

BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION 1

FICHE
TUT'
RENTREE

Système Cardio-Vasculaire = Ensemble moteur de pompes

- ❖ Constitué du **CŒUR** (Pompe) + **VAISSEAUX** (Circulation)

Le **système circulatoire** est organisé de manière à favoriser les **échanges de nutriments** au niveau des organes périphériques dans les **capillaires viscéraux** grâce à :

- ❖ **GRANDE SURFACE D'ÉCHANGE + VITESSE CIRCULATOIRE LENTE**

I) BASE DE LA BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION

FLUIDE = Milieu matériel déformable **sans forme propre** et **qui s'écoule +++**

- ❖ 2 milieux fluides :

MILIEU GAZEUX	MILIEU LIQUIDE
$E_{cinétique} \gg E_{liaison}$ <i>L'agitation thermique domine</i>	$E_{cinétique} \approx E_{liaison}$
Molécules à distances variables	Molécules liées entre elles et à distances restreintes
COMPRESSIBLE	SUPPOSÉ INCOMPRESSIBLE

- ❖ 2 types de fluides +++

FLUIDE PARFAIT IDÉAL	PAS DE FROTTEMENTS (On ne prend pas en compte la <u>viscosité</u>)
FLUIDE RÉEL	FROTTEMENTS (La <u>viscosité</u> joue un rôle important++)

- ❖ 2 types de situations +++

<u>MECANIQUE STATIQUE</u>	<u>MECANIQUE DYNAMIQUE</u>
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fluide IMMOBILE ▪ Caractérisé par une PRESSION ▪ MÊME COMPORTEMENT Idéal/Réel 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fluide en MOUVEMENT ▪ Caractérisé par un DÉBIT ▪ DIFFÉRENT COMPORTEMENT Idéal/Réel

II) STATIQUE D'UN FLUIDE

A) NOTION DE PRESSION STATIQUE D'UN FLUIDE

PRESSION STATIQUE P = Poids de la colonne de fluide

<u>PRESSION RELATIVE</u>	<u>PRESSION ABSOLUE</u>
Effet de la <u>colonne de liquide uniquement</u>	Effet de la <u>colonne de liquide + la colonne atmosphérique</u>
$\Delta P = \rho gh$	$P_{\text{absolue}} = P_{\text{relative}} + P_{\text{atmosphérique}}$

L'unité de Pression SI est le **Pascal** ++ : $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$

Le Pascal est une **unité faible**, ce qui explique qu'on a souvent recours à des multiples :

$$1 \text{ hPa} = 100 \text{ Pa} // \text{Pression atmosphérique} = 1013 \text{ hPa}$$

Il existe comme autre unité **le bar** :

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} // 1 \text{ milli bar} = 1 \text{ hPa}$$

Les autres unités en physiologie sont liées à l'utilisation de **manomètres à colonnes de liquides** : le millimètre de mercure (**mmHg**) ou le centimètre d'eau (**cmH₂O**).

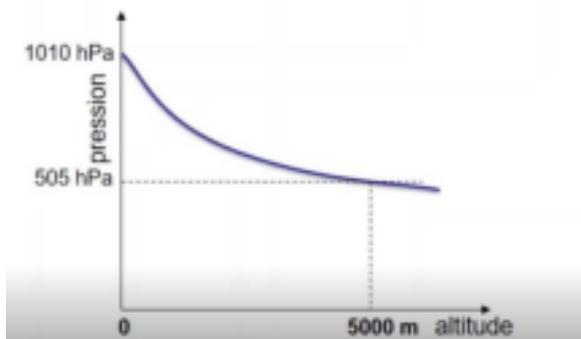
B) LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE

P_{atm} = Poids de la colonne d'air atmosphérique, *l'air étant un fluide il peut exercer une pression*. On la mesure grâce à l'expérience de Toricelli.

$$P_{\text{atm}} = \rho gh = 1013 \text{ hPa}$$

Bonus : Il y a une unité de mesure de la pression qui s'appelle l'atm, ça correspond 1013 hPa donc une atmosphère.

Variation avec l'altitude :



Plus l'altitude augmente, plus la pression atmosphérique diminue.

Logique car la colonne d'air atmosphérique devient plus petite quand on prend de l'altitude.

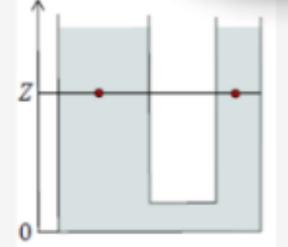
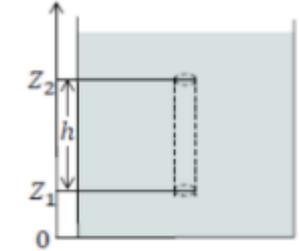
A **5000m**, la pression atmosphérique a diminué de moitié.

C) PRINCIPES ET LOIS DE PASCAL → FLUIDE STATIQUE +++

Les lois de Pascal rendent compte des variations de pression en fonction de l'altitude.

Principe : Dans un liquide **immobile incompressible** une variation de pression se transmet **intégralement et dans toutes les directions**. ++

Ce principe donne lieu à **3 lois** :

<p>1ère Loi</p>	<p>La pression est la même dans toutes les directions → indépendante de l'orientation du capteur.</p>	
<p>2e Loi</p>	<p>La pression est la même en tout point de même profondeur.</p>	
<p>3e Loi</p>	<p>La différence de Pression dP entre 2 points est proportionnelle à la différence de hauteur entre ces 2 points</p> $\Delta P = P_{z1} - P_{z2} = \rho g h = -\rho g \Delta z$ <p><i>Retenez principalement que la pression est fonction de l'altitude, plus h augmente, plus P augmente.</i></p>	 <p>Δz : différence de hauteur entre les 2 points.</p> <p><i>Faites bien la différence entre z et h.</i></p>

CONCLUSION STATIQUE DES FLUIDES

- ❖ Paramètre essentiel = **Pression** ++
- ❖ Pression liée au **pois de la colonne de liquide**
- ❖ Indépendante de l'orientation du capteur

III) DYNAMIQUE D'UN FLUIDE IDÉAL

A) NOTION DE DÉBIT

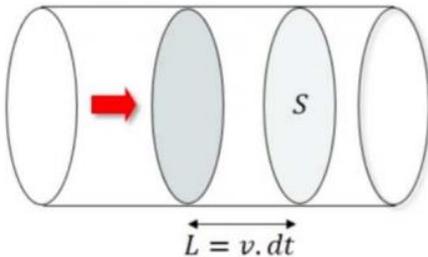
Débit = Volume de fluide traversant une section S par **unité de temps ++**
Retenez bien cette définition vous l'entendrez assez dans le cours sur les compartiments

$$Q = \frac{V}{dt}$$

Avec V le volume en m^3
 dt la durée en s
 Et Q le débit en m^3/s

Il y a une **relation** entre le débit et la vitesse d'écoulement

⚠ $v = \text{vitesse} // V = \text{volume}$



On a : +++

$$Q = S \cdot v = \text{Section} \times \text{Vitesse}$$

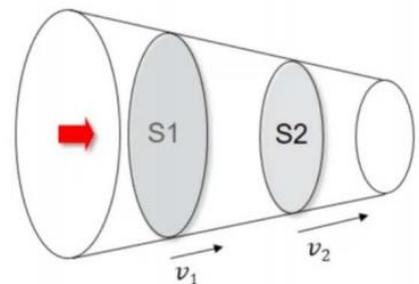
Je vous mettrai comment on retrouve ça dans la fiche complète mais retenez vraiment juste ça

Retenir que $S = \pi r^2 = (\pi \cdot d^2) / 4$

B) PRINCIPE DE CONTINUITÉ DU DÉBIT

On pose 3 hypothèses :

- ❖ Le fluide est **incompressible** → ρ est constante
- ❖ On est en **régime stationnaire** → La **vitesse** en un point est **constante**
- ❖ La **section** est **variable**



Dans ce cas précis, on a une conservation de la masse qui, avec l'incompressibilité, donne un **débit constant en tout point** : +++

$$Q_1 = Q_2 = Q$$

$$S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{constant} = Q$$

C'est très important pour les exos ça, c'est ++

Avec ces conditions, on a donc un **débit constant** tout le long du constant. On en déduit que plus la **section** est **faible**, plus la **vitesse** est **élevée** pour maintenir le **débit constant**.

C) ÉQUATION DE BERNOULLI

L'équation de **Bernoulli** permet de modéliser l'écoulement d'un **fluide IDÉAL ++**

Hypothèses :

- ❖ **Incompressibilité** → ρ constante
- ❖ **Fluide idéal/parfait** → pas de frottement, viscosité nulle

/!\ ATTENTION :Bernoulli s'applique à un fluide idéal donc on ne parle pas d'écoulement laminaire ou turbulent !

Un fluide idéal s'écoule sous l'effet de 3 types d'énergies :

- ✓ **E1 de pesanteur** (liée à la hauteur)
- ✓ **E2 cinétique** (liée à la vitesse v)
- ✓ **E3 pression statique** (Comme la pression est une énergie sur un volume, on a $E3 = \text{Pression} \times \text{Volume}$)

La **somme** de ces trois énergies nous donne **l'équation de Bernoulli** : ++

$$E_t = E_1 + E_2 + E_3 = mgh + \frac{1}{2}mv^2 + PV = \text{constante}$$

Cette énergie est constante mais il peut y avoir des **redistributions**.

Réécriture en termes de **Pressions** : +++

$$P_t = \frac{E_t}{V} = \frac{mgh}{V} + \frac{1/2 mv^2}{V} + P = \text{constante}$$

$$P_t = \rho gh + 1/2 \rho v^2 + P = \text{constante}$$

ρgh = pression de pesanteur

$1/2 \rho v^2$ = pression cinétique

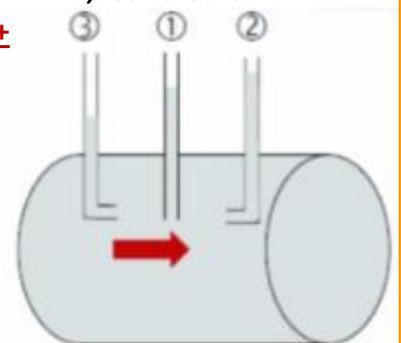
P = pression statique

Une pression est une énergie par volume ++ On donc divisé l'équation par le volume pour trouver les pressions

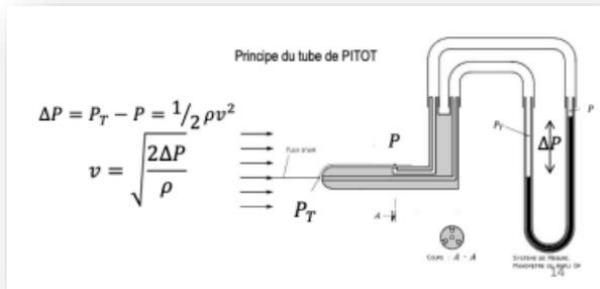
D) MESURE DES PRESSIONS

/! Contrairement aux fluides **STATIQUES**, dans un fluide **EN ÉCOULEMENT**, les valeurs mesurées **dépendent de l'orientation du capteur++**

- Il existe 3 types de mesures (≠ des 3 types de pressions) : ++++
- (1) Capteur **parallèle** au courant -> Pression **latérale** ou **statique** P
- (2) Capteur **face** au courant -> Pression « **terminale** » : $P_T = P + 1/2\rho v^2$
- (3) Capteur **dos** au courant -> Pression « **d'aval** » : $P_A = P - 1/2\rho v^2$



Petit Mémo des familles : La terminale ça passe vite (Du coup la pression terminale c'est celle qui se prend la vitesse en pleine tête)



Le tube de Pitot permet de mesurer la vitesse en aéronautique, il est constitué d'un capteur qui fait face au vent et d'un autre latéral. Il permet de mesurer la vitesse

E) CAS PARTICULIER D'UN ÉCOULEMENT HORIZONTAL : FLUIDE IDÉAL ++

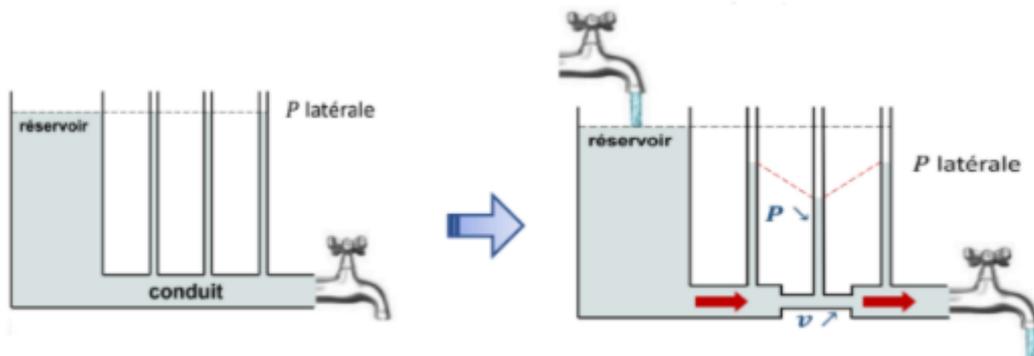
La pression totale se répartit entre la pression latérale et la pression cinétique car la pression de pesanteur reste **constante** (même altitude).

$$P_t = \rho gh + 1/2 \rho v^2 + P = \text{Constante}$$

$$1/2 \rho v^2 + P = \text{Constante}$$

$$\text{D'où } P = \text{constante} - 1/2 \rho v^2$$

Si la section diminue, conformément à **la continuité du débit** ($Q=Sv$), la vitesse augmente → D'où d'après l'équation de Bernoulli → La **pression cinétique augmente** et la **pression latérale diminue**.



Une diminution de la section entraîne une baisse locale de La Pression Latérale au niveau du rétrécissement → c'est

L'EFFET VENTURI++

Application médicale :
 En cas de **sténose vasculaire**, la **vitesse ↗** mais la **pression latérale ↘** et peut devenir tellement faible que cela peut provoquer une **obstruction par spasme**.

CONCLUSION DYNAMIQUES D'UN FLUIDE IDÉAL

❖ Deux règles pour l'écoulement d'un fluide idéal dans un conduit :

- La **constance du débit** ($Q = S_1v_1 = S_2v_2 = \text{constante}$)
- La **constance de la somme des pressions** (équation de Bernoulli)

IV) DYNAMIQUE D'UN FLUIDE RÉEL

A) LA PERTE DE CHARGE

La **viscosité** qui correspond à des **frottements** (entre les molécules de fluide) consomme de l'énergie libérée sous forme de **chaleur**, il y a donc une **perte d'« énergie »** qu'il faut compter dans l'équation de Bernoulli.

++ L'ÉQUATION DE BERNOULLI N'EST PLUS VERIFIÉE ++

$$P_T = \rho gh + \frac{1}{2}\rho v^2 + P + \text{CHALEUR} = \text{CONSTANTE}$$

B) LA VISCOSITÉ



Deux lames de fluides circulent parallèlement à des vitesses différentes. La force de frottement est exprimée par :

$$F = \eta S \frac{dv}{dx}$$

S = Surface commune aux 2 lames

dv/dx = gradient de vitesse (« taux de cisaillement »)

η = **viscosité** (constante caractéristique du liquide en PI = Poiseuille = Pa. s)

Ne vous prenez pas trop la tête avec ça, cette formule sert principalement à introduire le taux de cisaillement et la viscosité

On distingue deux catégories de fluides : +++

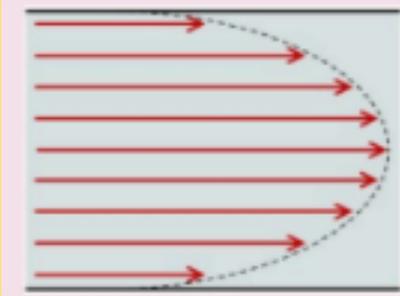
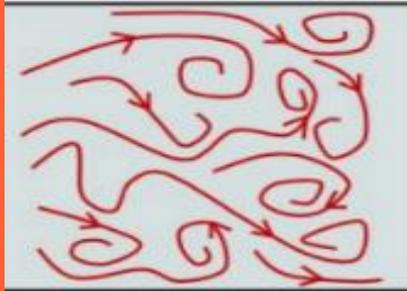
❖ **NEWTONIENS** : η est une **constante caractéristique du liquide** qui varie seulement avec la **température** ($T^\circ C \nearrow \rightarrow \eta \searrow$)

❖ **NON NEWTONIENS** : η varie avec la **température** mais aussi avec le **taux de cisaillement** ($\frac{dv}{dx} \nearrow \rightarrow \eta \searrow$) $\rightarrow \eta$ *n'étant plus une constante on parle de viscosité apparente (ex : sang)*

C) RÉGIMES D'ÉCOULEMENT D'UN FLUIDE RÉEL

Contrairement à un fluide idéal, la **viscosité** des fluides réels fait que les molécules se déplacent à **des vitesses différentes** en fonction **des frottements** qu'elles vont subir (interactions entre elles et la paroi)

On décrit 2 régimes d'écoulement possibles : ++++

ÉCOULEMENT LAMINAIRE	ÉCOULEMENT TURBULENT
<ul style="list-style-type: none"> ❖ La vitesse d'écoulement est faible ❖ La viscosité devient un facteur de cohérence ❖ Une couche infiniment mince au contact de la paroi ne se déplace pas ❖ Les lignes de courant ne se croisent pas, la vitesse est maximale au centre ❖ Profil parabolique des vitesses 	<ul style="list-style-type: none"> ❖ La vitesse d'écoulement est moyenne ou élevée ❖ La viscosité n'est plus un facteur de cohérence ❖ Les trajectoires sont désordonnées et tourbillonnent ❖ Pas de distribution systématisée des vitesses
	

D) FRONTIÈRE ENTRE LES DEUX RÉGIMES D'ÉCOULEMENT

Dépend de 4 paramètres simultanément :

- ✓ La **vitesse** moyenne d'écoulement v
 - ✓ Le **diamètre** du conduit d
 - ✓ La **masse volumique** du liquide ρ
 - ✓ La **viscosité** η
- } si \nearrow = risque de turbulence \nearrow
- si \nearrow = risque de turbulence \searrow

On définit le **nombre de Reynolds** : ++

$$Re = \frac{\rho dv}{\eta}$$

Le nombre de Reynolds, nombre empirique sans unités, sert à définir le **seuil entre les régimes d'écoulement laminaire et turbulent**. ++

- ❖ Si $Re \leq 2000$: Le régime d'écoulement est **laminaire**
- ❖ Si $Re > 10\ 000$: Le régime d'écoulement est **turbulent**
- ❖ **Entre les 2** : le régime d'écoulement est **instable** on ne peut rien conclure

Cela nous permet d'aboutir à la notion de **vitesse critique** :

$$v = \frac{2000\eta}{\rho d}$$

C'est la vitesse au-delà de laquelle le régime laminaire n'est **plus garantie**

E) LOI DE POISEUILLE

Vous verrez la version complète dans biophy circu 2 donc poncez bien cette formule qui est la base +++++

Dans un conduit **horizontal** cylindrique en **écoulement laminaire** : la **pression de pesanteur** est **constante** et la **section** est **constante** donc la **vitesse constante**

→ C'est P (= la pression latérale) qui compense la perte de charge

+++++

$$\Delta P = Q \times R \text{ avec } R = \frac{8\eta L}{\pi r^4} \text{ donc } \Delta P = Q \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$

Q = Débit

L = distance

η = viscosité

r = rayon du conduit

On passe aux à mes premières dédis de tuteurs (l'émotion est là) :

- *Dédi à notre team de co-tut incroyable, on va pas mentir*
- *Dédi à nos vieux qui nous vendent du rêve*
- *Dédi aux CT qui font un boulot de malade*
- *Dédi à la P2B, cette équipe de génie*
- *Dédi à Renaud qui m'a appelé tous les jours de Paces pour être sûr que je faisais pas de burn out*
- *Dédi à vous, qui allez rouler sur ce concours (et bien travailler la BioPhysio <3)*

