

# Biophysique : Circulation sanguine

## Résumé

**Module :** Biophysique

**Basé sur :** Le cours

-> Ce résumé est un complément de cours, il contient suffisamment d'informations, mais ne remplace pas le polycopié du professeur.

-> Merci d'envoyer toutes vos remarques via l'adresse mail suivante :  
[mahdikettani1@gmail.com](mailto:mahdikettani1@gmail.com)

-> Bon courage et bonne lecture !

**Auteur :** Kettani El Mahdi, étudiant de la promotion médecine 2019

اللهم أستودعك ما قرأت و ما حفظت و ما تعلمت، فردّه عند حاجتي إليه، إنك على كل شيء قدير

# CIRCULATION SANGUINE

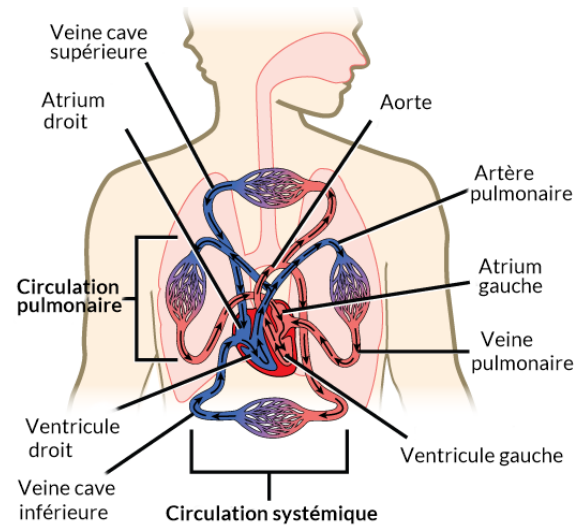
## I) Organisation générale du système cardio-vasculaire :

-> Le cœur est constitué de :

- 2 oreillettes (gauche et droite) : pour remplir les ventricules
- 2 ventricules (gauche et droit) : pour éjecter le sang

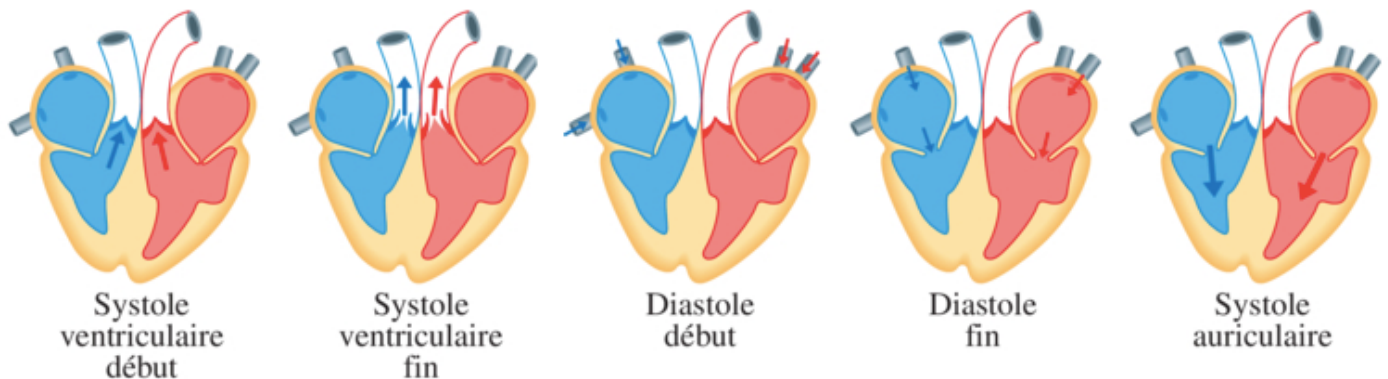
-> Étapes de la circulation sanguine :

- Pendant l'inspiration O<sub>2</sub> rentre jusqu'aux alvéoles pulmonaires
- Les alvéoles échangent l'O<sub>2</sub> et reprennent le CO<sub>2</sub> des capillaires sanguins
- Les 4 veines pulmonaires riches en O<sub>2</sub> (2 par poumon) déversent le sang oxygéné dans l'oreillette gauche
- le sang passe de l'oreillette au ventricule gauche
- Le ventricule gauche éjecte le sang via l'aorte à l'ensemble du corps avec une pression de 100 mmHg
- Les cellules captent l'O<sub>2</sub> et rejettent le CO<sub>2</sub> aux capillaires sanguins
- Les 2 veines caves (supérieure et inférieure) pauvre en O<sub>2</sub> et riche en CO<sub>2</sub> déverse le sang désoxygéné dans l'oreillette droite avec une pression de 2 – 4 mmHg
- Le sang passe de l'oreillette au ventricule droit
- Le ventricule droit éjecte le sang via l'artère pulmonaire aux 2 poumons
- Les alvéoles reprennent le CO<sub>2</sub> (qui sortira par les bronches lors de l'expiration) et échangent l'O<sub>2</sub> aux capillaires
- Et le circuit recommence perpétuellement



## II) Activité mécanique des ventricules :

### A) Étapes ou phases de l'activité mécanique cardiaque :



-> La systole ventriculaire :

1. Contraction iso-volumétrique des 2 ventricules : toutes les valvules sont fermées, les ventricules sont pleins, la pression augmente dans les ventricules
2. Éjection brutale vers l'aorte et l'artère pulmonaire : les valvules sigmoïdes s'ouvrent dès que la pression des ventricules devient supérieure à celle de l'aorte

-> La diastole ventriculaire :

1. Relaxation iso-volumétrique : la pression des ventricules diminue => les valvules sigmoïdes se referment dès que la pression des ventricules devient inférieure à celle de l'aorte, cette fermeture provoque un bruit
2. Phase de remplissage passif : dès que la pression des oreillettes devient supérieure à celle des ventricules, il y a ouverture des valvules atrio-ventriculaires et le sang passe des oreillettes aux ventricules
3. Contraction auriculaire (systole auriculaire) : Cette phase se termine par une contraction auriculaire qui complète le remplissage. Dès que la pression des ventricules devient supérieure à celle des oreillettes, les valvules atrio-ventriculaires se referment, cette fermeture provoque un bruit

## B) Régime discontinue-régime continu :

-> Le cœur éjecte le sang de façon discontinue, alors que le flux sanguin est continu (dans le réseau artériel)

-> Pour réguler cette discontinuité, la paroi des gros vaisseaux comme l'aorte :

- Se distend pendant la systole
- Se rétracte à la fin de la systole après fermeture des valvules sigmoïdes

-> Ce mécanisme permet donc :

- Transformer un flux pulsé éjecté en un flux continu
- Économiser la puissance cardiaque en restituant une partie de l'énergie emmagasinée

## C) Pression, volume ventriculaire : Travail Cardiaque :

->  $W_c = P \times V$  avec :  $W_c$  : travail cardiaque /  $P$  : pression /  $V$  : volume

-> Le travail du cœur  $\approx$  le travail du ventricule gauche

-> 4 phases à retenir :

A : Fin de la diastole = remplissage diastolique (remplissage maximal des ventricules  $V = 125 \text{ ml}$  /  $P = 0 \text{ mmHg}$ )

B : Contraction iso-volumétrique ( $P = 90 \text{ mmHg}$ )

C : Éjection systolique (Volume éjecté =  $65 - 70 \text{ ml}$ )

D : Relaxation iso-volumétrique (Volume restant dans les ventricules =  $60 \text{ ml}$ )

-> Conditions physiologiques normales :

- Remplissage diastolique + éjection systolique  $\Rightarrow$  utilise  $1,3 \text{ watt}$
- Phase iso-volumétrique  $\Rightarrow$  utilise  $11,7 \text{ watt}$

-> Le rendement mécanique est assez faible, mais il augmente à l'effort ou en cas de pathologie

-> Exemple :

- Hypertension artérielle :  $P$  aorte augmente  $\Rightarrow W_c$  augmente également pour plus de contraction car la pression de l'aorte reste supérieure à celle des ventricules
- Effort, prises de médicament :  $W_c$  augmente car les valves sigmoïdes s'ouvrent : Pression des ventricules augmente et volume identique ou Pression des ventricules identique et volume augmente

## III) Écoulement et débit sanguins :

### A) Écoulement des fluides :

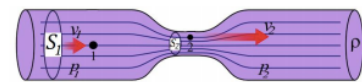
->  $V = d/t$  (avec :  $V$  : vitesse d'écoulement en  $\text{m/s}$  /  $d$  : distance parcourue en  $\text{m}$  /  $t$  : temps en  $\text{s}$ )

->  $D = V_o/t$  (avec :  $D$  : débit en  $\text{m}^3/\text{s}$  /  $V_o$  : volume du sang qui passe à travers le vaisseau en  $\text{m}^3$  /  $t$  : temps en  $\text{s}$ )

-> Relation entre la vitesse et le débit :  $D = S \times V$  (avec :  $D$  : débit /  $V$  : vitesse /  $S$  : surface) ( $S = \pi \cdot r^2$ )



-> Dans un conduit avec des ramifications parallèles, le débit entrant = somme des débits sortants, s'il y a conservation de la matière, circuit fermé, pas de perte  $\Rightarrow D = \text{cte} \Rightarrow S_1 \times V_1 = S_2 \times V_2$



$$S_1 = 10 \text{ cm}^2$$

$$S_2 = 2 \text{ cm}^2$$

$$D = 10 \text{ ml/s}$$

-> Liquide parfait :

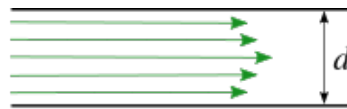
- S'écoule sans frottement entre les particules
- Pas de perte d'énergie pendant l'écoulement
- Théorème de Bernoulli :  $p_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = p_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$

-> Liquide réel :

- S'écoule avec frottements entre les particules
- Ce qui provoque une viscosité  $\eta$  du liquide
- Perte d'énergie pendant l'écoulement
- Loi de Poiseuille :  $D = \Delta p \frac{\pi R^4}{8 \eta l}$  avec :  $\Delta p = p_1 - p_2$   $\Delta p$  : perte d'énergie à cause des frottements / viscosité

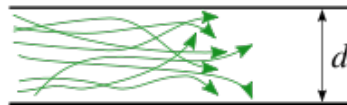
-> Écoulement laminaire :

- Vitesse diminue
- Vecteurs vitesse parallèle
- Vitesse maximale au centre
- Vitesse  $\approx 0$  pour une mince couche périphérique



-> Écoulement turbulent :

- Vitesse augmente
- Vecteurs vitesse désordonnés



-> Nombre de Reynolds :  $\mathcal{R} = \frac{\rho d v}{\eta}$

- Si  $R < 2400$  : écoulement laminaire
- Si  $R > 10\,000$  : écoulement turbulent
- Si  $2400 < R < 10\,000$  : régime instable, mélange des 2 régimes

-> Vitesse critique :  $V_c = \frac{2400 \eta}{\rho d}$  Si la vitesse d'écoulement  $> V_c \Rightarrow$  le régime cesse d'être laminaire

## B) Particularité du réseau vasculaire :

-> Réseau parallèle qui commence par 1 vaisseau, l'aorte, puis ce dernier se bifurque en plusieurs ramifications de vaisseaux pour atteindre un nombre de  $5 \times 10^9$ , c'est les capillaires, puis ce nombre diminue pour devenir veine cave

-> Le débit est constant, mais la vitesse d'écoulement varie :

- dans l'aorte : 30 cm/s
- dans les capillaires :  $< 0,1$  cm/s
- Il augmente jusqu'à 5-20 cm/s dans les veines caves

Vaisseau	Diamètre	Section cumulée
Aorte	2,5 cm	5 cm <sup>2</sup>
Artère	4 mm	20 cm <sup>2</sup>
Artériole	30 $\mu$ m	500 cm <sup>2</sup>
Capillaire	8 $\mu$ m	3500 cm <sup>2</sup>
Veinule	20 $\mu$ m	2700 cm <sup>2</sup>
Veine	5 mm	30-100 cm <sup>2</sup>
Veine cave	3 cm	7 cm <sup>2</sup>

-> La vitesse est augmentée à l'éjection  $\Rightarrow$  écoulement turbulent

-> Dans le reste de la circulation sanguine  $\Rightarrow$  écoulement laminaire

-> Les turbulences sont présentes lorsque la vitesse d'écoulement  $> V_c$

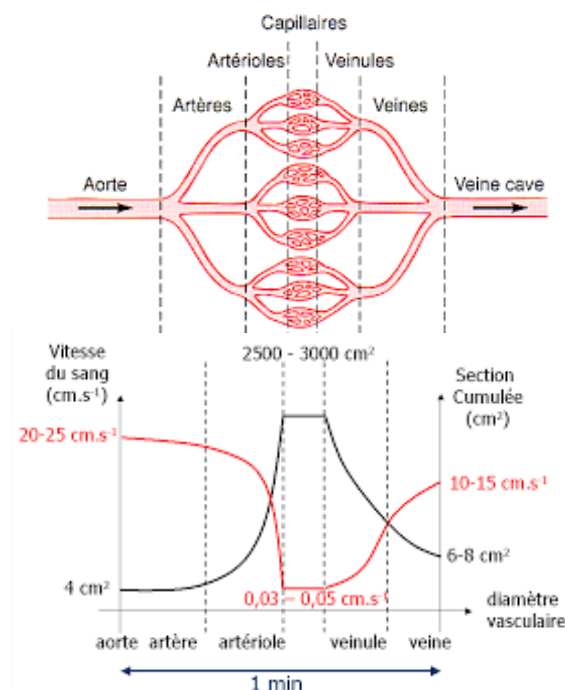
-> Dans certains cas pathologiques, l'écoulement devient turbulent :

- Anémie : pourcentage de globules rouges dans le sang diminue  $\Rightarrow \eta$  diminue et  $V_c$  diminue
- Sténose vasculaire : le diamètre des vaisseaux se rétrécit. On a  $D = S \times V \Rightarrow$  Si  $S$  diminue,  $V$  augmente (car  $D$  cte)
- En systole : fuite dans la valve mitrale (valve atrio-ventriculaire gauche) ou rétrécissement de la valve aortique
- En diastole : Rétrécissement de la valve mitrale ou fuite dans la valve aortique

-> Tous cela, provoque une augmentation de la vitesse d'écoulement qui peut devenir  $> V_c$

-> Le sang a une viscosité  $\eta = 4 \times 10^{-3}$  poiseuille, cette viscosité peut varier, elle augmente s'il y a :

- Diminution de la vitesse
- Augmentation de l'hématocrite (pourcentage des globules rouges dans le sang)
- Augmentation de la concentration des macromolécules dans le sang
- Augmentation du calibre des vaisseaux
- Diminution de la température



-> Le sang est un fluide non newtonien et anormalement visqueux

-> La pression moyenne dans :

- Ventricule gauche : 120 – 130 mmHg
- Aorte : 100 mmHg
- Artère : 40 mmHg
- Capillaires : 25 mmHg
- Veine cave : 2 - 4 mmHg

-> La résistance d'un vaisseau :  $R_i = \frac{8\eta l}{\pi R^4}$

-> La résistance d'un vaisseau dépend :

- Calibre du vaisseau : r diminue =>  $R$  augmente
- Longueur du vaisseau : L augmente => + de frictions =>  $R$  augmente
- Viscosité du liquide :  $\eta$  augmente =>  $R$  augmente

-> Si on a des canalisations en parallèle, on additionne les  $\frac{1}{R_g}$

- Pour n canalisations parallèle :  $\frac{1}{R_g} = \sum \frac{1}{R_i}$
- Résistance globale d'un secteur :  $R_g = \frac{R_i}{n}$

-> Il y a diminution progressive de la pression

-> Il y a perte de charge au niveau d'un secteur :  $\Delta p = R_g \times D$

#### -> Exemple :

-> Données :

- r d'une artère = 0,05 cm =  $5 \times 10^{-4}$  m
- L d'une artère = 0,09 m
- n (nombre canalisations) = 600
- D =  $8,3 \times 10^{-5}$  m<sup>3</sup>/s
- $\eta = 4 \times 10^{-3}$

-> Application :

- $R_i = \frac{8 \times 4 \cdot 10^{-3} \times 0,09}{3,14 \times (5 \times 10^{-4})^4} = 0,146 \times 10^{11}$
- $R_g = \frac{R_i}{n} = \frac{0,146 \times 10^{11}}{600} = 2,44 \times 10^7$
- $\Delta p = R_g \times D = 2,44 \times 10^7 \times 8,3 \times 10^{-5} = 20,25 \times 10^2$  Pa

#### C) Pression artérielle :

-> C'est la pression du sang dans les artères de la grande circulation

-> On utilise le sphygmomanomètre qui exerce une pression sur l'artère humérale, puis on dégonfle progressivement

- L'apparition d'un bruit témoigne de => la pression systolique
- En continuant de dégonfler, le bruit augmente puis s'estampe => c'est la pression diastolique

-> En station debout, la pression artérielle varie en fonction de la hauteur

-> En station allongé, la pression artérielle est  $\approx$  la même en tous points, car tous les points étant à la même hauteur

-> En utilisant le théorème de Bernoulli, on arrive à calculer la pression artérielle en plusieurs points

-> Exemple : (le cœur est pris comme référence)

- La pression artérielle au niveau de la tête = 7,85 KPa
- La pression artérielle au niveau des pieds = 26,39 KPa

-> La pression artérielle doit toujours être mesurée à la hauteur du cœur en position allongée