

## Projet : Modélisation du flux sanguin

### *Fonctionnement du système circulatoire*

Il existe quatre types de vaisseaux sanguins dans le corps humain : les artères, les artérioles, les capillaires et les veines. Les premières apportent le sang depuis le cœur au reste du corps afin que les artérioles puissent approvisionner les muscles, tissus et organes en nutriments. Les capillaires font la jonction avec les veines qui ramènent le sang de ces parties au cœur.

De par la nature et les fonctions uniques de ces vaisseaux, **le principe de la circulation du sang est différent pour chacune d'elles.**

Le flux sanguin est assuré dans les artères par l'activité cardiaque. Ce dernier s'effectue en quatre phases au cours desquelles les ventricules du cœur changent de volume et permettent une éjection effective du sang qu'ils contiennent. Dans les artères de la circulation systémique, c'est la **pression sanguine** qui permet de faire circuler le sang vers les autres parties du corps. Elle reste **constante** pendant toute l'activité cardiaque. Pour le cas des veines, la pression est faible et à peine suffisante pour que les contractions musculaires et les valvules présentes dans ces vaisseaux rapportent le sang vers le cœur.

### *Circulation pulmonaire et circulation systémique*

En plus des différences au niveau du flux sanguin dans les divers vaisseaux existants, il faut aussi distinguer la circulation pulmonaire de la circulation systémique. En effet, la composante principale à apporter aux autres parties du corps humain est le dioxygène. La première circulation est un cycle court entre le cœur et les poumons afin de réapprovisionner le sang. L'autre circulation envoie celui-ci au reste du corps.

De ce fait, **les caractéristiques des vaisseaux sanguins dans ces deux systèmes sont aussi différentes.**

Le tableau suivant donne les caractéristiques moyennes de la **circulation systémique** recueillies sur diverses sources d'information avec un débit cardiaque moyen de 5L/min (repos systémique) et une viscosité de 0.006PA.s. **(Calculs à revérifier en détail)**

Vaisseaux	Diamètre (mm)	Longueur (cm)	Pression (mm/Hg)	Résistance	Vitesse (cm/s)
Aorte, grosses artères	~ 10	~ 40	~ 100	Faible	~ 40
Petites artères	~ 3	~ 20	~ 70	Faible	10 – 40
Artérioles	~ 0.02	~ 0.2	~ 35	Élevée	0.1 – 10
Capillaires	~ 0.008	~ 0.1	~ 21	Élevée	< 0.1
Veinules	~ 0.03	~ 0.2	~ 11	Élevée	< 0.3
Veines	~ 2 – 6	~ 5 – 20	~ 7	Faible	0.3 – 5
Veine Cave	~ 12.5	~ 40	~ 3	Faible	5 - 20

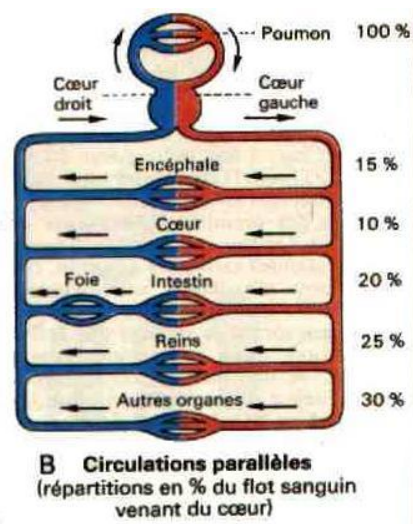


Figure 1 : Répartition du sang dans le système circulatoire

### Paramètres influençant le flux dans les vaisseaux sanguins

#### Diamètre et épaisseur du vaisseau sanguin et viscosité du sang

Comme pour tout fluide parcourant un tube, le sang circulera plus ou moins rapidement en fonction de l'espace dans lequel il évolue. Plus la surface de section disponible est élevée, plus la vitesse maximale possible augmente, la résistance à l'écoulement étant moins importante. De même, une paroi plus épaisse induit une résistance plus forte et donc un écoulement plus lent.

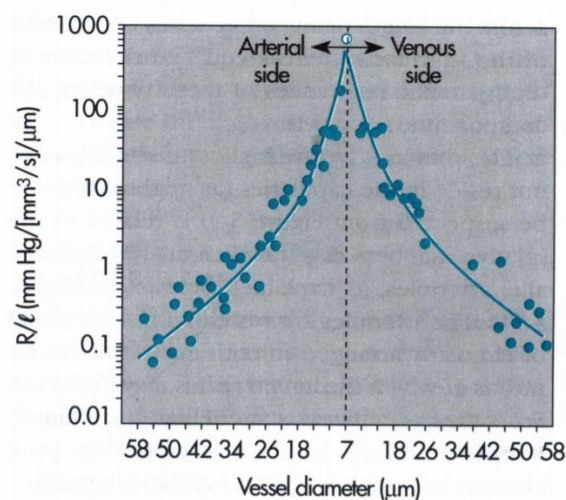


Figure 2: Résistance en fonction du diamètre

La viscosité du sang influe sur la résistance vasculaire dans la circulation systémique et donc directement sur le débit sanguin. Plusieurs modèles peuvent le caractériser dont le principe d'écoulement de Poiseuille présenté ci-dessous.

Calcul de la RV en écoulement laminaire :

$$R = \frac{P_i - P_o}{\dot{Q}} = \frac{8\eta l}{\pi r^4}$$

Figure 3 : Loi d'écoulement de Poiseuille

L'écoulement laminaire est défini par une résistance faible. La vitesse de chaque particule de sang est homogène et basse. À l'inverse, lorsque la résistance est élevée, on passe en écoulement turbulent et la vitesse de chaque particule devient hétérogène et forte.

La viscosité est une propriété variable chez l'humain et peut dépendre de plusieurs paramètres : hématocrite (rapport du volume des globules rouges sur le volume sanguin total), structure des globules rouges, ...

Ces deux régimes d'écoulement peuvent aussi être interprétés d'une autre manière via le nombre de Womersley.

$$Wo = R \sqrt{\frac{\rho \omega}{\mu}}$$

$R$ = diamètre artériel $\rho$ = densité sanguine ( $\approx 1.08 \text{ g/mL}$ ) $\mu$ = viscosité sanguine ( $\approx 3.5 \text{ cP}$ ) $\omega$ = pulsation ( $= 2\pi / f$ ) (radians/s)
--

Figure 4 : Calcul du nombre de Womersley

Ce dernier permet de dresser des profils de vitesse et indique si les forces d'inertie prépondèrent sur les forces de frottements liés à la viscosité du fluide. C'est le cas notamment des artères et des veines de diamètre assez grand mais l'inverse pour les artérioles, capillaires et veinules qui sont eux très fins.

De plus, l'existence de forces de frottements implique qu'au sein même d'un vaisseau sanguin, la vitesse du flux n'est jamais homogène. Les profils sont paraboliques, montrant que le fluide s'écoule plus rapidement au centre des tubes et presque nullement sur les parois.

### Pression artérielle

La pression artérielle dépend directement de la nature des vaisseaux sanguins, de la phase de l'activité cardiaque (systole, diastole, ...), de l'âge de l'individu, etc.

Les veines subissent une pression très faible, le sang y circulant les parcourt grâce à un autre procédé physiologique utilisant la contraction musculaire pour pousser le fluide et des valvules pour les empêcher le reflux. C'est le retour veineux.

### *Difficultés pour la simulation et solution proposées*

Retour veineux → ?

Existence de plusieurs types d'écoulement et donc de modèles → Écoulement laminaire dans les gros vaisseaux sanguins, concevoir/trouver un modèle simple pour modéliser l'écoulement turbulent.

Profils de vitesse parabolique → Approximer en considérant une vitesse homogène et maximale.

Disparité des données → On considère un être humain de taille et de poids moyens au repos pour utiliser les données moyennes.

## **Liens utiles :**

Modèles du système circulatoire avec noms des principales artères et veines.

[http://www.lecorpshumain.fr/wp-content/uploads/2012/01/circulation\\_sang\\_1.jpg](http://www.lecorpshumain.fr/wp-content/uploads/2012/01/circulation_sang_1.jpg)

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/Circulatory\\_System\\_en.svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/2/29/Circulatory_System_en.svg)

[http://biowiki.mbolduc1.profweb.ca/index.php/La\\_circulation\\_sanguine#Variation du d.C3.](http://biowiki.mbolduc1.profweb.ca/index.php/La_circulation_sanguine#Variation_du_d.C3)

[A9bit\\_sanguin\\_dans\\_les\\_lits\\_capillaires](#)

Fonctionnement du système circulatoire et données/caractéristiques :

<http://umvf.omsk->

[osma.ru/premannee/PEPIN Jean Louis/PEPIN Jean Louis P02/PEPIN Jean Louis P02.pdf](osma.ru/premannee/PEPIN_Jean_Louis/PEPIN_Jean_Louis_P02/PEPIN_Jean_Louis_P02.pdf)

<http://pro.bel.pagesperso-orange.fr/TPE/Productions/G9/ligne1.HTM>

<http://www.ifits.fr/IMG/pdf/Physiologie061010-3.pdf>

<http://coproweb.free.fr/pagphy/physioan/ch2s3.htm>

Méthodes de calculs de la vitesse et du débit sanguin.

<http://www.biomecardio.com/pageshtm/download/lecture/GBM6107-chp8.pdf>

[http://biowiki.mbolduc1.profweb.ca/index.php/Le\\_coeur\\_la\\_fr%C3%A9quence\\_cardiaque\\_e  
t\\_le\\_d%C3%A9bit\\_cardiaque](http://biowiki.mbolduc1.profweb.ca/index.php/Le_coeur_la_fr%C3%A9quence_cardiaque_et_le_d%C3%A9bit_cardiaque)

Écoulement de Poiseuille (fluides visqueux).

[https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89coulement\\_de\\_Poiseuille](https://fr.wikipedia.org/wiki/%C3%89coulement_de_Poiseuille)

[http://fms2.cerimes.fr/vod/media/canalu/documents/tele2sciences/.coulement.de.poiseuille.d.u  
n.fluide.visqueux\\_18169/accessibilite.poiseuille.pdf](http://fms2.cerimes.fr/vod/media/canalu/documents/tele2sciences/.coulement.de.poiseuille.d.un.fluide.visqueux_18169/accessibilite.poiseuille.pdf)

Quelques données de référence.

Viscosité des fluides : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Viscosit%C3%A9>

Vitesses moyennes de flux sanguins dans le corps :

<https://fr.answers.yahoo.com/question/index?qid=20080328044259AAc5gLG>