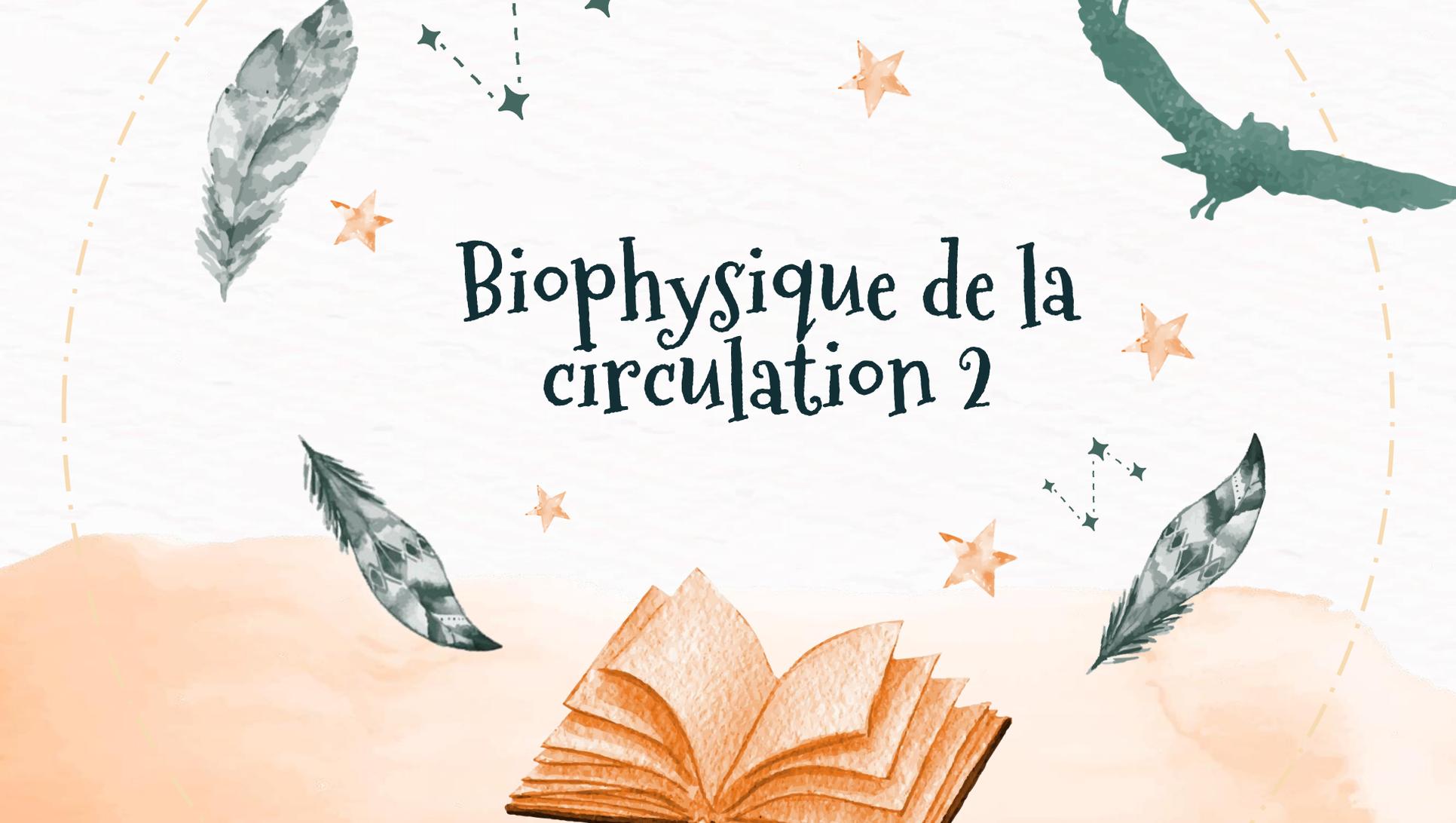


Biophysique de la circulation 2





I) PARTICULARITÉS LIÉES AU SANG

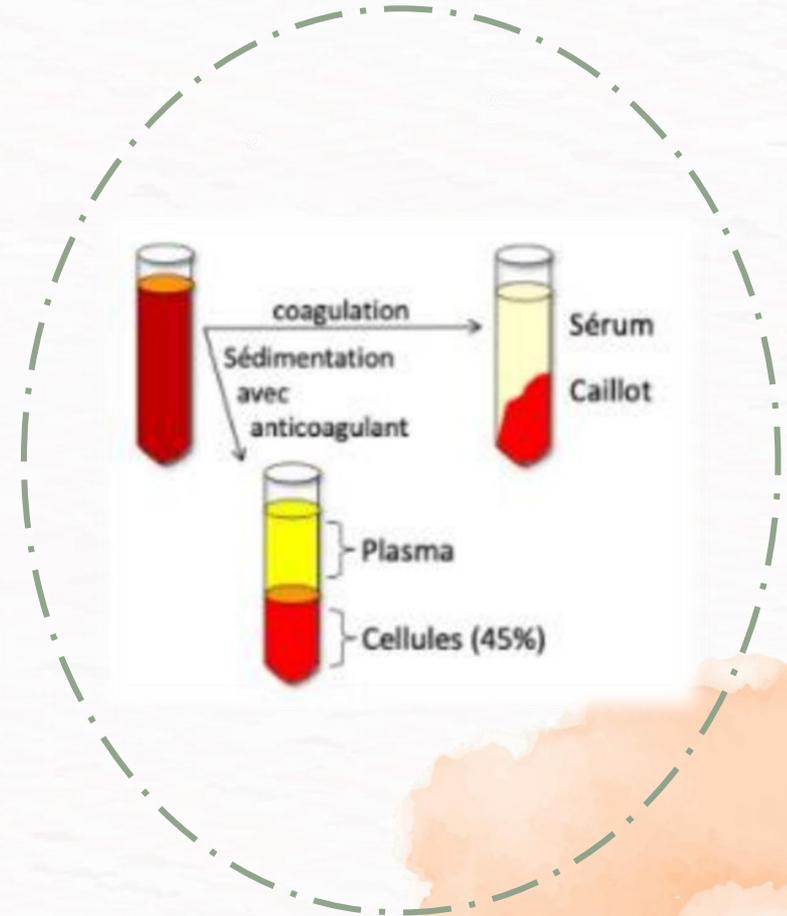
A) le sang au repos

Sang = PAS une solution vraie mais suspension de cellules dans le solvant macromoléculaire (le plasma)

Hématocrite = volume de cellules / volume total = 0,45

Le plasma → Fluide NEWTONIEN

Cellules sanguines (dont GR) → fluide NON-NEWTONIEN.



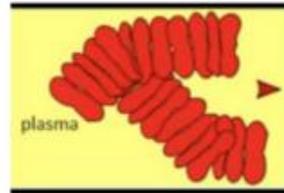
B) DESCRIPTION RHEOLOGIQUE DU SANG DANS LES GRANDS VAISSEAUX

Rhéologie : étude des déformations de la matière en écoulement

- La viscosité du sang est liée **aux interactions intercellulaires** → sang = **fluide non newtonien**
- η diminue lorsque dv/dx augmente = « **rhéofluidification** »

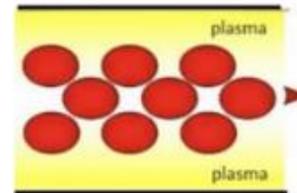
Débit faible

- les GB forment des rouleaux
- \nearrow de la viscosité



Débit élevé

- rhéofluidification: \searrow viscosité
- circulation axiale: GB et autres cellules au centre + manchon plasmatique autour



Patho: Polyglobulie primitive = Maladie de Vaquez

Viscosité inter-cellulaire augmentée

- Nombre de GR augmente → **augmentation de l'Hématocrite**
- **Thrombose** par hyperviscosité du sang

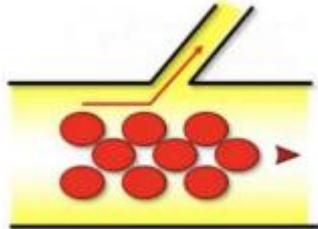


C) DESCRIPTION RHEOLOGIQUE DU SANG DANS LES PETITS VAISSEAUX

Artérioles

circulation axiale:

- **écrémage** → sang composé essentiellement de plasma
- **hématocrite plus faible**



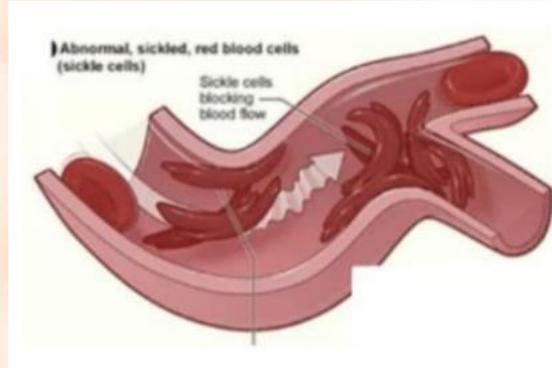
Capillaires < 8µm

- diamètre va être inférieur au diamètre du globule rouge → **déformation des GB**
- **viscosité intracellulaire** du globule rouge qui va définir la viscosité du fluide sanguin.



PATHO : Drépanocytose

- Viscosité intra-cellulaire augmentée
- Falciformation des GR
- Diminution de la déformabilité
- Thrombose capillaire





II) PARTICULARITÉS LIÉES A L'ANATOMIE



A) Rappels anatomiques



Deux circulations:

	P Artérielle moy kPa (mmHg)	% vol total ¹
Systémique	13 (98)	70
Pulmonaire	2,6 (20)	20

La circulation systémique a une **pression 5 fois supérieure** à la pulmonaire!

Trois secteurs:

	<i>Volume</i>	%	<i>mL</i>
○ Artériel		10	500
○ Capillaire		5	250
○ Veineux		55	2750

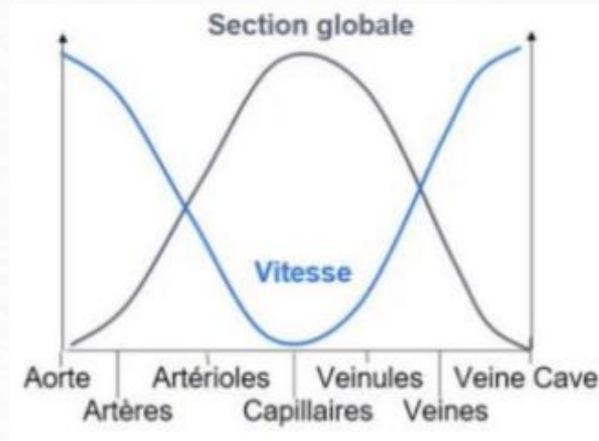
✓Veineux (Volume le + important, sert de réserve en cas d'hémorragie)



B) Section individuelle et globale

- Système vasculaire = ramifié et parallèle → baisse globale de la résistance
- Le débit est constant et la section variable → la vitesse varie en fonction de la section

LA VITESSE MINIMALE AU NIVEAU DES CAPILLAIRES PERMET DE MAXIMISER LES ECHANGES ++

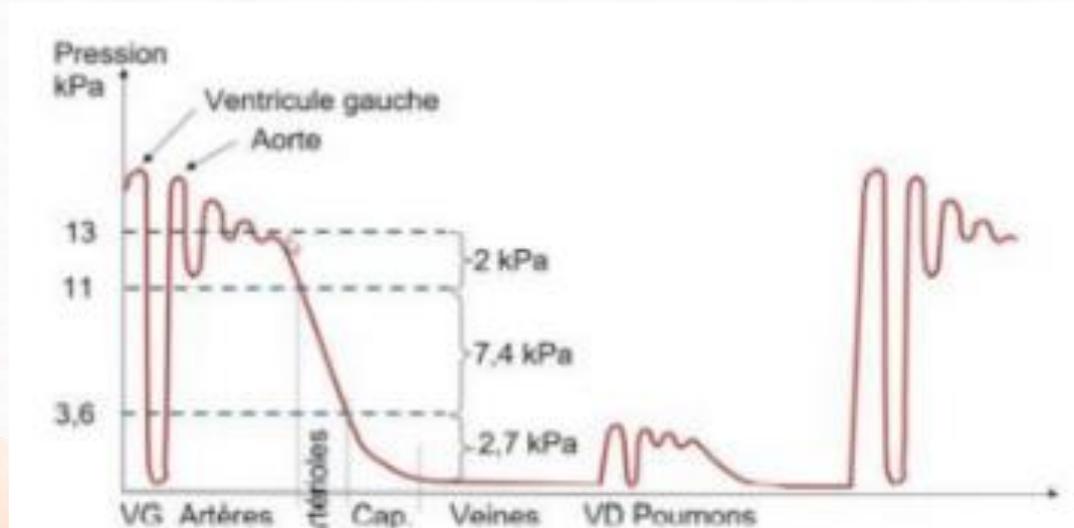


C) Conséquences sur les variations de pression



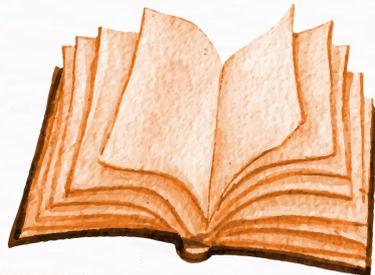
loi de Poiseuille :

$$\Delta P = Q * R = Q * \frac{8\eta L}{\pi r^4}$$





III) CONSTITUTION DES PAROIS DES VAISSEAUX ET COMPORTEMENT DES VAISSEAUX ELASTIQUES



A) Constitution des parois des vaisseaux

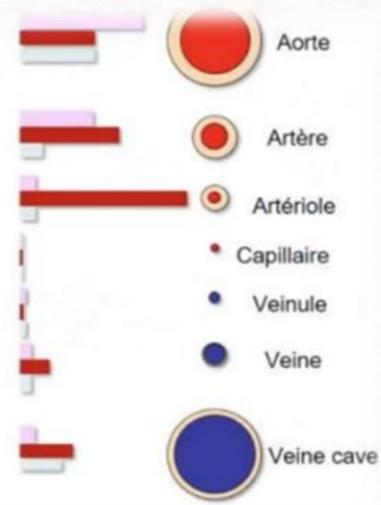
3 types de fibres:

✓ **Fibres élastiques** → très élastiques => **AORTE++**

✓ **Fibres de collagènes** → peu élastiques

✓ **Fibres musculaires** → modulent la tension et l'élasticité par le tonus musculaire => **ARTÉRIOLES++**

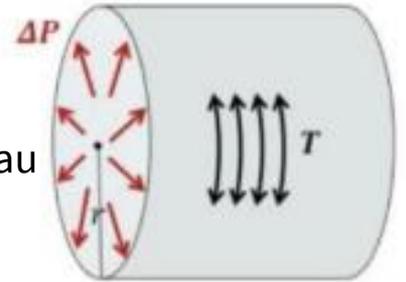
Fibres
Élastiques
Musculaires
Collagènes



B) Les forces en jeu sur les parois élastiques

- D'un point de vue physique, 2 phénomènes s'appliquent sur les parois du vaisseau:

- ❖ Gradient de pression transmurale ΔP : **dilate** le vaisseau
- ❖ Propriétés élastiques des parois (Tension T) : **contracte** le vaisseau



- **2 lois** régissent la relation entre la tension pariétale T et le rayon du vaisseau r:

- ❖ **Loi de LAPLACE** → Relation **TENSION/PRESSION**
- ❖ **Loi de HOOKE** → Relation **TENSION/ELASTICITE**

★ 1) Loi de LAPLACE:

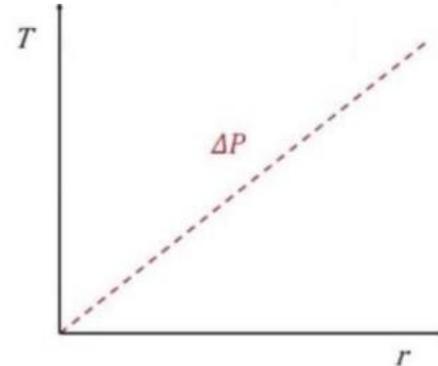
Lorsque la pression dans le vaisseau devient supérieure à la pression extérieure:

- Tendence à une dilatation du vaisseau (rayon ↗)
- Tension de la paroi augmente jusqu'à équilibrer ΔP

• Pour un vaisseau cylindrique :

$$\Delta P = \frac{T}{r} \rightarrow T = \Delta P * r$$

- **Relation linéaire** entre la tension et le rayon r et ce facteur de linéarité est ΔP . ++



2) Loi de Hooke

L'élasticité est la relation entre l'allongement d'un corps élastique et la force qui s'oppose à cet allongement.

$$F = \gamma S \frac{\Delta L}{L}$$

γ = module d'élasticité de Young
 S = surface de la section
 $\Delta L/L$ = allongement

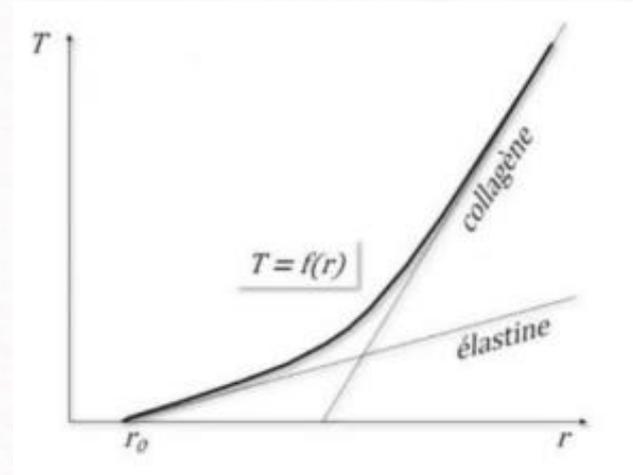
Nous cherchons à mesurer la **tension T** (=force par unité de longueur & énergie par unité de surface \neq de la pression):

$$L = \frac{F}{l} = \frac{\gamma S}{l} * \frac{\Delta L}{L} \text{ avec } \frac{S}{l} = e \text{ donc } T = \gamma e \frac{\Delta L}{L}$$

C) Les courbes tension-rayon caractéristiques pour les vaisseaux élastiques

- Fibres d'élastine + fibres de collagène.
- Système d'élasticité composite.

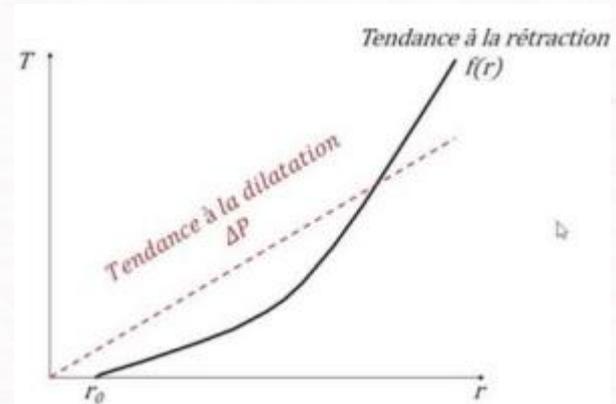
→ Relation tension/rayon complexe → courbe caractéristique de ce vaisseau :



Rayon d'équilibre :

La paroi s'oppose à la dilatation que va lui imposer la surpression qui est à l'intérieur → **tendance à la rétraction**.
Le deuxième élément qui va intervenir c'est **ΔP la différence de pression** → **tendance à la dilatation**.
UN SEUL couple tension/rayon permet d'équilibrer le ΔP imposé.

**C'est le point d'équilibre (rayon d'équilibre):
tension/rayon/pression**

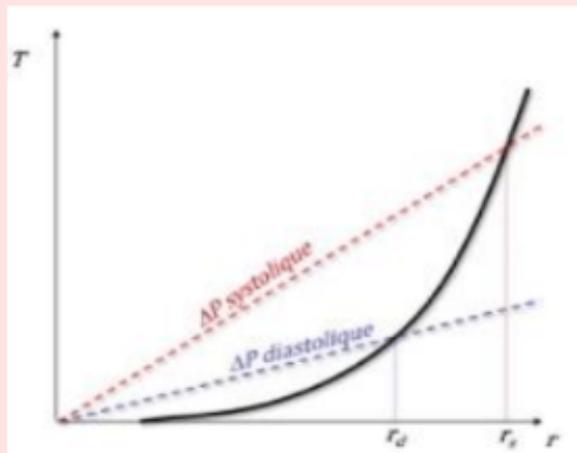


Évolution du rayon avec la pression transmurale LE POULS

Artères élastiques = pulsatiles, pression intérieure varie en fonction des contractions cardiaques

Variation de rayon = le pouls ++

La pression est élevée durant la systole et faible durant la diastole

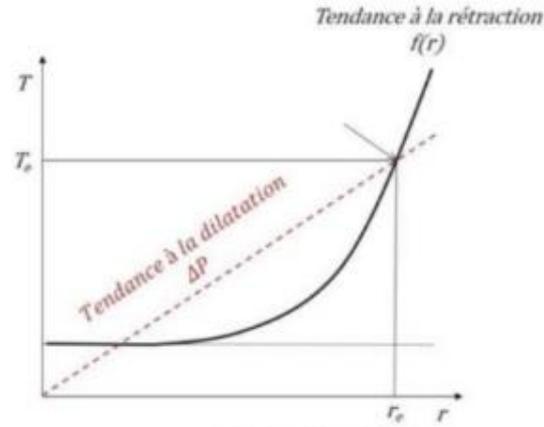
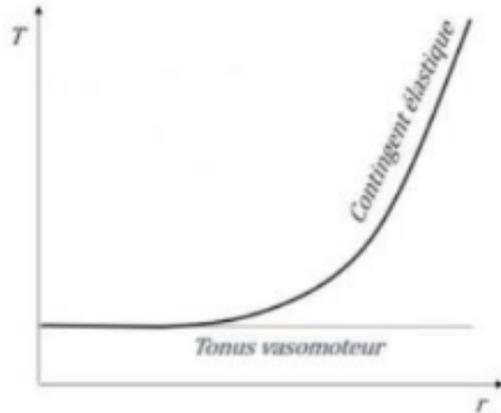


IV) COMPORTEMENT DES VAISSEAUX MUSCULO- ELASTIQUES ET APPLICATIONS

A) Courbes caractéristiques tension-rayon des vaisseaux musculo-élastiques

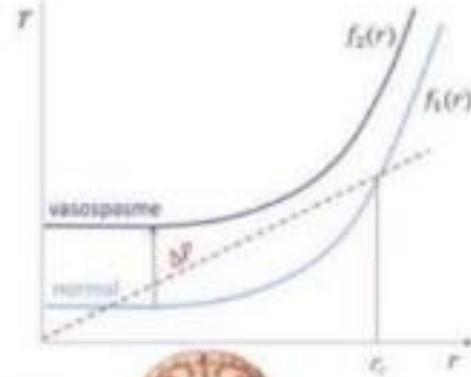
Tonus vasomoteur permet une régulation vasomotrice.

Le rayon d'équilibre se situe au niveau de l'intersection la plus à droite entre la droite de Laplace ΔP et la courbe caractéristique du vaisseau musculo-élastique.

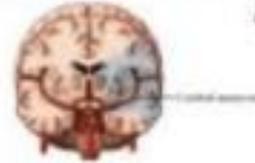


B) Applications physiopathologiques

En cas de rupture
• Saignement → vasospasme

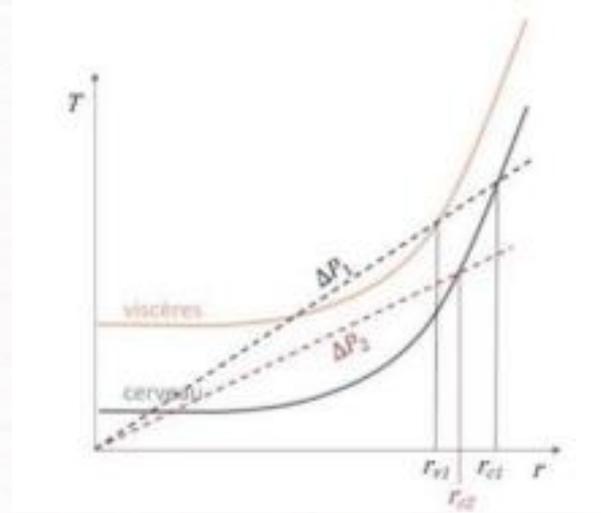


• Protection contre le saignement, mais ischémie régionale



La protection hiérarchisée contre les baisses de pression.

En cas de chute de la pression, les viscères vont d'abord être sacrifiés mais le cerveau va être protégé le plus longtemps possible.



Biophysique de la circulation 3





1) MESURE DES PRESSIONS



A) Mode de mesure et Unités



- Millimètre de mercure (mmHg) -> **Pression Artérielle (PA)**

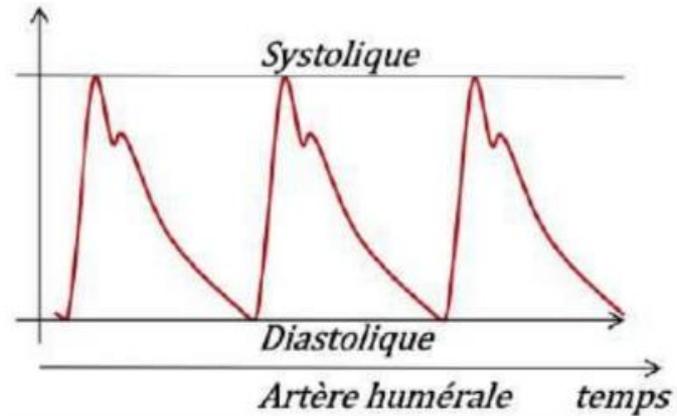
1 mmHg = 133 Pa

- Centimètre d'eau (cmH₂O) -> **Pression Veineuse Centrale (PVC)**

1 cmH₂O = 100 Pa

B) Pression Artérielle

La pression artérielle moyenne est égale à **98 mmHg soit 13 kPa++**
Elle évolue entre un **minimum diastolique** et un **maximum systolique**.



Conditions de Mesure :

Position debout :

On utilise l'équation de Bernoulli ++ en situation statique :

$$P_{\text{cinétique}} + P_{\text{pesanteur}} + P_{\text{latérale}} = \text{constante} (=13 \text{ kPa})$$

$$\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho gh + PA = 13 \text{ kPa}$$

$$PA_{\text{moyenne}} = 13 \text{ kPa} - \rho gh$$

$$\text{Ici, } \rho_{\text{sang}} = \rho_{\text{eau}} = 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$$

En gros:

$$h > 0 \Leftrightarrow PA < 13 \text{ kPa}$$

$$h < 0 \Leftrightarrow PA > 13 \text{ kPa}$$

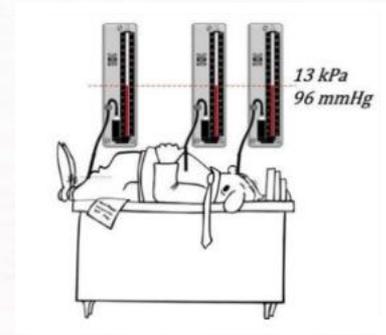
+++ La valeur de la PA dépend du niveau de la mesure +++



Conditions de Mesure :

Position assise :

Ici, la PA va être identique quel que soit le niveau du corps ++



$$\frac{1}{2} \rho \cdot v^2 + \rho gh + PA = \text{constante}$$

$$h=0 \text{ et } v=0$$

$$PA = 13 \text{ kPa} = 96 \text{ mmHg}$$

+++ La valeur de PA sera la même quel que soit le niveau de mesure +++

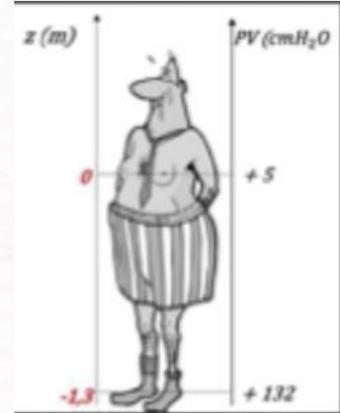


C) pression veineuse centrale PVC

On prend pour valeur de référence la pression veineuse au niveau du cœur **PVC(0)**. On prend $PVC(0) = 5 \text{ cmH}_2\text{O} = 500 \text{ Pa}$

Au niveau des pieds:

$$\begin{aligned} PV(1,3) &= PV(0) - \rho gh \\ &= 500 - (10^3 \cdot 9,8 \cdot (-1,3)) \\ &= 500 + 12\,740 = 13\,240 = \frac{13\,240}{100} = 132 \text{ cmH}_2\text{O} \end{aligned}$$





II) APPLICATIONS CLINIQUES EN SANTE



A) Auscultation Cardiovasculaire

$$Re = \frac{\rho d v}{\eta} > 10\,000$$

On sait qu'un **écoulement est dit turbulent si $Re > 10\,000$**

Le **diamètre** est un facteur de turbulence + lié à la **vitesse**: si d diminue, v augmente.

Si on considère le nombre de Reynolds: si d diminue, le risque de turbulence diminue aussi.

ATTENTION +++ Ceci ne s'applique que si le diamètre varie de manière isolée !!

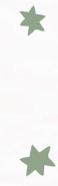
En pratique, **si d diminue, v augmente et le risque de turbulence aussi.**

A débit constant, $Q = Sv$; avec une section circulaire: $Q = \frac{\pi d^2 v}{4} \Rightarrow d \cdot v = \frac{4Q}{\pi d}$

$$Re = \frac{\rho \cdot d \cdot v}{\eta} = \frac{\rho \cdot 4Q}{\eta \cdot \pi \cdot d}$$



Causes LÉSIONNELLES	$d \downarrow$ ✓ Souffle <u>vasculaire</u> : sténose vasculaire ✓ Souffle <u>cardiaque</u> : sténose ou fuite valvulaire cardiaque
Causes FONCTIONNELLES	$Q \uparrow$ $\eta \downarrow$ ✓ Souffle <u>d'effort</u> ✓ Souffle lié à l'anémie (anémie: $n \downarrow$ et $Q \uparrow$)



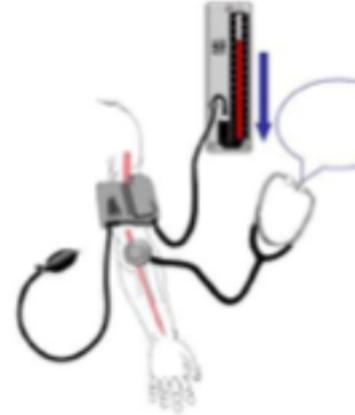
B) Mesure auscultatoire de la Pression Artérielle

1 - $P_{\text{brassard}} > PA_{\text{systole}}$: **aucun bruit**

⇒ On gonfle le brassard jusqu'à contrer la PA :
cela collabe l'artère

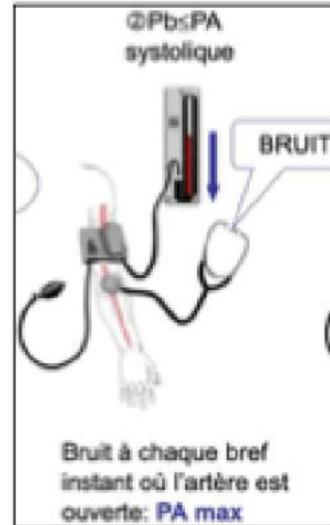
On n'entend rien car **le sang ne circule pas !**

⊖ $P_b > PA_{\text{systolique}}$



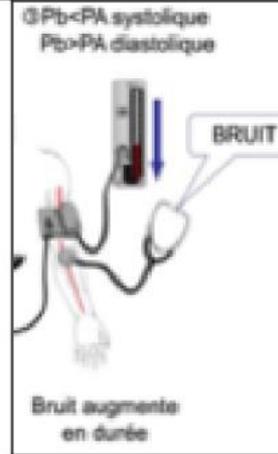
2 - $P_{\text{brassard}} \leq P_{\text{A systole}}$:
Bruit sec intermittent

- ⇒ Peu à peu on diminue la pression du brassard jusqu'à passer en dessous de la PA maximale = P_{systole}
- ⇒ Bruit bref audible à chaque moment où l'artère est perméable (ouverte) sous l'effet de la pression artérielle
 - ⇒ On entend un bruit dû à l'écoulement **turbulent en systole.**
 - ⇒ **Apparition du 1er bruit sec: c'est la PA maximale soit la PA systolique**



3 - $PA_{diastole} < Pb < PA_{systole}$:
Bruit qui s'allonge et qui persiste

- ⇒ On continue à diminuer la pression du brassard, on entend alors un **bruit qui augmente en durée et change de timbre**
- ⇒ **En systole, la circulation est redevenue laminaire, mais est turbulente en diastole**

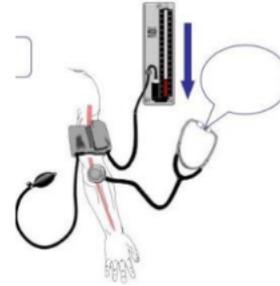


4 - $P_b < P_{A_{diastole}}$
Disparition de tout bruit

奈 On diminue toujours la pression du brassard jusqu'à ne plus rien entendre le sang circule à nouveau de manière **laminaire** en **diastole** et en **systole**, l'artère n'est plus compressée.

On obtient donc la **PA minimale = PA diastolique ++**

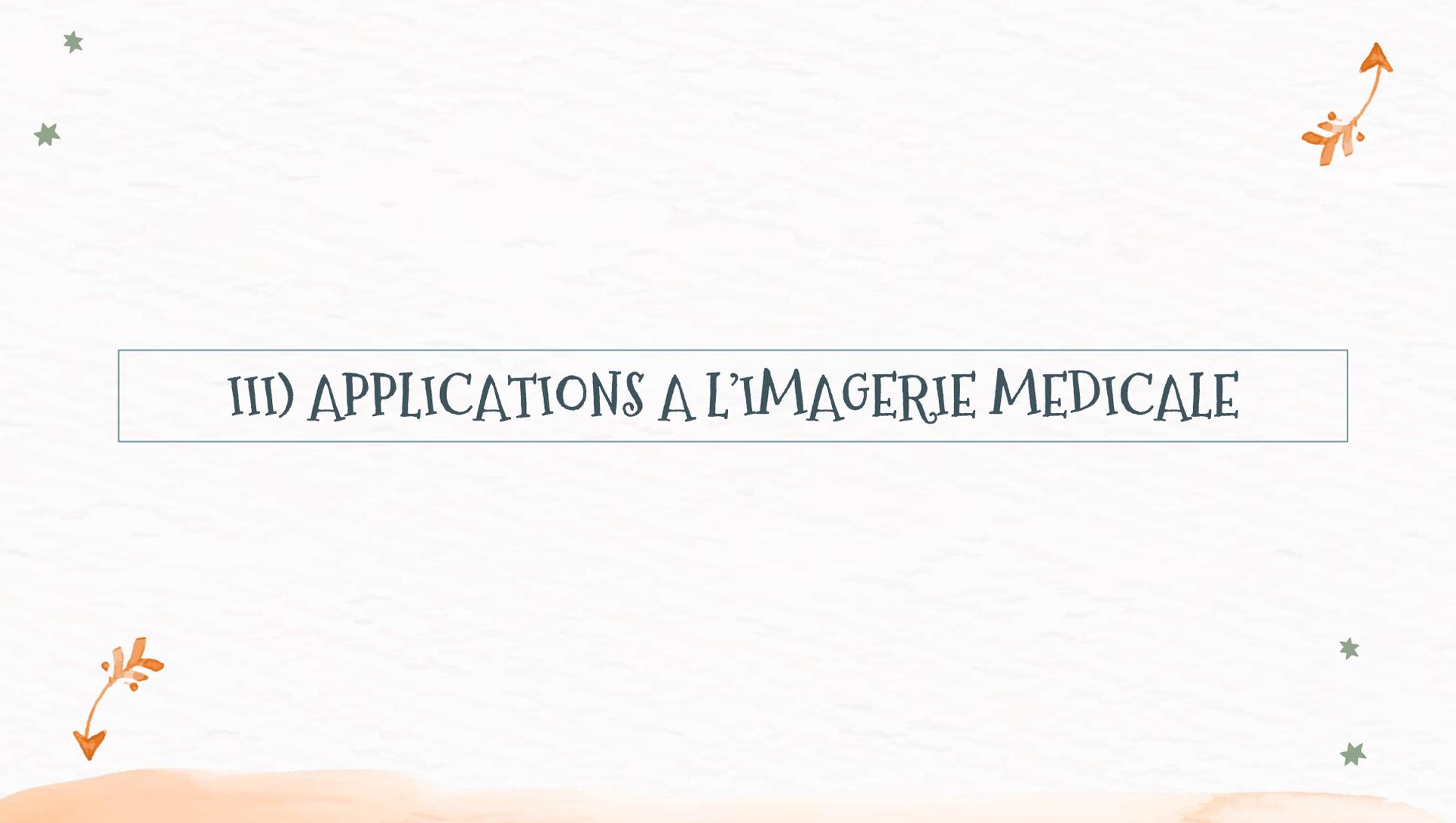
④ $P_b < P_{A_{diastolique}}$



Disparition de tout bruit:
PA min

La pression maximale est exactement égale à la pression artérielle systolique; mais la PA minimale surestime la pression diastolique,
 $P_{Amin} = P_{A_{diast}} + 2 \text{ mmHg}$.

$$P_{A_{moy}} = \frac{P_{A_{sys}} + 2P_{A_{diast}}}{3} = 13 \text{ kPa (98 mmHg)}$$



III) APPLICATIONS A L'IMAGERIE MEDICALE



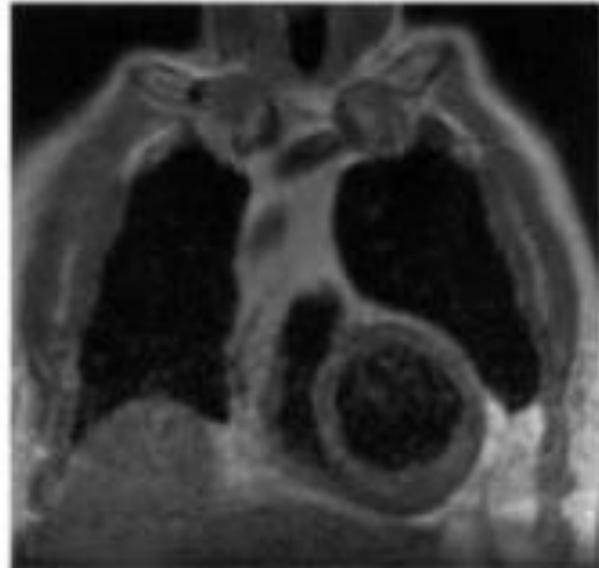
A) IRM Cardiaque



En IRM cardiaque on peut utiliser **deux types de séquences : sang noir et sang blanc.**

Séquence en « sang noir » :

Séquence « sang noir »



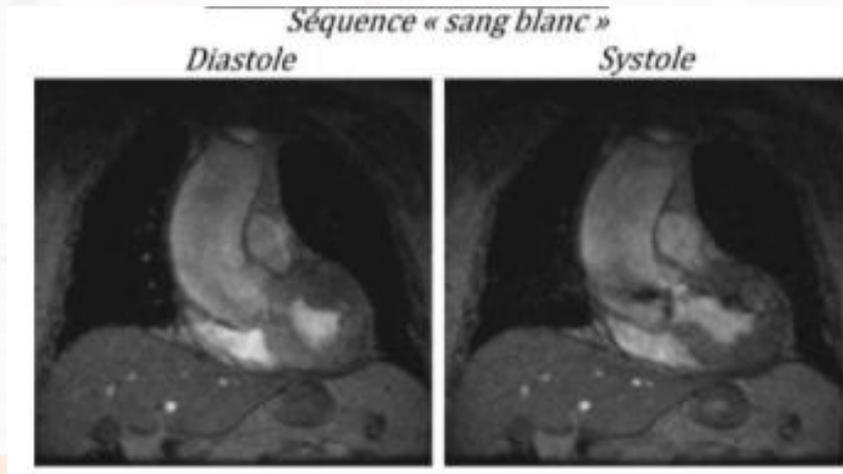


En IRM cardiaque on peut utiliser **deux types de séquences : sang noir et sang blanc.**

Séquence en « sang blanc » : sang en hypersignal lié aux protons du sang qui circulent en **écoulement laminaire/perte de signal (sang noir) si écoulement turbulent.**

Diastole: le sang est blanc, écoulement laminaire.

Systole: il y a une tâche noire → écoulement turbulent.





B) Échographie cardiaque



Cette technique utilise des Ultrasons.

On distingue 2 types d'échographies:

- **L'échographie simple (2D) → étudier les structures anatomiques**
- **L'échographie Doppler → mesurer les vitesses locales d'écoulement**



Effet Doppler:

C'est la variation de fréquence d'une onde sonore perçue par rapport à la fréquence émise lorsque la distance entre la source et le récepteur change.

La fréquence:

- **Augmente** quand l'émetteur se **rapproche**.
- **Diminue** quand l'émetteur **s'éloigne**.

Un code couleur nous indique la vitesse du sang et son sens de circulation:

- **Si $F_r > F_0$ alors $v > 0$** : la cible se rapproche, codage en **rouge**.
- **Si $F_r < F_0$ alors $v < 0$** : la cible s'éloigne, codage en **bleu**.

Si l'écoulement du sang est turbulent on obtient une mosaïque.

$$F_r - F_0 = \frac{2F_0 v \cos \theta}{c} \rightarrow \text{valeur de } v$$

F_0 = fréquence du faisceau incident

F_r = fréquence du faisceau réfléchi

v = vitesse de déplacement des GR (m/s)

c = vitesse des US (m/s)

θ = angle d'inclinaison du transducteur par rapport au vaisseau



QCMS !!



QCM 1 : A propos de la mesure des pressions, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s) :

- A) La pression évolue entre un minimum diastolique (lorsque le cœur se dilate/distend) et un maximum systolique (lorsque le cœur se contracte)
 - B) Lors de la mesure de la pression en position debout, la valeur de la PA dépend du niveau de la mesure (pression au niveau de la tête supérieur à la pression au niveau des pieds)
 - C) La pression veineuse centrale (PVC) est plus faible au niveau des pieds ce qui peut provoquer des stases veineuses et varices
 - D) Les valeurs normales de la PA sont : $P_{\text{Amax}} \leq 140 \text{ mmHg}$ & $P_{\text{Amin}} \leq 90 \text{ mmHg}$
 - E) Les propositions A, B, C et D sont fausses
- 





QCM 1 : AD

A) Vrai

B) Faux : Attention aux parenthèses ! La pression au niveau de la tête est INFÉRIEUR à celle au niveau des pieds.

C) Faux : La PVC est ÉLEVÉE au niveau des pieds ce qui peut provoquer des varices...

D) Vrai

E) Faux





QCM 2 : Soit une pression artérielle de 120 / 90 mmHg mesurée au bras gauche d'un patient. Sa tête est à 30 cm du cœur, et ses pieds sont à 100 cm du cœur. En considérant qu'il n'y a pas de perte de charge significative entre les points de mesure, que la masse volumique du sang est de 10^3 kg.m^{-3} et que l'accélération de la pesanteur est de 10 m.s^{-2} ; la pression artérielle moyenne :

- A) Vaut 100 mmHg au niveau des pieds en position couchée
 - B) Vaut 100 mmHg au niveau de la tête en position couchée
 - C) Vaut 77,25 mmHg au niveau de la tête en position debout
 - D) Vaut 23 300 Pa au niveau des pieds en position debout
 - E) Les propositions A, B, C et D sont fausses
- 
- 
- 

★
★ **QCM 2 : ABCD**

A) Vrai : Vu qu'on est en position couchée, la valeur ne change pas. C'est la même pour l'ensemble du corps :)

B) Vrai

C) Vrai

D) Vrai

E) Faux

$$\begin{aligned} P_a &= \frac{P_{a \text{ sys}} + 2 P_a \text{ dia}}{3} \\ &= \frac{120 + 2 \times 90}{3} \\ &= \frac{300}{3} \\ &= 100 \text{ mmHg} \end{aligned}$$

Vu que $1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa}$,
 $100 \text{ mmHg} = 13300 \text{ Pa} = 133 \text{ kPa}$



- Tête :

$$\begin{aligned}P_a \text{ tête} &= P_a \text{ moy} - \rho g h \quad \text{car } 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m} \\&= 13300 - (10^3 \times 10 \times 0,3) \\&= 13300 - 3000 \\&= 10300 \text{ Pa}\end{aligned}$$

$$\frac{10300}{133} = \frac{10300}{\frac{4 \times 10^2}{3}} = \frac{10300 \times 3}{4 \times 10^2} = 77,25 \text{ mmHg}$$

ou $10,3 \times 7,5 = 77,25 \text{ mmHg} \Rightarrow$ Item C Vrai

$$\begin{aligned}- P_a \text{ pieds} &= P_a \text{ moy} + \rho g h \\&= 13300 + (10^3 \times 10 \times 1) \\&= 13300 + 10000 \\&= 23300 \text{ Pa}\end{aligned}$$

\Rightarrow Item D Vrai



QCM 3 : Quelles sont les propositions justes à propos de la rhéologie du sang dans les gros vaisseaux ?

- A) La rhéofluidification est associée à la formation de rouleaux de globules rouges
 - B) En débit faible, les globules rouges ont une formation axiale
 - C) La rhéofluidification induit l'augmentation de la viscosité apparente du sang
 - D) La formation de rouleaux induit l'augmentation de la viscosité apparente du sang
 - E) Les propositions A, B, C et D sont fausses
- 
- 
- 



QCM 3 : D

- A) Faux : La rhéofluidification est associée à la formation axiale des globules rouges
- B) Faux : C'est en débit élevée
- C) Faux : La rhéofluidification induit la diminution de la viscosité apparente du sang
- D) Vrai
- E) Faux
- 
- 
- 



QCM 4: A propos de la mesure auscultatoire de la pression artérielle, indiquez la (les) proposition(s) exacte(s):

- A) Lorsque la pression du brassard est supérieur à la pression artérielle systolique, on entend un bruit sec intermittent
 - B) Lorsque la pression du brassard est inférieure à la pression artérielle systolique mais supérieure à la pression artérielle diastolique, on entend un bruit qui s'allonge et qui persiste
 - C) Lorsque la pression du brassard est inférieure à la pression artérielle diastolique, on entend aucun bruit
 - D) Lorsque la pression du brassard est inférieure ou égale à la pression artérielle systolique, on entend aucun bruit
 - E) Les propositions A, B, C et D sont fausses
- 
- 
- 



QCM 4 : BC

- A) Faux : On entend aucun bruit :)
 - B) Vrai
 - C) Vrai
 - D) Faux : Lorsque la pression du brassard est SUPERIEURE à la pression artérielle systolique, on entend aucun bruit
 - E) Faux
- 
- 
- 

MERCI POUR VOTRE ATTENTION !!

BON COURAGE ;)



**Aller
à la plage
en plein
mois d'août**



**Aller en
cours de
biophy à
la tut'rentrée**