



Haute École Galilée

ISSIG

BACHELIER EN SOINS INFIRMIERS

1^{re} Année

Année académique 2013 - 2014

Biologie, anatomie, physiologie

Anatomie - Physiologie

Docteur Ruidant

HEG - ISSIG

1^{ère} année BSI

**SYLLABUS
D'**

ANATOMIE - PHYSIOLOGIE

2012-2013

Dr RUIDANT

TABLE DES MATIERES	2
BIBLIOGRAPHIE	6
<u>INTRODUCTION : VOCABULAIRE</u>	7
<u>SYSTEME LOCOMOTEUR</u>	8
1. TISSUS SQUELETTIQUES	9
1.1 Fonctions	9
1.2 Cartilage	9
1.3 Os	9
2. SQUELETTE	14
2.1 Types d'os	14
2.2 Squelette axial	15
2.3 Squelette appendiculaire	18
3. ARTICULATIONS	22
3.1 Définitions et classification	22
3.2 Description d'une diarthrose	23
3.3 Mouvements	23
4. TISSU MUSCULAIRE	25
4.1 Propriétés	25
4.2 Fonctions	25
4.3 Types de muscles	25
4.4 Muscle strié squelettique	26
5. MUSCLES	29
5.1 Types de muscles	29
5.2 Description de quelques muscles	29
<u>SYSTEME NERVEUX</u>	33
1. INTRODUCTION	34
1.1 Fonctions du système nerveux	34
1.2 Organisation générale du système nerveux	34
2. TISSU NERVEUX	36
2.1 Histologie	36
2.2 Physiologie	38
3. ENCEPHALE ET NERFS CRANIENS	44
3.1 Caractéristiques générales	44
3.2 Cerveau	46
3.3 Diencephale	48
3.4 Tronc cérébral	49
3.5 Cervelet	50
3.6 Nerfs crâniens	51

4. MOELLE EPINIÈRE ET NERFS RACHIDIENS	52
4.1 Moelle épinière	52
4.2 Nerfs rachidiens, plexus et nerfs périphériques	54
5. FONCTIONS SENSORIELLES ET MOTRICES	55
5.1 Sensations et récepteurs sensitifs	55
5.2 Voies sensitives	56
5.3 Voies motrices	56
6. SYSTEME NERVEUX AUTONOME	58
6.1 Comparaison SNS et SNA	58
6.2 Organisation du SNA	59
6.3 Anatomie de SNA	59
6.4 Conditions de mise en œuvre des SN $\sigma\Sigma$ et $\pi\Sigma$	59
6.5 Action sur les principaux organes	60

SYSTEME CARDIO-VASCULAIRE **61**

1. LE CŒUR	62
1.1 Anatomie	62
1.2 Physiologie	65
2. LES VAISSEAUX SANGUINS	74
2.1 Caractéristiques générales	74
2.2 Physiologie de la circulation	77
2.3 Anatomie du système vasculaire	84
3. LE SYSTEME LYMPHATIQUE	90
3.1 Vaisseaux lymphatiques	90
3.2 Ganglions lymphatiques	91
3.3 Autres organes lymphoïdes	92

SYSTEME RESPIRATOIRE **94**

1. INTRODUCTION	95
1.1 Fonctions du système respiratoire	95
1.2 Processus respiratoires	95
2. ANATOMIE FONCTIONNELLE	96
2.1 Nez	96
2.2 Pharynx	96
2.3 Larynx	97
2.4 Trachée	98
2.5 Arbre bronchique	98
2.6 Membrane alvéolo-capillaire	99
2.7 Poumons, plèvre et vascularisation pulmonaire	100
3. MECANIQUE RESPIRATOIRE	102
3.1 Pressions pulmonaires et loi de Boyle-Mariotte	102
3.2 Ventilation pulmonaire : cycle inspiration / expiration	102

3.3 Facteurs influençant la ventilation pulmonaire	103
3.4 Volumes respiratoires et épreuves fonctionnelles	104
4. ECHANGES GAZEUX	106
4.1 Propriétés fondamentales des gaz	106
4.2 Composition du gaz alvéolaire	106
4.3 Respiration externe	106
4.4 Respiration interne	107
4.5 Couplage ventilation – perfusion	109
5. TRANSPORT DES GAZ RESPIRATOIRES DANS LE SANG	110
5.1 Transport de l'O ₂	110
5.2 Transport du CO ₂	110
5.3 Conclusion	111
6. REGULATION DE LA VENTILATION	112

SYSTEME URINAIRE **113**

1. ANATOMIE RENALE	114
1.1 Anatomie externe	114
1.2 Anatomie interne	114
1.3 Néphron	115
1.4 Vascularisation et innervation	116
1.5 Appareil juxta-glomérulaire	117
2. PHYSIOLOGIE RENALE	118
2.1 Formation de l'urine	118
2.2 Caractéristiques de l'urine	122
2.3 Fonctions rénales	122
3. VOIES URINAIRES	124
3.1 Uretères	124
3.2 Vessie	124
3.3 Urètre	125
3.4 Miction	126

SYSTEME DIGESTIF **128**

1. GENERALITES	129
1.1 Régulation de l'apport alimentaire	129
1.2 Processus digestifs	129
1.3 Organisation générale	130
1.4 Histologie générale du tube digestif	131
1.5 Régulation	132
1.6 Péritoine	132
1.7 Circulation splanchnique	133
2. ETUDE SYSTEMATIQUE	134
2.1 Cavité buccale	134
2.2 Œsophage	137

2.3 Déglutition	137
2.4 Estomac	138
2.5 Pancréas	140
2.6 Foie et voies biliaires	141
2.7 Intestin grêle	144
2.8 Panorama récapitulatif de la digestion des aliments	145
2.9 Gros intestin	148
2.10 Défécation	149

ORGANES DES SENS **151**

1. ŒIL ET VOIES LACRYMALES	152
1.1 Annexes	152
1.2 Globe oculaire	153
1.3 Voies optiques	154
2. OREILLE	156
2.1 Oreille externe	156
2.2 Oreille moyenne	156
2.3 Oreille interne	157

BIBLIOGRAPHIE

- ❖ DEE UNGLAUB SILVERTHORN, Physiologie humaine, éd. Pearson Education, Paris, 2007.
- ❖ GARNIER et DELAMARE, Dictionnaire illustré des termes de médecine, éd. Maloine, Paris, 2009.
- ❖ MARIEB E.N., HOEHN K., Anatomie et physiologie humaines, éd. Pearson Education, Paris, 2010.
- ❖ TORTORA, DERRICKSON, Principes d'anatomie et de physiologie, éd. De Boeck, Bruxelles, 2007.

INTRODUCTION : VOCABULAIRE

POSITION ANATOMIQUE

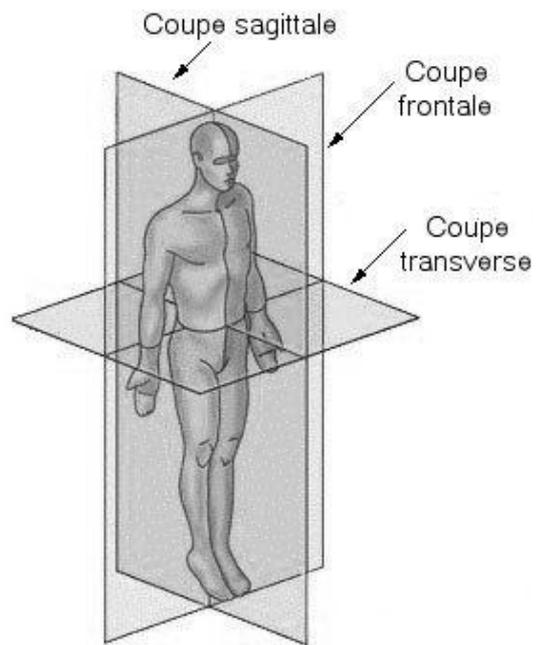
PLANS - COUPES

Sagittal = médian

Parasagittal

Frontal

Transversal



SITUATIONS

Supérieur

Inférieur

Antérieur = ventral

Postérieur = dorsal

Médian = médial

Latéral

Proximal

Distal

Superficiel

Profond

SYSTEME LOCOMOTEUR

1. TISSUS SQUELETTIQUES

1.1 FONCTIONS

Les tissus squelettiques, composés de l'os et du cartilage, ont pour fonction :

- soutien du corps et des tissus mous ;
- protection des organes internes fragiles ;
- mouvement en servant de points d'attache aux muscles squelettiques ;
- stockage des sels minéraux (calcium et phosphate principalement) ;
- hématopoïèse, c'est à dire la formation des cellules sanguines qui se fait dans la moelle rouge de certains os.

L'orthopédie, branche de la chirurgie et la rhumatologie, branche de la médecine, s'occupent des pathologies du système osseux, des articulations et des structures adjacentes.

1.2 CARTILAGE

Le cartilage est une variété de tissu conjonctif, mais il n'est ni vascularisé, ni innervé. C'est un réseau de fibres collagènes et élastiques baignant dans une substance fondamentale gélatineuse.

Il contient des cellules appelées chondrocytes qui entretiennent la substance fondamentale et les fibres et des chondroblastes dans le cartilage en croissance.

On distingue 3 types de cartilage :

- Le **cartilage hyalin**, le plus abondant, il contient de nombreuses cellules et peu de fibres. Il est caractérisé par sa flexibilité.

Ex : cartilage articulaire, cartilages costaux, cartilage nasal ...

- Le **fibrocartilage** contient, lui, au contraire, beaucoup de fibres collagènes et peu de cellules. Il est caractérisé par sa rigidité.

Ex : symphyse pubienne, disques intervertébraux, ménisques...

- Le **cartilage élastique** contient de nombreuses fibres élastiques et est caractérisé par sa capacité à reprendre sa forme initiale après déformation.

Ex : pavillon de l'oreille...

1.3 OS

L'os appartient lui aussi, aux tissus conjonctifs. Il est très vascularisé.

Il contient peu de cellules :

- des ostéocytes : cellules mûres, peu actives, en forme d'araignée qui entretiennent la matrice osseuse ;
- des ostéoblastes : cellules jeunes, très actives et présentes quand la formation d'os (croissance, réparation) est nécessaire ;
- des ostéoclastes : cellules qui résorbent l'os.

Les cellules sont logées dans beaucoup de substance fondamentale qui comporte :

- * une matrice protéique (pour 30%), appelée osséine, faite de nombreuses fibres collagènes, elle apporte à l'os une certaine souplesse ;
- * des dépôts de sels minéraux (pour 70%), essentiellement des cristaux de phosphate de calcium, ils apportent à l'os sa dureté.

La combinaison souplesse/dureté donne à l'os son excellente résistance (bois vert >> bois sec). L'os comporte des cavités qui l'allègent, permettent le cheminement des vaisseaux et des nerfs et augmentent sa résistance à poids égal.

L'os se présente sous 2 formes : l'os compact et l'os spongieux.

1.3.1 OS COMPACT

L'os compact, appelé aussi os lamellaire, contient beaucoup de substance fondamentale dense. Son unité de base est l'ostéon ou système de Havers, qui a une forme cylindrique.

Le système de Havers est centré sur un canal de Havers (parallèle à l'axe longitudinal de l'os et au canal médullaire) contenant des vaisseaux sanguins et des nerfs.

Il est entouré de lamelles concentriques serrées de substance fondamentale dure et calcifiée qui ménagent entre elles des logettes où sont situés les ostéocytes.

Les logettes sont reliées entre elles et avec le canal de Havers par de fins canalicules abritant les prolongements des ostéocytes et permettant l'apport des nutriments et l'export des déchets pour les cellules.

Les différents canaux de Havers sont reliés entre eux et avec le périoste et le canal médullaire par des canaux perpendiculaires appelés canaux de Volkmann.

1.3.2 OS SPONGIEUX

L'os spongieux est beaucoup moins dense et beaucoup plus léger. Il a une structure ressemblant à celle d'une éponge. Il ne contient pas de systèmes de Havers.

Il est fait de minces lamelles de substance fondamentale, appelées travées osseuses qui s'entrecroisent irrégulièrement.

Elles contiennent des logettes pour les ostéocytes et ménagent entre elles de nombreux espaces qui contiennent parfois de la moelle rouge hématopoïétique (surtout épiphyse

proximale des fémurs et des humérus chez l'adulte, par ailleurs, on trouve encore de la moelle rouge dans les os plats de la tête, du sternum et du bassin).

Les travées osseuses sont orientées selon les forces et les pressions qui s'exercent sur l'os pour offrir un maximum de résistance malgré sa légèreté.

1.3.3 STRUCTURE D'UN OS LONG

On distingue à l'os long 3 régions :

- Les épiphyses proximale et distale aux extrémités contiennent beaucoup d'os spongieux entouré d'un peu d'os compact.
- La diaphyse au milieu, cylindrique, contient surtout de l'os compact qui forme la corticale de l'os, entourant un peu d'os spongieux vers la cavité médullaire.
- Les métaphyses entre les 2, au niveau de l'ancien cartilage de conjugaison.

La surface externe de l'os est recouverte de :

- * Cartilage articulaire au niveau des articulations, c'est à dire là où l'os entre en contact avec un autre os. Il forme un coussinet qui amortit les pressions quand l'articulation est en mouvement.
- * Périoste partout ailleurs. Le périoste est fait d'une couche externe fibreuse (conjonctif dense non orienté) dans laquelle viennent s'attacher les tendons et les ligaments et d'une couche interne ostéogénique, contenant des ostéoblastes et des ostéoclastes, qui intervient dans la croissance et la réparation de l'os.

La cavité interne de l'os, appelée canal médullaire, est remplie de moelle jaune chez l'adulte et contient essentiellement des adipocytes.

L'endoste est une fine couche de tissu conjonctif qui recouvre toutes les cavités internes de l'os (canal médullaire, travées d'os spongieux, canaux de Havers et de Volkmann...). Il contient lui aussi des ostéoblastes et des ostéoclastes.

1.3.4 OSSIFICATION, CROISSANCE ET VIEILLISSEMENT OSSEUX

Les os commencent à se former dès la 6^{ème} semaine de vie embryonnaire à partir d'une ébauche de tissu conjonctif fibreux (ossification endomembraneuse, pour certains os plats) ou de tissu cartilagineux (ossification enchondrale, pour la plupart des os). Seule cette dernière sera brièvement décrite ici.

Dans l'ébauche de cartilage hyalin qui sert de modèle au futur os, apparaît un point d'ossification primaire central au niveau de la diaphyse, puis des points d'ossification secondaires aux épiphyses.

Ces derniers points apparaissent selon un calendrier bien précis après la naissance et permettent de donner un « **âge osseux** » à un enfant, en fonction des points déjà présents et encore absents sur les radiographies.

Les points d'ossification s'étendent et progressent l'un vers l'autre, mais une couche de cartilage persistera entre eux pendant toute la croissance, c'est le cartilage de conjugaison, situé au niveau des métaphyses.

Ses cellules se multiplient continuellement et fabriquent de la matière fondamentale cartilagineuse qui est progressivement ossifiée à ses extrémités, ce qui permet la croissance en longueur des os.

Cette croissance se termine entre 18 et 25 ans par ossification et disparition du cartilage de conjugaison, elle est réglée par des hormones (GH, hormones thyroïdiennes, hormones sexuelles...). La clavicule est le dernier os à grandir.

La croissance en largeur se fait par prolifération de la couche ostéogénique du périoste accompagnée de l'élargissement du canal médullaire grâce à l'action destructive des ostéoclastes.

On notera que certains os de la face (nez, mâchoire) continuent à croître de manière imperceptible pendant toute la vie.

Le vieillissement osseux implique une diminution de la masse osseuse, de la trame protéique et de sa calcification, ce qui aboutit à une moindre résistance.

1.3.5 HOMEOSTASIE OSSEUSE ET REMANIEMENTS

L'os est en perpétuel remaniement, c'est à dire que de l'os se résorbe (via les ostéoclastes) et se reconstruit (via les ostéoblastes) continuellement pendant toute la vie.

Ceci permet :

- la réparation des lésions ;
- l'adaptation aux mises en tension (phénomène très lent) ;
- le métabolisme du calcium.

L'importance des remaniements varie en fonction des endroits du squelette.

Exemple : l'épiphyse distale du fémur est remplacée progressivement tous les 5 à 6 mois tandis que la diaphyse l'est beaucoup moins vite.

Pendant la croissance et en cas de fracture, la formation osseuse est supérieure à la résorption. Chez l'adulte jeune, les 2 phénomènes sont équivalents et assurent la stabilité du squelette. Au-delà de 40 ans ou en cas d'hypocalcémie durable, la résorption devient supérieure à la formation. Nous perdons environ 1% de masse osseuse par an à partir de cet âge-là.

Un bon squelette se construit bien sûr pendant l'enfance et l'adolescence, mais s'entretient aussi pendant toute la vie.

La formation et l'entretien de l'os nécessitent des apports suffisants en calcium, phosphore, vitamine D, et un bon équilibre hormonal (parathormone, calcitonine, hormone de croissance, hormones surrénaliennes et thyroïdiennes).

Les remaniements (aspect quantitatif et qualitatif) dépendent de 2 facteurs principaux :

- la régulation hormonale qui a pour but de garder la calcémie constante (9 à 10 mg/100ml) ;
- les forces mécaniques agissant sur le squelette qui permettent de diriger une reconstruction optimale et d'assurer une résistance adaptée aux nécessités en renforçant l'os là où les contraintes sont plus importantes.

Le calcium est nécessaire à de nombreux processus physiologiques : transmission de l'influx nerveux, contractions musculaires, coagulation sanguine, division cellulaire, intégrité des membranes cellulaires...

De faibles variations de la concentration sanguine en calcium peuvent avoir des conséquences importantes sur le fonctionnement des différents systèmes et éventuellement mettre la vie de l'individu en danger.

C'est pourquoi il existe des régulations hormonales qui garantissent physiologiquement un taux de calcium sanguin constant malgré des apports ou des pertes variables.

Le corps humain contient 1,2 à 1,4 kg de calcium, dont 99% sous forme minéralisée dans le squelette, qui lui garantit sa grande résistance.

Le sang, lui, ne contient que 1,5 g de calcium environ.

Le squelette adulte peut fixer ou produire 500 mg de calcium par jour, si nécessaire, c'est dire que le squelette peut être considéré comme un réservoir de calcium.

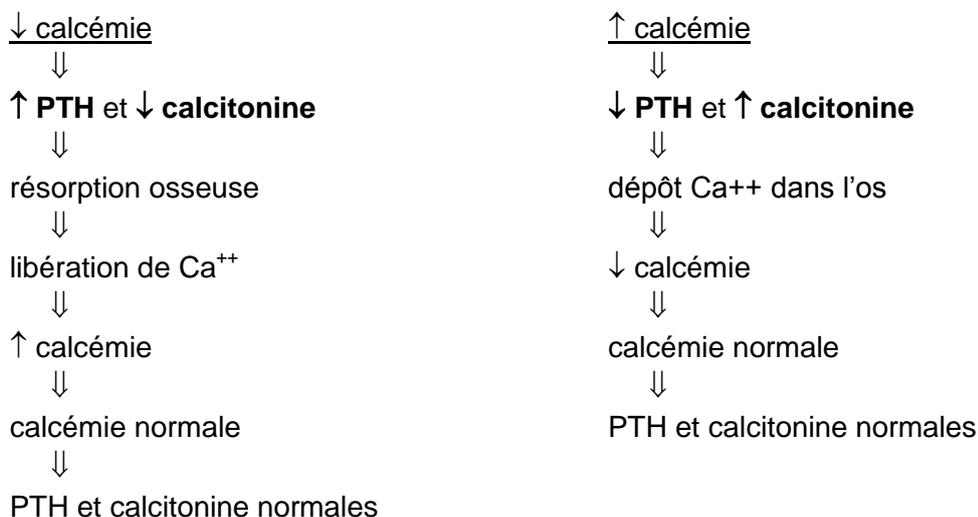
Physiologiquement, préserver un calcium sanguin constant (cf. conséquences à court terme) prime sur préserver le squelette (cf. conséquences à long terme).

Les hormones en jeu sont les suivantes :

* Les glandes parathyroïdes sécrètent la parathormone (PTH) qui stimule les ostéoclastes et accélère donc la résorption osseuse, ce qui fait augmenter le taux de calcium dans le sang.

* La glande thyroïde sécrète la calcitonine qui stimule les dépôts de calcium dans l'os et inhibe les ostéoclastes, ce qui fait diminuer le taux de calcium dans le sang.

Le mécanisme homéostasique est le suivant :



2. SQUELETTE

Le squelette est constitué de 206 os, 80 pour le squelette axial (situé près de l'axe du corps : crâne, colonne, côtes et sternum) et 126 pour le squelette appendiculaire (membres et ceintures).

La surface des os est irrégulière, il y a des saillies de forme et taille variables (apophyse, tubérosité, épine, crête...), elles sont le plus souvent déterminées par les insertions musculaires et les articulations avec les os voisins.

Il y a aussi des dépressions (fossette, gouttière, incisure...) et des orifices (trou, foramen...) ceux-ci comprenant aussi les orifices de pénétration des vaisseaux et des nerfs dans l'os.

2.1 TYPES D'OS

2.1.1 OS LONGS

Leur longueur est plus grande que leur largeur, ils ont 1 diaphyse et 2 épiphyses (extrémités renflées : 1 proximale = tête et 1 distale). Leur structure a été vue plus haut.

Ex : os des membres : fémur, tibia, phalanges, humérus...

2.1.2 OS COURTS

Leur forme est plus ou moins cubique. Ils sont constitués d'os spongieux recouvert d'une fine couche d'os compact en surface.

Ex : os du poignet, de la cheville...

2.1.3 OS PLATS

Ils sont minces, et sont formés de 2 plaques d'os compact entourant une couche d'os spongieux le plus souvent. Ils permettent une bonne protection des organes internes et de larges insertions musculaires.

Ex : os de la voûte crânienne, sternum, côtes, omoplates...

2.1.4 OS IRREGULIERS

Ce sont ceux que l'on ne peut classer dans aucune des catégories précédentes. Ils sont formés eux aussi d'os spongieux recouvert d'une fine couche d'os compact sur chacune de leurs faces.

Ex : vertèbres, os de la face, os iliaque...

2.1.5 OS WORMIENS

Ce sont de petits os inconstants situés dans les sutures crâniennes.

2.1.6 OS SESAMOÏDES

Ce sont de petits os inconstants situés dans les tendons ou les capsules articulaires, là où les pressions et les frottements sont importants.

Ex : au niveau des mains et des pieds, 2 sont constants : les rotules.

2.2 SQUELETTE AXIAL



LE SQUELETTE S'ETUDIE OBLIGATOIREMENT SUR DES SCHEMAS.

2.2.1 TETE : OS CRANIENS

Ils entourent et protègent l'encéphale et les organes de la vision, de l'audition et de l'équilibre.

1 os frontal provenant de la fusion de 2 os et dont la suture est visible jusqu'à l'âge de 6 ans. Il forme la partie supérieure des orbites et contient les 2 **sinus frontaux** (les sinus sont des cavités remplies d'air, reliées aux fosses nasales et recouvertes de muqueuse).

2 os pariétaux.

2 os temporaux avec pour chacun, l'écaille, l'apophyse zygomatique, le **rocher** (abritant l'oreille moyenne avec ses 3 osselets : marteau, enclume et étrier et l'oreille interne), le conduit auditif externe, le conduit auditif interne, l'articulation temporo-mandibulaire et la mastoïde (percée de nombreuses cavités contiguës à l'oreille moyenne).

1 os occipital avec son trou occipital et les condyles d'articulation avec la 1^{ère} vertèbre (atlas) de la colonne vertébrale.

1 os sphénoïde qui forme la partie centrale de la base du crâne et qui a globalement une forme de papillon.

Il comporte la **selle turcique** qui abrite l'hypophyse, et 2 **sinus sphénoïdaux**.

1 os ethmoïde léger et spongieux qui forme la partie antérieure de la base du crâne, entre les orbites.

C'est la structure de soutien des fosses nasales.

On y distingue la **lame perpendiculaire** qui forme la partie postéro-supérieure de la cloison nasale, la lame criblée percée de petits trous pour laisser passer les nerfs olfactifs, l'apophyse crista galli, les **cornets moyens** et **supérieurs** et les **sinus ethmoïdaux**.

2.2.2 TETE : OS DE LA FACE

2 os nasaux qui forment la partie supérieure de l'arête nasale.

2 os maxillaires (maxillaires supérieurs) qui sont les os les plus volumineux de la face. Ils forment la partie antérieure du palais dur.

Ils sont creusés d'alvéoles pour l'implantation des dents et comportent chacun 1 **sinus maxillaire**.

2 os malaires (appelés aussi zygomatiques) qui forment le relief des pommettes et présentent une apophyse temporale qui s'unit à l'apophyse zygomatique du temporal pour former l'arcade zygomatique.

1 os mandibulaire (maxillaire inférieur) qui est le seul os mobile de la tête.

Il est creusé d'alvéoles dentaires et s'articule avec le temporal par 1 condyle de chaque côté (articulations temporo-mandibulaires ou temporo-maxillaires).

On lui distingue 2 branches montantes et 2 apophyses coronoïdes.

2 os lacrymaux (appelés aussi unguis) qui font partie de l'orbite.

2 os palatins qui forment la partie postérieure du palais dur.

2 cornets inférieurs à l'intérieur des fosses nasales qui s'articulent avec l'os maxillaire.

1 os vomer qui forme la partie postéro-inférieure de la cloison nasale.

On appelle **sutures**, les articulations immobiles entre les os du crâne.

La suture coronale est située entre l'os frontal et les os pariétaux, la suture sagittale entre les os pariétaux, la suture lambdoïde entre les os pariétaux et l'os occipital.

Les **fontanelles** représentent les parties membraneuses qui relient les grands os de la voûte crânienne non encore totalement ossifiés à la naissance.

Elles se fermeront progressivement pendant les 2 premières années de vie.

La grande fontanelle est située entre l'os frontal et les os pariétaux, la petite fontanelle est située entre les os pariétaux et l'os occipital.

2.2.3 OS HYOÏDE

C'est le seul os qui ne s'articule pas directement avec un autre os. Il est situé dans la partie antérieure du cou et sert de soutien à la langue et au larynx.

2.2.4 COLONNE VERTEBRALE = RACHIS

La colonne vertébrale soutient la tête et protège la moelle épinière.

Elle est composée de :

- * 7 vertèbres cervicales nommées de haut en bas C1 à C7 (C1 = atlas et C2 = axis).
Elles sont grêles et situées au niveau du cou.
- * 12 vertèbres dorsales = thoraciques (D1 = Th1 à D12 = Th12).
Elles soutiennent la cage thoracique et présentent des facettes d'articulation pour les côtes.
- * 5 vertèbres lombaires (L1 à L5). Ce sont les plus volumineuses.
Elles sont situées dans la partie inférieure du dos, au niveau de l'abdomen.
- * 1 sacrum provenant de la soudure des 5 vertèbres sacrées.
- * 1 coccyx en 1 ou plusieurs parties provenant de la soudure des 4 vertèbres coccygiennes.

Les différentes vertèbres présentent des particularités, mais globalement, on leur distingue :

- 1 corps antérieur épais ;
- 1 arc vertébral ménageant en son centre un trou vertébral, la superposition des trous vertébraux formant le canal rachidien.

Chaque arc vertébral s'attache au corps vertébral par 2 **pédicules** antérieurs qui sont échancrés vers le haut et vers le bas et dont la superposition forme les trous de conjugaison qui laissent passer les nerfs rachidiens.

Viennent ensuite les **lames** postérieures qui se réunissent pour former l'**apophyse épineuse**. L'arc vertébral présente encore **2 apophyses transverses** et **4 apophyses articulaires** (2 supérieures et 2 inférieures).

Les vertèbres ont donc entre elles une double articulation :

- antérieure par les corps vertébraux ;
- et postérieure par les apophyses articulaires.

Les corps vertébraux sont séparés par des disques intervertébraux, faits de fibrocartilage avec un anneau fibreux périphérique résistant et un noyau central mou et élastique.

Cette structure apporte résistance et souplesse.

Ces disques facilitent les mouvements de la colonne vertébrale et absorbent les chocs verticaux et la pesanteur.

Vue de dos, la colonne est normalement rectiligne. Vue de profil, elle présente des courbures physiologiques :

- les courbures cervicale et lombaire sont concaves vers l'arrière ;
- les courbures thoracique et sacrée sont convexes vers l'arrière.

On appelle cyphose toute augmentation de la convexité postérieure, lordose toute augmentation de la concavité postérieure et scoliose toute déviation latérale.

La colonne vertébrale est maintenue par des ligaments longitudinaux et les muscles spinaux.

Le sacrum est un os triangulaire formé par la fusion antérieure, postérieure et latérale des 5 vertèbres sacrées, dont on voit encore bien les limites.

On y distingue 2 fois 4 trous sacrés antérieurs, et 2 fois 4 **trous sacrés** postérieurs pour le passage des nerfs rachidiens, le **promontoire**, les ailes, la crête sacrée et le hiatus sacré qui termine le canal rachidien.

2.2.5 THORAX

Le sternum comporte 3 parties :

- le **manubrium** en haut qui s'articule avec les clavicules et la 1^{ère} côte ;
- le **corps** du sternum au milieu qui s'articule avec les côtes 2 à 10 ;
- l'**appendice xiphoïde** en bas qui sert de point d'insertion au diaphragme et aux muscles abdominaux.

Les côtes, au nombre de 12 paires, s'articulent en arrière avec les vertèbres dorsales correspondantes et en avant avec le sternum par l'intermédiaire d'un cartilage costal (cartilage hyalin).

Les 7 premières paires s'attachent directement au sternum, les 8-9-10^{èmes} paires s'attachent indirectement par le cartilage de la 7^{ème} côte et les 11-12^{èmes} paires ont leur extrémité antérieure libre et sont appelées pour cela « côtes flottantes ».

Chaque côte comporte :

- une tête articulée avec le corps vertébral ;
- un col ;
- une tubérosité articulée avec l'apophyse transverse ;
- un angle et un corps.

Elle présente une gouttière inféro-interne qui protège les vaisseaux et nerfs intercostaux.

2.3 SQUELETTE APPENDICULAIRE

2.3.1 CEINTURE SCAPULAIRE

La ceinture scapulaire relie les os du membre supérieur au thorax, elle comporte :

2 clavicules en avant, articulées avec le manubrium et avec l'acromion de l'omoplate.

2 omoplates (= scapula) en arrière, posées sur la cage thoracique et attachées par les muscles thoraciques.

L'omoplate est un os plat et triangulaire avec un bord supérieur, un bord médian et un bord latéral. Sur sa face postérieure, elle présente une apophyse épineuse qui se termine latéralement par une partie renflée : l'**acromion** qui s'articule avec la clavicule.

L'angle supérieur latéral abrite la **cavité glénoïde** qui s'articule avec la tête de l'humérus pour former l'articulation de l'épaule et présente sur sa partie antéro-supérieure une proéminence : l'apophyse coracoïde qui sert de point d'attache musculaire.

2.3.2 MEMBRE SUPERIEUR

Chaque membre supérieur comporte :

1 humérus : os du bras.

Dans sa partie supérieure ou proximale, on lui distingue une **tête** qui s'articule avec l'omoplate, un **col**, une grosse tubérosité, une petite tubérosité et une gouttière bicipitale.

Dans sa partie inférieure, au niveau du coude, il s'articule en dehors par un condyle avec le radius et en dedans par une trochlée avec le cubitus.

Latéralement, on trouve 2 renflements, respectivement : l'épicondyle et l'épitrochlée.

La face postérieure est creusée d'une cavité qui reçoit l'olécrâne, c'est la fossette olécrânienne.

1 radius : os externe de l'avant-bras.

Il présente une tête, un col et une tubérosité bicipitale proximaux et une apophyse styloïde distale.

1 cubitus : os interne de l'avant-bras.

Il présente une proéminence postérieure : l'**olécrâne** qui forme le relief du coude et une apophyse styloïde distale.

Le radius et le cubitus sont reliés par une membrane fibreuse interosseuse.

LE CARPE forme avec les extrémités inférieures du radius et du cubitus d'une part et avec les métacarpiens d'autre part, l'articulation du poignet.

Le carpe est constitué de 8 os, répartis en 2 rangées de 4.

La *rangée proximale* comprend de dehors en dedans :

- le scaphoïde (= naviculaire),
- le semi-lunaire,
- le pyramidal
- et le pisiforme.

La *rangée distale* :

- le trapèze,
- le trapézoïde,
- le grand os
- et l'os crochu.

Le carpe, concave en avant, est recouvert d'un ligament qui limite le canal carpien, celui-ci protège les tendons, les nerfs et les vaisseaux qui y passent.

5 os métacarpiens forment la paume de la main et sont numérotés de 1 (côté pouce = externe en position anatomique) à 5 (côté auriculaire = interne).

14 phalanges forment les doigts.

Les doigts sont numérotés de 1 à 5 (pouce, index, médium, annulaire et auriculaire).

Le pouce a 2 phalanges : 1 proximale et une distale, tous les autres en ont 3 : une proximale (= phalange), une moyenne (= phalangine) et une distale (= phalangette).

2.3.3 CEINTURE PELVIENNE

La ceinture pelvienne relie le membre inférieur au squelette axial et protège les organes pelviens. Elle est formée des 2 os iliaques qui s'articulent entre eux antérieurement en formant la **symphyse pubienne**, et avec les ailes du sacrum postérieurement. L'ensemble (avec le coccyx) forme le **bassin**, appelé aussi pelvis.

L'os iliaque provient de la fusion de 3 os distincts chez l'enfant :

- l'**ilion**, supérieur et postérieur, avec la crête iliaque, l'aile iliaque, la fosse iliaque et les épines iliaques antéro-supérieure et antéro-inférieure ;
- le **pubis**, antérieur et inférieur, avec sa branche supérieure et sa branche inférieure ;
- l'**ischion**, postérieur et inférieur, avec l'épine ischiatique.

A l'intersection des 3 os primitifs se trouve l'**acétabulum = cavité cotyloïde**, qui reçoit la tête du fémur pour former l'articulation de la hanche.

L'os iliaque présente en outre, une crête saillante interne appelée ligne innommée qui forme, avec le promontoire du sacrum et le pubis, le **détroit supérieur**, c'est à dire, la limite entre le grand bassin (cavité abdominale) et le petit bassin (cavité pelvienne).

Entre le pubis et l'ischion, se trouve le trou obturateur.

Le bassin féminin est adapté à la grossesse, il est plus large, plus arrondi, moins profond et plus incliné vers l'avant.

Le bassin masculin est plus triangulaire, plus épais et plus vertical, il est adapté au soutien d'un corps plus massif.

2.3.4 MEMBRE INFÉRIEUR

Le membre inférieur est structuré de manière un peu semblable au membre supérieur, il est formé de :

1 fémur : os de la cuisse.

Dans sa partie supérieure ou proximale, il comporte une **tête** bien arrondie qui vient se loger dans l'acétabulum et qui présente une fossette centrale pour l'attache du ligament rond (reliant le fémur à la cavité cotyloïde), un **col**, un **grand trochanter** supérieur, un petit trochanter inférieur, réunis par une ligne intertrochantérienne postérieure.

Dans sa partie inférieure ou distale, il présente un condyle interne ou médian et un condyle externe ou latéral qui s'articulent tous deux avec le tibia et qui sont entourés des épicondyles correspondants. Entre les 2 condyles se trouve l'échancrure intercondylienne.

1 rotule : os sésamoïde logé dans le tendon du quadriceps et situé sur le devant du genou.

1 tibia : os interne et massif de la jambe.

Il présente dans sa partie proximale, 2 facettes articulaires séparées par une crête pour recevoir les condyles du fémur, une facette latérale pour l'articulation avec le péroné et une tubérosité antérieure.

Dans sa partie distale, il s'articule avec l'astragale et forme la **malléole interne** de la cheville.

1 péroné : os externe et plus grêle de la jambe.

Il s'articule, en haut avec le tibia et en bas, avec l'astragale en formant la **malléole externe** de la cheville.

Le tibia et le péroné sont unis par une membrane fibreuse interosseuse.

LE TARSE correspond à la partie postérieure du pied, il est formé de 7 os :

- L'astragale (= talus) surplombe les autres (scaphoïde et calcanéum).
Il s'articule avec le tibia et le péroné.
- Le calcaneum, postérieur et inférieur forme le talon.
- Le scaphoïde et les 3 cunéiformes (1^{er}, 2^{ème} et 3^{ème}) en dedans.
- Le cuboïde en dehors.

5 os métatarsiens, forment la plante du pied et sont numérotés de 1 à 5 de l'intérieur (gros orteil) vers l'extérieur (petit orteil).

14 phalanges forment les orteils numérotés pareillement de 1 à 5.

Le gros orteil, bien que parfois plus grand a 2 phalanges : 1 proximale et une distale.

Tous les autres en ont 3 : une proximale (= phalange), une moyenne (= phalange) et une distale (= phalange).

Les os du pied forment 3 **arches plantaires** (longitudinales interne et externe et transversale) concaves vers le bas et non rigides qui s'affaissent quand elles supportent un poids et retrouvent leur forme quand le poids disparaît.

La courbure de l'arche interne est plus marquée que celle de l'arche externe.

Une telle structure permet une certaine absorption des chocs liés à la marche ou à la course.

Les arches sont maintenues par les ligaments et les tendons qui s'insèrent sur le pied.

Une insuffisance de ces structures de soutien peut entraîner un « pied plat ».

3. ARTICULATIONS

3.1 DEFINITIONS ET CLASSIFICATION

Une articulation est un point de rencontre de 2 ou plusieurs pièces squelettiques (os ou cartilage). On distingue divers types d'articulations de structures fort différentes qui permettent plus ou moins de mouvement mais qui dans tous les cas sont adaptées aux nécessités locales. Voici une classification parmi d'autres, volontairement simplifiée.

3.1.1 ARTICULATIONS FIBREUSES

Les os de ce type d'articulation sont unis par du tissu conjonctif dense, elles ne sont pas ou très peu mobiles.

Suture : union par une mince couche de conjonctif dense.

Ex : os du crâne.

Elles ont tendance à s'ossifier progressivement chez l'adulte pour aboutir à la fusion des 2 os, c'est à dire à une synostose.

Ex : os frontaux, os iliaques.

Syndesmose: union par une membrane interosseuse fibreuse.

Ex : radius, cubitus.

3.1.2 ARTICULATIONS CARTILAGINEUSES

Ici, les os sont unis par du cartilage, il y a pas ou peu de mouvement possible.

Synchondrose : union par du cartilage hyalin.

Ex : cartilage de conjugaison (qui finit en synostose à la fin de la croissance).

Symphyse : union par du fibrocartilage contenant un noyau souple.

Ex : pubis, disques intervertébraux.

3.1.3 ARTICULATIONS SYNOVIALES = DIARTHROSES

Ce sont toutes les articulations contenant une cavité articulaire, elles sont habituellement très mobiles.

Elles rassemblent la majorité des articulations des membres et du corps.

On peut considérer que plus les os s'emboîtent bien, plus la stabilité de l'articulation est grande mais plus ses mouvements sont limités (ex : genou, hanche, coude...), au contraire, moins les os s'emboîtent, plus la stabilité est faible mais plus la liberté de mouvement est grande (ex : épaule). La stabilité et les mouvements sont aussi déterminés par les ligaments et le tonus musculaire.

3.2 DESCRIPTION D'UNE DIARTHROSE

Toute articulation synoviale (voir schémas du cours et des livres) comporte :

- os et périoste ;
- cavité articulaire ;
- cartilage articulaire (hyalin) qui recouvre les surfaces de contact à la place du périoste ;
- capsule fibreuse (conjonctif dense) qui s'insère à la limite entre le périoste et le cartilage ou sur le périoste ;
- ligaments (conjonctif dense)
 - * intrinsèques = capsulaires qui sont des renforcements localisés de la capsule,
 - * extrinsèques = extra-capsulaires, internes (dans l'articulation),
et/ou externes (en dehors de l'articulation) ;
- membrane synoviale (conjonctif lâche) qui recouvre toutes les surfaces intra-articulaires qui ne sont pas du cartilage.

Elle sécrète le liquide synovial (quelques ml) qui est un liquide visqueux qui lubrifie les surfaces, diminue le frottement et facilite ainsi le mouvement. Il nourrit aussi le cartilage qui n'est pas vascularisé, par un effet de pompe, quand l'articulation est en mouvement.

Certaines articulations synoviales comportent en outre un ou des :

- ménisque (fibrocartilage attaché à la capsule), bourrelet (fibrocartilage attaché à l'os,) qui augmentent la cohésion des surfaces articulaires ;
- bourse séreuse et/ou gaine synoviale (autour des tendons), qui sont des membranes synoviales en forme de sac ou de gaine, remplies d'une fine couche de liquide synovial. Elles forment des coussinets et séparent les structures dures des structures plus molles là où les mouvements sont importants: os/tendon, os/muscle, tendon/capsule, peau/os..., elles diminuent ainsi les frottements (ce sont les 2 feuillets des bourse et gaine qui glissent l'un sur l'autre) et préviennent d'éventuelles lésions. La plupart sont constantes et présentes à la naissance, d'autres apparaissent selon des nécessités.

3.3 MOUVEMENTS

Les mouvements se décrivent par rapport à la position anatomique : debout, paumes des mains tournées vers l'avant.

Ils sont limités par la structure des os adjacents, la tension dans les muscles et les ligaments ainsi que l'apposition des parties molles.

3.3.1 MOUVEMENTS ANGULAIRES

Les mouvements angulaires font varier l'angle entre 2 os.

Flexion : diminution de l'angle antérieur (sauf genou et orteils).

Extension : augmentation de l'angle antérieur après une flexion et retour à la position anatomique (sauf genou et orteils).

Hyperextension : augmentation de l'angle antérieur au-delà de la position anatomique (pas toujours possible).

Abduction : éloignement par rapport au plan sagittal du corps (ou du membre pour les doigts).

Adduction : rapprochement par rapport au même plan sagittal.

3.3.2 ROTATION

La rotation est le mouvement d'un os autour de son axe longitudinal.

Rotation interne : face antérieure tourne vers la ligne médiane.

Rotation externe : face antérieure s'éloigne de la ligne médiane, regarde vers le côté.

3.3.3 CIRCUMDUCTION

La circumduction est le mouvement d'un os dont l'extrémité proximale reste fixe et l'extrémité distale décrit un cercle.

3.3.4 MOUVEMENTS SPECIAUX DU PIED

Inversion : plante du pied tourne vers l'intérieur.

Eversion : plante du pied tourne vers l'extérieur.

Dorsiflexion : correspond à une flexion de la cheville.

Flexion plantaire : correspond à une extension de la cheville.

3.3.5 MOUVEMENTS SPECIAUX DE L'AVANT-BRAS

Ils résultent du mouvement de 2 os autour d'un axe commun.

Supination : paume des mains vers l'avant.

Pronation : paume vers l'arrière.

4. TISSU MUSCULAIRE

Le tissu musculaire représente 40 à 50% de la masse corporelle.

4.1 PROPRIETES

Excitabilité : le muscle peut recevoir des stimuli (le plus souvent chimiques : neurotransmetteurs, hormones) et y réagir.

Contractilité : il peut se contracter (= se raccourcir et s'épaissir) sous l'effet d'un stimulus.

Extensibilité : il peut s'allonger au-delà de sa longueur de repos lors de la contraction de muscles antagonistes.

Elasticité : il reprend sa forme et sa longueur initiales après étirement.

4.2 FONCTIONS

Les muscles :

- génèrent les mouvements volontaires et involontaires ;
- maintiennent la posture (m. squelettiques) et aident à la stabilité des articulations ;
- produisent 85% de la chaleur corporelle et participent ainsi au maintien de la T° centrale.

4.3 TYPES DE MUSCLES

4.3.1 MUSCLE STRIE SQUELETTIQUE

Il est attaché aux os, dépend du Système Nerveux Somatique (SNS) et ses contractions sont le plus souvent soumises à la volonté.

Les cellules qui le composent sont très longues, cylindriques et plurinucléées. Le muscle possède des stries visibles au microscope qui sont perpendiculaires à sa longueur. Ses contractions peuvent être fortes et rapides mais il se fatigue vite et nécessite des périodes de repos.

Il a de grandes facultés d'adaptation à moyen terme aux efforts demandés.

4.3.2 MUSCLE STRIE CARDIAQUE

Il forme la partie moyenne de la paroi du cœur, dépend du Système Nerveux Autonome (SNA) et ses contractions sont indépendantes de la volonté.

Ses cellules sont mononucléées, courtes, ramifiées et reliées en réseau par des pièces intercalaires. Ce muscle est strié lui aussi.

Ses contractions sont rythmées, adaptables et n'entraînent pas de fatigue musculaire.

4.3.3 MUSCLE LISSE

Il forme la paroi des organes creux (tube digestif, voies urinaires, bronches, vaisseaux sanguins...), dépend du SNA et ses contractions sont involontaires.

Les cellules sont mononucléées et fuselées, avec des extrémités effilées.

Ce muscle n'est pas strié.

Ses contractions sont lentes, parfois continues, il peut fournir un travail régulier sans se fatiguer.

4.4 MUSCLE STRIE SQUELETTIQUE

Les cellules musculaires, appelées aussi fibres musculaires ou myocytes, sont entourées de tissu conjonctif disposé en plusieurs couches :

- entre les cellules (endomysium) ;
- entre les faisceaux (périmysium) ;
- entre les muscles et les autres organes (épimysium ou fascia).

Tous ces tissus conjonctifs convergent vers les extrémités du muscle pour former les tendons ou les aponévroses d'insertion.

Dans le tissu conjonctif cheminent les nerfs qui apportent la stimulation de contraction et les vaisseaux sanguins qui apportent l'O₂ et les nutriments et exportent le CO₂ et les déchets.

4.4.1 HISTOLOGIE

Un muscle est composé de centaines ou de milliers de cellules cylindriques, disposées en parallèle, dont le diamètre va de 10 à 100 µ et la longueur de quelques mm à plus de 30 cm.

Chaque cellule comporte :

- de nombreux noyaux en périphérie ;
- de grandes quantités de glycogène (réserve d'énergie) ;
- de la myoglobine (protéine pigmentée rouge qui fixe l'O₂ → grandes réserves intracellulaires) ;
- et des centaines de myofibrilles parallèles au grand axe.

Ce sont des protéines, on distingue l'actine (filament fin) et la myosine (filament épais).

C'est leur disposition en alternance et en phase pour toutes les myofibrilles d'une cellule qui donne au muscle son aspect strié.

4.4.2 CONTRACTION

La longueur des filaments fins et épais ne varie pas, c'est le glissement des uns par rapport aux autres qui entraîne le raccourcissement du muscle.

La contraction nécessite la stimulation par un influx nerveux (via un neurone moteur), du calcium pour fixer l'actine à la myosine et de l'énergie (ATP).

Chaque muscle est innervé par un nerf moteur qui est lui-même composé de nombreux neurones (= cellules nerveuses).

Un neurone et les cellules musculaires qu'il stimule forment une unité motrice.

La contraction d'une unité motrice répond à la loi du tout ou rien.

La force musculaire développée par un muscle est fonction du nombre d'unités motrices recrutées et activées.

La jonction neuromusculaire fonctionne de la manière suivante :

Un neurone moteur transmet un influx nerveux.

→ Les boutons synaptiques libèrent l'ACH (= acétylcholine qui est un neurotransmetteur) dans la fente synaptique.

→ Les récepteurs des cellules musculaires fixent l'ACH.

→ La membrane plasmique se dépolarise (par entrée de Na^+), la dépolarisation se propage tout le long de la cellule musculaire.

→ Le réticulum endoplasmique libère du Ca^{++} dans le cytoplasme.

→ Glissement actine/myosine.

→ Contraction musculaire.

Ensuite :

La cholinestérase de la fente synaptique lyse l'ACH.

→ Repolarisation de la membrane plasmique (par sortie de K^+).

→ Repompement du Ca^{++} dans le réticulum.

→ Glissement inverse actine/myosine.

→ Relâchement musculaire.

La pompe à Na^+/K^+ rétablit les concentrations ioniques de part et d'autre de la membrane lorsque c'est nécessaire.

4.4.3 METABOLISME

La contraction musculaire nécessite de l'ATP pour le mouvement des myofibrilles, la pompe à Ca^{++} et celle à Na^+/K^+ .

Cet ATP provient normalement :

- 1) Des réserves intracellulaires pour un effort de quelques secondes.
- 2) De la respiration anaérobie qui transforme le glucose en acide lactique pour un effort intense de courte durée. Cette voie est plus rapide mais moins efficace.
- 3) De la respiration aérobie qui transforme le glucose ou les acides gras en CO_2 et H_2O pour les efforts d'endurance. Cette voie est plus lente mais a un meilleur rendement (elle produit 20 fois plus d'ATP).

L'activité musculaire fournit 20 à 25% de travail utile et 75 à 80% de perte calorique. Ceci explique pourquoi l'activité musculaire intense et prolongée tend à augmenter la température centrale et déclenche des mécanismes de régulation comme la sudation et la vasodilatation.

Après un travail musculaire, il faut reconstituer ses réserves d'O₂, de glycogène et d'ATP, et dégrader au niveau du foie, l'acide lactique formé. Ceci explique la période de récupération qui suit l'effort où tachycardie et hyperventilation permettent de continuer à apporter plus de sang et de rembourser ainsi la dette d'O₂.

5. MUSCLES

5.1 TYPES DE MUSCLES

5.1.1 MUSCLES LONGS

Les muscles longs s'insèrent par des tendons (conjonctif dense orienté).

Muscle simple : 1 tendon à chaque extrémité.

Muscle biceps : 1 tendon d'un côté, 2 de l'autre.

Muscle triceps : 1 tendon d'un côté, 3 de l'autre.

Muscle quadriceps : 1 tendon d'un côté, 4 de l'autre.

Muscle digastrique : plusieurs portions charnues en série, séparées chacune par une portion tendineuse.

5.1.2 MUSCLES PLATS

Les muscles plats ont au moins une insertion plate et élargie appelée aponévrose.

5.1.3 MUSCLES ANNULAIRES

Muscle orbiculaire : muscle circulaire situé autour d'un orifice naturel (bouche, œil).

Muscle sphincter : muscle circulaire situé autour d'un viscère creux (urètre, œsophage...).

5.2 DESCRIPTION DE QUELQUES MUSCLES

5.2.1 TÊTE ET COU

Masseter : entre l'arcade zygomatique et l'angle de la mandibule.

Action : il ferme la mâchoire en élevant la mandibule.

Sterno-cléido-mastoïdien : muscle biceps, entre le manubrium du sternum et la clavicule d'une part, et la mastoïde du temporal d'autre part.

Actions : il tourne la tête du côté opposé et l'incline latéralement de son propre côté.

Scalènes : 3 muscles profonds du cou entre les apophyses transverses des vertèbres cervicales et la partie antérieure et latérale des 1^{ère} et 2^{ème} côtes.

*Actions : élèvent les 2 premières côtes et aident ainsi à l'inspiration ;
+ flexion latérale de la tête du même côté.*

5.2.2 ABDOMEN

Grand droit : muscle central de la paroi abdominale antérieure, entre la symphyse pubienne d'une part, et l'appendice xiphoïde et les 5-6 et 7^{èmes} cartilages costaux d'autre part.
Ses fibres sont orientées verticalement.

Grand oblique / oblique externe : muscle latéral superficiel, entre les 8 dernières côtes d'une part, et la crête iliaque, le pubis et la ligne blanche d'autre part.
Ses fibres sont orientées vers le bas et l'avant.

Petit oblique / oblique interne : muscle latéral moyen entre la crête iliaque d'une part, et le pubis, la ligne blanche et les 3 dernières côtes d'autre part.
Ses fibres sont orientées vers le haut et l'avant, perpendiculaires au précédent.

Transverse de l'abdomen : muscle latéral et profond entre la colonne lombaire et la ligne blanche, en prenant appui sur les dernières côtes, la crête iliaque et le pubis.
Ses fibres sont orientées horizontalement.

Tous ces muscles forment la paroi abdominale antérieure, ils se contractent souvent ensemble pour :

- *aider aux mouvements du tronc (flexion, rotation, flexion latérale) ;*
- *ou comprimer l'abdomen en synergie avec le diaphragme (expiration forcée, toux...).*

Diaphragme : muscle plat, en forme de double dôme à convexités supérieures (la partie gauche reçoit l'empreinte du cœur et est un peu plus basse, la partie droite repose sur le foie et est un peu plus haute).

Il sépare la cavité thoracique de la cavité abdominale.

Il possède un tendon central et s'insère sur tout le pourtour inférieur de la cage thoracique (appendice xiphoïde, cartilages costaux des dernières côtes, dernières côtes et vertèbres lombaires).

Il est perforé par 3 orifices pour le passage de l'œsophage, de l'aorte et de la veine cave inf.
Il est innervé par les nerfs phréniques gauche et droit.

Actions : - *muscle de l'inspiration (il s'aplatit et s'abaisse en se contractant ce qui augmente les dimensions de la cage thoracique) ;*
- *et qui permet l'augmentation de la pression abdominale lorsque son action est conjuguée à celle des muscles de la paroi abdominale.*

Grand psoas : muscle postérieur entre les apophyses transverses et les corps vertébraux des vertèbres lombaires d'une part, et le petit trochanter du fémur d'autre part.

Actions : *flexion latérale de la colonne vertébrale ;*
flexion de la hanche et rotation externe de la cuisse.

5.2.3 THORAX

Trapèze : muscle superficiel de la face postérieure du thorax, entre l'os occipital et les apophyses épineuses des vertèbres cervicales et thoraciques d'une part, et l'épine de l'omoplate, l'acromion et le 1/3 supérieur et externe de la clavicule d'autre part.

Actions : *adduction et rétropulsion de l'omoplate et de l'épaule.*

Grand pectoral : muscle superficiel et supérieur de la paroi antérieure du thorax, entre la 1/2 inférieure et interne de la clavicule, le sternum et les cartilages costaux des 6 premières côtes d'une part, et la grosse tubérosité de l'humérus d'autre part.

Actions : *flexion de l'épaule, adduction et rotation interne du bras.*

Deltoïde : muscle de la rondeur de l'épaule entre le 1/3 externe et inférieur de la clavicule, l'acromion et l'épine de l'omoplate d'une part, et la diaphyse humérale d'autre part.

Action : *abduction du bras.*

Grand dorsal : muscle plat et triangulaire du bas du dos entre les apophyses épineuses D6→L5, la crête du sacrum et la crête iliaque d'une part, et l'humérus supérieur d'autre part.

Actions : *adduction du bras et extension de l'épaule ;*

élévation du tronc quand les bras sont fixés (action de grimper).

Intercostaux externes : muscles intercostaux superficiels, entre le bord inférieur de la côte supérieure et le bord supérieur de la côte inférieure.

Leurs fibres sont dirigées vers le bas et l'avant (// au grand oblique = oblique externe).

Action : *soulèvent la cage thoracique et aident à l'inspiration.*

Intercostaux internes : muscles intercostaux profonds, entre le bord supérieur de la côte inférieure et le bord inférieur de la côte supérieure.

Leurs fibres sont orientées vers le haut et l'avant (// au petit oblique = oblique interne), perpendiculaires aux intercostaux externes.

Action : *abaissent la cage thoracique et aident à l'expiration.*

5.2.4 MEMBRE SUPERIEUR

Biceps brachial : entre la tubérosité supraglénodale et l'apophyse coracoïde de l'omoplate (2 tendons différents) d'une part, et la tubérosité bicipitale du radius d'autre part.

Actions : *flexion de l'épaule et du coude et supination de l'avant-bras.*

Triceps brachial : entre la tubérosité infraglénodale de l'omoplate et l'humérus (3 tendons différents) d'une part, et l'olécrâne d'autre part.

Actions : *extension du coude et adduction du bras (par son chef long).*

Grand palmaire = fléchisseur radial du carpe : entre l'épitrôchlée de l'humérus et les 2-3^{èmes} métacarpiens.

Il forme la limite interne de la gouttière radiale où l'on prend le pouls, la limite externe étant l'os.
Actions : flexion du poignet, abduction de la main et flexion du coude.

Les muscles fléchisseurs du poignet et des doigts se trouvent sur la face antérieure de l'avant-bras tandis que les muscles extenseurs se trouvent sur la face postérieure.

5.2.5 BASSIN ET MEMBRE INFÉRIEUR

Grand fessier : le plus volumineux et le plus superficiel des muscles de la fesse, il recouvre le nerf sciatique.

Il s'insère sur la crête iliaque postérieure et interne, sur le sacrum et le coccyx d'une part, et sur la partie postéro-latérale supérieure du fémur d'autre part.

Actions : extension de la hanche et rotation externe de la cuisse.

Moyen et petit fessiers : situés sous le grand fessier, le petit fessier étant le plus profond. Ils s'insèrent sur la face postéro-externe de l'aile iliaque et sur le grand trochanter du fémur.

Action : abduction de la cuisse.

Quadriceps crural : volumineux muscle de la partie antérieure de la cuisse composé de 4 chefs comme son nom l'indique.

- **droit antérieur** qui part de l'épine iliaque antéro-inférieure, c'est le plus superficiel ;
- **vaste externe** qui part du grand trochanter et de la partie postéro-latérale du fémur ;
- **vaste interne** qui part de la partie postéro-interne du fémur ;
- **crural** qui part de la face antérieure du fémur, c'est le plus profond.

Les fibres musculaires se dirigent vers le bas et s'insèrent par un tendon commun sur la rotule puis sur la tubérosité antérieure du tibia (ligament rotulien).

Actions : extension du genou ;

+ flexion de la hanche (par le droit antérieur).

Triceps jambier : muscle qui fait la rondeur du mollet. Il est formé de 3 chefs :

Le **soléaire** part de la partie supérieure du tibia et du péroné, c'est le plus profond.

Les **jumeaux** partent des épicondyles interne et externe du fémur, ils sont superficiels.

Ils forment un tendon commun : le **tendon d'Achille** qui s'insère sur le calcanéum.

Actions : extension de la cheville (= flexion plantaire) et flexion du genou (par les jumeaux).

* * *

SYSTEME NERVEUX

1. INTRODUCTION

1.1 FONCTIONS DU SYSTEME NERVEUX

Le système nerveux (SN) est le centre de régulation et de communication du corps.

Ses 3 fonctions de base sont :

- 1- La sensibilité : détecter toute modification interne ou externe.
- 2- L'intégration : interpréter ces changements.
- 3- La motricité : réagir en déclenchant l'action sous forme de contraction musculaire ou de sécrétion glandulaire (exocrine ou endocrine).

C'est ainsi que le système nerveux aide à **maintenir l'homéostasie** du corps humain en collaboration avec le système endocrinien.

C'est la neurologie qui étudie le fonctionnement et les pathologies du système nerveux.

1.2 ORGANISATION GENERALE

Si l'on considère le SN d'un point de vue anatomique, on distingue :

- Le système nerveux central (SNC) : il est composé de l'encéphale (cerveau, cervelet et tronc cérébral) et de la moelle épinière. C'est surtout un centre de régulation et d'intégration mais il comporte aussi des voies de communication.
- Le système nerveux périphérique (SNP) : il est composé des nerfs crâniens et des nerfs rachidiens qui forment les nerfs périphériques. Il sert de voies de communication avec les organes du corps.

Si l'on considère le SN d'un point de vue physiologique c'est à dire fonctionnel, on peut distinguer :

- Les voies sensitives = afférentes = montantes, qui transmettent l'information sous forme d'influx nerveux, de la périphérie (les récepteurs sensoriels du corps : dans la peau, les organes des sens, les viscères, les muscles, les articulations) vers le centre (la moelle épinière et l'encéphale).
- Les voies motrices = efférentes = descendantes, qui transmettent les influx nerveux du centre (l'encéphale et la moelle épinière) vers la périphérie (les organes effecteurs du corps : les muscles et les glandes).

Mais d'un point de vue physiologique, on peut aussi distinguer :

- ❖ Le système nerveux somatique (SNS) qui s'occupe de la peau, des muscles squelettiques, des organes des sens et des articulations.

- ❖ Le système nerveux autonome (SNA), appelé aussi SN végétatif qui s'occupe des viscères, des muscles lisses, du muscle cardiaque et des glandes.
Il est appelé ainsi parce son fonctionnement échappe habituellement à la volonté.
Ce SNA est lui-même divisé en 2 parties : le système nerveux orthosympathique et le système nerveux parasympathique qui ont des activités antagonistes.

2. TISSU NERVEUX

2.1 HISTOLOGIE

Le SN comporte 2 types de cellules :

- Les neurones qui sont les seules cellules conductrices de l'influx nerveux, elles représentent l'unité structurale et fonctionnelle du SN.
- Les cellules gliales (= névroglie) qui représentent le tissu de soutien des neurones.

2.1.1 LES CELLULES GLIALES

Elles sont plus petites mais beaucoup plus nombreuses que les neurones, elles ont gardé leur pouvoir de multiplication et sont donc à la base des tumeurs du SN.

Elles forment une trame de soutien qui isole et nourrit les prolongements des neurones et peut phagocyter des déchets ou particules étrangères.

Elles forment aussi les gaines de myéline.

On distingue notamment dans le SNC :

- * les astrocytes qui soutiennent et nourrissent les neurones et participent à la barrière hémato-encéphalique ;
- * les oligodendrocytes qui forment les gaines de myéline ;
- * les cellules épendymaires qui tapissent les cavités ;
- * la microglie qui phagocyte les déchets.

Et dans le SNP :

- * les cellules de Schwann qui forment les gaines de Schwann et de myéline ;
- * les cellules satellites présentes dans les ganglions nerveux.

2.1.2 LES NEURONES

Les neurones sont des cellules capables de déclencher et conduire un influx nerveux entre les différentes parties du corps.

Ils sont métaboliquement très actifs, ce qui implique des besoins continus en O₂ et en glucose. Ils ont une durée de vie très longue (la durée de vie de l'individu souvent), ce qui tombe bien puisqu'ils ont perdu la capacité de se multiplier (ce sont des cellules amitotiques), ce qui empêche leur remplacement en cas de mort cellulaire. Il persiste néanmoins, dans le système nerveux, des cellules souches qui peuvent se multiplier et se différencier en neurones.

Les neurones sont composés d'un corps cellulaire et de prolongements.

Le corps cellulaire comprend le noyau et le cytoplasme avec ses organites habituels. Il comporte en plus des neurofibrilles qui sont des microtubules jouant un rôle dans le soutien et le transport des nutriments. Les neurones adultes ne comportent habituellement pas de centrosome.

Les dendrites sont des prolongements courts, effilés et nombreux, aux ramifications diffuses le plus souvent.

Elles forment la structure réceptrice du neurone et conduisent les signaux électriques (potentiels gradués) vers le corps cellulaire.

L'axone est un prolongement unique, de longueur très variable, parfois très long (parfois >1 m). Il est issu d'une région conique du corps cellulaire appelée « cône d'implantation ».

Son extrémité est abondamment ramifiée et chacune des ramifications se termine par une partie renflée appelée bouton terminal ou synaptique.

Il forme la structure conductrice et sécrétrice du neurone.

C'est au niveau du cône d'implantation que se situe la « zone gâchette » capable de produire un influx nerveux (potentiel d'action), celui-ci sera conduit le long de l'axone vers les boutons terminaux, pour y entraîner la libération de neurotransmetteur dans l'espace extracellulaire, ce qui servira de signal pour un autre neurone ou une cellule effectrice.

Dans l'axone, l'influx va donc du corps cellulaire vers la périphérie, on dit qu'il est cellulifuge.

Les prolongements contiennent les mêmes organites que le corps cellulaire, à part le noyau et le REG. Ils ont donc besoin du corps cellulaire et de mécanismes de transport efficaces pour renouveler et distribuer les protéines et les composants membranaires.

On appelle fibre nerveuse, tout prolongement neuronal (dendrite ou axone) entouré de sa ou ses gaine(s).

On distingue les fibres **myélinisées** qui ont une gaine de myéline (plusieurs couches phospholipidiques concentriques) de couleur blanchâtre, des fibres **amyélinisées** qui n'en ont pas et sont grises.

La gaine de myéline protège les prolongements, les isole électriquement et augmente la vitesse de propagation de l'influx nerveux ($\times 100$).

Le long du prolongement myélinisé, il existe, à intervalles réguliers, des interruptions dans la gaine de myéline (nœuds de Ranvier) qui interviennent dans la transmission de l'influx.

Dans le SNP :

Les fibres amyélinisées sont entourées d'une gaine de Schwann, produite par les cellules de Schwann, qu'elles partagent avec d'autres prolongements neuronaux.

Cette gaine de Schwann soutient et nourrit les prolongements et peut guider leur repousse en cas de lésion.

Les fibres myélinisées ont une gaine de Schwann et une gaine de myéline produite par la même cellule de Schwann.

Dans le SNC :

Ce sont les astrocytes qui soutiennent et nourrissent les prolongements, mais sans former de gaine pour les fibres amyélinisées, et les oligodendrocytes qui forment les gaines de myéline pour les fibres myélinisées.

Dans le SNC, la substance blanche est faite de fibres nerveuses myélinisées, tandis que la substance grise est faite de fibres non myélinisées ou de corps cellulaires de neurones.

Des noyaux sont des regroupements de corps cellulaires de neurones dans le SNC (gris).

Des ganglions nerveux sont des regroupements de corps cellulaires de neurones dans le SNP (gris).

Des faisceaux (ascendants ou descendants) sont des regroupements de fibres nerveuses dans le SNC (gris ou blancs).

Des nerfs (moteurs et/ou sensitifs) sont des regroupements de fibres nerveuses dans le SNP (gris ou blancs).

2.2 PHYSIOLOGIE

2.2.1 BIOLOGIE ET REGENERATION

Toute lésion du corps cellulaire entraîne la mort de la cellule.

Celle-ci ne pourra pas être remplacée par la division de neurones voisins en raison de leur caractère amitotique.

Après section d'une fibre nerveuse (dendrite ou axone), la partie distale, séparée du corps cellulaire perd toutes ses propriétés et dégénère (dégénérescence wallérienne).

La gaine de myéline dégénère aussi, si elle est présente.

Seules, les cellules de Schwann restent en place, elles forment un tunnel, digèrent les fragments dégénérés et guident la repousse.

La partie proximale du prolongement gonfle et se met à repousser lentement en envoyant de très fins prolongements à la recherche de l'organe à innover.

Cette repousse ne peut être satisfaisante que si un prolongement rencontre le tunnel formé par les cellules de Schwann qui lui sert alors de guide.

La repousse se fait ainsi à la vitesse de ± 1 mm/jour.

Arrivé à destination, le prolongement augmente de diamètre et la gaine de myéline se reforme.

Néanmoins, la vitesse de conduction finale n'atteindra que 70% de sa vitesse initiale au mieux.

Au cas où les branches de repousse ne trouvent pas la gaine, il peut y avoir prolifération anarchique et risque de névrome.

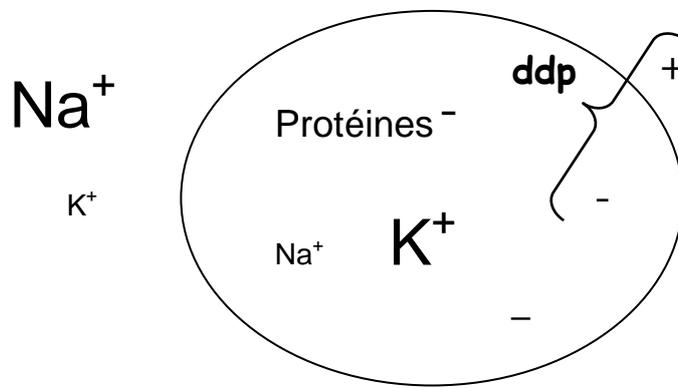
Dans le SNC, l'absence de gaine de Schwann et la prolifération cicatricielle de la névroglie empêchent la régénération. Mais le réarrangement des neurones restés en place, aidé par la rééducation, peut permettre de retrouver tout ou partie de la fonction perdue.

2.2.2 INFLUX NERVEUX

AU REPOS

Le milieu extracellulaire est riche en Na^+ et Cl^- et pauvre en K^+ , tandis que le milieu intracellulaire est riche en K^+ et protéines $^-$ et pauvre en Na^+ et Cl^- .

Ces différences de concentration ionique entre les milieux intra- et extracellulaires, maintenues par la pompe à Na^+/K^+ et l'imperméabilité de la membrane aux protéines, produisent globalement une différence de potentiel (ddp) de part et d'autre de la membrane plasmique, équivalente à -70 mV pour la plupart des neurones, l'intérieur étant négatif par rapport à l'extérieur qui est positif.



EN ACTION

Une dépolarisation est une diminution de la ddp transmembranaire, par \uparrow perméabilité à Na^+ et entrée de Na^+ (diffusion).

L'extérieur devient ainsi moins positif tandis que l'intérieur devient moins négatif puisque qu'il y a entrée de charges positives.

Cela peut aller jusqu'à une inversion de la polarité.

Ex : passer de -70 mV à -50 mV ou à 0 mV ou à $+30 \text{ mV}$.

La dépolarisation de la membrane **facilite la production d'un influx nerveux**.

Une re-/hyperpolarisation est une augmentation de la ddp transmembranaire, par \uparrow perméabilité à K^+ et sortie de K^+ (diffusion).

L'extérieur devient plus positif tandis que l'intérieur devient plus négatif puisqu'il y a sortie de charges positives.

Ex : passer de -70 mV à -90 mV .

L'hyperpolarisation de la membrane **inhibe la production d'un influx nerveux**.

Les potentiels gradués sont des variations locales du potentiel membranaire (dépolarisation ou hyperpolarisation) qui s'éteignent sur une courte distance.

On les retrouve au niveau des dendrites et du corps neuronal.

Ils sont proportionnels à l'intensité du stimulus s'ils sont produits au niveau d'un récepteur sensitif, ou égaux au potentiel post-synaptique.

Le potentiel d'action est une dépolarisation de 100 mV (on passe de -70 mV à $+30$ mV) capable de se propager tout le long d'une fibre nerveuse (axone) en gardant une intensité constante.

Quand il y a une stimulation suffisante (dépolarisation > -50 mV suite à l'action combinée des stimulations = dépolarisations et des inhibitions = hyperpolarisations) au niveau de la zone gâchette, alors la dépolarisation se poursuit jusqu'à $+30$ mV par ouverture des canaux voltage-dépendants à Na^+ et entrée de Na^+ .

C'est la naissance du potentiel d'action qui va être capable d'entraîner une dépolarisation suffisante de la portion voisine suivante de la membrane axonale et donc l'ouverture des canaux à Na^+ et l'entretien du potentiel d'action de proche en proche.

L'influx nerveux va ainsi pouvoir se propager comme une traînée de poudre tout le long de l'axone jusqu'à tous les boutons synaptiques.

Il y a donc effet sur une longue distance.

En chaque point de l'axone successivement depuis la zone gâchette jusqu'aux boutons synaptiques, il y aura d'abord la dépolarisation du potentiel d'action puis une repolarisation par

- fermeture des canaux voltage-dépendants à Na^+ ;
- et ouverture des canaux voltage-dépendants à K^+ et sortie de K^+ ;

avec hyperpolarisation transitoire puis retour au potentiel de repos.

La mise en œuvre de la pompe à Na^+/K^+ permet ensuite de garder les concentrations intracellulaires et extracellulaires en Na^+ et K^+ constantes.

2.2.3 PROPRIETES DES FIBRES NERVEUSES

2.2.3.1 Excitabilité

L'excitabilité est la capacité de réagir à un stimulus (chimique, électrique, mécanique, thermique...) qui va modifier le potentiel de membrane et de le convertir en influx nerveux.

L'excitabilité répond à la loi du tout ou rien.

Si le stimulus (par potentiel gradué) est liminal (= suffisant pour atteindre la zone gâchette et la dépolariser jusqu'à -50 mV), alors un potentiel d'action constant en intensité et en vitesse y sera déclenché et parcourra l'axone jusqu'au bout.

Peu importe le type et l'intensité de la stimulation, pour un neurone donné, le potentiel d'action sera toujours de la même durée et de la même amplitude (jusqu'à $+30$ mV).

Les variations d'intensité du stimulus se marqueront par des variations de fréquence des potentiels d'action.

Si le stimulus est subliminal (insuffisant), il n'atteindra pas la zone gâchette et aucun potentiel d'action ne sera déclenché.

Néanmoins, il y a possibilité de sommation temporelle (plusieurs potentiels gradués successifs) et/ou spatiale (plusieurs potentiels gradués en des endroits proches).

La plupart des potentiels récepteurs gradués sont à eux seuls subliminaux et la nécessité de sommation représente un moyen de protection contre les erreurs, toute stimulation devant être confirmée dans le temps ou dans l'espace au minimum par une deuxième stimulation.

Tant que la zone gâchette est dépolarisée, elle est incapable de répondre à un autre stimulus, quelle que soit son intensité, on parle de période réfractaire absolue.

Pendant sa période d'hyperpolarisation, la zone gâchette a un seuil d'excitabilité plus élevé, ce qui veut dire que seul un stimulus exceptionnellement intense pourra déclencher un potentiel d'action, c'est la période réfractaire relative. Ces 2 caractéristiques empêchent la surstimulation des neurones.

2.2.3.2 Conductibilité

Dans les fibres amyélinisées, la conduction est continue, chaque point successif de l'axone subit une dépolarisation et une repolarisation lors du passage de l'influx nerveux. C'est un mode de conduction lent.

Dans les fibres myélinisées, la conduction est saltatoire, elle « saute » d'un nœud de Ranvier à l'autre grâce à l'isolation par la myéline. Ce mode de conduction de l'influx nerveux est beaucoup plus rapide (≈ 100 m/s).

Dans tous les cas, la vitesse de conduction augmente avec la température et le diamètre de l'axone.

Les lois de la conductibilité sont les suivantes :

- * Conduction sans décrétement : l'influx ne subit aucune diminution en cours de route.
- * Intégrité de l'organe : le neurone doit être intact pour conduire l'influx.
- * Conduction isolée : chaque fibre fonctionne pour son propre compte et n'influence ses voisines qu'en cas de connexion synaptique.
- * Le fonctionnement normal n'entraîne aucune fatigue pour la fibre nerveuse.

2.2.4 SYNAPSES

Une synapse est un point de jonction entre 2 neurones, elle permet le transfert d'information entre eux (transmission ou inhibition de l'influx nerveux).

S'y apparentent :

- la plaque motrice (jonction entre le neurone et la cellule musculaire) ;
- la jonction neuro-glandulaire (entre le neurone et la cellule glandulaire).

Ce sont les lieux d'action de nombreux médicaments.

Dans la synapse, on distingue (voir schémas au cours et dans les livres) :

- le neurone présynaptique avec un des boutons synaptiques de l'arborisation terminale de

- son axone ;
- la fente synaptique ;
 - le neurone postsynaptique avec ses récepteurs situés sur une dendrite, sur le corps cellulaire ou au tout début de l'axone.

La transmission de l'influx nerveux se fait de manière unidirectionnelle et le plus souvent, de manière électrochimique : l'influx parcourt l'axone du neurone présynaptique, son arrivée dans les boutons synaptiques provoque la libération de neurotransmetteur dans la fente synaptique et sa liaison aux récepteurs du neurone postsynaptique. Cette liaison va modifier la polarité de la membrane post-synaptique et donc favoriser ou inhiber la production d'un influx nerveux dans ce neurone.

Dans la synapse excitatrice, la liaison du neurotransmetteur aux récepteurs provoque la dépolarisation (PPSE = potentiel post-synaptique excitateur qui est un potentiel gradué) de la membrane postsynaptique, par \uparrow de la perméabilité à Na^+ . Ceci facilite le déclenchement d'un influx nerveux dans ce neurone.

Habituellement il faut l'action simultanée de plusieurs synapses pour déclencher un potentiel d'action et donc un influx nerveux dans le neurone postsynaptique (sommation temporelle ou spatiale), ce qui représente un mécanisme protecteur pour diminuer le risque d'erreur et donne au neurone postsynaptique une possibilité d'intégrer diverses informations.

Dans la synapse inhibitrice, la fixation du neurotransmetteur hyperpolarise (PPSI = potentiel post-synaptique inhibiteur qui est un potentiel gradué) la membrane postsynaptique, par \uparrow de la perméabilité à K^+ . Cela tend à empêcher le déclenchement d'un influx nerveux dans le neurone postsynaptique.

Les neurotransmetteurs présents dans la fente synaptique peuvent être rapidement :

- dégradés par des enzymes présents dans la fente synaptique ;
- et/ou recapturés par le bouton synaptique.

La libération des récepteurs détermine :

- la fin de l'activation de la synapse et le retour à une polarité normale de la membrane post-synaptique ;
- et permet rapidement le passage d'une nouvelle information.

Dans les connexions entre neurones, on constate à la fois, un phénomène de divergence (1 neurone présynaptique influence plusieurs neurones postsynaptiques de manière stimulatrice ou inhibitrice), et un phénomène de convergence (plusieurs neurones présynaptiques influencent le même neurone postsynaptique de manière stimulatrice ou inhibitrice).

On se trouve ainsi devant un véritable réseau en toile d'araignée qui est à l'origine de la variété des réponses possibles à divers stimuli, qui peuvent ainsi tenir compte de nombreux facteurs.

C'est au niveau du neurone post-synaptique que les informations sont intégrées.
Les dépolarisations et les hyperpolarisations reçues au même moment se propagent vers la zone gâchette (potentiels gradués).
Si la somme est suffisante pour amener cette zone à -50mV , alors il y aura déclenchement d'un potentiel d'action dans le neurone post-synaptique.
Si la somme est insuffisante, alors il ne se passera rien.

Les neurotransmetteurs du SN sont variés : l'acétylcholine, la noradrénaline, la dopamine, la sérotonine, le GABA ...

3. ENCEPHALE ET NERFS CRANIENS

3.1 CARACTERISTIQUES GENERALES

On appelle encéphale, tout le SNC contenu dans la boîte crânienne, cela comprend :

- * le cerveau et le diencephale ;
- * le tronc cérébral ;
- * le cervelet.

Le SNC est protégé par les os (crâne et colonne vertébrale), les méninges et le liquide céphalo-rachidien (LCR).

3.1.1 MENINGES

Les méninges sont formées de 3 membranes de tissu conjonctif qui se nomment, de l'extérieur vers l'intérieur :

- * La dure-mère, membrane très résistante attachée à l'os, forme des cloisons (faux du cerveau et du cervelet, tente du cervelet) et abrite des sinus veineux se drainant dans la veine jugulaire interne.
- * L'arachnoïde, membrane intermédiaire, est souple et forme des saillies dans les sinus veineux de la dure-mère appelées **villosités arachnoïdiennes**.
Ces dernières permettent la résorption du LCR.
L'espace sous-arachnoïdien est rempli de LCR, de gros vaisseaux sanguins y circulent aussi.
- * La pie-mère est une membrane fragile et adhérente à l'encéphale et à la moelle épinière. Elle comporte de nombreux petits vaisseaux sanguins dont les ramifications pénètrent dans le tissu nerveux.

3.1.2 LIQUIDE CEPHALO-RACHIDIEN

Le LCR est un liquide clair comme de l'eau de roche.

Il a un volume de 100 à 150 ml chez l'adulte et est renouvelé continuellement, avec une production d'1 litre/jour en moyenne.

Il est produit au niveau des plexus choroïdes (amas de capillaires sanguins très perméables) dans les ventricules cérébraux (cavités internes de l'encéphale): c'est un **filtrat du sang**.

Il est ensuite modifié par les cellules épendymaires qui tapissent l'intérieur des ventricules pour en enlever un maximum de déchets et de toxiques.

Sa composition est donc voisine du sang mais SANS cellules et avec beaucoup MOINS de protéines, ce qui lui donne son aspect incolore et transparent.

Le système ventriculaire comporte 4 ventricules :

- * 2 ventricules latéraux, 1 dans chaque hémisphère cérébral ;
- * le 3^{ème} ventricule dans le diencephale, qui communique avec les 2 premiers par les trous de Monro ;

* le 4^{ème} ventricule en arrière du tronc cérébral et en avant du cervelet, qui communique avec le 3^{ème} par l'aqueduc de Sylvius.

De là, le LCR peut aller :

- soit dans le canal épendymaire (canal central de la moelle épinière) ;
- soit vers les espaces sous arachnoïdiens de l'encéphale et de la moelle épinière par les trous de Luschka et Magendie.

Le LCR est finalement réabsorbé au niveau des villosités arachnoïdiennes (appelées aussi granulations de Pacchioni) dans les sinus veineux et se retrouve ainsi dilué dans le sang.

Le LCR gonfle et entoure donc le SNC et il y subit une véritable circulation.

Son rôle est double :

- former un « coussin aqueux » qui va protéger le SNC (encéphale et moelle épinière) contre les chocs en répartissant les pressions de manière égale ;
- participer aux échanges avec le SNC : apport de nutriments, d'O₂ et d'ions et export de CO₂, déchets et toxiques.

3.1.3 APPORT SANGUIN

L'encéphale représente environ 2% du poids du corps, mais 20% de sa consommation en O₂, c'est dire s'il lui faut un apport sanguin important.

Toute interruption totale de son irrigation entraîne une perte de conscience après 1 à 2 minutes et la destruction de neurones après 4 minutes à température normale.

Le sang irriguant l'encéphale a une double origine :

- * les artères carotides internes en avant ;
- * les artères vertébrales qui se réunissent en 1 tronc basilaire en arrière.

Ces 3 voies s'anastomosent à la base du cerveau en formant le polygone de Willis d'où partiront les artères cérébrales antérieures, moyennes et postérieures.

Cette organisation permet une certaine suppléance en cas de sténose d'un vaisseau.

Le sang des capillaires cérébraux se draine dans les veines cérébrales, rejoint les sinus veineux de la dure-mère, puis les veines jugulaires internes, les veines brachiocéphaliques et enfin la veine cave supérieure.

Il existe, au niveau de l'encéphale, une importante autorégulation du débit sanguin local qui permet aux zones qui travaillent plus de recevoir plus de sang, c'est-à-dire plus d'O₂ et de glucose et cela indépendamment des éventuelles variations physiologiques de pression artérielle.

Il existe également une barrière hémato-encéphalique au niveau des capillaires sanguins du SNC qui permet de le protéger des toxiques présents dans le sang et de garder le milieu interne du SNC le plus stable possible. On retrouve cette barrière aussi bien entre les

capillaires et le tissu nerveux qu'entre les capillaires et le LCR.

La barrière est attribuable au fait que :

- les capillaires ont une paroi continue et des jonctions serrées entre les cellules ;
- les cellules gliales (astrocytes) forment une gaine externe supplémentaire autour des vaisseaux.

Cette barrière constitue un filtre sélectif qui :

- permet le passage d'O₂, CO₂, glucose, acides aminés... ;
- empêche ou limite le passage d'urée, créatinine, protéines sanguines, toxines, nombreux médicaments, bactéries, virus... ; c'est à dire de tout ce qui pourrait être nocif.

Néanmoins, elle n'est pas absolue puisque notamment l'alcool, le tabac, les drogues, les psychotropes et les anesthésiques passent, or ils modifient l'activité du SN.

Elle est naturellement absente en certains endroits-clés :

- le centre du vomissement qui doit pouvoir réagir aux toxiques ;
- l'hypothalamus qui doit adapter ses sécrétions à des variables sanguines.

3.2 LE CERVEAU

Il constitue la majeure partie de l'encéphale.

Il comprend, de la surface vers la profondeur :

* La substance grise périphérique, appelée cortex ou écorce cérébrale, qui est la partie « pensante » du cerveau, son sommet hiérarchique.

C'est elle qui assure des fonctions comme la conscience, la perception, la communication, la mémorisation, le jugement, la compréhension, la conception de la motricité...

Elle est mince (2 à 4 mm d'épaisseur) mais étendue ($\approx 1\text{m}^2$), elle comporte des corps de neurones.

* La substance blanche intermédiaire faite de fibres myélinisées, qui sont des voies de communication internes.

* La substance grise centrale, appelée noyaux gris centraux, qui sont des corps de neurones également et qui forment essentiellement des relais sur les grandes voies nerveuses.

* Les ventricules.

Le cerveau comprend 2 hémisphères cérébraux, séparés par la scissure interhémisphérique. Il constitue la partie supérieure de l'encéphale et recouvre le diencephale, le tronc cérébral et le cervelet.

Le cortex est plissé, on y distingue des plis profonds, appelés scissures qui délimitent les lobes cérébraux :

- La scissure de Rolando sépare le lobe frontal du lobe pariétal.
- La scissure de Sylvius sépare les lobes frontal et pariétal du lobe temporal.
- La scissure perpendiculaire sépare les lobes pariétal et temporal du lobe occipital.

Chaque lobe est situé dans la région osseuse du même nom (voir schéma).
On distingue encore le lobe de l'insula dans la profondeur de la scissure de Sylvius.

Chaque lobe assure des fonctions particulières :

- * Le lobe frontal est le centre moteur somatique (partie postérieure), et un centre psycho-affectif (partie antérieure) qui gère en partie la personnalité, les capacités d'apprentissage, le jugement, le raisonnement, l'attention, l'humeur, les inhibitions... Dans sa partie postéro-inférieure, on trouve l'AIRE DE BROCA qui est la zone motrice du langage (expression).
- * Le lobe pariétal est le centre sensitif, qui s'occupe de la sensibilité somatique directe mais aussi de l'intégration des différentes informations sensibles et de leur interprétation ; il s'occupe aussi des informations gustatives (qui débordent sur le frontal).
- * Le lobe occipital est le centre visuel qui reçoit les informations rétinienne et les interprète.
- * Le lobe temporal est le centre auditif, olfactif et il comporte l'AIRE DE WERNICKE qui est la zone sensorielle du langage (compréhension).

Dans chaque lobe, il existe des replis moins profonds appelés sillons qui délimitent des petites zones de cortex : les circonvolutions. Chaque circonvolution porte un nom ou un numéro, nous n'en retiendrons que 2 (voir schéma) :

- la circonvolution frontale ascendante ;
- la circonvolution pariétale ascendante.

Le système limbique est situé plus en profondeur et s'occupe des aspects émotionnels du comportement, des « instincts » liés à la survie, il est en connexion avec le cortex et l'hypothalamus.

Il faut noter enfin qu'il existe une latéralisation fonctionnelle du cerveau : s'ils fonctionnent souvent ensemble, ils se divisent néanmoins le travail :

- * l'hémisphère gauche s'occupe de l'hémicorps droit (motricité et sensibilité) ;
- * l'hémisphère droit s'occupe de l'hémicorps gauche (idem).

Il existe bien sûr des connexions entre les 2 hémisphères pour qu'ils puissent fonctionner ensemble.

De plus, on décrit chez chacun d'entre nous, un hémisphère dominant (le gauche chez 90% des individus), c'est lui qui s'occupe préférentiellement du **langage** (parlé, écrit, expression et compréhension).

Il s'occupe aussi des aptitudes mathématiques et scientifiques, de la logique et du raisonnement.

L'hémisphère non-dominant (le droit en général donc) intervient plutôt dans la perception espace-objet, l'intuition, l'émotion (y compris l'aspect émotionnel du langage), l'appréciation musicale et artistique, l'imagination, l'intuition. C'est notre côté poétique, créatif.

Le plus souvent c'est chez les droitiers que l'hémisphère dominant est à gauche et chez les gauchers que l'hémisphère droit domine, mais ce n'est pas systématique. Parfois, il n'y a pas de dominance et les fonctions sont réparties des 2 côtés, ce qui peut entraîner des

avantages (les individus sont ambidextres) mais aussi des inconvénients (risque de dyslexie et de difficultés d'apprentissage).

3.3 LE DIENCEPHALE

Le diencéphale est composé des :

- thalamus ;
- hypothalamus ;
- épithalamus ;
- 3^{ème} ventricule.

Il est situé dans la profondeur de l'encéphale, entre les hémisphères cérébraux et le tronc cérébral et est constitué surtout de substance grise (noyaux).

3.3.1 THALAMUS

Le thalamus est formé de 2 masses ovoïdes grises qui se trouvent de part et d'autre du 3^{ème} ventricule, reliées par l'adhérence (ou commissure) interthalamique.

Il a pour fonctions d'être :

- un lieu de relais pour les influx sensoriels avant l'arrivée au cortex ;
- un centre d'intégration des influx sensoriels tels que la douleur, la température, le toucher et la pression avec organisation immédiate et involontaire de réponses (modification du RC, de la TA...) même s'il n'y a pas de prise de conscience de la sensation (ex : anesthésie générale sans analgésie).

3.3.2 HYPOTHALAMUS

Il est situé sous le thalamus, couronne le tronc cérébral et forme le plancher du 3^{ème} ventricule. Il est en étroite liaison (anatomique et physiologique) avec l'hypophyse.

Il a pour fonctions :

- * la régulation de l'activité du SNA (système nerveux autonome) en influençant les centres de la TA, du RC, de la respiration et du diamètre pupillaire ;
- * la régulation des émotions (peur, plaisir, colère, rage...) et des réactions végétatives (SNA) qu'elles entraînent ;
- * la régulation de la T° corporelle (centre de thermorégulation) ;
- * la régulation de l'apport alimentaire (centres de la faim et de la satiété) ;
- * la régulation de la soif et de la sécrétion d'ADH = hormone antidiurétique (centre de la soif) en fonction de l'équilibre hydrique via les informations des osmorécepteurs ;
- * la participation à la régulation du cycle veille/sommeil en collaboration avec le tronc cérébral ;
- * la régulation du système endocrinien par
 - la sécrétion d'hormones telles que GH-RH, GH-IH, TRH, CRF, PRF, PIF, LH-RH ;

- la synthèse d'ocytocine et d'ADH (hormone antidiurétique) qui seront stockées dans l'hypophyse postérieure.

3.3.3 EPITHALAMUS

Situé derrière le thalamus, l'épithalamus comprend l'épiphyse, appelée aussi glande pinéale qui sécrète notamment la mélatonine qui est une hormone intervenant dans la régulation du cycle veille/sommeil.

3.3.4 HYPOPHYSE

L'hypophyse ne fait pas partie du diencephale mais ses liens étroits avec l'hypothalamus déterminent l'intérêt de la présenter ici.

Appelée aussi glande pituitaire, elle appartient au système endocrinien. De la grosseur d'un petit pois, elle est située dans la selle turcique de l'os sphénoïde et rattachée à l'hypothalamus par la tige pituitaire, appelée aussi infundibulum.

On lui décrit 2 lobes :

- * Le lobe antérieur, appelé aussi adénohypophyse, est formé de cellules glandulaires qui synthétisent et sécrètent les hormones GH, TSH, ACTH, MSH, PRL, LH et FSH, sous l'influence (+ ou -) des hormones hypothalamiques.
- * Le lobe postérieur, appelé lui neurohypophyse, est formé de tissu nerveux (cellules gliales et axones de neurones hypothalamiques) qui stockent les neurohormones synthétisées au niveau des corps cellulaires situés dans l'hypothalamus : l'ocytocine et l'ADH. Lors de stimulations adéquates, des potentiels d'action dans les neurones hypothalamiques permettent le déversement de l'une ou l'autre de ces hormones dans le liquide interstitiel hypophysaire, son passage dans le lit capillaire qui l'entoure et sa distribution dans tout l'organisme.

3.4 LE TRONC CEREBRAL

Le tronc cérébral est la partie la plus basse de l'encéphale, il est situé entre le diencephale et la moelle épinière, en avant du 4^{ème} ventricule et du cervelet.

Association de substance grise et blanche, on y distingue :

- l'isthme = mésencéphale, dans sa partie supérieure ;
- la protubérance = pont, avec les pédoncules cérébelleux qui font le lien entre le cervelet, le cerveau et la moelle épinière, dans sa partie moyenne ;
- le bulbe dans sa partie inférieure, qui se prolonge par la moelle épinière au niveau du trou occipital.

Le bulbe contient :

- * la substance réticulée qui gère les cycles veille/sommeil ;
- * les centres réflexes vitaux cardiaque, respiratoire et vasomoteur ;
- * d'autres centres réflexes tels que ceux de la déglutition, de la toux, du vomissement, de l'éternuement et du hoquet.

3.5 LE CERVELET

Le cervelet occupe la partie inférieure et postérieure de la cavité crânienne.

Il est situé :

- * derrière le tronc cérébral dont il est séparé par le 4^{ème} ventricule ;
- * sous la tente du cervelet (dure-mère) qui le sépare des lobes occipitaux du cerveau ;
- * et dans la rondeur de l'os occipital.

Il comprend 2 hémisphères latéraux réunis par un vermis central.

De sa surface plissée, vers la profondeur, il présente :

- un cortex de substance grise ;
- des faisceaux de substance blanche ;
- des noyaux centraux de substance grise.

Il est rattaché au tronc cérébral par 3 paires de pédoncules qui permettent l'échange d'informations entre ces structures.

Ses principales fonctions sont :

- Maintien de l'équilibre statique et dynamique, en intégrant les informations en provenance de la sensibilité proprioceptive, du vestibule et des yeux.

L'atteinte de cette fonction provoque, en pathologie, des troubles de la statique sous forme d'oscillations du corps debout et d'une démarche ébrieuse.

- Contrôle de l'activité cérébrale en confrontant les données des commandes cérébrales et celles de la périphérie pour corriger les influx moteurs cérébraux afin d'aboutir à des mouvements coordonnés, précis et harmonieux.

L'atteinte de cette fonction provoque de l'hypermétrie, de l'ataxie, des tremblements lors des mouvements et des troubles de la coordination.

- Régulation des réflexes et du tonus musculaire en analysant les informations proprioceptives.

L'atteinte de cette fonction peut provoquer de l'hypo- ou de l'hypertonie et la disparition des réflexes de soutien et de redressement.

Les voies du cervelet sont directes, ceci signifie que la partie droite du cervelet contrôle l'hémicorps droit et inversement. Cela se fait de manière involontaire.

3.6 LES NERFS CRANIENS

12 paires de nerfs crâniens émergent de l'encéphale par différents trous de la boîte crânienne. Exception faite des nerfs X qui s'étendent jusqu'aux cavités thoraciques et abdominales, les nerfs crâniens n'innervent que la tête et le cou. Ils portent tous un nom et un numéro.

- Nerfs I = olfactifs
* nerfs sensitifs de l'odorat.
- Nerfs II = optiques
* nerfs sensitifs de la vision.
- Nerfs III = oculomoteurs communs
* nerfs surtout moteurs pour les globes oculaires et les releveurs des paupières ;
* fibres $\pi\Sigma$ pour les muscles de la pupille et le muscle ciliaire (cristallin).
- Nerfs IV = pathétiques / Nerfs VI = oculomoteurs externes
* nerfs moteurs pour les mouvements du globe oculaire.
- Nerfs V = trijumeaux
* nerfs sensitifs du visage ;
* nerfs moteurs de la mastication.
Ils sont formés de 3 branches : les nerfs **ophtalmiques, maxillaires et mandibulaires.**
- Nerfs VII = faciaux
* nerfs moteurs du visage, ils dirigent les muscles de l'expression faciale ;
* nerfs sensitifs du goût (langue) ;
* fibres $\pi\Sigma$ pour les glandes lacrymales, nasales et salivaires.
- Nerfs VIII = auditifs
* nerfs sensitifs de l'ouïe et de l'équilibre.
- Nerfs IX = glosso-pharyngiens
* nerfs moteurs de la déglutition ;
* nerfs sensitifs du goût et du pharynx ;
* fibres $\pi\Sigma$ pour les glandes parotides.
- Nerfs X = vagues = pneumogastriques
* nerfs moteurs de la déglutition ;
* nerfs sensitifs du goût ;
* fibres $\pi\Sigma$ motrices et sensitives pour le cœur, les poumons et les viscères abdominaux.
- Nerfs XI = spinaux
* nerfs moteurs pour les muscles du cou et les mouvements de la tête.
- Nerfs XII = hypoglosse
* nerfs moteurs pour les muscles de la langue (mastication, déglutition et parole).

4. MOELLE EPINIÈRE ET NERFS RACHIDIENS

4.1 MOELLE EPINIÈRE

4.1.1 ANATOMIE

La moelle épinière (ME) est la partie du SNC située dans la colonne vertébrale. Elle prolonge le tronc cérébral, depuis le trou occipital jusqu'à la 2^{ème} vertèbre lombaire (L2), ce qui s'explique par le fait que la colonne vertébrale croît plus que la moelle épinière. Elle mesure donc environ 45 cm de long pour un diamètre de 2 cm.

C'est un cylindre aplati d'avant en arrière, d'où émergent les 31 paires de nerfs rachidiens, chaque paire sortant par les trous de conjugaison en regard de chaque vertèbre.

Son extrémité inférieure se termine par une « queue de cheval » qui correspond à la réunion des racines devant sortir en aval de L2 (L2 → S5) et qui cheminent donc dans le canal rachidien jusqu'à leur niveau de sortie respectif.

La ME est donc contenue dans le canal rachidien et elle est entourée des 3 mêmes méninges que l'encéphale :

* la dure-mère (externe) et l'arachnoïde (moyenne) qui se prolongent jusqu'à S2 ;

* la pie-mère (interne) qui s'arrête avec la ME.

Elles se prolongent sur les racines.

On distingue donc les espaces suivants :

- l'espace épidural entre l'os et la dure-mère, rempli de tissu graisseux et de vaisseaux, lieu d'injection pour les anesthésies « péridurales » ;
- l'espace sous-dural entre la dure-mère et l'arachnoïde ;
- l'espace sous-arachnoïdien entre l'arachnoïde et la pie-mère, rempli de LCR et lieu des ponctions lombaires et des rachianesthésies.

En coupe transversale, on distingue,

- au centre, le canal de l'épendyme prolongeant le système ventriculaire cérébral ;
- puis autour, la substance grise (corps neuronaux), en forme de H, avec ses 3 cornes : antérieure/motrice, moyenne/autonome et postérieure/sensitive ;
- et enfin en périphérie, la substance blanche (faisceaux ascendants sensitifs / faisceaux descendants moteurs), divisée en 3 cordons.

La ME présente en outre, un large sillon antérieur et un petit sillon postérieur.

De chaque côté et à chaque niveau de vertèbre,

- part, en avant une racine motrice dont les corps des neurones se trouvent dans la corne antérieure ;

- et arrive, en arrière, une racine sensitive sur laquelle se trouve un ganglion spinal qui réunit les corps cellulaires des neurones sensitifs périphériques.

4.1.2 FONCTIONS

1) TRANSMISSION DES INFLUX NERVEUX

via les faisceaux :

- entre l'encéphale et la périphérie (influx moteurs) ;
- entre la périphérie et l'encéphale (influx sensitifs).

2) CENTRE REFLEXE

Un réflexe est une réponse rapide et automatique à un stimulus.

Les réflexes spinaux, appelés aussi réflexes médullaires sont organisés par la ME elle-même. La plupart des réflexes ne sont ni appris, ni volontaires, mais nous avons souvent conscience du résultat du réflexe car la ME envoie un « compte rendu » des informations au cerveau qui est ainsi averti de ce qui s'est passé.

Un arc réflexe comprennent :

- 1 récepteur pour capter le stimulus et le transformer en influx nerveux ;
- 1 neurone sensitif pour apporter l'influx au centre réflexe ;
- 1 centre d'intégration, ici dans la ME, composé d'1 ou plusieurs synapses ;
- 1 neurone moteur pour emporter l'influx de la réaction motrice en périphérie ;
- 1 effecteur pour exécuter la commande motrice (musculaire ou glandulaire).

D'un point de vue fonctionnel, on distingue :

– Les réflexes somatiques qui stimulent la contraction de muscles somatiques.

- **Le réflexe myotatique ou réflexe d'étirement**

C'est un réflexe qui provoque la contraction d'un muscle lorsque celui-ci est étiré (percussion du muscle ou de son tendon) et l'inhibition des muscles antagonistes.

- **Le réflexe tendineux**

C'est un réflexe qui évite au muscle et à ses tendons des tensions excessives : l'augmentation importante de la tension dans le tendon provoque le relâchement musculaire.

- **Le réflexe de retrait à la douleur**

Il se manifeste par une contraction des muscles fléchisseurs ayant pour effet d'éloigner automatiquement du stimulus douloureux la partie du corps menacée.

– Les réflexes végétatifs ou réflexes autonomes qui concernent les muscles lisses, cardiaques et les glandes en réponse à divers stimuli.

Certains de ces réflexes passent par le bulbe (réflexe de toux, vomissement...).

4.2 NERFS RACHIDIENS, PLEXUS ET NERFS PERIPHERIQUES

Les nerfs rachidiens sont tous des nerfs mixtes : sensitifs et moteurs.

Ils sortent de part et d'autre de chaque niveau de la colonne vertébrale.

Ils sont formés par la réunion des racines antérieure (motrice) et postérieure (sensitive) à la sortie des trous de conjugaison.

Ils sont numérotés d'après leur niveau de sortie et nous avons donc :

- 8 paires de nerfs rachidiens cervicaux (C1 à C8) ;
- 12 paires de nerfs rachidiens dorsaux ou thoraciques (D1 ou Th1 à D12 ou Th12) ;
- 5 paires de nerfs rachidiens lombaires (L1 à L5) ;
- 5 paires de nerfs rachidiens sacrés (S1 à S5) ;
- 1 paire de nerfs rachidiens coccygiens (Co1).

4.2.1 AU NIVEAU DORSAL

Les nerfs rachidiens restent indépendants et forment directement les nerfs intercostaux des mêmes niveaux innervant les parois thoraciques et abdominales.

4.2.2 AUX AUTRES NIVEAUX

Les nerfs rachidiens s'unissent avec ceux des étages supérieurs et inférieurs pour former d'importants plexus d'où partiront les nerfs périphériques (les plus importants sont notés ici).

Le PLEXUS CERVICAL (racines C1 à C4) innerve la tête, le cou et les épaules et donne notamment le nerf phrénique qui innerve le diaphragme.

Le PLEXUS BRACHIAL (C5 à D1) innerve l'épaule et le bras et donne le nerf radial, le nerf médian et le nerf cubital pour l'innervation de l'avant-bras et de la main.

Le PLEXUS LOMBAIRE (L1 à L4) innerve la paroi abdominale et la peau des organes génitaux externes, il donne le nerf crural = fémoral pour la cuisse.

Le PLEXUS SACRE (L4 à S3) innerve les fesses et le périnée (organes génitaux et anus), il donne le nerf sciatique pour la jambe et le pied.

5. FONCTIONS SENSORIELLES ET MOTRICES

5.1 SENSATIONS ET RECEPTEURS SENSITIFS

Le cerveau reçoit en permanence les nombreuses informations sur les changements des milieux internes et externes qui lui sont nécessaires pour amorcer les réponses appropriées et contrôler adéquatement l'homéostasie.

Nous ne sommes conscients que d'une petite partie d'entre elles, l'esprit filtre donc les informations pour éviter la surstimulation et permettre d'autres activités.

La capacité de notre cerveau à percevoir les stimuli est essentielle à notre survie (brûlure → douleur → retrait, obstacle → vision → évitement, déshydratation → soif → boisson...). Toute perte de sensation entraîne une perte d'autonomie.

Pour qu'une sensation soit ressentie, il faut :

- * 1 stimulus (de tout type : lumière, chaleur, pression, énergie mécanique, chimique...);
- * 1 récepteur (de très simple comme les dendrites d'un neurone, à très compliqué comme l'œil);
- * 1 influx nerveux vers l'encéphale (→ cortex pour les sensations conscientes);
- * la conversion de l'influx en sensation par l'encéphale.

Les récepteurs peuvent être des mécanorécepteurs (changement mécanique), des thermorécepteurs (changement de température), des nocicepteurs (douleur), des photorécepteurs (lumière) ou des chimiorécepteurs (changement chimique).

On distingue les :

- Extéro(ré)cepteurs qui sont le plus souvent conscients.

Ils apportent des informations du monde extérieur et sont situés près de la surface corporelle.

Ex : récepteurs pour audition, vision, olfaction, goût, toucher, pression cutanée, température extérieure, douleur cutanée.

- Viscéro(ré)cepteurs = intéro(ré)cepteurs qui sont rarement conscients.

Ils apportent les renseignements sur le milieu interne et sont donc situés dans les vaisseaux sanguins et les viscères.

*Ex : récepteurs pour pression, distension, variation chimique, douleur,
→ fatigue, faim, soif, nausées...*

- Proprio(ré)cepteurs qui sont rarement conscients eux aussi.

Ils apportent des informations sur la position du corps et les mouvements.

Ils sont situés dans les muscles, les tendons, les articulations et l'oreille interne.

Ex : récepteurs pour tension musculaire, position articulaire, équilibre...

Les sensations cutanées sont d'ordre tactile (toucher, pression, vibration), thermique (chaud, froid) et douloureux.

La distribution des récepteurs est variable sur la surface corporelle quant à leur densité.
Toute sensation extrême sera souvent finalement ressentie comme une douleur.

Les sensations somatiques sont souvent bien localisées alors que les sensations viscérales le sont très mal, elles se projettent même parfois à distance (ex : douleur cardiaque ressentie jusque dans l'épaule et le bras gauche).

5.2 VOIES SENSITIVES

Du récepteur périphérique, part un 1^{er} neurone dont le corps cellulaire se trouve dans le ganglion spinal métamérique correspondant.

Ce neurone rejoint la moelle épinière par la racine postérieure puis, localement ou après être remonté au niveau du BULBE, fait synapse avec un 2^{ème} neurone qui passe de l'autre côté et rejoint le THALAMUS où il fait synapse avec un 3^{ème} neurone qui rejoindra le CORTEX PARIETAL (en ce qui concerne les sensations conscientes).

C'est au niveau de la circonvolution « pariétale ascendante », appelée aussi « post-Rolandique », que se trouve l'aire somesthésique (sensations corporelles).

La surface représentant chaque portion de corps est proportionnelle à la quantité de récepteurs qui s'y trouvent.

Les voies sensitives sont donc croisées.

5.3 VOIES MOTRICES

Les voies motrices partent le plus souvent du CORTEX FRONTAL (motricité volontaire), l'aire motrice se trouvant au niveau de la circonvolution « frontale ascendante », appelée aussi « pré-Rolandique ». La surface représentant chaque portion de corps est proportionnelle à la précision du mouvement requise.

De là partent 2 voies parallèles.

5.3.1 FAISCEAU PYRAMIDAL

Le neurone central, appelé aussi neurone pyramidal :

- descend, passe la capsule interne, le BULBE où il change de côté ;
- puis suit le cordon antérieur de la moelle épinière ;
- puis fait synapse avec le neurone périphérique dont le corps cellulaire se trouve dans la CORNE ANTERIEURE du métamère correspondant ;
- qui sortira de la moelle par la RACINE ANTERIEURE pour rejoindre l'organe à innover (effecteur).

C'est une voie croisée et rapide qui gère la **motricité fine et distale**.

5.3.2 FAISCEAU EXTRAPYRAMIDAL

Ici, partant de zones sous-corticales, de nombreux neurones centraux parallèles et en série, rejoignent le neurone périphérique par des voies polysynaptiques.

Cette voie est croisée aussi et gère la **motricité automatique** (tonus musculaire, mouvements automatiques et inhibition des mouvements involontaires).

6. SYSTEME NERVEUX AUTONOME

Le système nerveux autonome (SNA), appelé aussi système neurovégétatif, gère les activités des viscères (muscles lisses, muscle cardiaque et glandes).

Il opère habituellement en dehors du champ de la conscience et de la volonté.

Il est régulé par (= influencé par) des centres situés principalement dans :

- (le cortex (cf. yogi et méditation)) ;
- l'hypothalamus (supervision des émotions, centres de la soif / de la faim / T°..., sécrétions endocriniennes...);
- le tronc cérébral (centres veille/sommeil, cardiaque, vasomoteur, respiratoire, vomissement...);
- la moelle épinière (centre de la miction, de la défécation...).

Le SNA est surtout un système moteur, mais aussi un système sensitif (sensibilité viscérale) dont les neurones aboutissent le plus souvent au niveau de l'hypothalamus.

Il comporte 2 sous-systèmes :

- le système (ortho)sympathique ($\sigma\Sigma$) ;
- le système parasympathique ($\pi\Sigma$).

La plupart des organes innervés par le SNA ont une innervation double ($\sigma\Sigma$ et $\pi\Sigma$), l'un étant excitateur et l'autre étant inhibiteur par rapport à l'activité de l'organe.

C'est grâce à cette innervation antagoniste, que le corps pourra rester en homéostasie.

6.1 COMPARAISON SNS ET SNA

6.1.1 DANS LE SNS

- * Les effecteurs sont les muscles squelettiques.
- * La régulation est principalement volontaire.
- * La voie nerveuse ne comporte qu'1 neurone moteur dont le corps cellulaire se trouve dans la corne antérieure de la moelle épinière (nerfs rachidiens) ou le tronc cérébral (nerfs crâniens).
- * L'action sur l'effecteur est toujours excitatrice.
- * Le neurotransmetteur est l'acétylcholine.

6.1.2 DANS LE SNA

- * Les effecteurs sont les muscles lisses, le muscle cardiaque et les glandes.
- * La régulation est involontaire.
- * La voie nerveuse comporte 1 neurone moteur préganglionnaire dont le corps cellulaire se trouve dans la corne latérale de la moelle épinière ou le tronc cérébral et qui part par la racine antérieure. Il fait synapse dans un ganglion nerveux sympathique avec 1 neurone moteur postganglionnaire.
- * L'action sur l'effecteur peut être excitatrice ou inhibitrice.

* Le neurotransmetteur peut être l'acétylcholine ou la noradrénaline.

Pour la noradrénaline, il y a 3 sortes de récepteurs : α , β_1 (cœur) et β_2 qui ont permis la mise au point de médicaments stimulants ou inhibiteurs plus sélectifs.

6.2 ORGANISATION DU SNA

Les corps des neurones pré-ganglionnaires se trouvent dans le SNC :

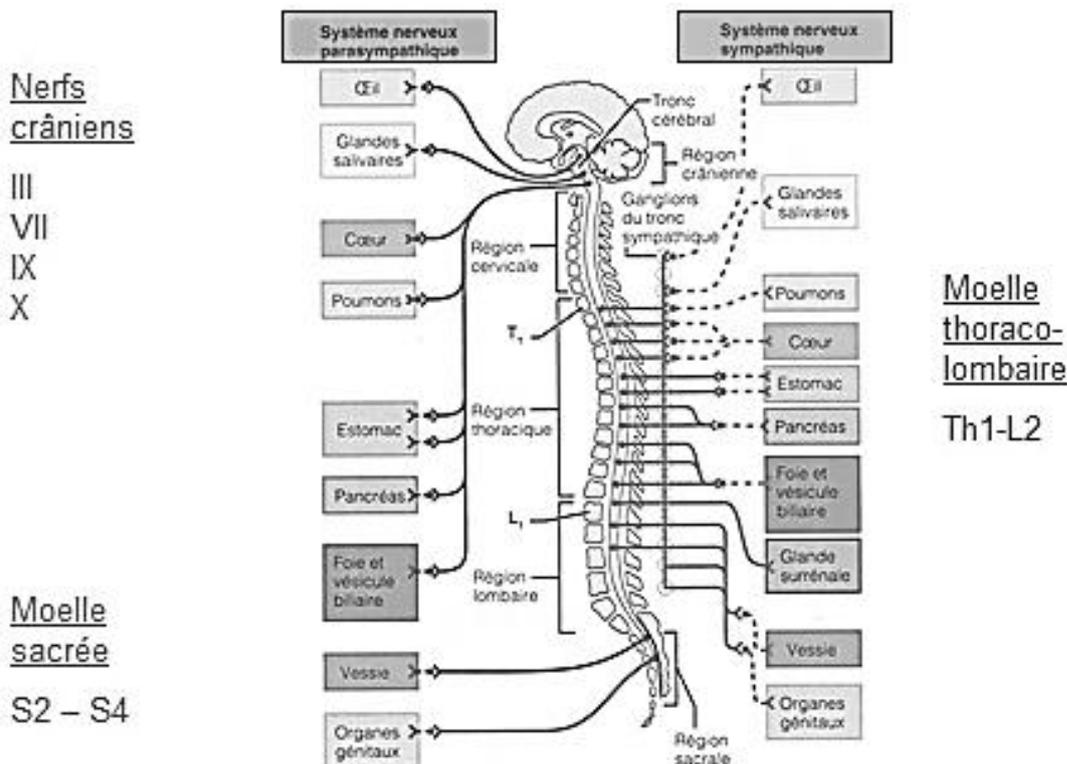
- aux niveaux thoraciques et lombaires pour le système σ ;
- aux niveaux crâniens et sacrés pour le système π .

Les ganglions σ sont situés près de la colonne vertébrale, alors que les ganglions π sont situés près de ou à l'intérieur des viscères innervés.

Dans le SN π , le neurotransmetteur est l'**ACH** tant au niveau de la synapse entre les neurones pré- et postganglionnaire, qu'entre le neurone postganglionnaire et l'effecteur. On parle ici, de système cholinergique.

Dans le SN σ , le neurotransmetteur est l'**ACH** entre les neurones pré- et postganglionnaire, mais la **noradrénaline** entre le neurone postganglionnaire et l'effecteur. On parle ici de système adrénérgique.

6.3 ANATOMIE DU SNA



6.4 CONDITIONS DE MISE EN ŒUVRE DES $\text{SN } \alpha$ ET π

Le $\text{SN}\alpha$ domine dans les situations de stress, peur, colère, excitation et exercice. C'est lui qui, dans des situations d'urgence nous prépare à l'action : la lutte ou la fuite. Il est relié aux processus de **dépense d'énergie**.

Ainsi, globalement, il stimule les fonctions cardiovasculaires et respiratoires tandis qu'il inhibe les fonctions digestives, urinaires et sécrétoires.

Le $\text{SN}\pi$ domine dans les situations neutres, de repos.

Il est relié aux activités qui permettent la **récupération** et l'**entretien de l'énergie corporelle** (tâches routinières, digestion, élimination des déchets...).

Ainsi, globalement, il stimule les fonctions digestives, urinaires et sécrétoires tandis qu'il inhibe les fonctions cardiovasculaires et respiratoires.

6.5 ACTION SUR LES PRINCIPAUX ORGANES

VISCIERE		α	π
Pupille		α	π
Glandes nasales lacrymales salivaires gastro-intestinales bronchiques			
Bronches		β_2	
Cœur		β_1	
Vaisseaux sanguins * peau – viscères * muscles sq. – cœur – cerveau Pression artérielle		α	
Foie Vésicule biliaire			
Estomac - Intestin			
Rein			
Vessie			
Pénis Clitoris - vagin Utérus gravide		α β_2	
Tissu adipeux			
Activité mentale			

SYSTEME CARDIO-VASCULAIRE

1. LE CŒUR

1.1 ANATOMIE

Le système cardiovasculaire a pour fonction d'apporter aux cellules l'oxygène et les nutriments dont elles ont besoin et d'emporter leurs déchets.

Dans ce système :

- Le cœur est la pompe qui permet au sang de circuler dans les vaisseaux.
- Les vaisseaux sont les canalisations où ce sang circule.
- Le sang est le transporteur d'O₂, de CO₂, nutriments, déchets...

Le système cardio-vasculaire est tout le temps en action, en 70 ans de vie, le cœur bat environ 3 milliards de fois.

1.1.1 DIMENSIONS ET SITUATION DU CŒUR

De forme conique, le cœur a la grosseur d'un poing fermé, il mesure 12 à 14 cm de long et pèse 250 à 350 g.

Il est situé dans le médiastin (cavité centrale du thorax, entre les 2 poumons), dans sa partie antérieure et vers le côté gauche, entre la 2^{ème} et la 5^{ème} côte.

Son grand axe a une direction oblique vers le bas, l'avant et la gauche, la pointe du cœur (apex) se trouvant sous le mamelon gauche.

La « base » du cœur est postéro-supérieure droite.

L'apex et le bord droit reposent sur le diaphragme.

1.1.2 ENVELOPPES ET PAROIS DU CŒUR

Le cœur est entouré d'un sac fibro-séreux à double paroi : le péricarde.

Il comporte un feuillet pariétal résistant, fibreux à l'extérieur et séreux à l'intérieur et un feuillet viscéral mince.

Entre les 2, la cavité péricardique contient un liquide séreux lubrifiant pour permettre le glissement des feuillets sans frottement.

Le péricarde a pour fonction de protéger le cœur et de l'amarrer aux structures adjacentes tout en permettant le mouvement lié aux battements.

La paroi du cœur comporte 3 tuniques, de l'extérieur vers l'intérieur :

- * l'épicarde = péricarde viscéral qui est une séreuse ;
- * le myocarde qui est la partie la plus volumineuse et qui est faite de muscle strié cardiaque ;
- * l'endocarde qui est de l'endothélium (EPS en continuité avec l'endothélium des vaisseaux).

La paroi contient aussi un squelette fibreux, fait de tissu conjonctif dense qui sert de point d'attache aux fibres musculaires et qui soutient le pourtour des valvules cardiaques.

1.1.3 CAVITES ET GROS VAISSEAUX



VOIR SCHEMAS DANS LES LIVRES !

Le cœur comporte :

- 4 cavités : oreillette G (OG), oreillette D (OD), ventricule G (VG) et ventricule D (VD) ;
- 2 cloisons (= septum) : inter-auriculaire et inter-ventriculaire ;
- 1 sillon auriculo-ventriculaire ;
- 4 valvules :
 - * mitrale (vM) et tricuspide (vT) entre les oreillettes et les ventricules ;
 - * sigmoïdes aortique (vΣa) et pulmonaire (vΣp) à la sortie des ventricules.

Les oreillettes ont une paroi mince, leur contraction permet le bon remplissage des ventricules.

Le ventricule D a une paroi plus mince que le ventricule G.

L'OD reçoit le sang :

- de la veine cave supérieure (VCS) qui draine tout ce qui est au-dessus du diaphragme ;
- de la veine cave inférieure (VCI) qui draine tout ce qui est en dessous du diaphragme ;
- et du sinus coronaire qui draine le myocarde.

L'OG reçoit le sang des 4 veines pulmonaires (VP).

Du VD part le tronc pulmonaire pour la circulation pulmonaire.

Du VG part l'aorte pour la circulation systémique.

Dans le cœur, il y a 2 circulations distinctes :

- * OD → vT → VD → vΣp → tronc pulmonaire ;
- * OG → vM → VG → vΣa → aorte.

Le cœur comporte donc 2 pompes qui paraissent en parallèle, mais qui travaillent en réalité en série et qui desservent chacune une partie distincte du circuit :

– La circulation pulmonaire, appelée aussi « petite circulation » dont la pompe est le cœur D.

Elle reçoit le sang en provenance de l'organisme et l'envoie vers les poumons pour régénérer le sang du point de vue gazeux (↑ O₂ et ↓ CO₂).

Ici, il faut une **pression faible** pour ne pas abîmer les poumons qui sont fragiles et parce qu'ils sont tout proches. La paroi du VD peut donc être mince.

– La circulation systémique, appelée aussi « grande circulation » dont la pompe est le cœur G.

Elle reçoit le sang en provenance des poumons et l'envoie dans tout l'organisme pour distribuer l'O₂ aux cellules du corps et en reprendre le CO₂ (↓ O₂ et ↑ CO₂).

Ici, il faut une **pression élevée** pour que le sang arrive partout, même contre la pesanteur. La paroi du VG doit donc être épaisse pour être puissante.

Mais si les pressions sont différentes dans les 2 circulations, par contre, les débits doivent être égaux.

1.1.4 VALVULES CARDIAQUES

Les valvules sont faites de tissu fibreux (collagène) recouvert d'endocarde. Leur forme est telle qu'elles ne permettent qu'une circulation à sens unique.

Les valvules s'ouvrent et se ferment de manière passive, grâce à la forme (concave en aval) des valves qui les composent, en fonction des pressions de part et d'autre.

Quand la pression en amont est supérieure à la pression en aval, la valvule s'ouvre.

Quand la pression en aval est supérieure à la pression en amont, la valvule se ferme.

C'est un fonctionnement assez simple.

Elles sont normalement étanches. Toute petite fuite (insuffisance de fermeture) ou tout petit rétrécissement (insuffisance d'ouverture) va entraîner une augmentation du travail cardiaque.

Les valvules sigmoïdes aortiques et pulmonaires sont faites de 3 valves dont la concavité est tournée vers les vaisseaux. Elles s'ouvrent pendant la contraction des ventricules (systole). Elles se ferment pour empêcher le sang de refluer vers les ventricules pendant le remplissage du cœur (diastole).

Les valvules auriculo-ventriculaires ont leur concavité tournée vers les ventricules, elles s'ouvrent quand les ventricules sont relâchés et se remplissent (diastole).

Elles se ferment quand les ventricules se contractent.

La valvule tricuspide, à droite, est faite de 3 valves (= cuspidés) tandis que la mitrale (appelée aussi bicuspide), à gauche, n'en est faite que de 2.

Le bord libre de chaque valve est rattaché au myocarde ventriculaire par des cordons de fibres collagènes appelés **piliers** qui se tendent et empêchent le retournement des valves (comme un parapluie) lorsque la pression ventriculaire est à son maximum.

1.1.5 CIRCULATION CORONAIRE

La circulation coronaire est la circulation qui assure l'irrigation des parois du cœur lui-même. Comme le cœur travaille tout le temps, il consomme beaucoup d'O₂ et rejette beaucoup de CO₂. Cette circulation est donc privilégiée et importante (le cœur ne représente que 1/200^{ème} du poids du corps mais draine 1/20^{ème} du volume sanguin).

Une artère coronaire D part de la base de l'aorte et parcourt le sillon auriculo-ventriculaire. Elle donne 1 rameau marginal D qui descend le long du bord D et se termine en 1 rameau interventriculaire postérieur.

Une artère coronaire G issue de l'aorte elle aussi, donne 1 rameau interventriculaire antérieur et 1 rameau circonflexe qui longe le sillon auriculo-ventriculaire.

Les grosses artères cheminent au niveau de l'épicaarde et donnent de nombreuses branches qui pénètrent dans le myocarde pour l'irriguer.

Des collatérales peuvent se développer en cas de bouchage progressif de l'une d'elles afin de minimiser le risque d'infarctus du myocarde (mort de cellules myocardiques suite à l'interruption prolongée de l'irrigation avec formation d'une cicatrice fibreuse non contractile).

Dans le myocarde, l'apport sanguin est intermittent et suit le rythme cardiaque, la circulation est présente pendant la diastole et réduite pendant la systole par compression des vaisseaux par les fibres musculaires contractées.

Tout le sang des vaisseaux capillaires myocardiques est repris par les veines coronaires qui suivent plus ou moins, en sens inverse, le trajet des artères et se réunissent en 1 sinus coronaire qui se jette dans l'oreillette D.

1.2 PHYSIOLOGIE

Dans le cœur, les phénomènes électriques et les contractions qui en résultent sont spontanés. Ils ne nécessitent pas de stimulation nerveuse extrinsèque : un cœur dénervé continue à battre.

Les stimulations nerveuses extrinsèques existent pourtant, mais elles ne servent qu'à réguler le rythme et la force de contraction cardiaque pour les adapter aux nécessités.

Cette activité spontanée provient de l'existence d'un système cardionecteur, qui représente 1% des cellules myocardiques.

Il est fait de cellules NON contractiles spécialisées, capables de produire des potentiels d'action de manière rythmique et de les propager dans le muscle cardiaque.

Elles dépolarisent ainsi les cellules musculaires contractiles et stimulent donc leur contraction.

Ce système rend le cœur autonome.

1.2.1 FONCTIONNEMENT DU SYSTEME CARDIONECTEUR

Dans le système cardionecteur, les cellules n'ont pas un potentiel de repos stable : elles subissent une dépolarisation lente spontanée appelée potentiel de pace-maker, par ↓ perméabilité au K^+ alors que la perméabilité au Na^+ est normale → entrée lente de Na^+ qui dépolarise la membrane (-60 → -40 mV).

Lorsque la dépolarisation arrive au seuil d'excitabilité (-40 mV), il y a déclenchement d'un potentiel d'action (-40 → +20 mV) par ouverture brusque des canaux à Ca^{++} et entrée de Ca^{++} . Cette dépolarisation est capable de se propager tout le long du système cardionecteur et de dépolariser les cellules musculaires contractiles à son contact, ce qui aboutit à leur contraction.

Ensuite, il y a repolarisation des cellules cardionectrices, par ouverture des canaux à K^+ et sortie de K^+ , jusqu'à -60 mV.

S'en suit la repolarisation des cellules musculaires et donc le relâchement de celles-ci.

La structure du système cardionecteur est la suivante :

- Le nœud sinusal (= nœud de Keith et Flack) se trouve dans l'oreillette droite.
C'est le centre rythmogène, c'est-à-dire notre pace-maker naturel.
Il présente des dépolarisations spontanées à un rythme de 100/min (ramené à 70/min suite à l'action du SNA $\pi\Sigma$ au repos).
C'est lui qui impose son rythme au cœur entier parce que c'est lui qui est le plus rapide.
On dit que nous sommes normalement en **rythme sinusal**.
La stimulation (dépolarisation) se propage dans les oreillettes par les jonctions entre les cellules musculaires, puis arrive au
- Nœud auriculo-ventriculaire (= nœud d'Aschoff-Tawara) qui se trouve dans le bas de l'oreillette D et a, lui, une fréquence propre de 50/min.
Il ne peut s'exprimer qu'en cas de défaillance du nœud sinusal.
Ensuite, la dépolarisation parcourt le
- Faisceau de His (= faisceau auriculo-ventriculaire) qui se trouve dans la cloison interventriculaire.
Il a une fréquence propre de 35/min.
Il se sépare en 2 branches :
- Les branches D et G du faisceau de His qui parcourent le reste de la cloison interventriculaire.
Elles ont une fréquence propre de 30/min.
- Les fibres de Purkinje se distribuent dans l'apex et les parois des ventricules pour y stimuler la contraction musculaire.

A chaque niveau, les fréquences propres, plus basses, ne peuvent s'exprimer, parce qu'elles arrivent en période réfractaire. Leur existence permet néanmoins un « rattrapage » en cas de défaillance des niveaux supérieurs, mais à un rythme plus faible et donc moins efficace.

1.2.2 CONTRACTION MUSCULAIRE

La contraction musculaire est le fait des 99 % de cellules myocardiques restantes.
Celles-ci ont un potentiel de repos stable, elles sont de type muscle strié involontaire.

Les cellules sont courtes, épaisses, ramifiées et mononucléées.
Elles sont reliées entre elles par des jonctions cellulaires appelées disques intercalaires qui permettent le passage du courant de dépolarisation pour une contraction « en bloc » du myocarde et empêchent les cellules de se détacher les unes des autres pendant la contraction.

Le muscle cardiaque a de gros besoins en O_2 du fait de son travail en continu et de sa respiration qui ne se fait que selon le mode aérobie.

Le potentiel d'action dans le système cardionecteur dépolarise la membrane des myocytes contractiles qui sont à leur contact, et y provoque un potentiel d'action par ouverture des canaux

à Na^+ et entrée de Na^+ .

Ce potentiel d'action se propage le long de la cellule et d'une cellule à l'autre via les disques intercalaires et permet la libération de Ca^{++} dans le cytoplasme (à partir du liquide interstitiel et du réticulum endoplasmique).

Le Ca^{++} active le glissement de l'actine et de la myosine et provoque la contraction musculaire. Dès lors, les canaux à Na^+ se referment, il y a repompage du Ca^{++} dans le RE et ouverture des canaux à K^+ avec sortie de K^+ , ce qui provoque la repolarisation et la décontraction musculaire.

La contraction myocardique a 4 propriétés qui la différencient du muscle squelettique :

- Elle répond à la loi du tout ou rien pour le cœur entier.

Le potentiel d'action passant d'une cellule à l'autre, les cellules ne sont pas autonomes les unes par rapport aux autres.

- Les cellules musculaires ont une période réfractaire beaucoup plus longue, ce qui empêche les contractions tétaniques, c'est-à-dire maintenues qui feraient obstacle à l'effet de pompe nécessaire au bon fonctionnement cardiaque.

- La stimulation vient du système cardionecteur et non des nerfs extrinsèques.

- L'énergie dépend de la respiration aérobie seule.

En conclusion, le système cardionecteur permet l'automatisme cardiaque, il dirige et synchronise l'activité cardiaque.

1.2.3 ELECTROCARDIOGRAMME

L'électrocardiogramme = ECG enregistre l'activité électrique des cellules myocardiques, c'est-à-dire les courants (dépolarisation / repolarisation) engendrés et propagés dans le cœur et non son activité mécanique même si cette dernière dépend de la première.

Pour ce faire, on utilise 12 dérivations standard.

Un ECG typique comporte :

- 1 onde P qui est le témoin de la dépolarisation des oreillettes à partir du nœud sinusal.

Elle est de faible amplitude et dure 0.08 sec.

Elle précède la contraction auriculaire de 0.1 sec.

- 1 intervalle PQ (ou PR) de 0.16 sec qui correspond à l'intervalle de transmission des courants des oreillettes aux ventricules.

- 1 complexe QRS de grande amplitude et de forme compliquée qui correspond au cheminement des courants dans les ventricules et qui masque la repolarisation des oreillettes.

Il dure 0.08 sec et sera suivi du relâchement auriculaire et de la contraction ventriculaire.

- 1 intervalle QT de 0.36 sec qui correspond à l'intervalle entre le début de la dépolarisation et le début de la repolarisation.

- 1 onde T d'amplitude moyenne et d'une durée de 0.16 sec.

Elle correspond à la repolarisation ventriculaire et qui engendre le relâchement des ventricules.

1.2.4 REVOLUTION CARDIAQUE

L'activité cardiaque est une succession de :

- systole = contraction pour l'éjection du sang de la cavité ;
- diastole = relâchement pour le remplissage de la cavité ;
- systole ;
- diastole...

On appelle révolution cardiaque la succession des phénomènes mécaniques suivants :

- systole auriculaire ;
- systole ventriculaire et diastole auriculaire ;
- diastole ventriculaire.

Les activités auriculaires et ventriculaires ne sont pas simultanées mais les activités gauches et droites des mêmes niveaux le sont.

L'activité cardiaque étant ininterrompue, c'est par convention que l'on fait commencer la révolution cardiaque au début de l'onde P de l'ECG (phénomène électrique).

On se rappellera que les phénomènes électriques relevés sur l'ECG précèdent toujours de peu les phénomènes mécaniques de l'activité cardiaque puisque ce sont eux qui les provoquent (la cause précède l'effet).

On part donc de la fin de la PHASE 1a (remplissage ventriculaire).

Les oreillettes et les ventricules sont en diastole, les pressions auriculaires et ventriculaires sont basses, le sang provenant de la circulation remplit les oreillettes puis les ventricules.

Les valvules auriculo-ventriculaires sont ouvertes parce que la pression dans les oreillettes est supérieure à celle des ventricules.

Les valvules sigmoïdes sont fermées parce que la pression dans les ventricules est inférieure à celle des gros troncs artériels (aorte et tronc pulmonaire).

Arrive l'onde P qui dépolarise les oreillettes et va donc provoquer leur contraction, PHASE 1b (contraction auriculaire) avec systole auriculaire et donc vidange des oreillettes et fin de remplissage des ventricules.

Les valvules n'ont pas changé.

L'onde P est suivie du complexe QRS qui entraîne :

- La repolarisation des oreillettes qui va provoquer leur relâchement (diastole auriculaire) et permettre leur remplissage jusqu'à la prochaine phase 1b.
- La dépolarisation des ventricules qui va provoquer leur contraction (systole ventriculaire) avec successivement :

* ↑ pression dans les ventricules avec fermeture des valvules auriculo-ventriculaires (pression dans les ventricules supérieure à la pression dans les oreillettes),

PHASE 2a (contraction isovolumétrique) puisque toutes les valvules sont fermées ;

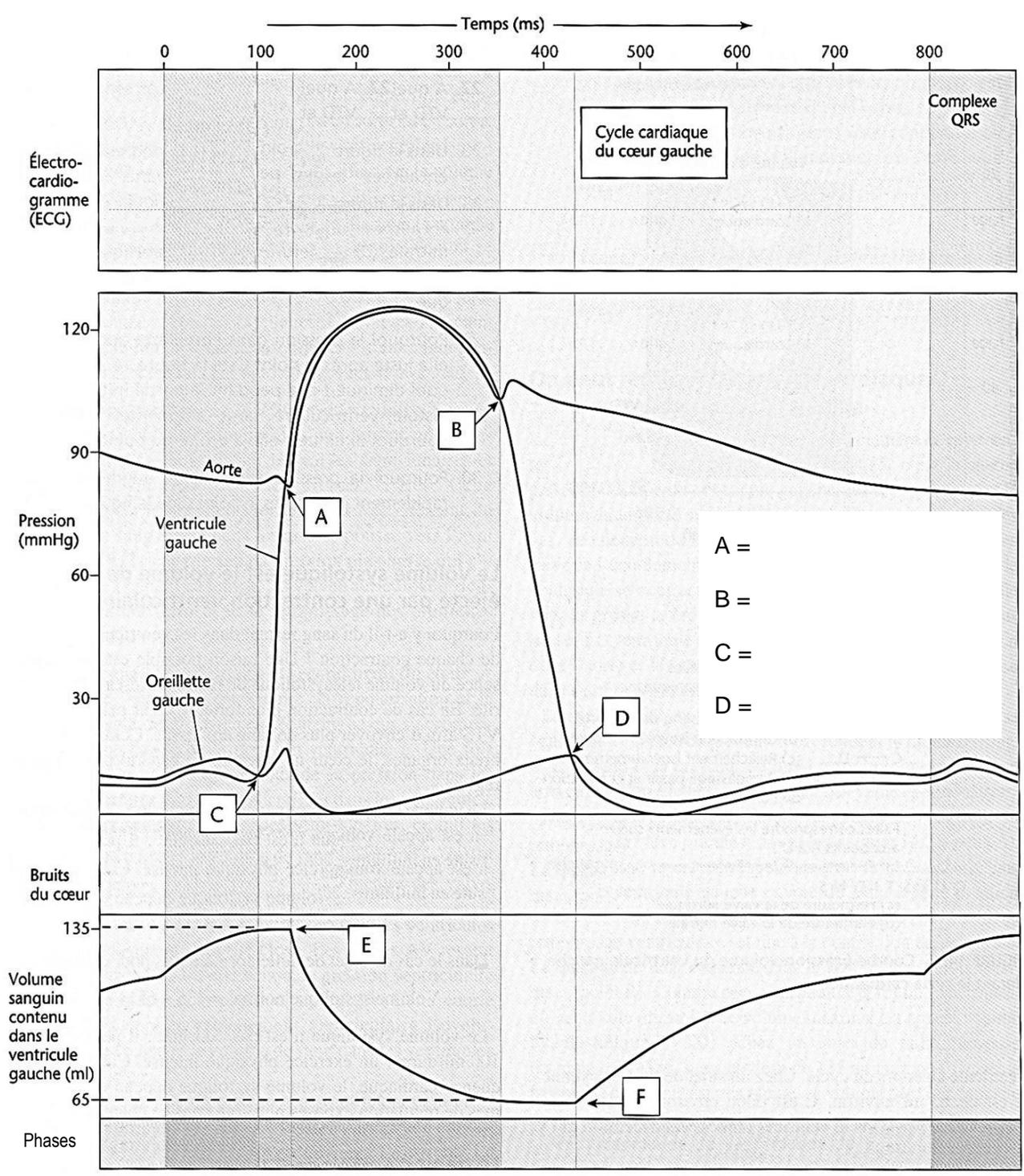
* puis ouverture des valvules sigmoïdes dès que la pression dans les ventricules dépasse la pression dans les gros troncs artériels, PHASE 2b (éjection ventriculaire).

Le complexe QRS se poursuit par l'onde T de repolarisation ventriculaire qui entraînera le relâchement ventriculaire (diastole ventriculaire) avec :

- ↓ de la pression dans les ventricules et fermeture des valvules sigmoïdes puisque la pression dans les ventricules va devenir inférieure à celle des gros vaisseaux artériels, PHASE 3 (relaxation isovolumétrique) puis ;
- ouverture des valvules auriculo-ventriculaires dès que la pression dans les ventricules deviendra inférieure à celle des oreillettes qui sont en phase de remplissage, PHASE 1a (remplissage ventriculaire).

Remarques :

- Quand on ne précise pas, « systole » et « diastole » correspondent à « systole ventriculaire » et « diastole ventriculaire ».
La systole s'étend donc du début de la phase 2a à la fin de la phase 2b.
La diastole s'étend, elle, du début de la phase 3 à la fin de la phase 1b.
- La diastole (2/3 du temps) dure toujours plus longtemps que la systole (1/3 du temps).
- La circulation du sang dans le cœur se fait en fonction des pressions.
Le sang s'écoule toujours des plus hautes pressions vers les plus basses pressions.
- Les variations de pression proviennent de l'alternance des contractions et des relâchements musculaires des cavités, elles provoquent l'ouverture et la fermeture des valvules qui orientent aussi la circulation du sang.
- Le fait que la contraction auriculaire précède la contraction ventriculaire permet un meilleur remplissage de ce dernier.



Etat O

V

v. AV

v. Σ

1.2.5 BRUITS DU CŒUR

Ce sont les bruits audibles pendant une auscultation au stéthoscope.

A chaque révolution cardiaque, on peut entendre 2 bruits que l'on nomme B1 et B2 et qui donnent une sonorité « poum – tac – poum – tac... ».

Ces bruits sont produits par la fermeture des valvules cardiaques :

* **B1** correspond à la **fermeture des valvules auriculo-ventriculaires**.

Il s'entend donc au début de la systole ventriculaire.

* **B2** correspond à la **fermeture des valvules sigmoïdes**.

Il s'entend donc au début de la diastole ventriculaire.

L'ouverture des valvules est normalement inaudible.

En cas de pathologies valvulaires, ces bruits peuvent augmenter ou diminuer, changer de tonalité, se dédoubler... Des bruits supplémentaires peuvent apparaître, notamment des souffles qui témoignent du fait que le sang rencontre des obstacles à son écoulement ou est l'objet de turbulences. Chez l'enfant et l'adolescent, on peut rencontrer un souffle physiologique, systolique, doux qui donne une auscultation de type « poum – pff – tac – poum – pff - tac... ». Les autres souffles sont pathologiques.

1.2.6 DEBIT CARDIAQUE ET REGULATION

Le débit cardiaque (DC) est la quantité de sang éjecté par chaque (1) ventricule en 1 minute.

Le DC gauche = DC droit puisque les 2 « cœurs » sont en série en circuit fermé.

DC = Fréquence Cardiaque (FC) × Volume Systolique (Vol Syst)

Le volume systolique est le volume de sang éjecté à chaque battement.

Il est proportionnel à la force de contraction du ventricule et correspond environ à 60% du volume ventriculaire en fin de diastole (volume télédiastolique).

Volume Systolique = volume télédiastolique – volume télésystolique

= 120 ml – 50 ml = 70 ml dans les conditions normales.

Donc, DC = 75 battements/min × 70 ml/battement

= 5250 ml/min ≈ 5 l/min (ce qui correspond ± à la quantité totale de sang d'un adulte).

Le DC varie en fonction des besoins :

Il augmente à l'effort et à l'émotion (stress), par augmentation de la fréquence cardiaque et par augmentation du volume systolique sous l'influence :

- de la stimulation orthosympathique ;
- de l'augmentation du remplissage ventriculaire.

En effet, quand les cellules myocardiques sont plus étirées en fin de diastole, elles augmentent automatiquement leur force de contraction (loi de Starling).

Réserve cardiaque = DC maximum – DC de repos

Dans des conditions normales, le DC maximum est $\pm 4 \times$ plus grand que le DC de repos. Chez les athlètes, il peut atteindre $7 \times$ le DC de repos, par développement du cœur et augmentation du volume systolique.

Ceci explique pourquoi ces athlètes ont une FC de repos beaucoup plus basse.

Le DC est régulé par le SNA :

- Le repos stimule le $SN_{\pi\Sigma}$ qui stimule le centre cardio-inhibiteur qui, via le nerf vague (NC X), ralentit la FC $\rightarrow \downarrow$ DC.
- Le stress stimule le $SNo\Sigma$ qui stimule le centre cardio-accélérateur qui accélère la FC et augmente la contractilité et donc le volume systolique $\rightarrow \uparrow\uparrow$ DC.

Au repos, le $\pi\Sigma$ domine et il existe donc un « tonus vagal » qui \downarrow la fréquence naturelle du nœud sinusal de 100/min à 75/min.

On appelle :

- effet chronotrope, un effet sur la fréquence du nœud sinusal ;
- effet dromotrope, un effet sur la vitesse de conduction intracardiaque ;
- effet inotrope, un effet sur la force de contraction.

Il existe d'autres mécanismes régulateurs :

1) Les BARORECEPTEURS

- Le réflexe sinocarotidien (à partir des barorécepteurs carotidiens), et le réflexe aortique (à partir des barorécepteurs aortiques) :
 \uparrow Pression Artérielle (PA) \rightarrow stimulation centre cardio-inhibiteur $\rightarrow \downarrow$ FC et force de contraction
 $\rightarrow \downarrow$ DC $\rightarrow \downarrow$ PA jusqu'à PA normale.

Et inversement :

- \downarrow PA \rightarrow stimulation centre cardio-accélérateur $\rightarrow \uparrow$ FC et force de contraction
 $\rightarrow \uparrow$ DC $\rightarrow \uparrow$ PA jusqu'à PA normale.

Ces réflexes permettent la régulation de la pression artérielle et notamment lors des changements de position.

Ex : quand on se lève, la \downarrow de PA dans la tête est annulée par le réflexe sinocarotidien, ce qui évite un vertige ou une syncope par manque d'irrigation cérébrale.

- Les réflexes de Bainbridge et Mac Dowall (à partir des barorécepteurs de l'OD et des VC) :
 \uparrow pression OD \rightarrow stimulation du centre cardio-accélérateur $\rightarrow \uparrow$ FC et force de contraction
 $\rightarrow \uparrow$ DC $\rightarrow \downarrow$ stagnation du sang dans le cœur $\rightarrow \downarrow$ pression OD jusqu'au retour à la normale.

- 2) La REGULATION CHIMIQUE fait appel aux hormones surtout : l'adrénaline augmente la FC et la force de contraction.
- 3) L'AGE et le SEXE interviennent eux aussi sur la FC: la FC est de 140/min à la naissance et diminue progressivement ensuite, les femmes ont une FC > hommes.
- 4) La TEMPERATURE implique une augmentation de 10 battements/min pour chaque degré supplémentaire de température centrale.

En conclusion, on voit que tout ce qui influence la FC et/ou le volume systolique, peut influencer le DC.

2. LES VAISSEAUX SANGUINS

2.1 CARACTERISTIQUES GENERALES

La circulation sanguine commence et finit au cœur.

Il existe 3 catégories de vaisseaux sanguins : les artères, les capillaires et les veines.

Les contractions cardiaques chassent le sang dans les gros troncs artériels qui partent des ventricules, ceux-ci se divisent en vaisseaux de diamètre inférieur : artères, artérioles puis capillaires.

A partir de là, le sang est ramené au cœur par des vaisseaux de plus en plus gros qui proviennent de la réunion des précédents : les veinules, les veines et puis les gros troncs veineux qui se jettent dans les oreillettes et la boucle est bouclée.

Les artères et les veines sont des conduits, mais ni rigides, ni statiques.

Les capillaires sont les lieux des échanges entre le sang et les cellules du corps, via le liquide interstitiel ; ils ont donc des parois très fines adaptées à leur fonction.

2.1.1 STRUCTURE DES PAROIS VASCULAIRES

La plupart des vaisseaux sont faits de 3 couches (tuniques), autour d'une lumière centrale.

La tunique interne, appelée intima est un endothélium (épithélium pavimenteux simple) en continuité avec l'endocarde.

Elle a une surface lisse pour minimiser les frottements lors du passage sanguin.

La tunique moyenne, appelée média est une tunique faite de cellules musculaires lisses disposées en anneaux et de fibres élastiques.

Les cellules musculaires sont sous la dépendance du SNA qui peut créer une vasodilatation (↑ du diamètre vasculaire) ou une vasoconstriction (↓ diamètre), ce qui aura un effet sur le débit sanguin local et la pression artérielle.

La média est la couche la plus épaisse dans les artères.

La tunique externe, appelée adventice est faite de tissu conjonctif avec de nombreuses fibres collagènes entrelacées pour protéger le vaisseau et le solidariser aux structures voisines.

Cette couche est parcourue par des fibres nerveuses et les vasa vasorum (vaisseaux nourriciers de la paroi des vaisseaux qui a, elle aussi, besoin d'O₂ et de nutriments).

2.1.2 ARTERES

Les artères véhiculent le sang du cœur vers les organes, quelle que soit la nature de ce sang : les artères périphériques contiennent du sang bien oxygéné tandis que les artères pulmonaires en contiennent du peu oxygéné.

Plus on avance vers les capillaires et plus leur diamètre diminue et leur paroi s'affine, mais les changements, bien que classifiés, sont en réalité continus.

On distingue :

* Les artères élastiques :

Ce sont les plus grosses artères (ex : aorte et ses ramifications).

Elles sont donc situées près du cœur et leur paroi est épaisse.

Elles tiennent leur nom de la présence de nombreuses fibres élastiques dans leur tunique.

Ce sont des conduits à faible résistance qui peuvent absorber et compenser les grandes variations de pression entre la systole et la diastole.

Pendant la systole, l'arrivée du sang sous haute pression provoque leur dilatation.

Lors de la diastole, elles reviennent à leur diamètre initial, ce qui permet au sang de continuer à circuler.

On constate ainsi que dans les artères des personnes jeunes, le **flux est plus ou moins continu** pendant toute la révolution cardiaque, ce qui n'est plus le cas dans les vaisseaux durcis par l'artériosclérose.

A chaque révolution cardiaque, l'alternance systole, diastole crée une onde de pression (= le pouls) qui se transmet à l'arbre artériel et que l'on peut sentir en comprimant un peu les artères superficielles, ce qui permet d'évaluer facilement le RC.

* Les artères musculaires :

Elles viennent ensuite, leur diamètre est plus faible.

Leur tunique moyenne est prépondérante avec de nombreuses fibres musculaires et moins de fibres élastiques. Ce sont elles qui ont le rôle principal dans les phénomènes de **vasoconstriction** et **vasodilatation** et donc de **régulation de la PA**.

* Les artérioles :

Elles ont un diamètre < 0.3 mm.

Plus elles sont petites, plus leur adventice disparaît et plus les fibres musculaires se font rares.

Les plus petites ont un endothélium et une seule couche de cellules musculaires.

Leur fonction est de **réguler le flux sanguin dans les lits capillaires** selon les besoins, grâce à leur vasomotricité influencée par le SNA et aux caractéristiques chimiques locales.

2.1.3 CAPILLAIRES ET LITS CAPILLAIRES

Les capillaires sont des vaisseaux microscopiques dont le diamètre ne permet que le passage d'à peu près un globule rouge à la fois, ils ont une longueur d'environ 1 mm.

La plupart des tissus sont d'autant plus riches en capillaires qu'ils sont très actifs.

Ils manquent toutefois dans le tissu épithélial, le cartilage, la cornée et le cristallin.

Les capillaires permettent l'accès direct à la circulation de presque toutes les cellules.

Ils ont une paroi réduite à sa plus simple expression : 1 endothélium qui leur permet une excellente adaptation à leur fonction d'**échange** entre le sang et le liquide interstitiel.

On distingue :

- Les capillaires continus (les plus abondants) qui ont un revêtement continu avec des jonctions serrées \pm complètes entre les cellules endothéliales.
- Les capillaires fenestrés ou discontinus où il existe des espaces entre les cellules et des pores dans les cellules pour faciliter le passage des liquides et des petites molécules (ex : dans l'intestin grêle, les glandes endocrines, le rein...).
- Les sinusoïdes où les voies de passage sont encore plus larges. Ils peuvent laisser passer des cellules et des grosses protéines (ex : dans le foie, la rate, la moelle osseuse...).

On appelle lits capillaires, des réseaux de capillaires, comprenant :

- 1 artériole terminale ;
- 1 métartériole avec des sphincters précapillaires ;
- des capillaires ;
- 1 veinule postcapillaire.

(! voir schéma dans les livres)

Selon les nécessités (activité métabolique du tissu), il y a 2 voies possibles pour le sang :

* Le tissu est au repos, les sphincters sont fermés :

artériole \rightarrow métartériole \rightarrow veinule, avec 1 circulation capillaire minimale.

* Le tissu est actif, les sphincters sont ouverts :

artériole \rightarrow métartériole \rightarrow capillaires \rightarrow veinule, avec 1 circulation capillaire importante.

2.1.4 VEINES

Les veines ramènent le sang des capillaires vers le cœur. Le sang qu'elles contiennent est pauvre en O_2 et riche en CO_2 dans la circulation périphérique mais riche en O_2 et pauvre en CO_2 dans la circulation pulmonaire.

Plus on se rapproche du cœur, plus le diamètre des veines augmente et plus leur paroi s'épaissit. Leur nombre diminue parce qu'elles se regroupent progressivement.

Les veinules proviennent de la réunion des capillaires, les plus petites n'ont qu'1 endothélium et 1 adventice fait de quelques fibroblastes.

Les veines ont, elles, les 3 tuniques.

Leur paroi est moins épaisse que celle des artères et leur lumière est au contraire plus grande, ce qui leur donne une fonction de **réservoir sanguin** (elles peuvent contenir jusqu'à 65% du volume sanguin).

Leur média contient peu de fibres musculaires et élastiques et elles ont donc tendance à s'affaisser dès qu'elles contiennent moins de sang.

Leur adventice est, lui, plus développé.

Habituellement, elles ne sont que partiellement remplies de sang, ce qui implique une pression basse et la nécessité d'une adaptation anatomique pour qu'elles puissent ramener tout le sang au cœur : les valvules sont des replis concaves vers l'aval qui font saillie dans la

lumière et empêchent le reflux du sang, particulièrement au niveau des membres où la force de pesanteur, en position debout, s'oppose au retour veineux.

On appelle sinus veineux (dure-mère, coronaire), des veines aplaties constituées d'1 seul endothélium et qui sont soutenues par les tissus environnants.

2.1.5 DISTRIBUTION DU SANG DANS LES TERRITOIRES

Pour 1 volume total de ± 5 l de sang, il y en a environ :

- 60% dans les veines ;
- 15% dans les artères ;
- 10% dans les vaisseaux pulmonaires ;
- 10% dans le cœur ;
- 5% dans les capillaires.

2.2 PHYSIOLOGIE DE LA CIRCULATION

En résumé,

- le cœur est la pompe du circuit ;
- les artères des conduits élastiques ;
- les artérioles des conduits de résistance ;
- les capillaires des lieux d'échange ;
- les veines des réservoirs.

2.2.1 DEBIT - PRESSION SANGUINE - RESISTANCE

$$D = \frac{\Delta P}{R}$$

Le débit sanguin (D) est le volume de sang qui s'écoule par unité de temps (litre/minute), dans 1 vaisseau, dans 1 organe ou dans le système entier.

Les débits locaux varient beaucoup en fonction des besoins.

Le débit dans le système entier = débit cardiaque, est assez constant au repos (± 5 l/min).

La pression sanguine (P) est la force exercée par le sang par unité de surface de paroi vasculaire (mm Hg), c'est une pression hydrostatique.

Une pression de 120mm Hg est la pression exercée par une colonne de 120mm Hg de haut.

Ce sont les différences de pression entre les différentes parties du système vasculaire qui font avancer le sang dans le sens haute pression → basse pression.

ΔP représente la différence de pression entre l'amont et l'aval de la partie de système considérée pour le calcul du débit.

La résistance périphérique (R) est la force qui s'oppose à l'écoulement du sang.

Elle provient de la friction du sang sur les parois vasculaires.

La résistance périphérique est fonction de :

- La longueur des vaisseaux (fixe) : résistance ↑ si longueur ↑.
- La viscosité du sang (± fixe) : résistance ↑ si viscosité ↑.
- Du **diamètre des vaisseaux** (très variable pour les artères) : résistance ↑ si diamètre ↓.

2.2.2 PRESSION ARTERIELLE SYSTEMIQUE

$$P = D \times R \quad (\text{loi de Poiseuille})$$

Tout liquide propulsé par une pompe dans un circuit fermé, circule sous pression, plus le liquide est près de la pompe, plus la pression est grande.

Donc : pression artérielle > pression capillaire > pression veineuse.

Lors de la systole, le ventricule gauche (VG) expulse le sang dans l'aorte et lui donne une énergie cinétique. Le sang étire les parois élastiques de l'aorte et on obtient la pression aortique **maximale**, appelée pression artérielle systolique (PAs).

Elle vaut environ 120 mm Hg et reflète la force de contraction du VG.

Lors de la diastole du VG, la pression aortique baisse, il y a fermeture des valvules Σ aortiques, ce qui empêche le sang de refluer vers le VG. Les parois de l'aorte reprennent leur forme initiale grâce à leur élasticité.

On obtient alors la pression aortique **minimale**, appelée pression artérielle diastolique (PAd).

Elle vaut 70 à 80 mm Hg et reflète la résistance vasculaire périphérique.

Dans ce processus, on voit que les artères élastiques jouent le rôle de pompes auxiliaires passives en accumulant le sang et l'énergie cinétique pendant la systole et en la restituant pendant la diastole.

Elles servent ainsi de « réservoirs de pression » et permettent le maintien de l'écoulement sanguin et d'une certaine pression pendant la diastole.

On peut calculer la pression artérielle moyenne (PAm), c'est-à-dire celle qui propulse le sang dans les tissus pendant toute la révolution cardiaque :

$$PAm = \frac{2 PAd + 1 PAs}{3} = PAd + \frac{PAs - PAd}{3} \approx 90 \text{ mm Hg}$$

Pression différentielle = PAs – PAd.

2.2.3 GRADIENT DE PRESSION SYSTEMIQUE

La pression systémique est maximale dans l'aorte, ce qui dirige l'écoulement du sang, elle diminue ensuite progressivement pour devenir minimale (proche de 0 mm Hg) dans l'oreillette D.

Dans le système artériel, la pression est haute, elle fluctue pendant le cycle cardiaque, mais de moins en moins à mesure que les vaisseaux se rétrécissent.

Le gradient de pression est important : on passe de ± 100 mm Hg à ± 35 mm Hg.

Ainsi lorsqu'une artère est lésée, le sang jaillit fort et par intermittence, au rythme de la fréquence cardiaque.

Dans le système veineux, la pression est basse, elle ne fluctue plus (à cause de la stabilisation par les artérioles et les capillaires).

Le gradient de pression est faible : on passe de ± 15 mm Hg à ± 0 mm Hg.

Lorsqu'une veine est lésée, le sang s'écoule plus doucement et de manière continue.

2.2.4 FACTEURS FAVORISANT LE RETOUR VEINEUX

□ Le gradient de pression veineuse

Il est souvent trop bas pour provoquer, à lui seul, le retour veineux, d'autant plus si la force de pesanteur s'y oppose (ex : membres inférieurs en position debout).

□ La pompe respiratoire

A l'inspiration, le diaphragme se contracte et descend, cela :

- \uparrow la pression abdominale et comprime les veines qui s'y trouvent.

Grâce aux valvules veineuses unidirectionnelles, le sang est poussé vers le cœur.

- \downarrow la pression intrathoracique et permet la dilatation des veines qui s'y trouvent.

Le sang est aspiré vers le cœur.

Le retour veineux est donc plus important pendant l'inspiration que pendant l'expiration, voilà pourquoi la fréquence cardiaque est un peu plus rapide pendant l'inspiration que pendant l'expiration, le cœur ayant plus de sang à pomper.

□ La pompe musculaire

La contraction des muscles squelettiques entraîne la compression des veines périphériques et donc la remontée du sang vers le cœur grâce aux valvules unidirectionnelles.

En cas d'alitement ou de séjour au fauteuil, le manque de contractions musculaires au niveau des membres inférieurs favorise la stagnation sanguine et la formation de thromboses veineuses.

En cas de station debout prolongée, les veines ne bénéficient pas de ce mécanisme non plus et la stagnation sanguine alliée à la force de pesanteur facilite l'apparition d'œdème au niveau des chevilles.

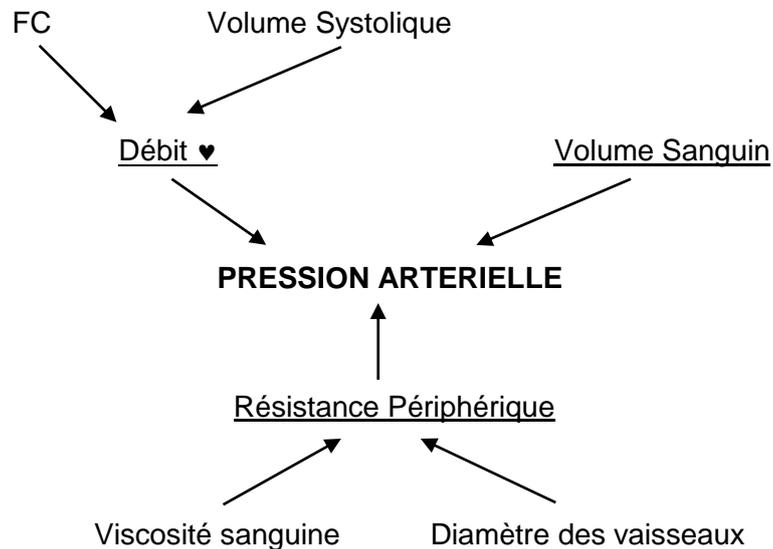
2.2.5 FACTEURS INFLUENÇANT LA PRESSION ARTERIELLE

$$P = D \times R \quad (\text{loi de Poiseuille})$$

La pression artérielle dépend donc du débit cardiaque (et donc de la fréquence cardiaque et du volume systolique) et de la résistance périphérique (et donc du diamètre des vaisseaux et de la viscosité sanguine). Elle dépend aussi du volume sanguin total (mais celui-ci étant

normalement constant, il n'intervient qu'en cas de pathologie : déshydratation, hémorragie, perfusions trop abondantes...).

NB : En cas de modification d'un des facteurs, des réajustements dans les autres facteurs tentent d'en contrebalancer les effets.



La pression artérielle étant directement proportionnelle au débit cardiaque, tous les facteurs influençant le débit cardiaque vus plus haut, pourront influencer aussi la pression artérielle.

2.2.6 REGULATION DE LA PRESSION ARTERIELLE

1) MECANISMES NERVEUX

Centre vasomoteur

Ce centre est situé dans le bulbe rachidien.

Il stimule la vasoconstriction des artéioles, ce qui \uparrow la résistance périphérique et \uparrow donc la PA. Ce centre a une activité basale qui correspond au **tonus vasomoteur** normal, en cas de \downarrow de son activité, il y aura donc vasodilatation.

Barorécepteurs

Les barorécepteurs se situent dans le sinus carotidien, l'aorte et les grosses artères du cou et du thorax.

En cas d' \uparrow de la PA, ils inhibent le centre vasomoteur, ce qui provoque une vasodilatation et donc une \downarrow de la PA.

Et inversement.

Ils s'opposent ainsi aux brusques variations de la PA.

Ils agissent aussi sur les centres cardio-accélerateurs et cardio-inhibiteurs (cf. supra).

Chimiorécepteurs

Les chimiorécepteurs sont situés dans la crosse de l'aorte et les carotides.

En cas d'↑ CO₂ ou ↓ O₂ ou ↓ pH, ils stimulent le centre vasomoteur et la respiration pour améliorer le retour sanguin et ↑ les échanges pulmonaires.

Centres cérébraux supérieurs

Le SNoΣ, stimulé par le stress et l'effort, stimule le centre vasomoteur, ce qui ↑ la PA (+ action sur le centre cardioaccélérateur).

Le SNπΣ, stimulé par le repos, inhibe le centre vasomoteur, ce qui ↓ la PA (+ action sur le centre cardioinhibiteur).

2) MECANISMES HORMONAUX

Le stress stimule la production d'adrénaline et de noradrénaline par la surrénale, hormones qui stimulent le centre vasomoteur et ↑ la PA.

La ↓ PA stimule la sécrétion d'ADH, ce qui ↓ la diurèse, provoque une rétention d'eau et de Na⁺ et ↑ donc la PA.

3) MECANISMES RENAUX

L'↑ du volume sanguin et de la PA favorisent l'↑ de la diurèse, ce qui ↓ le volume sanguin et la PA. Et inversement.

La ↓ PA stimule le SRAA (système rénine – angiotensine – aldostérone) qui stimule le centre vasomoteur et ↑ la PA.

En conclusion, physiologiquement, tout va dans le sens d'une PA stable et constamment adaptée aux nécessités.

2.2.7 REGULATION DES DEBITS SANGUINS LOCAUX

Le débit sanguin conditionne :

- l'apport d'O₂ et de nutriments aux cellules ;
- l'élimination du CO₂ et des déchets des cellules ;
- les échanges gazeux dans les poumons ;
- l'absorption des nutriments dans le tube digestif ;
- l'épuration du sang par les reins.

Une bonne adéquation entre les apports et les besoins de chaque cellule est donc primordiale et dépend du débit sanguin local.

La vitesse d'écoulement du sang est inversement proportionnelle à la surface totale de coupe des vaisseaux du même genre.

La vitesse du sang dans les artères > la vitesse du sang dans les veines > la vitesse du sang dans les capillaires.

Cette vitesse minimale dans les capillaires, estimée à 0,03 cm/sec, est idéale pour les nombreux échanges qui y ont lieu.

Quand les besoins généraux de l'organisme sont augmentés, il y a augmentation du débit sanguin global, c'est-à-dire du débit cardiaque, comme nous l'avons vu plus haut.

Mais à chaque moment, avec ou sans variation de ce débit cardiaque, il y a adaptation du débit sanguin local aux besoins locaux (autorégulation).

Dans la plupart des organes, chaque fois qu'il y a \downarrow O₂ et \downarrow nutriments dans un tissu (témoins d'un travail accru), cela crée une **vasodilatation** par relâchement des sphincters précapillaires, et donc une \uparrow du débit local et donc une \uparrow de l'apport en O₂ et en nutriments. Ce phénomène permet de garantir l'homéostasie locale et de répartir au mieux le débit sanguin dans les organes qui travaillent le plus.

En conformité avec sa fonction, le poumon a une autorégulation inversée (voir système respiratoire).

Dans les organes dits nobles (cerveau, cœur, rein) cette autorégulation est tellement développée qu'elle permet de maintenir un débit sanguin adapté aux besoins, même en cas de variation de la PA systémique (dans les limites physiologiques), grâce à

- une vasoconstriction quand la PA \uparrow pour réduire le débit sanguin et revenir à la normale,
- une vasodilatation quand la PA \downarrow pour augmenter ce même débit.

Dans les autres organes, le débit varie proportionnellement à la PA.

2.2.8 ECHANGES CAPILLAIRES

1) ECHANGE DES GAZ RESPIRATOIRES, DES NUTRIMENTS ET DES DECHETS

Ces échanges se font par diffusion, c'est-à-dire selon un gradient de concentration ou de pression partielle entre les cellules, le liquide interstitiel (LI) et le sang.

L'O₂ et les nutriments passent donc du sang vers le LI puis vers les cellules puisqu'ils sont apportés par le sang aux cellules qui les consomment sans cesse et dans lesquelles ils sont donc peu concentrés.

Le CO₂ et les déchets passent des cellules qui les produisent et où ils sont donc plus concentrés, vers le LI et le sang où ils sont en plus basse concentration parce qu'ils sont constamment emportés.

2) ECHANGES LIQUIDIENS

Ces échanges se font en fonction des pressions, l'eau passe des hautes pressions vers les basses pressions. Plusieurs pressions entrent en jeu ici :

- Pression hydrostatique (force exercée par un liquide contre sa paroi) :

PHc = pression hydrostatique capillaire.

C'est la pression exercée par le sang sur la paroi du vaisseau capillaire.

Cette pression s'exerce du dedans vers le dehors et équivaut à

* 35 mm Hg dans la portion proximale (artérielle) du capillaire ;

* 17 mm Hg dans sa portion distale (veineuse).

PHi = pression hydrostatique interstitielle.

C'est la pression exercée par le liquide interstitiel sur la paroi du vaisseau capillaire.

Cette pression s'exerce du dehors vers le dedans mais est quasi nulle et donc négligeable.

- Pression osmotique / oncotique (force liée à la présence de grosses molécules dans un liquide, molécules qui ne peuvent pas diffuser et qui attirent donc le liquide à elles).

Elle est ± équivalente à la pression oncotique puisque essentiellement liée aux protéines non diffusibles.

POc = pression osmotique capillaire.

Elle équivaut à 26 mm Hg et s'exerce du dehors vers le dedans.

Elle est égale sur toute la longueur du capillaire puisque liée à des molécules non diffusibles.

POi = pression osmotique interstitielle.

Elle équivaut à 1 mm Hg et s'exerce du dedans vers le dehors.

Globalement (voir schémas), nous avons donc le bilan suivant :

AU DEBUT DU CAPILLAIRE :

Pression de sortie = PHc + POi = 35 + 1 = 36

Pression d'entrée = POc = 26

Total = pression de sortie de 10 mm Hg.

A LA FIN DU CAPILLAIRE :

Pression de sortie = PHc + POi = 17 + 1 = 18

Pression d'entrée = POc = 26

Total = pression d'entrée de 8 mm Hg.

Le liquide tend donc :

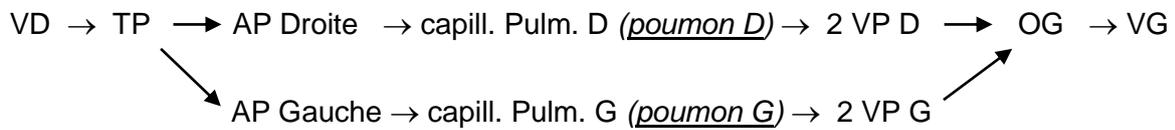
- à sortir du capillaire dans sa partie proximale, ce qui facilite la distribution de l'O₂ et des nutriments ;

- à rentrer dans sa partie distale, ce qui facilite la reprise du CO₂ et des déchets.

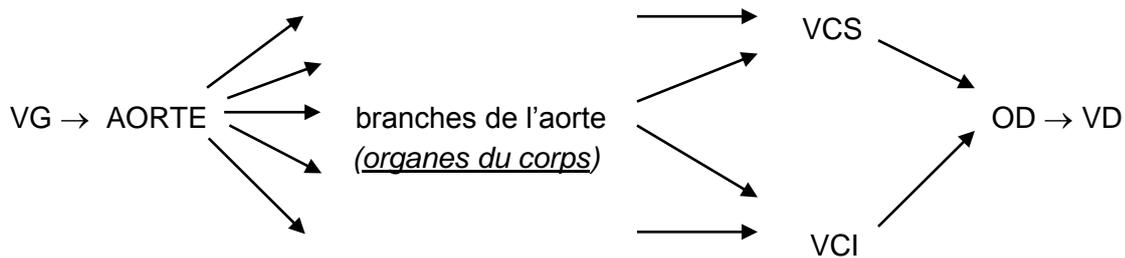
On notera que la pression de sortie dépasse un peu la pression de rentrée, une petite perte de liquide sanguin viendra donc gonfler l'espace interstitiel. Cela explique la nécessité du système lymphatique, chargé entre autres de drainer ce surplus liquidien et de le ramener vers le système sanguin pour éviter la formation d'œdème.

2.3 ANATOMIE DU SYSTEME VASCULAIRE

2.3.1 CIRCULATION PULMONAIRE

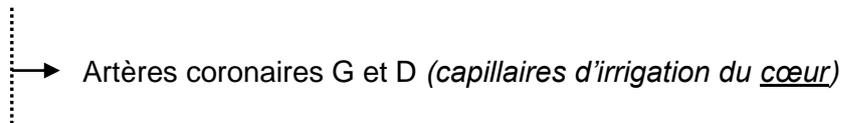


2.3.2 CIRCULATION SYSTEMIQUE : SYSTEME ARTERIEL

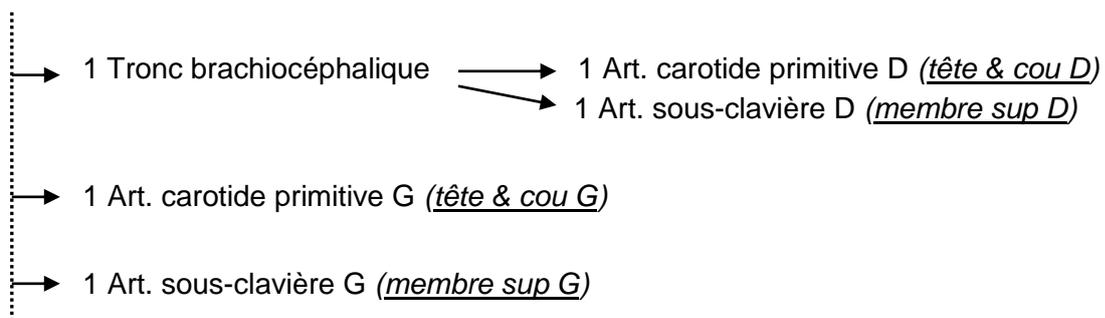


BRANCHES DE L'AORTE

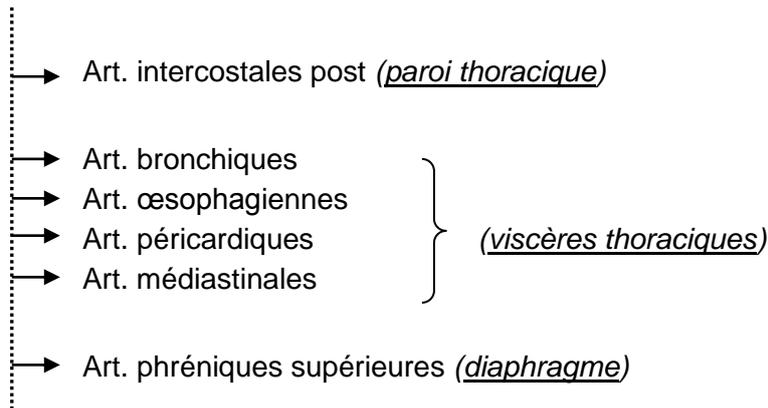
AORTE ASCENDANTE



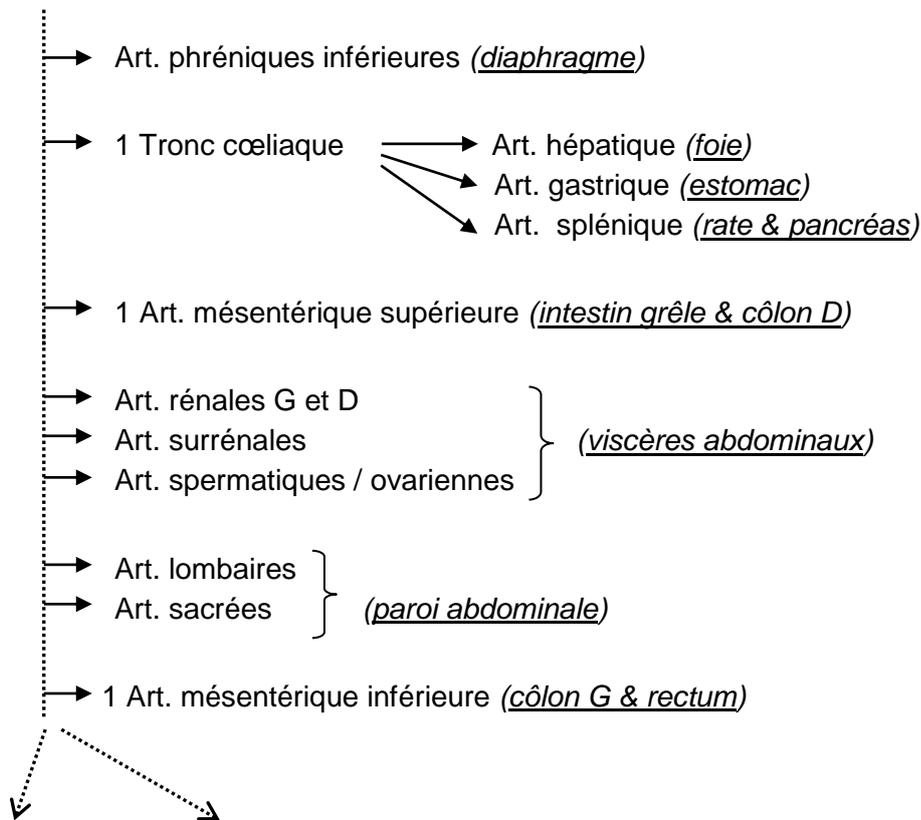
CROSSE de l'AORTE



AORTE THORACIQUE

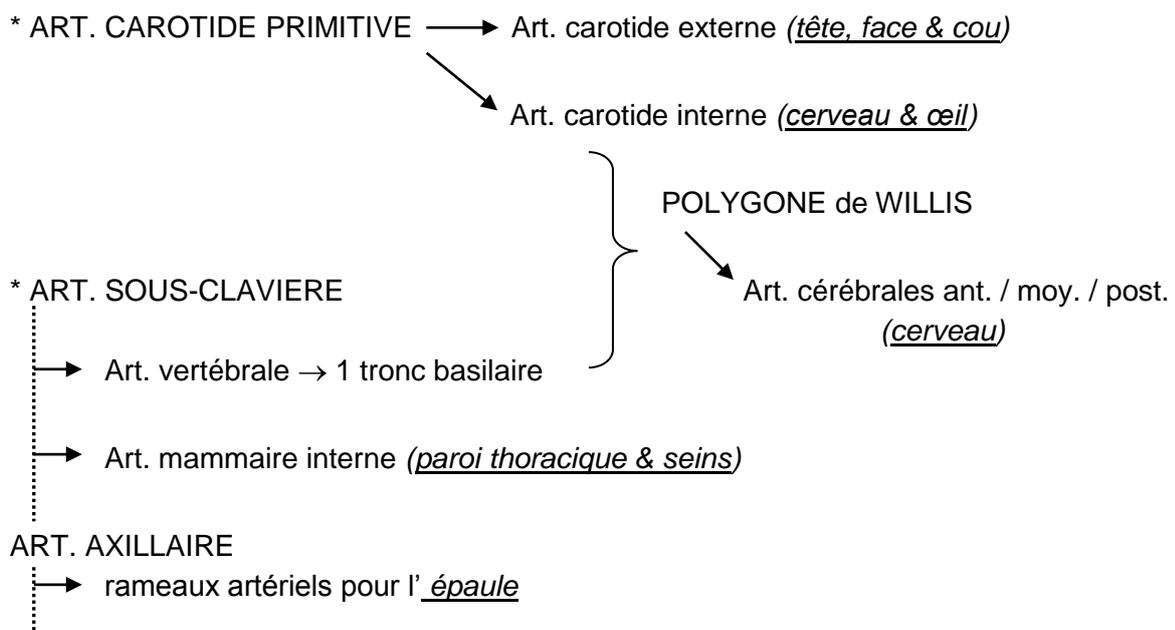


AORTE ABDOMINALE



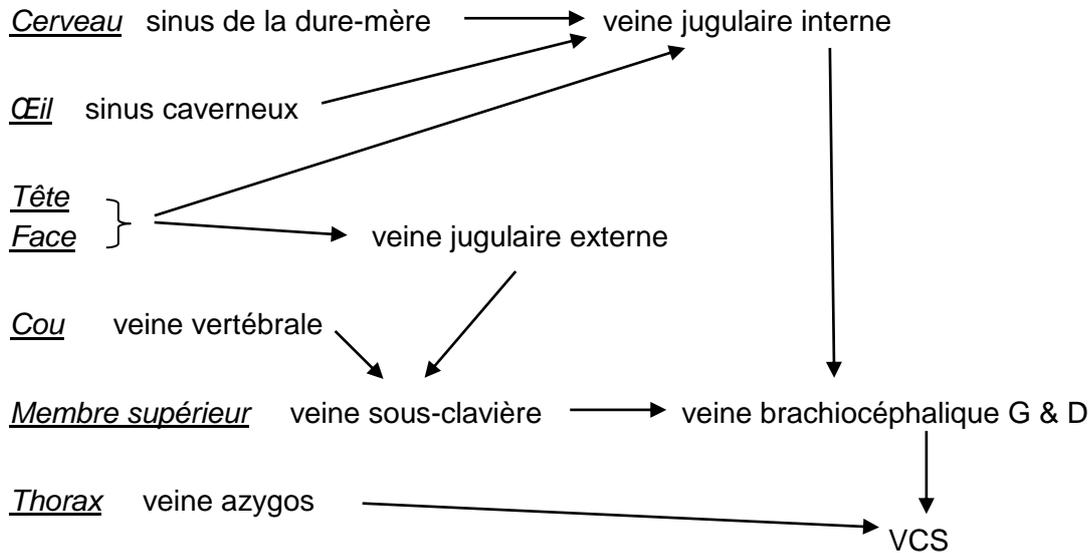
L'aorte bifurque en ARTERES ILIAQUES PRIMITIVES G et D.
= carrefour aortique au niveau de L4.

ARTERES de la TETE, du COU et des MEMBRES SUPERIEURS

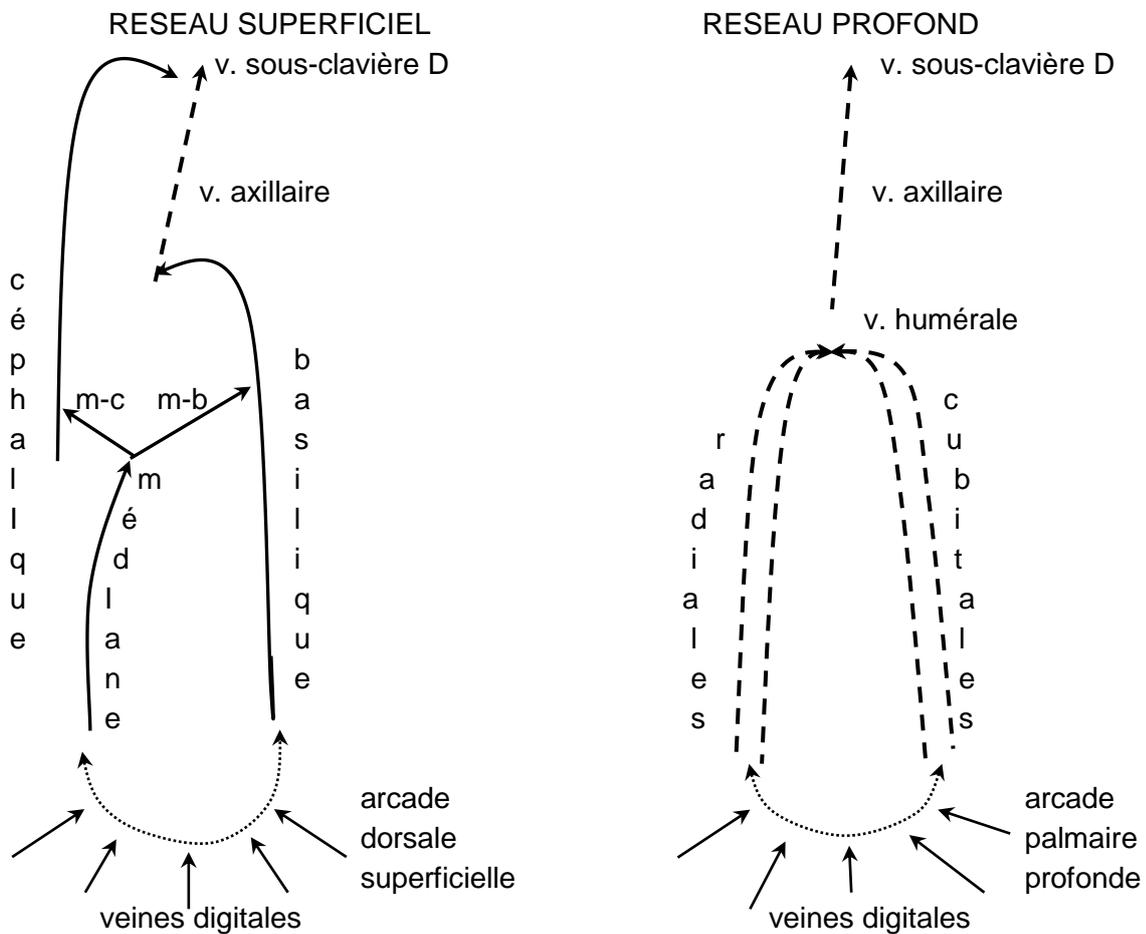


2.3.3 CIRCULATION SYSTEMIQUE : SYSTEME VEINEUX

TERRITOIRE de la VCS



VEINES du MEMBRE SUPERIEUR



Les veines drainent le sang sortant des capillaires de la région où elles se trouvent :

- capillaires des doigts → veines digitales ;
- de la main → arcades dorsales et palmaires ;
- l'avant-bras → veines cubitales, radiales, basiliques, médianes et céphaliques ;
- le bras → veines humérales et céphaliques ;
- l'épaule → veines axillaires.

On notera qu'il existe de nombreuses variations anatomiques et de nombreuses anastomoses entre les différentes veines.

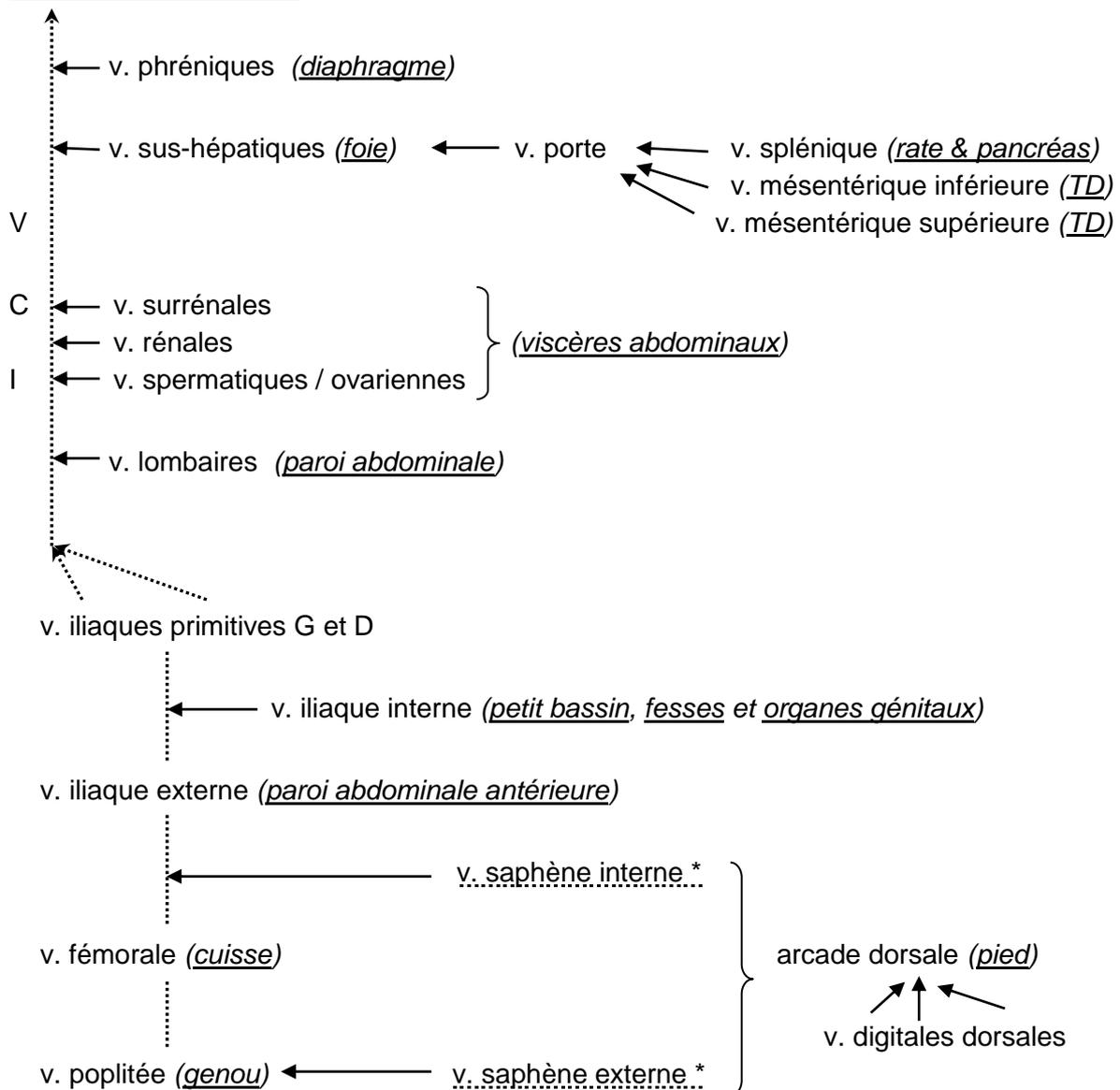
Au niveau de l'avant-bras,

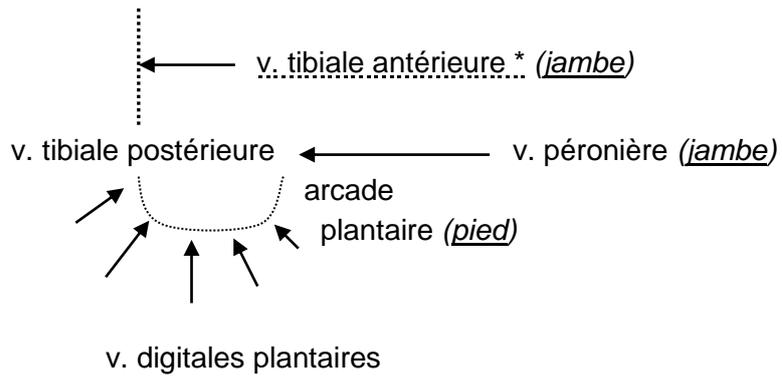
la veine basilique est aussi appelée « cubitale superficielle » ;

la veine médiane « radiale superficielle » ;

et la veine céphalique « radiale accessoire ».

TERRITOIRE de la VCI





Les veines * (saphènes et tibiale antérieure) sont superficielles.

3. LE SYSTEME LYMPHATIQUE

Le système lymphatique comporte 2 parties :

- Les vaisseaux lymphatiques ramènent le surplus de liquide interstitiel.
Ce liquide est filtré au niveau des ganglions lymphatiques rencontrés.
- Les tissus lymphoïdes assurent la défense de l'organisme et la résistance aux infections.

3.1 VAISSEAUX LYMPHATIQUES

Comme nous l'avons vu, au niveau des capillaires sanguins, la pression de sortie étant plus importante que la pression de rentrée, il y a un surplus de liquide interstitiel (± 3 litres/jour), contenant quelques protéines, qui tend à s'accumuler.

Il est donc nécessaire que celui-ci soit repris et retourné vers la circulation sanguine pour garder une volémie constante et donc une PA constante.

Ce liquide, appelé lymphe, est capté par les vaisseaux lymphatiques, dans un système à sens unique qui le retourne vers le système veineux et donc vers le cœur.

3.1.1 CAPILLAIRES LYMPHATIQUES

Ce sont des vaisseaux microscopiques en forme de cul-de-sac qui cheminent entre les cellules et les capillaires sanguins.

Ils sont naturellement très perméables aux liquides et aux protéines, ce qui permet un passage à sens unique du LI vers le capillaire lymphatique.

En cas de nécessité, ils peuvent aussi drainer des débris cellulaires, des microbes ou des cellules cancéreuses, mais ceux-ci seront normalement retenus au niveau des ganglions lymphatiques interposés sur leur chemin.

Au niveau du tube digestif, on trouve des capillaires lymphatiques spécialisés appelés vaisseaux chylifères qui transportent le chyle, qui contient les lipides absorbés au niveau du tube digestif.

3.1.2 VAISSEAUX COLLECTEURS LYMPHATIQUES

Les vaisseaux collecteurs lymphatiques ressemblent à des veines mais dont la paroi est plus mince, avec plus de valvules et d'anastomoses.

Ils suivent plus ou moins le trajet des vaisseaux sanguins superficiels et profonds.

Ils se réunissent en troncs lymphatiques, lombaires, intestinaux, broncho-médiastinaux, sous-claviers et jugulaires, pour se terminer par :

- la grande veine lymphatique droite qui draine la lymphe du bras D, des parties droites de la tête et du thorax ;
- le canal thoracique, plus gros, qui draine tout le reste du corps.

Il débute au niveau de L2 par un renflement appelé « citerne de Pecquet » qui draine les membres inférieurs, le bassin et le tube digestif.

Ces 2 vaisseaux se jettent respectivement dans la veine sous-clavière D et dans la veine sous-clavière G.

3.1.3 CIRCULATION LYMPHATIQUE

La circulation lymphatique est :

- unidirectionnelle (vaisseaux borgnes, valvules...);
- sans pompe (si ce n'est les contractions rythmiques des muscles lisses qui entourent les 2 derniers troncs);
- et à pression très faible.

Elle est localement proportionnelle à l'activité physique et aux mouvements.

Elle est donc entravée par l'immobilité ou la chirurgie de curage ganglionnaire (essentiellement liée à la chirurgie cancérologique), ce qui favorise le développement d'un œdème local encore appelé lymphœdème.

3.2 GANGLIONS LYMPHATIQUES

Les ganglions lymphatiques sont des filtres interposés le long des vaisseaux lymphatiques. Ils sont très nombreux mais très petits et entourés de tissu conjonctif et sont donc peu visibles lorsqu'ils sont normaux.

Il en existe des accumulations superficielles, accessibles à la palpation aux niveaux :

- de l'aîne : ganglions inguinaux ;
- du creux axillaire : ganglions axillaires ;
- du cou : ganglions sous-maxillaires.

Les ganglions contiennent des :

- Macrophages, qui peuvent phagocyter et détruire les microbes, les cellules cancéreuses et les débris cellulaires.

Ils permettent aux ganglions de jouer un rôle de **filtre** qui épure la lymphe avant de la ramener vers le torrent sanguin.

- Lymphocytes, qui assurent l'immunité contre les microbes et les cellules étrangères. Ils jouent donc le rôle de **défense immunitaire**.

Les ganglions normaux sont réniformes, ils ont environ 2 cm de long, ils sont entourés d'une capsule de conjonctif dense.

On leur distingue des vaisseaux lymphatiques afférents et efférents. Ces derniers étant moins nombreux, la lymphe stagne dans le ganglion, ce qui laisse le temps aux cellules de remplir leur rôle.

Néanmoins, l'épuration n'est pas toujours totale au niveau du ganglion : si les microbes (1° cas) ou les cellules cancéreuses (2° cas) sont nombreux, ils ne sont pas toujours tous

détruits et peuvent même s'y multiplier, ce qui provoque dans le premier cas un ganglion rouge, gonflé et douloureux et dans le deuxième, une métastase ganglionnaire.

Des cellules indésirables vont donc pouvoir s'échapper de ce premier relais et quitter le ganglion par le vaisseau efférent.

Elles rencontreront d'autres ganglions sur leur chemin qui devraient normalement les arrêter.

Dans certains cas, elles pourraient arriver jusqu'à la circulation sanguine et provoquer une atteinte généralisée.

3.3 AUTRES ORGANES LYMPHOÏDES

3.3.1 RATE

La rate est un organe mou, très irrigué, qui ressemble à une éponge.

Elle est grosse comme un poing et est située à gauche, sous le diaphragme, en dehors de l'estomac, près des côtes.

Elle est irriguée par l'artère splénique et est drainée par la veine splénique.

Sa capsule est mince et le risque d'hémorragie interne en cas de traumatisme est grand, une splénectomie peut alors s'avérer nécessaire.

Elle purifie le sang qui y passe : les macrophages qu'elle contient, ôtent et détruisent les vieux GR, les vieilles plaquettes, les débris cellulaires, les cellules étrangères, les microbes, les toxines...

C'est un siège de prolifération des lymphocytes qui y jouent leur rôle immunitaire.

De plus, elle stocke le fer, en attendant sa réutilisation par la moelle osseuse pour la production des GR et elle emmagasine les plaquettes.

Chez le fœtus, elle participe à l'érythropoïèse jusqu'à la naissance, rôle qu'elle peut retrouver plus tard en cas d'anémie importante.

3.3.2 THYMUS

Le thymus est une glande bilobée dont le rôle est important dans l'enfance.

Il est situé à la base du cou, dans le médiastin antérieur.

C'est lui qui rend compétents les lymphocytes T pour l'immunité cellulaire.

Sa taille ↑ pendant l'enfance, se stabilise pendant l'adolescence et ↓ ensuite, pour quasiment disparaître chez la personne âgée. Son activité évolue parallèlement.

3.3.3 AMYGDALES

Les amygdales sont situées au niveau du pharynx, elles forment l'anneau de Waldeyer, elles sont au nombre de 3 paires :

- les amygdales PHARYNGEES, appelées aussi végétations, dans le nasopharynx ;
- les amygdales PALATINES, entre les piliers du voile du palais ;
- les amygdales LINGUALES, dans la partie postérieure de la langue.

Elles recueillent et détruisent de nombreux microbes venant de l'air et des aliments.
Elles participent donc aux défenses immunitaires.

3.3.4 PLAQUES DE PEYER

Ce sont des amas de tissu lymphoïde contenant des macrophages et des lymphocytes, situés dans l'intestin grêle et l'appendice vermiculaire qui ont aussi un rôle de défense de l'organisme.

* * *

SYSTEME RESPIRATOIRE

1. INTRODUCTION

1.1 FONCTIONS DU SYSTEME RESPIRATOIRE

Le système respiratoire a pour fonctions principales de :

- fournir l'O₂ à l'organisme ;
 - le débarrasser de son CO₂ ;
- pour la respiration cellulaire qui permet la production d'ATP.

1.2 PROCESSUS RESPIRATOIRES

La respiration comprend 4 processus fondamentaux :

- La ventilation pulmonaire qui est la circulation d'air dans les poumons pour renouveler sans cesse le gaz dans les alvéoles pulmonaires.

- La respiration externe qui représente les échanges gazeux entre l'air alvéolaire et le sang des capillaires pulmonaires.

L'O₂ passe des alvéoles vers le sang et le CO₂ du sang vers les alvéoles, par diffusion et chacun, donc, dans le sens de son gradient de concentration / pression partielle.

- Le transport des gaz respiratoires qui représente le transport de l'O₂ et du CO₂ entre les poumons et les cellules du corps, c'est une fonction assurée par le sang et le système cardiovasculaire.

- La respiration interne qui représente les échanges gazeux entre le sang des capillaires de la circulation systémique et les cellules corporelles.

L'O₂ passe du sang vers les cellules et le CO₂ des cellules vers le sang, par diffusion et chacun, donc, dans le sens de son gradient de concentration / pression partielle.

Il est donc évident que les systèmes respiratoire et cardiovasculaire sont étroitement liés dans leurs fonctions.

2. ANATOMIE FONCTIONNELLE

Les organes du système respiratoire sont :

- Le nez, le pharynx, le larynx, la trachée et les bronches d'une part.

Ils représentent la zone de conduction, appelée aussi « espace mort anatomique », faite de conduits plus ou moins rigides, qui purifient, humidifient et réchauffent l'air inspiré.

- Les alvéoles d'autre part, qui représentent la zone respiratoire, siège des échanges gazeux.

1. NEZ

Le nez est formé d'une partie externe (la pyramide nasale) faite d'os et de cartilage qui comporte 2 orifices : les narines.

Ensuite, viennent les fosses nasales, séparées par la cloison nasale (cartilage + os : vomer et lame perpendiculaire de l'ethmoïde).

L'entrée des fosses nasales est appelée vestibule, il est recouvert de peau et de poils appelés vibrisses qui filtrent les grosses particules étrangères.

En arrière du vestibule, les fosses nasales avec leurs cornets sont recouvertes d'une muqueuse respiratoire (épithélium cilié parsemé de nombreuses glandes muqueuses) dans la partie inférieure et d'une muqueuse olfactive (récepteurs olfactifs) dans la partie supérieure.

La partie postérieure s'ouvre vers le nasopharynx, les orifices G et D sont rétrécis par des replis de muqueuse et forment les choanes.

La muqueuse sécrète environ 1 litre de mucus par jour.

Ce mucus participe à l'épuration de l'air inspiré en englobant les poussières et les petits débris et à la défense antibactérienne grâce au lysosyme qu'il contient.

Il est envoyé par les cils vers le pharynx où il sera avalé.

La richesse vasculaire de la muqueuse permet le réchauffement de l'air.

Les cornets augmentent la surface de contact et favorisent les turbulences propices aux modifications de la qualité de l'air.

Les cavités nasales sont reliées aux sinus paranasaux par des orifices débouchant sous les cornets. Ils sont au nombre de 4 : les sinus frontaux, ethmoïdaux, maxillaires et sphénoïdaux.

Ils allègent la tête et servent de caisse de résonance à la voix.

Ils produisent du mucus qui est drainé vers les cavités nasales.

2.2 PHARYNX

Le pharynx est fait de 3 parties successives:

- le nasopharynx, derrière les fosses nasales ;

- l'oropharynx, derrière la cavité buccale ;

- l'hypopharynx ou laryngopharynx, derrière le larynx et au-dessus de l'œsophage ;
qui communiquent et forment une grande cavité postérieure de ≈13 cm de haut.

En reliant les cavités nasales au larynx et la cavité buccale à l'œsophage, le pharynx forme un véritable carrefour aéro-digestif, ces voies se croisant à ce niveau.

Le pharynx abrite l'anneau de Waldeyer qui permet de lutter contre les infections.

Cet anneau comprend :

- les amygdales pharyngiennes, appelées aussi végétations adénoïdes ;
- les amygdales palatines ;
- les amygdales linguales.

Enfin, c'est dans le nasopharynx que s'abouchent les trompes d'Eustache.

Elles viennent de l'oreille moyenne et permettent l'équilibration des pressions de part et d'autre du tympan.

2.3 LARYNX

Le larynx forme la porte d'entrée vers les voies aériennes inférieures.

Il s'ouvre, en haut dans l'hypopharynx et se continue vers le bas par la trachée.

Il fait environ 5 cm de haut et est relié à l'os hyoïde.

Sa charpente est constituée de cartilages, dont les principaux sont :

- le cartilage thyroïde, vers l'avant, qui forme la « pomme d'Adam » ;
- le cartilage cricoïde, vers l'arrière ;
- les 2 cartilages arythénoïdes, points d'attache postérieurs des cordes vocales ;
- l'épiglotte qui surplombe le tout.

Ces cartilages sont reliés par des membranes et des ligaments.

Les cordes vocales sont des ligaments élastiques tendus entre le cartilage thyroïde et les cartilages arythénoïdes.

Elles sont recouvertes de muqueuse.

Elles peuvent vibrer et se déplacer latéralement.

L'espace situé entre les 2 cordes vocales est appelé la glotte.

On distingue au-dessus de ces « vraies cordes vocales », 2 « fausses cordes vocales » qui ne sont que des replis de muqueuse et qui n'ont pas de fonction vocale.

Les fonctions du larynx sont :

- livrer passage à l'air qui va aux poumons ;
- empêcher le passage d'aliments dans les voies respiratoires pendant la déglutition ;
- assurer la phonation.

La phonation nécessite l'expulsion intermittente d'air, l'ouverture et la fermeture de la glotte ainsi que la vibration et l'étirement des cordes vocales.

Le **volume** de la voix est déterminé par la force d'expulsion de l'air.

La **tonalité** dépend de la tension des cordes vocales et de l'ouverture de la glotte.

Le **timbre** dépend de la caisse de résonance (cavités nasales, sinus, cavité buccale, pharynx...).

Le **langage** est fonction de la contraction des muscles du pharynx, de la langue, du palais mou et des lèvres.

Le larynx peut se fermer :

- soit par bascule de l'épiglotte comme dans la déglutition ;
- soit par rapprochement des cordes vocales comme dans la toux, les efforts de poussée ou l'éternuement.

2.4 TRACHEE

La trachée part du larynx, descend dans le cou et se dirige vers le médiastin, elle s'ouvre sur les 2 bronches souches (1 gauche et 1 droite).

C'est un conduit de 10 à 12 cm de long et de 2,5 cm de diamètre, elle est mobile et flexible, elle s'étire un peu à l'inspiration et se raccourcit à l'expiration.

Elle est située juste devant l'œsophage.

Sa paroi comprend, de l'intérieur vers l'extérieur :

- une muqueuse dont l'épithélium est cilié et dirige le mucus vers le pharynx où il sera avalé ;
- des glandes séro-muqueuses dont le mucus englobe les fines poussières ou autres corps étrangers (microbes...) qui auraient atteint ce niveau ;
- 16 à 20 anneaux de cartilage hyalin, en fer à cheval, dont l'ouverture est dirigée vers l'arrière et fermée par le muscle trachéal (muscle qui diminue le diamètre de la trachée quand il se contracte et augmente ainsi la vitesse de l'air lorsque c'est nécessaire (toux...) ;
- une couche conjonctive pour relier la trachée aux organes adjacents.

Le dernier anneau de cartilage, appelé éperon trachéal, est élargi et forme la bifurcation vers les bronches, il est situé au niveau de D5.

La muqueuse y est hypersensible et sa stimulation provoque un réflexe de toux violent.

2.5 ARBRE BRONCHIQUE

L'arbre bronchique comporte une **zone de conduction** qui se distribue de la manière suivante :

Les bronches souches continuent la trachée à hauteur de l'angle sternal, et se dirigent vers les hiles pulmonaires.

La bronche souche droite est + large, + courte et + verticale que la gauche, ce qui explique pourquoi les corps étrangers inhalés vont préférentiellement dans celle-là.

Toutes 2 finissent de réchauffer, purifier et humidifier l'air inspiré.

Les bronches lobaires apparaissent à l'entrée du poumon, il y en a 1 pour chaque lobe (3 à droite et 2 à gauche).

Ensuite viennent les bronches segmentaires.

Les bronchioles sont les plus petites, leur diamètre est $< 1\text{ mm}$.

L'arbre bronchique comporte ≈ 23 ordres de division, sa paroi se modifie progressivement

- le cartilage s'affine puis disparaît ;
- le diamètre ↓ ;
- les cils et les cellules à mucus disparaissent ;
l'épuration des alvéoles se faisant par les macrophages ;
- les muscles lisses ↑.

La **zone respiratoire** est celle qui comporte des alvéoles, lieux des échanges gazeux.

On a successivement les :

- bronchioles respiratoires ;
- canaux alvéolaires ;
- alvéoles pulmonaires.

Les alvéoles sont des petites cavités \pm sphériques, au nombre de ≈ 300 millions, qui forment la majeure partie du volume pulmonaire.

Elles représentent une surface d'échange de $\approx 100\text{ m}^2$.

2.6 MEMBRANE ALVEOLO-CAPILLAIRE

C'est au niveau de la membrane alvéolo-capillaire que se réalise la respiration externe, c'est-à-dire les échanges gazeux entre l'air alvéolaire et le sang.

Cette membrane est constituée :

- d'une couche de pneumocytes I (cellules pavimenteuses) ;
- d'une membrane basale (les 2 membranes basales étant fusionnées) ;
- de l'endothélium capillaire (1 couche de cellules pavimenteuses).

On constate que la barrière air/sang est mince et donc très perméable, les échanges gazeux s'y font par diffusion (selon le gradient de concentration / pression partielle) :

- O_2 de l'air alvéolaire vers le sang ;
- CO_2 du sang vers l'air alvéolaire.

Entre les pneumocytes I de la paroi alvéolaire, on trouve çà et là quelques pneumocytes II qui sécrètent le surfactant.

Il tapisse l'intérieur des alvéoles et ses rôles sont :

- faciliter les échanges gazeux ;
- ↓ tension superficielle du liquide alvéolaire et éviter le collapsus des alvéoles en fin d'expiration.

On trouve aussi quelques macrophages à la surface des alvéoles, qui pourront phagocyter les poussières et les germes arrivés jusque-là.

Ils seront emportés vers l'extérieur avec le mucus.

Les mécanismes d'épuration du poumon sont très efficaces et expliquent pourquoi les alvéoles sont normalement stériles malgré les microbes présents dans l'air respiré.

2.7 POUMONS, PLEVRES ET VASCULARISATION PULMONAIRE

2.7.1 POUMONS

Les 2 poumons sont situés dans la cage thoracique, en périphérie.

Ils entourent le médiastin qui comprend le cœur, les gros vaisseaux, les bronches, l'œsophage, des ganglions lymphatiques et des nerfs.

Leurs faces antérieures, externes et postérieures sont en contact avec le grill costal et forment la face costale du poumon.

Les sommets, encore appelés apex, sont en contact avec la clavicule.

Les parties inférieures, appelées bases, sont concaves et épousent la forme du diaphragme sur lequel elles reposent.

Les faces médiastinales sont concaves, elles aussi, et contiennent les hiles pulmonaires.

Les hiles, voies d'entrée et de sortie de l'organe, offrent passage aux :

- bronches souches ;
- artères et veines pulmonaires et bronchiques ;
- vaisseaux lymphatiques et nerfs.

Le poumon D comporte 3 lobes (supérieur, moyen et inférieur), et 2 scissures.

Le poumon G ne comporte que 2 lobes (supérieur et inférieur) et 1 scissure (cf. présence du cœur).

Les lobes sont divisés en segments, séparés par des cloisons conjonctives qui forment les plus petits plans de clivage en chirurgie pulmonaire.

Les poumons sont mous, spongieux et élastiques, ils pèsent un peu plus d'1 kg.

2.7.2 PLEVRES

Chaque poumon est suspendu dans sa plèvre par son hile.

Les plèvres sont des séreuses, avec leurs 2 feuillets :

- 1 feuillet pariétal, attaché à la paroi thoracique, au diaphragme et au médiastin ;
- 1 feuillet viscéral adhérent au poumon.

Entre les 2 feuillets, on trouve la cavité pleurale dans laquelle règne 1 pression négative. Elle comporte un peu de liquide pleural qui ↓ les frictions entre les 2 feuillets pendant la respiration.

La tension superficielle du liquide empêche les 2 feuillets de se séparer à l'inspiration.

Par ces mécanismes, le poumon suit les mouvements et les variations de volume de la cage thoracique.

2.7.3 VASCULARISATION PULMONAIRE

La vascularisation pulmonaire est double.

La vascularisation fonctionnelle permet aux poumons d'exercer sa fonction, c'est-à-dire de régénérer le sang en O_2 et de le débarrasser de son CO_2 .

C'est la portion de circulation suivante :

VD → TP → Artères Pulmonaires → Capillaires Pulmonaires → Veines Pulmonaires → OG.

C'est donc la « petite circulation » ou circulation pulmonaire.

La vascularisation nutritionnelle permet la nutrition des poumons, l'apport d' O_2 et l'export de CO_2 des cellules bronchiques.

Elle permet la vie cellulaire des poumons.

C'est la portion de circulation suivante :

VG → Aorte → Artères Bronchiques → Capillaires Bronchiques → Veines Bronchiques
→ Veines Azygos → VCS → OD.

C'est donc une partie de la « grande circulation » ou circulation systémique.

3. MECANIQUE RESPIRATOIRE

La ventilation pulmonaire comprend 2 phases :

- L'inspiration correspond à l'entrée d'air dans les poumons ;
- L'expiration correspond à la sortie de cet air.

3.1 PRESSIONS PULMONAIRES ET LOI DE BOYLE-MARIOTTE

Les pressions pulmonaires sont exprimées par rapport à la pression atmosphérique (pression de l'air extérieur sur le corps) qui est normalement de 760 mm Hg au niveau de la mer.

La pression intraalvéolaire = pression alvéolaire est la pression régnant à l'intérieur des alvéoles. Elle varie pendant le cycle respiratoire, mais s'équilibre toujours avec la pression atmosphérique.

La pression intrapleurale est la pression régnant entre les 2 feuillets de plèvre, dans la cavité pleurale.

Elle varie mais reste toujours inférieure à la pression alvéolaire de ≈ 4 mm Hg.

Ceci empêche l'affaissement des poumons en solidarisant les 2 plèvres.

La loi de Boyle-Mariotte dit que **$P \times V = \text{constante}$** , ce qui implique que volume et pression varient de manière inversement proportionnelle dans un système:

quand $P \uparrow \rightarrow V \downarrow$;

ou quand $P \downarrow \rightarrow V \uparrow$.

Donc toute variation de volume implique une variation de pression.

Les gaz s'écoulent toujours de la région à haute pression vers la région à basse pression jusqu'à égalisation des pressions.

3.2 VENTILATION PULMONAIRE : CYCLE INSPIRATION / EXPIRATION

3.2.1 A L'ARRET RESPIRATOIRE

Il n'y a pas de déplacement d'air parce que la pression externe = la pression alvéolaire = 760 mmHg.

3.2.2 INSPIRATION

Contraction des muscles : diaphragme (qui descend) et intercostaux externes (phénomène actif) ;

→ \uparrow volume de la cage thoracique ;

→ tire sur le feuillet pariétal des plèvres auquel elle adhère ;

→ \downarrow pression intrapleurale de 756 à 754 mm Hg ;

→ tire sur le feuillet viscéral des plèvres qui adhère au feuillet pariétal par la pression

- négative qui règne dans la cavité pleurale et par la tension superficielle du liquide pleural ;
- tire sur le poumon auquel il adhère ;
- ↑ volume pulmonaire et donc alvéolaire ;
- ↓ pression alvéolaire (de 760 à 758 mm Hg) ;
- pression alvéolaire < pression atmosphérique externe ;
- entrée d'air dans les poumons jusqu'à ce que
- pression alvéolaire = pression atmosphérique externe = 760 mmHg ;
- la pression intrapleurale étant toujours de 754 mm Hg.

3.2.3 EXPIRATION

Relâchement des muscles : diaphragme (qui remonte) et intercostaux externes (phénomène passif) ;

- ↓ volume de la cage thoracique ;
- appuie sur les plèvres ;
- ↑ pression intrapleurale (de 754 à 756) ;
- appuie sur les poumons et les alvéoles ;
- ↓ volume pulmonaire et alvéolaire ;
- ↑ pression alvéolaire (de 760 à 762) ;
- pression alvéolaire > pression atmosphérique externe ;
- sortie d'air des poumons jusqu'à ce que
- pression alvéolaire = pression atmosphérique externe = 760 mmHg ;
- retour à la normale de la pression intrapleurale (756 mm Hg).

3.2.4 INSPIRATION FORCEE

A l'inspiration forcée, il y a contraction supplémentaire des muscles inspiratoires accessoires :

- muscles scalènes ;
- muscles sterno-cléido-mastoïdien.

C'est donc un phénomène actif aussi.

Cela augmente l'amplitude de l'inspiration et permet de mieux remplir les poumons d'air.

3.2.5 EXPIRATION FORCEE

A l'expiration forcée, il y a contraction des muscles expiratoires :

- muscles intercostaux internes ;
- muscles abdominaux.

L'expiration devient alors un phénomène actif.

Cela augmente la profondeur de l'expiration et permet de mieux vider l'air des poumons.

3.3 FACTEURS INFLUENÇANT LA VENTILATION PULMONAIRE

La ventilation diminue et nécessite alors des mouvements forcés si :

- 1) la résistance des voies aériennes ↑, c'est-à-dire le diamètre des voies aériennes ↓ :

* par accumulation de mucus ;

* par bronchoconstriction.

2) la compliance ↓ :

* par ↓ élasticité pulmonaire ;

* par ↑ tension superficielle du liquide alvéolaire (suite à ↓ surfactant) ;

* par ↓ élasticité de la cage thoracique.

3.4 VOLUMES RESPIRATOIRES ET EPREUVES FONCTIONNELLES

(voir diagrammes au cours ou dans les livres)

3.4.1 VOLUMES PULMONAIRES

Volume courant = VC, volume d'air qui est inspiré ou expiré à chaque respiration normale.

VC ≈ 500 ml (valeur moyenne pour un homme de 20 ans).

Volume de réserve inspiratoire = VRI, volume d'air qui peut être inspiré en plus, après une inspiration normale, lors d'une inspiration forcée.

VRI ≈ 3,1 litres.

Volume de réserve expiratoire = VRE, volume d'air qui peut être expiré en plus, après une expiration normale, lors d'une expiration forcée.

VRE ≈ 1.2 l.

Volume résiduel = VR, volume d'air qui reste encore dans les poumons (et qui en prévient ainsi l'affaissement) et dans l'arbre respiratoire, après une expiration forcée.

VR ≈ 1.2 l (air alvéolaire + air dans la zone de conduction).

3.4.2 CAPACITES RESPIRATOIRES

Les capacités sont des sommes de 2 ou plusieurs volumes.

Capacité inspiratoire = CI, volume total d'air qui peut être inspiré après une expiration normale.

CI = VC + VRI.

Capacité résiduelle fonctionnelle = CRF, volume d'air qui reste dans les poumons après une expiration normale.

CRF = VRE + VR.

Capacité vitale = CV, volume d'air qui peut être expiré lors d'une expiration forcée, après une inspiration forcée.

CV = VC + VRI + VRE ≈ 5 l.

Capacité pulmonaire totale = CPT, somme de tous les volumes pulmonaires, c'est à dire le volume total d'air se trouvant dans les poumons et l'arbre pulmonaire après une inspiration forcée.
 $CPT = VC + VRI + VRE + VR \approx 6 \text{ l.}$

3.4.3 ESPACES MORTS

L'espace mort anatomique est le volume d'air qui ne participe jamais aux échanges gazeux, c'est-à-dire celui qui emplit la zone de conduction, il est d'environ 150 ml.
Cela veut dire que quand on dit que le VC = 500 ml, il n'y a que 350 ml d'air qui participent réellement aux échanges, les autres entrent et sortent inchangés.

L'espace mort alvéolaire représente le volume des alvéoles non fonctionnelles, c'est-à-dire ventilées mais non perfusées.
C'est une situation rencontrée en pathologie surtout, en cas d'embolie pulmonaire par ex..

L'espace mort physiologique ou fonctionnel représente la somme de l'espace mort anatomique et de l'espace mort alvéolaire.

3.4.4 EPREUVES FONCTIONNELLES ET DEBITS

Ventilation – minute, volume total d'air inspiré ou expiré en 1 minute lors d'une ventilation normale.

$VENTIL/MIN = FC \text{ (fréquence respiratoire)} \times VC \approx 12 \times 0.5 \approx 6 \text{ l/min.}$

A l'effort, la ventilation-minute peut aller jusqu'à 200 l/min.

Volume expiratoire maximal seconde = VEMS, volume d'air maximum expiré en 1 seconde après une inspiration forcée. Il diminue en cas de trouble obstructif.

$VEMS \approx 80\% \text{ de CV.}$

Rapport de Tiffeneau, rapport entre le VEMS et la CV.

$VEMS / CV > 0.7.$

DEP (débit expiratoire de pointe), débit d'air maximum expiré lors d'une expiration forcée, après une inspiration forcée.

$DEP \approx 500 \text{ à } 600 \text{ l/min}$ (voir normes pour l'âge, le sexe et la taille).

3.4.5 VENTILATION ALVEOLAIRE

La ventilation alvéolaire est la quantité d'air inspiré qui participe aux échanges gazeux en 1 minute.

$VENTIL ALVEOL = FR \times (VC - \text{Vol espace mort}) \approx 12 \times (500 - 150) \approx 4.2 \text{ l/min.}$

4. ECHANGES GAZEUX

4.1 PROPRIETES FONDAMENTALES DES GAZ

4.1.1 LOI DE DALTON

« La pression totale exercée par un mélange de gaz est égale à la somme des pressions partielles exercées par chaque gaz. »

La pression partielle d'un gaz est la pression exercée par un gaz dans un mélange de gaz, elle est proportionnelle à sa concentration relative (= A%) dans le mélange.

$$P. \text{ Partielle} = P. \text{ Totale} \times A/100$$

EX : P. Atmosphérique = 760 mm Hg = P. Totale, Air = 80% N₂ et 20% O₂

$$\text{donc } P. \text{ Part. } N_2 = 760 \times 80/100 = 608 \text{ mm Hg}$$

$$P. \text{ Part. } O_2 = 760 \times 20/100 = 152 \text{ mm Hg}$$

et P. Atm = 608 + 152 = 760 mm Hg.

4.1.2 LOI DE HENRY

« La quantité de gaz dissoute dans un liquide est proportionnelle à sa pression partielle et à sa solubilité, si la température est constante ».

On atteint le point d'équilibre quand les P. Partielles s'égalisent dans les 2 phases (liquide et gazeuse).

4.2 COMPOSITION DU GAZ ALVEOLAIRE

L'air alvéolaire contient

+ de CO₂
- d'O₂
+ de vapeur d'eau

} que l'air atmosphérique,

et cela pour les 3 raisons suivantes :

- échanges gazeux avec le sang ;
- humidification par la zone de conduction ;
- espace mort anatomique..

4.3 RESPIRATION EXTERNE

La respiration externe représente les échanges gazeux dans les poumons, entre le sang et l'air alvéolaire, à travers la membrane alvéolo-capillaire.

Le sang rouge sombre de l'artère pulmonaire y devient écarlate tandis qu'il s'enrichit en O_2 et se débarrasse de son CO_2 .

La respiration externe est conditionnée par :

- l'épaisseur de la membrane alvéolo-capillaire (qui est faible) ;
- la surface d'échange (qui est très grande) ;
- le gradient de pressions partielles et la solubilité des gaz.

4.3.1 POUR L'OXYGENE

Conventions :

P_a = Pression partielle dans les artères systémiques → aussi dans les veines pulmonaires.

P_v = pression partielle dans les veines systémiques → aussi dans les artères pulmonaires.

P_A = pression partielle dans l'air alvéolaire.

P_T = pression partielle dans les tissus.

La pression partielle dans le sang qui arrive aux poumons = $P_vO_2 \approx 40$ mm Hg.

La pression partielle dans les alvéoles = $P_AO_2 \approx 100$ mm Hg.

Le gradient (la différence) de pression est donc élevé, ce qui favorise bien le passage du gaz.

Mais la solubilité de l' O_2 est faible, ce qui ne le favorise pas.

Il y a finalement une bonne diffusion de l' O_2 du côté où la pression est + élevée vers le côté où la pression est moins élevée, c'est-à-dire de l'air alvéolaire vers le sang. Dans ce cas-ci, c'est le *gradient de pression* qui est le principal responsable du passage gazeux.

4.3.2 POUR LE GAZ CARBONIQUE

La $P_vCO_2 \approx 45$ mm Hg.

La $P_ACO_2 \approx 40$ mm Hg.

Le gradient de pression est faible mais la solubilité du CO_2 est grande.

Il y a donc une bonne diffusion du CO_2 du sang vers l'air alvéolaire. Dans ce cas-ci, c'est la *solubilité* qui est la principale responsable du passage gazeux.

Le passage des gaz est rapide et dure jusqu'à ce que les pressions partielles s'équilibrent. L'air alvéolaire étant constamment renouvelé par la ventilation, les pressions partielles des gaz y restent constantes et c'est donc le sang qui atteint les valeurs en O_2 et en CO_2 de l'air alvéolaire avec $P_aO_2 \approx 100$ mm Hg et $P_aCO_2 \approx 40$ mm Hg.

4.4 RESPIRATION INTERNE

La respiration interne représente les échanges gazeux dans les tissus entre le sang et les cellules, via le liquide interstitiel (LI) et à travers la paroi des vaisseaux sanguins et des membranes cellulaires.

Le sang rouge écarlate des artères périphériques y devient sombre tandis qu'il cède de l'O₂ et se charge en CO₂.

La respiration interne est conditionnée par :

- l'épaisseur de la membrane tissu-capillaire (qui est faible) ;
- la surface d'échange (qui est très grande) ;
- le gradient de pressions partielles et la solubilité des gaz.

4.5.1 POUR L'OXYGENE

La pression partielle dans le sang = PaO₂ ≈ 100 mm Hg.

La pression partielle dans le LI et les cellules = P_TO₂ ≈ 40 mm Hg.

Le gradient de pression est donc élevé, ce qui favorise bien le passage des gaz.

Mais la solubilité de l'O₂ est faible, ce qui ne le favorise pas.

Il y a finalement une bonne diffusion de l'O₂ du côté où la pression est plus élevée vers le côté où elle l'est moins, c'est-à-dire du sang vers le LI puis vers les cellules. Dans ce cas-ci, c'est le *gradient de pression* qui est le principal responsable du passage gazeux.

4.5.2 POUR LE GAZ CARBONIQUE

La PaCO₂ ≈ 40 mm Hg.

La P_TCO₂ ≈ 45 mm Hg.

Le gradient de pression est faible mais la solubilité du CO₂ est grande.

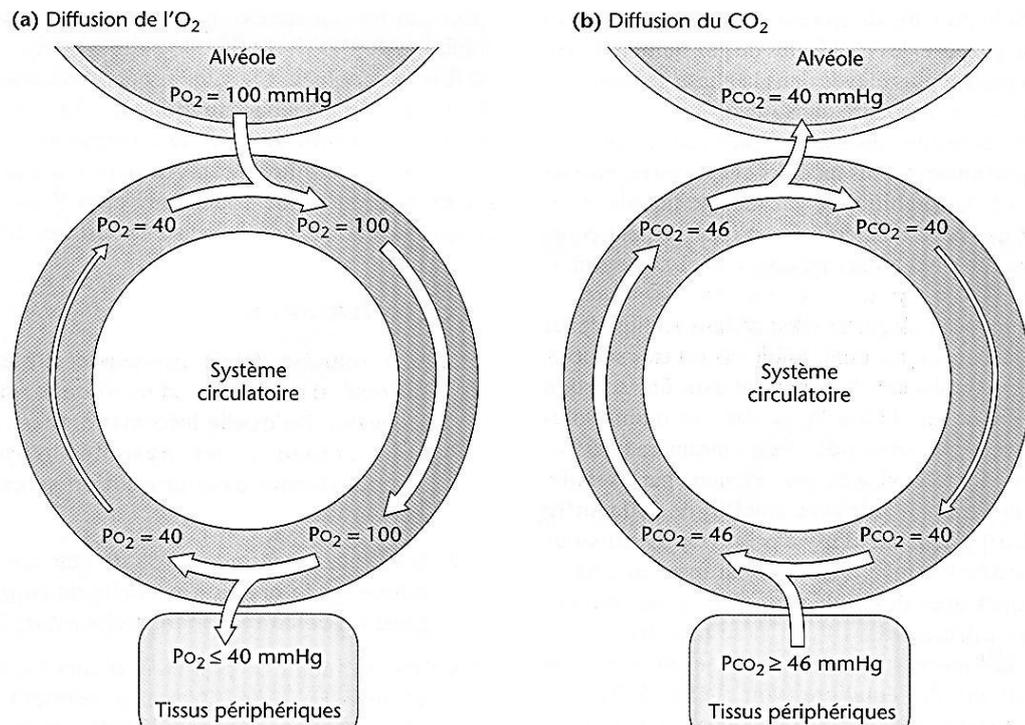
Il y a donc une bonne diffusion du CO₂ des cellules vers le LI puis vers le sang.

Dans ce cas-ci, c'est la *solubilité* qui est la principale responsable du passage gazeux.

Le passage des gaz est rapide et dure jusqu'à ce que les pressions partielles s'équilibrent.

Le milieu cellulaire étant constamment en activité : consommant l'O₂ et produisant le CO₂,

les pressions partielles des gaz y restent constantes et c'est donc le sang qui atteint les valeurs en O₂ et en CO₂ du milieu tissulaire avec PvO₂ ≈ 40 mm Hg et PvCO₂ ≈ 45 mm Hg.



DEE UNGLAUB SILVERTHORN, *Physiologie humaine*, éd. Pearson Education, Paris, 2007

4.5 COUPLAGE VENTILATION / PERFUSION

Il existe un couplage ventilation / perfusion tel que :

- 1) Toute ↓ locale de la ventilation (marquée par ↓ P_AO₂) implique une ↓ de perfusion dans cette zone de poumon (par vasoconstriction des artérioles pulmonaires) et inversement. Ce phénomène permet de détourner le sang qui doit subir les échanges vers les zones les mieux ventilées.
- 2) Toute ↓ locale de la ventilation (marquée par ↑ P_ACO₂) implique une bronchodilatation, ce qui améliore la ventilation. Et inversement.

On voit donc que la PO₂ conditionne l'état des capillaires et la PCO₂, l'état des bronchioles. Tout est ainsi mis en œuvre pour optimiser des échanges qui sont vitaux pour un bon fonctionnement cellulaire via une bonne homéostasie sanguine.

5. TRANSPORT DES GAZ RESPIRATOIRES DANS LE SANG

5.1 TRANSPORT DE L'O₂

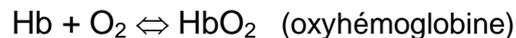
L'O₂ est transporté dans le sang :

- pour 98.5% sous forme liée à l'hémoglobine (Hb) des globules rouges ;
- pour 1.5% sous forme dissoute dans le plasma (ce faible chiffre correspond à la faible solubilité de l'O₂ dans l'eau), seule partie diffusible.

5.1.1 LIAISON HB – O₂

1 molécule d'Hb est composée de 4 groupements hèmes, comportant chacun 1 atome de Fer pouvant fixer 1 molécule d'O₂.

1 molécule d'Hb peut donc fixer 4 molécules d'O₂, la liaison est rapide et réversible.



avec $\text{Hb} + \text{O}_2 \rightarrow \text{HbO}_2$ dans les poumons (cf. $\text{PO}_2 \uparrow$)

et $\text{HbO}_2 \rightarrow \text{Hb} + \text{O}_2$ dans les tissus périphériques (cf. $\text{PO}_2 \downarrow$)

La liaison de l'Hb avec l'O₂ dépend de :

- la pression partielle en O₂ (la liaison \uparrow si la pression partielle \uparrow c-à-d si O₂ dissous \uparrow) ;
- la température (la liaison \downarrow si la température \uparrow) ;
- le pH (la liaison \downarrow si le pH \downarrow , ce qui correspond à une \uparrow de PCO₂).

Ainsi dans les tissus métaboliquement actifs, où donc :

- la PO₂ est plus faible (par consommation) ;
- la température est un peu plus élevée (par métabolisme) ;
- la PCO₂ est plus élevée (par production) ;
- et le pH est plus faible (par production d'H⁺) ;

l'Hb a moins d'affinité pour l'O₂, ce qui permet de mieux libérer l'O₂ fixé sur l'Hb et donc de mieux le distribuer aux cellules.

Et inversement dans les poumons.

5.2 TRANSPORT DU CO₂

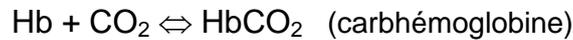
Le CO₂ est transporté dans le sang :

- pour 65% sous forme d'ions bicarbonates (HCO₃⁻) dans le plasma ;
- pour 25% sous forme liée à l'hémoglobine des globules rouges ;
- pour 10% sous forme dissoute dans le plasma.

5.2.1 LIAISON HB – CO₂

L'Hb est composée d'une partie protéique (la globine) qui peut fixer le CO₂ sur certains acides aminés.

Il n'y a donc pas de compétition directe entre l'O₂ et le CO₂ pour leur transport par l'Hb.



avec $\text{Hb} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{HbCO}_2$ dans les tissus périphériques

et $\text{HbCO}_2 \rightarrow \text{Hb} + \text{CO}_2$ dans les poumons

La liaison de l'Hb avec le CO₂ dépend de :

- la pression partielle en CO₂ (la liaison ↑ si la pression partielle ↑) ;
- la teneur en O₂ de l'Hb (la liaison ↑ si Hb ne transporte pas d'O₂).

Ainsi dans les tissus métaboliquement actifs, où donc

- la PCO₂ est plus forte (par production) ;
- et où l'Hb a libéré son O₂ ;

l'Hb fixe mieux le CO₂.

Inversement, au niveau des poumons, la PCO₂ est faible et l'Hb se charge en O₂ et donc elle libère mieux son CO₂.

5.2.2 BICARBONATES



Il y a donc interaction entre le pH sanguin et le CO₂ évacué par voie respiratoire.

Si pH ↓ → H⁺ ↑ → déplacement de l'équilibre vers la gauche et augmentation du transport de CO₂ et donc de son évacuation pulmonaire (ventilation ↑).

Et inversement.

5.3 CONCLUSION

DANS LES TISSUS :

↑ PCO₂ → ↑ H⁺ et ↓ pH → HbO₂ libère mieux son O₂ ← ↓ PO₂

↘
↙
Hb capte plus de CO₂

DANS LES POUMONS :

↓ PCO₂ → ↓ H⁺ et ↑ pH → Hb capte plus d'O₂ ← ↑ PO₂

↘
↙
Hb libère mieux son CO₂

6. REGULATION DE LA VENTILATION

En physiologie, la respiration peut être modifiée par la volonté, les émotions, la température, la douleur... ;

mais seulement de manière partielle car la régulation de la respiration par l'O₂ et le CO₂ sanguins est prépondérante.

Dans le centre inspiratoire du bulbe rachidien, les neurones se dépolarisent spontanément et rythmiquement :

- lors de leur dépolarisation (centre actif), ils stimulent les muscles inspiratoires et déclenchent une inspiration ;
- lorsque le centre est inactif, les muscles se relâchent et c'est l'expiration.

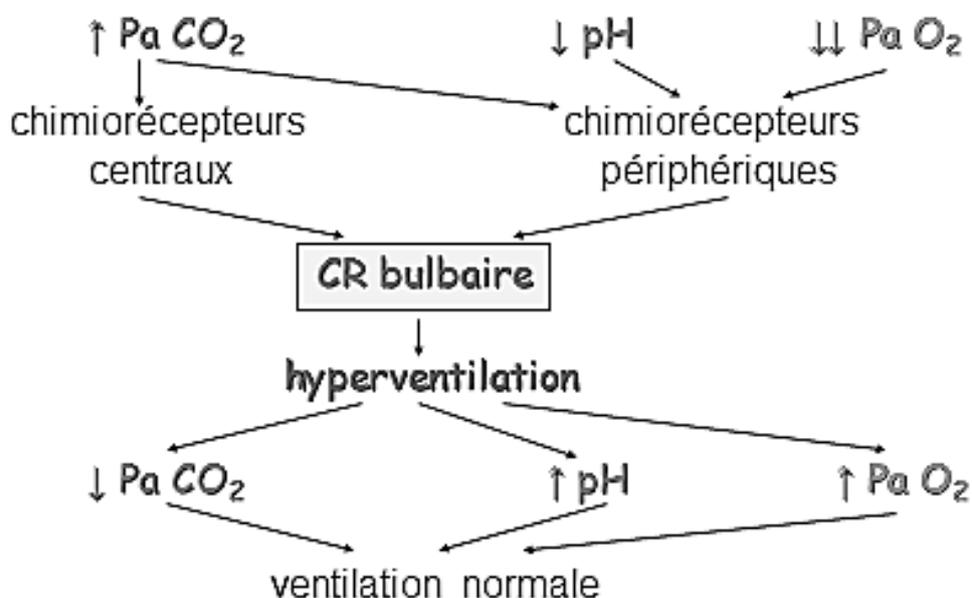
Le centre inspiratoire est inhibé par les somnifères, la morphine, l'alcool...

Ce fonctionnement alternatif aboutit dans des conditions de repos à une fréquence respiratoire de ≈ 15 / minute, l'inspiration durant ≈ 2 sec et l'expiration ≈ 3 secondes.

Le centre expiratoire du bulbe rachidien n'est mis en œuvre qu'en expiration forcée.

Il stimule la contraction des muscles expiratoires (intercostaux internes et abdominaux).

REGULATION :



On notera que, inversement, l'hypocapnie (↓ PCO₂) inhibe le centre respiratoire. Ceci explique pourquoi on supportera plus longtemps une apnée en faisant une hyperventilation volontaire pour ↓ PCO₂ juste avant.

* * *

SYSTEME URINAIRE

1. ANATOMIE RENALE

Le système urinaire comporte :

- * 1 rein droit et 1 rein gauche ;
 - * 1 uretère droit et 1 uretère gauche,
 - * 1 vessie,
 - * 1 urètre,
- } qui forment les voies urinaires.

La néphrologie et l'urologie s'occupent des pathologies de ce système.

1.1 ANATOMIE EXTERNE

Le rein mesure 12 cm de long, 6 cm de large et 3 cm d'épaisseur, il pèse 150 g environ. Il a une forme de haricot, avec une face externe convexe et une face interne concave. La face interne présente une fente verticale moyenne, le hile, qui permet l'entrée et la sortie des vaisseaux sanguins et lymphatiques, des nerfs et des uretères.

Le rein a une position rétro-péritonéale, à hauteur de D 12 à L 3, le rein D étant un peu plus bas que le rein G en raison de la position du foie.

Chaque rein est surmonté d'une glande surrénale (voir endocrinologie).

Le rein est entouré de 3 couches, de l'intérieur vers l'extérieur :

- une capsule fibreuse ;
- une capsule adipeuse ;
- un fascia rénal de tissu conjonctif dense.

Ces 3 couches lui assurent :

- protection contre les chocs ;
- barrière contre la propagation d'une éventuelle infection de voisinage ;
- fixation à la paroi et aux organes.

1.2 ANATOMIE INTERNE

Sur une coupe frontale, on distingue à chaque rein 3 parties :

- le cortex, en périphérie qui est pâle ;
- la médulla, zone moyenne rouge-brun ;
- les calices et le bassinet vers le hile.

La MEDULLA comporte 6 à 10 pyramides de Malpighi, striées à cause des tubes qui la composent.

Les pyramides sont séparées par des prolongements de cortex : les colonnes de Bertin.

Chaque pyramide et la portion de cortex qui la surplombe forme un lobe rénal. Les pyramides ont leur base côté cortex et leur sommet côté hile. Le sommet de la pyramide est appelé papille, elle s'ouvre sur un petit calice. Plusieurs petits calices forment un grand calice, il y en 2 ou 3 par rein, qui se réunissent en 1 bassin qui s'ouvre sur l'uretère.

La paroi des calices, du bassin et de l'uretère contient des muscles lisses capables de péristaltisme qui permettent l'avancement de l'urine.

1.3 NEPHRON

Chaque rein est formé de > 1 million de néphrons qui représentent les unités fonctionnelles du rein. Chaque néphron est composé d'un corpuscule et d'un tubule.

1.3.1 CORPUSCULE

Le corpuscule, situé au niveau du cortex est l'unité de filtration du sang, qui forme le filtrat. Il contient :

- un peloton capillaire artériel (dont l'endothélium est fenestré) appelé glomérule ;
- une capsule glomérulaire, appelée capsule de Bowman.

Cette capsule comporte :

- 1 feuillet viscéral, formé d'une couche de cellules épithéliales pavimenteuses, au contact avec les capillaires ;
- 1 feuillet pariétal formé d'une couche de cellules pavimenteuses aussi, vers l'extérieur.

L'espace entre les 2 est appelé chambre capsulaire et recueille le filtrat.

1.3.2 TUBULE

Le tubule est spécialisé dans le remaniement du filtrat et sa transformation progressive en urine.

Il est composé d'

- 1 tube contourné proximal (TCP) situé au niveau du cortex ;
- 1 anse de Henlé en épingle à cheveux atteignant ou non la médulla ;
- 1 tube contourné distal (TCD) situé dans le cortex.

Plusieurs TCD se jettent dans un tube collecteur.

Les tubes collecteurs s'enfoncent dans la médulla, parcourent les pyramides de Malpighi de la base vers le sommet et leur donnent leur aspect strié.

Ils finissent par déboucher dans un petit calice qui s'ouvre dans un grand calice qui se draine dans le bassin.

L'urine est enfin déversée dans l'uretère du rein correspondant.

1.4 VASCULARISATION ET INNERVATION

1.4.1 VASCULARISATION GENERALE

L'aorte abdominale, située à G, donne, au niveau de L1-L2, 2 artères rénales (1 G courte et 1 D longue) qui drainent $\frac{1}{4}$ du débit cardiaque, c'est à dire ≈ 1200 ml/min.

Chaque artère rénale pénètre dans le rein correspondant par le hile et bifurque en artères segmentaires puis en artères interlobaires qui parcourent les colonnes de Bertin.

A la base des pyramides de Malpighi, elles s'incurvent pour donner les artères arquées qui cheminent entre le cortex et la médulla.

Ces dernières se divisent en artères interlobulaires qui pénètrent dans le cortex pour l'irrigation des néphrons et la formation de ses lits capillaires (v + infra).

Le sang capillaire est repris par les veines interlobulaires, qui se jettent dans les veines arquées puis dans les veines interlobaires puis dans la veine rénale du rein en question. Les 2 veines rénales (1 G longue et 1 D courte) se jettent dans la VCI située à D de l'aorte.

1.4.2 LITS CAPILLAIRES

Chaque néphron possède 2 lits capillaires, 1 pour le corpuscule et 1 pour le tubule, situés entre l'artère interlobulaire et la veine interlobulaire.

CORPUSCULE :

L'artère interlobulaire donne 1 artériole glomérulaire afférente dont le diamètre est grand, qui forme un lit capillaire : le glomérule.

Celui-ci se draine dans 1 artériole efférente dont le diamètre est plus petit.

Ce lit capillaire, inséré entre 2 artères représente une circulation fonctionnelle à haute pression (cf. la différence de diamètre des artérioles afférente et efférente) qui est à la base de la production du filtrat vers la chambre capsulaire.

TUBULE :

L'artériole efférente se divise pour former un lit capillaire péritubulaire qui irrigue le tubule.

Celui-ci se draine dans les veinules puis les veines interlobulaires.

Ce lit capillaire représente une :

- circulation nutritionnelle (libération d'O₂ et reprise de CO₂) ;
- mais aussi fonctionnelle dans la mesure où il y a des échanges entre le filtrat qui parcourt le tubule et le sang capillaire (réabsorption et sécrétion), phénomènes qui sont à la base de la transformation du filtrat en urine.

1.4.3 INNERVATION GENERALE

Le rein est innervé par le SNo Σ , qui suit le trajet de l'artère rénale et règle le débit sanguin rénal par vasoconstriction ou non des artérioles.

1.5 APPAREIL JUXTA-GLOMERULAIRE

L'appareil juxta-glomérulaire (AJG) est situé au niveau du contact qui existe entre le TCD et l'artériole afférente.

A ce niveau :

- Des cellules de la paroi artérielle, appelées cellules juxta-glomérulaires sont capables de détecter des variations (\downarrow) de pression (barorécepteurs) dans l'artériole et d'y répondre en sécrétant de la **rénine**.

La rénine stimule l'activation de l'angiotensine qui provoque une vasoconstriction générale et la sécrétion d'aldostérone (système rénine – angiotensine – aldostérone ou SRAA).

Ces 2 phénomènes permettent d' \uparrow la PA et de ramener la pression dans l'artériole à la normale.

- Des cellules du TCD, appelées cellules de la macula densa sont capables de détecter des variations de volume du filtrat (\downarrow) et de concentration de solutés (\downarrow Na urinaire via des chimiorécepteurs) dans l'urine primitive.

Les cellules de la macula densa vont alors favoriser

- * une vasodilatation de l'artériole afférente, ce qui va \uparrow le volume du filtrat ;
- * stimuler les cellules juxta-glomérulaires, ce qui va \uparrow PA et Na⁺ sanguin.

Cet AJG permet donc une régulation du volume du filtrat glomérulaire et de la pression artérielle (v + loin).

Le but étant de maintenir le débit de filtration glomérulaire.

2. PHYSIOLOGIE RENALE

2.1 FORMATION DE L'URINE

2.1.1 GENERALITES

Le débit (= flux) sanguin rénal (DSR = FSR) équivaut à $\frac{1}{4}$ du débit cardiaque,
→ 1200 ml/min de sang passent dans les glomérules.

La filtration glomérulaire correspond à $\pm 10\%$,
→ débit de filtration glomérulaire (DFG) = 120 ml/min (180 l/jour) de filtrat dans les tubules.

Après réabsorption de 99% du filtrat et sécrétion tubulaires,
→ débit urinaire (diurèse) de 1ml/min (1.5 l/j) d'urine dans la vessie.

L'activité rénale est intense et justifie les gros besoins sanguins des reins.

2.1.2 FILTRATION GLOMERULAIRE

La filtration glomérulaire (FG) est la 1^{ère} étape de la formation de l'urine.
Elle se fait par un processus passif et non sélectif qui dépend de la membrane de filtration et des pressions en jeu.

MEMBRANE DE FILTRATION

La membrane de filtration est celle qui existe entre le sang et le filtrat, elle est composée de :

- l'endothélium capillaire fenestré du glomérule ;
- les membranes basales fusionnées ;
- le feuillet viscéral de la capsule de Bowman.

Elle est poreuse mais empêche normalement le passage des cellules sanguines (GR, GB et plaquettes) et des grosses protéines plasmatiques (passage modéré des protéines moyennes).
L'eau et les solutés passent librement.

La qualité de la membrane de filtration détermine la qualité du filtrat.

Le filtrat ressemble, dans les conditions normales, au plasma dépourvu des principales protéines.

Il contient donc de l'eau, des ions, du glucose, des acides aminés, des déchets azotés...

PRESSION NETTE DE FILTRATION

La pression nette de filtration (PNF) est la résultante des pressions qui s'exercent de part et d'autre de la membrane de filtration.

Elle représente le moteur du passage passif et détermine la quantité du filtrat.

La PNF résulte des pressions suivantes :

- La PHG (pression hydrostatique glomérulaire) est la pression exercée par le sang sur la paroi du glomérule, elle représente une force qui tend à faire passer le liquide du glomérule vers la chambre capsulaire.
Elle est de ≈ 60 mm Hg (contre 30 mm Hg dans les autres capillaires) et est haute grâce à la différence de diamètre entre les artérioles afférente et efférente.
- La POG (pression oncotique glomérulaire) est la pression exercée par les protéines du sang, elle représente une force qui tend à rappeler le liquide dans le glomérule.
Elle est de ≈ 30 mm Hg.
- La PHC (pression hydrostatique capsulaire) est la pression exercée par le filtrat sur la paroi de la capsule de Bowman, elle représente une force qui tend à freiner le passage du filtrat vers la capsule.
Elle est de ≈ 20 mmHg.
- La POC (pression oncotique capsulaire) qui tendrait à attirer du liquide dans la capsule, mais qui est négligeable en raison de la quasi absence de protéines dans le filtrat.

En résumé :

$$\begin{aligned} \mathbf{PNF} &= \mathbf{PHG} - \mathbf{POG} - \mathbf{PHC} \\ &\approx 60 - 30 - 20 \\ &\approx 10 \text{ mm Hg} \end{aligned}$$

On voit qu'une PHG élevée est nécessaire à l'obtention d'une PNF.

DEBIT DE FILTRATION GLOMERULAIRE

Le débit de filtration glomérulaire (DFG) représente la quantité de liquide filtré du sang vers la capsule en 1 minute. Il est de ≈ 120 ml/min.

Il est fonction de :

- La PNF qui est elle-même dépendante de la PHG qui est normalement elle-même dépendante de la pression artérielle systémique.
Mais on voit rapidement que sans régulation la situation serait inquiétante puisque toute diminution de 10 mm Hg de la PHG rendrait la PNF nulle → stopperait la diurèse.
Une importante régulation existe donc qui tend à rendre la PHG relativement indépendante de la PA dans des circonstances physiologiques (v + loin).
- La surface de filtration qui est constante en physiologie.
- La perméabilité de la membrane qui est elle aussi constante en physiologie.

REGULATION DU DFG

REGULATION INTRINSEQUE

La régulation intrinsèque, appelée aussi autorégulation rénale, permet de garder un DFG relativement constant pour des PAm comprises entre 80 et 180 mm Hg.

La régulation intrinsèque se fait par adaptation du débit sanguin glomérulaire.

Sans autorégulation : si PA \uparrow \rightarrow DSR \uparrow \rightarrow PHG \uparrow \rightarrow PNF \uparrow \rightarrow DFG \uparrow et inversement.

Grâce à l'autorégulation :

* Si PA \uparrow \Rightarrow vasoconstriction de l'artériole afférente \Rightarrow débit sanguin glomérulaire \downarrow
 \Rightarrow PHG normale (non \uparrow) \Rightarrow PNF normale \Rightarrow DFG normal.

* Si PA \downarrow \Rightarrow vasodilatation de l'artériole afférente \Rightarrow débit sanguin glomérulaire \uparrow
 \Rightarrow PHG normale (non \downarrow) \Rightarrow PNF normale \Rightarrow DFG normal.

REGULATION EXTRINSEQUE

La régulation extrinsèque fait appel au SNA.

En cas de stress, l'activation du SNo Σ provoque une vasoconstriction de l'artériole afférente et donc une \downarrow DFG,

\rightarrow \downarrow diurèse,

+ détournement du sang vers les organes qui en ont momentanément plus besoin : le cœur, le cerveau et les muscles.

2.1.3 REABSORPTION TUBULAIRE

Le filtrat glomérulaire est semblable au plasma sans la majeure partie des protéines.

Son volume est très important : 180 litres/jour, il ne peut donc être éliminé sous cette forme.

Il doit être transformé en urine contenant surtout les déchets métaboliques et les substances nuisibles pour l'organisme et avoir un volume compatible avec les ingestats de liquide : \approx 1.5 litre/jour.

Il est donc nécessaire d'avoir, au niveau des tubules, une réabsorption massive, discriminatoire et adaptée aux besoins du moment qui renvoie 99% du filtrat vers le sang.

La réabsorption est un mécanisme de transport transépithélial qui fait passer des substances de la lumière du tubule vers le sang des capillaires péri-tubulaires, en passant à travers les cellules tubulaires, le liquide interstitiel et l'endothélium capillaire.

La réabsorption concerne quasi tous les nutriments (glucose, acides aminés...), l'eau et les ions en fonction des nécessités et même une partie des déchets.

La réabsorption est active ou passive, selon les substances et les portions de tubule.

REABSORPTION TUBULAIRE ACTIVE

Elle se fait avec dépense d'ATP et contre des gradients électro-chimiques grâce à des transporteurs spécifiques situés au niveau des cellules tubulaires.

Il existe des taux maxima de réabsorption qui sont fonction des transporteurs mais qui sont suffisamment hauts pour tout réabsorber dans des conditions physiologiques.

Dans des conditions pathologiques, si la concentration sanguine et donc du filtrat glomérulaire est trop élevée, le transporteur ne pourra pas tout réabsorber et la quantité excédentaire restera dans les urines et sera éliminée.

La réabsorption tubulaire active concerne le Na^+ , le glucose, les acides aminés et le K^+ .

REABSORPTION TUBULAIRE PASSIVE

Elle se fait sans dépense d'ATP, par diffusion ou par osmose, selon les gradients électrochimiques. Elle est essentiellement conditionnée par la réabsorption active de Na^+ .

La réabsorption de Na^+ favorise :

- la réabsorption de Cl^- et HCO_3^- par *gradient électrochimique*,
- la réabsorption d' H_2O par *gradient osmotique*,
ce qui \uparrow la concentration tubulaire des autres solutés et favorise donc
- la réabsorption des autres solutés par *gradient de concentration*.

REABSORPTION DU GLUCOSE

La réabsorption du glucose est active et totale au niveau du TCP tant que la glycémie ne dépasse pas le seuil de 180 mg/100ml.

Au-delà, la capacité maximale de réabsorption est dépassée et on observe une glycosurie proportionnelle à la glycémie.

REABSORPTION DU Na^+

Le Na^+ est réabsorbé activement :

- pour 80% obligatoirement dans le TCP et l'anse de Henlé ;
- pour 20% facultativement dans le TCD et les tubes collecteurs
en fonction du taux d'aldostérone.

Cette dernière permet ainsi la régulation des Na^+ , K^+ sanguins et totaux et de la PA.

Ex : $\downarrow \text{Na}^+ \text{ sg} \Rightarrow \uparrow \text{aldostérone} \Rightarrow \uparrow \text{réabsorption de } \text{Na}^+ \Rightarrow \uparrow \text{Na}^+ \text{ sg} \Rightarrow \text{Na}^+ \text{ sg normal}$.

REABSORPTION DE L' H_2O

La réabsorption d'eau se fait passivement :

- pour 80% obligatoirement dans le TCP et l'anse de Henlé ;
- pour 20% facultativement dans le TCD et les tubes collecteurs
en fonction du taux d'ADH (hormone anti-diurétique).

Cette dernière permet ainsi la régulation de l'osmolarité sanguine (et indirectement du Na^+ sg) et de l'hydratation générale.

Elle réalise le mécanisme de concentration et de dilution des urines.

Ex : \uparrow osmolarité sg

\downarrow hydratation générale

\Downarrow

$\uparrow \text{ADH} \Rightarrow \uparrow \text{perméabilité tubulaire à } \text{H}_2\text{O} \Rightarrow \uparrow \text{réabsorption d}'\text{H}_2\text{O}$

\Downarrow

urine concentrée

$\downarrow \text{osm sg et } \uparrow \text{hydratation}$

\Downarrow

osm sg et hydratation normales

C'est grâce à une osmolarité urinaire très variable (de 50 mosm/l pour une urine très diluée, à 1200 mosm/l pour une urine très concentrée) que l'osmolarité sanguine peut rester normalement quasi constante et égale à 300 mosm/l malgré des apports et des pertes d'eau fort variables.

2.1.4 SECRETION TUBULAIRE

La sécrétion tubulaire est un mécanisme de transport transépithélial qui fait passer des substances du sang vers la lumière du tubule, en passant à travers l'endothélium capillaire, le liquide interstitiel et les cellules tubulaires.

La sécrétion permet ainsi de se débarrasser de substances supplémentaires, elle concerne H^+ , K^+ et NH_3 surtout et se fait essentiellement au niveau des TCD et des tubes collecteurs. C'est un processus actif.

La sécrétion tubulaire permet ainsi :

- d'éliminer des substances qui ne filtrant pas au niveau du glomérule (ex : pénicilline...).
- d'éliminer des substances nuisibles qui ont été réabsorbées (ex : urée, acide urique...).
- d'éliminer les K^+ selon les besoins via régulation par l'aldostérone (cf. supra).
- d'éliminer les H^+ et réabsorber les HCO_3^- selon les besoins et de régler ainsi le pH sanguin qui doit rester constant. Ceci peut se faire grâce à un pH urinaire très variable et adapté.
- d'éliminer les NH_3 de manière couplée ($NH_3 + H^+ \rightarrow NH_4^+$).

2.2 CARACTERISTIQUES DE L'URINE

L'urine est normalement :

- Stérile jusqu'à l'urètre.
- Claire.
- De couleur jaune pâle à jaune intense en fonction de sa concentration.
C'est l'urochrome, pigment dérivé de la bilirubine venant elle-même de la dégradation de l'hémoglobine des GR qui lui donne cette couleur.
Elle peut parfois avoir une autre couleur (aliments, médicaments, vitamines, sang...).
- D'odeur faible si fraîche et ammoniacale si reposée (décomposition des substances azotées par les bactéries), parfois spéciale (aliments, médicaments, maladies...).
- De pH 4.5 à 8, souvent ≈ 6 .
- Et contient 95% d' H_2O , 5% de solutés (surtout urée, Na^+ , K^+ , $HPO_4^{=}$, créatinine, acide urique, $\pm Ca^{++}$, Mg^{++} , bicarbonates...) et < 100 mg/24h de protéines.

2.3 FONCTIONS RENALES

2.3.1 FONCTION EXOCRINE

Les reins forment l'urine par filtration continue du plasma, réabsorption (épargne de substances utiles) et sécrétion tubulaires (élimination des indésirables).

→ Ils règlent le volume et la composition chimique du sang (H₂O, ions, équilibre acide/base) et participent largement à l'homéostasie des milieux internes.

2.3.2 FONCTION ENDOCRINE

- Ils sécrètent la rénine → maintien d'une PA et d'un volume circulant normaux.
- Ils sécrètent l'érythropoïétine → adaptation de la production des GR par la moelle osseuse.
- Ils sécrètent des facteurs hypotenseurs mal connus.
- Ils activent la vitamine D.

3. VOIES URINAIRES

3.1 URETERES

Les uretères sont des tubes de 25 à 30 cm de long et de 6 mm de diamètre qui relient les reins à la vessie.

Ils prolongent le bassinet au niveau de L2, leur trajet est rétropéritonéal et ils entrent obliquement dans la paroi postérieure de la vessie.

Ce trajet sous-muqueux oblique joue un rôle de « valve anti-reflux » qui permet d'empêcher les urines de remonter dans les uretères quand la vessie se remplit et pendant la miction.

Leur paroi, comme celle de toutes les voies urinaires, comporte 3 couches :

- * 1 couche interne muqueuse formée d'un épithélium de transition ;
- * 1 couche moyenne musculuse formée de 2 couches de muscles lisses, (1 circulaire et 1 longitudinale) ;
- * 1 couche externe qui est un adventice.

Les uretères ont un rôle actif dans le transport de l'urine grâce à des ondes péristaltiques qui les parcourent et qui sont stimulées par la distension locale surtout.

L'action de la pesanteur, en station debout, n'est pas négligeable.

3.2 VESSIE

La vessie est un sac musculaire lisse sous-péritonéal situé derrière la symphyse pubienne et sur le plancher pelvien, devant le vagin et l'utérus chez la femme et devant le rectum chez l'homme.

La vessie comporte 3 orifices :

- 2 pour l'arrivée des uretères ;
- 1 pour le départ de l'urètre.

Ils sont disposés en triangle à la base de la vessie et forment une zone lisse appelée trigone vésical.

L'urètre part de la partie la plus basse de la vessie, encore appelée « col de la vessie » qui est entouré, chez l'homme, par une petite glande de la taille d'un marron dénommée prostate.

La paroi est formée des 3 mêmes couches que les uretères, mais :

- la musculuse comporte 3 couches enchevêtrées de muscles lisses qui forment le détrusor ;
- l'adventice est remplacé par un feuillet de péritoine sur la face supérieure de la vessie.

La vessie vide a une forme conique à sommet inférieur, ses parois sont épaisses et sa face interne présente de nombreux plis.

La vessie pleine prend une forme de poire qui s'élève dans la cavité abdominale, sa paroi s'étire, s'amincit et les plis disparaissent.

La vessie a ainsi la possibilité d'emmagasiner une grande quantité d'urine sans que la pression interne ne s'élève beaucoup. Sa capacité normale est d'environ 300 ml mais peut dépasser 1 litre dans des conditions pathologiques.

3.3 URETRE

L'urètre est un mince conduit qui relie le col de la vessie au méat urinaire. Son épithélium se transforme progressivement en un épithélium pavimenteux non kératinisé.

Sur son trajet sont situés 2 sphincters :

- Le sphincter lisse supérieur et interne (SLI) dépend du SNA et fonctionne donc de manière involontaire.

Il est situé au niveau de la jonction entre l'urètre et la vessie.

- Le sphincter strié inférieur et externe (SSE) dépend du SNS et fonctionne donc de manière volontaire.

Il est situé au niveau du plancher pelvien.

Ces 2 sphincters assurent la continence en dehors de la miction.

3.3.1 CHEZ LA FEMME

L'urètre mesure 3 à 4 cm de long.

Il est attaché à la paroi antérieure du vagin et le méat urinaire est situé au niveau de la vulve, entre le clitoris et le vagin.

3.3.2 CHEZ L'HOMME

L'urètre mesure \approx 20 cm de long.

On lui distingue 3 parties :

- l'urètre prostatique (\approx 2.5 cm) qui traverse la prostate ;

- l'urètre membraneux (\approx 2 cm) au niveau du plancher pelvien ;

- l'urètre spongieux ou pénien (\approx 15 cm) qui parcourt le pénis.

L'urètre a ici 2 fonctions : le transport de l'urine mais aussi du sperme.

3.4 MICTION

La miction est l'émission des urines.

3.4.1 CENTRES NERVEUX

Les centres impliqués dans la miction sont au nombre de 3 :

CENTRES MEDULLAIRES

- centre réflexe σ de continence qui relâche le détrusor et contracte le SLI ;
- centre réflexe π de miction (moelle S2 à S4) qui contracte le détrusor et relâche le SLI.

CENTRE DU TRONC CEREBRAL

- centre de contrôle de la miction, influencé par le cortex cérébral.

3.4.2 REMPLISSAGE VESICAL

Tant que le volume vésical est < 200 ml, le centre de contrôle favorise 2 réflexes :

- réflexe σ de continence ;
- réflexe somatique (tonus SSE).

3.4.3 MICTION

Normalement, lorsque la vessie contient > 200 ml d'urine, la distension stimule les mécanorécepteurs de la paroi.

Cela déclenche des influx nerveux afférents :

- vers la moelle
 - réflexe π de miction ;
- vers le cortex
 - sensation de « besoin d'uriner » ;
- vers le centre de contrôle
 - contrôle de la miction.

SI LE CORTEX DIT « OUI » POUR LA MICTION :

- centre de contrôle dit « oui » ;
- facilite le réflexe π de miction et inhibe le réflexe σ de continence ;
- contraction du détrusor et relâchement SLI
 - + relâchement volontaire SSE (cortex) ;
- miction.

Normalement, le résidu post-mictionnel est < 10 ml.

SI LE CORTEX DIT « NON » POUR LA MICTION :

- centre de contrôle dit « non » ;
- inhibe le réflexe π de miction et facilite le réflexe σ de continence ;

- relâchement du détrusor et contraction SLI
- + contraction volontaire SSE (cortex) ;
- PAS de miction et reprise du remplissage.

Lorsque quelque 200 ml supplémentaires d'urine se sont accumulés, un nouveau réflexe se déclenche et ainsi de suite jusqu'à ce que nous acceptions d'uriner.

Quand le volume vésical devient > 500 à 600 ml, le besoin d'uriner devient irrépressible.

En l'absence de contrôle cortical (enfant avant apprentissage de la propreté, coma, trouble neurologique...), la miction se fait de manière réflexe.

* * *

SYSTEME DIGESTIF

1. GENERALITES

La digestion est la dégradation de la nourriture en molécules absorbables et utilisables comme source d'énergie par les cellules.

L'appareil digestif représente l'ensemble des organes qui accomplissent la digestion.

La gastroentérologie est la branche de la médecine qui étudie la structure et les fonctions des organes digestifs ainsi que le diagnostic et le traitement des maladies qui s'y rapportent.

1.1 REGULATION DE L'APPORT ALIMENTAIRE

L'hypothalamus contient 1 centre de la faim (CF) et 1 centre de la satiété (CS) qui régulent la sensation de faim et la prise de nourriture.

Naturellement, le CF stimule la prise de nourriture, il s'exprime tant que le CS ne l'inhibe pas.

Le CS inhibe le CF, lorsqu'il est lui-même activé par des stimuli témoins de la prise récente et suffisante de nourriture :

- hyperglycémie ;
- ↑ acides aminés sanguins ;
- ↑ tissu adipeux ;
- ↑ température corporelle ;
- distension de l'estomac et du duodénum ;
- ↑ CCK (cholécystokinine) qui est une hormone de l'intestin grêle.

Dans ces conditions, la sensation de faim disparaît et la recherche ainsi que la prise de nourriture s'arrêtent momentanément, jusqu'à ce que ces stimuli disparaissent et que le CS cesse d'inhiber le CF.

Le processus est très efficace dans la nature et permet d'adapter les apports aux besoins. Dans notre civilisation, l'accès quasi permanent à la nourriture, sans nécessité d'efforts physiques, la présentation appétissante des aliments ainsi que les horaires fixes, la convivialité et la valeur symbolique des repas, incitent les individus à manger « sans faim » quand les circonstances s'y prêtent.

Ceci représente une des causes des déséquilibres menant à l'obésité.

1.2 PROCESSUS DIGESTIFS

La digestion nécessite 6 étapes successives :

- 1) L'ingestion est l'introduction des aliments dans le corps, elle se fait par la bouche.
- 2) La propulsion représente les mouvements de la nourriture le long du tube digestif. Elle comprend la déglutition et le péristaltisme.
- 3) La digestion mécanique est le broyage et le brassage des aliments pour les transformer

en bouillie et en faciliter le mélange avec les sécrétions digestives → la digestion chimique. Elle comprend la mastication, le pétrissage gastrique et la segmentation dans l'intestin.

4) La digestion chimique représente l'ensemble des réactions cataboliques qui permettent la transformation des grosses molécules apportées par l'alimentation en molécules suffisamment petites pour pouvoir être absorbées (nutriments).

Elle se fait grâce aux **enzymes** des sécrétions digestives, dans la bouche, l'estomac et l'intestin grêle surtout.

5) L'absorption est le passage des nutriments depuis la lumière du tube digestif jusqu'aux vaisseaux sanguins et/ou lymphatiques. Elle se fait principalement dans l'intestin grêle.

6) La défécation est l'expulsion des substances non digestibles ou non digérées (fèces ou selles) hors de l'organisme par l'anus.

1.3 ORGANISATION GENERALE

1.3.1 TOPOGRAPHIE DE L'ABDOMEN

Hypocondre D	Epigastre	Hypocondre G
Flanc D	Région péri-ombilicale	Flanc G
Fosse iliaque D	Hypogastre	Fosse iliaque G

1.3.2 TUBE DIGESTIF

Le tube digestif est la partie de l'appareil digestif dans laquelle cheminent les aliments depuis l'ingestion jusqu'à la défécation, c'est-à-dire de la bouche jusqu'à l'anus. Sa longueur est d'environ 9 mètres sur le cadavre. Il ne comporte donc que des organes creux.

On distingue successivement :

- la bouche et la cavité buccale ;
- le pharynx ;
- l'œsophage ;
- l'estomac ;
- l'intestin grêle avec :
 - * le duodénum,
 - * le jéjunum,
 - * l'iléon ;
- le gros intestin avec :

- * le cæcum et l'appendice vermiculaire,
 - * les côlons ascendant, transverse, descendant et sigmoïde,
 - * le rectum ;
- le canal anal et l'anus.

1.3.3 GLANDES ET ORGANES ANNEXES

Les glandes et les organes annexes participent à la digestion.
 Les dents, la langue et les glandes salivaires sont annexées à la cavité buccale.
 Le foie, la vésicule biliaire et le pancréas sont annexés au duodénum.

1.4 HISTOLOGIE GENERALE DU TUBE DIGESTIF

De l'intérieur vers l'extérieur, la paroi du tube digestif (TD) est faite successivement de

1.4.1 MUQUEUSE

L'épithélium de revêtement est en contact avec les aliments.
 Ses cellules ne sont pas kératinisées.
 Il est stratifié au niveau de la bouche, de l'œsophage et du canal anal et simple partout ailleurs.
 Il comporte de nombreuses glandes à mucus.

Le chorion est le tissu conjonctif lâche sous-jacent.
 Il contient des vaisseaux sanguins et lymphatiques ainsi que des follicules lymphoïdes assurant la protection locale.

La muscularis mucosae représente les muscles lisses qui plissent la muqueuse pour en augmenter la surface.

1.4.2 SOUS – MUQUEUSE

La sous-muqueuse est une paroi intermédiaire constituée de tissu conjonctif lâche contenant de nombreux vaisseaux et des plexus nerveux (dépendant du SNA) innervant les muscles de la muscularis mucosae (plexus de Meissner) et les glandes muqueuses.

1.4.3 MUSCULEUSE

Cette couche de tissu musculaire est faite de :

- muscles striés pour la mastication, la déglutition et la défécation (bouche, pharynx, œsophage supérieur et canal anal) ;
- muscles lisses pour le péristaltisme et le pétrissage partout ailleurs.

Sauf exception (ex : estomac) les muscles lisses sont disposés en 2 couches :

- * 1 couche circulaire interne ;
- * 1 couche longitudinale externe.

A divers endroits, la couche circulaire est hypertrophiée et forme des sphincters qui régissent le passage des aliments et empêchent le retour en arrière.

La couche musculieuse contient aussi les plexus nerveux du SNA (plexus d'Auerbach) qui l'innervent et régulent donc la motricité du TD.

1.4.4 SÉREUSE / ADVENTICE

La couche la plus externe est constituée soit :

- de péritoine viscéral, ce qui est le cas sur la majeure partie du TD ;
- d'un adventice, là où le péritoine n'arrive pas au contact du TD (œsophage / face postérieure des organes rétro-péritonéaux, bas rectum et canal anal).

1.5 REGULATION

Ce sont des stimuli tels que :

- distension de la paroi de l'organe ;
- variation intraluminaire de pH ;
- variation d'osmolarité ;
- présence de certains aliments ou de produits de la digestion...

qui stimulent les mécanorécepteurs et/ou les chimiorécepteurs de la paroi et provoquent des réflexes stimulants ou inhibiteurs.

On distingue les réflexes longs qui mettent en jeu le SNA jusqu'au SNC et les réflexes courts qui restent localisés aux plexus locaux.

Ces réflexes influencent :

- la sécrétion des sucs digestifs ;
- la sécrétion d'hormones sanguines ;
- le péristaltisme.

1.6 PÉRITOINE

Le péritoine est la séreuse se situant dans la cavité abdominale.

Comme toutes les séreuses, c'est une membrane composée d'un mésothélium (EPS) et d'une fine couche de tissu conjonctif lâche.

On y distingue :

- 1 feuillet pariétal tapissant les parois de la cavité abdominale ;

- 1 feuillet viscéral recouvrant la plupart des organes de la cavité abdominale.
 Entre les 2 feuillets, la cavité virtuelle contient un peu de liquide séreux qui permet la lubrification des feuillets et leur déplacement avec un minimum de frottement.

Le péritoine présente plusieurs zones d'accolement entre les feuillets, qu'on appelle :

- mésentères pour l'intestin grêle ;
- mésocôlon pour le côlon.

Tous 2 contiennent les vaisseaux et les nerfs qui vont ou viennent des viscères et relie ces viscères à la paroi postérieure.

- petit épiploon situé entre le foie et l'estomac ;
- grand épiploon qui est situé entre l'estomac et le côlon.

Ce dernier contient du tissu adipeux et pend devant les intestins comme un tablier.

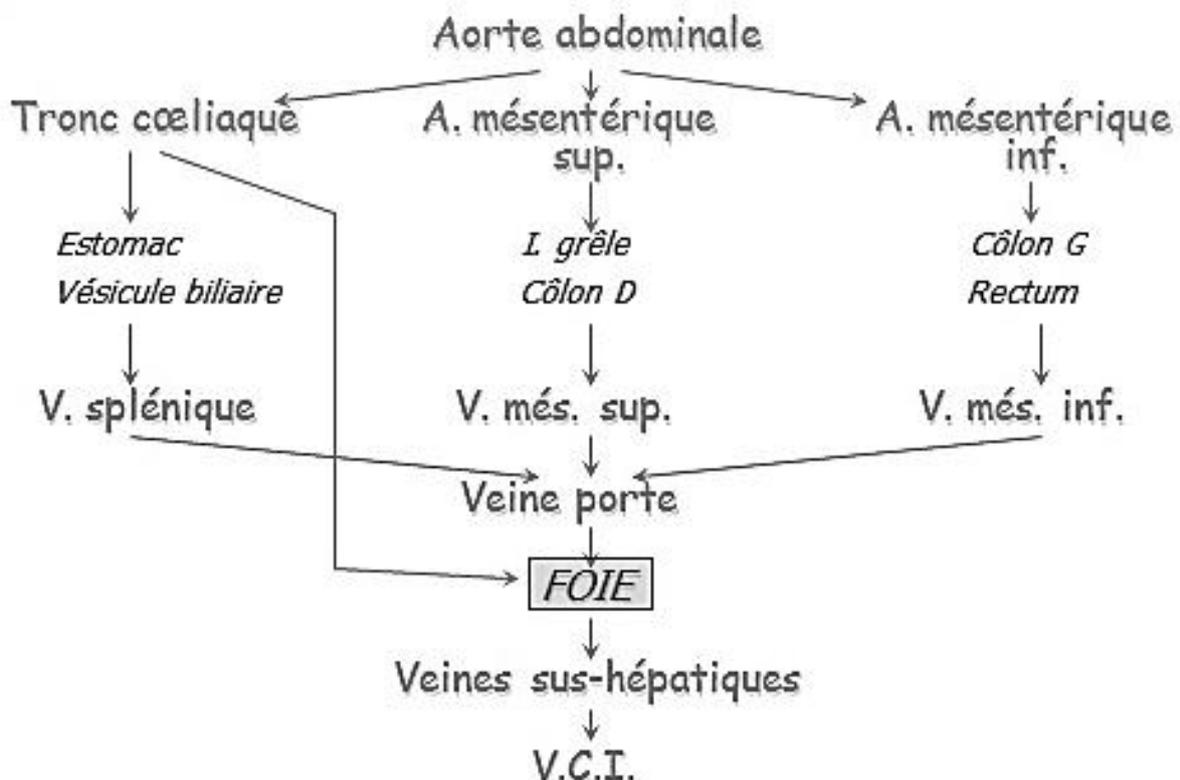
L'estomac, l'intestin grêle, le côlon, l'appendice, le foie, la vésicule biliaire (et la rate) sont des organes intra-péritonéaux.

Le duodénum, le pancréas (et les reins) sont rétro-péritonéaux.

Le rectum (et la vessie et les organes génitaux internes) sont sous-péritonéaux.

La partie la plus déclive de la cavité péritonéale, située entre le rectum et le vagin (chez la femme) ou la vessie (chez l'homme) est appelée cul-de-sac de Douglas.

1.7 CIRCULATION SPLANCHNIQUE



2. ETUDE SYSTEMATIQUE

2.1 CAVITE BUCCALE

2.1.1 ANATOMIE

La cavité buccale s'ouvre en avant par l'orifice buccal = la bouche qui est formé d'1 lèvre supérieure et d'1 lèvre inférieure.

La cavité buccale est limitée :

- en haut, par la voûte du palais dur (os maxillaires et os palatins) en avant et par le voile du palais (= palais mou) et la luette en arrière ;
- en bas, par le plancher buccal qui est une sangle musculaire tendue entre les 2 branches de la mandibule et l'os hyoïde ;
- latéralement, par les joues.

La cavité buccale communique en arrière avec l'oropharynx.

Elle en est séparée par les piliers antérieurs et postérieurs du voile du palais qui abritent, entre eux, les amygdales palatines.

La cavité buccale contient la langue, les dents et est le lieu d'abouchement des glandes salivaires.

2.1.2 LA LANGUE

La langue est un organe charnu, mobile et saillant dans la cavité buccale, elle participe à la formation du plancher buccal via ses muscles.

Elle est composée :

- D'un « squelette » formé par l'os hyoïde et une membrane fibreuse très résistante appelée septum lingual qui la sépare en 2 moitiés G et D.
Ce squelette sert de base d'insertion aux muscles linguaux.
- De nombreux muscles extrinsèques (prenant naissance dans le plancher buccal, c'est-à-dire en dehors de la langue) qui permettent les mouvements latéraux et d'avant en arrière pour la mastication et la déglutition.
- De nombreux muscles intrinsèques (limités à la langue) qui permettent d'en modifier la forme et la taille pour la déglutition et le langage.

Sur sa face inférieure, on trouve le frein de la langue qui est un repli muqueux.

A la base de la langue, juste en avant de l'épiglotte, et en arrière du V lingual, on trouve les amygdales linguales.

La langue est recouverte d'une muqueuse caractérisée par la présence de papilles de différentes natures, dont certaines sont gustatives.

Ces dernières apportent la sensation du goût.

On distingue 4 saveurs fondamentales :

- le sucré et le salé, ressentis surtout sur le bout de la langue ;
 - l'acide, ressenti surtout sur les bords latéraux ;
 - l'amer, ressenti dans la partie postérieure ;
- ainsi que l'umami.

A ces sensations, s'ajoutent les odeurs particulières des aliments ressenties par la muqueuse olfactive des cavités nasales, qui nous permettent de reconnaître les différents aliments.

La langue intervient donc dans la gustation, la mastication, la déglutition et la phonation.

2.1.3 LES GLANDES SALIVAIRES

Les glandes salivaires, situées dans ou près de la cavité buccale, sécrètent la salive qui a pour fonction de lubrifier, ramollir et dissoudre certains aliments, elle commence la digestion.

On distingue 3 variétés de glandes salivaires :

- Les glandes parotides, qui sont les plus volumineuses.
Elles sont situées en avant et en dessous du conduit auditif, entre la peau et le masséter.
Leur canal excréteur, le canal de Sténon, s'abouche dans la joue, au niveau de la 2^{ème} molaire supérieure.
- Les glandes sous-maxillaires = sous-mandibulaires sont situées sous la base de la langue, dans la partie postérieure du plancher de la bouche.
Leur canal excréteur, le canal de Wharton, s'abouche à la base du frein de la langue.
- Les glandes sublinguales sont situées devant les précédentes.
Leurs canaux excréteurs, appelés canaux de Walther, s'ouvrent sur le plancher buccal.

La salive a un pH légèrement acide.

Elle est composée essentiellement d'eau (99 %) et de solutés, comprenant des ions, des substances organiques (dont des IgA) et des enzymes.

Parmi ces derniers, on distingue :

- l'amylase salivaire qui a un rôle dans la digestion chimique ;
- le lysozyme qui a un effet bactériolytique.

Nous en sécrétons 1 litre à 1.5 litres par jour.

Sa sécrétion est régulée par le SNA :

- * Le $SN_{\pi\Sigma}$ en stimule la sécrétion.
- * Le SNo_{Σ} l'inhibe.
- * La déshydratation l'inhibe (→ sécheresse des muqueuses → soif).
- * La présence d'aliments dans la cavité buccale, l'odeur, la vue, le toucher et même la pensée (réflexe conditionné) des aliments la stimulent.

2.1.4 LES DENTS

Les dents sont logées dans les alvéoles dentaires du maxillaire et de la mandibule. Leur base est recouverte de gencive.

On leur distingue 3 parties :

- la couronne qui est la partie visible ;
- le collet au niveau de la gencive ;
- la ou les racine(s) qui fixe(nt) la dent dans l'alvéole osseuse, sous la gencive.

Les dents sont composées :

- D'une cavité centrale = la chambre pulpaire, qui se prolonge par des canaux dans les racines. Elle est remplie de tissu conjonctif, de vaisseaux sanguins et de nerfs.
- D'une structure de substance dure comme de l'os, appelée ivoire ou dentine.
- L'ivoire de la couronne est recouvert d'émail, substance la plus dure du corps humain qui protège contre l'usure et les attaques acides.
- L'ivoire des racines est recouvert de cément.

Les racines sont attachées dans l'alvéole par le ligament alvéolo-dentaire.

La DENTURE TEMPORAIRE (dents de lait) comporte 20 dents (2 incisives, 1 canine et 2 molaires par quart de bouche).

Ces dents poussent de 6 mois à 3 ans et tombent de 6 ans à 12 ans, avec de grandes variations individuelles.

La DENTURE PERMANENTE (dents définitives) comporte 32 dents qui poussent entre 6 ans et l'âge adulte (dents de sagesse).

Elle comporte 2 incisives, 1 canine, 2 prémolaires et 3 molaires par quart de bouche.

Les incisives ont une forme de biseau, elles coupent.

Les canines ont une surface pointue, elles déchirent.

Les prémolaires ont 2 cuspides et 1 ou 2 racine(s), elles écrasent et broient.

Les molaires ont 4 cuspides et 2 ou 3 racines, elles écrasent et broient.

2.1.5 DIGESTION BUCCALE

La digestion mécanique est réalisée par la mastication : les aliments sont broyés et mélangés à la salive de manière à les transformer en un bol alimentaire mou et apte à être avalé.

La digestion chimique est réalisée par l'**amylase salivaire** qui transforme une partie des sucres complexes en sucres doubles (exemple : amidon → maltose = Glu-Glu).

2.2 OESOPHAGE

L'œsophage est le conduit musculo-membraneux souple, reliant le pharynx à l'estomac. Il traverse le cou et le médiastin en avant de la colonne vertébrale et en arrière de la trachée. Il traverse ensuite le diaphragme par l'hiatus œsophagien pour se terminer dans la partie supérieure de l'estomac : le cardia.

Sa couche musculieuse passe progressivement de fibres striées dans sa partie supérieure à des fibres lisses dans sa partie inférieure.

Il comporte 2 sphincters à ses extrémités :

- 1 sphincter œsophagien supérieur (SOS) ;
- 1 sphincter œsophagien inférieur (SOI).

Sa tunique externe est un adventice.

Sa paroi interne est recouverte de muqueuse qui sécrète un mucus facilitant le passage du bol alimentaire. L'épithélium est pavimenteux stratifié non kératinisé.

L'œsophage a comme fonction d'amener les aliments à l'estomac.

2.3 DEGLUTITION

La déglutition est le mécanisme par lequel le bol alimentaire passe de la cavité buccale jusqu'à l'estomac. Elle est facilitée par la mastication, la salive et le mucus.

La déglutition comporte 3 étapes :

2.3.1 ETAPE ORALE

C'est une étape volontaire.

Le bol alimentaire est poussé par la langue vers le haut et l'arrière, contre le palais mou.

2.3.2 ETAPE PHARYNGIENNE

Le contact du bol alimentaire avec le voile du palais stimule un réflexe régi par le centre bulbaire de la déglutition.

Ce réflexe a pour effet de fermer les voies aériennes et d'interrompre momentanément la respiration avec :

- élévation du voile du palais et de la luette qui viennent s'appliquer contre la paroi postérieure du pharynx et donc fermeture du nasopharynx ;
- remontée du larynx avec bascule de l'épiglotte sur le larynx et donc fermeture de la glotte.

Le bol alimentaire traverse alors l'oropharynx et l'hypopharynx grâce à la contraction des muscles pharyngiens pour aboutir dans l'œsophage dont le sphincter supérieur s'ouvre.

Dès que le bol alimentaire est passé, les voies aériennes se rouvrent par relâchement des muscles et retour à la situation initiale et le SOS se referme.

2.3.3 ETAPE ŒSOPHAGIENNE

Cette étape est également involontaire.

Après passage du SOS, la progression du bol alimentaire est assurée par le péristaltisme œsophagien.

Les contractions œsophagiennes avancent comme des « ondes » de haut en bas, avec :

- contraction des fibres musculaires circulaires en arrière du bol ;
- contraction des fibres longitudinales au niveau du bol ;
- relâchement des fibres circulaires en avant du bol.

Ceci pousse le bol alimentaire vers l'estomac en quelques secondes.

Les liquides descendent, eux, grâce à la pesanteur.

Le SOI s'ouvre au passage du bol alimentaire pour se refermer ensuite et le bol arrive ainsi dans l'estomac.

La bonne fermeture du SOI en dehors de la déglutition empêche le reflux du contenu gastrique.

2.4 ESTOMAC

2.4.1 ANATOMIE

L'estomac est la portion de TD qui fait suite à l'œsophage, il est dilaté en forme de J et mesure ≈ 25 cm de long et ≈ 12 cm de large.

Il est situé dans l'abdomen, sous le diaphragme et s'étale dans les régions épigastrique, péri-ombilicale et de l'hypocondre G.

Sa partie inférieure est en continuité avec la 1^{ère} partie de l'intestin grêle : le duodénum.

On distingue plusieurs parties à l'estomac :

- Le cardia est la partie supérieure qui fait directement suite au SOI.

- Le fundus est la portion supérieure arrondie, au contact avec le diaphragme.

Il forme avec l'œsophage un angle appelé « angle de His ».

Il est aussi appelé « poche à air » puisque c'est là que se collecte l'air présent dans l'estomac, en position debout.

- Le corps est la partie centrale qui est volumineuse.

- L'antre pylorique est la portion distale, en forme d'entonnoir.

- Le pylore, avec son sphincter pylorique est la porte de sortie de l'estomac.

- La petite courbure est le bord interne concave.
- La grande courbure est le bord externe convexe.

Lorsque l'estomac est vide, sa paroi présente de gros plis verticaux.

Sa musculature (muscle lisse) est composée de 3 couches, 1 couche longitudinale externe, 1 couche circulaire moyenne et 1 couche oblique interne.

2.4.2 SECRETION GASTRIQUE

La sécrétion gastrique est double :

- * sécrétion exocrine de suc gastrique, déversé dans la lumière de l'estomac ;
- * sécrétion endocrine d'hormones gastriques, déversées dans le sang.

LE SUC GASTRIQUE

Le suc gastrique (2 à 3 litres / jour) est un mélange de plusieurs produits sécrétés par les glandes de la muqueuse :

- Le mucus protège la muqueuse.
- L'HCl ↓ le pH jusqu'à ≈ 2 (il aide ainsi au délitement des aliments et tue un grand nombre des bactéries que l'on a ingérées) et active le pepsinogène.
- Le facteur intrinsèque (FI) se lie à la vitamine B12 et en permet l'absorption au niveau de l'intestin grêle.
- Le pepsinogène, activé en pepsine par l'HCl, scinde les protéines en gros polypeptides.

LA SECRETION ENDOCRINE

La sécrétion endocrine est composée d'un cocktail d'hormones, dont nous ne retiendrons que la plus importante :

- la gastrine gastrique qui stimule la sécrétion de suc gastrique (riche en HCl et pepsinogène) et qui stimule la vidange de l'estomac (contraction du SOI, contractions des parois de l'estomac et relâchement du sphincter pylorique).

2.4.3 REGULATION GASTRIQUE

- « + » correspond à « stimule les sécrétions et la motricité gastriques », elle se fait par le nerf vague (X), la gastrine et l'histamine (récepteurs H_2).
- « - » correspond à « inhibe les sécrétions et motricité gastriques ».

PHASE CEPHALIQUE

La faim, la pensée, la vue, l'odeur et le goût des aliments +.

Le stress, la colère, la peur et l'anxiété -.

PHASE GASTRIQUE

La présence d'aliments (surtout protéines, café, alcool) dans l'estomac, } +
L'↑ du pH gastrique
L'excès d'acidité –

PHASE INTESTINALE

L'arrivée des premiers peptides dans le duodénum +
La distension de l'intestin grêle
La sécrétion d'hormones intestinales (CCK, Sécrétine, GIP) } –

2.4.4 DIGESTION DANS L'ESTOMAC

La digestion mécanique comprend les ondes de mélange qui permettent le mélange du bol alimentaire avec le suc gastrique et la réduction des aliments en une bouillie, appelée chyme. Petit à petit, des ondes plus fortes poussent le chyme vers le pylore qui va s'ouvrir et laisser passer une petite partie du chyme, le reste revenant en arrière. Pendant tout ce temps, le SOI est fermé.

La digestion chimique est amorcée par l'action de la **pepsine** qui coupe grossièrement les protéines en gros polypeptides.

La paroi de l'estomac est très peu perméable, seuls l'eau, quelques électrolytes, certains médicaments et l'alcool peuvent y être partiellement absorbés.

L'estomac se vide en 2 (repas riche en glucides) à 6 heures (repas riche en graisses).

2.5 PANCREAS

2.5.1 ANATOMIE

Le pancréas est une glande annexe de l'intestin grêle.
Il a une longueur de ≈ 12 cm et est situé derrière la grande courbure de l'estomac.

On lui distingue :

- * 1 tête, partie élargie lovée dans le cadre duodénal ;
- * 1 corps, la partie centrale ;
- * 1 queue, extrémité effilée se terminant près de la rate.

2.5.2 HISTOLOGIE

La glande comprend 2 parties :

Le pancréas endocrine, ne représente qu'1% des cellules pancréatiques, elles sont regroupées en « îlots de Langerhans » disséminés dans la glande et sécrètent principalement l'**insuline** et le **glucagon**.

Le pancréas exocrine, représente la majeure partie (99%) de la glande et ses cellules sécrètent le **suc pancréatique** dans des canaux menant au duodénum.

Les petits canaux se regroupent pour former :

- 1 canal principal : le canal de Wirsung qui s'abouche en D2 (en aval), au niveau de la grande caroncule, avec le canal cholédoque en formant l'ampoule de Vater, entourée par le sphincter d'Oddi.
- 1 canal accessoire : le canal de Santorini qui s'abouche aussi en D2 (en amont), au niveau de la petite caroncule.

2.5.3 SUC PANCREATIQUE ET DIGESTION

Le suc pancréatique est un liquide incolore, à pH basique. Nous en sécrétons 1 à 1.5 l/jour.

Il contient les enzymes suivantes :

- L'amylase pancréatique complète l'action de l'amylase salivaire et transforme les sucres complexes restants en sucres doubles.
- La lipase pancréatique transforme les lipides en glycérol + acides gras.
- La (désoxy-)ribonucléase scinde les acides nucléiques en nucléotides.
- Le trypsinogène, activé en trypsine par l'entérokinase de l'intestin grêle ;
le chymotrypsinogène, activé en chymotrypsine par la trypsine ;
la procarboxypeptidase, activée en carboxypeptidase par la trypsine ;
continuent, toutes les 3, la digestion des protéines en transformant les gros polypeptides en plus petits peptides.

La sécrétion du suc pancréatique est activée par le nerf vague lors des phases céphalique et gastrique de la digestion.

Elle est également activée par la sécrétine et la cholécystokinine (CCK), 2 hormones sécrétées lors de l'arrivée du chyme dans l'intestin grêle.

2.6 FOIE ET VOIES BILIAIRES

2.6.1 ANATOMIE

Le foie est une glande annexe du tube digestif.

Il pèse ~ 1.5 kg et est situé dans l'hypocondre droit et l'épigastre, sous le diaphragme.

Il est recouvert de péritoine.

Sur sa face antéro-supérieure, on voit 2 lobes, un grand lobe D et un petit lobe G, séparés par le ligament falciforme.

Sur sa face postéro-inférieure, on distingue 4 lobes : les lobes D et G sur les côtés avec, entre eux, le lobe carré (en avant) et le lobe de Spiegel (en arrière).

Au centre, on trouve le hile hépatique (voie d'abord des vaisseaux sanguins et lymphatiques, des nerfs et des canaux hépatiques), avec, devant, l'empreinte de la vésicule biliaire et derrière, celle de la veine cave inférieure.

2.6.2 HISTOLOGIE

Les lobes du foie contiennent un grand nombre d'unités fonctionnelles appelées « lobules hépatiques ».

Chaque lobule contient des travées d'hépatocytes disposées en rayons autour d'une veine centrale de sortie du sang appelée « veine centrolobulaire ».

Ces travées sont séparées par des capillaires sinusoïdes, dans lesquels le sang circule de la périphérie vers le centre. Ils contiennent çà et là des cellules de Kupffer, macrophages capables de détruire les vieux GR, GB et les bactéries.

Entre les cellules, on trouve les canalicules biliaires dans lesquels circule la bile.

Autour des lobules, on trouve les « espaces portes » faits de tissu conjonctif dans lesquels cheminent les voies d'arrivée du sang (branches de l'artère hépatique et de la veine porte) et de départ de la bile (canaux biliaires).

2.6.3 CIRCULATION SANGUINE

L'apport sanguin, via le hile du foie, est donc double :

- L'artère hépatique, branche du tronc coélique et de l'aorte, apporte du sang bien oxygéné, important pour la survie cellulaire.

Elle représente la circulation **nutritionnelle** du foie.

- La veine porte hépatique, formée par la réunion des veines splénique, mésentériques inférieure et supérieure, drainant l'intestin, apporte du sang désoxygéné mais chargé des nutriments qui viennent d'être absorbés et qui vont pouvoir être métabolisés par les hépatocytes.

Elle représente la circulation **fonctionnelle** du foie.

Le sang de ces 2 voies se mélange dans les sinusoïdes.

L'O₂ en est extrait et consommé, les nutriments aussi pour être soit stockés, soit métabolisés dans de nouvelles synthèses. Ils peuvent ensuite être renvoyés dans le sang.

Le sang des sinusoïdes se déverse dans la veine centrolobulaire.

Les veines centrolobulaires se réunissent pour former les veines sus-hépatiques qui se jettent dans la VCI.

La circulation sanguine va donc de la périphérie du lobule vers son centre.

2.6.4 CIRCULATION BILIAIRE ET VOIES BILIAIRES

La bile est sécrétée par les hépatocytes dans les canalicules biliaires qui cheminent dans les travées d'hépatocytes : ils commencent au centre du lobule où leur bout est fermé pour se diriger vers les espaces portes.

Ils se réunissent en canaux biliaires qui se réuniront à leur tour pour former les canaux hépatiques G et D qui se réuniront au niveau du hile du foie en 1 canal hépatique commun.

La bile circule donc du centre du lobule vers sa périphérie.

En dehors de la digestion.

La bile descend le canal cholédoque mais butte contre le sphincter d'Oddi qui est fermé. Elle reflue vers le canal cystique et la vésicule biliaire où elle va être emmagasinée et concentrée. La vésicule biliaire est une poche en forme de poire de ≈ 10 cm de long, située sur la face inférieure du foie et dont le fond affleure au bord antérieur du foie et du gril costal.

En période de digestion.

Le sphincter d'Oddi va s'ouvrir pour laisser passer la bile du foie et le suc pancréatique dans l'ampoule de Vater et le 2^{ème} duodénum.

Si le repas a été gras, la vésicule biliaire se contractera pour déverser un surplus de bile.

2.6.5 FONCTIONS HEPATIQUES

SECRETION GLANDULAIRE

ENDOCRINE

Protéines plasmatiques : albumine, protéines de transport.

Facteurs de coagulation protéiniques dont les facteurs II, VII, IX, X (facteurs vit K dépendants).

EXOCRINE : Bile

Sécrétion ≈ 1 litre/jour.

La bile est un liquide de couleur vert jaunâtre, à pH basique, contenant notamment :

- Des sels biliaires pour émulsionner les graisses dans l'intestin grêle et faciliter l'action de la lipase pancréatique. La bile est donc un produit de sécrétion digestive.
- Des pigments, dont principalement la bilirubine qui provient de la dégradation de l'hémoglobine des GR, ainsi que du cholestérol.

La bile est donc aussi un produit excréteur.

STOCKAGE / LIBERATION en fonction des besoins

- Glucides.
- Lipides.
- Vitamines liposolubles (ADEK) + Vitamine B 12 et Fer.

DETOXIFICATION

- Bilirubine < hème des GR.
- Urée < NH_3 < acides aminés < protéines.
- Substances toxiques y compris les médicaments
→ extraction puis transformation en molécules moins toxiques et plus éliminables.

PHAGOCYTOSE et dégradation des vieux GR, GB, bactéries...

2.7 INTESTIN GRELE

2.7.1 ANATOMIE

L'intestin grêle assure la majeure partie de la digestion et de l'absorption des aliments.

Il va du pylore de l'estomac jusqu'au côlon et mesure ≈ 6 mètres de long et ≈ 2.5 cm de diamètre.

Il comporte 3 segments :

- Le duodénum mesure ≈ 25 cm.
- Le jéjunum mesure ≈ 2.5 m.
- L'iléon mesure ≈ 3.5 m.

2.7.2 HISTOLOGIE

La muqueuse et la sous-muqueuse se sont bien adaptées à leurs fonctions et présentent des replis en 3 niveaux pour offrir une surface maximale dans un volume minimum ($\approx 200\text{m}^2$) :

- Les valvules conniventes sont des gros replis de muqueuse de ≈ 1 cm de haut qui fractionnent le chyme et en retardent l'avancement.
- Les villosités sont des saillies de ≈ 1 mm de haut qui donnent à la muqueuse son aspect duveteux. Leur axe contient du tissu conjonctif avec ses nerfs et ses vaisseaux sanguins et lymphatiques pour drainer les nutriments absorbés.
Dans le fond des villosités, on trouve les glandes qui sécrètent le suc intestinal et le mucus tapissant la muqueuse.
- Les microvillosités représentent les replis de membrane plasmique des cellules épithéliales sur leur côté en contact avec la lumière de l'intestin, c'est à leur niveau que se trouvent les enzymes intestinales.

2.7.3 SUC INTESTINAL ET DIGESTION

Nous sécrétons 1 à 2 litres/jour de suc intestinal.

Il a un pH neutre à la base, contient surtout de l'eau et du mucus et sert essentiellement :

- A participer à la dilution et la neutralisation du chyme hypertonique et acide qui sort de l'estomac en collaboration avec la bile et le suc pancréatique auxquels il se mélange.
- Au transport des nutriments dans les cellules intestinales puis dans les vaisseaux lors de leur réabsorption.

Ceci ne peut se faire correctement que si l'avancée du chyme est suffisamment lente, sinon, il y a appel massif d'eau dans la lumière du tube digestif et troubles intestinaux.

La plupart des enzymes qui agissent dans l'intestin grêle proviennent de la bile et du suc pancréatique (voir supra) sauf l'entérokinase qui active le trypsinogène en trypsine. Les autres sont situés à la surface des microvillosités, dans les cellules épithéliales.

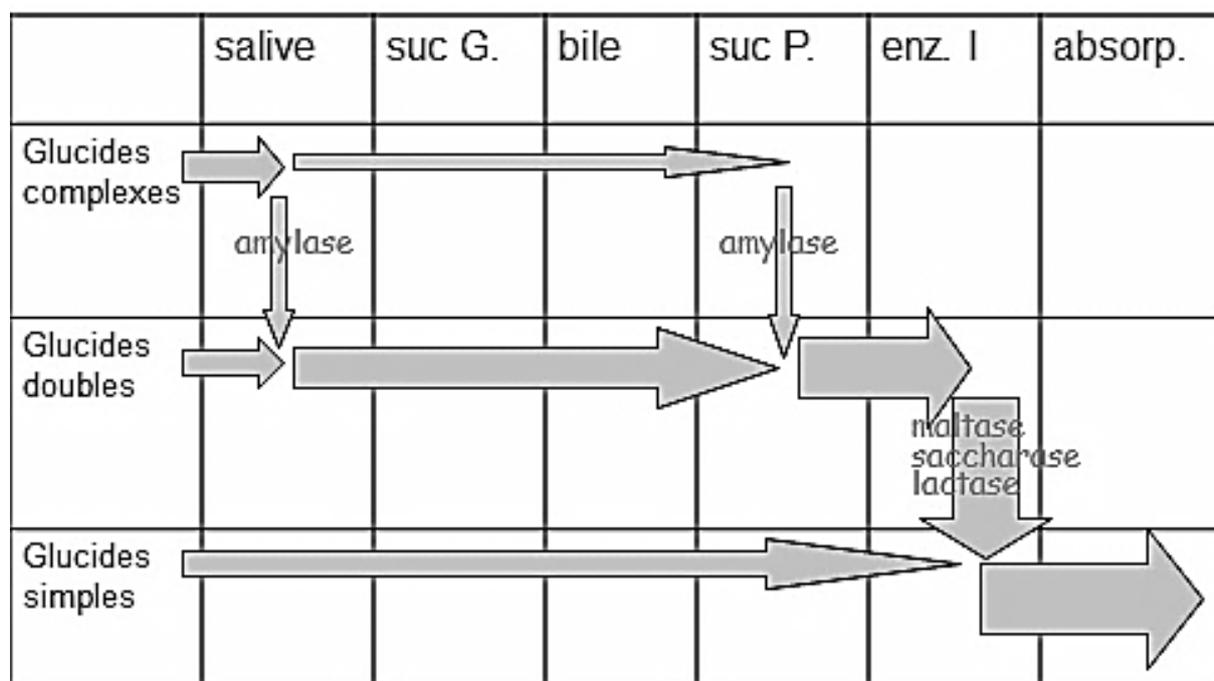
On y trouve :

- * la maltase, la saccharase et la lactase qui cassent les sucres doubles en sucres simples ;
- * les peptidases qui terminent la digestion des protéines ;
- * les nucléotidases qui finissent la digestion des acides nucléiques.

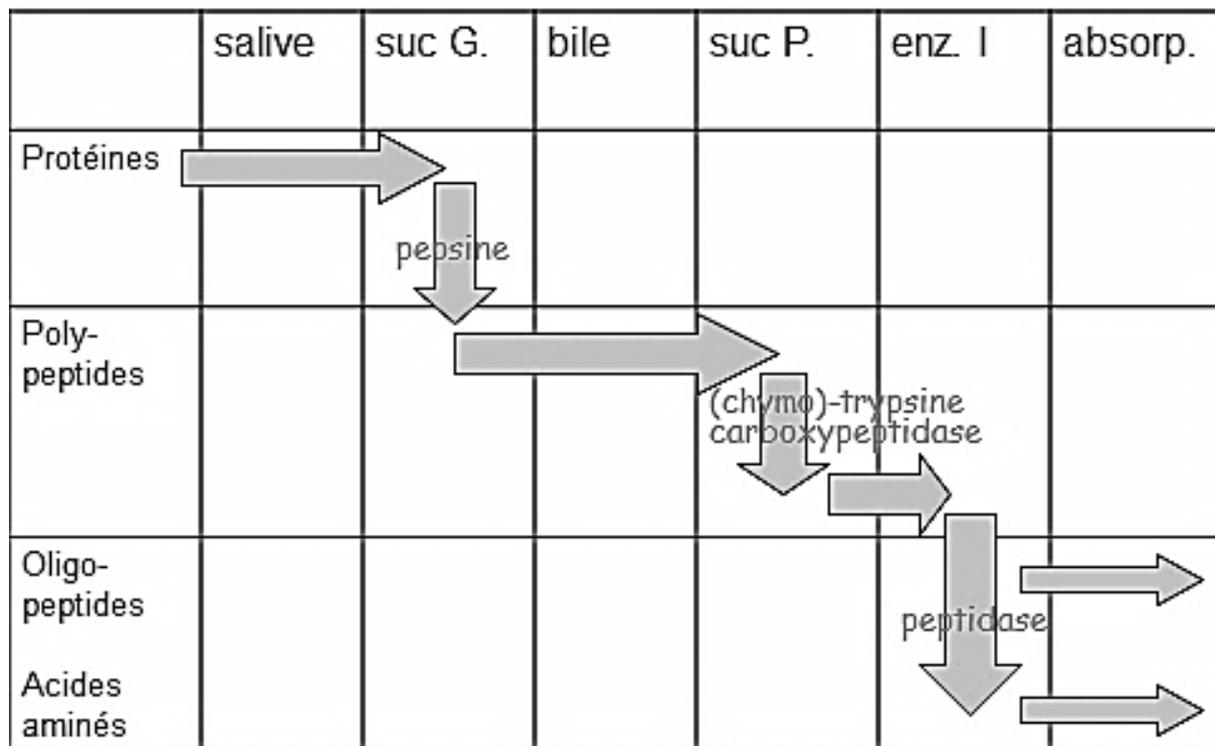
Le chyme met 3 à 6 heures pour parcourir l'intestin grêle, il y avance grâce au péristaltisme d'environ 1 cm/min.

2.8 PANORAMA RECAPITULATIF DE LA DIGESTION DES ALIMENTS

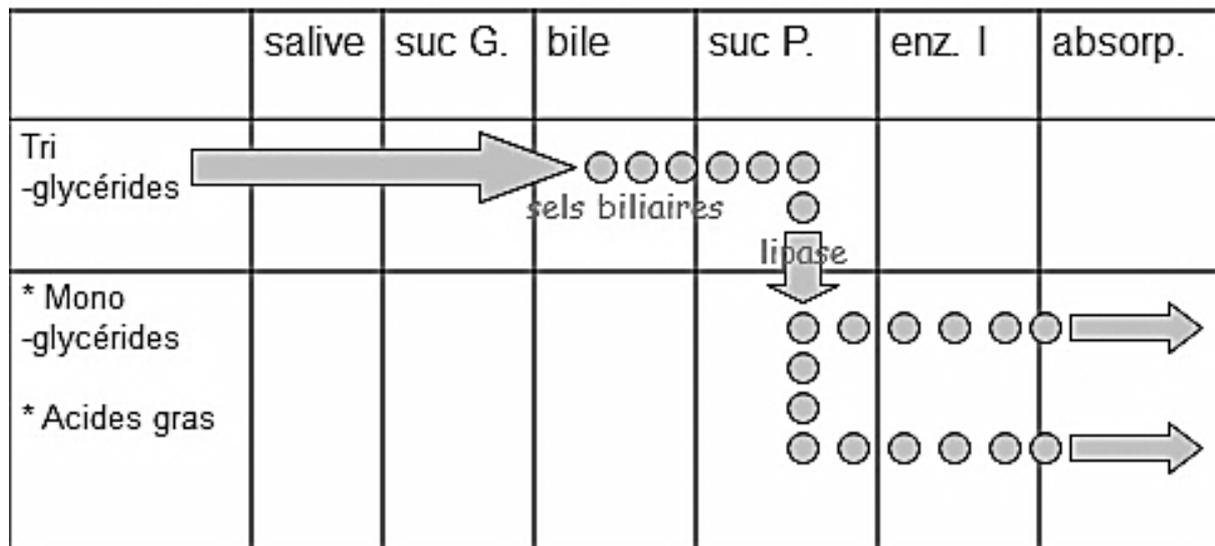
2.8.1 GLUCIDES



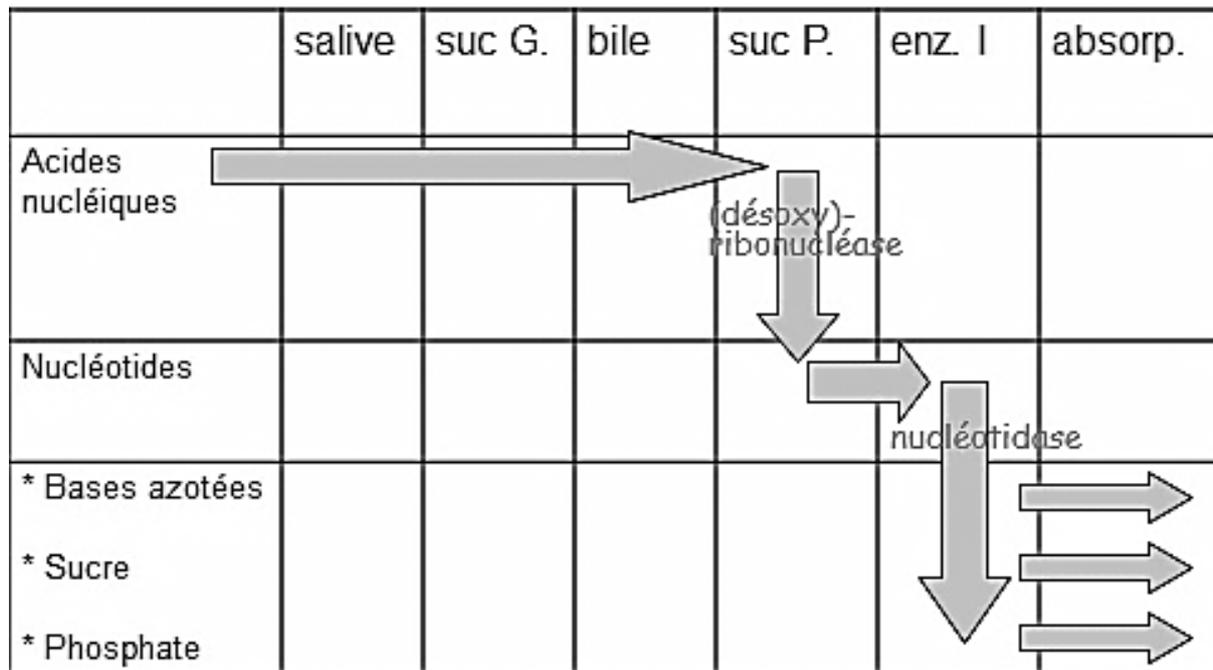
2.8.2 PROTIDES



2.8.3 LIPIDES



2.8.4 ACIDES NUCLEIQUES



Après absorption, les sucres simples (glucose, fructose, galactose) ainsi que les oligopeptides et les acides aminés passent dans les capillaires sanguins des villosités dont le sang

- est drainé par la veine mésentérique supérieure, puis la veine porte hépatique,
- passe par le foie,
- finit par rejoindre la circulation générale via la VCI.

Après absorption, les lipides peuvent emprunter le même chemin via les capillaires sanguins, ou passer dans les capillaires lymphatiques des villosités, qui les emmèneront vers les veines lymphatiques et le canal thoracique pour être enfin rejetés dans la veine sous-clavière G et rejoindre ainsi la circulation générale en ayant évité un 1^{er} passage hépatique et une surcharge du foie en lipides.

On notera que l'absorption des lipides est importante, parce qu'elle permet conjointement l'absorption des vitamines liposolubles (A, D, E, K).

Les vitamines hydrosolubles sont, elles, absorbées directement.

2.8.5 CYCLES ENTERO-HEPATIQUES

Les sels biliaires ont pour seule fonction d'émulsionner les lipides (formation de micelles = microgouttelettes de lipides physiquement stables en suspension aqueuse) pour permettre une plus grande surface d'attaque et une meilleure efficacité de la lipase pancréatique.

Quand les lipides contenus dans ces micelles auront été digérés et absorbés, les sels biliaires seront eux aussi réabsorbés en grande partie par les capillaires sanguins de l'iléon

et retourneront ainsi vers le foie où ils pourront être extraits du sang par les hépatocytes et être sécrétés à nouveau dans la bile.

Ceci réalise un cycle entéro-hépatique qui permet un recyclage efficace et donc une épargne des sels biliaires ($\approx 90\%$).

D'autres substances subissent un tel cycle, par exemple : le cholestérol, la bilirubine, certains médicaments...

2.9 GROS INTESTIN

Le gros intestin termine l'absorption de certaines substances, produit certaines vitamines, forme les fèces et les expulse de l'organisme.

2.9.1 ANATOMIE

D'une longueur de ≈ 1.5 mètre et d'un diamètre de ≈ 6 cm, le gros intestin va de l'iléon à l'anus. Il est relié à la paroi postérieure par le mésocôlon (péritoine viscéral).

L'iléon s'abouche de manière latéro-terminale dans le gros intestin au niveau de la valvule iléocœcale qui est un repli de muqueuse empêchant le retour des aliments vers l'intestin grêle. Le gros intestin commence donc par une poche borgne, le cæcum, de 6 cm de long sur laquelle est branché l'appendice vermiculaire.

Le cæcum est en continuité avec le côlon, auquel on distingue 4 parties : les côlons ascendant, transverse, descendant et sigmoïde, formant le « cadre colique », avec son angle hépatique à droite et son angle splénique à gauche.

Le côlon sigmoïde est en continuité avec le rectum qui mesure ≈ 20 cm de long et est situé devant le sacrum et le coccyx.

Le rectum se prolonge par le canal anal qui fait 2 à 3 cm de long. Sa muqueuse présente des replis longitudinaux et abrite les plexus hémorroïdaires interne et externe.

Le canal anal est entouré de 2 sphincters :

* le sphincter interne (muscle lisse dépendant du SNA / involontaire) ;

* le sphincter externe (muscle strié dépendant du SNS / volontaire).

Il débouche sur l'extérieur par un orifice appelé anus.

2.9.2 HISTOLOGIE

Le gros intestin ne comporte ni valvules conniventes, ni villosités.

Il est bordé de cellules cylindriques qui absorbent l'eau et de nombreuses cellules sécrétrices de mucus.

La couche musculaire longitudinale externe est réduite à 3 bandes bien visibles dont le tonus fait apparaître des poches appelées haustrations coliques.

2.9.3 DIGESTION

Les matières arrivant dans le côlon ne contiennent que peu d'éléments nutritifs puisqu'ils ont été digérés et absorbés avant.

Le côlon abrite une flore bactérienne abondante, provenant des

- bactéries alimentaires qui ont résisté au lysosyme salivaire, à l'HCl gastrique et aux enzymes protéolytiques et qui se sont ensuite multipliées ;
- bactéries remontées par l'anus.

Ces bactéries sont responsables des quelques processus digestifs qui ont encore lieu ici, elles permettent :

- la fermentation des glucides non digérés (cellulose...) avec libération de gaz qui forment, avec l'air ingéré, les « flatulences » (≈ 500 ml/j) et d'acides irritants ;
- la synthèse de vitamines B et K qui seront absorbées ;
- la digestion des protéines restantes et des acides aminés en substances simples aromatiques qui vont donner aux fèces, leur odeur.

Les fèces restent de 12 à 24 heures dans le gros intestin, l'eau résiduelle y est absorbée, ce qui permet le moulage des selles.

Un régime riche en fibres donne beaucoup de résidus qui retiendront de l'eau par osmose, → augmentation du volume des selles et selles moins sèches, → stimulation du péristaltisme du côlon et facilitation de la défécation.

2.10 DEFECATION

Les fèces forment normalement une masse plus ou moins solide, contenant de l'eau, des débris de cellules intestinales, des bactéries et la nourriture non digestible ou non digérée (en pathologie).

Normalement, le rectum est vide.

3 à 4 fois sur la journée, de fortes ondes péristaltiques, appelées ondes de masse, partent du côlon transverse et poussent la nourriture vers le rectum.

Ces ondes sont favorisées par l'ingestion de nourriture (réflexe gastro-colique).

L'arrivée des fèces dans le rectum le stimule, le dilate et déclenche le réflexe de défécation.

Ce réflexe est organisé par le SN π Σ (involontairement), au niveau de la moelle sacrée.

Il provoque :

- la contraction des parois du côlon sigmoïde et du rectum ;
- le relâchement du sphincter interne lisse.

Les fèces arrivent ainsi au contact de l'entrée du canal anal où elles stimulent la muqueuse qui envoie des influx nerveux au cerveau, ce qui déclenche la sensation de « besoin ».

SI LA DEFECATION EST CONSCIEMMENT ACEPTEE

On aura :

- relâchement volontaire du sphincter externe strié ;
- accompagnement d'une poussée volontaire par contraction des muscles du diaphragme, de la paroi abdominale et fermeture de la glotte ;
- le sphincter interne étant ouvert ;
- les parois du rectum se contractant de manière réflexe.

Il y a donc défécation.

SI LA DEFECATION EST CONSCIEMMENT REFUSEE

On aura :

- contraction volontaire du sphincter externe ;
 - arrêt des contractions réflexes du rectum en quelques secondes et relâchement de la paroi ;
 - disparition de la sensation de besoin ;
 - souvent remontée des selles dans le côlon sigmoïde ;
- jusqu'au prochain mouvement de masse et à la prochaine arrivée de selles dans le rectum.

* * *

ORGANES DES SENS

1. OËIL ET VOIES LACRYMALES

L'œil est l'organe des sens le plus développé chez l'être humain.

Il contient des photorécepteurs qui captent la lumière pénétrant dans l'œil.

Les neurones qui l'innervent apportent les informations aux lobes occipitaux du cerveau qui forment les images.

1.1 ANNEXES

1.1.1 SOURCILS ET CILS

Des glandes ciliaires sont annexées aux poils.

1.1.2 PAUPIERES

Elles occultent et protègent le globe oculaire et elles étalent les larmes ainsi que le mucus. Elles clignent toutes les 3 à 7 secondes.

De la surface vers la profondeur, leur structure comporte :

- la peau ;
- des muscles (orbiculaire et releveur des paupières) ;
- le tarse qui est le conjonctif épais qui leur sert de support, avec ses glandes sébacées ;
- la conjonctive palpébrale qui est une fine muqueuse dont on voit bien les vaisseaux sous-jacents et qui produit un mucus lubrifiant.

Elle tapisse la face interne des paupières et se réfléchit (via le cul-de-sac conjonctival) sur toute la partie antérieure du globe oculaire (sauf la cornée), où elle prend le nom de conjonctive bulbaire.

1.1.3 APPAREIL LACRYMAL

Les glandes lacrymales sécrètent les larmes.

Elles se situent au niveau du quadrant supéro-externe de l'orbite.

Les larmes nettoient, lubrifient et humectent le globe oculaire.

Les canaux excréteurs sont composés, de chaque côté, des points lacrymaux supérieur et inférieur, des canalicules lacrymaux, du sac lacrymal et du conduit lacrymo-nasal débouchant sous le cornet inférieur.

1.1.4 MUSCLES

6 muscles s'insèrent sur le globe oculaire et les os qui forment l'orbite.

Ce sont les muscles droits : supérieur, inférieur, interne et externe et les petit et grand obliques.

Ils entraînent des mouvements conjugués des 2 yeux.

1.2 GLOBE OCULAIRE

Le globe oculaire est une sphère de $\pm 2,5$ cm de diamètre.

Il est logé dans l'orbite et sa partie antérieure est partiellement recouverte par les paupières.

Il comprend 3 tuniques (= 3 couches), 1 cristallin et 2 cavités.

1.2.1 TUNIQUE FIBREUSE (EXTERNE)

- La sclérotique en arrière (le « blanc » de l'œil).
- La cornée en avant, transparente et non vascularisée mais innervée → réflexe de clignement.

1.2.2 TUNIQUE VASCULAIRE OU UVEE (MOYENNE)

- La choroïde en arrière.
- Les corps ciliaires avec le muscle ciliaire qui tend le cristallin et les glandes ciliaires qui sécrètent l'humeur aqueuse.
- L'iris qui forme la partie colorée de l'œil, avec ses muscles circulaire (sphincter de la pupille innervé par le $\pi\Sigma$ pour le myosis) et radiaire (dilatateur de la pupille innervé par l' $\sigma\Sigma$ pour la mydriase), ainsi qu'un trou en son centre : la pupille.

1.2.3 TUNIQUE NERVEUSE (INTERNE)

- La rétilne postérieure.
- La papille du nerf optique = tache aveugle, avec les artère et veine centrales de la rétilne.
- La macula avec, en son centre, la fovea qui est la zone de vision précise et des couleurs.

La rétilne contient 3 couches de neurones :

- Les photorécepteurs (les bâtonnets pour la vision périphérique, imprécise, noir/blanc et dans la pénombre - et les cônes au centre pour la vision précise et des couleurs).
- Ils font synapse avec des neurones bipolaires.
- Ceux-ci font ensuite synapse avec des cellules ganglionnaires qui tapissent la surface interne.

Ces dernières cellules convergent vers la papille du nerf optique, traversent le choroïde et la sclérotique pour former le nerf optique et les voies optiques.

1.2.4 LE CRISTALLIN

Le cristallin est une lentille biconvexe, transparente et flexible qui est attachée au muscle ciliaire par un ligament : la zonule.

Il permet la vision de près via la contraction du muscle ciliaire, ce qui relâche la zonule et augmente la courbure du cristallin par élasticité ; c'est l'accommodation.

1.2.5 LA CAVITE ANTERIEURE

Elle représente toute la partie qui se trouve en avant du cristallin, on lui distingue :

- une chambre antérieure en arrière de la cornée et en avant de l'iris ;
- une chambre postérieure en arrière de l'iris et en avant du cristallin.

La cavité antérieure est remplie d'un liquide = l'humeur aqueuse, qui est constamment renouvelée et subit une véritable circulation :

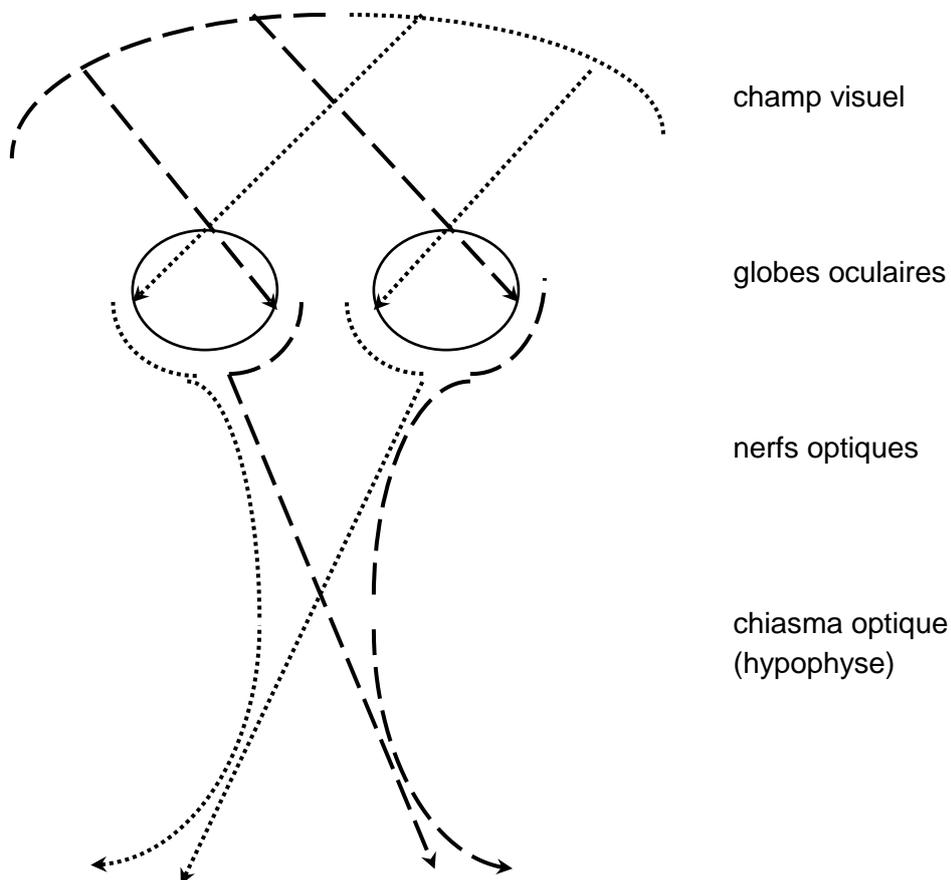
- * elle est sécrétée par le corps ciliaire,
- * elle s'écoule dans la chambre postérieure,
- * puis à travers la pupille,
- * puis dans la chambre antérieure,
- * pour être enfin résorbée au niveau des canaux de Schlemm, en périphérie de l'iris,
- * et retourner dans le sang.

L'humeur aqueuse nourrit le cristallin et la cornée et maintient la pression oculaire.

1.2.6 LA CAVITE POSTERIEURE

C'est toute la partie en arrière du cristallin, elle est remplie par le corps vitré, masse gélatineuse et transparente qui garde la rétine bien appliquée sur la choroïde.

1.3 VOIES OPTIQUES



On constate donc que, grâce à la décussation partielle des neurones des 2 nerfs optiques, les informations provenant de la même moitié du champ visuel arrivent au même côté du cerveau, quel que soit l'œil par lequel elles ont été captées.

Les aires visuelles sont situées au niveau du cortex occipital.

Dans la zone binoculaire (zone centrale du champ visuel), le cerveau intègre les visions des 2 yeux, sous un angle un peu différent, et donne donc des images en 3 dimensions.

En périphérie, la zone est monoculaire et donne donc des images en 2 dimensions.

2. OREILLE

L'oreille est à la fois l'organe de l'audition et de l'équilibre.

Elle contient 3 parties : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne.

2.1 OREILLE EXTERNE

2.1.1 PAVILLON

Il est fait de cartilage élastique et est recouvert de peau.

On distingue l'hélix, l'anthélix, le tragus, l'antitragus, la conque, le conduit auditif externe et le lobule.

2.1.2 CONDUIT AUDITIF EXTERNE (CAE)

Situé dans l'os temporal, près de la mastoïde, il fait $\pm 2,5$ cm de long.

Il est recouvert de peau, de poils et ses glandes sécrètent du cérumen qui est naturellement éliminé vers l'extérieur.

2.1.3 TYMPAN = MEMBRANE TYMPANIQUE

Faite de conjonctif fibreux, c'est une membrane fine et presque transparente qui sépare l'oreille externe de l'oreille moyenne.

Elle vibre sous l'effet des ondes sonores.

2.2 OREILLE MOYENNE

2.2.1 CAISSE DU TYMPAN

C'est une cavité remplie d'air et recouverte de muqueuse. Elle est séparée de l'oreille externe par le tympan et de l'oreille interne par une cloison osseuse contenant 2 orifices :

- la fenêtre ovale pour l'étrier ;
- la fenêtre ronde.

Elle communique avec les cellules mastoïdiennes situées dans l'os temporal.

2.2.2 TROMPE D'EUSTACHE

C'est un canal creux cartilagineux, recouvert de muqueuse qui relie l'oreille moyenne au nasopharynx, ce qui lui permet d'équilibrer les pressions de part et d'autre du tympan et d'avoir une bonne vibration de celui-ci aux ondes sonores.

Elle s'ouvre au bâillement et à la déglutition.

2.2.3 OSSELETS

Ils transmettent les vibrations du tympan à la fenêtre ovale et sont au nombre de 3 :

- le marteau, en contact avec le tympan, s'articule avec
- l'enclume qui s'articule avec
- l'étrier, en contact avec la fenêtre ovale.

Ces osselets sont reliés par des articulations synoviales et des ligaments.

2.2.4 MUSCLES DU MARTEAU ET DE L'ETRIER

Ces 2 petits muscles diminuent les mouvements de leur osselet respectif et donc du tympan en cas de bruit très intense, mais avec un petit temps de latence (quelques millisecondes), ce qui ne protège pas de bruits comme les explosions.

On parle de réflexe stapédien pour l'étrier et de réflexe tympanique pour le marteau.

2.3 OREILLE INTERNE = LABYRINTHE

Elle comprend :

- Le labyrinthe osseux, qui est formé de cavités creusées dans le rocher de l'os temporal et qui contient la périlymphe.
- Le labyrinthe membraneux qui est situé à l'intérieur du premier et en épouse les formes et contient l'endolymphe.

Le labyrinthe est formé de 3 parties :

- La cochlée = limaçon.
Elle forme le labyrinthe antérieur.
- Le vestibule.
Il comprend l'utricule et le saccule et se situe au centre.
- Les canaux semi-circulaires.
3 canaux perpendiculaires entre eux forment le labyrinthe postérieur.

2.3.1 L'AUDITION

Les sons sont caractérisés par :

- leur intensité, mesurée de 0 à 120-130 dB ;
- leur fréquence, audible de 20 à 20 000 Hz, avec un optimum entre 1000 et 3000 Hz ;
- leur durée.

Les ondes sonores sont transmises des osselets, à la fenêtre ovale qui vibre et crée des ondes dans l'endolymphe de la cochlée. Cela stimule l'organe de Corti qui s'y trouve et qui va alors décharger des potentiels d'action dans les neurones du nerf cochléaire.

Le nerf cochléaire rejoint le nerf auditif (VIII), appelé aussi « vestibulo-cochléaire » et amènera l'information aux aires auditives situées dans le cortex temporal.

2.3.2 L'EQUILIBRE

Le vestibule comprend des organes otolithiques.
Ses récepteurs sont appelés macules.
Ils donnent des informations sur la position de la tête.

Les canaux semi-circulaires ont des récepteurs appelés crêtes ampullaires.
Elles donnent des informations sur les mouvements de la tête.

Les informations des récepteurs sont véhiculées par le nerf vestibulaire qui rejoint le nerf auditif et va vers le cervelet pour participer au sens de l'équilibre.

* * *