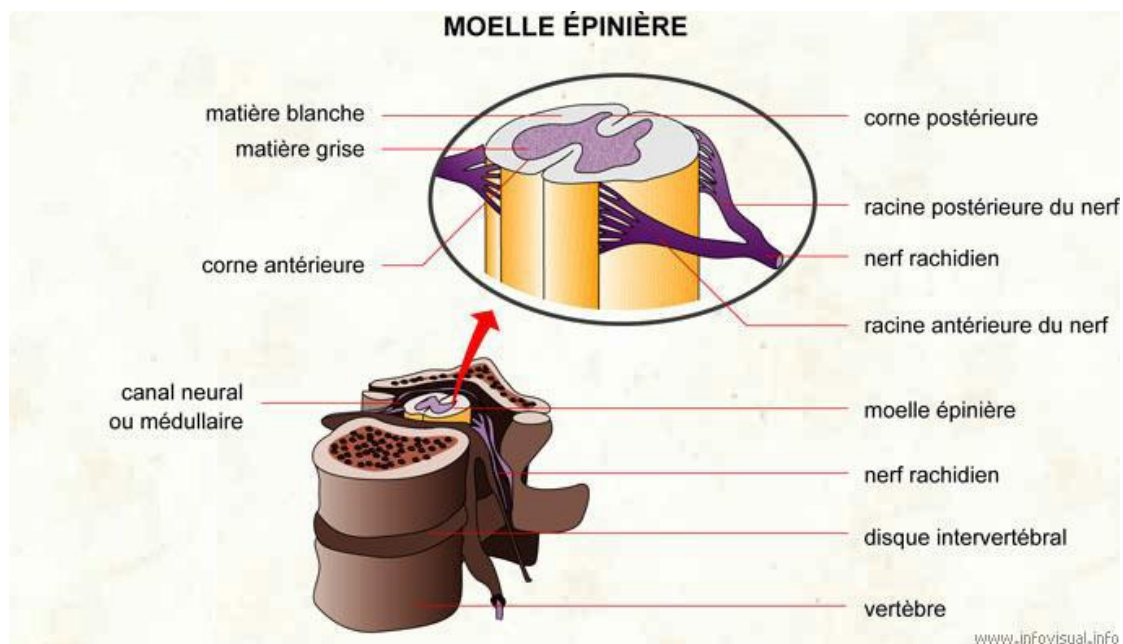
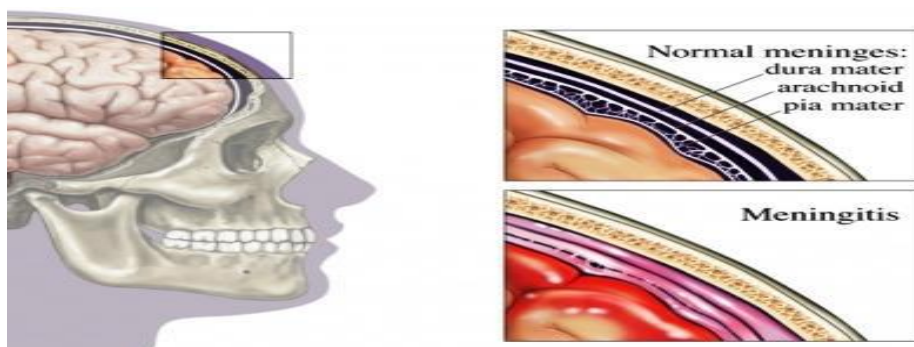


Figure 22 : la moelle épinière



## Figure 23 : Méninges

### III.4.1.2.1 Le liquide céphalorachidien

La moelle épinière et l'encéphale sont entourés d'un liquide appelé liquide céphalorachidien. Ce liquide est semblable au plasma et sert principalement à protéger les tissus nerveux qui sont très fragiles. Ce liquide circule continuellement à l'intérieur de l'encéphale. Une petite partie circule aussi autour de la moelle épinière.

Il se renouvelle rapidement et a des fonctions de protection mécanique, anti-infectieuse, nutritive. Un test appelé la ponction lombaire sert à détecter toute anomalie de ce liquide telle la présence du sang et des bactéries.

### III.4.1.3 La substance grise et la substance blanche du cerveau et de la moelle épinière

Dans l'encéphale, la substance grise est située en périphérie, c'est-à-dire autour de la substance blanche. De ce fait, on dit que la substance grise définit un cortex (**figure A**). Le cortex cérébral est responsable du langage, de la mémoire, de la personnalité, de la pensée consciente

La moelle épinière est constituée aussi de la substance grise, au centre, et la substance blanche, à l'extérieur (**figure B**).

La substance grise est principalement formée de corps cellulaires de cellules nerveuses (dendrites) et des axones courts et sans myéline.

La substance blanche est faite de faisceaux verticaux de fibres myélinisées (ces fibres sont des axones, prolongements de neurones, entourés d'une gaine de myéline) C'est en fait la myéline sur l'axone qui donne l'apparence blanche à la matière blanche

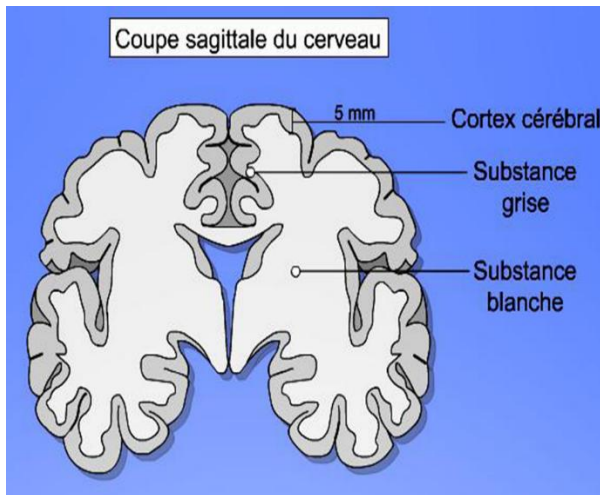


Figure A

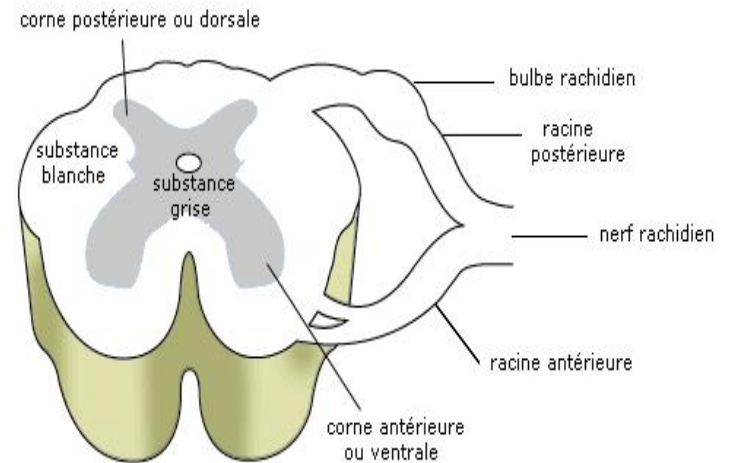


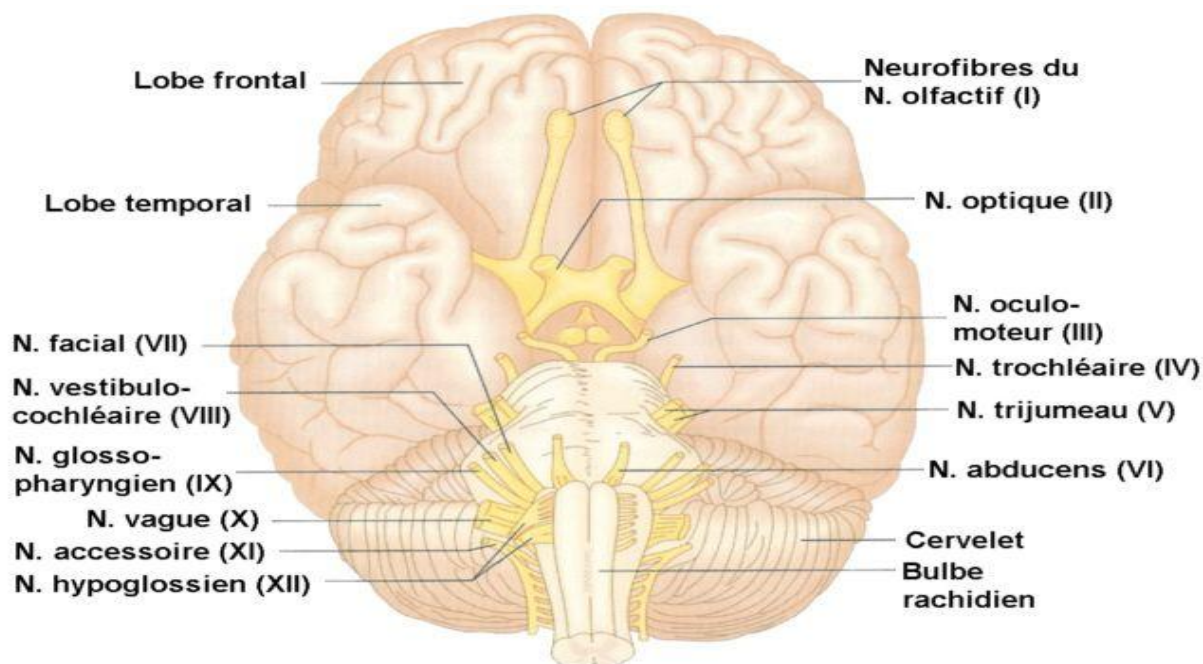
Figure B

### III.4.2 Le système nerveux périphérique.

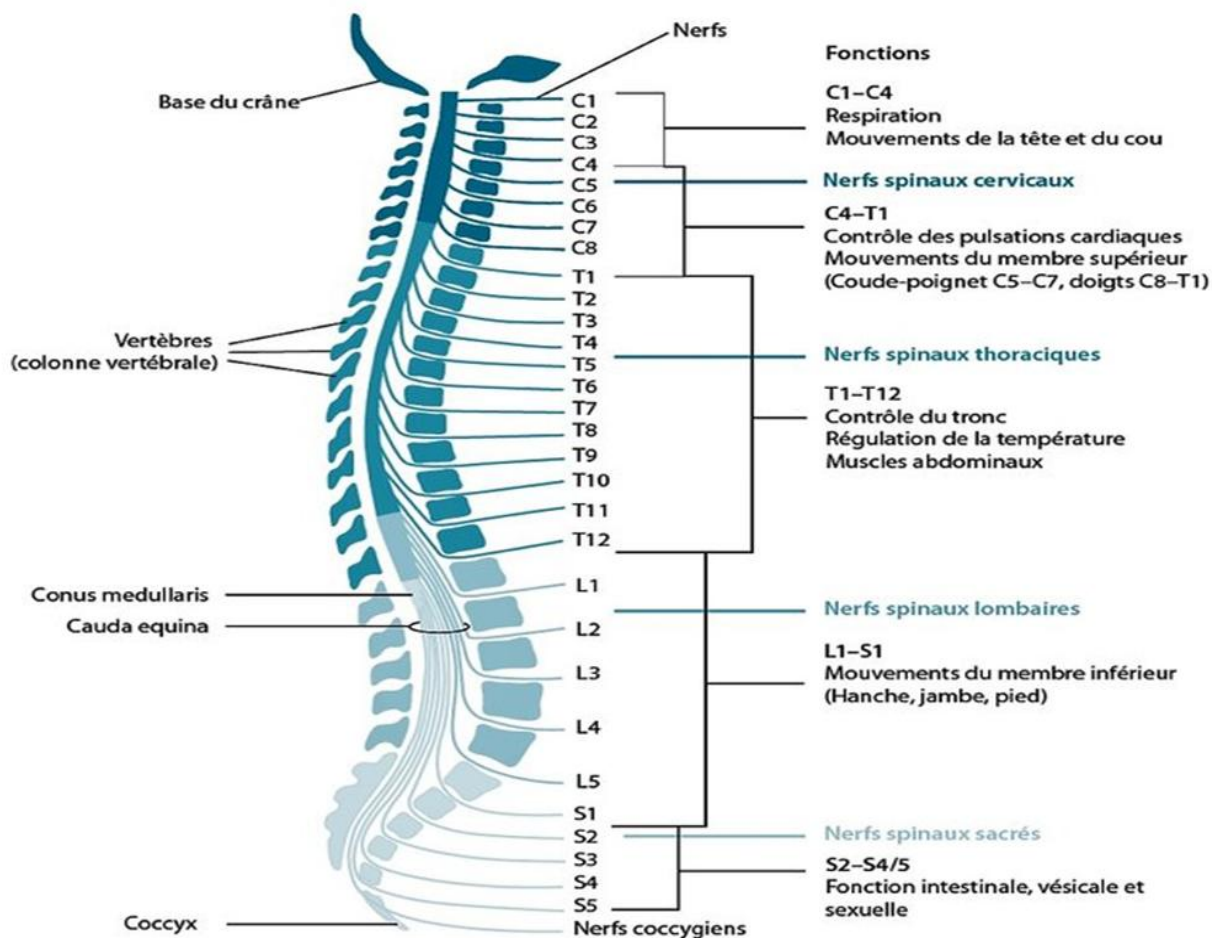
Constitué des **12 paires nerfs crâniens** et **31 paires nerfs rachidiens**

Ces organes correspondent aux différents nerfs rattachés à l'encéphale ou à la moelle épinière.

Les nerfs qui se rattachent au tronc cérébral de l'encéphale sont appelés **des nerfs crâniens (figure 24)** relie directement le cerveau aux différentes parties de la tête, du cou et du tronc. Certains nerfs crâniens sont directement liés aux sens (la vue, l'audition et le goût), et d'autres contrôlent les muscles du visage ou régulent les glandes. Alors que ceux qui se rattachent à la moelle épinière sont des car **nerfs rachidien (figure 25)** ils émergent du canal rachidien. Ils se caractérisent par leur disposition régulière, sur le versant latéral de la moelle épinière, et par leur constitution identique. Chacun se greffe sur la moelle par deux racines, puis quitte le canal rachidien (→ rachis) par le trou de conjugaison situé entre deux vertèbres.



**Figure 24 : nerfs crâniens**



**Figure 25 : nerfs rachidiens**

Le système nerveux périphérique est constitué des nerfs sensitifs et moteurs, qui sont issus essentiellement de la moelle et du tronc cérébral, et qui se terminent au niveau d'un ou plusieurs organes (peau, muscle, viscère, ...)

Se situe à l'extérieur du SNC, est formé de nerfs (qui sont des regroupements d'axones) provenant de l'encéphale et de la moelle épinière.

Ces nerfs sont des lignes de communication qui relient toutes les parties du corps en transmettant les influx.

Il existe trois sortes de nerfs :

- **Les nerfs moteurs** : partent de l'encéphale et transmettent les ordres aux différentes parties du corps.
- **Les nerfs sensitifs** : viennent des organes sensoriels. Ils apportent à notre cerveau les sensations visuelles, auditives, olfactives, gustatives et tactiles.
- **Les nerfs mixtes** : sont à la fois sensitifs et moteurs.

### III.5 Organisation fonctionnelle

#### III.5.1 Système Somatique

Responsable des actions volontaires, ses neurones sensoriels transmettent à l'intérieur l'information reçue par les récepteurs. Ses neurones moteurs transmettent de l'information aux muscles squelettiques.

#### III.5.2 Système Autonome

Le système autonome maintient l'homéostasie en adaptant le corps aux variations des milieux externe et interne, à l'aide de l'hypothalamus et du bulbe rachidien. Il fait ceci en contrôlant les actions involontaires,



manipulant ainsi principalement les muscles lisses (incluant le myocarde) et les glandes.

Le système autonome se divise ainsi en :

### **III.5.2.1 Le système nerveux sympathique**

Le système nerveux sympathique a comme fonction de réagir aux situations d'urgence (réaction de lutte ou de fuite).

Que ce soit de nature émotionnelle ou un stress physique, les influx nerveux augmentent afin de lutter contre le danger, et relâchent de la norépinephrine qui excite les muscles cibles.

### **III.5.2.2 Système nerveux parasympathique**

Il fait généralement le contraire du système nerveux sympathique. Sert de régulateur, il nous calme. Dans les situations calmes, il est dominant sur le système nerveux sympathique.

Il agit pour restaurer et conserver l'énergie. Il peut par exemple diminuer le rythme cardiaque (réaction de repos et de digestion).

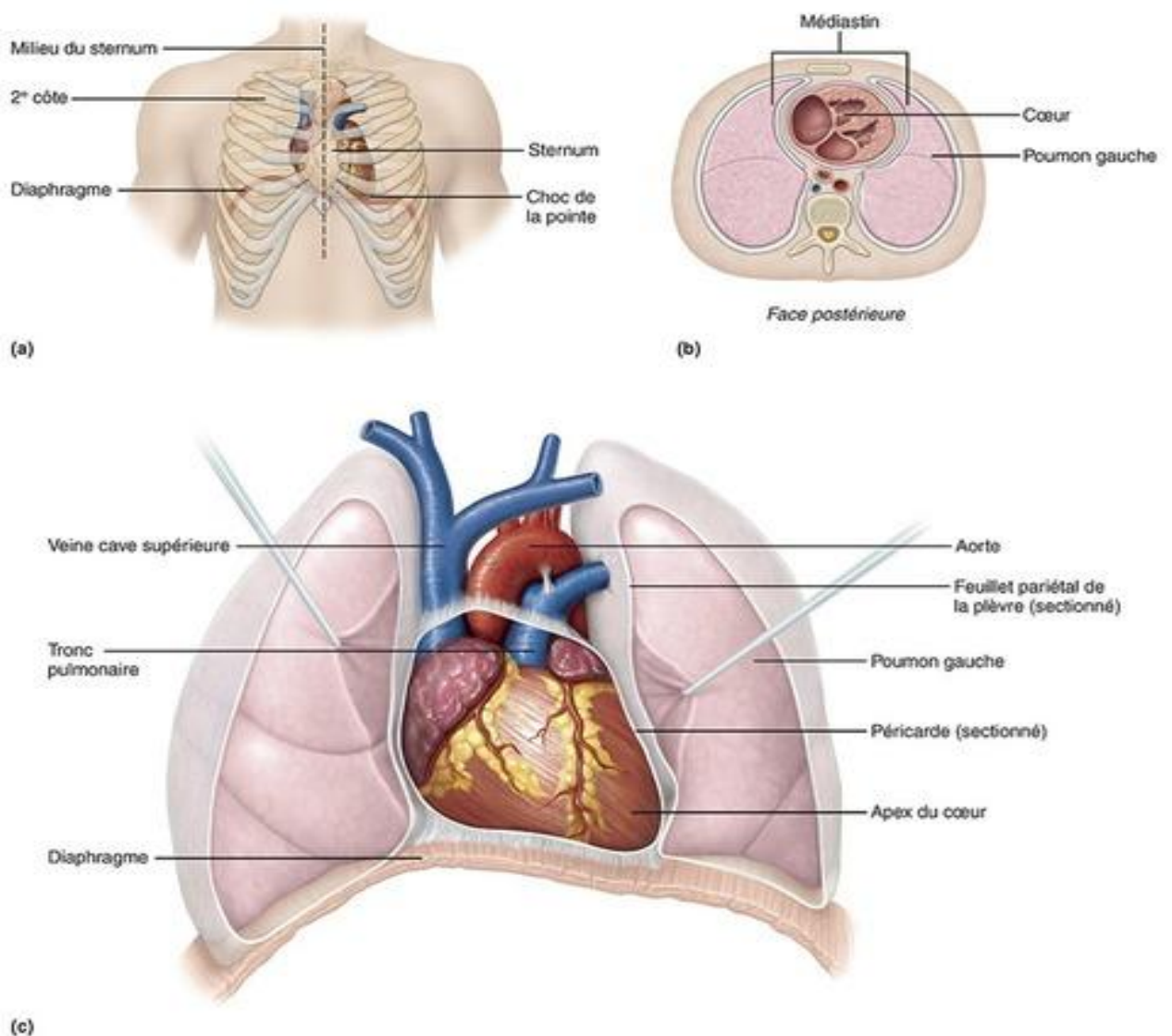
# **Chapitre 4**

## **Systeme cardiovasculaire**

## IV. Physiologie cardiaque

### IV.1 Introduction

Le cœur est logé dans le médiastin antérieur (b) délimité latéralement par les poumons, en bas par la coupole diaphragmatique (c), en avant par le sternum (a) et le grill costal (figure 26), en haut par la trachée et les gros vaisseaux et en arrière par le médiastin postérieur contenant l'œsophage.



**Figure 26 : Localisation du cœur**

Le système cardiovasculaire est constitué :

D'une pompe (le cœur).

D'un ensemble de tuyaux (les artères, les veines et les capillaires).

Le système cardiovasculaire participe à l'homéostasie : maintien de certaines valeurs physiologiques à un niveau constant.

Le système cardiovasculaire a un rôle de :

Distribution aux cellules : nutriments, acides aminés, acides gras, vitamines et oxygène.

✓ Elimination : déchets produits par les cellules (CO<sub>2</sub>, lactate).

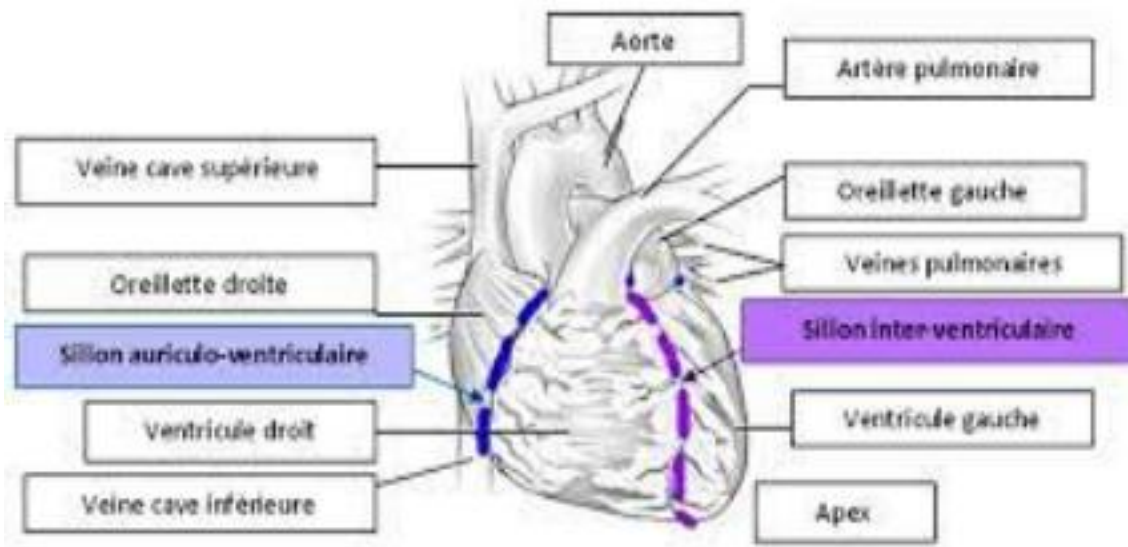
✓ Transport : O<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, et hormones.

✓ Régulation : température corporelle, pH sanguin, volume d'eau, sels minéraux.

## IV.2 L'anatomie du cœur

### IV.2.1 Anatomie externe :

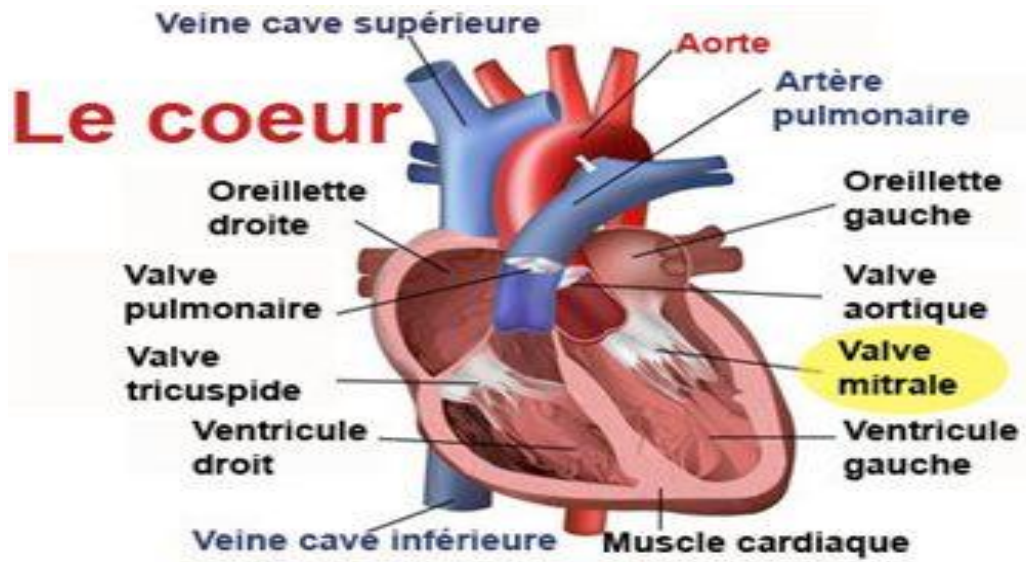
Le cœur est de forme pyramidale triangulaire avec un grand axe oblique en avant, à gauche et en bas, une base regardant en haut, en arrière et à droite et un sommet (apex) en regard du 5<sup>o</sup> espace intercostal gauche. Ses faces sont antérieures, inférieure et gauche. Elles sont parcourues par un sillon auriculo-ventriculaire, perpendiculaire au grand axe du cœur, séparant les deux oreillettes en arrière des deux ventricules en avant et en bas et un **sillon inter auriculaire puis interventriculaire** perpendiculaire au précédent constituant le plan de clivage entre le cœur droit et le cœur gauche (figure 27).



**Figure 27 : Anatomie externe du cœur**

#### IV.2.2 Anatomie interne :

Le cœur est divisé en 4 cavités par une cloison verticale et une cloison horizontale : 2 cavités supérieures : les oreillettes et 2 cavités inférieures : les ventricules. Les deux oreillettes sont séparées par le septum inter auriculaire (situé en profondeur du sillon interauriculaire). Les deux ventricules sont séparés par le septum inter ventriculaire (situé en profondeur du sillon interventriculaire). Les oreillettes communiquent aux ventricules par les orifices auriculo-ventriculaires. On distingue ainsi un cœur droit constitué d'une oreillette et d'un ventricule droits communiquant par un orifice tricuspide et un cœur gauche constitué d'une oreillette et d'un ventricule gauche communiquant par un orifice mitral (figure 28).



**Figure 28 : L'anatomie interne du cœur**

### **IV.3 Structure de la paroi cardiaque**

Trois couches constituent la structure interne du cœur de l'intérieur vers l'extérieur : l'endocarde, le myocarde et le péricarde (figure 29).

#### **IV.3.1 L'endocarde**

Est une membrane endothéliale qui tapisse la face interne du myocarde et se prolonge par l'intima des gros vaisseaux.

#### **IV.3.2 Le myocarde**

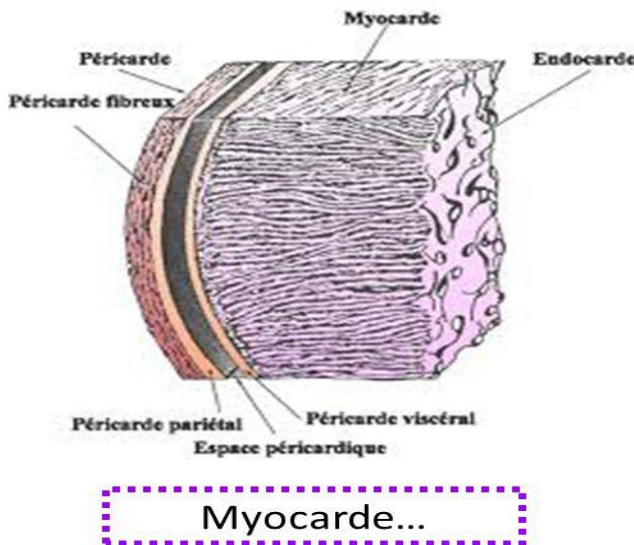
Constitue le muscle cardiaque, c'est un muscle strié autonome régulé par les systèmes sympathique et parasympathique. La paroi ventriculaire est plus épaisse que la paroi auriculaire car le myocarde y est plus important.

#### **IV.3.3 Le péricarde**

Est un sac à double paroi enveloppant le cœur. Il est composé de plusieurs feuillets : le péricarde fibreux ou péricarde épais et le péricarde séreux lui-même composé de deux feuillets : le feuillet viscéral qui

enveloppe le cœur aussi appelé épicarde et le feuillet pariétal qui le recouvre et tapisse la face interne du péricarde fibreux. Ces deux feuillets délimitent une cavité virtuelle, la cavité péricardique, espace de glissement qui permet les mouvements cardiaques. La paroi cardiaque à proprement parler est constituée de l'endocarde, du myocarde et de l'épicarde.

## Paroi du cœur – 3 tuniques



1- épicarde (feuillet viscéral)

2- myocarde

tissu musculaire (muscle, donc contractions)  
essentiel de la masse  
myocytes

3- endocarde

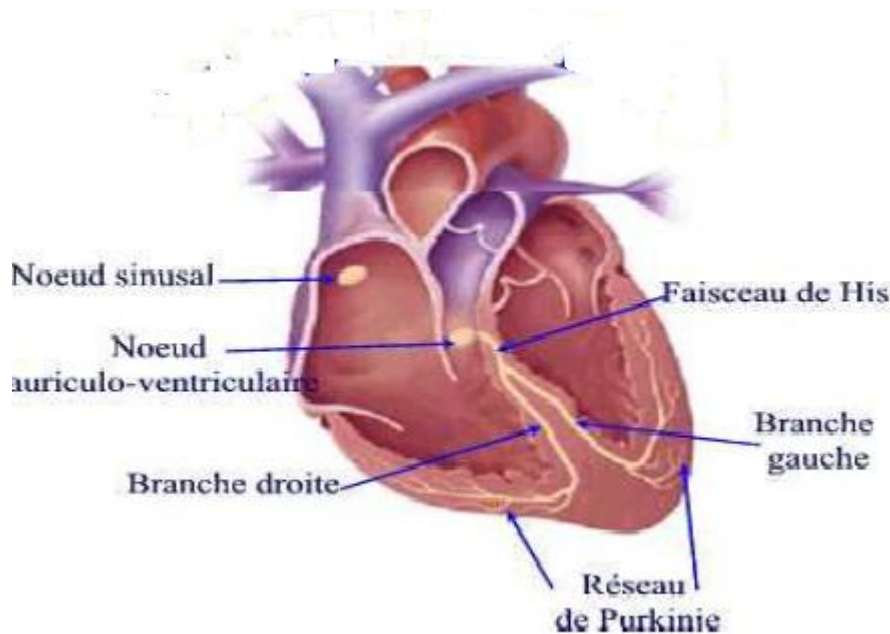
parfaitement lisse pour  
diminuer la friction

**Figure 29 : Structure de la paroi cardiaque**

### IV.4 Tissu nodal

Est un tissu cardiaque intra pariétal qui donne naissance et conduit les impulsions électriques engendrant la contraction myocardique. Il est constitué du nœud sino-auriculaire dit de Keith et Flack localisé dans la paroi de l'oreillette droite au niveau de l'abouchement de la veine cave supérieure. Celui-ci est relié par 3 faisceaux de fibres cheminant dans la paroi de l'oreillette droite au nœud auriculoventriculaire dit d'Aschoff-Tawara à la jonction oreillette et ventricule droits, proche de la valve septale tricuspide et de l'abouchement du sinus coronaire. De ce nœud

naît le tronc du faisceau de His qui se subdivise en 2 branches droite et gauche destinées respectivement et par l'intermédiaire du réseau de Purkinje à la contraction myocardique des ventricules droits et gauches (figure 30).



**Figure 30 : Tissus nodal**

#### IV.5 Vascularisation myocardique :

**-Réseau coronaire** La circulation coronaire correspond aux circulations artérielles et veineuse systémiques propre au cœur.

**-Réseau coronaire artériel** La circulation artérielle est assurée par les artères coronaires au nombre de deux : l'artère coronaire gauche et l'artère coronaire droite.

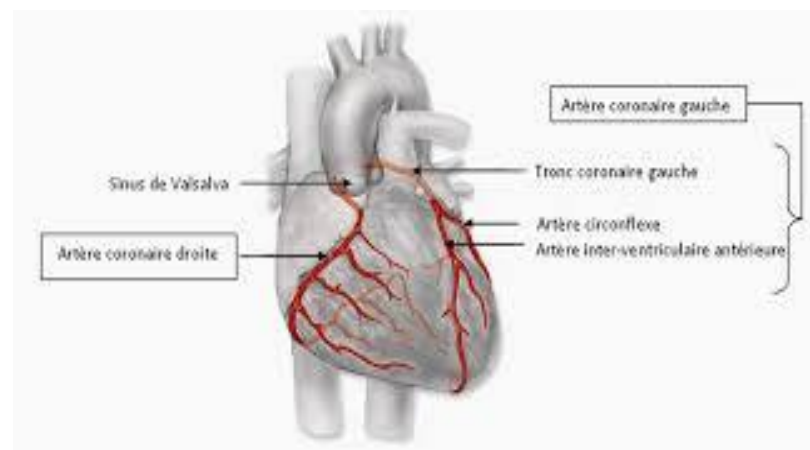
• **L'artère coronaire gauche** est constituée d'un segment initial appelé tronc coronaire gauche ou tronc commun qui naît du sinus de Valsalva gauche, passe derrière le tronc de l'artère pulmonaire avant de se diviser en deux branches : l'artère interventriculaire antérieure et l'artère circonflexe. **-L'artère inter-ventriculaire antérieure**, descend dans le



sillon inter-ventriculaire, contourne le bord droit du cœur près de la pointe et se termine dans la partie inférieure du sillon inter-ventriculaire. Elle donne des branches diagonales destinées à la paroi antérieure du ventricule gauche, des branches perforantes (branches septales) pour le septum inter-ventriculaire et des branches pour le ventricule droit.

**-L'artère circonflexe**, chemine dans le sillon auriculo-ventriculaire gauche jusqu'à la face inférieure du ventricule gauche en général sans atteindre la croix des sillons. Ses principales branches dites latérales (ou marginales) sont destinées à la paroi postéro-latérale du ventricule gauche.

• **L'artère coronaire droite** naît du sinus de Valsalva droit, chemine dans la partie droite du sillon auriculo-ventriculaire, contourne le bord latéral du ventricule droit jusqu'à la croix des sillons où elle bifurque dans la portion postérieure et inférieure du sillon inter-ventriculaire. Elle vascularise les parties inférieures du septum interventriculaire, des ventricules et l'essentiel du tissu nodal.



**Figure 31 : Artères coronaires**

#### **IV.6 Le réseau coronaire veineux Il est constitué :**

- D'une grande **veine cardiaque** qui naît à la base du cœur, longe l'artère interventriculaire antérieure par la gauche et s'engage dans le sillon auriculoventriculaire pour devenir satellite de l'artère circonflexe avant de se terminer dans le sinus veineux coronaire qui se jette à la face postérieure de l'oreillette droite.
- D'une petite **veine cardiaque** qui chemine dans le sillon auriculoventriculaire droit avant de se jeter dans le sinus coronaire
- D'une **veine moyenne cardiaque**: sillon interventriculaire
- D'autres petites **veines accessoires** qui se drainent directement dans les cavités.

#### **IV.7 Physiologie cardiovasculaire**

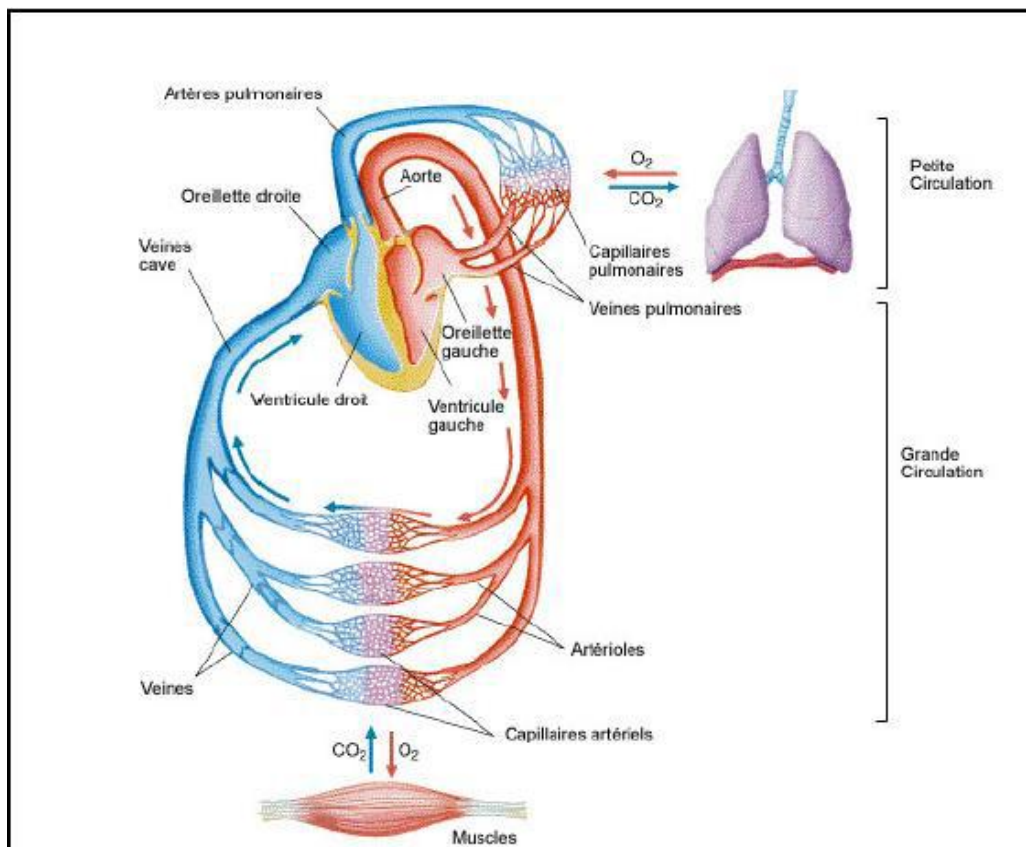
L'appareil cardio-vasculaire assure la circulation du sang pour véhiculer oxygène et nutriments vers les cellules et en évacuer les déchets permettant le maintien du métabolisme général.

##### **IV.7.1 Physiologie générale**

Schématiquement, l'appareil cardio-vasculaire se compose d'une pompe à fonctionnement alternatif (le cœur), d'un réseau de distribution à haute pression (les artères) se terminant par des résistances variables (les artérioles), d'un circuit de petits vaisseaux au niveau desquels s'effectuent les échanges (les capillaires), et d'un circuit de retour à basse pression vers le cœur (les veines).

Le cœur comporte deux pompes propulsives fonctionnant parallèlement : le « cœur gauche » assurant la circulation systémique et le « cœur droit » assurant la circulation pulmonaire. Chacun comporte un atrium (ou oreillette) qui collecte le sang et un ventricule qui l'expulse vers l'artère

pulmonaire en direction des poumons pour le ventricule droit et vers l'aorte en direction des autres organes pour le ventricule gauche. La circulation systémique alimente ainsi en parallèle les différents organes par les branches de division de l'aorte. Le sang issu de ces organes, pauvre en oxygène et riche en déchets est collecté par les veines caves inférieur et supérieur pour être ramené à l'atrium droit. La vascularisation du myocarde est assurée par les artères coronaires et le sinus coronaire qui s'abouche directement dans l'atrium droit. Les poumons reçoivent par l'artère pulmonaire, du sang veineux (à faible teneur d'oxygène) mais ils reçoivent en outre du sang artériel par les artères bronchiques



(constituant la vascularisation systémique pulmonaire) qui se drainent dans l'atrium gauche, mêlant ainsi un peu de sang veineux au sang artériel ramené à l'atrium gauche par les veines pulmonaires (figure 32).

## **Figure 32 : La circulation pulmonaire et la circulation systémique**

### **IV.8 Le cycle cardiaque**

Alternance de contractions et de relaxations : pompe propulsant le sang. Le cycle cardiaque est le patron de répétitions des contractions et des relaxations (figure 33).

Deux phases principales : diastole et systole. Le sang circule d'un système à haute pression vers un système à basse pression.

Phase 1: Diastole générale – Écoulement passif du sang des oreillettes vers ventricules.

Phase 2 : Systole auriculaire – Contraction des oreillettes et remplissage actif des ventricules

Phase 3 : Diastole auriculaire – relâchement des oreillettes.

Phase 4 : Systole ventriculaire – Contraction des ventricules et écoulement passif de sang dans les oreillettes. Ejection du sang dans l'aorte

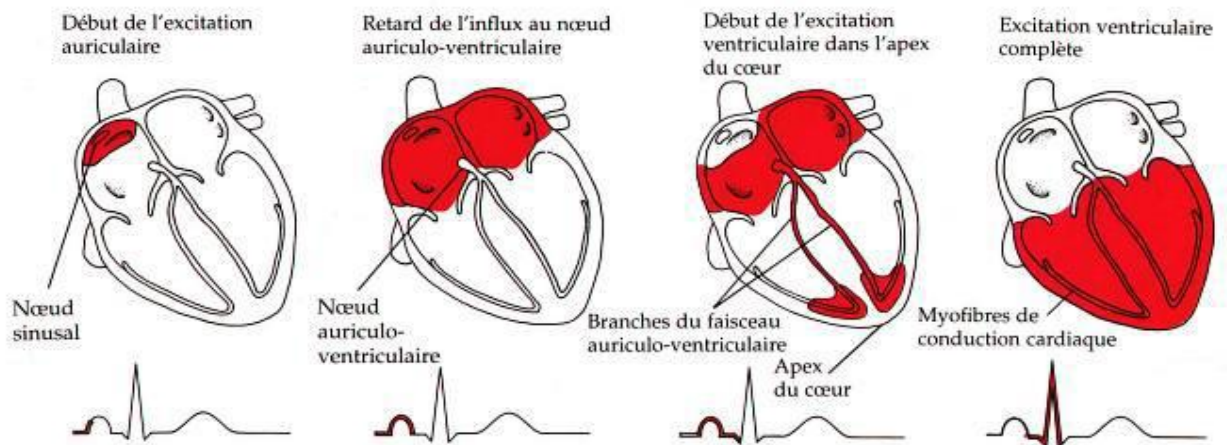
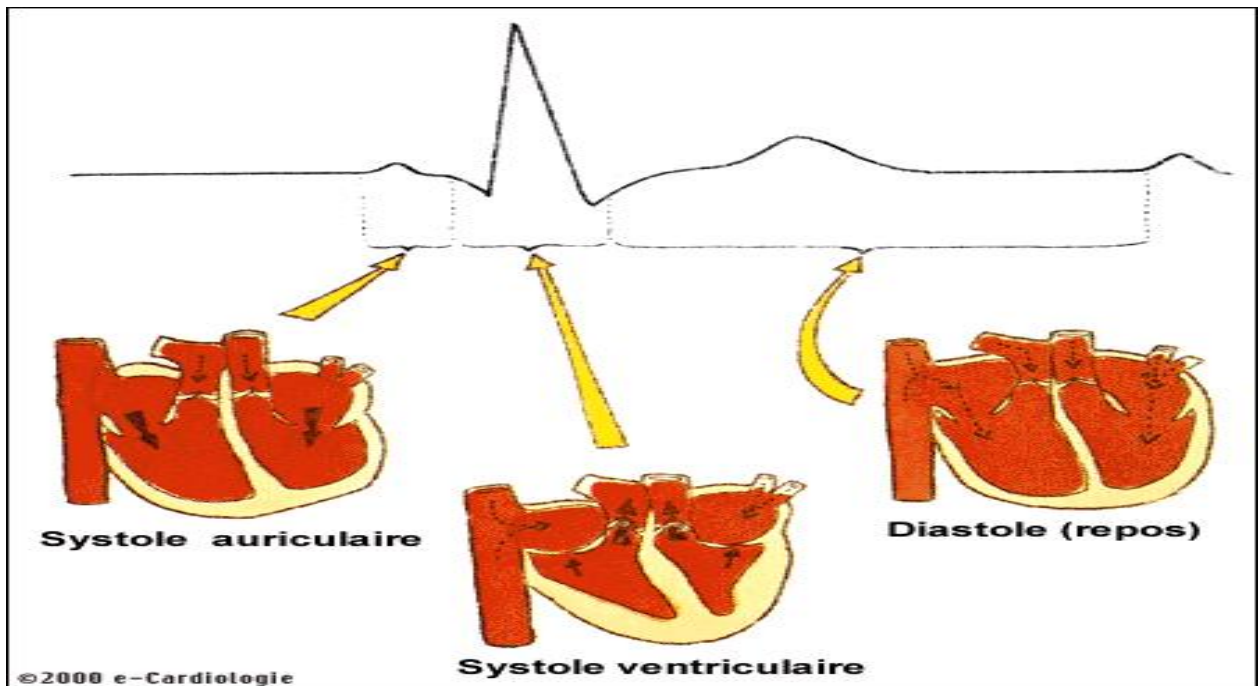
Phase 5 : Diastole ventriculaire : relâchement des ventricules.

Pour fonctionner comme une pompe, le coeur répète successivement deux phases :

Dépolarisation des cellules qui provoque la systole : phase de contraction.

Repolarisation des cellules qui provoque la diastole phase de relâchement qui permet le remplissage des oreillettes et des ventricules.

Un cycle cardiaque comprend donc une alternance de phénomènes électriques et mécaniques.



**Figure 33 : Le cycle cardiaque**

#### IV.8.1 Phénomènes régulateurs

Le muscle cardiaque est doué d'un fonctionnement automatique, mais non complètement autonome. Le cœur doit en effet s'adapter aux besoins de l'organisme (travail musculaire) ou subir certains contre coups (tachycardie de la peur ou de l'émotion).

#### **IV.8.1.1 Régulation intrinsèque**

Les fibres cardiaques ont une capacité d'adaptation leur permettant une augmentation de puissance de contraction d'un muscle. Lors d'un travail la dilatation permet d'allonger ses fibres.

#### **IV.8.1.2 Régulation extrinsèque**

Chez l'homme sain l'adaptation aux besoins de l'organisme est assurée par le système neurovégétatif, qui peut agir sur l'accélération de la fréquence cardiaque, l'adaptation instantanée du rythme respiratoire ...

Le système nerveux de contrôle du cœur est le système neurovégétatif, sympathique et parasympathique, qui comprend:

Des centres supérieurs, cardio-régulateurs.

Des nerfs moteurs, accélérateurs et modérateurs, qui transmettent directement à la pompe cardiaques les ordres des centres

#### **IV.9 Pression artérielle et système cardiaque**

Il existe une étroite relation hydraulique entre débit cardiaque, donc rythme cardiaque, et pression artérielle. Les centres cardio-régulateurs sont directement reliés à des indicateurs de pression artérielle ou barorécepteurs situés d'une part au niveau de la crosse de l'aorte, d'autre part au niveau de la bifurcation de la carotide.

Une baisse de la pression artérielle détectée par les barorécepteurs de ces détecteurs, entraîne immédiatement une accélération du rythme cardiaque par suppression du tonus vagal ralentisseur. Une élévation de pression artérielle entraîne inversement un ralentissement cardiaque.

**Volume d'éjection systolique (VES) :** Volume de sang éjecté du cœur par les ventricules à chaque contraction (100 ml).

**Volume télé diastolique (VTD)** : Volume de sang contenu dans les ventricules juste avant la systole ventriculaire (160 ml) = volume pré charge.

**Volume télé systolique (VTS)** : Volume de sang contenu dans les ventricules à la fin de chaque systole (60 ml)= volume post charge.

$$\text{VES} = \text{VTD} - \text{VTS}$$

#### **IV.10 Fréquence cardiaque (Fc)**

Est le nombre de contractions ventriculaires par seconde, est exprimée en battements par minute bats/min (moyenne = 60 - 70 bats/min).

Fc max = variable suivant les individus, elle diminue progressivement avec l'âge et avec l'entraînement.

Débit cardiaque (Qc) = volume de sang expulsé par chaque ventricule par unité de temps. Exprimé en litre par minute.

$$Qc = \text{VES} \times Fc$$

Qc moyen = 5 l/ min. Varie en fonction des besoins de l'organisme

# **Chapitre 5**

## **Appareil respiratoire**



## V. Appareil respiratoire

### V.1 Introduction

La respiration est l'ensemble des phénomènes qui permettent l'absorption de l'oxygène et le rejet du gaz carbonique par les organismes vivants. Seuls les êtres unicellulaires peuvent respirer directement dans le milieu où ils vivent. Tous les êtres supérieurs sont dotés d'un ensemble d'organes (appareil respiratoire) permettant le prélèvement de l'oxygène de l'air et son transport vers les tissus, et l'évacuation du gaz carbonique des tissus vers l'extérieur par l'intermédiaire du sang.

L'appareil respiratoire est l'ensemble des organes destinés à mettre en présence l'air atmosphérique et le sang provenant, par l'intermédiaire du cœur droit, de toutes les veines de l'organisme. Ce sang exhale de l'acide carbonique et absorbe de l'oxygène et ce faisant, se transforme en sang artériel (figure34).

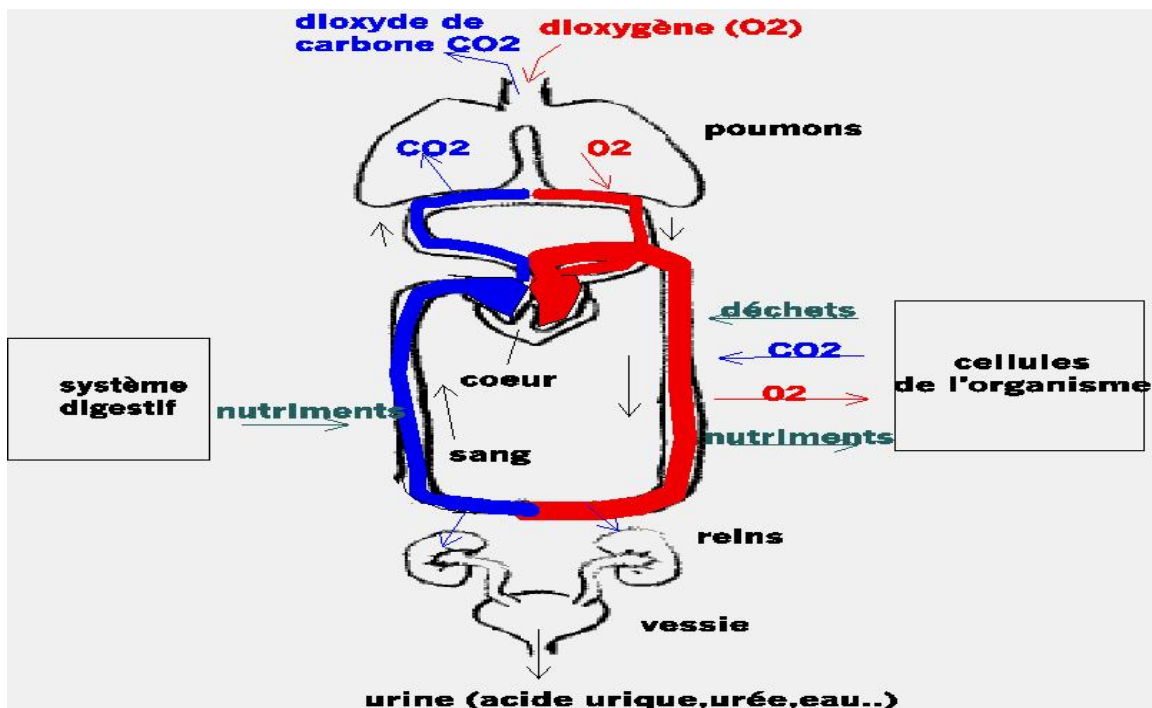


Figure 34 : Le concept du système respiratoire

La respiration a un rôle essentiel. Sa fonction principale est de :

Apporté de l'oxygène : O<sub>2</sub> aux cellules de l'organisme.

Débarrasser l'organisme des déchets : CO<sub>2</sub> (gaz carbonique en excès).

Maintenir à un niveau normal les paramètres sanguins (mesure par les gazes du sang : p<sub>a</sub>O<sub>2</sub>, p<sub>a</sub>CO<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub> et pH)

Quelles soient les demandes de l'organisme : repos, sommeil, effort de la vie courante, marche, montée d'escalier, effort intense de type sportif.

Le transport de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub> dépendent de 4 processus distincts :

La ventilation pulmonaire (mouvement des gazes dans et hors des poumons)

La diffusion alvéolo-capillaire

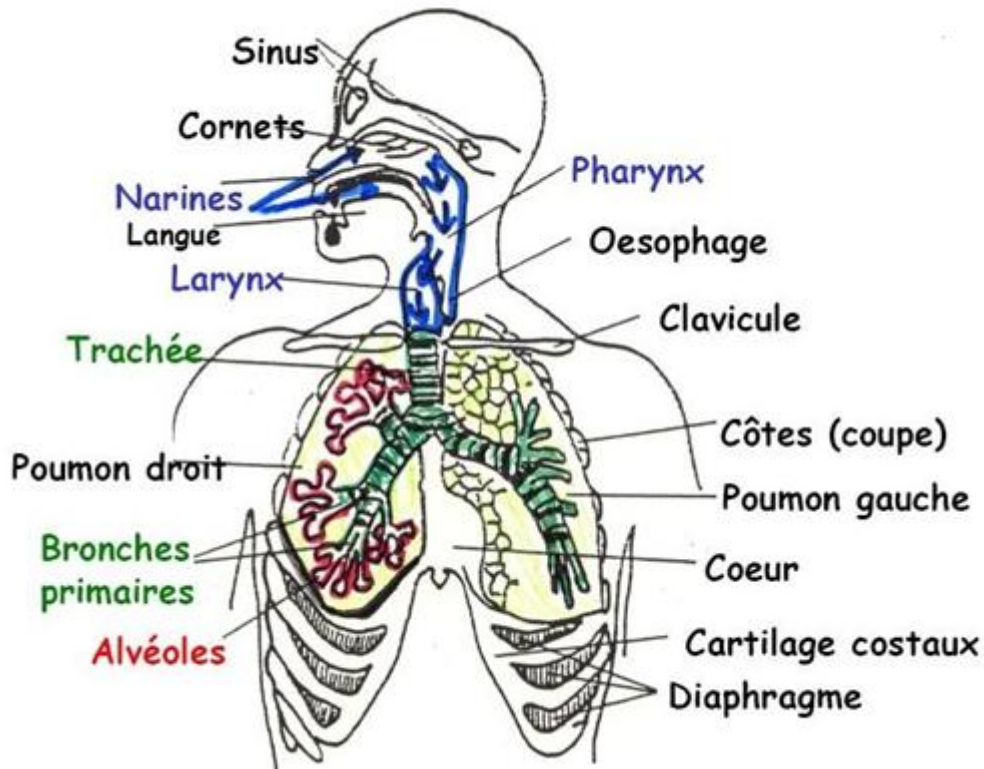
Le transport de l'O<sub>2</sub> et du CO<sub>2</sub> par le sang

Le passage des gaz des capillaires vers les tissus (respiration cellulaire)

## **V.2 Structure du système respiratoire.**

Le système respiratoire est composé 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 35 : Structure du système respiratoire**

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.

### **V.3 Les poumons.**

Le poumon droit présente 3 lobes séparés par 2 scissures.

Le poumon gauche présente 2 lobes séparés par une scissure.

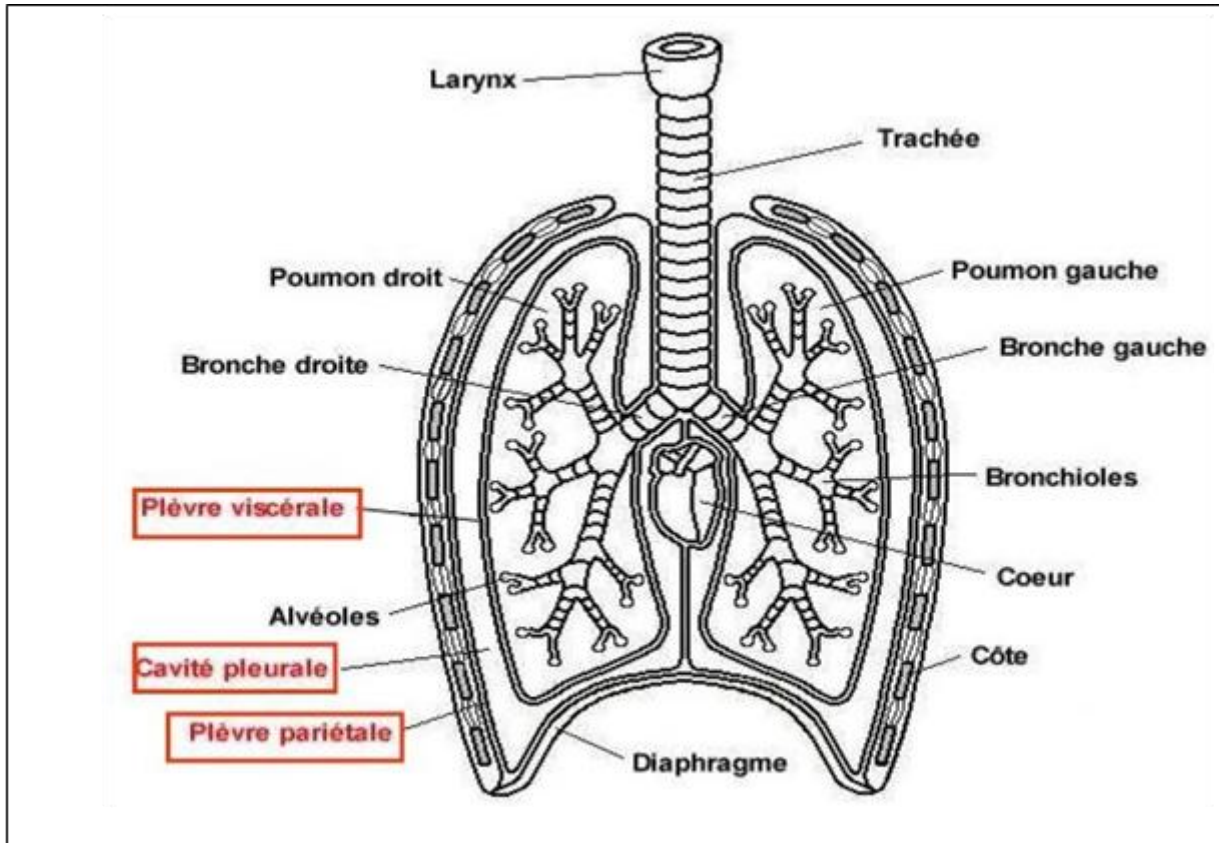
Les poumons sont entourés par une séreuse qui le protège. Cette séreuse est appelée la plèvre (figure 36). Elle est constituée de deux feuillets :

Un feuillet pariétal (qui enveloppe la cavité thoracique).

Un feuillet viscéral (qui enveloppe le poumon) (figure36)

Entre ces deux feuillets, 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.

Dans la cavité pleurale règne une pression négative ( $< P_{atm}$ )



**Figure 36 : Structure des poumons**

Il y a deux systèmes circulatoires :

Un système nutritif pulmonaire

Un système fonctionnel : participe à l'oxygénation du sang et l'évacuation du CO<sub>2</sub>.

### V.3.1 Rôle de la plèvre.

La plèvre permet :

Le glissement des 2 feuillets pleuraux grâce au liquide pleural.

De maintenir la pression négative ( $<P_{atm}$ ) dans le poumon de sorte que les alvéoles et les bronches restent ouvertes.

Participe à la défense des poumons contre l'inflammation et les infections.

## V.4 Les zones fonctionnelles.

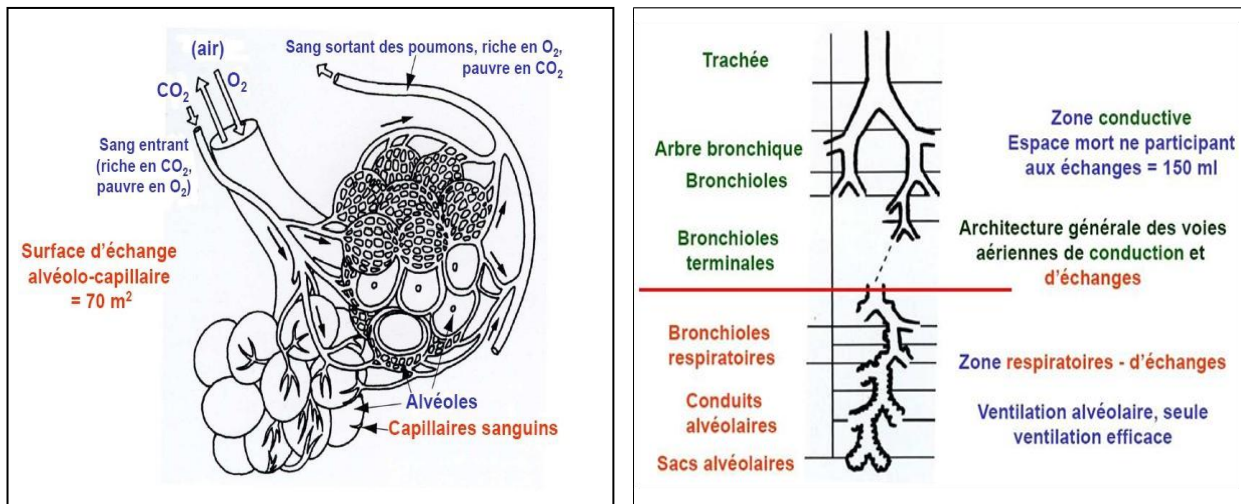
Il y a 2 zones fonctionnelles :

### V.4.1 Une zone conductrice

Qui sert de passage de l'air mais surtout de filtre pour l'air inspiré : inclus la bouche, le nez, la trachée, les bronches et les bronchioles (figure 37)

### V.4.2 Une zone respiratoire

Qui permet les échanges gazeux grâce à 300 millions d'alvéoles : inclus les bronchioles, les conduits alvéolaires et les sacs alvéolaires (figure 37). Cette zone représente une grande surface d'échange pour la diffusion de l'air ( $70m^2$ ).



**Figure 37 : Les zones conductrice et respiratoire**

L'air qui va atteindre les poumons est réchauffé et saturé en vapeur d'eau. Ces deux phénomènes (réchauffement et humidification) permettent de maintenir la température corporelle.

A l'inspiration de repos on inhale en moyenne 500 ml d'air. Seulement 350 ml parviennent aux alvéoles. En effet, 150 ml ne participe pas aux échanges alvéolo-capillaires. On dit alors qu'il existe un espace mort (ou volume mort) qui ne participe pas aux échanges.

Au repos le débit ventilatoire se traduit par la formule suivante :

VE = débit ventilatoire de repos

VC = Volume courant (500 ml)

Fr = fréquence respiratoire (environ 12 à 16 cycles/min)

$$\dot{V}_E = V_C \times fr$$

Le débit ventilatoire au repos est environ de 6 à 8L.min<sup>-1</sup>.

Ce qui sert aux échanges et qui va donc apporter l'O<sub>2</sub>, ce n'est pas tout ce volume mais c'est ce que l'on appelle la ventilation alvéolaire.

La ventilation alvéolaire se calcule suivant la formule suivante :

VA = Ventilation alvéolaire

VC = Volume courant (500 ml) ou volume tidal

VD = Volume mort (150 ml)

Fr = Fréquence respiratoire (environ 12 à 16 cycles)

$$\dot{V}_A = (V_C - V_D) \times fr$$

La ventilation alvéolaire est la seule qui est efficace dans les échanges alvéolo-capillaires.

Le volume courant (il est parfois appelé **volume tidal : VT**) représente l'amplitude de respiration.

La fréquence respiratoire représente la rapidité de respiration.

A l'exercice c'est la même chose. Lors de l'effort il est alors préférable d'adopter une respiration ample et lente pour avoir un apport d'oxygène plus important que si l'on respire rapidement, de manière superficielle. En effet le volume mort (ou espace mort) étant constant, si l'on augmente le volume courant c'est la ventilation alvéolaire qui va beaucoup augmenter et qui va donc permettre un apport efficace (puisque c'est la ventilation alvéolaire qui est la seule efficace dans les échanges alvéolo-capillaires).

Il faut donc augmenter l'amplitude des mouvements respiratoires et non la fréquence respiratoire pour augmenter l'efficacité de la ventilation alvéolaire.

### **V.5 La mécanique ventilatoire.**

La ventilation est un phénomène périodique qui consiste en une succession de mouvements d'inspiration au cours desquels un volume d'air est inspiré et de phénomènes d'expiration au cours desquels un certain volume d'air est rejeté ou expiré. Ce sont donc des processus qui président à l'entrée et à la sortie d'air des poumons.

Les courants gazeux s'établissent toujours d'une zone de haute pression vers une zone de basse pression. Toute variation de volume entraîne une variation de pression. Le produit :  $P \times V = \text{constante}$ .

Le volume d'un gaz est donc inversement proportionnel à la pression qu'il subit.

### V.5.1 L'inspiration : un phénomène actif.

L'inspiration est un phénomène actif au cours duquel le volume thoracique augmente. En revanche la pression alvéolaire (ou la pression des poumons) diminue. Cette pression devient alors inférieure à la pression atmosphérique. Ce phénomène va donc permettre l'entrée de l'air (environ 21% d'oxygène, 78% d'azote et une toute petite partie de CO<sub>2</sub>) de la bouche vers les alvéoles. On dit que ce phénomène agit selon un gradient de pression (c'est-à-dire par différence entre les pressions à l'intérieur et à l'extérieur du poumon).

L'augmentation du volume pulmonaire se produit par la contraction des muscles inspiratoires. Ces muscles augmentent la dimension de la cage thoracique dans toutes les directions (augmentation du diamètre dans le sens vertical, dans le sens transversale et dans le sens antéro-postérieur).

Le muscle principal de l'inspiration est le diaphragme. Lors de l'inspiration il va s'abaisser et pousser le volume de la cage thoracique vers le bas. C'est un muscle plat, dit rayonné et qui s'étend entre le thorax et l'abdomen. Il possède trois faisceaux :

Un faisceau costal : dont les fibres prennent leur origine de la 7<sup>ème</sup> à la 12<sup>ème</sup> côte.

Un faisceau vertébral : qui prend son origine sur les vertèbres lombaires.

Un faisceau sternal : qui prend son origine au niveau de l'apophyse xiphoïde.

Ce muscle est percé par des orifices qui laissent passer des vaisseaux dont l'aorte et la veine cave et laisse passer l'œsophage. Ce muscle est donc inspireur principal.



Les intercostaux externes : ce sont des muscles situés entre les côtes. Ils sont donc responsables de l'élévation des côtes vers l'extérieur et de l'élévation de sternum vers l'avant.

Au cours de **l'inspiration forcée**, trois autres muscles sont sollicités :

Le petit pectoral : qui prend son origine sur les 3ème, 4ème et 5ème côtes et se termine sur l'apophyse coracoïde de l'ulna.

Le sterno-cléido-mastoïdien : se muscle prend son origine au niveau de la ligne occipitale et du mastoïdien et se termine au niveau du sternum et sur la partie médiale de la clavicule.

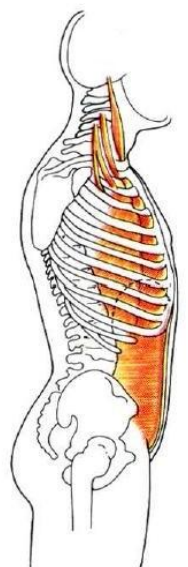
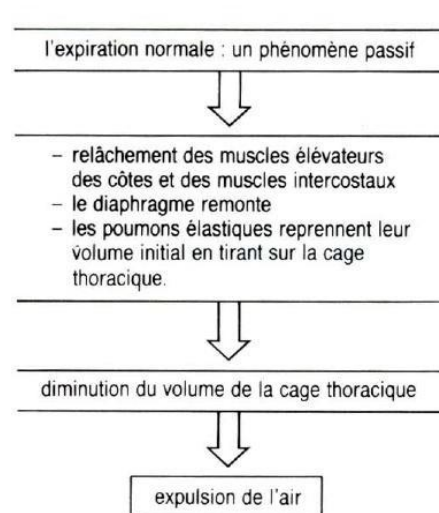
Les scalènes : au nombre de trois. Ils sont tendus des vertèbres cervicales aux deux premières côtes.

- Le scalène antérieur : prend son origine au niveau de C3 à C6 et se termine sur la première côte.
- Le scalène moyen : prend son origine de C2 à C7 et se termine en arrière du précédent.
- Le scalène postérieur : prend son origine de C4 à C6 et se termine sur la deuxième côte.

### V.5.2 L'expiration : un phénomène passif.

L'expiration est un phénomène passif qui résulte de la relaxation des muscles inspiratoires et du retour élastique du tissu pulmonaire. Etiré lors de l'inspiration, le poumon revient ensuite à sa position de base.

A l'expiration de repos on observe donc, grâce au relâchement des muscles inspiratoires, une diminution du volume à l'intérieur du



poumon et donc une augmentation de la pression alvéolaire. Cela entraîne une diminution du diamètre des poumons et des bronches.

La pression intra alvéolaire va devenir supérieure à la pression atmosphérique. Cela va donc entraîner la sortie de l'air des poumons vers l'extérieur par gradient de pression.

**L'expiration forcée** est un phénomène actif. Elle met en jeu des muscles de la paroi abdominale notamment le grand droit de l'abdomen et les obliques internes (abdominaux). Lorsque ces muscles se contractent, ils poussent le diaphragme vers le haut alors que les côtes sont poussées vers l'intérieur et vers le bas. Cela va donc augmenter la pression intra-pulmonaire et diminuer le volume.

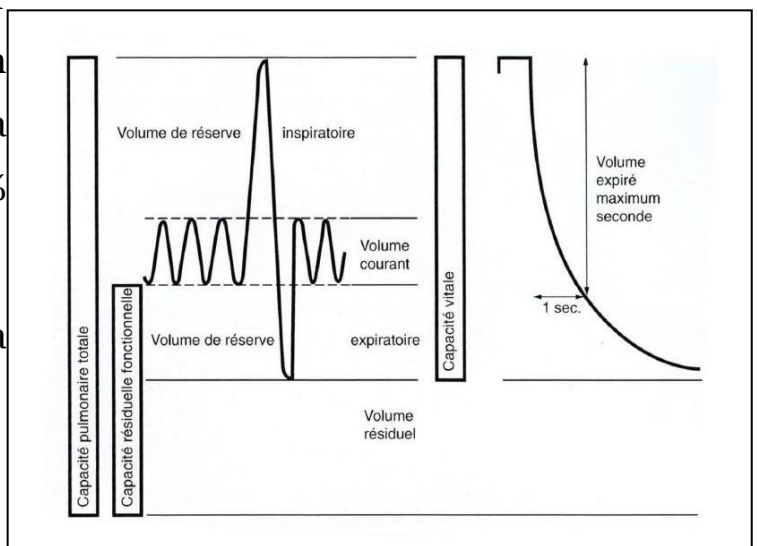
## V.6 Les volumes respiratoires.

Les Volumes respiratoires (inspiration et expiration) peuvent être mesurés au repos grâce à ce que l'on appelle l'exploration fonctionnelle respiratoire (EFR). L'EFR se fait par spirométrie (mesure des volumes).

On peut aussi définir ce que l'on appelle des volumes dynamiques. Parmi les volumes dynamiques on mesure en général le volume expiré maximal par seconde (VEMS).

Ce volume a peu d'intérêt tout seul. Il est rapporté à la capacité vitale et le rapport  $VEMS / CV$  (capacité vitale) représente l'indice de TIFFENEAU. Cet indice chez tous les sujets qui ont des poumons en bon état avec les bronches ouvertes doit représenter 80% (ca veut dire qu'à l'expiration on doit être capable d'expirer à la première seconde d'expiration 80% de notre capacité vitale).

La capacité vitale représente la



somme de trois volumes :

- le volume de repos appelé volume courant ou volume tidal.
- Le volume de réserve inspiratoire (VRI)
- Le volume de réserve expiratoire (VRE) (figure38).

**Figure 38 : La capacité**

**vitale**

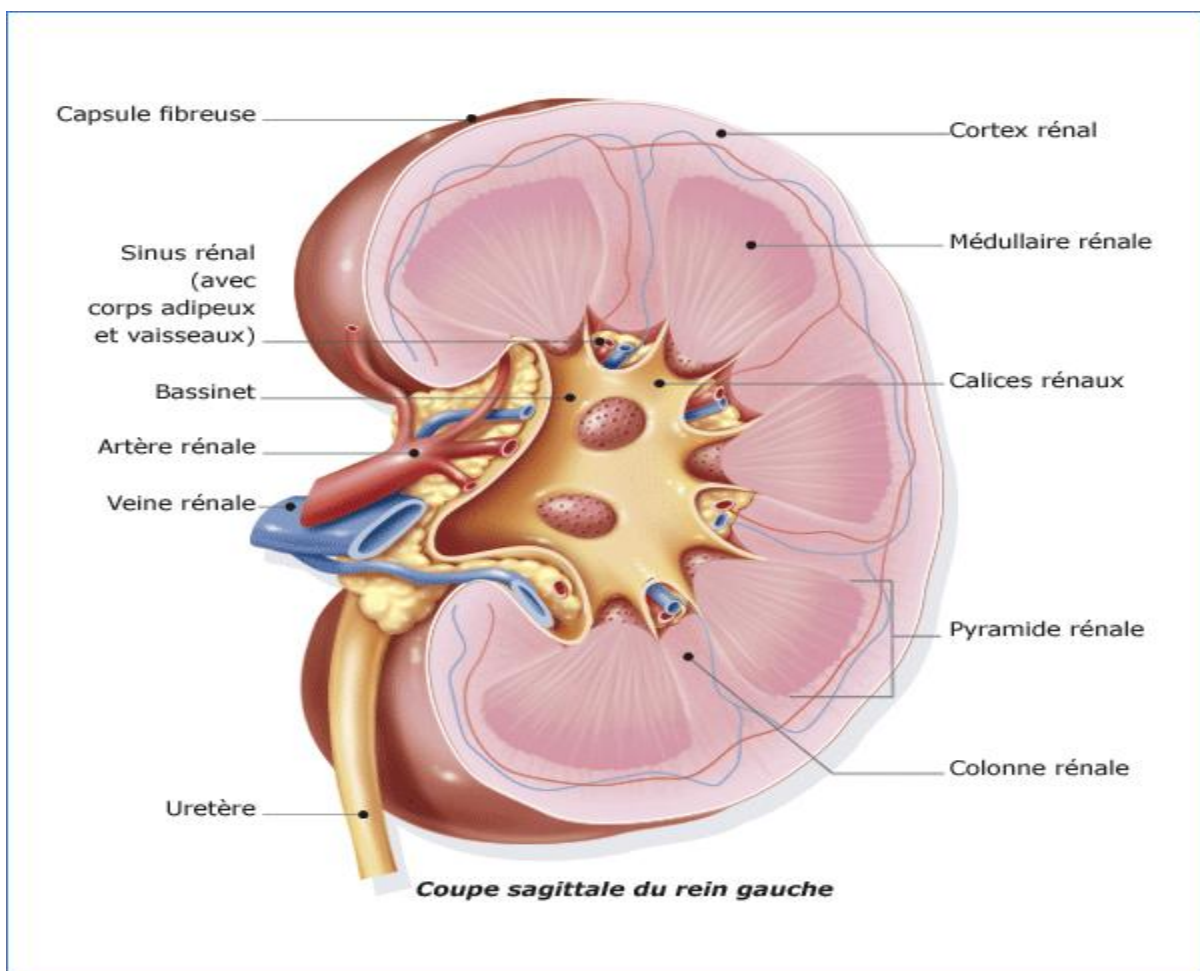
# **Chapitre VI**

## **L'appareil urinaire**

## VI. Anatomie de l'appareil urinaire

### VI.1 Le Rein

Organe rétropéritonéal (en arrière de la cavité péritonéale), c'est un organe vital. Le rein droit se situe en arrière du foie, le rein gauche en arrière du pôle inférieur de la rate et de la queue du pancréas. Le rein mesure 12 cm de hauteur sur 6 cm de largeur. Il a la forme d'haricot (figure 39). La glande surrénale repose sur le pôle supérieur du rein.



**Figure 39 : Coupe sagittale du rein**

## **VI.2 Les voies urinaires**

### **VI.2.1 L'uretère**

En anatomie humaine, les uretères sont les deux conduits qui transportent l'urine des bassinets vers la vessie. Les uretères sont des tubes musculaires qui poussent l'urine par des mouvements péristaltiques. Chez l'adulte, ils mesurent habituellement de 25 à 35 cm de long.

### **VI.2.2 La vessie**

La vessie est un organe musculaire pelvien creux de la forme d'une pyramide dont l'apex est étiré vers le haut et l'avant. Le remplissage maximal habituel de la vessie est d'une capacité physiologique de 300 à 600 ml chez l'adulte. Au-delà, son remplissage est pathologique et la vessie peut acquérir une forme de globe, d'où le nom de globe vésical (elle peut contenir plus d'un litre avant rupture). De manière physiologique, la contenance de la vessie est en moyenne plus élevée chez les femmes (350-600 cm<sup>3</sup>) que chez les hommes (250-500 cm<sup>3</sup>). La sensation de besoin se fait ressentir à partir d'environ 300 ml.

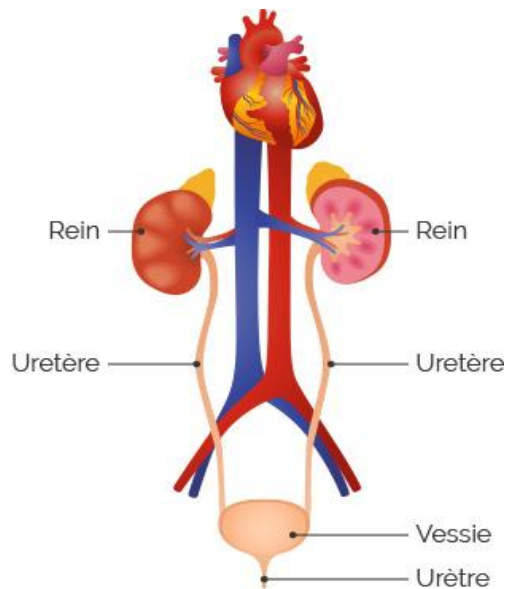
Chez l'homme, elle est en rapport caudalement avec la prostate, et dorsalement avec le rectum et les vésicules séminales. Chez la femme, elle possède des rapports postérieurs avec le vagin et craniaux avec l'utérus.

### **VI.2.3 L'urètre**

En anatomie, l'urètre est le canal de sortie de la vessie. Il a une fonction excrétrice dans les deux sexes (sortie de l'urine) et de plus chez l'homme une fonction reproductrice (passage du sperme).

Chez la femme, l'urètre est très court (environ 3,5 cm), pour un diamètre de 6 mm environ, et débouche sur la vulve entre le clitoris et l'ouverture du vagin par le méat urinaire.

Chez l'homme, l'urètre mesure environ 15 cm et débouche à la fin du pénis. Il est plus long que chez la femme, et il est composé de plusieurs parties ayant chacune une fonction. En raison de cette différence de taille, les femmes sont plus sujettes aux infections urinaires basses (cystites) (figure 40).



**Figure 40 : Voies urinaires**

### VI.3 Néphrons

Le néphron est l'unité structurale et fonctionnelle du rein (figure 41). Il permet la formation d'urine.

Le néphron est globalement constitué de deux structures :

Un corpuscule rénal.

Un système tubulaire.

Le corpuscule rénal est la portion initiale du néphron, de forme sphérique, où s'effectue le filtrage du plasma. Ce filtrage n'est pas sélectif quant à la nature des solutés présents dans le plasma, bien qu'il ne laisse pas passer les protéines et molécules dont le poids excède 3,6 kDa. Le liquide obtenu

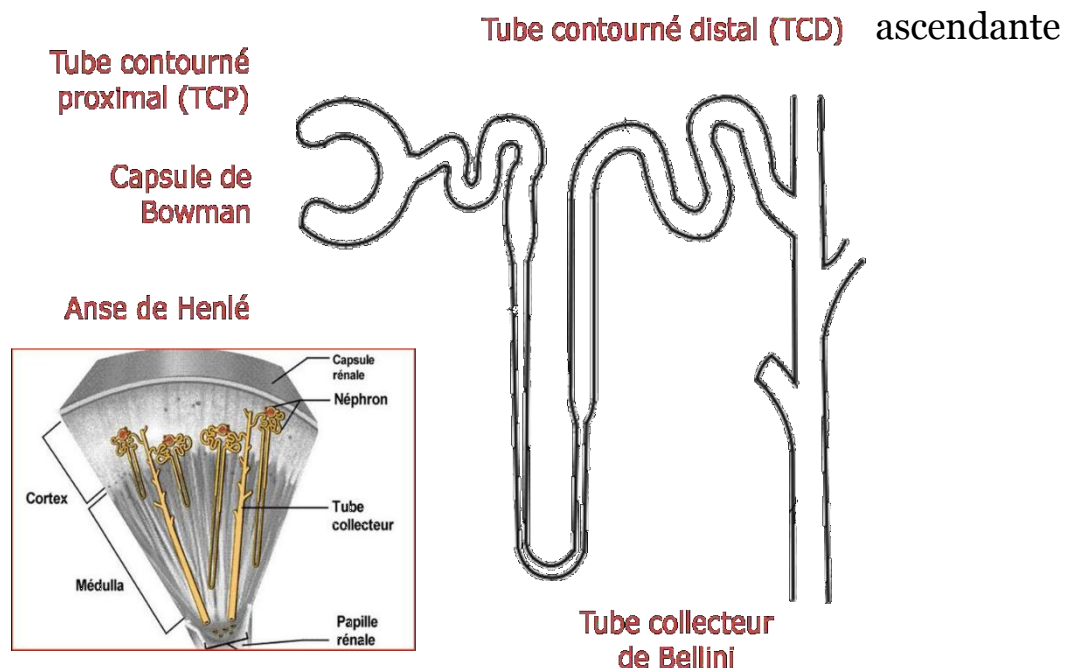
est l'ultrafiltrat (également appelé urine primitive), dont le contenu est conditionné à travers le système tubulaire avec lequel il est contigu.

Le corpuscule rénal est la réunion d'une composante vasculaire et d'une composante épithéliale : on a d'un côté le pôle vasculaire, qui contient un lit capillaire en forme de peloton à haute pression appelé le glomérule, et de l'autre côté, le pôle urinaire, ou passe l'ultrafiltrat, constitué de la capsule de Bowman. La capsule de Bowman est revêtue de deux feuillets épithéliaux séparés par un espace appelé la chambre urinaire, dans lequel passe l'ultrafiltrat, pour ensuite intégrer le système tubulaire.

Le système tubulaire consiste en une succession de tubules droits et contournés. Il est constitué de plusieurs parties :

Le tube contourné proximal.

Anse de Henlé, situé dans la médullaire, en forme de U, il forme une boucle et contient dès lors une partie descendante et une partie



**Figure 41 : L'unité fonctionnelle du rein (Néphron)**

Le tube contourné distal.



Le tube contourné distal se jette dans le tube collecteur. L'ensemble néphron et tube collecteur forment une unité appelé tube urinifère. Certains néphrons se jettent dans le système collecteur via un segment additionnel, le tubule connecteur.

Les corpuscules rénaux ne se situent que dans le cortex rénal, où ils sont responsables de son aspect granuleux.

### **VI.3.1 Les types de néphrons selon la localisation du corpuscule rénal**

Les néphrons superficiels/corticaux : Leur corpuscule rénal est situé dans la partie externe ou moyenne de cortex, ils sont qualifiés de "néphrons courts" car leurs anses de Henlé (partie du néphron situé dans la médullaire) sont courtes et n'atteignent pas la médullaire interne.

Les néphrons juxtamédullaire : Leur corpuscule rénal est situé près de la jonction cortico-médullaire, à proximité des artères arciformes. Ils sont qualifiés de "néphrons longs" car leurs anses de Henlé sont longues et atteignent la médullaire interne. Leur rôle physiologique est primordial car ils permettent de former une urine hypertonique et donc la réabsorption d'eau au niveau de leurs anses descendantes.

Les néphrons intermédiaires

### **VI.3.2 Le corpuscule rénal**

#### **VI.3.2.1 Structure**

De forme sphérique, il mesure entre 200 et 300  $\mu\text{m}$  et est formé des structures suivantes :

Le glomérule, boule de capillaires sanguins issus de l'artériole afférente. Le glomérule permet la filtration du sang et la formation de l'urine

primitive. Les capillaires se rassemblent ensuite pour former l'artériole efférente.

La capsule de Bowman, sac borgne formé de deux feuillets de cellules, entourant le glomérule, recueillant l'urine primitive et débouchant à son autre extrémité dans le tubule contourné proximal.

Le mésangium, tissu interstitiel composé de cellules dites mésangiales et d'une matrice intercellulaire. Les cellules mésangiales sont des fibroblastes spécialisés. Elles ont des propriétés contractiles, macrophagiques et peuvent synthétiser de la matrice extracellulaire et du collagène. Elles sécrètent en outre des prostaglandines, des endothélines et des cytokines. En se contractant, sous l'influence des endothélines, les cellules mésangiales contrôlent le flux sanguin dans les capillaires et influencent ainsi la filtration glomérulaire.

Les podocytes, cellules formant le feuillet interne de la capsule de Bowman. Elles entourent les cellules des capillaires glomérulaires, notamment grâce à des prolongements cytoplasmiques ou pieds. Le réseau dense formé par ces prolongements représente une structure importante du filtre glomérulaire.

### VI.3.3 La filtration glomérulaire

La fonction du glomérule est de filtrer le sang des capillaires glomérulaires et de former l'urine primitive, appelée également ultrafiltrat.

La barrière de filtration du glomérule est composée de trois couches :

L'endothélium fenestré des capillaires, pourvu de petits ports de 50 à 100 nms de diamètre, qui permet le passage de substances comme l'eau, le sodium, l'urée, le glucose et les petites protéines, mais empêche celui des éléments cellulaires du sang (leucocytes, érythrocytes, etc.) et des

macromolécules dont le poids moléculaire est égal ou supérieur à 68 000 Da.

La lame basale (d'une épaisseur de 240 à 340 nm), empêchant le passage des grosses protéines.

Les fentes de filtration (d'une épaisseur de 25 nm) formées par les podocytes et recouvertes d'un mince diaphragme de 4 nm d'épaisseur. Ces fentes empêchent le passage des petites protéines.

#### VI.3.4 Formation de l'urine primitive

La filtration du sang s'effectue au niveau des capillaires du glomérule. Cette filtration, passive, est due au gradient de pression qui existe entre la pression artérielle de l'artériole afférente et la pression, plus basse, du glomérule lui-même.

Le taux de filtration glomérulaire (volume d'urine primitive de l'ensemble des glomérules par unité de temps) est normalement de 100 à 120 ml/min. Chez l'adulte, environ 180 litres sont filtrés chaque jour, mais l'urine primaire est par la suite réabsorbée à 99 % dans les tubules, menant à une production finale d'urine d'environ 1,5 litres par jour.

- **Réabsorption tubulaire active** (Co-transport avec Na<sup>+</sup> au niveau du TCP + anse de Henlé) :

Certains ions (Na<sup>+</sup>, H<sup>+</sup>)

Glucose

Acides aminés

Acide lactique

Vitamines

Il existe un taux maximal de réabsorption lié au nombre de transporteurs disponibles (ex : glucose).

**- Réabsorption tubulaire passive**

Anions ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ).

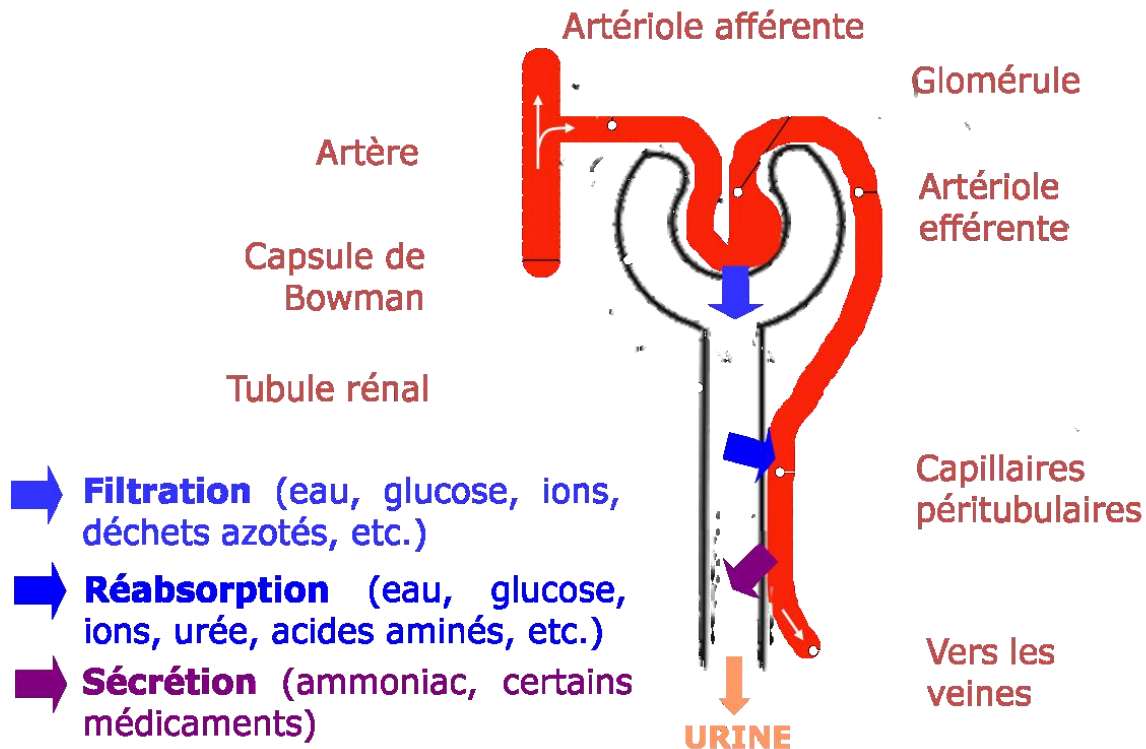
Eau (suit le  $\text{Na}^+$  par osmose = réabsorption obligatoire).

Les déchets sont éliminés dans les urines : créatinine, urée, potassium en excès, toxines, médicaments. La réabsorption de l'eau et du sodium permet la régulation de la pression artérielle.

Le fonctionnement des tubes est sous la dépendance d'hormones ayant un effet diurétique ou de rétention de l'eau, en fonction de la pression artérielle : aldostérone (surrénale), ADH (hypophyse), rénine (rein) (figure 42).

## FORMATION DE L'URINE

### Récapitulatif



**Figure42 : Formation d'urine**

### VI.3.5 Les tubules rénaux

Le système tubulaire est une succession de tubules qui conduisent l'urine du glomérule au tube collecteur. Le passage par les tubules rénaux permet notamment la réabsorption d'une grande partie de l'eau filtrée par le glomérule ainsi que la sécrétion et la réabsorption de certaines molécules. Le système tubulaire peut-être divisé en plusieurs parties. Cette division n'est pas arbitraire mais prend en compte les différences de structure histologique et de fonction des segments concernés.

#### VI.3.5.1 Tubule contourne proximal

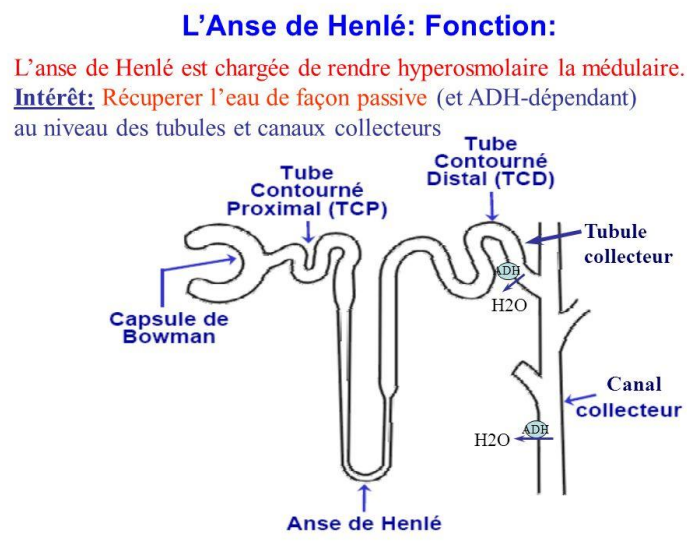
C'est le plus long segment du néphron. Il est situé uniquement dans la corticale rénale et mesure 12 à 14 mm. Avec 50 à 60  $\mu\text{m}$  de diamètre, il est aussi le plus large.

Il est bordé par un épithélium cubique unistratifié, dont le pôle apical comporte une bordure en brosse (microvillosités). Il présente également de nombreux replis baso-latéraux renfermant des mitochondries, responsable de l'éosinophilie du cytoplasme.

70 % de l'eau, du glucose, du sodium, du potassium et du chlore présents dans l'urine primaire sont réabsorbés à ce niveau.

### VI.3.5.2 Anse de Henlé

L'anse de Henlé est le segment droit du néphron qui permet de former une urine hypertonique. Il est présent majoritairement dans la médulla, mais une partie se situe dans le cortex, également droite, et forme avec le système collecteur les irradiations médullaires. L'anse de



**Figure 43 : Anse de Henlé**

Henlé a une forme de U qui part du tube contourné proximal dans le cortex, descend dans la médulla, fait une boucle et remonte vers le tube contourné distal présent dans le cortex. On distingue donc une partie descendante et une partie ascendante. Chacune de ces parties possède un segment épais et un segment étroit (grêle).

### **VI.3.5.3 Tubule intermédiaire**

Ceux des néphrons situés dans le cortex superficiel et moyen sont très courts, alors que ceux des néphrons juxtamédullaires (proches de la médullaire) sont longs. Leur épithélium est pavimenteux, c'est-à-dire très aplati avec un noyau ovalaire.

### **VI.3.5.4 Tubule droit distal**

D'un diamètre de 25 à 35  $\mu\text{m}$ , il débute dans la médullaire externe et remonte dans le cortex. Son épithélium, cubique simple, présente une quasi-absence de différenciation morphologique de son pôle apical, avec uniquement quelques microvillosités, courtes et irrégulières.

### **VI.3.5.5 Tubule contourne distal**

D'un diamètre de 40  $\mu\text{m}$ , il est entièrement situé dans la corticale rénale. Il est histologiquement identique au tubule droit distal. Dans sa partie initiale, la réabsorption de sodium se fait par cotransport sodium-chlore. Dans la deuxième partie, elle est réglée par l'aldostérone, et se fait donc par des canaux à sodium, en échange de potassium. Le tube distal est imperméable à l'eau. Il se jette dans le tube collecteur.

## **VI.4 La fonction exocrine du rein**

La formation de l'urine permet la régulation du milieu intérieur :

- ✓ Excrétion des déchets, des toxines.
- ✓ Assure la stabilité des concentrations des minéraux (sodium, potassium).
- ✓ Maintien des volumes des liquides, donc maintien de la pression artérielle.

La fonction exocrine est sous la dépendance d'hormones, notamment l'ADH (hypophyse), l'aldostérone (surrénale), la rénine.

## VI.5 La fonction endocrine du rein

Plusieurs hormones sont produites par le rein:

- ✓ L'érythropoïétine : stimule la production de globules rouges par la moelle osseuse.
- ✓ La vitamine D : le rein assure sa transformation en forme active. Elle est impliquée dans l'absorption du calcium et du phosphore.
- ✓ La rénine : hormone agissant sur la pression artérielle : vasoconstricteur, réabsorption du sodium par les tubes.

## VI.6 L'homéostasie

L'homéostasie est l'ensemble des mécanismes qui permettent la stabilité des paramètres physico-chimiques du milieu intérieur.

### VI.6.1 Régulation de la fonction rénale

Excrétion hydrique : réabsorption obligatoire de l'eau, représente environ 80% de l'eau réabsorbée. Surtout dans le tube contourné proximal (TCP), est une conséquence de la réabsorption par transport actif du Na<sup>+</sup> au niveau du TCP (presque tout le Na<sup>+</sup> est réabsorbé à ce niveau).

Réabsorption du Na<sup>+</sup>, le milieu autour du tubule devient hypertonique. L'eau suit par osmose.

Réabsorption facultative de l'eau, représente environ 20% de l'eau réabsorbée. Se fait au niveau du tube contourné distal (TCD) et du tube collecteur (surtout), sous le contrôle de l'hormone antidiurétique ou ADH (ou vasopressine) sécrétée par l'hypophyse

#### **ADH augmente la perméabilité à l'eau du tubule collecteur**

- ✓ ADH ↗ réabsorption urine moins abondante et plus concentrée.



✓ ADH ↘ réabsorption urine abondante et diluée.

## VI.6.2 Mécanisme de la réabsorption obligatoire de l'eau

### Excrétion minérale : l'appareil juxta-glomérulaire

Les cellules de l'appareil juxtaglomérulaire sont sensibles à 3 facteurs :

✓ Baisse du taux de Na<sup>+</sup> dans le TCD (signe d'une diminution du débit de filtration).

✓ Influx du système nerveux végétatif.

✓ Baisse de pression sanguine dans l'artéριοle afférente.

Les cellules juxta-glomérulaires réagissent à ces facteurs en sécrétant une hormone : la rénine (figures 44, 44).

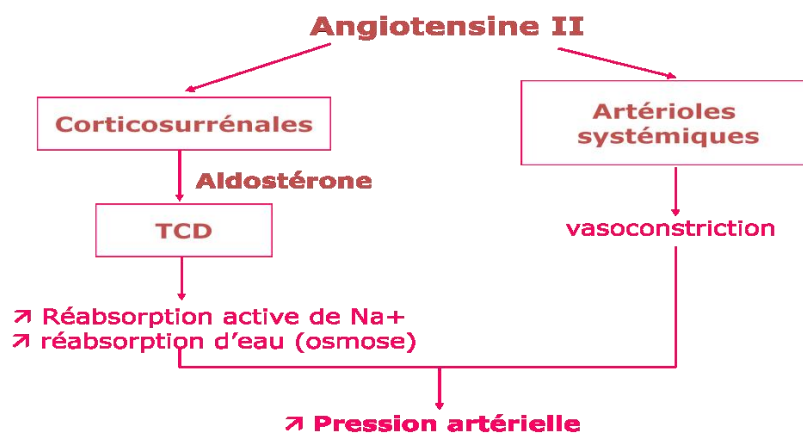
Au niveau plasmatique



Au niveau pulmonaire



Figure 44 : Mécanisme de l'excrétion minérale



## Figure 45 : Régulation de la fonction rénale

### VI.7 La Rénine

La rénine (également appelée angiotensinogénase) est une enzyme du système rénine-angiotensine-aldostérone.

La synthèse de la rénine par les cellules de l'appareil juxta-glomérulaire rénal s'effectue en réponse à :

- Une baisse de la pression de perfusion sanguine,
- A une hyperkaliémie,
- A une hyponatrémie.

La rénine est une protéine longue de 340 acides aminés et d'un poids moléculaire de 37 kDa.

La rénine est d'abord synthétisée sous forme de pro-rénine qui est libéré dans le plasma. Cette pro-rénine est clivée en rénine active au niveau de l'appareil juxta-glomérulaire rénal. Elle peut être également activée sans clivage par une liaison à un récepteur spécifique, entraînant un changement conformationnel. Ce récepteur permet l'activation de l'angiotensinogène mais a également d'autres rôles en induisant la production d'autres molécules (transforming growth factor (TGF)- $\beta$  et plasminogen activator inhibitor (PAI)-1) dont le rôle reste à déterminer.

Son rôle est de catalyser la transformation de l'angiotensinogène (protéine synthétisée par le foie) en angiotensine I qui donnera elle-même l'angiotensine II, peptide entraînant une augmentation de la volémie en jouant sur la sensation de soif, la sécrétion d'aldostérone, et le calibre des vaisseaux sanguins.

## VI.8 Cas pathologique

Le dysfonctionnement rénal peut provoquer ce qu'on appelle une **asphyxie** par œdème pulmonaire suite à une absence total des urines. Soit il y a encore des urines mais le néphron n'est pas fonctionnel alors les déchets ne sont plus éliminés tels que la créatinine et l'urée qui augmentent dans le sang ou encore un dérèglement des sels minéraux ce qui provoque un arrêt cardiaque par hyperkaliémie (augmentation de la concentration du potassium qui est toxique pour le cœur). Dans ce cas pathologique, le seule remède c'est de passer à la dialyse.



Les êtres humains, (*homo sapiens*) sont des organismes vivants. Comme pour tous les organismes vivants, les besoins physiques de base des êtres humains sont l'eau, pour assurer l'ensemble des processus métabolismes ; la nourriture, pour fournir de l'énergie : les matériaux de base pour construire la matière vivante, et des composés chimiques nécessaires aux réactions vitales : l'oxygène pour produire de l'énergie à partir des nutriments : la chaleur pour favoriser les réactions chimiques ; et la pression pour permettre la respiration.

Les niveaux d'organisation du corps humain sont, du plus simple au plus complexe : chimique, cellulaire, tissulaire, organique, systémique et enfin le niveau de l'organisme. Chaque niveau représente l'association d'unités du niveau inférieur. Les niveaux chimique et cellulaire sont les niveaux de base. Un tissu est un groupe de cellules semblables qui assurent la même fonction spécialisée.

L'anatomie et la physiologie sont les disciplines complémentaires de la biologie, la science qui étudie les organes vivants. L'anatomie humaine étudie la structure du corps et les relations entre les structures du corps. La physiologie humaine qui regroupe les milieux intérieurs, physiologie cardiaque, nerveuse, rénale et respiratoire s'intéresse au fonctionnement des différentes parties du corps. De manière générale, c'est la structure qui détermine la fonction.

## References

Al Obaidi AH. Role of airway lactoperoxidase in scavenging of hydrogen peroxide damage in asthma. *Ann Thorac Med.* 2007; 2(3):107-10.

Albert B. & al. *Biologie moléculaire de la cellule.* 3è éd. Médecine-Sciences Flammarion, Paris.1995.

Bakehe M. *Système Cardiovasculaire I.* 2013. Xlibris Corporation.

Baldini G, Bagry H, Aprikian A, Carli F. « Postoperative urinary retention: anesthetic and perioperative considerations » *Anesthesiology* 2009; 110(5):1139-57.

Bergman RA, Afifi AK, Heidger PM. *Histology.* Philadelphia.1996.

Bernard J. « l'hémostase », Ed. MASSON, coll. Abreges, 1983; 346 p.

Bestel J. *Modèle différentiel de la contraction musculaire contrôlée: Application au système cardio-vasculaire.* 2000. (Doctoral dissertation, Paris 9).

Buczinski S. *Examen échographique de l'appareil cardiovasculaire chez le bovin.* 2008. *Bull Soc Vét Prat de France*, 92(2).

Cabrol, R. Vialle, H. Guérin-Surville. *Anatomie du coeur humain* : 2003, 24 p.

Chantal Beauchamp. *Le sang et l'imaginaire médical : Histoire de la saignée aux XVIIIe et XIX siècles,* Desclée de Brouwer, coll. "Esculape", 2000.

Chapouthier, J.J. *Matras. Introduction au fonctionnement du système nerveux (codage et traitement de l'information),* Editions MEDSI, Paris, 1982.

Chung MK. and Rich MW. : *Introduction to the cardiovascular system*

Claude Jacquillat. *Le Sang,* PUF, coll. "Que sais-je?", 1989. Collège des enseignants de Cardiologie : *Référentiel national*

Collet. *Mouvement et Cerveau.* Edition De BOECK Université. 2002.

Conner GE, Salathe M, Forteza R. Lactoperoxidase and hydrogen peroxide metabolism in the airway. *Am J Respir Crit Care Med.* 2002; 15, 166 (12 Pt2):S57-1.

Curzio Malaparte. *Sang et autres nouvelles,* Editions du Rocher, 1989, GF, 2013.

Dadoune JP. Histologie. Médecine-Sciences Flammarion, Paris. 1990.

Dossier. Anatomie du cœur et des vaisseaux. HEGP paris, 9 pages.

David E Newby et Neil R Grubb, éditions Elsevier : Cardiologie

Dorne J., Walton K. and Renwick A.G. « Human variability in the renal elimination of foreign compounds and renal excretion-related uncertainty factors for risk assessment » Food and Chemical Toxicology. 2004; 42 (2): 275-298.

Elaine M, traduit par Jean-Pierre Artigau, France Bondreault, Annie Desbiens, Marie-Claude Désorcy. Anatomie et physiologie humaines, 1999, chapitre 23 « Le système respiratoire », pages 802-851.

Elaine N. Marieb. Anatomie et Physiologie. 8e Édition en français, page 732.  
Fawcett DW. Bloom and Fawcett. A textbook of histology. 12th ed.

Ferguson JJ. Antiplatelet et Therapy in Clinical Practice. London: Martin Dunitz, 2000: 15-35.

Fischer H. Mechanism and function of DUOX in epithelia of the lung. Antioxid Redox Signal. 2009;11(10):1-13.

Fohmann V. Mémoire sur les vaisseaux lymphatiques de la peau, des membranes muqueuses, séreuses, du tissu nerveux et musculaire. 1833, Desoer.

Franck N. Atlas d'anatomie humaine, Elsevier Masson, 2015, 624 p.

Frullani Y. Système urinaire et incontinence. Actualités Pharmaceutiques. 2014. 53(533), 18-20.

Gartner LP. Hiatt JL. Color textbook of histology. W.B. Saunders, Philadelphia.1997.

Haab F, Amarenco G, Coloby P, Grise P, Jacquetin B, Labat JJ, Richard F. Terminologie des troubles fonctionnels du bas appareil urinaire: adaptation française de la terminologie de l'International Continence Society. 2004. Prog Urol; 14(6):1103-1111.

Kohler C. Les cellules sanguines. Collège universitaire et hospitalier des histologistes, embryologistes cytologistes et cytogénéticiens. 2011.

Kühnel W. Atlas de Poche d'Histologie. 2ème édition française. Médecine-Sciences Flammarion, Paris. 1997.

Marieb EN. Anatomie et Physiologie humaines (6ème édition). Edition Pearson Education 2005.

Privat A, Mandon P, Drian MJ. Contribution de la microscopie électronique à balayage pour l'étude du tissu nerveux en culture organisée. *Experimental Cell Research*. 1972, 71(1): 232-235.

Raymond Gilles. Physiologie animale. SNV4/0072 (bib. FSNV)

Richalet JP. Altitude et système cardiovasculaire. *La Presse Médicale*. 2012; 41(6) : 638-643.

Roger Eckert. Physiologie animale: mécanismes et adaptations SNV4/0024 (bib. FSNV)

Richard, D. Orsal. Neurophysiologie, Motricité et grandes fonctions du système nerveux central (1994), Edition DUNOD.

Spicher CJ, Buchet (Desfoux) N, Sprumont P. Atlas des territoires cutanés du corps humain; Esthésiologie de 240 branches, préface

Stevens, J. Lowe. Traduction française par H. Chopin, A. Coolet, P. Validire : Histologie, Edition Pradel, 1993.

Sielecki, K Hayakawa, M Fujinaga, ME Murphy, M Fraser, AK Muir, CT Carilli, Lewicki JA, JD Baxter et MN James. « Structure of recombinant human renin, a target for cardiovascular-active drugs, at 2.5 Å resolution ». *Science*, vol. 243, no4896, 10 mars 1989, p. 1346-1351.

Tigerstedt, Robert, Bergman, Per G., Niere und Kreislauf. *Skandinavisches Archiv für Physiologie*, 8 (1898), pp. 223–271.

Travis SM, Conway BA, Zabner J, Smith JJ, Anderson NN, Singh PK, Greenberg

Welsh MJ. Activity of abundant antimicrobials of the human airway. *Am J Respir Cell Mol Biol*. 1999; 20(5):872-9.

Mc Ardle W.D, F.I. Katch, V.L. Katch. *Essential of exercise physiology* (2ème édition)

Salathe M, Conner GE. Lactoperoxidase and human airway host defense. *Am J Respir Cell Mol Biol* 2003; 29(2):206-12.



W. Kuhnel traduit par J.Roos. Atlas de poche d'Histologie, Flammarion Médecine Sciences, 1991.