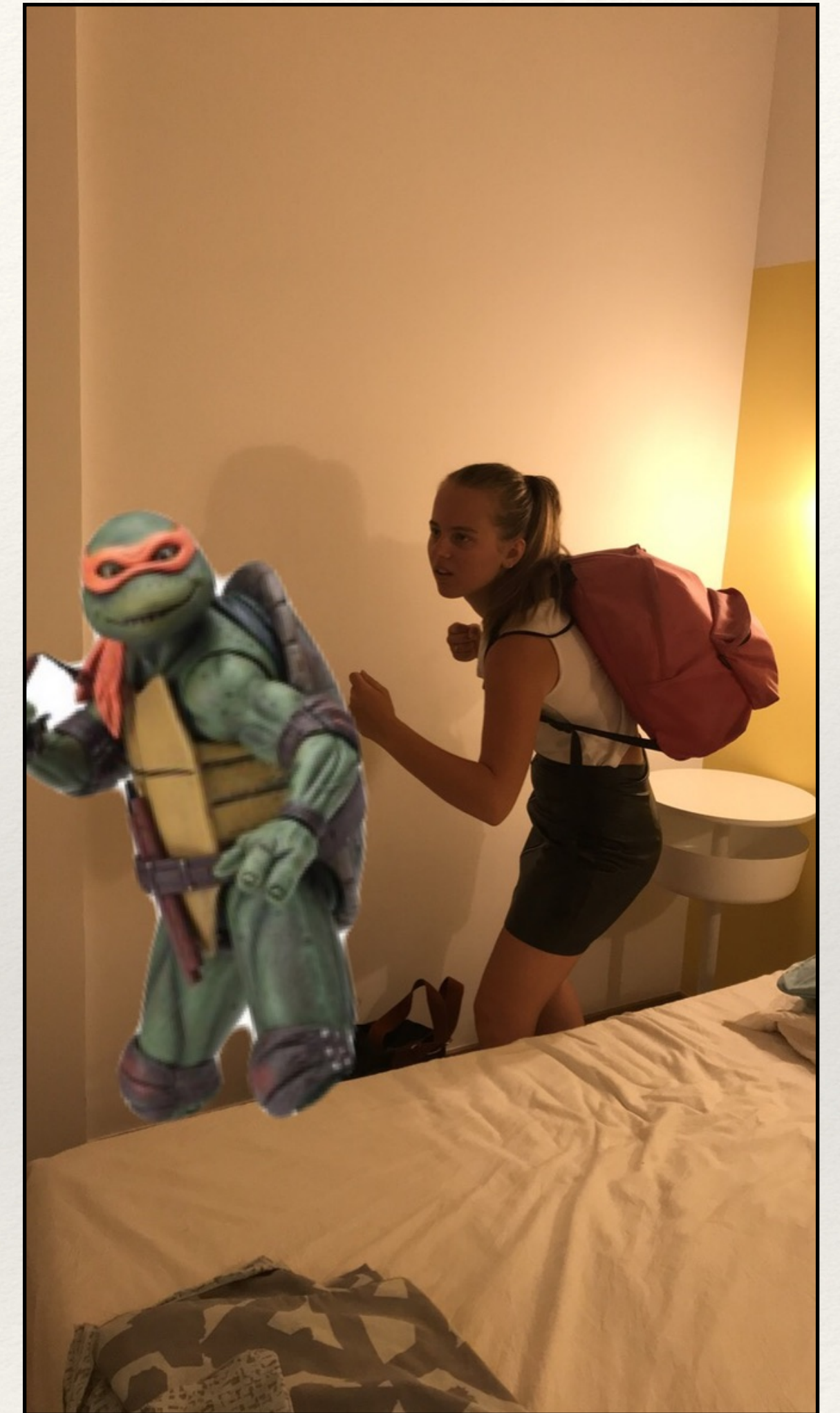


# HELLOOO

## SUITE COURS BIOPHY CIRCU 1



Toi motivé comme jamais pour la suite  
du cours biophy circu <3



## C) Dynamique d'un fluide RÉEL

✓ **Viscosité** => frottements (entre les molécules de fluide) -> consomme de l'énergie libérée sous forme de chaleur -> perte de l'énergie utilisable lors de l'écoulement (« **perte de charge** »)

**++L'ÉQUATION DE BERNOULLI N'EST PLUS VÉRIFIÉE++**

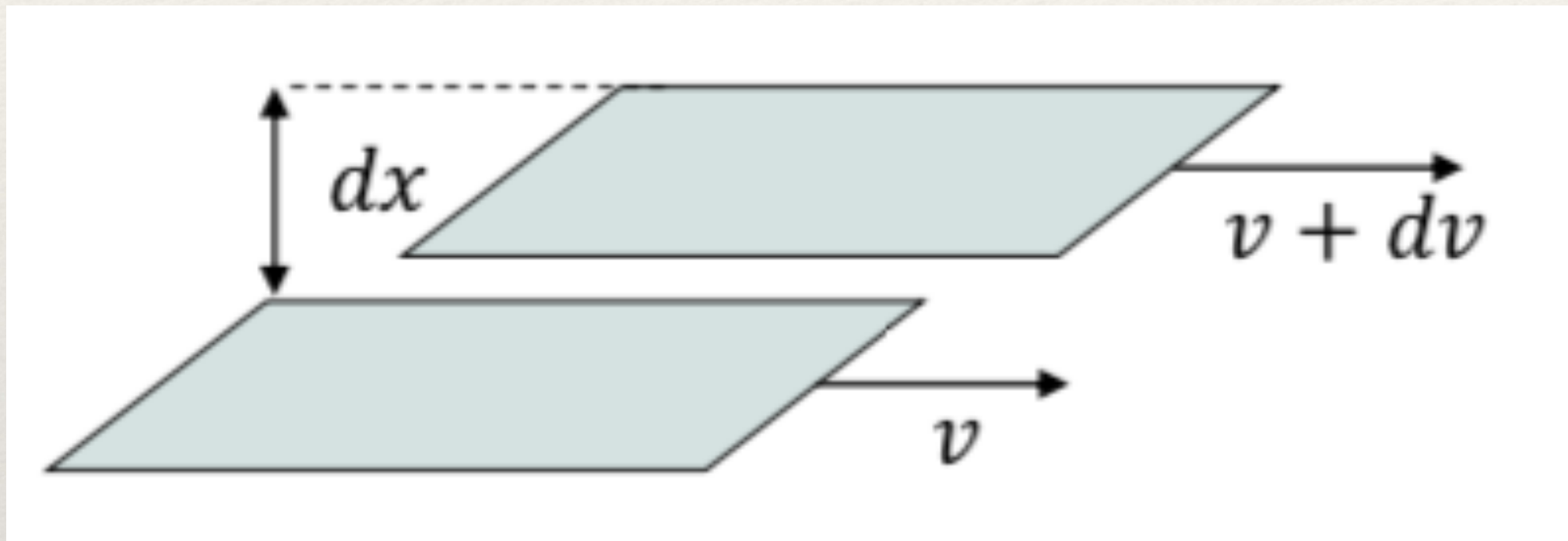
$$\begin{aligned} E_t &= mgh + 1/2 mv^2 + PV \neq \text{constante} \\ P_t &= \rho gh + 1/2 \rho v^2 + P \neq \text{constante} \end{aligned}$$

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



## 1) La Viscosité

Entre 2 lames de fluides



$$\eta = \text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1} = \text{Pa.s} = \text{Poiseuille (PI)}$$

→ Si le taux de cisaillement  
**augmente**, la viscosité **diminue**

$$F = \eta S dv/dx \quad (\text{Newton})$$

$S$  = surface commune aux 2 lames

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

**$\eta$  = viscosité (constante caractéristique du liquide)**



Elle individualise 2 types de liquides réels:++

## NEWTONIENS

✓  $\eta$  est une **constante** caractéristique du liquide

✓  $\eta$  varie avec la température ; mais est **constante à une température donnée.**

✓  $(T \nearrow \rightarrow \eta \searrow)$



## NON NEWTONIENS

✓  $\eta$  varie avec la **température** et le **taux de cisaillement**

✓  $(dv/dx \nearrow \rightarrow \eta \searrow)$

✓ Utilisation d'une **viscosité apparente** : celle qu'aurait un fluide newtonien avec le même Q et le même  $\Delta P$

✓ ex : le sang  $\rightarrow \eta$  augmente (rouleaux de GR) lorsque  $dv/dx$  diminue



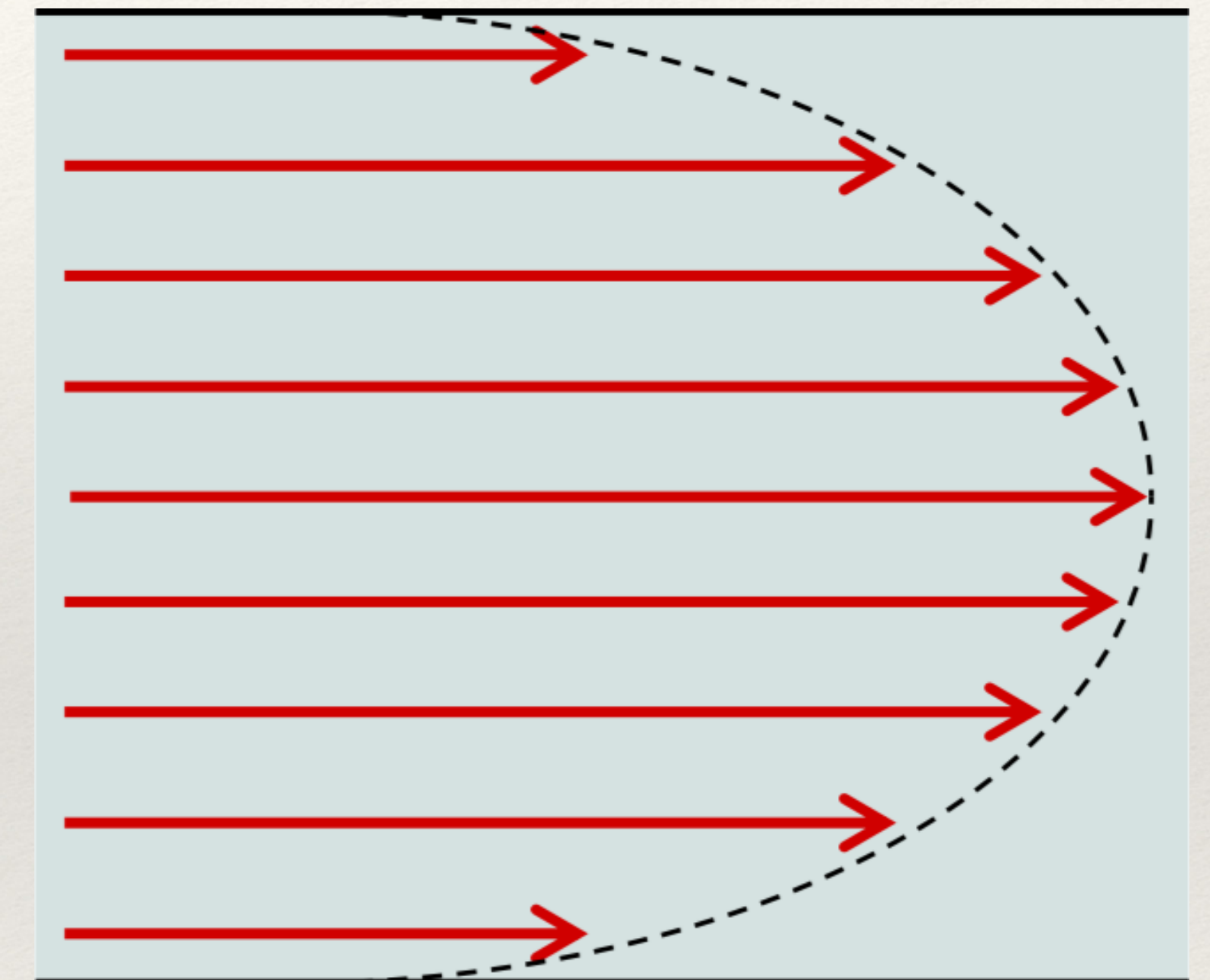
## 2) Régimes d'écoulement d'un fluide réel

<b>Fluide IDÉAL</b>	Toutes les molécules se déplacent à la <b>même vitesse</b> (pas de frottements)
<b>Fluide RÉEL</b>	<u>Viscosité</u> -> les molécules se déplacent à des <b>vitesse</b> <b>différentes</b> selon les interactions entre-elles et avec les parois



# ÉCOULEMENT LAMINAIRE

- ✓ Quand la vitesse d'écoulement est **faible**
- ✓ **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





# ÉCOULEMENT TURBULENT

- ✓ Quand la vitesse d'écoulement est moyenne ou élevée
- ✓ Viscosité -> n'est PLUS un facteur de cohérence:
  - Les trajectoires individuelles tourbillonnent
  - Les lignes de courant se croisent
  - Pas de distribution systématisée des vitesses





### 3) Frontière entre 2 régimes d'écoulement

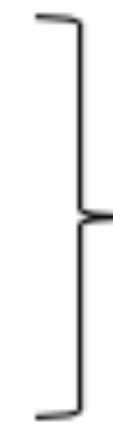
- Dépend de 4 paramètres simultanément

- La vitesse moyenne d'écoulement  $v$

- Le diamètre du conduit  $d$

- La masse volumique du liquide  $\rho$

- La viscosité  $\eta$



$\nearrow \Rightarrow$  *risque de turbulence*  $\nearrow$



$\nearrow \Rightarrow$  *risque de turbulence*  $\searrow$



++

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

++

Nombre de **Reynolds** -> définir seuil entre les régimes d'écoulement laminaire et turbulent.

- Si **Re ≤ 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** -> Impossibilité de conclure.

**Vitesse critique** = vitesse au-delà de laquelle le régime laminaire n'est plus garanti

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



#### 4) Loi de Poiseuille <3

Conduit horizontal cylindrique en écoulement laminaire++

$$Pt = \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 + P + \text{chaleur} = cte$$

- Horizontal  $\Rightarrow \rho gh = cte$
- Section constante  $\Rightarrow \frac{1}{2} \rho v^2 = cte$
- Seul  $P$  peut varier



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

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

$Q$  = débit

$L$  = distance

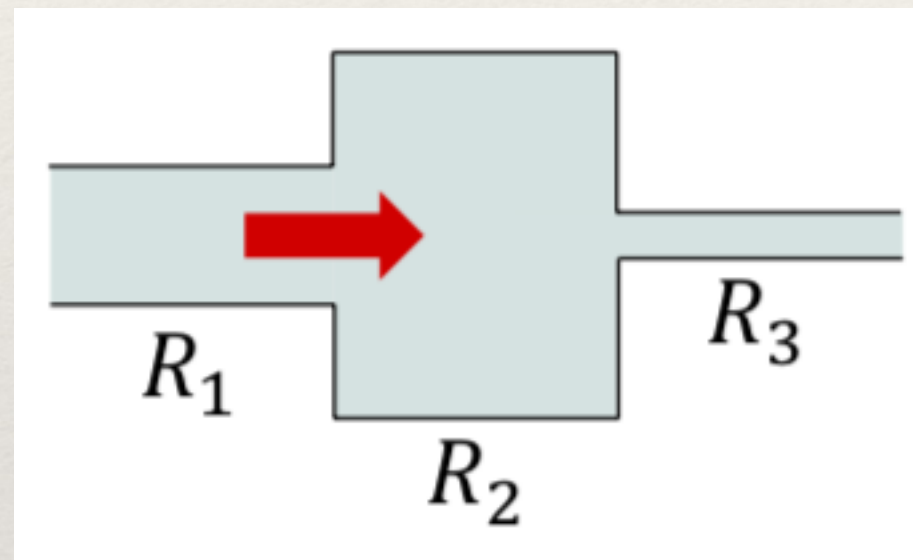
$\eta$  = viscosité

$r$  = rayon du conduit



## CONDUITS EN SÉRIE

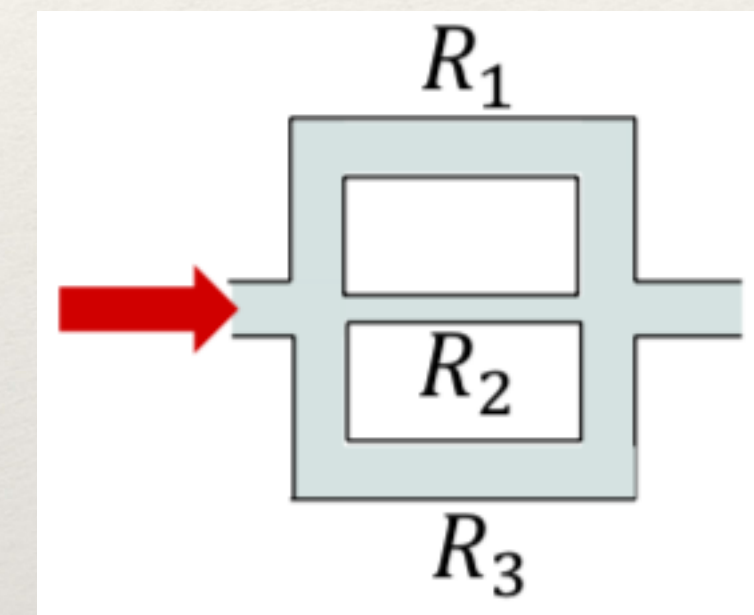
$$R_t = R_1 + R_2 + \dots + R_n = \sum_1^n R_i$$



→ Les résistances s'ajoutent

## CONDUITS EN PARALLÈLES

$$\frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



→ Les inverses des résistances s'ajoutent

→ **Ce système est celui des capillaires sanguins!**



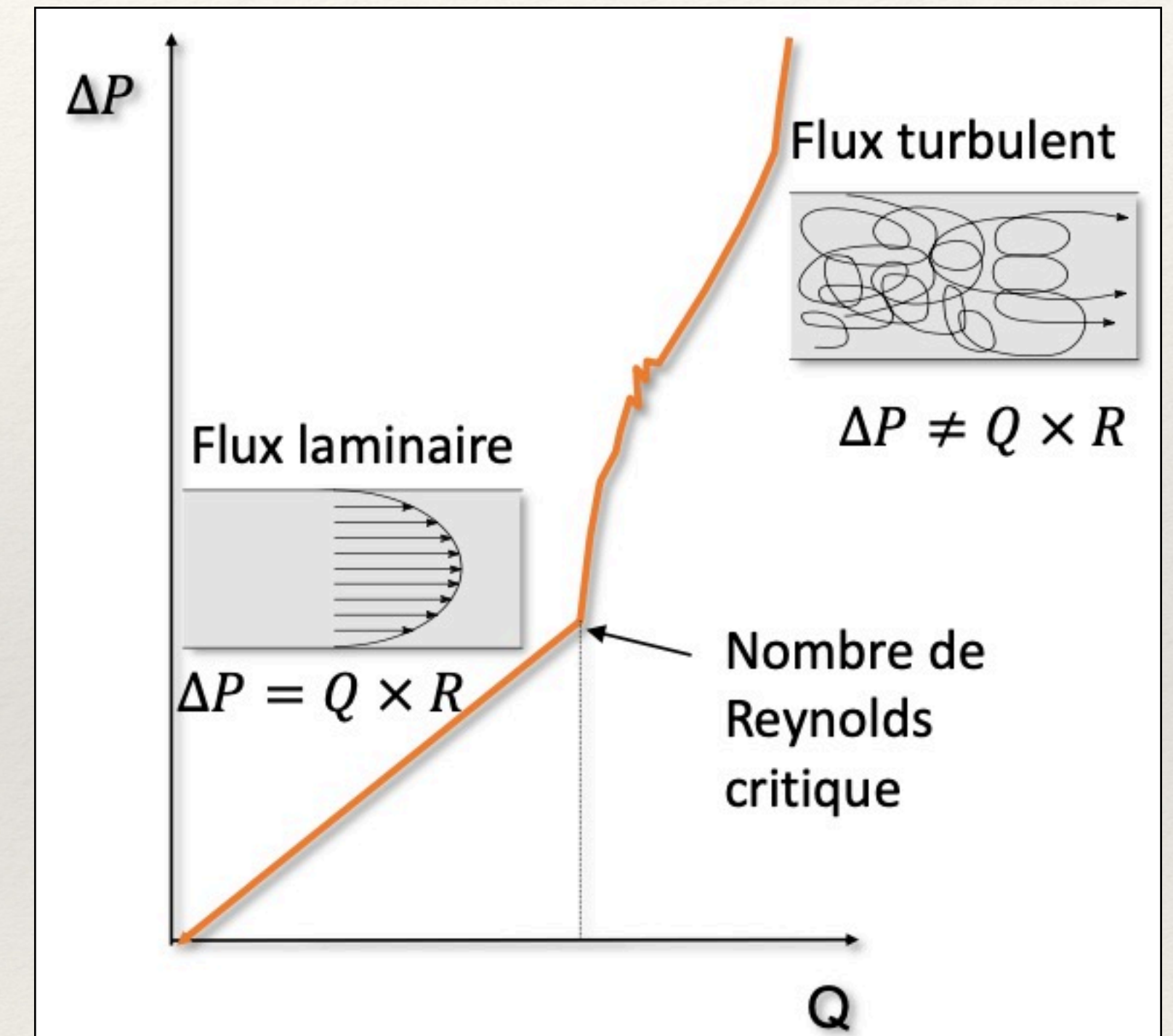
## 5) Récap. Régimes d'écoulement

### LAMINAIRE

- Toute l'énergie consommée est utilisée pour vaincre la viscosité.
- **Relation linéaire entre  $\Delta P$  et le débit.**
- **Loi de Poiseuille++**

### TURBULENT

- Peu efficace
- **Pas de proportionnalité entre  $\Delta P$  et le débit**
- Tourbillons: consommation d'énergie
- Vibrations+Chaleur: perception d'un souffle et/ou bruit.





## QCM TIIIIME

**QCM:** On considère une artériole avec un débit de  $6 \text{ mL.min}^{-1}$ . Elle se divise en 1000 capillaires de longueur  $l = 12 \text{ mm}$  et de rayon  $r = 0,2 \text{ mm}$ .

On considère une viscosité apparente du sang  $\eta = 3,14 \cdot 10^{-3} \text{ Pa.s}$  ;  $\pi = 3,14$

**Quelle est la chute de pression entre l'entrée et la sortie de ce réseau capillaire?**

- A) 36 Pa
- B) 1,6 kPa
- C) 6 Pa
- D) 6 kPa
- E) 36 hPa

TOI À PEINE TU  
VOIS L'ÉNONCÉ (non  
en vrai ça va aller  
tqt<3)





$$\Delta P = \frac{Q * R}{n} \quad \text{avec}$$

$$R = \frac{8 * \eta * l}{\pi * r^4}$$

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

$$Q = 6 \text{ mL.min}^{-1} = 10^{-7} \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$$

$$\eta = 3,14.10^{-3} \text{ Pa.s}$$

$$l = 12\text{mm} = 12.10^{-3} \text{ m}$$

$$r = 0,2 \text{ mm} = 2.10^{-4} \text{ m}$$

$$n = 1000 = 10^3$$



$$\Delta P = \frac{10^{-7} * 8 * 3,14.10^{-3} * 12.10^{-3}}{3,14 * (2.10^{-4})^4 * 10^3}$$

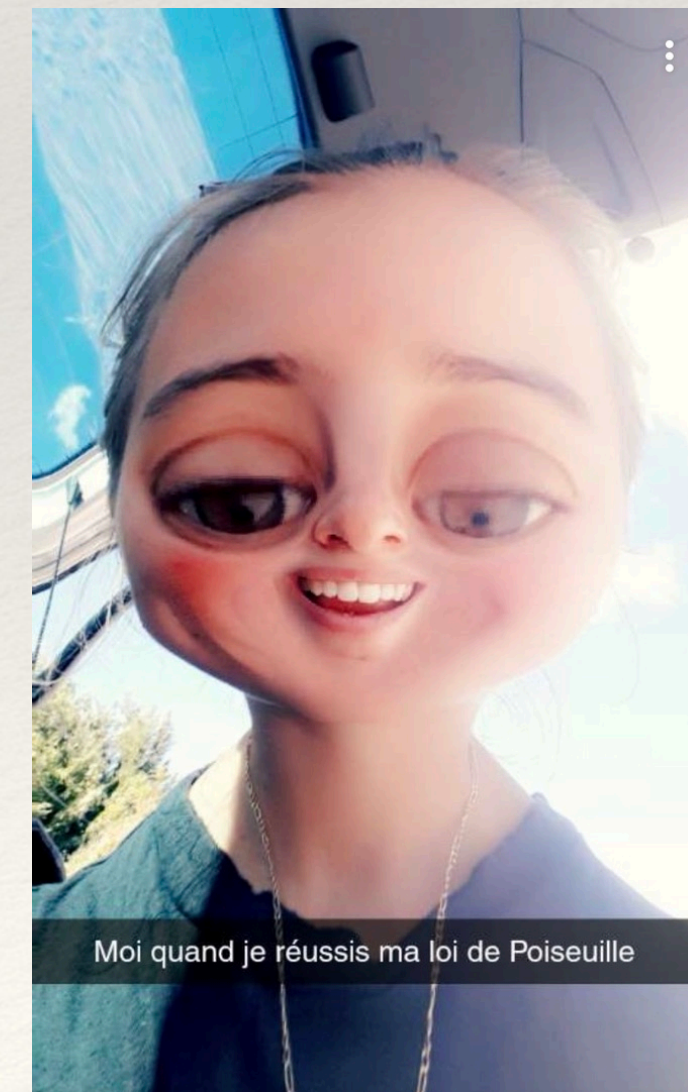
$$\Delta P = \frac{8 * 12}{2^4} * \frac{10^{-7} * 10^{-3} * 10^{-3}}{(10^{-4})^4 * 10^3}$$

$$\Delta P = \frac{8 * 12}{16} * \frac{10^{-13}}{10^{-16} * 10^3}$$

$$\Delta P = \frac{8 * 12}{2 * 8} * \frac{10^{-13}}{10^{-13}}$$

$$\Delta P = 6 \text{ Pa}$$

=> C





# III) PARTICULARITÉS LIÉES AU SANG

## A/ Description du sang au repos

❖ **SANG** = Suspension de cellules dans une solution macromoléculaire (le plasma)

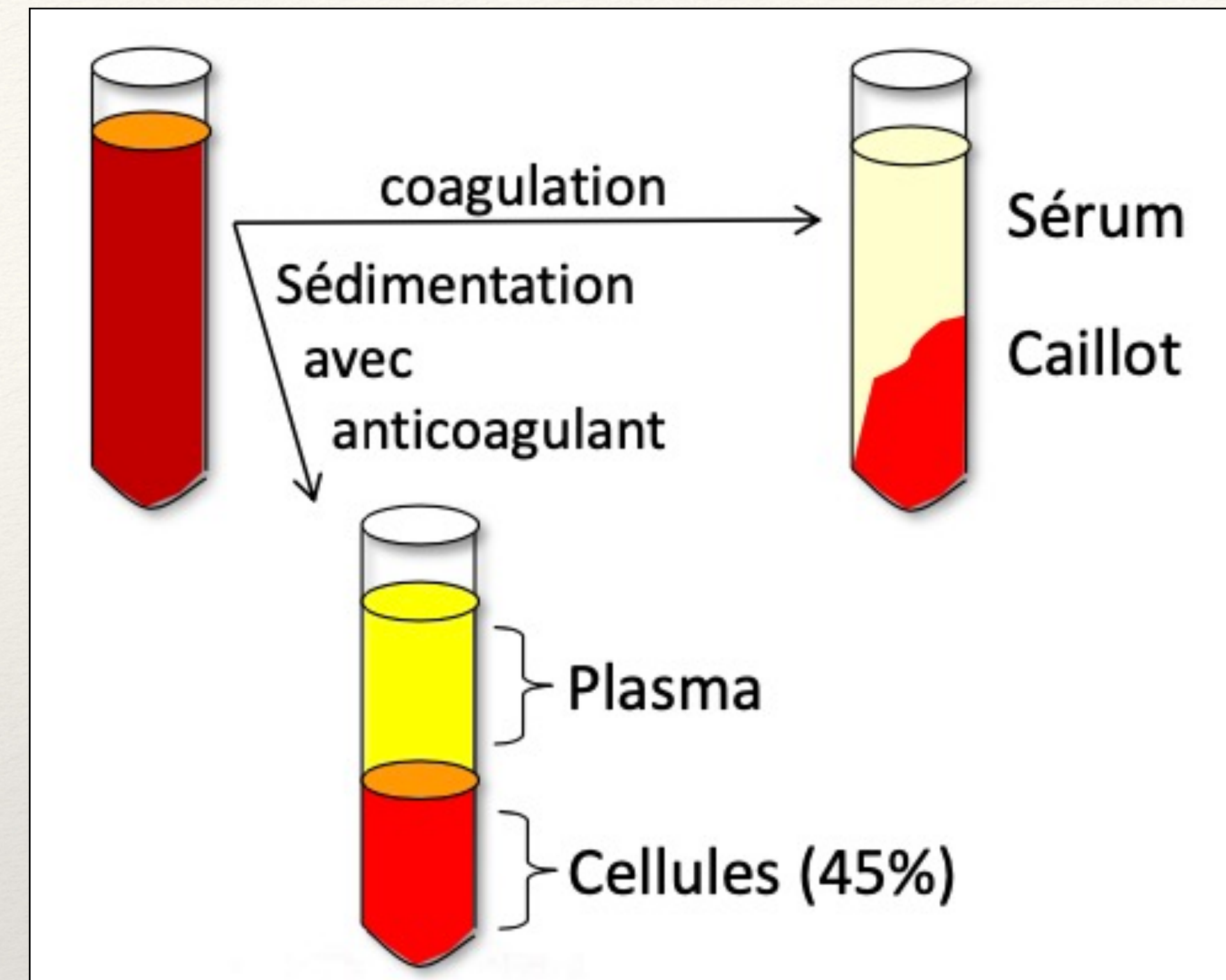
**Hématocrite = Volume de cellules / Volume total de la solution = 0.45**



**SÉRUM** = plasma - les éléments figurés du sang piégés dans le caillot (=éléments coagulants)

**PLASMA** = sérum + éléments coagulants  
=> Fluide **NEWTONIEN**

**CELLULES SANGUINES** (dont les GR)  
=> Fluide **NON-NEWTONIEN**



Le sang est globalement un fluide non-newtonien!++



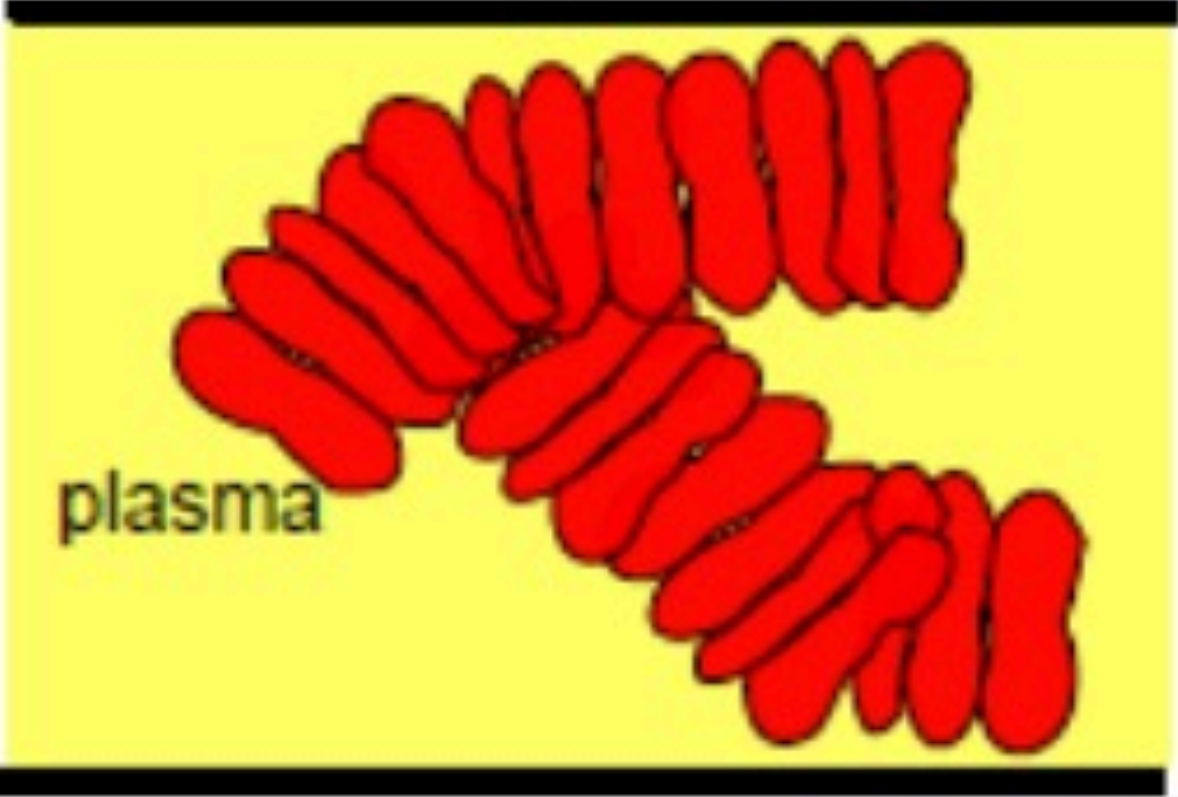
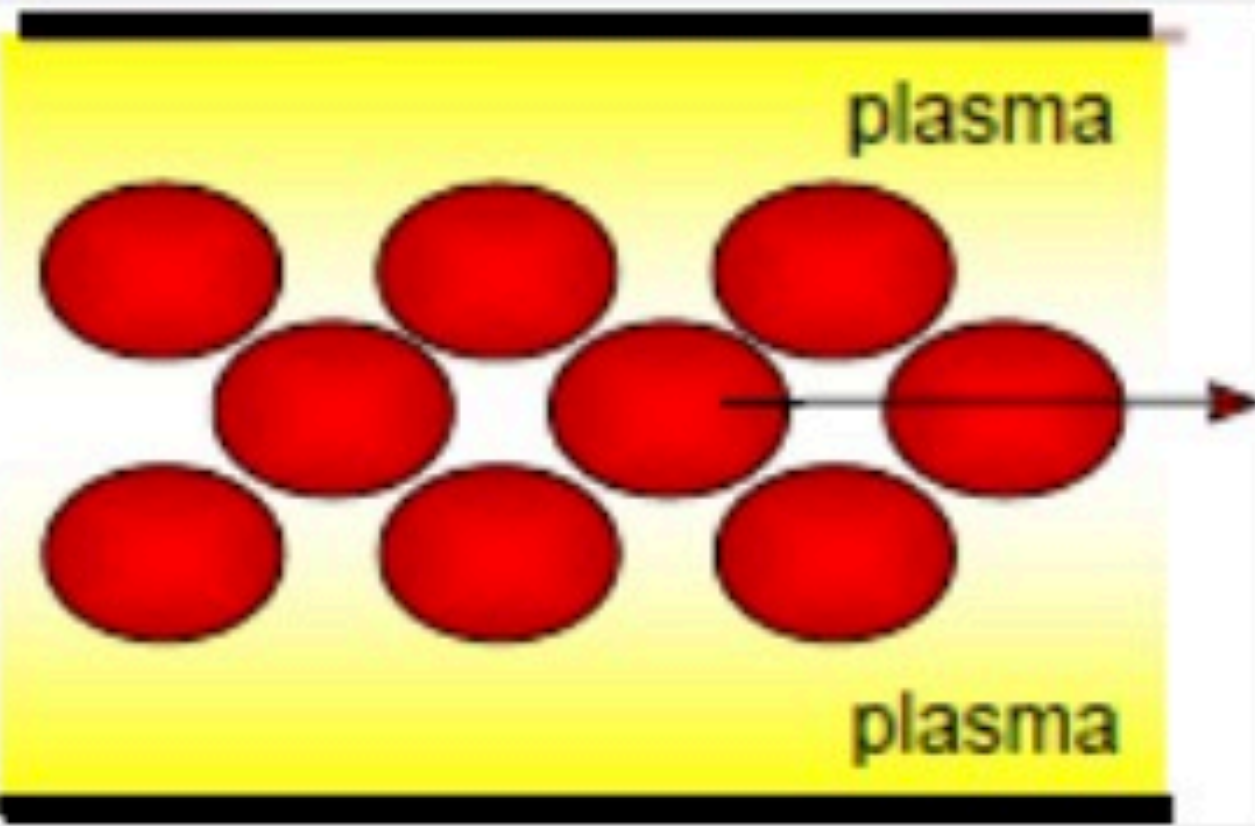
## B/ Description rhéologique du sang en écoulement dans les gros vaisseaux

❖ Rhéologie : étude des déformations de la matière en écoulement

Interactions INTERCELLULAIRES —> VISCOSITÉ DU SANG —> FLUIDE NON  
NEWTONIEN

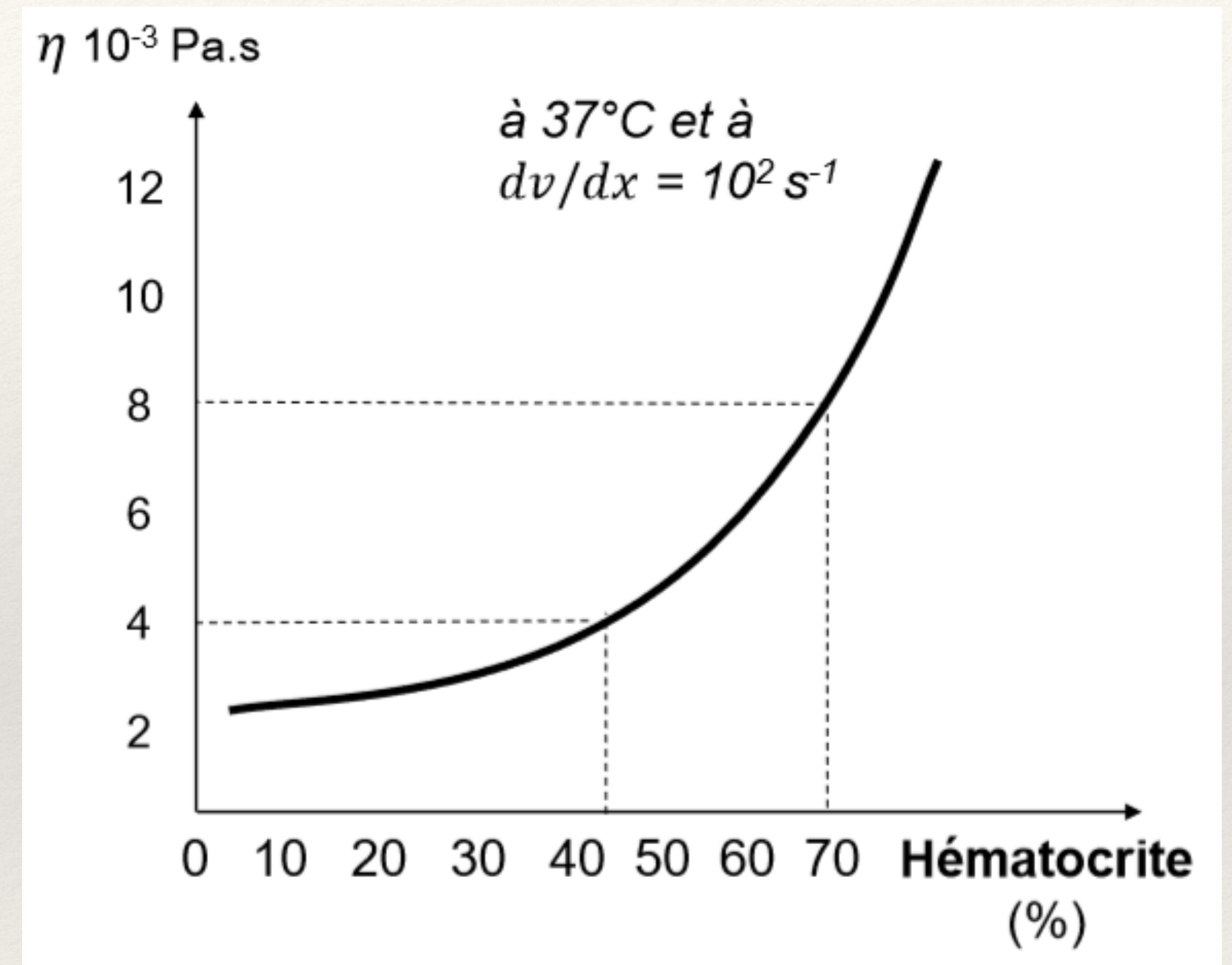
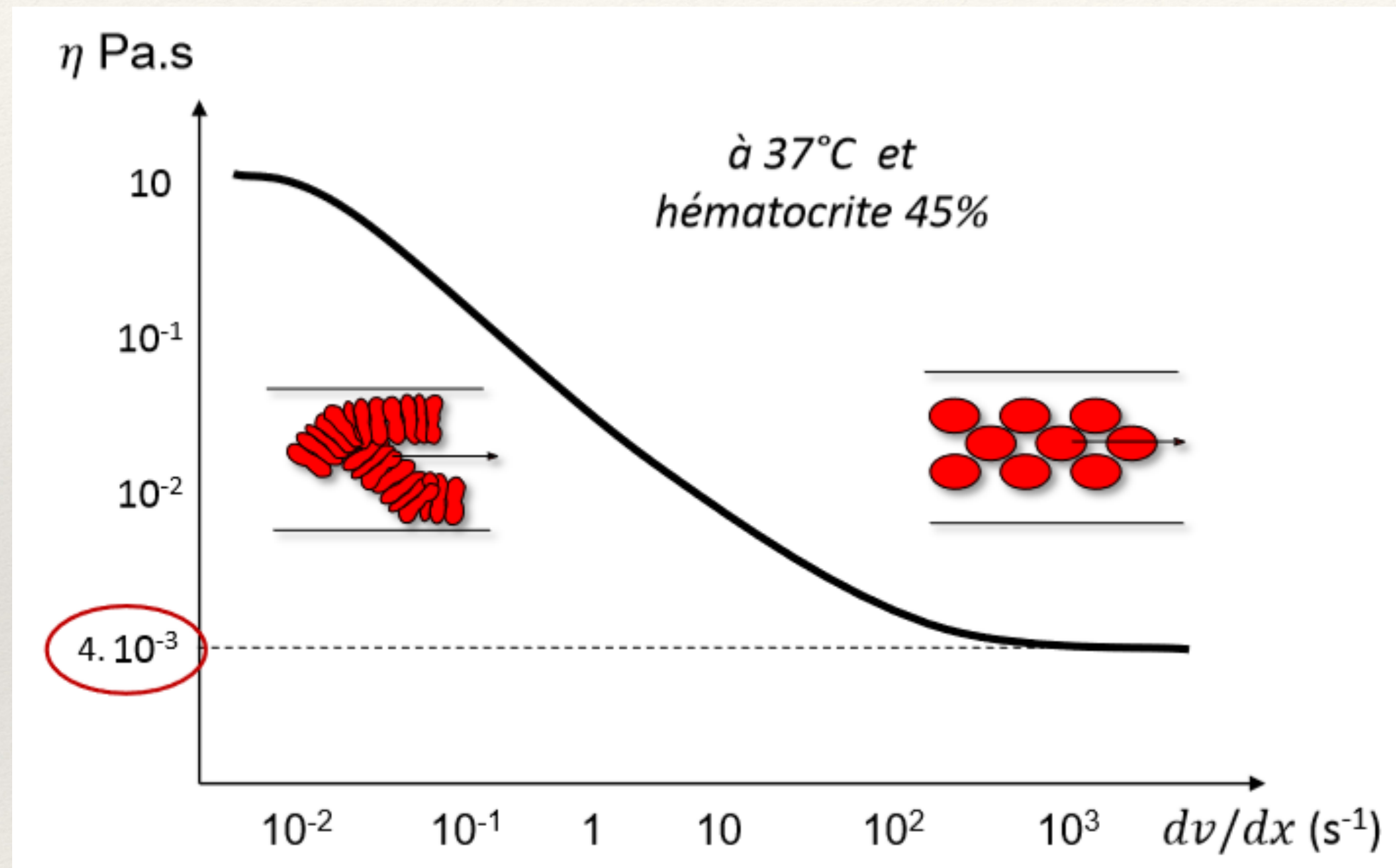
- $\eta$  **varie avec**  $dv/dx$  (taux de cisaillement)
- $\eta$  diminue quand  $dv/dx$  augmente : « **rhéofluidification** » ++



Débit faible	Débit élevé
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les globules rouges forment des rouleaux</li> <li>✓ <u>Conséquence directe</u> : ↗ de la viscosité</li> </ul>  <p>The diagram shows a cross-section of a blood vessel with a yellow plasma layer. Red blood cells are arranged in two parallel rows, one against the other, forming a 'rouleau' (roll). The word 'plasma' is written in the yellow area on the left.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Les globules rouges ont une circulation axiale : on parle de manchon plasmatique</li> <li>✓ Rhéofluidification → ↘ viscosité</li> </ul>  <p>The diagram shows a cross-section of a blood vessel with a yellow plasma layer. Red blood cells are arranged in a single row in the center of the vessel. A white arrow points from the center towards the right wall, indicating axial flow. The word 'plasma' is written in the yellow area at the top and bottom right.</p>

*Nb : à 37°C et Hte=0.45, La viscosité  $\eta$  vaut  $4.10^{-3} \text{ Pa.s}^{-1}$  (poiseuille)*



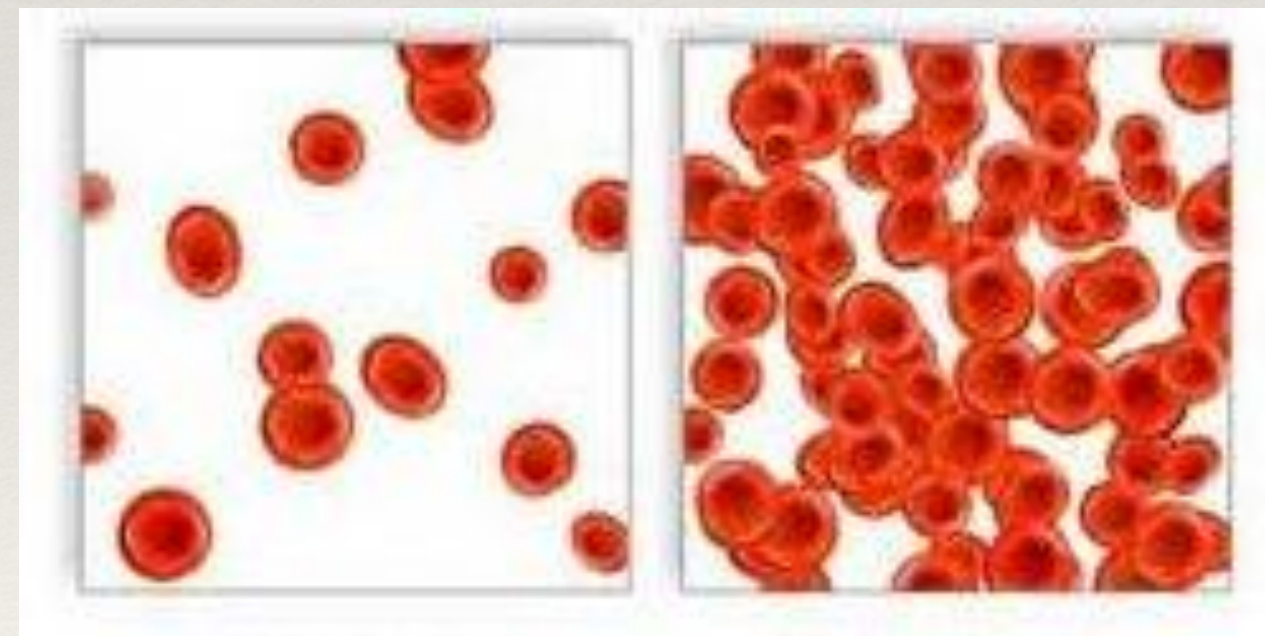


→ La viscosité augmente avec l'hématocrite



## PATHO: Polyglobulie primitive = Maladie de Vaquez

- ✓ Viscosité inter-cellulaire **augmentée**
- ✓ Nombre GR **augmente** -> Hématocrite **augmente**
- ✓ Thromboses par hyperviscosité du sang



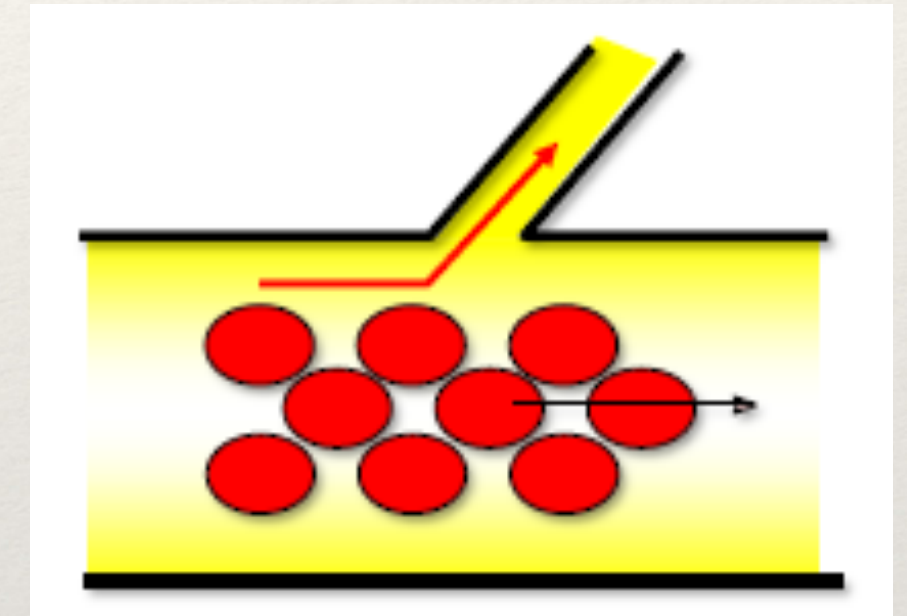


# C/ Description rhéologique du sang en écoulement dans les petits vaisseaux

## Artérioles

Circulation **axiale** des GR

- Phénomène d'écroulement au niveau des vaisseaux latéraux
- **Diminution** locale de l'hématocrite



## Capillaires

Diamètre < 8  $\mu\text{m}$

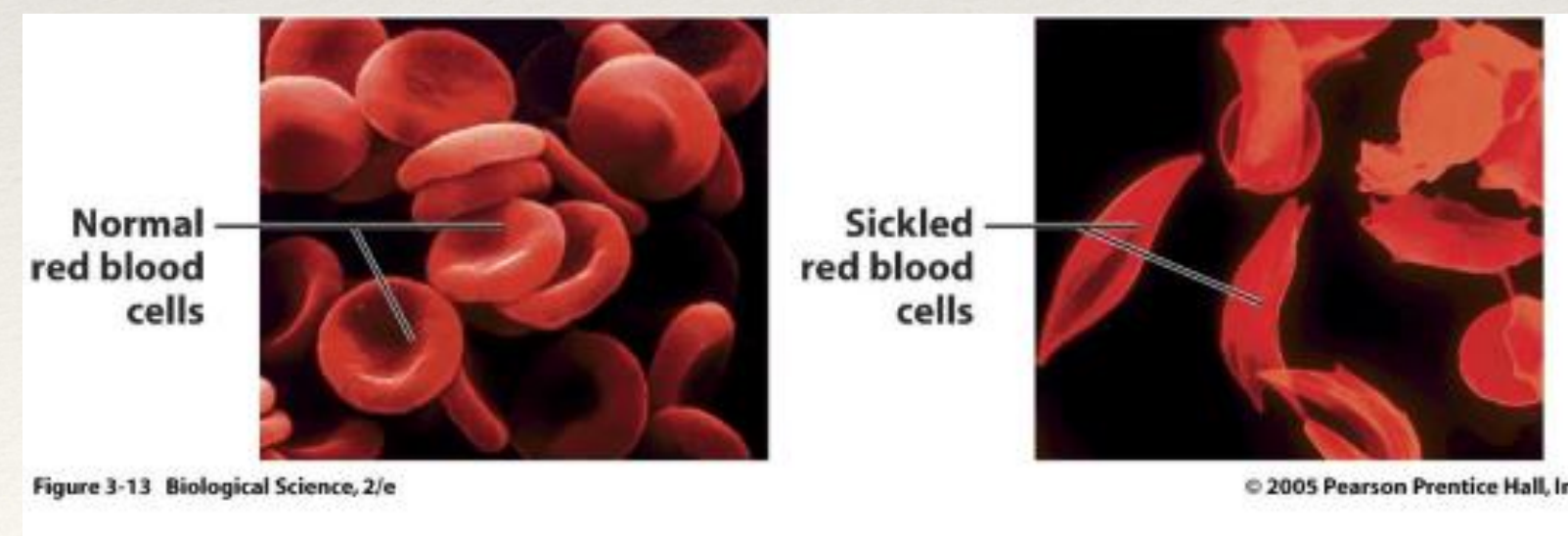
- Déformation des GR
- Intervention de la viscosité **intracellulaire**





# PATHO: Drépanocytose

- ✓ Viscosité intra-cellulaire augmentée
- ✓ Falciformation des GR
- ✓ Diminution de la déformabilité
- ✓ Thromboses capillaires





# IV) PARTICULARITÉS LIÉES À L'ANATOMIE

Volume de sang chez l'adulte  $\approx$  5L

## 2 CIRCULATIONS

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

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

## 3 SECTEURS

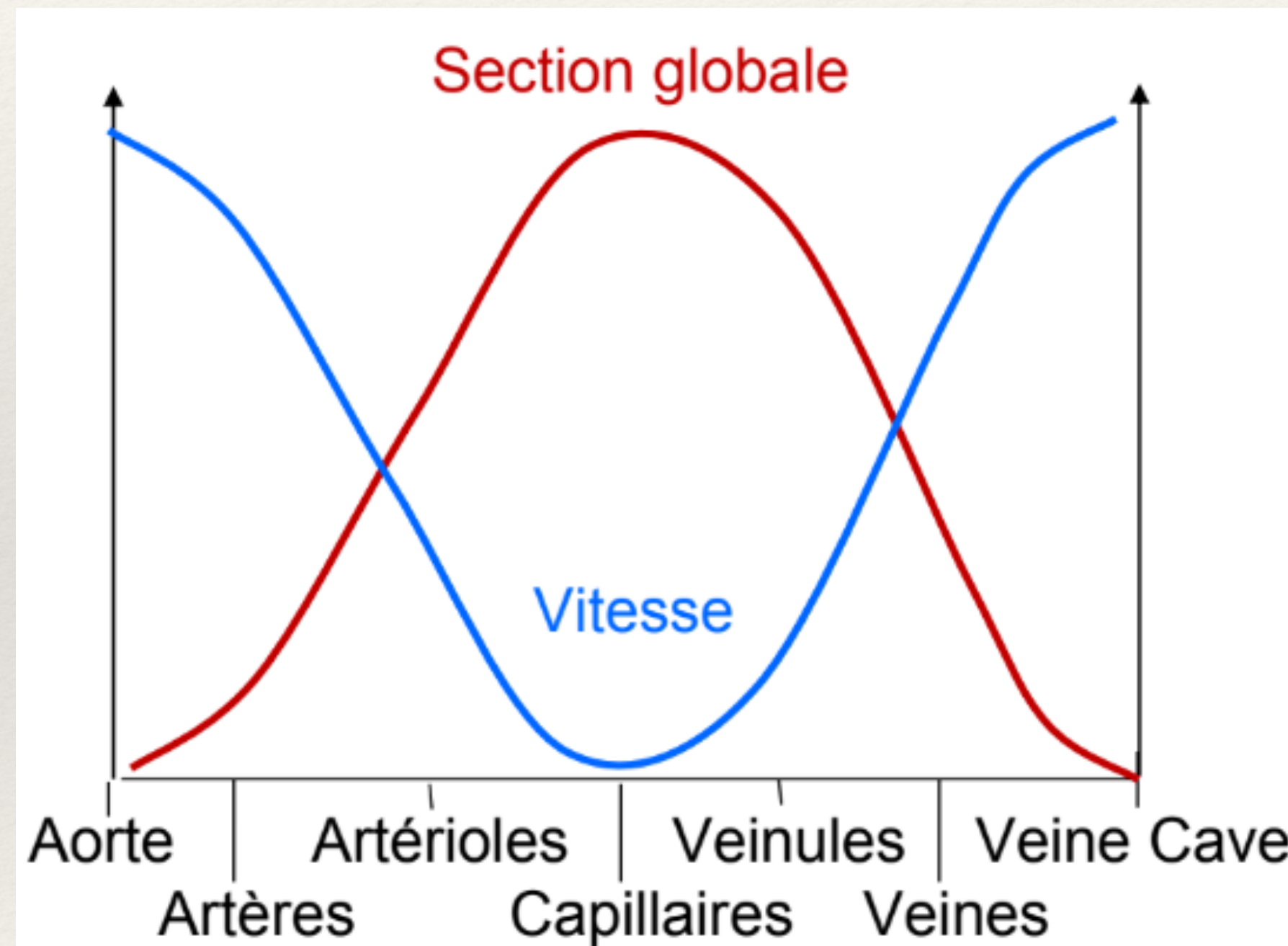
	<i>Volume</i>	<i>%</i>	<i>mL</i>
○ <b>Artériel</b>		10	500
○ <b>Capillaire</b>		5	250
○ <b>Veineux</b>		55	2750

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



## Notion de section INDIVIDUELLE - GLOBALE

Le système étant fermé, et le débit constant, la vitesse varie selon la section (globale)



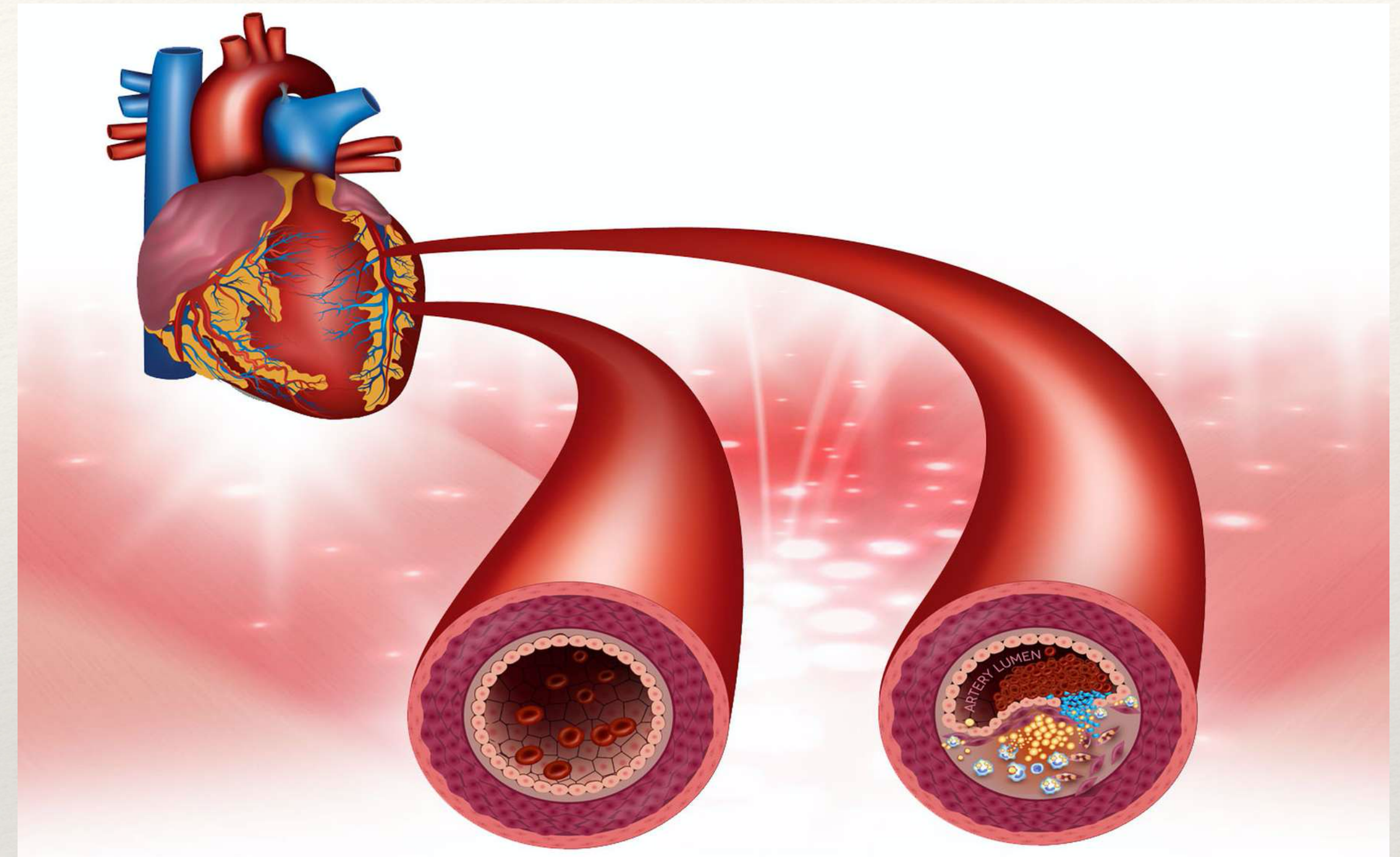
La vitesse minimale au niveau des capillaires permet de maximiser les échanges



---

# BIOPHYSIQUE DE LA CIRCULATION 2

---





# I) PARTICULARITÉS LIÉES AUX PAROIS VASCULAIRES

## A/ Constitution des parois des vaisseaux

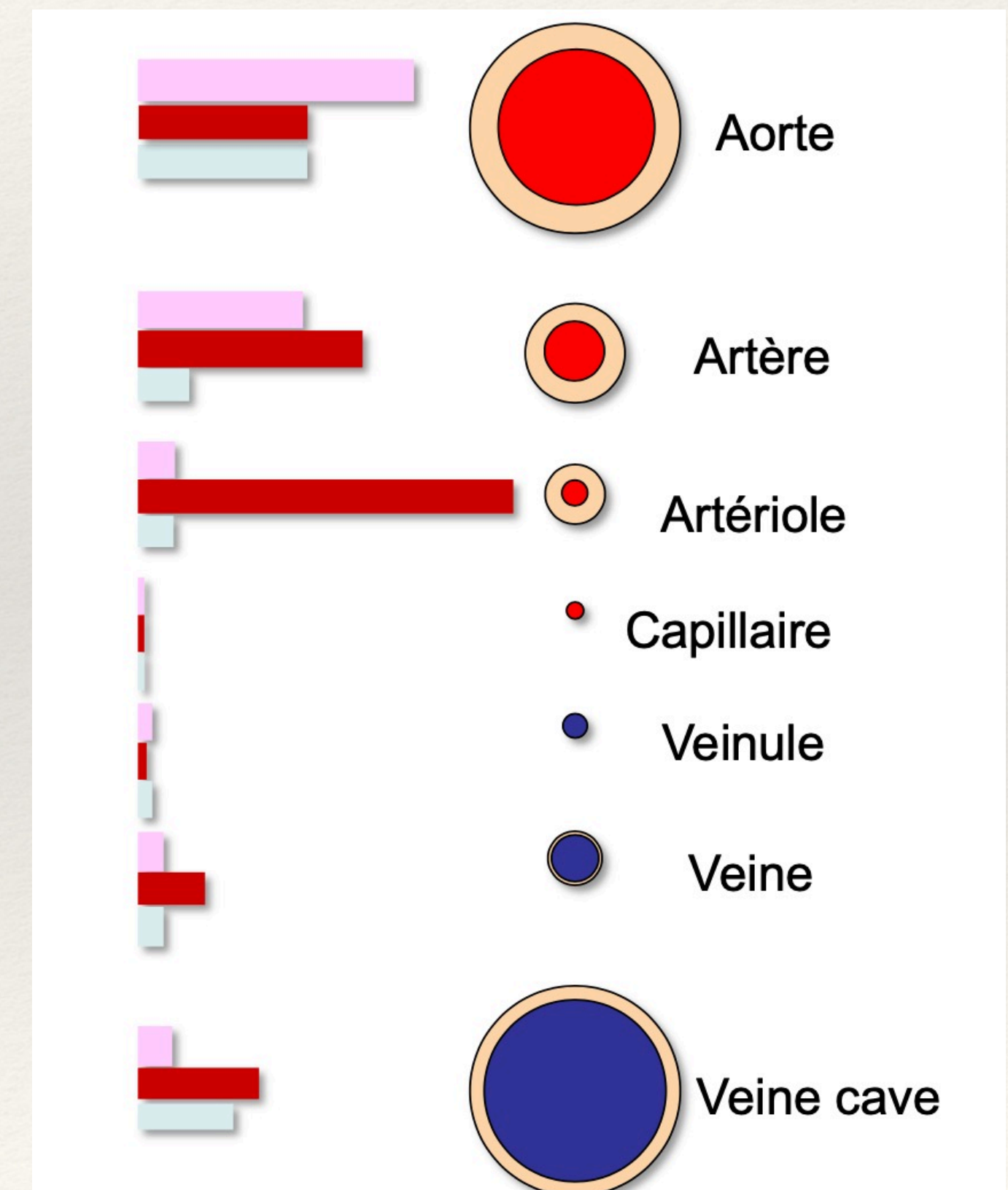
3 types de fibres:

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

✓Fibres de **collagènes** -> peu élastiques

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

PERTE ÉLASTICITÉ -> AU PROFIT DU CONTINGENT MUSCULAIRE

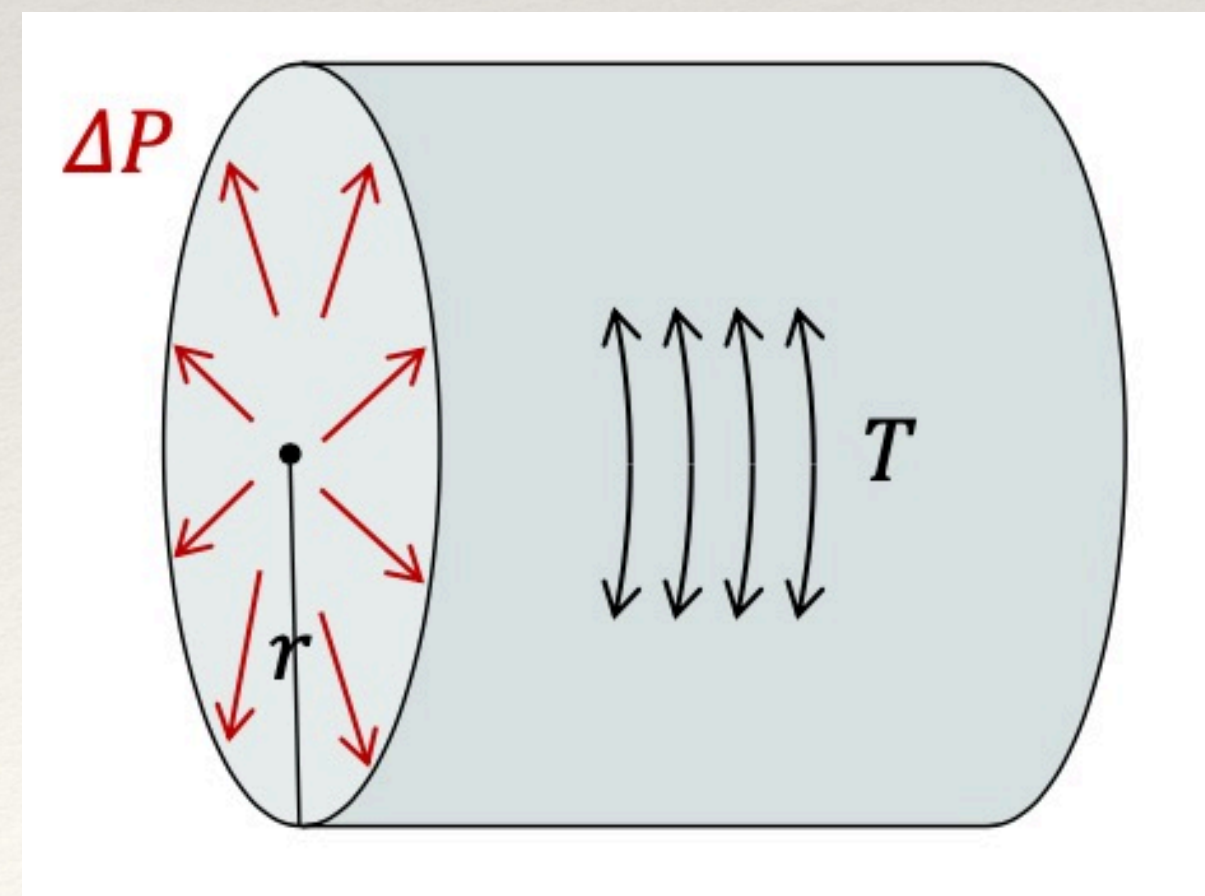




## B/ Les forces mises en jeu pour les parois élastiques

*D'un point de vue physique, 2 phénomènes s'appliquent sur la paroi d'un vaisseau:*

GRADIENT DE PRESSION TRANSMURAL $\Delta P$	Tend à <u>DILATER</u> le vaisseau RAYON AUGMENTE
PROPRIÉTÉS ÉLASTIQUES DES PAROIS (TENSION $T$ )	Tend à <u>CONTRACTER</u> le vaisseau RAYON DIMINUE





*2 lois régissent la relation entre la Tension pariétale T et le rayon du vaisseau:*

LOI DE LAPLACE	TENSION / PRESSION
LOI DE HOOKE	TENSION / ÉLASTICITÉ



## 1) Loi de LAPLACE : Relation Tension / Pression

Lorsque la pression sanguine devient supérieure à la pression extérieure ( $\Delta P = P_{\text{int}} - P_{\text{ext}} > 0$ )

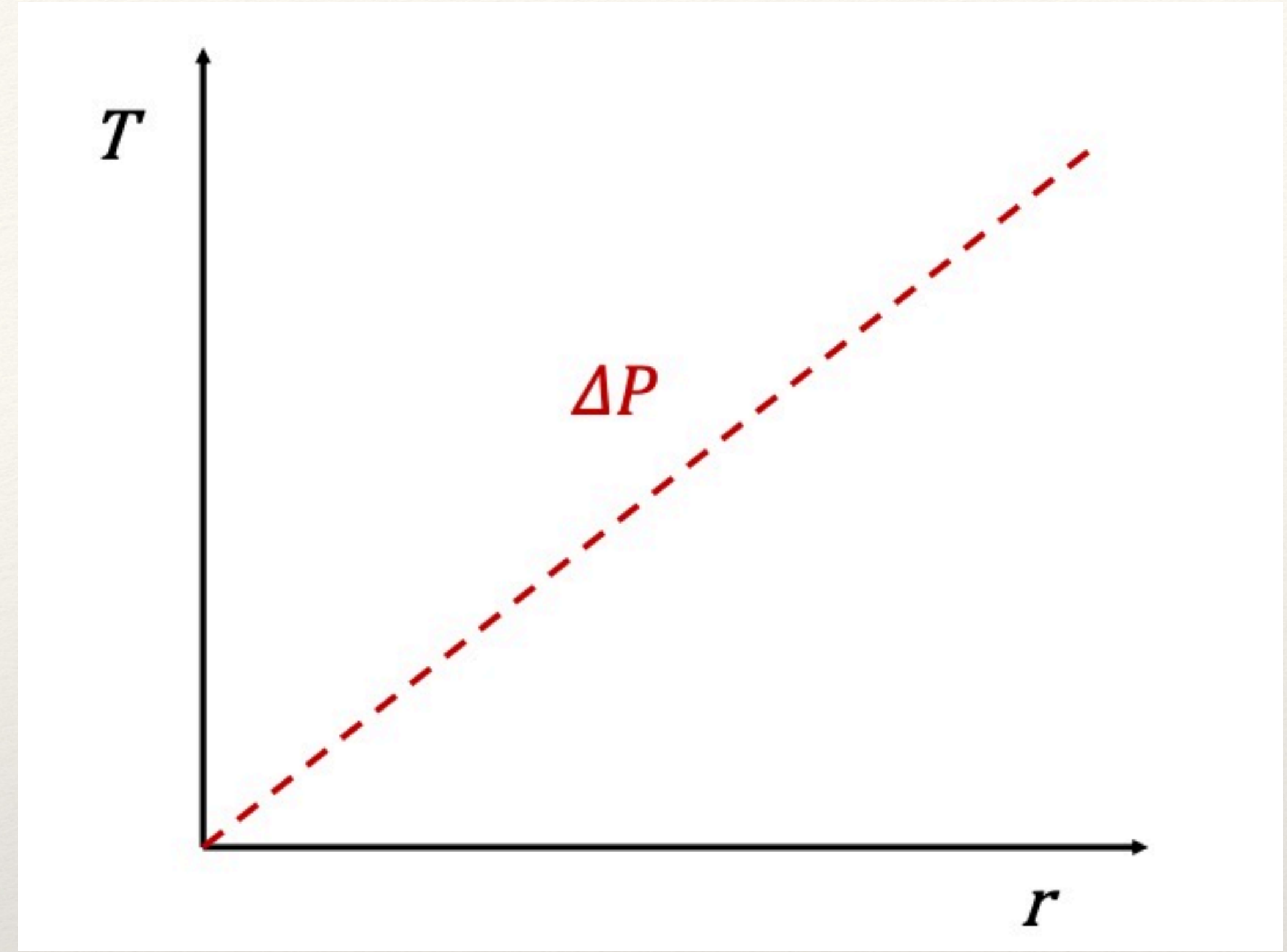
- Tendance à une dilatation du vaisseau (rayon ↗)
- La tension de la paroi augmente jusqu'à équilibrer  $\Delta P$

Pour un vaisseau cylindrique, la loi de Laplace nous donne :

$$\Delta P = \frac{T}{r} \Rightarrow T = \Delta P \times r$$



RELATION LINÉAIRE entre le gradient de pression transmural  $\Delta P$  et le rayon du vaisseau  $r$ .



*Infinité de points d'équilibre  $\rightarrow$  HOOKE*

$$\Delta P = \frac{T}{r} \Rightarrow T = \Delta P \times r$$



## 2) Loi de HOOKE : Relation Tension / Elasticité

**Elasticité** = relation entre l'allongement relatif d'un corps  $\Delta L/L$  et la force qui s'oppose à cet allongement.

*La loi de Hooke exprime cette force:*

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

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



TENSION = Force par unité de longueur & Energie par unité de surface

$$[T] = \frac{[force]}{L} = \frac{MLT^{-2}}{L} = \frac{ML^2T^{-2}}{L^2} = \frac{[E]}{[surface]}$$

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

$$T = \gamma e \frac{\Delta L}{L}$$

$\gamma e$  = élastance = résistance à l'étirement = raideur

=> Plus l'élastance est élevée, moins le corps est élastique.



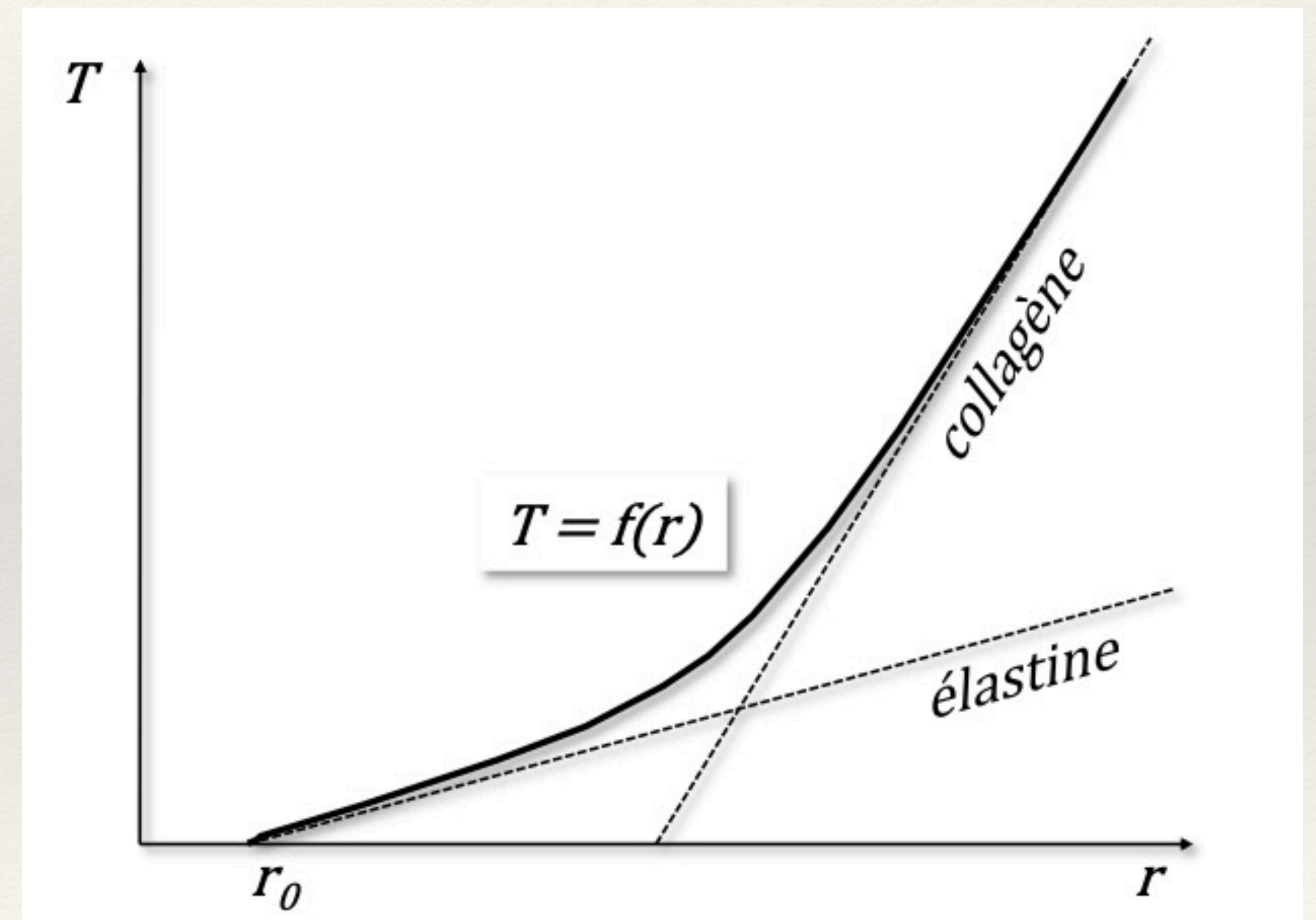
## C/ Comportement des vaisseaux élastiques

### 1) Courbes caractéristiques

✓ La **paroi des vaisseaux élastiques** (aorte, artères) est composée d'élastine et de collagène => élastances différentes.

✓ Effet de la loi de **HOOKE** sur la tension -> combinaison des 2 élastances.

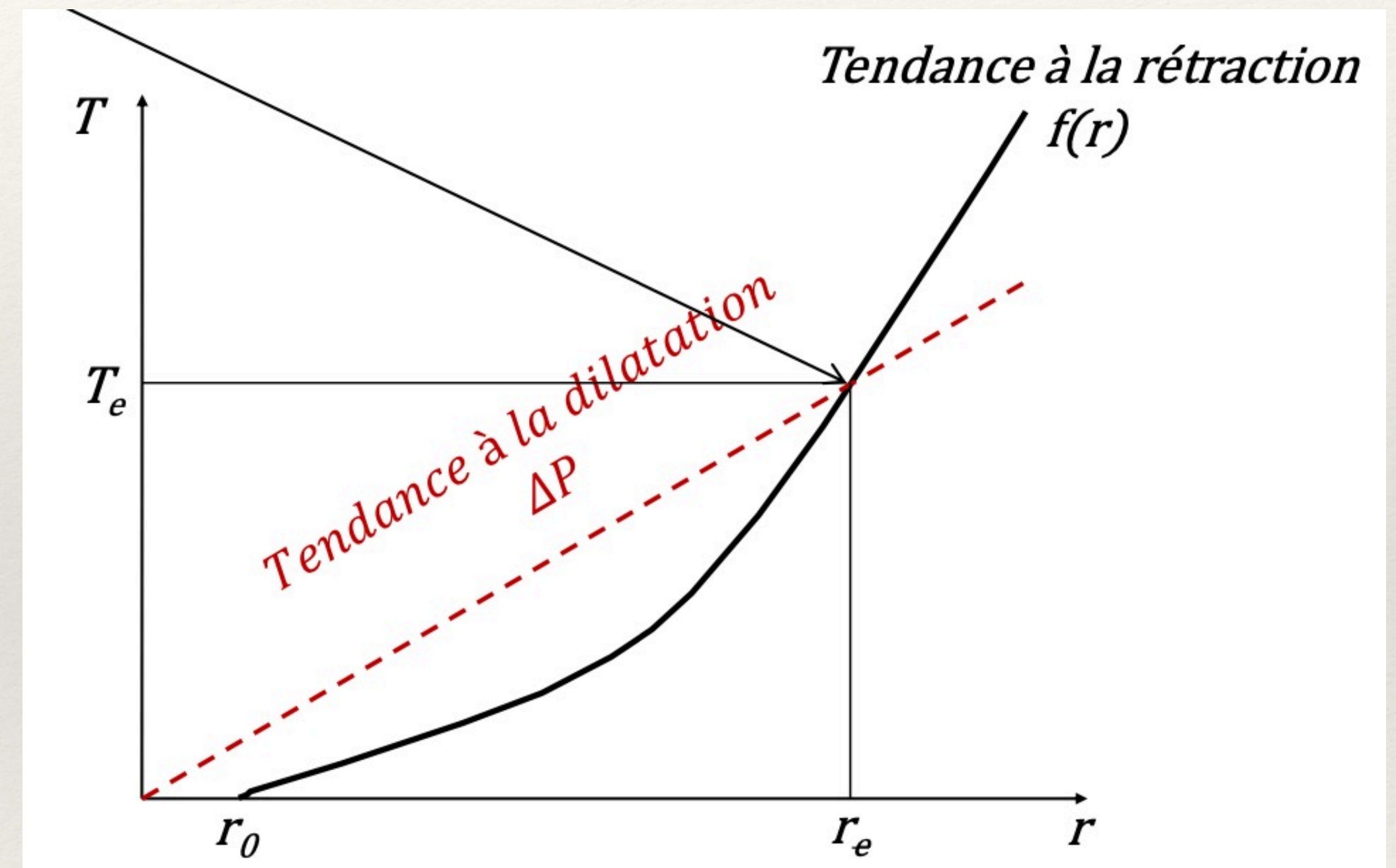
✓ Relation tension/rayon complexe caractéristique du vaisseau.





## 2) Rayon d'équilibre

- ✓ La paroi s'oppose à la dilatation qu'impose le gradient transmural (tension/élasticité) -> **Rétractation**  
—> **courbe  $T = f(r)$**
- ✓ La différence de pression tend à **dilater** le vaisseau (tension/pression)  
—> **LAPLACE :  $T = \Delta P \cdot r$**
- ✓ **UN SEUL** couple tension/rayon permet d'équilibrer le  $\Delta P$  imposé

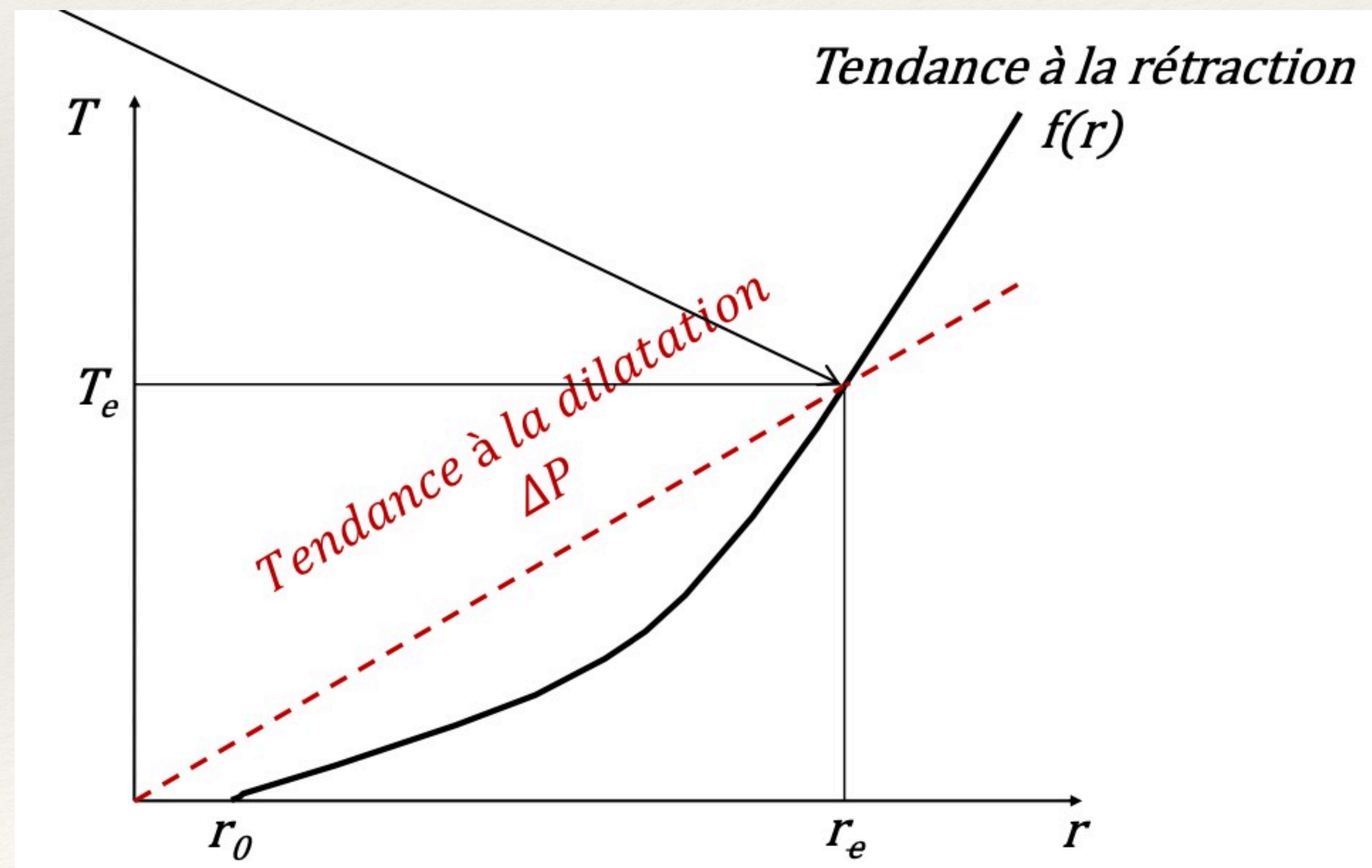






**C'est le point d'équilibre (rayon d'équilibre):**  
**tension/rayon/pression**

(intersection de la droite  $\Delta P$  avec la courbe caractéristique )





### 3) Evolution du rayon

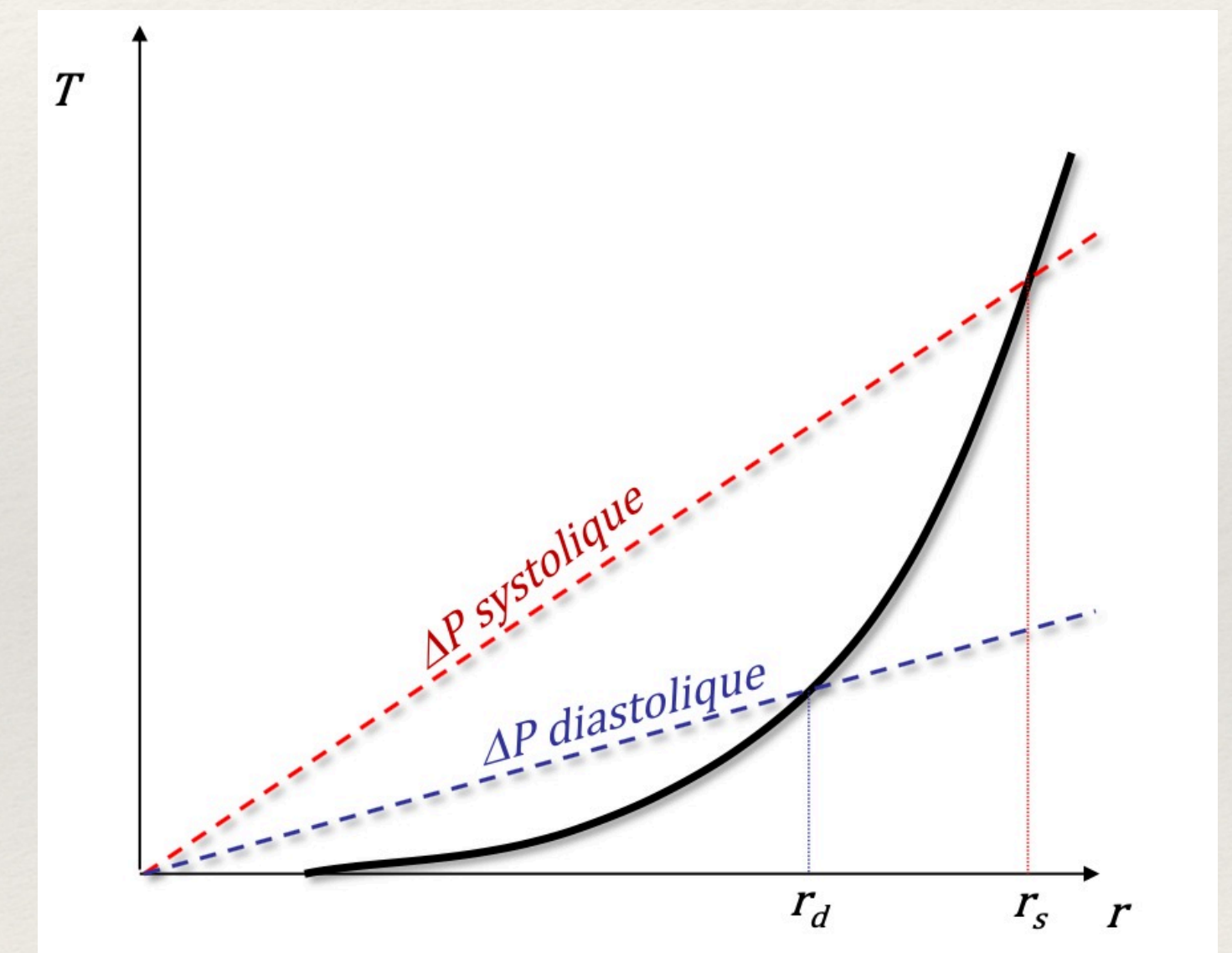
## Evolution du rayon avec la pression transmurale

## LE POULS

- Artères **élastiques** = **pulsatiles**
- $P_{int}$  varie en fonction des **contractions cardiaques**.

### Variations de rayon = le pouls ++

- La pression est **élevée** durant la **systole** et **faible** en **diastole**.
- $r_d$  = rayon diastolique (faible)
- $r_s$  = rayon systolique (élevé)





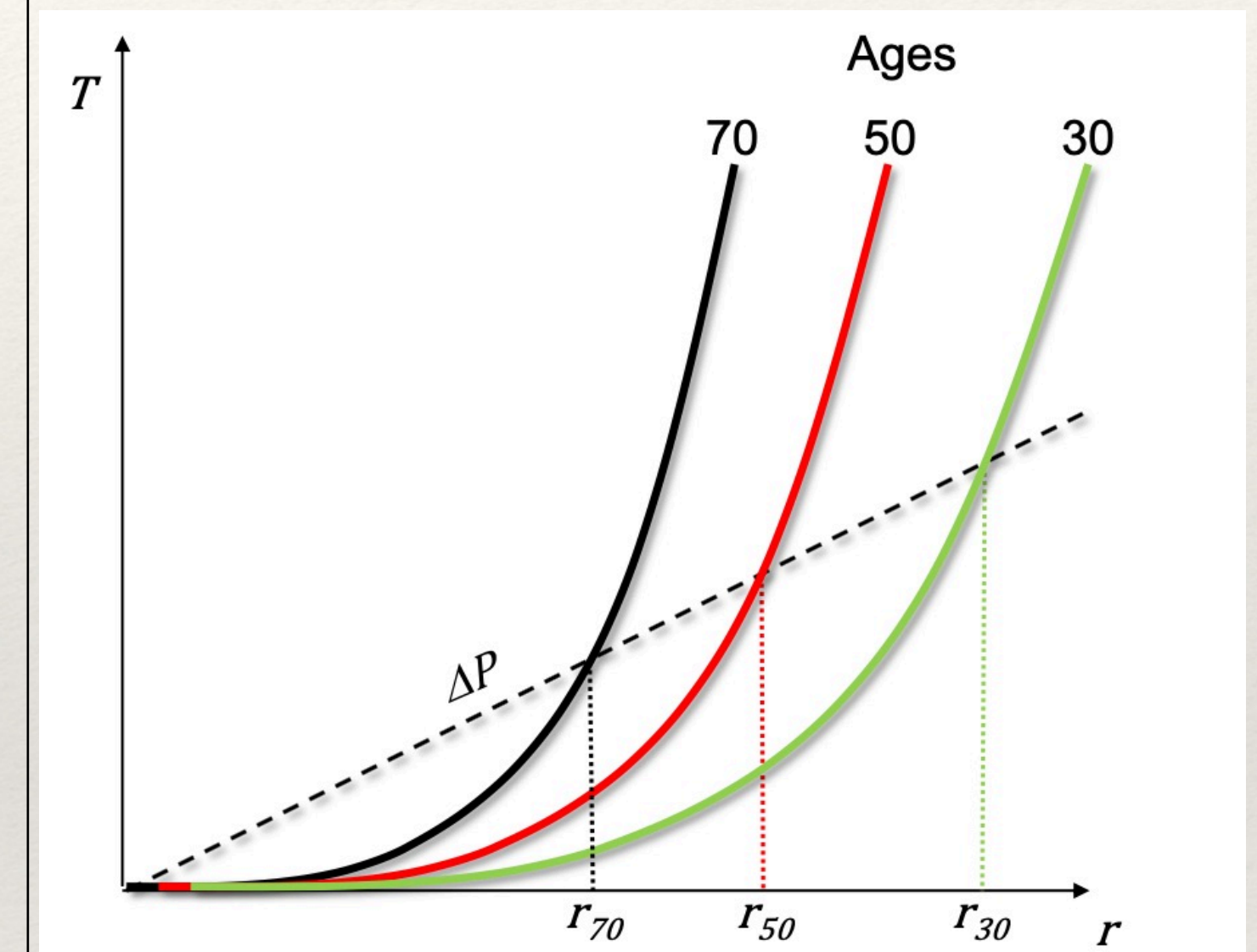
Evolution du rayon  
avec la  
constitution de la  
paroi

## LE VIEILLISSEMENT

Avec le vieillissement, on a une **diminution  
de l'élastine au profit du collagène++**

Pour un **même  $\Delta P$**  -> le rayon  
**diminue** avec l'âge++

Les vaisseaux deviennent plus rigides  
(diminution de l'élasticité)





**QCM : Une artère présente une sténose localisée. Par échographie Doppler, on mesure en amont de la sténose une vitesse d'écoulement  $v_1 = 2 \text{ m.s}^{-1}$ . Au niveau de la sténose, on mesure un diamètre  $d_2 = 3\text{mm}$ , et une vitesse d'écoulement  $v_2 = 8 \text{ m.s}^{-1}$ .**

**Quel est en millimètre le diamètre de l'artère en amont de la sténose ?**

- A) 6
- B) 3
- C) 9
- D) 12
- E) 4



## QCM 2: A

D'après le principe de continuité du débit :

$$S1.v1 = S2.v2$$

$$\frac{\pi . (d1^2)}{4} . v1 = \frac{\pi . (d2^2)}{4} . v2$$

$$d_1^2.v_1 = d_2^2 . v_2$$

$$d1 = d2\sqrt{\frac{v2}{v1}}$$

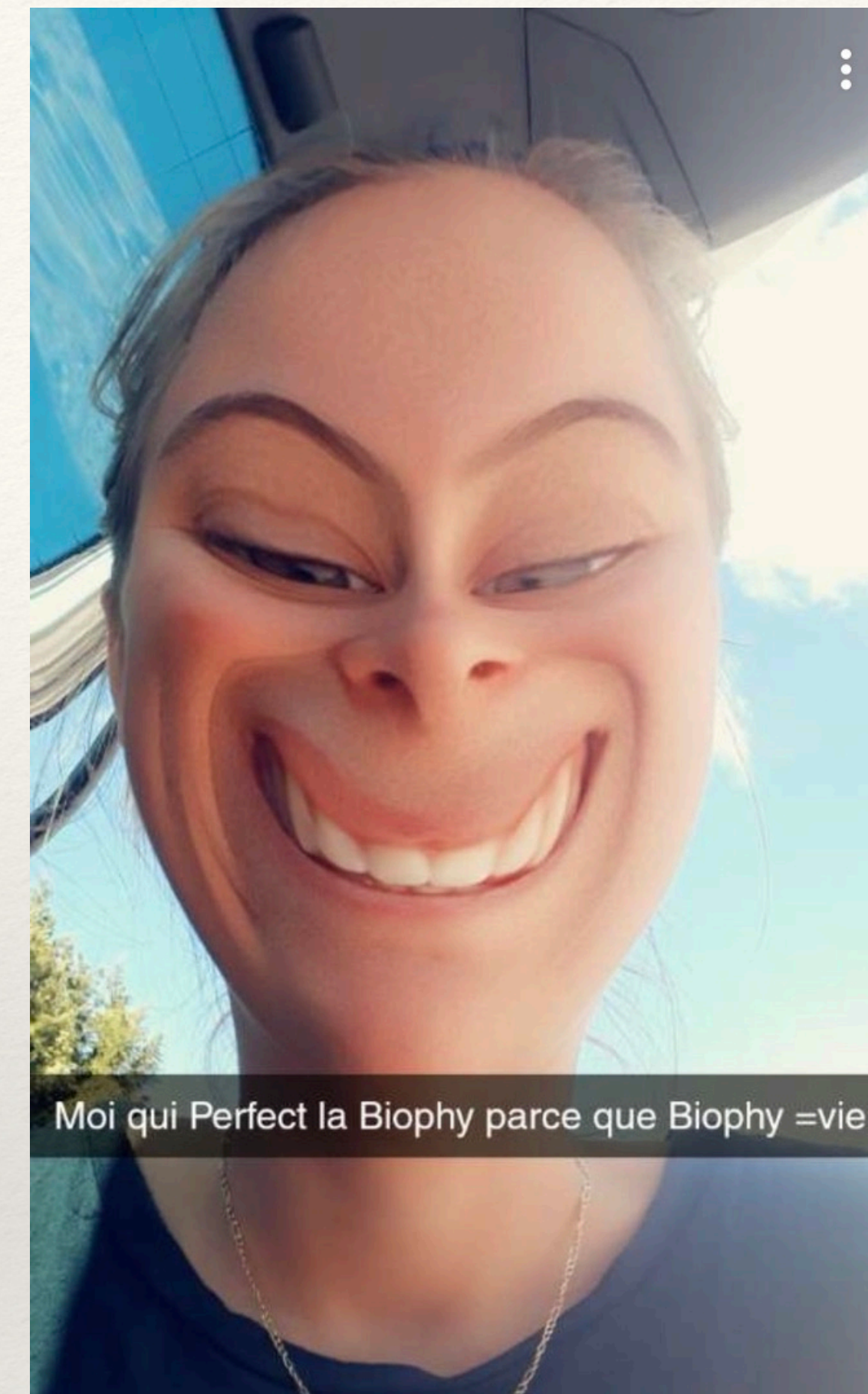
$$d1 = 3\sqrt{\frac{8}{2}}$$

$$d1 = 3\sqrt{4}$$

$$d1 = 3 \times 2$$

$$d1 = 6 \text{ mm}$$





**PLEIN DE COURAGE ÇA VA LE FAIRE!!**

**Vous aussi vous allez perfect la  
biophy (S1 + S2 ;) )**

**BISOUS A TRÈS VITE<3**