

Circulation.

I\ Introduction.

La circulation sert au maintien de l'homéostasie. C'est le sang, phase circulante du milieu interne, qui va en déterminer le réglage.

La circulation a un rôle dans :

- la *nutrition* (distribution des nutriments),
- le *transport des gaz respiratoires* (O₂ et CO₂),
- l'*élimination* des déchets,
- le *transport des informations* (hormones),
- l'*équilibre* de la température,
- la *défense* de l'organisme.

Le sang est distribué par le cœur vers les vaisseaux. L'ensemble du sang, des vaisseaux et du cœur forment l'appareil cardio-vasculaire.

Remarque : la circulation lymphatique est un système de drainage qui participe à la défense de l'organisme. Elle fonctionne sans pompe mais avec les vaisseaux. La lymphe rejoindra la circulation sanguine.

Le système cardio-vasculaire est clos (pas de contact direct entre le sang et les cellules). Il se ramifie en *artères* (1/5 du volume sanguin), *veines* (2/3 du volume sanguin) et *capillaires* qui relient les artères aux veines et assurent les échanges entre le sang et les tissus.

A\ La grande circulation (ou générale).

Elle permet l'irrigation des différents organes et des tissus. Le cœur gauche propulse le sang dans l'aorte, dans les artères, les artérioles, les capillaires, les veinules puis les veines qui ramènent le sang au cœur droit.

Le système est exclusivement composé de sang veineux. Il récupère le sang du tube digestif vers le foie où il est épuré. Il rejoint la grande circulation par la *veine sus-hépatique* au niveau de la *veine cave*.

B\ La petite circulation (ou pulmonaire).

Elle se charge des échanges entre l'air alvéolaire et le sang. Ce dernier est ramené (au cœur gauche) par *quatre veines pulmonaires*.

II\ Physiologie cardiaque.

A\ Anatomie.

Le cœur est un muscle creux qui par sa contraction rythmique assure la progression du sang dans les vaisseaux : *c'est une pompe*.

Il repose sur le diaphragme et est composé de *quatre cavités*.

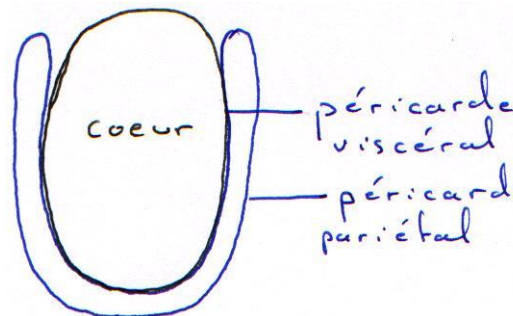
Il est divisé longitudinalement en deux parties indépendantes. Le cœur gauche est le plus puissant car il doit irriguer tout le corps.

On trouve la *cloison inter-auriculaire* entre les oreillettes et la *cloison inter-ventriculaire* entre les ventricules.

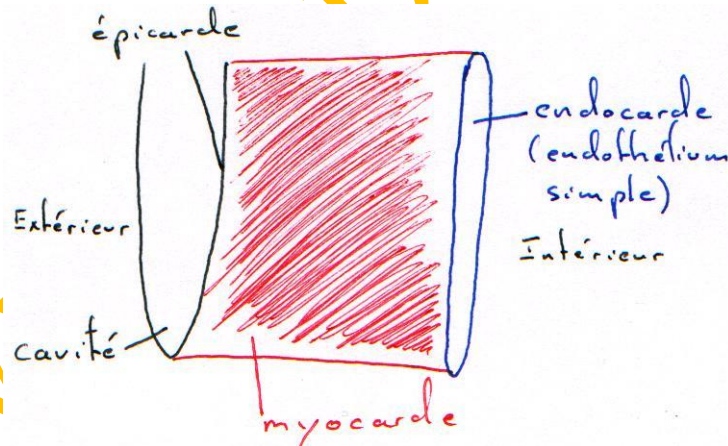
Pendant le développement embryonnaire, il existe une communication entre les oreillettes.

1\ La paroi du cœur.

Le cœur est enfermé dans un sac protecteur : le **péricarde**. Celui-ci est formé de deux *feuilles* séparés par une cavité. Le premier feuillet, externe, permet l'attachement au diaphragme : **péricarde pariétal**. Le deuxième feuillet, interne, est appelé **péricarde viscéral** ou **épicaarde**, c'est un simple épithélium.



Le **myocarde** : il forme la paroi des ventricules et des oreillettes. Il est composé de plusieurs couches cellulaires. On trouve des couches musculaires transversales et obliques.

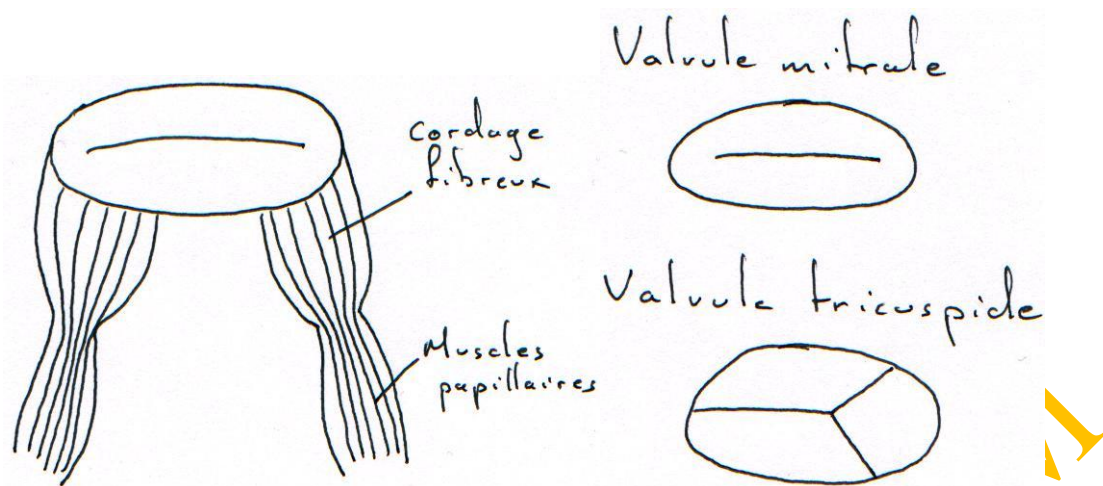


2\ Les valvules.

Les valvules forment une zone de transition entre oreillette et ventricule et entre ventricule et artère. C'est un *ensemble conjonctif* (comme une membrane). Elles ont une *fonction de clapet*.

A partir de ces valvules partent des cordages fibreux ou tendineux. Ces cordages se rattachent à des *muscles papillaires*.

La *valvule auriculo-ventriculaire* du cœur gauche est appelée **valvule mitrale**. La valvule du cœur droit est appelée **valvule tricuspide**.



Les valvules **sigmoïdes** ou **semi-lunaires**, situées au niveau du départ des artères résistent à de fortes pressions. Elles permettent d'éviter le retour du sang. Quand elles ne peuvent pas se fermer, on parle du « souffle au cœur ».

3\ La circulation coronaire.

Le cœur a son propre système de vascularisation qui forme une couronne autour du cœur. Les deux artères coronaires partent de la base de l'aorte. La gauche prend en charge 85% du débit sanguin irriguant le cœur et la droite, seulement 15%. Le sang revient par des veines qui se jettent dans le sinus veineux qui rejoint le cœur au niveau de l'oreillette droite.

B\ Révolution cardiaque.

La révolution cardiaque comprend tous les phénomènes à partir du début d'une contraction cardiaque jusqu'au début de la suivante. Cette révolution peut être divisée en **quatre phases**.

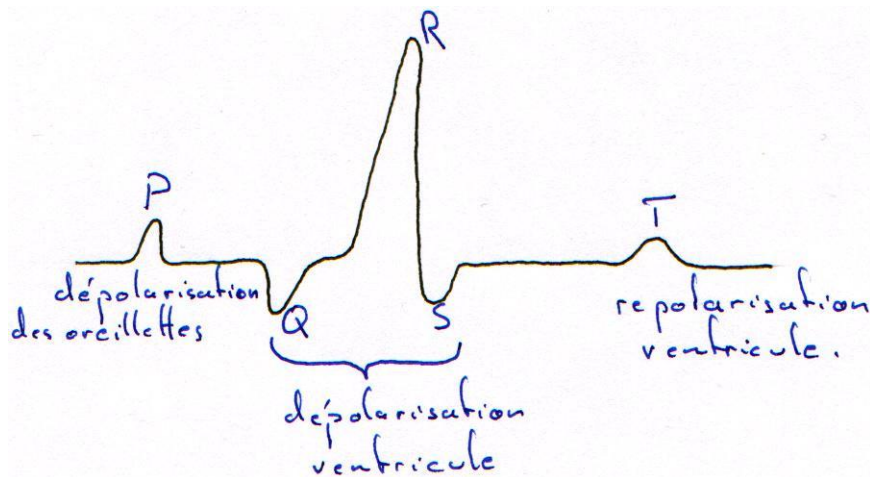
- 1 : remplissage des ventricules (droit et gauche) ; cœur relâché : **diastole**.
- 2 : les ventricules se contractent ; **début de la systole**.
- 3 : éjection du sang.
- 4 : relâchement ventriculaire : **diastole**.

→ Le cœur est relativement « fainéant » car il se repose plus qu'il ne travail.

1\ Mise en évidence du fonctionnement cardiaque.

Il existe des signes externes de l'activité cardiaque : le pouls, les bruits du cœur (les bruits sourds sont dus aux valvules auriculo-ventriculaire « toum », les bruits secs sont dus aux valvules sigmoïdes « ta »).

Un électroencéphalogramme permet d'analyser l'activité électrique du cœur : il se dégage une onde particulière.



2\ Automatisme cardiaque.

Un cœur séparé de son organisme et convenablement perfusé peut se contracter pendant des heures : le cœur a son propre fonctionnement : on parle d'activité intrinsèque. Cet automatisme est régulé par le système neurovégétatif.

A l'intérieur, le **tissu nodal** est responsable de l'activité cardiaque. Il est représenté par 1% des cellules cardiaques. Elles sont situées dans les parois du cœur.

Ce tissu prend son départ au niveau de l'oreillette droite (le **nœud sinusal** ou **nœud de Keith et Flack**). Il initie la fréquence cardiaque : le **pacemaker** (100 battements par minute).

L'influx nerveux part ensuite au fond de l'oreillette par une jonction en *arc ventriculaire* jusqu'au **nœud auriculo-ventriculaire** ou **nœud de Aschoff Tawara**.

Cet influx continue par le **faisceau de His**, dans la cloison inter-ventriculaire. Il se divise ensuite en deux branches qui se ramifient à la pointe des ventricules et donnent le **réseau de Purkinje**.

C\ Débit cardiaque et régulation.

1\ Débit cardiaque, définition.

Le débit cardiaque est volume de sang pompé par chaque ventricule par unité de temps. Il dépend donc de la fréquence cardiaque et du volume d'éjection systolique (exprimé en L/min).

$$\rightarrow Dc = Fc \times Vs \quad (\rightarrow 5L/min = 70 \text{ bpm} \times 70 \text{ mL/min}).$$

Pour les calculs, on considère essentiellement le volume du ventricule gauche.

750 mL iront vers le cerveau, 250 mL vers le cœur, 1,1 L vers les reins et 1,2 L vers les muscles. Pendant un exercice, le volume de sang allant vers les muscles augmente, celui allant vers le système digestif diminue.

2\ Régulation.

On a trois types de régulation : *Intrinsèque*, *Extrinsèque* et *Hormonale*.

α \ Régulation intrinsèque.

Elle concerne le cœur. Il adapte son débit au retour veineux : *une augmentation de sang veineux entraîne une élévation de sang éjecté* (amplification du travail cardiaque).

Loi de Starling : *plus le muscle est étiré, plus le travail cardiaque est important.*

β \ Régulation extrinsèque.

Le système neurovégétatif module l'activité du cœur en fonction de l'activité générale de l'organisme.

- Système cardio-modérateur (système parasympathique). Le médiateur est l'**acétylcholine**. Il implique le *nerf vague* dont la stimulation va **diminuer** la fréquence cardiaque au niveau du *nœud auriculo-ventriculaire*.
- Système cardio-accélérateur (système orthosympathique). Le médiateur est la **noradrénaline**. Toutes les stimulations du système orthosympathique vont **accélérer** la fréquence cardiaque.

γ \ Régulation hormonale.

L'**adrénaline** sera activée par les *glandes médullo-surrénales* en condition de stress. Son effet sera une **accélération** du rythme cardiaque.

Les *hormones thyroïdiennes* sont aussi capables d'*augmenter* la fréquence cardiaque.

δ \ Autres facteurs.

L'**hypothermie** fait *ralentir* le rythme cardiaque alors que *la fièvre l'augmente*.

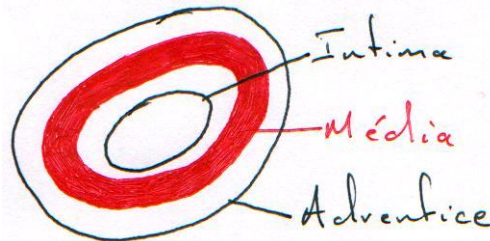
III \ Physiologie des vaisseaux.

A \ Caractères généraux.

1 \ Les artères.

Les artères sont constituées de trois couches :

- l'intima : *endothélium*
- la média : formée de *fibres élastiques* et de *fibres musculaires lisses*
- l'adventice : formée de *fibres élastiques* et de *fibres conjonctives*.



Selon le type d'artère, on a une variation des fibres musculaires et élastiques.

Plus les fibres sont grosses, plus le nombre de fibres élastiques augmente
Plus les fibres sont petites, plus le nombre de fibres musculaires augmente.
→ Ces variations mettent en évidence la vasomotricité qui régule le débit sanguin pour un organe donné.

2\ Les veines.

Elles contiennent les mêmes couches que les artères mais les parois sont beaucoup plus minces. Leur média comporte beaucoup moins de fibres élastiques et musculaires → la média est moins développée dans les veines que dans les artères.

L'intima forme des replis qui donneront des **valvules anti-reflux** → *circulation en sens unique vers le cœur*. Ces valvules seront surtout présentes dans les membres inférieurs.

3\ Les capillaires.

Ils sont formés d'une paroi mince (une seule couche de cellules endothéliales). La circulation sanguine, dans ces vaisseaux, est à *faible vitesse* afin de permettre les échanges entre les deux compartiments. *Les échanges sont faits par diffusion*.

4\ Les vaisseaux lymphatiques.

Le liquide interstitiel est drainé et filtré par les vaisseaux lymphatiques qui passent dans tous les organes. Ce liquide est *composé de liquide sanguin en excès*. Sa composition est comparable à celle du plasma (ni hématies ni plaquettes). Les capillaires lymphatiques sont disposés en réseaux concentrés, puis en canaux et enfin en veine. La lymphe est collectée par deux grands collecteurs :

- la grande veine lymphatique : elle recueille le liquide interstitiel venant de la *tête*, du *cou* et des *membres supérieurs*. Elle se jette ensuite dans la *veine sous-clavière droite*.
- le canal thoracique : il collecte le liquide interstitiel de *tout le reste du corps*. Il se jette finalement dans la *veine sous-clavière gauche*.

La lymphe rejoint ensuite la circulation sanguine.

Remarque : les canaux lymphatiques au niveau de l'intestin sont appelés les **canaux chylifères**.

B\ Fonctionnement du système circulatoire.

1\ Définition, systèmes basse pression et haute pression.

L'écoulement du sang se fait toujours *d'une région de haute pression vers une région de basse pression*.

- Système haute pression. Il est composé du **cœur gauche**, de l'**aorte** et des **artères systémiques**. La pression est de 100 mm de Hg. On a donc un écoulement rapide du sang vers les organes. Ce système rassemble 20% de la masse sanguine. Il permet de faire face à des variations locales de débit.
- Le système basse pression. Il est composé du **cœur droit**, de la **circulation pulmonaire**, des **veines systémiques** et des **capillaires**. La pression est de 15 mm de

Hg. Ce système comprend 80% de la masse sanguine. Il sert aux échanges avec les organes.

2\ Circulation dans un système à haute pression.

α \ Notion de débit et de pression.

Haute pression : Assure un transport rapide du sang vers les organes.

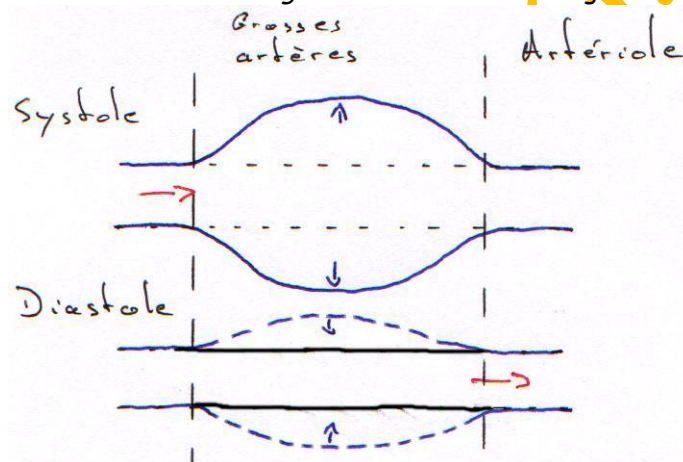
L'écoulement du sang est fonction du débit et des résistances à l'écoulement de ce sang (viscosité et diamètre des vaisseaux).

Débit : C'est la variation de pression entre deux points et de la résistance à l'écoulement

$$\rightarrow Q = \Delta P / R$$

β \ Elasticité.

L'élasticité est une caractéristique importante des grosses artères : elles renferment beaucoup de fibres élastiques (plus que de musculaires). L'élasticité sert à *amortir l'amplitude des variations de pression* : elle sert à la *régulation du débit* à un organe donné.



Le *flux discontinu* à la sortie du cœur se transforme en un *flux continu* grâce à l'élasticité des artères.

La *tension maximale* pendant la *systole* est comprise entre 110 et 140 mm de Hg.

La *tension minimale* pendant la *diastole* est comprise entre 60 et 80 mm de Hg.

La différence entre ces deux valeurs donne la **tension différentielle**.

γ \ La vasomotricité.

La vasomotricité s'intéresse aux artères moyennes et aux artérioles (elles possèdent plus de fibres musculaires que de fibres élastiques).

Cette vasomotricité est contrôlée de deux façons :

- **contrôle local** qui s'exerce sur les *fibres musculaires lisses de la paroi des artérioles*, déclenché par une *diminution locale de la pression artérielle* qui entraîne une réduction du débit des capillaires et des taux d'oxygène. On a alors une *contraction réflexe des artérioles*.

Le *contrôle local* est du aux *concentrations en O₂, CO₂ et autres métabolites* : c'est une *auto-régulation du débit sanguin vers les organes*.

- **voie nerveuse**. L'activité des fibres du *système orthosympathique* va activer la *contraction des artérioles*. La fixation de la *noradrénaline* sur les *récepteurs α et β*

adrénergiques entraîne deux résultats différents : quand le récepteur α est activé, on a une vasoconstriction et une vasodilatation si le récepteur β est activé.

Ce double contrôle intègre les variations au niveau global de l'organisme.

Remarque : les hormones : l'angiotensine permet la vasoconstriction. L'ANF (Facteur Atrial natriurétique) produit par le cœur est un vasodilatateur.

δ\ La pression artérielle et sa régulation.

$P = Dc \times R$ (pression = débit cardiaque \times résistances)

Cette pression est ajustée en permanence. Elle est dépendante de l'efficacité du cœur, du volume sanguin et du calibre des vaisseaux (vasomotricité).

La pression est régulée en permanence et de façon immédiate par la régulation nerveuse. Sur un plus long terme, on a une régulation hormonale.

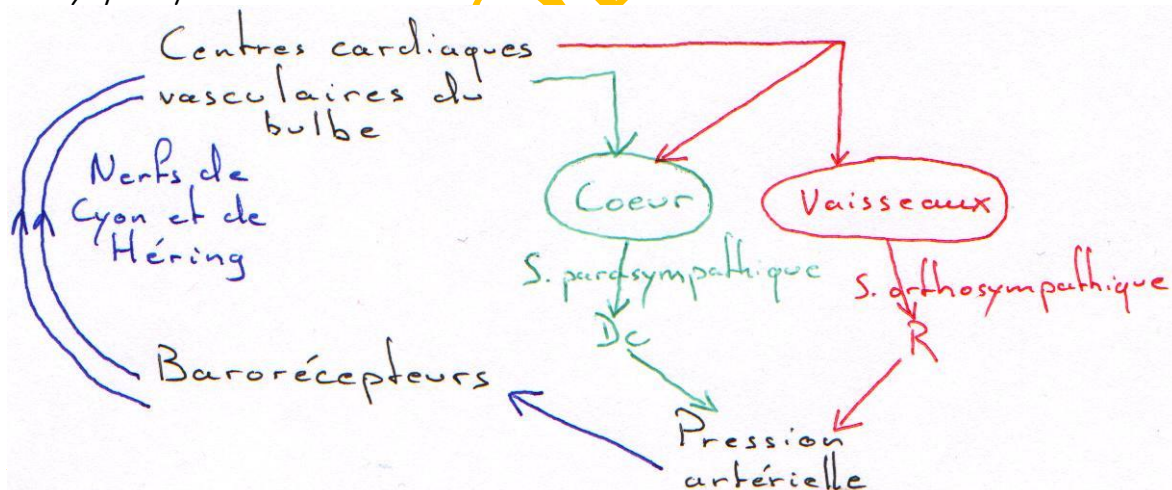
- Régulation nerveuse.

Dans les parois du sinus veineux et de l'aorte, on trouve des récepteurs sensibles aux changements de pression. Ils sont dans des zones barosensibles dans la crosse aortique et la bifurcation carotidienne : ce sont les barorécepteurs.

L'information remonte au bulbe par des voies afférentes sensibles représentées par les nerfs de Cyon et de Hering.

Ces voies ont toujours un rôle de « frein » sur l'activité cardio-vasculaire.

Quand les centres cardio-vasculaires sont informés, ils envoient les informations au cœur et aux vaisseaux par les fibres efférentes du système parasympathique et du système orthosympathique.



Une diminution de la pression artérielle entraîne une augmentation de la stimulation du système parasympathique (qui va accélérer la fréquence cardiaque) et une diminution de l'activité du système orthosympathique (qui diminuera son action vaso-constrictrice).

- Régulation hormonale.

Pour réguler le volume sanguin, on trouve des volo-récepteurs (sensibles au volume).

L'intervention d'hormone joue sur la volémie :

- **L'ADH** (vasopressive ou anti-diurétique) est sécrétée par la *post-hypophyse*. Elle est libérée après une stimulation des récepteurs. Elle va compenser le volume sanguin avec le volume urinaire.
- **L'ANF**.
- **La Rénine**, sécrétée par le *rein*, elle permet de transformer l'**angiotensine** pour être activée. Quand elle est active, elle entraîne une *vasoconstriction des artérioles* qui va modifier la pression artérielle. La Rénine peut provoquer la sécrétion d'aldostérone par le complexe surrénalien.

Une diminution de l'activité du système parasympathique entraîne une diminution de l'inhibition cardiaque qui permet l'augmentation de la fréquence cardiaque.

L'accroissement de l'activité du système orthosympathique entraîne une augmentation de la pression cardiaque.

3\ Circulation dans le système à basse pression.

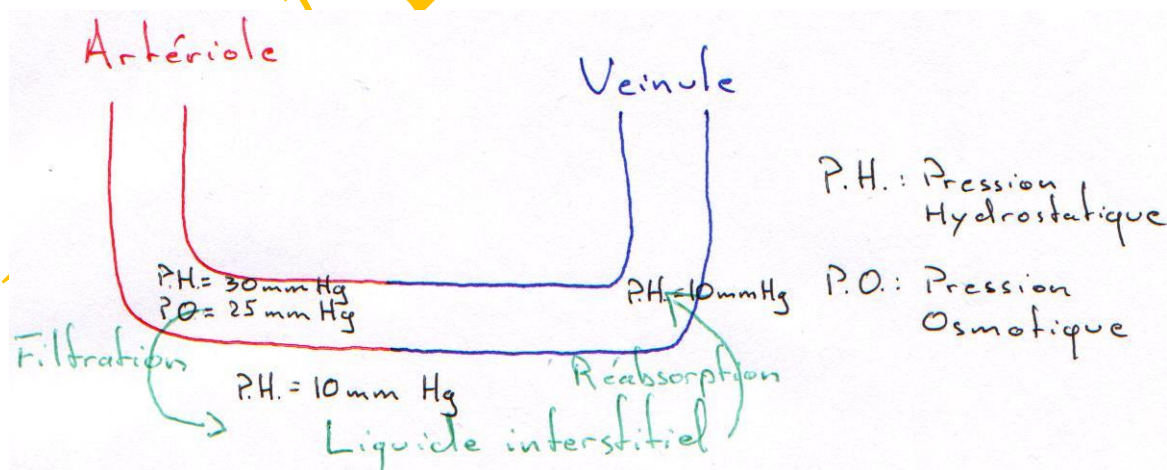
α\ Au niveau des capillaires.

Ce sont les segments spécialisés dans les échanges entre les tissus et le sang. Leur paroi permet la filtration des nutriments, de l'oxygène et des hormones vers le liquide interstitiel ainsi que de réabsorber les produits du métabolisme (CO_2 , déchets azotés).

Le réseau de capillaires forme un entrelacement de 50 km de long. Toutefois, *tous les capillaires ne sont pas fonctionnels en même temps*. Dans un organe au repos, le sang circule dans 5% des capillaires. La modulation du passage sanguin est due à des **sphincters pré-capillaires**. Ils sont situés à la terminaison des artérioles. Ils contrôlent l'adaptation des échanges en fonction des cellules. La distance entre les cellules et le capillaire est de 100 μm .

Deux forces jouent un rôle dans les échanges :

- la variation de la **pression hydrostatique** (mouvements d'eau).
- la variation de **pression osmotique**.



90% du liquide interstitiel filtré est réabsorbé. Les 10% restant sont pris en charge par la circulation lymphatique.

β\ Au niveau des vaisseaux lymphatiques.

Deux litres par jour de liquide interstitiel sont pris par les vaisseaux lymphatiques (les 10%). La lymphe rejoint ensuite la circulation veineuse.

γ\ La circulation veineuse.

Elle collecte le sang des capillaires pour le ramener au cœur droit. C'est elle qui maintient la réserve sanguine, disponible en cas de nécessité.

Il n'y a pas de fibre musculaire pour ramener le sang au cœur. C'est l'activité du cœur (aspiration quand il se contracte) qui fait remonter le sang.

Les mouvements respiratoires entraînent une compression du diaphragme qui va comprimer les veines et faire remonter le sang au cœur par aspiration.

L'activité contractile des muscles fait aussi remonter le sang vers le cœur.

Les valvules anti-reflux facilitent la remontée de ce sang.

→ Ce sont tous des facteurs extérieurs aux vaisseaux.