

# **Anatomie et physiologie humaine**

## **E.Marieb**

### **Résumé non exhaustif basé sur les cours des Professeurs Schneiter et Schenk UNIL 2008/2009**

<b>CHAPITRE 1 – L'ORGANISATION DU CORPS HUMAIN</b>	<b>2</b>
<b>CHAPITRE 2 – LA CHIMIE PREND VIE</b>	<b>4</b>
<b>CHAPITRE 3 – LA CELLULE : UNITE FONDAMENTALE DE LA VIE</b>	<b>6</b>
<b>CHAPITRE 18 – LE SYSTEME CARDIOVASCULAIRE : LE CŒUR</b>	<b>11</b>
<b>CHAPITRE 19 – LE SYSTEME CARDIOVASCULAIRE : LES VAISSEAUX SANGUINS</b>	<b>20</b>
<b>CHAPITRE 23 – LE SYSTEME DIGESTIF</b>	<b>27</b>
<b>CHAPITRE 25 – LE SYSTEME URINAIRE</b>	<b>31</b>
<b>LISTES DES ABREVIATIONS UTILISEES</b>	<b>35</b>

## **Chapitre 1 – L'organisation du corps humain**

Le corps humain possède plusieurs niveaux de complexité :

- **Niveau 1 : Chimique**  
Atomes se combinent → molécules  
Molécules s'associent de manière spécifique → organite  
Organites forment cellule
- **Niveau 2 : Cellulaire**  
Cellule = plus petite unité des organismes vivants
- **Niveau 3 : Tissulaire**  
Tissus = Groupe de cellules semblables qui remplissent une même fonction  
4 types de tissus : - épithélial  
                                  - conjonctif  
                                  - musculaire  
                                  - nerveux
- **Niveau 4 : Organes**  
Composé d'au moins deux types de tissus  
A ce niveau, processus physiologique très complexe  
Organe = structure fonctionnelle spécialisée qui fait une activité essentielle que seul lui peut accomplir.
- **Niveau 5 : Systèmes**  
11 systèmes  
Constitués d'organes
- **Niveau 6 : Organisme**  
Ensemble de tous ces niveaux de complexité qui travail ensemble pour assurer le maintien de la vie.

Les systèmes ne travaillent pas de façon indépendante, mais collaborent au bien-être de l'organisme entier.

**Contractilité** = capacité des cellules musculaires de se raccourcir

**Excitabilité** = faculté de percevoir les changements (stimulus) de l'environnement et d'y réagir de manière adéquate. Exemple : Si trop de CO<sub>2</sub> dans le sang, chimiorécepteurs interviennent et envoient des messages aux centres de l'encéphale qui régissent la respiration et le rythme respiratoire s'accélère.

**Métabolisme** = toutes les réactions chimiques qui se produisent à l'intérieur des cellules. Régulation du métabolisme faite par hormones sécrétées par le système endocrinien.

**Glucide** = origine végétale, principale source d'énergie de la cellule. Contiennent du carbone, de l'hydrogène, de l'oxygène. Plus la molécule de glucide est grosse, moins elle est soluble dans l'eau. Peuvent être :

- Monosaccharides (« un sucre »)
- Disaccharides (« deux sucres ») – lactose, sucrose, maltose -
- Polysaccharides (« nombreux sucres »).

**Glucose** : glucides stockés dans le corps, principale carburant de la cellule qui lui permet de produire de l'énergie et de la mettre en réserve sous forme d'ATP

**Insuline** : hormone pancréatique qui accélère l'absorption du glucose et favorise son stockage sous forme de glycogène dans le foie et les muscles

**Glucagon** : hormone pancréatique qui a l'effet inverse de l'insuline, elle libère une partie du glucose.

**Lipides** : essentiel à l'élaboration des structures de la cellule, protège les organes et constitue une réserve d'énergie.

**Calcium** : un minéral, rôle dans la coagulation du sang et la solidité des os

**O<sub>2</sub>** : 20% de l'air qu'on inspire. Pénètre dans le sang et atteint les cellules grâce au système respiratoire et cardiovasculaire

**H<sub>2</sub>O** : 60-80% de la masse corporelle. In → Aliments + liquides. Out → évaporation par poumons et peau + excrétion.

Majeur partie de la chaleur du corps produite par le système musculaire

**Pression atmosphérique** : Force exercée par l'air sur la surface du corps. Respiration et échange gazeux ont besoin d'une Pa appropriée.

**Homéostasie** : Etat d'équilibre dynamique dans lequel les conditions internes varient, mais toujours dans des limites relativement étroites. Très complexe. La communication entre les différentes parties de l'organisme est essentielle au maintien de l'homéostasie. Tous les mécanismes de régulation comportent au moins trois éléments interdépendants → **récepteur(s)** : capteur, rôle de surveiller l'environnement et de réagir aux stimulus. Il envoie des infos par voie efférente au ...

→ **Centre de régulation** : fixe valeur de référence, analyse données et définit la réaction appropriée.

→ **Effecteur** : Met en œuvre la réponse. Peut réduire ou mettre fin au stimulus par rétro inhibition ou au contraire, augmenter le stimulus par rétro activation (peu fréquente, uniquement accouchement et coagulation du sang).

La plupart des maladies sont créées par un déséquilibre homéostatique

**Système endocrinien** : rôle important dans le maintien de l'homéostasie

**Hypothalamus** : Situé dans l'encéphale, c'est le thermostat du corps

**Les coupes anatomiques** : **Plan sagittal** → divise le corps en parties gauche et droite  
**Plan sagittal médian** → divise le corps sur la ligne médiane  
**Plan parasagittal** → divise le corps pas sur la ligne médiane  
**Plan frontal** → divise en parties antérieure et postérieure  
**Plan transverse** → divise en supérieure et inférieure

Pour les autres termes de vocabulaire anatomique → cf. p13-14 du livre.

La face interne de la cavité antérieure et la surface des organes que cette cavité contient sont recouvertes d'une membrane mince formée de deux couches de tissu → **la séreuse**. La partie de la séreuse qui tapisse la face interne de la paroi de cette cavité est nommée **séreuse pariétale**. Elle se replie sur elle-même pour former la **séreuse viscérale** qui recouvre les organes présents dans la cavité. Il n'y a pas d'air entre les deux séreuses mais on y trouve un liquide visqueux transparent lubrifiant appelé sérosité qui est sécrété par les deux couches de la membrane. Cette sérosité permet aux organes de glisser les uns contre les autres.

## **Chapitre 2 – La chimie prend vie**

**ATP, adénosine triphosphate** : énergie chimique stockée sous cette forme est la plus utile parce qu'elle alimente tous les processus fonctionnels.

L'énergie qui résulte de la dégradation du glucose est emmagasinée par petits paquets dans les liaisons de l'ATP. L'ATP est directement utilisable par l'organisme.

ATP est une molécule de stockage d'énergie très instable.

**Énergie électrique** : résulte du mouvement de particule chargée. Dans notre corps, nous avons des ions, particules chargées qui produisent des courants cellulaires ou les traversent. Messages entre différentes parties du corps par ces courants électriques appelés influx nerveux. Passent à travers le cœur pour le faire battre et ainsi faire circuler le sang.

**Énergie mécanique** : Produit *directement* un mouvement de la matière.

Toutes les conversions qui se produisent dans l'organisme dégagent de la chaleur. Plus la température s'élève, plus les réactions chimiques peuvent se produire rapidement.

**Éléments présents dans le corps humain** :

96% de notre masse corporelle → carbone, oxygène, hydrogène et azote.

3.9% → Calcium (1.5), Phosphore (1.0), Potassium (0.4), Soufre, Sodium, Chlore, Magnésium, Iode, Fer

- de 0.01% → Oligoéléments

**Acides, donneurs de protons** : Substance qui libère des ions Hydrogène ( $H^+$ ) en quantité détectable. Lorsqu'un acide se dissout dans l'eau, il libère des ions hydrogène (proton) et des anions. C'est la concentration de protons qui détermine l'acidité d'une solution.

**Bases, accepteurs de protons** : capturent les  $H^+$  en quantité détectable.

**PH, concentration acide-base** : Plus il y a d'ions hydrogène dans une solution plus elle est acide et à l'inverse, plus il y a d'ions hydroxyde est forte (plus la concentration de  $H^+$  est faible) plus la solution est basique. Les cellules vivantes sont extrêmement sensibles aux variations même très légères du PH de leur environnement. C'est pourquoi, l'homéostasie acido-basique est réglée de façon très précise par les reins et les poumons ainsi que par des systèmes chimiques appelés tampons. PH sanguin ne varie normalement que de 7.35 à 7.45.

**Les composés organiques** : Les molécules propres aux êtres vivants (protéines, glucides, lipides et acides nucléiques) contiennent toutes du carbone et sont donc des composés organiques. Le Ca est le seul *petit* atome qui est aussi électroneutre → il ne perd ni ne gagne jamais d'électrons mais il les partage toujours

**Les glucides** : Combustible que les cellules peuvent obtenir facilement. Il est dégradé et oxydé dans les cellules. Cette dégradation produit de l'énergie utile à la production d'ATP. Quand les réserves d'ATP sont suffisantes, les glucides provenant des aliments sont transformés en glycogène ou en graisses et sont stockés.

**Les lipides** : Pas solubles dans l'eau mais soluble dans les autres lipides (liposoluble) et dans l'alcool. Il comprend les phospholipides, les stéroïdes et les graisses neutres.

- Les graisses neutres (triglycérides) constituent le moyen le + efficace pour concentrer et stocker l'énergie utilisable. Une fois oxydée, elles produisent énormément d'énergie. Peuvent être saturée et insaturée. Il est préférable d'ingérer des acides gras insaturés parce que les saturés forment des dépôts lipidiques dans les vaisseaux sanguins
- Phospholipides : principaux constituants de la membrane cellulaire

- **Stéroïde** : liposoluble, ne contient que peu d'O<sub>2</sub>. Le cholestérol est le stéroïde le plus important pour l'être humain, il provient des œufs, viande, fromage et notre foie en produit. Il est essentiel à la vie humaine. Il est présent dans les membranes cellulaires et c'est à partir de lui qu'on produit la vitamine D, les hormones stéroïdes et les sels biliaires.

**Les protéines** : 10-30% de la masse des cellules et sont le principal matériaux structural de l'organisme, d'autres sont essentielles dans le fonctionnement cellulaire. C'est le groupe de molécules avec les fonctions les plus diverses.

**Acides aminés** : Unité de base des protéines, il en existe 20. Protéines sont de longues chaînes d'acides aminés. Chacun des acides aminés a des caractéristiques qui lui sont propres. Tous ont un groupement amine (-NH<sub>2</sub>) et un acide (-COOH). Selon comment ils sont agencés, ils peuvent former des protéines aux fonctions extrêmement diverses. 20 acides aminés = lettres de l'alphabet qui servent à former des « mots », les protéines.

**Protéines fibreuses et protéines globulaires** : On classe les protéines selon leur forme générale dans ces deux catégories.

- Protéines fibreuses sont longues et filiforme. Insoluble dans l'eau et très stable. Elles assurent aux tissus un support mécanique et une résistance à l'étirement. Ex : collagène, kératine, élastine et certaines protéines contractiles des muscles.
- Protéines globulaires sont compactes et sphériques. Elles sont solubles dans l'eau, mobiles et chimiquement actives. Certaines de ces protéines (anticorps) jouent un rôle dans l'immunité, d'autres, les enzymes ont un rôle de catalyseur essentiel aux réactions chimiques de l'organisme.

La chaleur ou une trop forte acidité casse la structure tridimensionnelle de la molécule et on dit que cela la dénature, normalement, quand les conditions reviennent à la normale elle reprend sa forme. Cependant, la dénaturation peut être irréversible si les variations de PH et de température sont extrêmes. Ex : œuf bouilli, l'albumine est devenue blanche et caoutchouteuse et elle ne pourra reprendre sa forme initiale.

**Les caractéristiques des enzymes** : Protéines globulaires qui jouent le rôle de catalyseurs biologiques. Catalyseur = substance qui règle et accélère la vitesse d'une réaction biochimique mais qui n'est ni consommée ni transformée par la réaction. Si absence d'enzyme, les réactions biochimiques deviennent si lentes qu'elles cessent pratiquement. Elles sont spécifiques, certaines ne peuvent agir que sur une réaction chimique. La plupart de leur nom se termine par le suffixe -ase.

### **Les acides nucléiques (ADN et ARN)**

Ils sont composés de carbone, d'O<sub>2</sub>, d'hydrogène, d'azote et de phosphore et ce sont les plus grandes molécules de l'organisme. Ils sont situés ou synthétisés dans le noyau des cellules. Leurs unités de bases sont les nucléotides qui sont complexes. Les acides nucléiques comprennent deux grandes catégories de molécules :

- **L'acide désoxyribonucléique (ADN)** se trouve surtout dans le noyau de la cellule où il constitue les gènes. Il a deux fonctions principales : (1) Il se reproduit avant la division cellulaire pour que l'information génétique soit présente dans les cellules filles et (2) il fournit les instructions pour la production des protéines. L'ADN détermine l'identité de l'être vivant et dirige sa croissance et son développement.
- **L'acide ribonucléique** se trouve à l'extérieur du noyau, c'est un peu la « molécule esclave » de l'ADN puisqu'il synthétise des protéines suivant les directives données par l'ADN.

### **Chapitre 3 – La cellule : unité fondamentale de la vie**

Cellules = unités fondamentales de tout être vivant. Le **corps humain en contient 50 à 100 millions de milliards**. On trouve environ **200 types de cellules** aux formes, tailles et fonctions très diverses. Les plus petites font **2 micromètres** et les plus grandes **peuvent faire 1 mètre** (neurones qui nous permettent de bouger les orteils). Elles sont principalement composées de : **carbone, hydrogène, azote, O<sub>2</sub>**. Toute sont constituées de trois régions principales : membrane plasmique, cytoplasme et noyau

#### **Structure de la membrane plasmique**

Elle est **souple** et sépare le liquide intracellulaire qui est dans la cellule et le liquide interstitiel dans lequel baigne les cellules. Structure extrêmement **fine** constituée d'une **bicouche de lipides**, principalement des phospholipides mais aussi en moindre quantité, du **cholestérol** et des **glycolipides**. Les **phospholipides ont une tête polaire hydrophile et une queue non polaire hydrophobe** qui les empêchent de se retourner. Les têtes sont en surface et les queues à l'intérieur. Des **glycolipides sont des phospholipides auxquels sont attachés des glucides** et sont présent sur la face externe de la membrane. Il y a 20% de cholestérol qui stabilise la membrane.

Les **protéines constituent la moitié de la masse de la membrane**. Il y a deux sortes de protéines membranaires :

- **Les protéines intégrées** sont bien enfoncées dans la bicouche lipidique et la plupart **traverse toute l'épaisseur de la membrane**. Elles possèdent des régions hydrophobes et hydrophiles. Elles **servent surtout au transport**. Certaines sont transporteurs et d'autres récepteurs d'hormones ou de messenger chimiques.
- **Les protéines périphériques** sont **situées sur l'une ou l'autre face** de la membrane. Elles contiennent un réseau de filaments qui **contribuent à soutenir la membrane** du côté cytoplasmique. Certaines sont des enzymes

#### **Quelques fonctions des protéines membranaires :**

- **Transport** : (1) Protéine transmembranaire forme parfois un canal hydrophile qui est sélectif pour un certain soluté auquel il permet de traverser la membrane. (2) Certaines protéines de transport hydrolysent l'ATP, cette source d'énergie leur permet de faire passer une substance de manière active.
- **Activité enzymatique** : Certaines de ces protéines sont des enzymes dont le site actif est en contact avec les substances présentes dans la solution adjacente.
- **Récepteur pour la transduction des signaux** : **Certaines** protéines en contact avec le milieu extracellulaire ont un site de liaison qui permet à un messenger chimique de s'unir avec la protéine, ce qui peut provoquer des réactions chimiques dans la cellule
- **Jonction intercellulaire**
- **Reconnaissance entre les cellules** : grâce aux glycoprotéines
- **Fixation au cytosquelette et à la matrice extracellulaire** : Certains éléments du cytosquelette et de la matrice extracellulaire se fixent aux protéines ce qui permet à la cellule de garder sa forme

La surface de la cellule est collante et riche en glucides cette région est appelée le **glycocalyx**. Le glycocalyx **permet aux cellules de se reconnaître entre elles** (ex : spermatozoïdes et ovules, cellules du système immunitaire identifient bactéries). De plus, ce sont les glycoprotéines qui font partie du glycocalyx qui sont responsables des différents groupes sanguins.

#### **Microvillosités :**

Elles **accroissent** considérablement la **superficie de la membrane plasmique** et on les trouve le plus souvent sur les cellules absorbantes comme celles des tubules rénaux et des intestins

### **Jonctions membranaires :**

La grande majorité des cellules et principalement celles du tissu épithélial, sont étroitement associées. 3 facteurs contribuent à la maintenir ensemble :

- Les **glycoprotéines** du glycocalyx servent d'adhésif
- **Membranes plasmiques ondulées et s'imbriquent comme des lego**
- **Les jonctions membranaires**, qui sont le facteur le plus important :
  - **Les jonctions serrées** : Elles s'unissent sur la face latérale des cellules épithéliales, empêchant ainsi le passage de matière *entre* les cellules, il n'y a donc que des passage contrôlé au travers des cellules. Barrière très sélective. Uniquement les molécules sélectionnées peuvent passer, c'est très étanche. → cellules épithéliales qui tapissent tube digestif
  - **Desmosomes** : jonctions adhérentes qui ancrent les cellules les unes aux autres dans des tissus soumis à de fortes contraintes mécanique. → peau + muscle cardiaque
  - **Jonctions communicantes/ouvertes** : Elles sont faites de connexions, canal d'une cellule à l'autre, possibilité de passer rapidement d'une cellule à l'autre. Permet le passage de substance chimique de l'une à l'autre. (cœur, muscles lisses)

### **Membrane plasmique : fonctions Transport membranaire**

Les cellules baignent dans le liquide interstitiel, celui ci contient beaucoup d'ingrédient y compris des acides aminés, sucres, acides gras, vitamines, hormones, neurotransmetteurs, sels et déchets. Les cellules prennent ce qu'elles ont besoin dans ce mélange. La membrane forme une barrière à perméabilité sélective. Le transport de substance à travers la membrane plasmique peut se faire par **mécanismes passifs** ou **mécanismes actifs** (la cellule dépense de l'énergie – ATP)

#### **Mécanismes passifs**

Les 2 principaux sont la diffusion (toutes les cellules de l'organisme) et la filtration (à travers les parois capillaires).

**La diffusion** : Tendance qu'on molécule et ions à se reprendre dans l'environnement. Les molécules vont de la où la concentration est forte à là où elle est faible, elles **suivent leur gradient de concentration** et arrête de se diffuser quand a atteint l'état d'équilibre. La vitesse de diffusion dépend de la taille (petite + vite que grande), de la température (plus chaud plus vite que si froid).

L'intérieur de la membrane plasmique est hydrophobe ce qui est une barrière à la diffusion simple Cependant, la diffusion de certaines molécules est possibles si : (1) elle est liposoluble, (2) assez petite pour passer par un canal de la membrane, (3) elle est aidée par une molécule porteuse. La diffusion non assisté est appelée diffusion simple.

1. **Diffusion simple** : Substances non polaires et liposolubles diffusent directement à travers la bicouche : O<sub>2</sub> (se déplace vers l'intérieur des cellules), CO<sub>2</sub> (diffuse vers le sang), vitamines liposolubles et alcool.
2. **Diffusion facilitée**: Certaines molécules comme le glucose, les acides aminés, les ions,... traversent la MP même si elles sont refoulé par la bicouche grâce à la diffusion facilitée soit par transporteurs soit par canaux protéiques remplis d'eau.
  - a. **Transporteurs**: Protéines transmembranaires spécifiques des molécules de certaines substances polaires ou trop volumineuses pour passer par canaux membranaires (sucres et acides aminés).
  - b. **Canaux protéiques** : Protéines transmembranaires qui servent à transporté des substance (eau ou ions), certains sont toujours ouverts afin de permettre aux ions ou à l'eau de passer selon leurs gradients de concentration. Certains sont toujours ouvert, d'autre sont munis de « portes » qui s'ouvrent ou se ferment en fonction de signaux chimiques ou électriques.

3. **Osmose** : Diffusion d'un solvant (ex : eau) à travers une membrane à perméabilité sélective. Elle a lieu si la concentration d'eau n'est pas la même des 2 côtés de la membrane. Si la concentration de soluté  $\nearrow$ , la concentration d'eau  $\searrow$ . Si la membrane est perméable aux molécules, c'est uniquement l'eau qui va passer de l'autre côté de la membrane.

**+ la cellule contient un quantité élevée de solutés non diffusibles, + la P osmotique (force qui attire molécule d'eau à l'intérieur) est importante et + la P hydrostatique (P exercée depuis l'intérieur par l'eau sur la membrane) doit être  $\uparrow$  pour s'opposer à l'entrée d'eau !**

L'osmose joue un rôle primordial dans la répartition de l'eau dans les divers compartiments de l'organisme. EN générale, elle se poursuit jusqu'à ce que les P osmotique et P hydrostatique soient identique

**La filtration** : Mécanisme par lequel l'eau et les solutés sont poussé à travers la paroi d'une membrane ou la paroi d'un vaisseau sous l'effet de la P hydrostatique. Fait intervenir un **gradient de pression** qui tend à faire passer un liquide contenant des solutés d'un endroit à P  $\uparrow$  à un endroit à P plus  $\downarrow$ . L'urine est le produit de filtration.

### Mécanismes actifs :

La cellule consomme de l'énergie des liaisons ATP pour faire passer des substances à travers la membrane. Utilisé si aucun transport passif n'est possible dans la direction voulue.

**Transport actif** : Fait intervenir transporteurs protéiques qui se combine avec substances à transporter. **Pompes à soluté** déplacent les solutés à **contre leurs gradients de concentration**.

**Pompe à sodium et à potassium** dont le transporteur est une enzyme appelé  **$\text{Na}^+ - \text{K}^+$  ATPase**. La concentration de  $\text{K}^+$  est 30-50x  $\uparrow$  à l'extérieur qu'à l'intérieur et c'est l'inverse avec le  $\text{Na}^+$ . Ces différences sont essentielles au fonctionnement des cellules excitables et au maintien des quantités normale de liquide dans l'organisme.

### **Transport vésiculaire**

Grosse molécule, macromolécule et liquides traverse la membrane plasmique et intercellulaire grâce au transport vésiculaire. Ce mécanisme sert à l'exocytose et l'endocytose et est activé par l'ATP.

- **Exocytose** : Faire passer substance de l'intérieur au LEC. Permet : sécrétion d'hormones, libération de neurotransmetteur, sécrétion de mucus et élimination de déchets. (p.79)
- **Endocytose** : Faire passer substance de l'extérieur au LIC. 3 types dont la phagocytose  $\rightarrow$  Grâce à lui, un objet gros ou solide tel un amas de bactéries est englobé par la cellule.

### **Création et entretien du potentiel de repos de la membrane :**

A l'état de repos, potentiel de membrane de -5 à -100 millivolts selon le type de cellule, on dit qu'elles sont polarisées. Le signe - signifie que l'intérieur de la cellule est plus négatif que l'extérieur.

QU'est-ce qui entretient le potentiel de membrane ?

- gradient de concentration du  $\text{K}^+$
- perméabilité différentielle de la MP aux
- ions  $\text{K}^+$  et à d'autres ions

### **Rappel :**

- LIC  $\rightarrow$  forte proportion de  $\text{K}^+$  et d'anions protéiques.
- Liquide interstitiel  $\rightarrow$  Beaucoup  $\text{Na}^+$  équilibré par  $\text{Cl}^-$
- MP légèrement perméable au  $\text{K}^+$  mais pas aux anions donc  $\text{K}^+$  diffuse vers l'extérieur mais pas anions c'est ce qui rend l'intérieur négatif. Quand c'est suffisamment négatif, cela attire les  $\text{K}^+$  l'intérieur. Quand gradient de concentration = au potentiel

de membrane (-70mV), entrée de ions compensé par départ d'un autre, ainsi le potentiel de repos est établi ( $1K^+ \rightarrow$  pour  $1K^+ \leftarrow$ ).

**La pompe à  $Na^+ -K^+$  couple le transport de sodium potassium** et chaque coup de pompe fait **entrer 2  $K^+$**  et **sortir 3  $Na^+$** . Puisque la membrane est 50-100 + perméable au  $K^+$  qu'au  $Na^+$ , la pompe activé par l'ATP **entretient le potentiel de membrane** et **l'équilibre osmotique** car si  $Na^+$  n'était pas continuellement sorti, il s'accumulerait dans le LIC et créerait un gradient osmotique qui ferait affluer l'eau et la cellule éclaterait !

**Cytoplasme** : constitué de cytosol (liquide visqueux composé d'eau, protéine, sel, sucres), organite et inclusion

**Mitochondrie** : Ce sont les sources d'énergie de la cellule, en effet, elles fournissent la plus grande partie de son ATP. Elles peuvent se déplacer et se concentrent dans les régions où les besoins énergétiques sont les plus importants. Une partie de l'énergie produite par la dégradation et l'oxydation des métabolite est captée et utilisée pour lié des groupement P à des molécules d'ADP  $\rightarrow$  respiration cellulaire aérobie.

Elles contiennent leur propre ADN, ARN et ribosomes et peuvent se reproduire

**Ribosomes** : siège de synthèses des protéines. Certains sont libres, d'autres liés au réticulum endoplasmique rugueux.

**Réticulum endoplasmique** : Rugueux ou lisse. Communique grâce à des vésicules avec le complexe de Golgi.

**Complexe golgien** : Fini les protéines du réticulum endoplasmique les enveloppe dans des vésicules et les expédie au bon endroit.

**Les lysosomes** : « Chantier de démolition de la cellule ». **Sacs membranaires contenant des enzymes digestives**. Sont gros et abondant dans les phagocytes. Ces enzymes digestives peuvent presque digérer toute sorte de molécules d'origine biologiques. Ce sont des sites où la digestion peut s'effectuer sans danger à l'intérieur de la cellule. Ils dégradent : bactéries, virus, toxine ; vieux organites usés, tissus inutile, tissu osseux pour libérer du  $Ca^+$  dans le sang, dégradation et libération du glycogène. Si rupture d'un lysosome alors autodigestion de la cellule.

**Les peroxysomes** : Sacs membraneux qui contiennent de puissantes enzymes. Une des plus importante sont les oxydase qui utilisent l' $O_2$  pour détoxiquer substances nocives telle l'alcool et oxyder certains acides gras.

De plus, les peroxysomes désamorcent les radicaux libres. Ils peuvent se reproduire eux même en se coupant en 2. Beaucoup dans foie et reins.

**Cytosquelette** : Réseau complexe de bâtonnets traversant le cytosol, il soutient la structure cellulaire et produit mouvements de la cellule. Il y a 3 types de bâtonnets :

- microtubules : Ont le + grand  $\emptyset$ , sont constitué de sous-unités appelées tubuline. Ils déterminent la forme de la cellule et de ces organites et l'emplacement de ces derniers.
- Microfilaments.
- Filaments intermédiaires.

**Centrosome et centrioles** : Région voisine du noyau qui constitue le centre d'organisation des microtubules. Il contient une paire d'organites appelés les centrioles. Ses fonctions sont la production de microtubules et la mise en place du fuseau mitotique lors de la division cellulaire. Les centrioles sont aussi à l'origine des cils et flagelles.

**Cils et flagelles** : Extensions cellulaires mobiles. Leur action est importante quand une substance doit être déplacée à la surface de la cellule, par exemple, les cellules ciliées tapissent voies respiratoires pour éliminer mucus, poussières,... La seule cellule flagellée du corps est le spermatozoïde.

**Le noyau** : Centre de régulation de la cellule, il contient les gènes. Il possède les instructions nécessaires à la production de presque toutes les protéines de l'organisme. La majorité des cellules n'a qu'un seul noyau mais il arrive qu'elles soient multinucléées telles que les cellules musculaires, les ostéoclastes et certaines cellules hépatiques. Dans ce cas, cela veut dire que la cellule doit diriger une masse cytoplasmique supérieure à la moyenne. Il existe des cellules qui n'en ont pas : les globule rouge arrivés à maturité. Elles éjectent leur noyau avant d'entrer dans la circulation sanguine, elles ne peuvent pas se reproduire et vivent 3-4 mois dans le sang.

Diamètre : environ 5µm

3 structures :

- Enveloppe nucléaire : formé par une double membrane, elle délimite le noyau. Perméabilité sélective
- Nucléoles : Corpuscules sphérique qu'on trouve dans le noyau. 1-2 voir + par noyau. Ils n'ont pas de membrane.
- Chromatine : Ensemble de fils qui parcourent tout le nucléoplasme. Comporte ADN et histones (protéines globulaires). Lorsque la cellule est sur le point de se diviser, les files de chromatine s'enroulent et se condensent pour former des bâtons appeler chromosomes.

**Rôle de l'ARN** : L'ADN est un peu comme un bande magnétique, il faut un décodeur pour exprimer l'information qu'il contient. L'ADN ne quitte jamais le noyau et à donc besoin d'un décodeur et d'un messenger et c'est ce sont se charge l'ARN. Il existe 3 formes d'ARN :

- L'ARN messenger : a une vie courte, il va du gène au ribosome pour livrer à ce dernier le message contenant les instructions à la fabrication de synthèse d'un polypeptide.
- L'ARN de transfert : petite molécules qui ressemble à des formes de trèfles. Seules de petites régions de l'ADN codent pour sa synthèse. Formes durables et stables qui ne portent pas eux-mêmes les codes servant à la synthèse d'autres molécules. Agit avec l'ARNr pour traduire le message livré par l'ARNm
- L'ARN ribosomal qui entre dans la composition des ribosomes. Seules de petites régions de l'ADN codent pour sa synthèse. Formes durables et stables qui ne portent pas eux-mêmes les codes servant à la synthèse d'autres molécules. Agit avec l'ARNt pour traduire le message livré par l'ARNm

**Matériaux extracellulaire** : Un grand nombre de substance qui contribuent à la masse corporelle se trouve à l'extérieur des cellules, on les appelle **matériaux extracellulaires** → **Liquide interstitiel, plasma sanguin et liquide cérébro-spinal**. Ils constituent avant tout des milieux de transport et de dissolution. Les sécrétions cellulaires sont aussi des matériaux extracellulaire → substances qui assurent à digestion et les lubrifiants. La **matrice extracellulaire** est le plus important des matériaux extracellulaires.

## **Chapitre 18 – Le système cardiovasculaire : le cœur**

Le cœur est gros comme un poing fermé et **pèse entre 250 et 250 grammes et mesure 12 à 14 cm**. Il est logé à l'intérieur du médiastin, la cavité centrale du thorax. Les 2/3 se trouvent à gauche de l'axe médian du sternum. Son apex touche à la paroi thoracique.

Le cœur est enveloppé dans un sac à double paroi appelé **péricarde**. Péricarde fibreux qui le protège, l'amarre et lui évite toute accumulation excessive de sang recouvre le péricarde séreux, une séreuse formée de deux lames.

Le **myocarde**, autrement dit, le muscle du cœur est composé principalement de cellules musculaires cardiaques. C'est lui qui constitue l'essentielle de la masse du cœur et qui est doté de la capacité de se contracter

Le **cœur renferme 4 cavités** : deux **oreillettes** dans sa partie supérieure et deux **ventricules** dans sa partie inférieure. La cloison qui divise longitudinalement l'intérieur du cœur est appelée **septum interauriculaire** là où elle sépare les oreillettes et **septum interventriculaire** là où elle sépare les ventricules.

### **Les oreillettes**

Elles constituent le point d'arrivée du sang en provenance de la circulation. Elles sont de petites tailles et leurs parois sont relativement minces ; elles ne contribuent pas beaucoup au remplissage des ventricules ni à l'action de pompage du cœur.

Trois veines entre dans **l'oreillette droite** :

- **La veine cave supérieure** – déverse le sang provenant des régions situées au-dessus du diaphragme.
- **La veine cave inférieure** – Transporte le sang provenant des régions situées au-dessous du diaphragme.
- **Le sinus coronaire** – Recueille le sang drainé par du myocarde.

Quatre **veines pulmonaires** pénètrent dans **l'oreillette gauche**, ces veines ramènent le sang des poumons au cœur.

### **Les ventricules**

Ils constituent presque toute la masse du cœur. Ce sont les **points de départ du sang**, les **pompes du cœur**. Leur paroi est d'ailleurs beaucoup plus épaisse que celle des oreillettes. Le ventricule gauche à la paroi le plus épaisse car il pompe le sang vers l'ensemble de la circulation systémique, qui lui oppose une grande résistance.

**En se contractant, les ventricules projettent le sang en dehors du cœur**, dans les vaisseaux. **Le ventricule droit éjecte le sang dans le tronc pulmonaire**, qui achemine le sang dans les poumons où on lieue les échanges gazeux. **Le ventricule gauche éjecte le sang dans l'aorte**, la plus grosse des artères, dont les ramifications successives alimentent tous les organes.

### **Le trajet du sang dans le cœur**

Le cœur est composé de deux pompes qui commandent chacune un circuit distinct.

Les vaisseaux qui apportent le sang dans les poumons et l'en retire forment la **circulation pulmonaire ou petite circulation**, qui sert aux échanges gazeux. C'est le **côté droit du cœur qui est la pompe** de la circulation pulmonaire. Le sang qui provient de l'organisme est pauvre en O<sub>2</sub> et riche en CO<sub>2</sub>. Il entre dans l'oreillette droite puis redescend vers le ventricule

droit, d'où partent les deux artères pulmonaires qui transportent le sang vers les poumons. Dans les poumons, le sang se débarrasse du  $\text{CO}_2$  et absorbe l' $\text{O}_2$ . Il emprunte ensuite les veines pulmonaires pour retourner au cœur dans l'oreillette gauche.

Les vaisseaux qui assurent l'irrigation sanguine fonctionnelle des tissus de l'organisme et le retour du sang au cœur constituent la **circulation systémique ou grande circulation**. C'est le **côté gauche du cœur qui est la pompe** de la circulation systémique. Le sang arrivé dans l'oreillette gauche puis dans le ventricule gauche qui expulse le sang dans l'aorte. De là, les petites artères systémiques transportent le sang jusqu'aux tissus, où gaz et nutriments sont échangés à travers les parois des capillaires. Le sang chargé de  $\text{CO}_2$  et délesté de son  $\text{O}_2$  retourne au côté droit du cœur par les veines systémiques ; il entre dans l'oreillette droite par veines caves supérieure et inférieure.

La quantité de sang poussée par les ventricules dans les deux circulations est égale mais les deux ventricules ne travaillent pas aussi fort. En effet, la circulation pulmonaire desservie par le ventricule droit est peu étendue et la pression y est faible. A l'opposé, la circulation systémique, desservie par le ventricule gauche (3 fois plus épais) couvre l'organisme entier et la résistance opposée à la circulation du sang y est 5 fois plus grande.

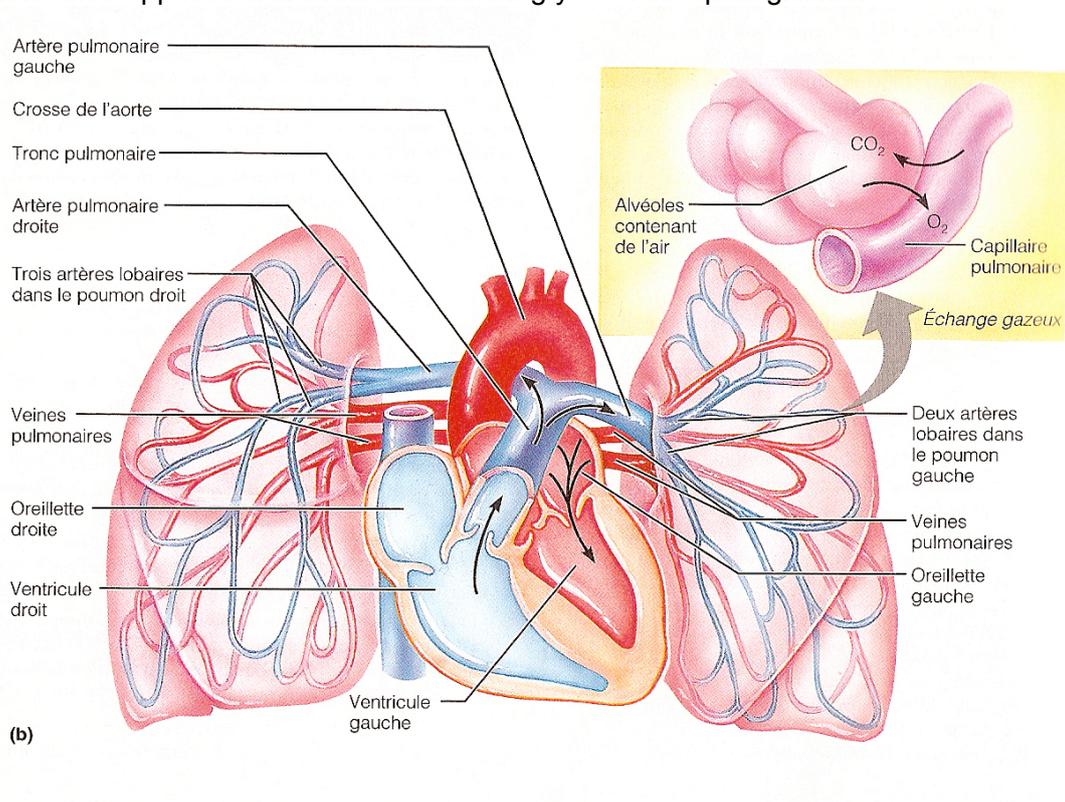


Figure 19.17 : Circulation pulmonaire

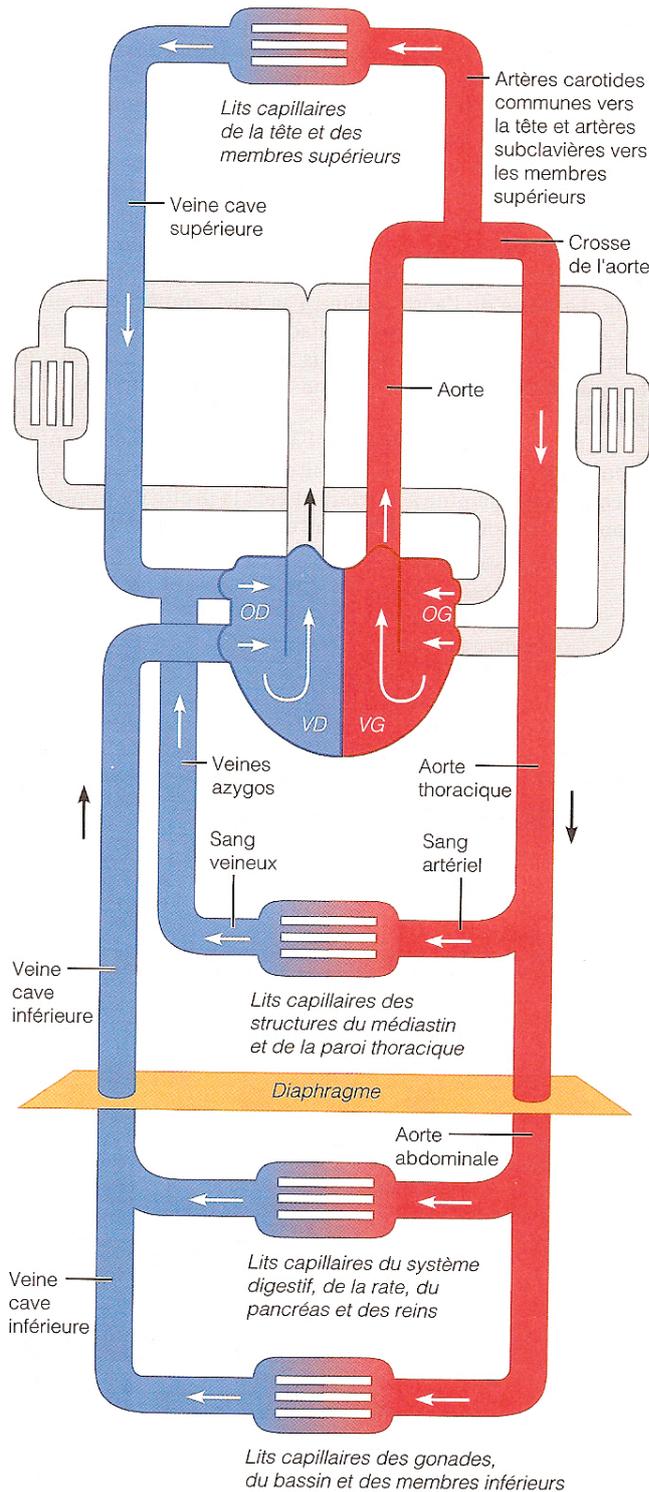


Figure 19.18 : Circulation systémique

### Les étapes

#### 1. Remplissage ventriculaire

P basse dans cavité cardiaque, le sang provenant de la circulation s'écoule passivement dans oreillette puis par les valves AV ouvertes, dans ventricules (remplissage à 70%). Ensuite, dépolarisation des parois ventriculaire (onde P) et contraction des oreillettes (d. légèrement avant g.), celle-ci est faible mais soudaine

et permet de remplir les 30% restant. Ensuite les oreillettes se relâche et les ventricules dépolarisent (complexe QRS). La diastole auriculaire se maintient jusqu'à la fin de la révolution cardiaque.

## 2. Systole ventriculaire

Les ventricules se contractent (g. avant d.), la P ventriculaire s'élève abruptement fermant les valves auriculo-ventriculaires. Pendant un cours instant, tout est fermé et le volume sanguin reste le même. La P ventriculaire continue de monter et fini par dépasser la P qui règne dans les grosses artères. Valves de l'aorte et du tronc pulmonaire s'ouvrent et sang s'éjecte.

## 3. Relaxation isovolumérique

Les ventricules se relâchent, la P ventriculaire baisse, le sang dans l'aorte et le TP reflue vers les ventricules ce qui ferme valves de l'aorte et du TP. Pendant toute la systole ventriculaire, les oreillettes sont en diastole, se remplissent de sang et la P s'élève. Quand la P exercée sur la face auriculaire de la valvule AV dépasse celle qui règne dans les ventricules, les valves AV s'ouvrent et on repasse en phase 1.

Si le cœur bat 75/min, la révolution cardiaque dure 0.8 seconde.

**A retenir :** La circulation du sang est entièrement régie par des variations de pression ; et le sang suit un gradient de P donc s'écoule toujours des régions de haute P à celles de basse P.

Les deux côté du cœur expulsent le même volume de chaque côté du cœur mais à des P différentes (supérieure côté gauche et inférieur côté circulation pulmonaire).

## Le débit cardiaque

Le DC est la quantité de sang éjecté par chaque ventricule par minute. Il est = à fréquence cardiaque x volume systolique. Il est de 5.25 L/min.

DC proportionnel à FC et VS donc si FC et/ou VS ↗ alors DC ↗. De même, si FC et /ou VS ↘ alors DC ↘.

Le DC est très variable et peut ↗ considérablement.

La Différence entre DC au repos et DC à l'effort est appelé **réserve cardiaque**. Le DC maximal est 5x plus grand que le DC au repos (20-25L/min). Chez athlètes de compétition il peut atteindre 35L/min.

Le **volume systolique** (env. 70 ml) constitue la différence entre le **volume télédiastolique** (vol. de sang dans ventricule à la fin de la diastole ventriculaire – env. 120 ml) et le **volume télésystolique** (vol. de sang qui este dans le ventricule à la fin de sa contraction – env. 50 ml).

Une ↗ du VS entraîne une ↗ de la P artérielle et une ↘ du VTS

$VS = VTD - VTS = 120 \text{ ml/battements} - 50 \text{ ml/battements} = 70 \text{ ml/battements}$  (env. 60% de ce que contient le ventricule)

## Les 3 plus importants facteurs qui influent sur le VS :

### ○ La précharge : degrés d'étirement du m. cardiaque

Tout comme dans m. squelettique, il y a une relation force - longueur. Tout étirement des cellules cardiaque ↗ beaucoup leur force contractile. Le principal facteur d'étirement du m. cardiaque est le retour veineux.

L'exercice physique et la ↘ de la FC ↗ le vol. ou la vitesse du retour veineux mais aussi le volume télédiastolique et par conséquent la force de contraction et le volume systolique.

L'exercice accélère le retour veineux car il ↗ la FC et provoque une compression des veines par les m. squelettiques.

- **La contractilité**  
Le vol. télédiastolique est le principal facteur intrinsèque qui influe sur le VS, il y a aussi des facteurs extrinsèques qui influent sur la contraction du myocarde. Ces contractions plus vigoureuses sont une conséquence directe de la plus grande quantité de  $Ca^{++}$  passant du liquide interstitiel et du RS dans le sarcoplasme.  
Une  $\nearrow$  de la contractilité permet un plus grand vol. éjecté ce qui  $\searrow$  le VTS et  $\nearrow$  le VS. C'est ce qui provoque l'  $\nearrow$  de la stimulation sympathique.
- **La postcharge : contre pression exercée par le sang artériel**  
P qui s'oppose à celle que produisent les ventricules quand ils éjectent le sang du cœur. C'est surtout la contre-pression qu'exerce la P artérielle sur les valves su TC et de l'aorte. Si hypertension, une plus grande quantité de sang reste dans cœur après la systole donc  $\searrow$  du VS.

### **Régulation de la fréquence cardiaque**

Normalement, le VS est relativement constant mais si le volume sanguin  $\searrow$  abruptement ou que cœur affaiblit alors le VS  $\searrow$ , la FC doit  $\nearrow$  et la contractilité  $\nearrow$  pour pallier cette diminution.

### **Régulation nerveuse par le système nerveux autonome**

Certains facteurs comme l'anxiété ou l'exercice activent le **SN sympathique** et les neurofibres sympathiques libère de la noradrénaline. Celle-ci se lie aux récepteurs adrénérgiques, le seuil d'excitation sinusal  $\searrow$  et la fréquence de ses PA  $\nearrow$  et le cœur bat plus vite. La stimulation sympathique  $\nearrow$  aussi la contractilité en favorisant la pénétration de  $Ca^{++}$  dans les cellules contractiles. Puisque le VTS diminue avec l'  $\nearrow$  de la contractilité, le VS ne change pas !

Le **SN parasympathique**  $\searrow$  la FC. Libération d'Ach qui hyperpolarise les membranes plasmique en ouvrant les canaux à  $K^+$  des cellules musculaires. Faible innervation vagale donc faible influence sur contractilité cardiaque.

Au repos, parasympathique et sympathique envoie sans cesse des influx au NS mais prédominance de l'inhibition par les nerfs vagues.

La régulation chimique de la FC est exercée par des hormones (adrénaline, thyroxine) et par des ions (sodium, potassium, calcium)

Age, sexe et température corporelle influent sur la FC

### **La circulation coronarienne**

L'irrigation **fonctionnelle du cœur relève de la circulation coronarienne, la moins étendue des circulations de l'organisme**. La contribution artérielle à la circulation coronarienne est assurée par les artères coronaires gauche et droite qui débute à la base de l'aorte et entourent le cœur dans le sillon coronaire. **Les artères coronaires fournissent au myocarde un apport sanguin intermittent et rythmique. Elles transportent le sang quand le muscle cardiaque est relâché, mais ils sont inefficaces au court de la contraction ventriculaire (image de l'éponge)**.

Après son passage dans les lits capillaire du myocarde, le sang veineux est recueilli par les veines du cœur, ces veine se réunissent en un gros vaisseau : le sinus coronaire.

Le cœur ne constitue que 1/200 de la masse corporelle mais utilise 1/20 du sang.

Entrave à la circulation artérielle coronarienne  $\rightarrow$  grave. Angine de poitrine, douleur au niveau du sternum causée par une diminution de l'irrigation du myocarde. Le manque temporaire d' $O_2$  affaiblit cellules myocardiques, mais ne les détruit pas. Obstruction ou spasme prolongé provoque un infarctus du myocarde.

### **Valves cardiaques**

Le sang circule à sens unique dans le cœur. Trajet : oreillettes → ventricules → grosses artères. Quatre valves qui s'ouvrent et se ferment en réaction aux variations de la pression sanguine exercée sur leurs surfaces, assurent l'immuabilité de ce trajet.

- **Valves auriculo-ventriculaires** (cf. schéma p. 706)  
Description : Il y en a deux, une droite et une gauche, elles sont situées entre oreillettes et ventricule afin d'empêcher le sang de refluer dans les oreillettes quand les ventricule se contracte. Des cordages tendineux (de collagène blanc) sont attachés à chacune des valves, ils ancrent les cuspidés aux muscles papillaires qui jaillissent des parois internes des ventricules.  
Fonctionnement :
  1. Le sang qui retourne au cœur remplit les oreillettes et exerce pression contre valves auriculo-ventriculaire. Le relâchement des ventricules entraîne une diminution de la pression intraventriculaire ce qui permet l'ouverture des valves AV.
  2. Pendant que les ventricules se remplissent, les cuspidés des valves AV pendent dans cavités ventriculaires.
  3. Oreillettes se contractent et poussent plus de sang dans les ventricules.
  4. Ventricule se contractent et poussent sang contre cuspidés des valves AV
  5. Les valves AV s ferment
  6. Muscles papillaires se contractent et cordages tendineux se tendent, empêchant cuspidés de s'inverser dans oreillettes (comme un parapluie qui se retourne)
  
- **Valves de l'aorte et du tronc pulmonaire** (cf. schéma p. 706)  
Description : Sont situées à la base de l'aorte et du tronc pulmonaire, elles empêchent le sang de refluer dans les ventricules. Elles sont constituées de trois valvules semi-lunaires. Fonctionnement différent des valves auriculo-ventriculaire.  
Fonctionnement :
  1. Quand les ventricules se contractent et que la pression intraventriculaire s'élève, la poussée de sang forcent les valves de l'A et du TP à s'ouvrir.
  2. Quand les ventricules se relâchent et que la pression intraventriculaire diminue, le sang reflue des artères et remplis les valvules, ce qui ferment les valves.

### **Les fibres musculaires cardiaques** (cf. schéma p.707)

Similitude avec le tissu musculaire squelettique mais caractéristique anatomique propre à son rôle de pompe.

Similitudes avec muscle squelettique : Strié et contraction suivant le mécanisme de glissement de myofilaments.

Différences : fibres courtes, épaisses, ramifiées et anastomosée. Les cellules cardiaques sont étroitement liées les unes aux autres.

En son centre, chaque fibre porte un ou deux noyaux pâles. **Espaces intercellulaires remplis d'une trame de tissu conjonctif lâche qui renferme de nombreux capillaires.** Cette trame est rattachée au squelette fibreux du cœur qui joue le rôle de tendon et de point d'insertion.

A la jonction de deux cellules c'est le **disque intercalaire** (contiennent desmosomes et jonction ouvertes), la membrane plasmique présente des ondulations qui épousent parfaitement l'autre cellules

**Desmosomes** empêchent cellules cardiaques de se séparer pendant la contraction

**Jonctions ouvertes** laissent passer ions d'une cellule à l'autre ce qui permet transmission de courant dépolarisant dans tissu cardiaque.

**Mitochondries** 25% du volume des cellules cardiaques (2% m. squelettique) → grande résistance à la fatigue.

**Myofibrilles** du m. cardiaque diamètre très variable qui tend à se ramifier pour se disposer entre les nombreuses mitochondries qui les séparent → strie donc moins visible.

Système de transport du  $\text{Ca}^{++}$  moins complexe, tubule transverse 5x plus larges et moins nombreux, soit 1/sarcomère qui pénètre dans cellule au niveau de la ligne Z (m. squelettique 2/sarcomère ligne A et I.)

Réticulum sarcoplasmique moins développé que m. squelettique, dépourvu des grandes citernes.

### Mécanisme et déroulement de la contraction

#### Différences avec m. squelettique

1. moyens de stimulations :  
Pour être stimulé, le m. squelettique a besoin d'être stimulé par une terminaison nerveuse alors que certaines **cellules musculaires cardiaques sont auto-excitables**, elles peuvent produire elles-mêmes leur dépolarisation et la conduire au reste du cœur de manière spontanée et rythmique → **automatisme cardiaque**.
2. Contraction au niveau de l'unité motrice ou de l'ensemble de l'organe  
**Le cœur se contracte en entier ou pas du tout**. La transmission de l'onde de dépolarisation d'une cellule à une autre s'effectue par passage d'ions dans les jonctions ouverte qui rassemble toutes les cellules en une seule unité contractile.
3. **Longueur de la période réfractaire absolue différente**  
Dans fibre musculaire squelettique, elle dure 1-2 ms et la contraction 20-100 ms. Pour muscle cardiaque, la période réfractaire absolue dure 250 ms soit presque autant que la contraction.

La contraction du m. cardiaque est déclenchée par un PA qui se propage dans les membranes des cellules. 1% des fibres cardiaques sont *cardionectrices*, le reste du muscle cardiaques est composé de *fibres musculaires contractiles*.

1. Changement du potentiel de repos de la membrane sarcoplasmique → ouverture des canaux rapides à  $\text{Na}^+$  voltage-dépendant → diffusion rapide vers sarcoplasme. L'entrée des ions  $\text{Na}^+$  inverse le potentiel de membrane de -90 mV à +30 mV → phase ascendante du PA.
2. Transmission de l'onde de dépolarisation dans tubules T amène le réticulum sarcoplasmique à libérer des ions  $\text{Ca}^+$  dans le sarcoplasme.
3. Couplage excitation-contraction quand  $\text{Ca}^{++}$  (lié à la troponine) émet signal pour activation des têtes de myosine et couple onde de dépolarisation au glissement d'actine et de myosine.

C'est idem que dans m. squelettique sauf au niveau de la façon de stimuler le RS pour qu'il libère du  $\text{Ca}^{++}$ .

Durée du PA et de la période de contraction beaucoup plus longue dans muscle cardiaque que dans muscle squelettique. Dans muscle squelettique, PA → 1-5 ms et contraction 15-100 ms. Dans muscle cardiaque, PA 200 ms ou + et contraction soutenue grâce à laquelle le sang peut être expulsé du cœur.

### Besoins énergétiques

Plus de mitochondries dans muscle cardiaque que dans m. squelettique car besoin d'un apport continu en  $\text{O}_2$ . Leur production en ATP repose presque que sur respiration en aérobie. Il ne peut fonctionner de manière efficace avec une lourde dette d' $\text{O}_2$ . Myocarde beaucoup plus sensible au manque d' $\text{O}_2$  que de nutriments car il peut utiliser plusieurs voies métabolique selon la disponibilité des molécule et cela contrairement au m. squelettique.

### Physiologie du cœur – phénomènes électriques

Dépolarisation et contraction du m. cardiaque est intrinsèque, ne repose donc pas sur système nerveux.

Indépendance liée à 2 facteurs :

- Présence de jonction ouverte.

- Système de commande intégrée au cœur → système de conduction du cœur. Des cellules cardionectrices produisent des PA et les propagent dans le cœur pour que les cellules musculaires se dépolarisent dans un ordre bien établi.

### Déroulement de l'excitation

Les cellules cardionectrices sont situées dans 5 régions suivantes (système de conduction) :

- **Nœud sinusal**  
Dans oreillette droite. Centre rythmogène ou « pacemaker ». Il se dépolarise spontanément 75x/min. Le rythme sinusal détermine donc la fréquence cardiaque.
- **Nœud auriculo-ventriculaire**  
Du nœud sinusal, la dépolarisation (PA) se propage dans les oreillettes par les jonctions ouvertes des cellules contractiles. Ensuite emprunte *tractus internodaux* et arrive dans nœud AV situé dans partie inférieure du septum interauriculaire. Au nœud AV, influx est retardé pendant 0.1 seconde ce qui permet aux oreillettes de finir leur contraction avant que ventricule commence la leur.
- **Faisceau auriculo-ventriculaire**  
En haut du septum interauriculaire. C'est le seul lien électrique qui unit oreillettes et ventricules
- **Branches droite et gauche du faisceau AV**  
Se divise rapidement en deux voies distinctes (g. et d.), elles parcourent le septum interventriculaire jusqu'à l'apex du cœur.
- **Myofibres de la conduction cardiaque des parois ventriculaire.**  
Ce sont de longs chapelets de cellules ventrues contenant peu de myofibrilles, elles terminent le trajet à travers le septum interventriculaire, pénètrent dans l'apex du cœur et remontent dans les parois des ventricules.

Le trajet dur approximativement 220 ms (0.22 seconde). La fréquence de dépolarisation spontanée des cellules cardionectrices n'est pas la même dans toutes les parties du cœur : nœud sinusal → 75 battements/minutes, nœud AV → se dépolarise 50/min, faisceaux AV et myofibres 30/min. Toutefois, ces centres rythmogènes ne peuvent prendre le dessus sur centre plus rapide qu'eux qu'en cas de défaillance de ceux-ci.

Arhythmie = désynchronisation des contractions auriculaires et ventriculaires.

### Modification du rythme de base : innervation extrinsèque du cœur

Même si innervation intrinsèque, les neurofibres du système nerveux autonome modifie cette cadence militaire en faisant varier les battements. Le système nerveux sympathique accélère et le système nerveux parasympathique freine. Les centres cardiaques sont situés dans le bulbe rachidien

### Électrocardiographie

C'est un enregistrement de tous les PA produit par les cellules des nœuds et les cellules contractiles à un moment donné. Composé de 5 ondes :

**Onde P** → Faible amplitude, résulte de la dépolarisation des oreillettes engendrée par le nœud sinusal, dure 0.8 seconde.

**Complexe QRS** (ondes Q, R, S) → lié à dépolarisation ventriculaire et précède contraction des ventricules. Cette onde cache la repolarisation auriculaire qui se déroule en même temps.

**Onde T** → Causée par repolarisation ventriculaire. Elle est plus longue que QRS car la repolarisation est plus lente que la dépolarisation.

### **Bruits du cœur**

Ces deux bruits sont émis par la fermeture des valves cardiaques.

Le premier est fort et long et est émis par la fermeture des valves auriculo-ventriculaire. Il indique le début de la systole ventriculaire, moment où pression ventriculaire dépasse pression auriculaire

Le second bruit est bref et sec, c'est la fermeture soudaine des valves de l'aorte et du tronc pulmonaire, au début de la diastole ventriculaire.

### **La révolution cardiaque**

La systole (contraction) et la diastole (relâchement) auriculaire suivies de la systole et de la diastole ventriculaire correspondent à la révolution cardiaque. Elle est marquée par des variations successives de la pression et du volume sanguin.

## **Chapitre 19 – Le système cardiovasculaire : les vaisseaux sanguins**

Les vaisseaux sanguins forment un réseau qui commence et finit au cœur. Ils se divisent en 3 grandes catégories : les artères, les capillaires et les veines. Le sang sort de grosses artères issues des ventricules puis parcourt les ramifications d'artère jusqu'aux plus petites : les artérioles. Il aboutit dans les lits capillaires des organes et des tissus. Ensuite, il emprunte les veinules puis des veines de plus en plus grosse jusqu'à revenir au cœur.

Mis bout à bout, les vaisseaux sanguins humains mesurent 100'000 km

Dans la circulation systémique (la grande), les artères transportent toujours du sang oxygéné et les veines du sang pauvre en O<sub>2</sub>, dans la circulation pulmonaire, c'est le contraire.

Parmi les vaisseaux sanguins, seuls les capillaires sont en contact étroit avec les cellules. Leur paroi unicellulaire (très fine) permet les échanges entre le sang et le liquide interstitiel.

Les parois des artères et veines sauf les plus petites, sont constituées de 3 couches ou tuniques.

### **Le réseau artériel**

Selon leur taille et leur fonction, les artères se divisent en trois groupes :

- **Artères élastiques**

Ce sont les grosses artères à la paroi épaisse situées près du cœur, soit l'aorte et ses principales ramifications. Elles possèdent le plus grand diamètre – 1 à 2.5 cm – et la plus grande élasticité (contiennent énormément d'élastine). Puisqu'elles ont un gros calibre, elles servent de conduit à faible résistance. Leur élasticité leur permet de supporter et de compenser de grandes fluctuations de P : durant la systole ventriculaire, les fibres élastiques s'étirent sous l'effet de l'arrivée de sang sous P ; durant la diastole ventriculaire, elles tendent à revenir à leur degré d'étirement initial. Ce phénomène permet au sang de s'écouler continuellement et non par à-coup puisque si le débit diminue, la paroi se ressert pour maintenir la P.

- **Artères musculaires**

Les artères élastiques donnent naissance aux artères musculaires (distributrices) qui apportent le sang aux divers organes. Diamètre de 1 cm à 0.3 mm. Elles contiennent plus de muscle lisse et moins de tissu élastique que les artères élastiques ce qui par conséquent, leur donne un rôle plus actif dans la vasoconstriction

- **Artérioles**

Ce sont les plus petites artères, diamètre entre 0.3 mm et 10 µm. Les plus grosses sont dotées de trois tuniques mais la tunique moyenne composée principalement de muscles lisses et de quelques fibres élastiques. Les plus petites se jettent dans les lits capillaires, celles-ci sont composées d'une seule couche de tissu musculaire. L'écoulement du sang dans les lits capillaires est déterminée par des variations du diamètre des artérioles (vasomotricité) : quand il y a vasoconstriction, le sang contourne les tissus et quand il y a vasodilatation, le débit sanguin ↗ dans les capillaires locaux.

### **Type de capillaires**

Les plus petits vaisseaux sanguins, paroi unicellulaire. Ils mesurent 1 mm de long et ont un diamètre de 5 à 10 µm. La plupart des tissus sont riches en capillaires, mais il y a des exceptions : tendons et ligaments sont peu vascularisés, cartilage et épithélium ne le sont pas tout comme la cornée et le cristallin de l'œil.

### **3 types de capillaires :**

- **Capillaires continus** : Peau et muscle, ce sont les plus répandus
- **Capillaires fenestrés** : Dans l'organe où se produit une absorption capillaire importante ou la formation de filtrats. Perméabilité aux liquides et solutés nettement supérieure aux capillaires continus
- **Capillaires sinusoïdes ou discontinus** : Relient les artérioles et veinules dans le foie, la moelle osseuse, le tissu lymphoïde et certaines glandes endocrines. Ils possèdent de

grande lumière et sont généralement troués. Les grosses molécules et même les cellules sanguines peuvent donc passer du sang aux tissus environnant et *vice versa*

### Les lits capillaires

Les capillaires ont tendances à se regrouper en **réseaux** appelés lits capillaires. **La circulation d'une artériole à une veinule se fait par l'entremise d'un lit capillaire**, on l'appelle la **microcirculation**.

Ces lits capillaires sont composés de **deux types de vaisseaux** :

- **Dérivation vasculaire** : relie artériole à veinule
- **Capillaires vrais** : où s'effectuent les échanges entre le sang et le liquide interstitiel

Lits capillaires formés de 10 à 100 capillaires selon l'organe où tissus irrigués.

Un manchon de muscle lisse appelé **sphincter précapillaire** entoure la racine de chaque capillaire vrai qui se détache de la métartériole (composant de la dérivation vasculaire du côté de l'artériole avec canal de passage lui-même du côté de la veinule). Son rôle est de régir l'écoulement du sang dans le capillaire.

### Echanges liquidiens

Les échanges de nutriments et de gaz s'effectuent, par diffusion, à travers les parois des capillaires, la filtration des liquides se produit aussi. Ces liquides sont expulsés des capillaires dans les fentes intercellulaires. C'est un écoulement relativement faible qui sert surtout à déterminer les volumes liquidiens relatifs de la circulation sanguine et du compartiment interstitiel.

La direction et la quantité de liquide qui traverse les parois capillaires sont déterminées par les forces opposées de la P hydrostatique et de la P oncotique (colloïdo-osmotique).

**La P hydrostatique** : Force exercée par un liquide contre un paroi. Dans les capillaire, on l'appelle la pression hydrostatique capillaire ( $PH_c$ ) → P du sang contre les parois des capillaires. La P sanguine diminue à force que le sang avance dans un lit capillaire → P hydrostatique plus élevée à l'extrémité artérielle qu'à l'extrémité veineuse. La  $PH_c$  s'oppose à la PH du liquide interstitiel ( $PH_{ii}$ ).  $PH_{nette} = PH_c - PH_{ii}$

**La P oncotique ou colloïdo-osmotique** : Elles s'oppose à la PH. Elle naît de la présence dans un liquide de grosses molécules non diffusibles tels que les protéines plasmatique. Ces molécules attirent l'eau donc favorisent l'osmose chaque fois que la concentration d'eau est plus faible autour d'elle que du côté opposé de la membrane capillaire. Les protéines contenue en abondance dans le sang capillaire exercent une  $PO_c$ . Parce que le LI contient peu de protéine, sa  $PO_{ii}$  est de beaucoup inférieure. La  $PO_c$  ne varie pas d'une extrémité à l'autre du lit capillaire.

**Echanges liquidiens dans les capillaires** : La direction de l'écoulement des liquides dépend de la différence entre la PH (force qui tend à pousser liquide hors capillaires) et la PO (Force qui attire liquides dans le capillaire).  $PH_{nette} = PH_c$  (puisque  $PH_{ii}=0$ ) qui varie le long du capillaire. La PO nette est constante, elle reflète que le sang contient plus de protéines que le liquide interstitiel.  $PH_{nette} - PO_{nette} = P_{nette}$  de sortie si + ou entrée si -.

**EN RESUMER** : PO = force qui attire liquide à l'intérieur du capillaire à cause des molécules qui diffusent pas. Parce que plus de protéine alors  $PO_c > PO_{ii}$

PH qui pousse liquide hors capillaire varie d'une extrémité à l'autre du lit capillaire →  $PH_c >$  côté artérielle que veineux.  $PH_{ii}$  toujours = 0.

Echange liquidiens dans capillaires =  $(PH_c - PH_{ii}) - (PO_c - PO_{ii})$  = Si positif alors sortie du capillaire et si négatif alors entrée dans capillaire.

### Le réseau veineux

Les veines apportent le sang des lits capillaires au cœur. Le long du trajet, le diamètre des veines ↗ et leur paroi s'épaississent graduellement.

### Les veinules

Formées par l'union de capillaire et d'un diamètre entre 8 et 100  $\mu\text{m}$ , le plasma et les globules blancs traversent facilement leurs parois.

### Les veines

Généralement constituées de 3 tuniques. Leur parois sont plus minces et leur lumière plus grande que celle des artère correspondantes. Grâce à cela, les veines peuvent contenir un volume de sang substantiel. Elles **renferment à tout moment jusqu'à 65% du sang** de notre organisme et constituent un réservoir de sang. Néanmoins, elles ne sont que partiellement remplies.

Elles ne risquent pas d'éclater malgré leurs minces parois car **la P y est faible**. Pour renvoyer le sang au même rythme qu'il a été propulsé par les artères, les veines ont des adaptations structurales : Leur **grand diamètre offre peu de résistance** à l'écoulement du sang et les **valvules veineuse** empêche le reflux de sang.

**EN RESUME**, le cœur s'assimile à une pompe, l'aorte à un réservoir de pression, les artères à des conduits, les artérioles à des conduits de résistance, les capillaires à des lieux d'échange et les veines à des conduits et à des réservoirs.

### Débit sanguin, pression sanguine et résistance

**Le débit sanguin** = volume de sang qui s'écoule dans un vaisseau, dans un organe ou dans le système cardiovasculaire entier en une période donnée (ml/min). Il équivaut au débit cardiaque.

**La pression sanguine** = Force par unité de surface que le sang exerce sur la paroi d'un vaisseau exprimée en mm/Hg. La **pression artérielle** désigne la P sanguine dans la circulation systémique. Des mécanismes d'autorégulation régissent la pression artérielle dont dépend la pression veineuse.

**La résistance** = Force qui s'oppose à l'écoulement du sang. Elle résulte de la friction du sang sur la paroi des vaisseaux. Il y a friction surtout dans la circulation périphérique (systémique) donc on parle de **résistance périphérique**. Trois facteurs influent sur la résistance :

- **Viscosité**
- **Longueur** : Plus le vaisseau est long plus la résistance est forte
- **Diamètre** : Facteur capital, il change fréquemment. Plus on se rapproche du centre, plus l'écoulement est libre et rapide. La friction est plus forte dans un petit conduit que dans un gros car la proportion de liquide en contact avec la paroi est plus grande. Résistance inversement proportionnelle à la quatrième puissance du rayon du vaisseau. Donc, au contraire des artérioles, les grosses artères contribuent peu à la résistance périphérique.

### **Relation entre débit sanguin, pression sanguine et résistance périphérique**

Débit sanguin (D) directement proportionnel à la différence de P ( $\Delta P$ ) entre deux points du système cardiovasculaire. Par conséquent, si  $\Delta P \nearrow$  alors  $D \nearrow$  et si  $\Delta P \searrow$  alors  $D \searrow$ .

Le débit sanguin est inversement proportionnel à la résistance périphérique (R) dans la circulation systémique. Par conséquent, si  $R \nearrow$  alors  $D \searrow$ .

Cependant, la résistance est beaucoup plus importante que  $\Delta P$ .

$$D = \Delta P / R$$

### La pression sanguine systémique

Plus le liquide est près d'une pompe, plus la P exercée sur lui est grande. Le sang se déplace en suivant un gradient de P (de la plus haute à la plus basse ;o)). La P systémique atteint son niveau le plus élevé dans l'aorte puis elle diminue peu à peu pour atteindre 0 mm/Hg dans l'oreillette droite. La baisse la plus abrupte de la P sanguine se produit dans les artéioles qui offrent la résistance maximale.

### La pression artérielle

Appelée aussi tension artérielle, elle est, dans les artères élastiques, **liée à deux facteurs** : (1) **élasticité** et le (2) **volume de sang propulsé**.

Quand le VG se contracte et expulse le sang dans l'aorte, il confère de l'énergie cinétique au sang. Le sang étire les parois élastiques de l'aorte et la P aortique atteint son point maximal. Cette P maximal est appelée **P artérielle systolique** (normalement 120 mm/Hg). L'évacuation du sang de l'aorte explique pourquoi la P aortique atteint alors son point minimal (70-80 mm Hg), appelé **P artérielle diastolique**.

La **différence entre P artérielle systolique et diastolique** est appelée **P différentielle**.

Puisque la P aortique monte et descend à chaque battement de cœur, la valeur à retenir est donc la **pression artérielle moyenne** (PAM). Comme la diastole dure plus longtemps que la systole, on ne peut pas prendre une valeur intermédiaire. On dit qu'elle est approximativement égale à la P diastolique + un tiers de la P différentielle.

$$\text{PAM} = \text{P diastolique} + \text{P différentielle}/3$$

Ou

$$\text{PAM} = \frac{2}{3} \times \text{P diastolique} + \frac{1}{3} \times \text{P systolique}$$

La P artérielle diminue plus l'on s'éloigne du cœur !

### La pression capillaire

P sanguine de 40 mm Hg et de 20 mm Hg quand le sang a franchi les lits capillaires.

Ces basses P sont utiles pour :

- Capillaires fragiles et forte P pourrait les rompre
- La majorité des capillaires sont très perméables et même une faible P sanguine peut forcer les liquides à quitter la circulation sanguine pour rejoindre le liquide interstitiel

### La pression veineuse

Contrairement à la P artérielle qui oscille à chaque contraction du VG, la P veineuse ne fluctue que très peu au cours de la révolution cardiaque. Le gradient de P n'est que d'environ 20 mm Hg dans les veines. Cette faible P résulte des effets cumulatifs de la RP qui dissipe la majeure partie de l'énergie de la Pa (sous forme de chaleur) au cours de chaque « tour de circuit ». La P veineuse est normalement trop basse pour provoquer le retour veineux alors deux adaptations fonctionnelles viennent aider :

- **La pompe respiratoire** : Changement de P qui se produit dans la cavité abdominale durant la respiration créent une pompe respiratoire qui pousse le sang vers le cœur.
- **La pompe musculaire** : La plus importante, fournit 50% de l'énergie nécessaire. Contraction et relâchement des muscles squelettiques entourant les veines profondes propulsent le sang en direction du cœur, de valvule en valvule.

### Le maintien de la pression artérielle

Le sang doit circuler uniformément de la tête au pied afin d'assurer le bon fonctionnement des organes.

C'est le **centre cardio inhibiteur parasympathique du bulbe rachidien qui, la plupart du temps, se charge de la FC**. Il agit par l'entremise des nerfs vagues pour maintenir la FC au repos.

Lors des périodes de repos, le VS est régi principalement par le retour veineux.

Sous l'influence du stress, le centre cardioaccélérateur sympathique prend le relais et ↗ la FC et le VS. L' ↗ du DC ↗ la PAM

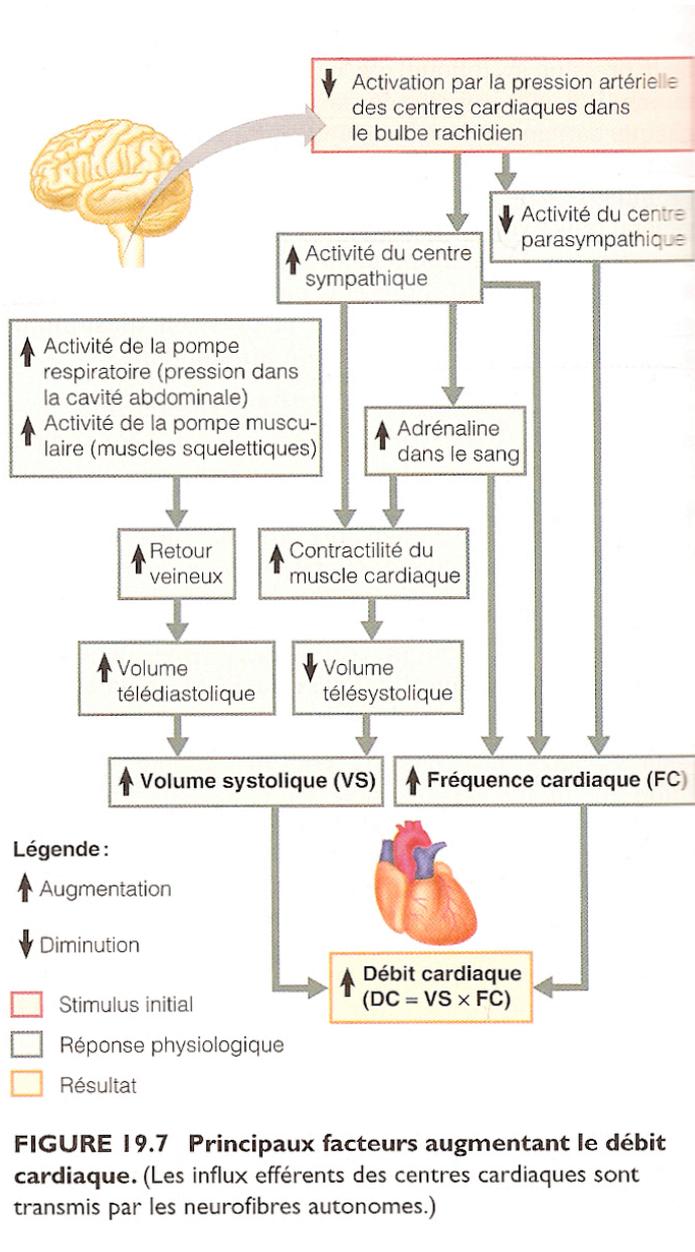


Figure 19.7 : Principaux facteurs augmentant le débit cardiaque.

### Mécanismes de régulation à court terme : mécanismes nerveux

Ils contiennent les fluctuations ponctuelles de la Pa en modifiant la RP.

Les mécanismes nerveux de la RP ont 2 principaux objectifs :

- Distribuer le sang pour répondre aux besoins des organes
- Maintenir une PAM adéquate en modifiant le Ø des vaisseaux sanguins.

La plupart de ces mécanismes nerveux de régulation agissent par des arcs réflexes composés des **barorécepteurs** et des **neurofibres afférente associées**, du **centre vasomoteur du bulbe rachidien**, des **neurofibres vasomotrices** et de **m. lisse**

**vasculaire.** Arrivent aussi des fois des **chimiorécepteurs et des centres cérébraux supérieurs.**

**Rôle du centre vasomoteur** (amas de neurones sympathiques situés dans bulbe rachidien)  
Régit les changements de  $\emptyset$  des vaisseaux sanguins.

Il transmet des influx à un rythme constant le long des neurofibres efférentes du SN sympathique appelées **neurofibres vasomotrices** qui innervent m. lisses des vaisseaux sanguin et notamment des artérioles. Par conséquent, les artérioles sont presque toujours partiellement contractées c'est le **tonus vasomoteur.**

Toute  $\nearrow$  de l'activité sympathique provoque une vasoconstriction généralisée des artérioles et une  $\nearrow$  de la Pa. Une  $\searrow$  de l'activité sympathique provoque relâchement du m. lisse des artérioles et  $\searrow$  de la Pa.

Les fibres vasomotrices libèrent de la noradrénaline (puissant vasoconstricteur) comme neurotransmetteur mais dans le muscle squelettique c'est de l'acétylcholine que certaines fibres neuromotrices peuvent libérer et cause vasodilatation

Activité du centre vasomoteur modifié par influx sensitifs provenant des :

- Barorécepteurs
- Chimiorécepteurs
- Centres cérébraux supérieurs

### **Réflexes déclenchés par les barorécepteurs**

Récepteurs **situé dans les sinus carotidiens**, le **sinus de l'aorte** et paroi des **artères du cou et du thorax.**

Quand la Pa  $\nearrow$  ils s'étirent et transmettent par l'intermédiaire des nerf crâniens IX et X une succession d'influx rapides au centre vasomoteur. Celui-ci s'en trouve inhibé ce qui provoque vasodilatation des artérioles et des veines et  $\searrow$  des la Pa donc  $\searrow$  du retour veineux et  $\searrow$  du DC.

Les influx afférents des barorécepteurs atteignent aussi les centres cardiaques où ils stimule activité parasympathique et inhibent centre cardioaccélérateur  $\rightarrow$   $\searrow$  FC et force de contraction du cœur.

Une  $\searrow$  de la PAM  $\rightarrow$  vasoconstriction réflexe et  $\nearrow$  du DC.

### **Débit sanguin dans les tissus : irrigation des tissus**

Il détermine :

- L'apport d'O<sub>2</sub> et de nutriment aux cellules et aux tissus et l'élimination de leur déchets
- Les échanges gazeux dans les poumons
- L'absorption des nutriments contenus dans le système digestif
- La formation d'urine par les reins

Le débit sanguin est ajusté précisément en fonction de chaque tissu et organe. Pendant l'exercice, la répartition change et c'est aux m. squelettique que cela profite alors qu'en temps normal, malgré le fait qu'ils constituent la moitié de la masse corporelle, ils reçoivent que 20%, lors d'un exercice intense, ils reçoivent jusqu'à ~70%

### **Vitesse de l'écoulement sanguin**

La vitesse de l'écoulement sanguin varie dans les différents vaisseaux de la circulation systémique. Elle est proportionnellement inverse à l'air de la section transversale totale de ces vaisseaux. Donc plus l'air de la section transversale du lit vasculaire est grand, plus l'écoulement sanguin ralentit.

Variable modifiant la PA	Influence de certaines hormones sur les variables modifiant la pression artérielle			
	Effet sur la variable	Hormone(s)	Lieu de l'action	Résultat
DC	↑ (↑ FC et force de contraction)	Adrénaline	Cœur (récepteurs $\beta_1$ )	↑ PA
		Noradrénaline	Cœur (récepteurs $\beta_1$ )	↑ PA
RP	↑ (par vasoconstriction)	Angiotensine II	Artérioles	↑ PA
		Hormone antidiurétique (ADH)	Artérioles	↑ PA
		Adrénaline et noradrénaline	Artérioles (récepteurs $\alpha$ )	↑ PA
	↓ (par vasodilatation)	Adrénaline et noradrénaline	Grosses veines (récepteurs $\beta_2$ )	↓ PA
		Facteur natriurétique auriculaire	Artérioles	↓ PA
VSa	↓ (perte de sodium et d'eau)	Facteur natriurétique auriculaire	Cellules des tubules rénaux	↓ PA
	↑ (rétention de sodium et d'eau)	Aldostérone	Cellules des tubules rénaux	↑ PA
		Cortisol	Cellules des tubules rénaux	↑ PA
	↑ (rétention d'eau)	ADH	Cellules des tubules rénaux	↑ PA

## **Chapitre 23 – Le système digestif**

Tube digestif = « Chaîne de démontage »

**Organes du tube digestif :** Bouche, pharynx, œsophage, estomac, intestin grêle, gros intestin et se termine par un orifice : l'anus

**Les organes annexes :** Dents, langue, vésicule biliaire, glande salivaire, foie et pancréas.

**Transformation de la nourriture par le SD en 6 activités essentielles :**

1. **Ingestion**
2. **Propulsion mécanique :** comprend la déglutition et le péristaltisme (onde successive de contraction et de relâchement des muscles des parois des organes du tube digestif.
3. **Digestion mécanique :** prépare physiquement la nourriture à la digestion chimique par des enzymes) mastication, pétrissage dans l'estomac et segmentation (mouvements en avant et en arrière dans l'intestin)
4. **Digestion chimique :** Molécules de nourriture dégradée en unité assimilable. Dégradation effectuée par enzymes sécrétés dans la lumière du tube intestinal
5. **Absorption :** Passage des produits de la digestion (avec vitamines, minéraux, eau) de la lumière du TD au sang ou à la lymphe grâce aux mécanismes de transport passifs ou actifs qui permettent de traverser cellules de la muqueuse digestive. Principal site d'absorption → intestin grêle.
6. **Défécation**

**L'estomac :** Il participe à toute les phases sauf la 1 et la 6. C'est une **zone de stockage** des aliments ingérés et il **poursuit le travail de démolition physiquement et chimiquement**. Ensuite il déverse le chyme produit de son activité et le deverse dans l'intestin grêle. Sa seule fonction vraiment vitale est le facteur intrinsèque qui rend possible l'absorption de vitamine B<sub>12</sub> par l'intestin grêle, elle-même nécessaire à la production d'érythrocytes.

**La digestion est déclenchée par un ensemble de stimulus mécaniques et chimique :** récepteurs dans les parois du TD qui répondent à divers stimulus dont les plus important sont l'étirement des organes du TD, l'osmolarité et le PH Lorsqu'ils reçoivent un stimulus, **les récepteurs déclenchent des réflexes** qui :

- **Activent ou inhibent glandes libérant sucs digestifs**
- **Stimulent les muscles lisses**

**La digestion est régie par des mécanismes intrinsèques et extrinsèques :**

Bon nombre sont intrinsèques, càd qu'ils résultent de l'action du plexus nerveux locaux ou de cellules productrices d'hormones locales. La paroi du TD contient du plexus nerveux, il en résulte 2 types d'activité reflexes :

- **Réflexes courts :** dépendent entièrement de l'activité des plexus locaux en réponse aux stimulus agissant sur le TD
- **Réflexes longs :** déclenchés par stimulus provenant de l'intérieur ou de l'extérieur du TD et font intervenir centre du SNC et neurofibres du SNA

→ cf. fig. 23.4 p. 908

**Irrigation sanguine : La circulation splanchnique**

Elle comprend les ramifications de l'aorte abdominale qui irriguent les organes digestifs et le système porte hépatique. Ces **artères reçoivent ¼ du DC et cette proportion ↑ après les repas**. Le système porte hépatique recueille de sang veineux chargé de nutriments provenant des viscères digestifs et l'apporte au foie qui retient les nutriments absorbés pour

assurer le traitement métabolique ou pour les emmagasiner, plus tard il les libère à nouveau dans la circulation sanguine pour alimenter métabolisme cellulaire.

Les parois du TD sont formées des 4 mêmes couches principales appelées tuniques. Ce sont **la muqueuse, la sous-muqueuse, la musculuse et la séreuse**. Chaque tunique comprend un type de tissu prépondérant qui joue un rôle précis dans la digestion.

**Le TD possède son propre réseau nerveux interne formé par les neurones entériques** (intestinales). Entre lesquelles il existe une communication intense et qui assurent la régulation de l'activité du système digestif. Les **deux principaux plexus nerveux intrinsèques** du TD sont **le plexus sous-muqueux et le plexus myentérique**.

**Plexus** : Ensemble de cellules ganglionnaires

**Neurones** : Cellules ganglionnaire qui se trouve dans le système digestif.

### **Mécanismes nerveux et hormonaux réglant la libération de suc gastrique :**

La stimulation de l'estomac par les nerfs vagues fait **↑** la sécrétion de presque toutes les glandes (nerfs sympathique inhibe la sécrétion).

Les stimulus qui **↑** ou **↓** sécrétion gastrique proviennent de 3 sites : encéphale, estomac, intestin grêle d'où les 3 phases qui portent leur nom. Une fois commencée, elles peuvent s'effectuer en même temps.

- **Phase céphalique** : La sécrétion gastrique commence avant que les aliments pénètrent dans l'estomac. Déclenchée par arôme, goût, vue, idée de nourriture. L'estomac se prépare aux tâches qu'il devra accomplir. Des influx nerveux partent des récepteurs olfactifs et calicules gustatifs activés et sont **envoyés à l'hypothalamus** qui **stimule les noyaux des nerfs vagues situés dans le bulbe rachidien**. Les infos sont transmises aux ganglions entériques parasympathiques par les nerfs vagues. Les ganglions stimulent les glandes gastriques.
- **Phase gastrique** : Lorsque la nourriture atteint l'estomac, mécanismes nerveux et hormonaux amorcent cette phase. Elle dure 3-4 heures. Stimulus les plus important : étirement de l'estomac, présence de peptide et faible acidité. Étirement de l'estomac active réflexes longs et courts → bulbe rachidien → revient par nerf vague. L'activité de sécrétion des glandes de l'estomac dépend beaucoup de l'étirement mais encore plus de la gastrine (hormone). Caféine et **↑** PH active cellule sécrétrice de gastrine. Plus le repas est riche en protéine, plus le PH **↑** et plus la production de gastrine et de HCl **↑**
- **Phase intestinale** : 2 composantes →
  - Une excitatrice** : Se met en action quand les aliments partiellement digérés entrent dans le duodénum. Cela stimule la libération de gastrine intestinale. Cette stimulation n'est que très brève.
  - Une inhibitrice** : Quand l'intestin est étiré par le chyme, le **réflex gastro-entérique** est mis en route. Celui-ci est un ensemble de **trois réflexes** : **(1) inhibition des noyaux des nerfs vagues dans le bulbe rachidien, (2) inhibition des réflexes locaux et (3) activation des neurofibres sympathiques qui resserrent le muscle sphincter pylorique**. Ces **freins** de l'activité gastrique protègent l'intestin grêle contre une trop forte acidité.De plus, **ces facteurs déclenche la libération de certaines hormones** : sécrétine, CCK, VIP, GIP qui sont des hormones qui inhibent la sécrétion gastrique quand l'estomac est très actif

cf. fig. 23.16 p. 927

**L'estomac est exposé à des conditions extrêmement sévères**, en effet, le suc gastrique est un acide corrosif (la concentration de ions  $H^+$  dans l'estomac est 100'000 x supérieure à

ce qu'elle est dans le sang). Ses enzymes protéolytiques pourraient digérer l'estomac lui-même. Il se protège en produisant la **barrière muqueuse**. 4 facteurs contribuent à la création de cette barrière :

1. Epaisse couche de mucus riche en ions bicarbonate se forme sur la paroi de l'estomac.
2. Cellules épithéliales de la muqueuse reliées par des jonctions serrées
3. Face externe de la MP des cellules glandulaires est imperméable au HCl.
4. Cellules épithéliales de la muqueuse endommagées sont rapidement éliminées et remplacées par la division des cellules souche. Se renouvelle tous les 3-6 jours.

**Cholécystokinine (CCK) :** **Site de production :** Muqueuse duodénum et jéjunum  
**Stimulus de production :** Chyme gras et protéines partiellement digérées  
**Organe cible :** Foie et pancréas  
**Activités :** Potentialise l'action de la sécrétine sur ces organes /déclenche la sécrétion d'un suc pancréatique riche en enzymes/ Stimule contraction de la vésicule biliaire et relâchement du sphincter de l'ampoule hépato-pancréatique ce qui permet à la bile et aux sucs pancréatique de pénétrer dans le duodénum.

**Sécrétine :** **Site de production :** Muqueuse duodénum et jéjunum  
**Stimulus de production :** Chyme acide  
**Organe cible et activités :** *Estomac* → Inhibe sécrétion et motilité gastrique pdt phase gastrique de la sécrétion. *Pancréas* → ↑ sécrétion de suc pancréatique riche en ions bicarbonate, potentialise l'action de la CCK. *Foie* → ↑ la production de la bile.

**La pepsine :** Principale enzyme protéolytique à être élaborée par la muqueuse de l'estomac.

**Vue d'ensemble des fonctions des organes gastro-intestinaux :** cf. tableau 23.2 p. 928.

**Intestin grêle :** C'est le principal organe de la digestion et de l'absorption. Dans celui-ci, les aliments sont finalement préparés pour leur transport vers les cellules de l'organisme. Cela ne peut pas s'accomplir sans les sécrétions du foie (bile) et du pancréas (enzymes digestives).

Sa seule longueur lui donne déjà une très grande surface d'absorption et de plus, des modifications structurales ↑ encore cette surface : les plis circulaires, les villosités intestinales, les microvillosités.

**Le foie et la vésicule biliaire :** Organes annexes associés à l'intestin grêle. La seule fonction digestive du foie est la production de bile qui est acheminée au duodénum. La bile est un agent émulsifiant des graisses.

Le foie est la plus grosse glande de l'organisme (1.4 kg)

Le foie retire du sang les hormones, mettant ainsi fin à leur activité

**Le pancréas :** c'est une glande mixte. C'est un organe digestif annexe qui joue un rôle important dans la digestion car il sécrète et déverse dans le duodénum une vingtaine d'enzymes qui dégrade tout type de substance présente dans les aliments. Le suc pancréatique, produit de l'activité exocrine du pancréas, s'écoule par le conduit pancréatique. Des glandes endocrines libèrent de l'insuline et du glucagon.

**Composition du suc pancréatique** : le pancréas produit chaque jour 1200-1500 mL de suc pancréatique clair composé d'eau, et contenant des enzymes et des électrolytes (surtout ions bicarbonates).

**Le gros intestin** : Les matières qui y parviennent contiennent peu de nutriments, mais elles y séjournent 12-24 heures. Malgré tout, il absorbe les vitamines synthétisées par la flore bactérienne et presque toute l'eau résiduelle ainsi que certains électrolytes. Sa fonction primordiale est de pousser matières fécales vers l'anus.

**La digestion chimique** : Elle transforme les aliments ingérés en leurs unités de base. Processus catabolique par lequel de grosses molécules chimiques sont dissociées en monomères suffisamment petits pour permettre leur absorption par la muqueuse du système digestif. Elle est effectuée par des enzymes que les glandes intrinsèques et les glandes annexes sécrètent dans la lumière du tube digestif. La dégradation enzymatique de tout type de molécules de nourriture est une **hydrolyse** parce que chaque liaison est rompue par une molécule d'eau. La digestion chimique se termine en principe dans l'intestin grêle.

Les monosaccharides sont absorbés sans transformation, les disaccharides ainsi que deux polysaccharides sont transformés en monosaccharides

**Amylase salivaire** : dégrade amidon dans la bouche. Elle se poursuit jusqu'à ce qu'elle soit inactivée par l'acidité du suc gastrique. Féculents et autres glucides digestibles qui n'ont pas été attaqués par l'amylase salivaire sont attaqués par l'**amylase pancréatique** (**Amylase** = enzyme du système digestif qui dégrade les féculents.)

**Glucoamylase et dextrinase** : Ce sont les 2 enzymes les plus importantes, elles agissent sur les oligosaccharides formés de plus de 3 sucres simples.

La digestion chimique se termine en principe dans l'intestin grêle.

**Digestion des protéines** : Chez les personnes en bonne santé, pratiquement toutes les protéines sont dégradées en acides aminés (= azote, carbone, hydrogène, oxygène). La digestion des protéines s'amorce dans l'estomac par la **pepsine** (groupe d'enzymes protéolytiques) qui atteint le maximum de son efficacité en milieu très acide (1.5-2.5 PH) et est totalement inactive dans un milieu au PH supérieur à 7.

**Digestion des lipides** : L'intestin grêle est presque le seul site d'absorption des lipides parce que le pancréas est essentiellement la seule source d'enzymes lipolytiques (ou lipases). Arrivés dans le duodénum, les agrégats de graisse sont enrobés de sels biliaires. Les lipases pancréatiques dégradent les lipides en acides gras et monoglycérides.

**Les acides nucléiques** sont hydrolysés en nucléotides par les nucléases pancréatiques présent dans le suc pancréatique. Les nucléotides sont ensuite scindés et libèrent leurs bases azotées ainsi que des sucres et des ions phosphate.

### **Absorption**

Il parvient chaque jour, 10L de nourriture et liquide dans notre système digestif mais seulement 1L ou – parvient au gros intestin. Pratiquement tous les nutriments, 80% des électrolytes et la majorité de l'eau sont absorbés dans l'intestin grêle.

## **Chapitre 25 – Le système urinaire**

Chaque jour, **LES REINS filtrent 200L de plasma**, excrètent dans l'urine des toxines en provenance du foie et des déchets métabolique comme l'urée et des ions en excès, et ils renvoient les substances nécessaires dans le sang. → **Usine d'épuration.**

De plus, ils **règlent le volume et la composition chimique du sang** en conservant le juste équilibre entre l'eau et les électrolytes et entre les acides et les bases.

Ils **contribuent aussi à la néoglucogénèse**

Ils **produisent de la *rénine*** (enzyme qui règle la P artérielle et la fonction rénale) **et l'*érythropoïétine*** (hormone qui stimule la formation des globules rouges).

Ils **transforment la vitamine D en sa forme active.**

Au repos, les grosse artère rénales achemine 1/5 du DC total aux reins (1.1L/min). Sur les 5L/min, 1.1L passe par les reins

**Les néphrons** : Unités structurale et fonctionnelles des reins. Ce sont des unités de filtration du sang où se déroule le processus menant à la formation d'urine. Chaque rein en possède plus d'un million. Anatomie du néphron → cf. cours Mme Schenk. Les **néphrons corticaux** constituent 85% des néphrons dans les reins, hormis un tout petit bout de leur anse qui est situé dans la médulla rénale externe, ils sont entièrement situés dans le cortex. Les **néphrons juxta-médullaires** sont situés près de la jonction du cortex et de la médulla et jouent un rôle important dans la capacité des reins à produire de l'urine concentrée.

### **Lits capillaires du néphron**

- **Le glomérule** : Spécialisé dans la filtration, il est différent des autre capillaire pour deux raisons :
  - a. Il est **alimenté et drainé par deux artérioles** et non une artériole et une veinule.
  - b. Il **ne sert pas à apporter de l'O<sub>2</sub> et des nutriments aux reins et à faire sortir le CO<sub>2</sub>**, ce qui est le rôle du lit capillaire périrubulaire

**La P sanguine y est beaucoup plus ↑** que dans n'importe quel autre lit capillaire → **la P hydrostatique pousse facilement le liquide et les solutés du sang dans la chambre glomérulaire**. La majeure partie du filtrat (99%) est ultérieurement réabsorbée par les cellules du tubule rénal et renvoyée dans le sang par l'intermédiaire des lits capillaires périrubulaires

- **Le lit capillaire périrubulaire** : Très lié au tubule rénal. Plus adaptés à l'absorption qu'à la filtration : la P sanguine y est faible, ils sont poreux et captent facilement les solutés et l'eau

**Résistance vasculaire dans le rein** : Le sang rencontre une forte résistance dans les reins. La résistance des artérioles glomérulaires afférentes (celles qui arrivent aux glomérules) protège les glomérules contre les fluctuations extrêmes de la P systémique. La R dans les artérioles glomérulaire efférente ↑ la P hydrostatique dans les glomérules et la ↓ dans les capillaires périrubulaires.

**La membrane de filtration** : Elle est située entre le sang et la capsule glomérulaire du néphron. Elle laisse passer librement l'eau et les solutés plus petits que les protéines plasmiques.

### **Formation de l'urine**

Chaque minute, 1200 mL (1.2L) de sang traverse les glomérules dont 650 mL de plasma. Sur ces 650 mL, 1/5 (120-125 mL) traverse le filtre glomérulaire. Les reins utilisent 20-25%

de l'O<sub>2</sub> consommé par l'organisme au repos pour produire de l'ATP nécessaire à leur fonction. Filtrat glomérulaire ≠ urine, en effet, le filtrat contient les mêmes éléments que le plasma sauf les protéines mais une fois dans les tubules collecteurs, le filtrat a perdu la plus grande partie de l'eau, des nutriments et des ions qu'il contenait à l'origine. Ce qui reste, l'urine, est principalement composée de déchets métaboliques. 180L de filtrat / jour dont 1% fini sous forme d'urine (1.8L). Tubules collecteurs et néphrons travaillent ensemble pour diluer ou concentré l'urine.

### **Etape 1 : filtration glomérulaire**

**Processus passif et non sélectif** où liquides et solutés sont poussés à travers une membrane par la P hydrostatique. Le filtrat se trouve dans la chambre glomérulaire qui s'abouche au TCP. Glomérule → filtre beaucoup plus efficace que les autres lits capillaires car (1) membrane de filtration à une grande superficie et qu'elle est beaucoup plus perméable à l'eau et aux soluté, (2) P sanguine beaucoup plus grande → P nette de filtration beaucoup plus grande (180L contre 3-4L).

Puisque les grosses protéines ne filtrent pas, la concentration de protéine plasmatique, principalement l'albumine, engendre dans les lits capillaires glomérulaire une P osmotique (oncotique).

**P nette de filtration (PNF) =  $P_{Hg} - (P_{Og} + P_{Hc})$**   
**= 55 mm Hg – (30 mm Hg + 15 mm Hg)**

**= 10 mm Hg**

**Débit de filtration glomérulaire (DFG):** Volume de filtrat formé par l'activité combiné des 2 millions de glomérules des reins en 1 minute = 120-125 mL/min. Par contre, une ↓ de 15% de la P artérielle dans les capillaires glomérulaires suffit à faire cesser la filtration. La DFG est directement proportionnelle à la PNF. La déshydratation ↓ considérablement la formation du filtrat.

**Régulation de la filtration glomérulaire :** Le DFG doit être constant car si il est trop ↑, l'écoulement se fait trop rapidement pour la réabsorption des substances. Si il est trop ↓, presque tout est réabsorbé, même les déchets qui devrait être éliminé. Deux mécanismes maintiennent la constance du DFG :

**Mécanismes intrinsèques (autorégulation rénale)** → Les reins ajustent leur propre résistance au débit sanguin.

**Mécanismes extrinsèques (nerveux et hormonaux)** → Leur fonction est de maintenir la P artérielle systémique et ce parfois aux dépends des reins.

- **Stimulation du système nerveux sympathique :** Quand tout est normal, l'activité du SN sympathique est au repos, les vaisseaux sanguins rénaux sont dilatés au maximum. Cependant, si stress, situation d'urgence, quand il est nécessaire de détourner le sang vers les organes essentiels à la vie, les mécanismes de régulation nerveux qui ↓ le DFG peuvent prendre le pas sur mécanismes intrinsèques. La noradrénaline provoque une forte constriction des artéioles afférentes et une inhibition de a formation de filtrat. Ce phénomène déclenche le système rénine-angiotensine.
- **Système rénine-angiotensine :** ↓ de la P artérielle, rénine libérée. La rénine transforme l'angiotensinogène en angiotensine I qui sera à son tour convertie en angiotensine II. C'est un vasoconstricteur qui actives m. lisses de tout l'organisme et ↑ la PAM. De plus, elle va activer la glande surrénale qui va produire de l'aldostérone qui amène les tubules rénaux à absorber plus de ions Na et puisque l'eau suit les Na<sup>+</sup>, le volume sanguin ↑ et la P artérielle systémique ↑. L'angiotensine II provoque aussi la libération d'ADH qui ouvre les aquaporines et par conséquent fait ↓ la production d'urine.

## **Mécanismes physiologiques assurant la régulation du DFG Fig. 25.10 p. 1036**

### **Etape 2 : réabsorption tubulaire**

Des reins sains réabsorbent complètement presque tous les nutriments organiques tels que le glucose et les acides aminés afin de maintenir ou de rétablir les concentrations plasmiqes normales.

**Réabsorption du Na** : Les ions  $\text{Na}^+$  sont les cations les plus importants dans le filtrats, et environ 80% de l'énergie consommée par le transport actif est consacré à leur réabsorption qui est presque toujours active.

**Capacité de réabsorption des différentes parties du tubule rénal** : Tableau 25.1 p. 1041

### **Les substances non réabsorbées**

Elles ne le sont pas ou pas complètement pour l'une des trois raisons suivante : (1) elles ont pas de transporteur protéiques, (2) elles ne sont pas liposolubles, (3) elles sont trop grosse.

### **Etape 3 : La sécrétion tubulaire**

L'urine est composée à la fois de substances filtrées et de substances sécrétées. Les substances telles que les ions  $\text{H}^+$ ,  $\text{K}^-$ ,  $\text{NH}_4^+$ , la créatinine et certains acides organiques passent des capillaires péritubulaires au filtrat. Sauf pour les ions  $\text{K}^+$ , la sécrétion à lieu dans le TCP mais la partie cortical du tubule collecteur et la fin du TCD y participent aussi.

Fonction :

- éliminer médicament.
- éliminer substances nuisibles.
- débarrasser l'organisme des ions  $\text{K}^+$  en excès.
- Régler PH sanguin.

### **Régulation de la concentration d'urine**

L'**osmolalité** d'une solution est le nombre de particules de soluté dissoutes dans 1 kg d'eau, et elle est traduite par la capacité de la solution d'entraîner l'osmose. L'osmolalité du plasma sanguin se situe entre 280 et 300 mmol/kg.

Une des fonction capitale des reins est de maintenir la concentration de soluté dans les liquides de l'organisme autour de 300 mmol/kg (= à la concentration osmotique du plasma), en réglant la concentration et le volume d'urine.

L'osmolalité du filtrat passe de 300 mmol/kg à 1200 mmol/kg dans la partie la plus profonde de la médulla rénale.

### **Multiplicateur à contre courant :**

La anse du néphron sert de multiplicateur à contre-courant. Son fonctionnement à contre-courant est lié à trois facteurs :

- La partie descendante de la anse du néphron permet la réabsorption d'eau mais non celle des solutés.
- La partie ascendante de l'anse du néphron permet la réabsorption des solutés mais non celle de l'eau.
- Les tubules rénaux collecteurs situés profondément dans la médulla rénale peuvent réabsorbé l'urée.

### **Echangeurs à contre-courant**

Les vasa recta servent d'échangeurs à contre-courant pour maintenir le gradient osmotique établi par le transport cyclique des ions entre les parties ascendantes et descendantes de l'anse du néphron. Le sang s'y écoule très lentement et de plus ces vaisseaux sont perméables à l'eau et au NaCl. Donc dans la partie profonde de la médulla, le sang perd de l'eau et gagne des ions puis dans le cortex rénal, le processus est inversé.

Comme le sang qui revient en direction du cortex par les vasa recta n'a une concentration de soluté qu'un petit peu supérieur à celle du sang qui pénètre dans la médulla, les vasa recta jouent le rôle d'échangeurs à contre-courant.

### Formation d'urine diluée

C'est ce qui se passe quand le **neurohypophyse ne sécrète pas d'hormone antidiurétique**. Les TRC restent imperméables à l'eau parce que les membranes apicales de leurs cellules n'ont pas d'aquaporines. Donc ne réabsorbent pas d'eau. En outre les cellules des TCD et TRC peuvent réabsorber des ions par des mécanismes actifs ou passifs. L'urine peut être diluée jusqu'à 50 mmol/kg.

### Formation d'urine concentrée

L'**hormone antidiurétique** inhibe la diurèse, c'est-à-dire l'excrétion d'urine. Par l'intermédiaire de l'AMPc, cette hormone ↑ le nb de canaux d'eau situés dans les cellules principales des tubules contournés distaux et des tubules rénaux collecteurs.

Selon la quantité d'hormone antidiurétique libérée (quantité adaptée au degré d'hydratation de l'organisme, la [urine] peut atteindre 1200 mmol/kg. Lors de sécrétion maximale d'hormone antidiurétique, jusqu'à 99% de l'eau contenue dans le filtrat est réabsorbé et renvoyée dans le sang et moins de 1L d'urine par jours est formé et excrété. La neurohypophyse libère l'hormone antidiurétique plus ou moins continuellement, sauf si l'osmolarité du sang atteint des taux excessivement bas.

### Les diurétiques

Substances chimiques qui favorisent la diurèse. Exemples : L'alcool, un sédatif, favorise la diurèse en inhibant la libération d'hormone antidiurétique (ADH). D'autres diurétiques ↑ la diurèse en inhibant la réabsorption des ions  $\text{Na}^+$  et par le même fait, la réabsorption obligatoire d'eau qui s'ensuit normalement → la caféine.

On peut donner des médicaments diurétiques pour soigner l'hypertension par exemple mais attention, ils peuvent aussi perturber l'équilibre acido-basique du sang et les [électrolytes].

### La miction

C'est l'émission d'urine. Normalement la distension de la vessie consécutive à l'accumulation d'urine active des mécanorécepteurs enchâssés dans sa paroi. Les influx provenant des mécanorécepteurs activés sont transmis par les neurofibres afférentes viscérales des nerfs pelviens à la région sacrée de la moelle épinière, où ils déclenchent des réflexes spinaux qui :

1. Renforcent l'inhibition sympathique de la musculature de la vessie et du sphincter lisse de l'urètre.
2. Stimulent la contraction du m. sphincter de l'urètre en activant des neurofibres motrices du nerf honteux.

Quand l'accumulation d'urine atteint 200 mL, les influx parviennent à l'encéphale et donc on ressent le besoin d'uriner.

Le centre de la miction envoie des influx par des neurones parasympathiques qui stimulent la contraction de la musculature de la vessie ainsi que le relâchement du sphincter lisse et du m. sphincter de l'urètre → l'urine s'écoule.

Si on ne répond pas au besoin d'uriner, les contractions réflexes de la vessie cessent de quelques minutes à une heure. Quand 200-300 mL s'accumulent, le réflexe de miction apparaît à nouveau. Quand le volume dépasse 500-600 mL, le besoin est irrésistible.

**Listes des abréviations utilisées :**

A → aorte  
ATP → adénosine triphosphate  
AV → auriculoventriculaire  
D → débit sanguin  
DC → débit cardiaque  
FC → fréquence cardiaque  
NS → nœud sinusal  
P → pression  
PA → potentiel d'action  
Pa → Pression artérielle  
PAM → Pression artérielle moyenne  
PH (la) → pression hydrostatique  
PH<sub>c</sub> → Pression hydrostatique dans les capillaires  
PH<sub>li</sub> → Pression hydrostatique dans liquide interstitiel  
PO<sub>C</sub> → Pression oncotique dans les capillaires  
PO<sub>li</sub> → Pression oncotique dans liquide interstitiel  
R → résistance  
RP → résistance périphérique  
TP → tronc pulmonaire  
VD → Ventricule droit  
VG → ventricule gauche  
VS → volume systolique  
VTD → volume télédiastolique  
VTS → volume télésystolique  
VSa → volume sanguin