

# Biophysique circulatoire

- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

# I - Les fluides

**Milieu matériel facilement déformable** : capable de s'écouler

Statiques (caractérisés par une pression) ou dynamiques (par un débit)

- **Idéal** : pas de forces de frottement
- **Réel** : possédant une viscosité  $\eta$ , apparition des forces de frottement

**Newtonien** : viscosité constante à  $T^\circ$  donnée

**Non Newtonien** : viscosité varie à  $T^\circ$  donnée

On utilise alors une viscosité apparente : viscosité qu'aurait ce liquide s'il était Newtonien, dans les conditions de circulation données

# Fluide statique

- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

- Pression : force capable de provoquer une déformation

- Unité de la pression : **Pa = N.m<sup>-2</sup>**

$$1 \text{ mmHg} = 133 \text{ Pa}$$

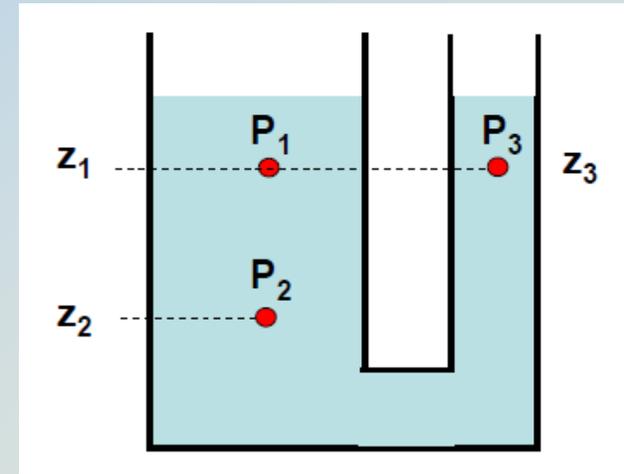
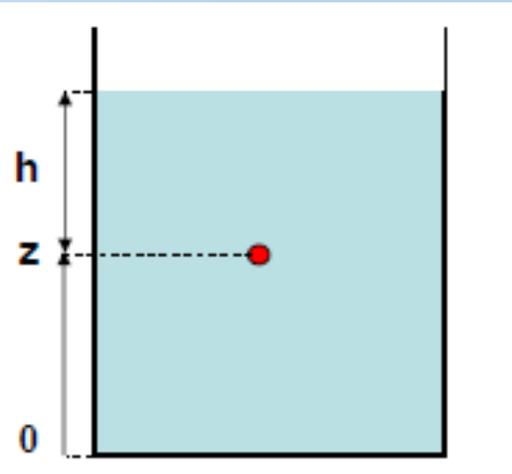
$$1 \text{ cmH}_2\text{O} = 100 \text{ Pa}$$

- **Loi de Pascal**  $P + \rho g z = \text{cste}$

$$P = \rho g h : \text{colonne de liquide au dessus}$$

$$\rho g z : \text{colonne de liquide en dessous}$$

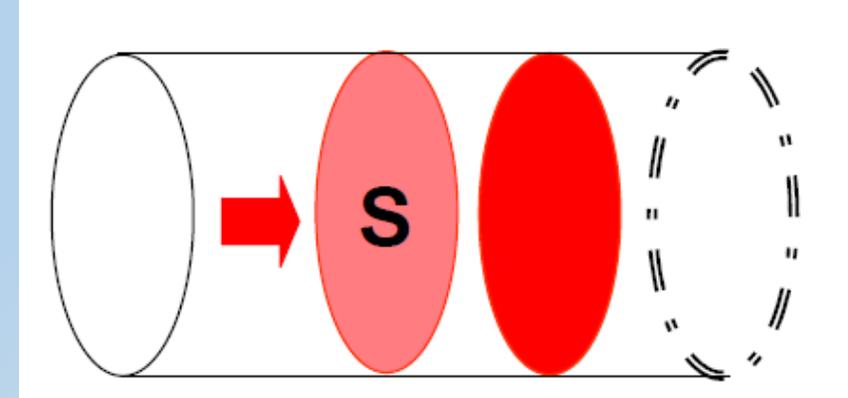
- $\Delta P = - \rho g \Delta z$



# Fluide idéal en mouvement

- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

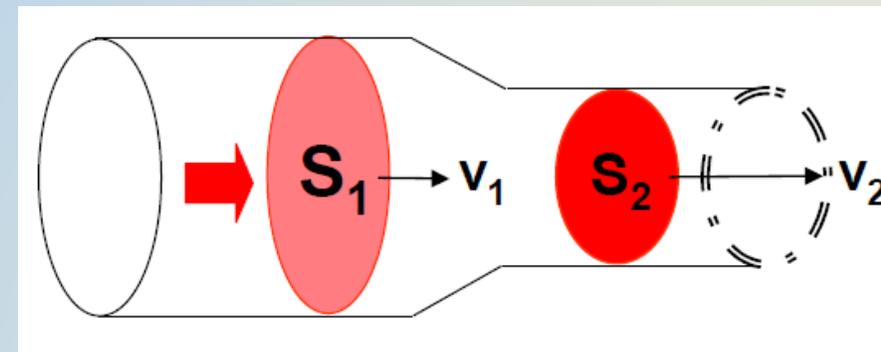
- Débit : volume de fluide traversant une section  $S$  par unité de temps.  $Q = S * v$  en  $m^3.s^{-1}$



- Continuité des débits: pour un fluide incompressible en régime stationnaire.

$$Q_1 = Q_2$$

$$S_1 * v_1 = S_2 * v_2 = Q = \text{cste}$$



- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

- **Bernoulli :**

La charge E d'un liquide idéal circulant à Q constant dans

un circuit est constante :  $P_{\text{stat}} + \rho g z + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cste}$

$P_{\text{stat}}$  : pression statique

$\rho g z$  : pression de pesanteur

$\frac{1}{2} \rho v^2$  : pression cinétique

- Si on a une variation du diamètre :
  - Effet venturi : diminution  $\rightarrow$  v augmente, P diminue
  - Augmentation  $\rightarrow$  v diminue, P augmente

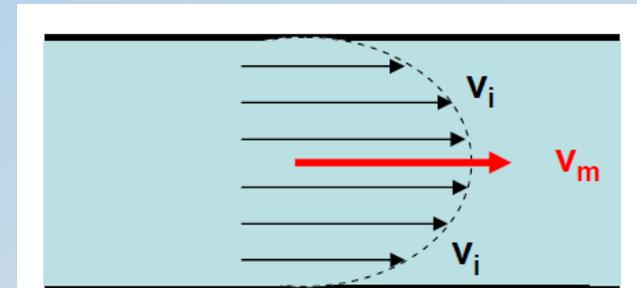
# Fluide réel en mouvement

- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

L'équation de Bernoulli n'est plus valable : une partie de l'énergie se dissipe sous forme de frottements à cause de la viscosité.

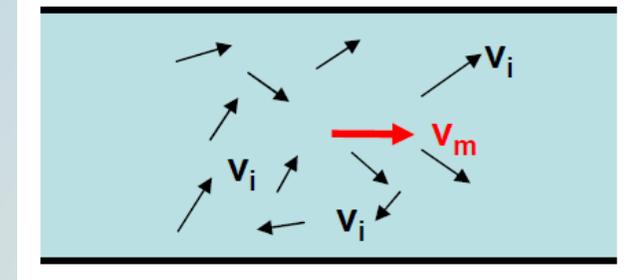
- **Écoulement laminaire** : silencieux

Lignes de courant parallèles, profil parabolique des vitesses



- **Écoulement turbulent** : souffle/bruits

Lignes de courant se croisent, aucune distribution systématisée



- **Reynolds** :  $\mathcal{R} = \frac{\rho d v_m}{\eta}$

< 2 000 écoulement toujours laminaire

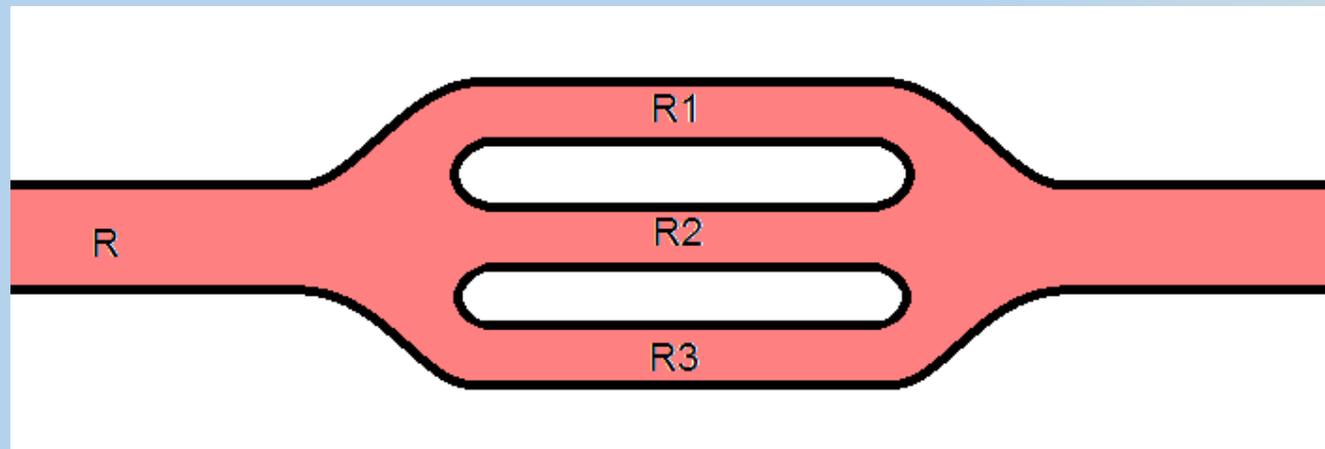
> 10 000 écoulement toujours turbulent

- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

Pour un fluide réel en écoulement laminaire :

• **Loi de Poiseuille**  $\Delta P = R * Q$

• Dans un circuit en parallèle :  $\frac{1}{Rt} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3} \rightarrow Rt = \frac{R1}{3}$



- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

## II - Le sang

- **Suspension de cellules dans une solution macromoléculaire, le plasma.**
- Plasma = phase liquide du sang non coagulé  
= Sérum + certaines protéines...

Sang coagulé = sérum + caillot

- **Hématocrite = Volume GR / Volume sanguin total**  
On le mesure sur un tube non coagulé

- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

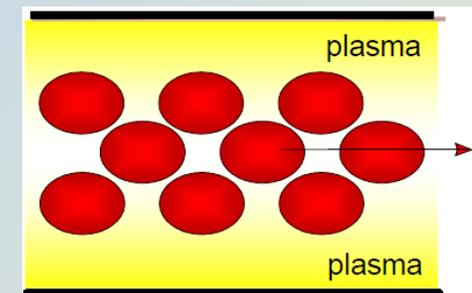
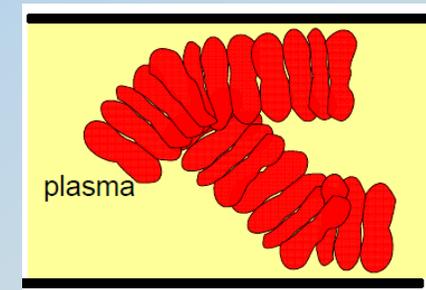
- Le plasma est une solution Newtonienne, le sang est un liquide non-Newtonien

- **Viscosité** : liée aux interactions intercellulaires

- Q faible : formation de rouleaux, augmentation de la viscosité

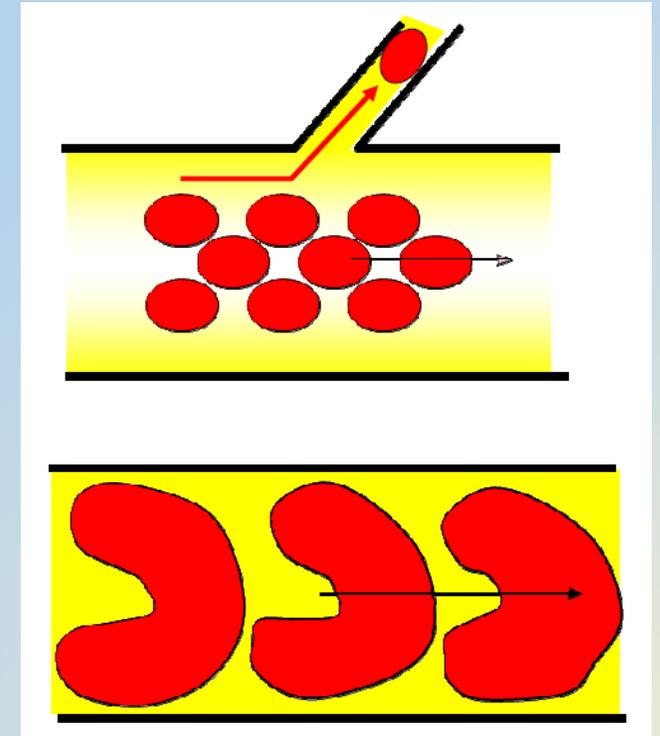
Q élevé : circulation axiale, diminution de la viscosité  
C'est la rhéofluidification.

- Hématocrite faible : viscosité diminuée



- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

- Dans les petits vaisseaux : diminution locale de l'hématocrite par écrémage
- Dans les capillaires  $< 8\mu\text{m}$  : mise en jeu de la viscosité intracellulaire

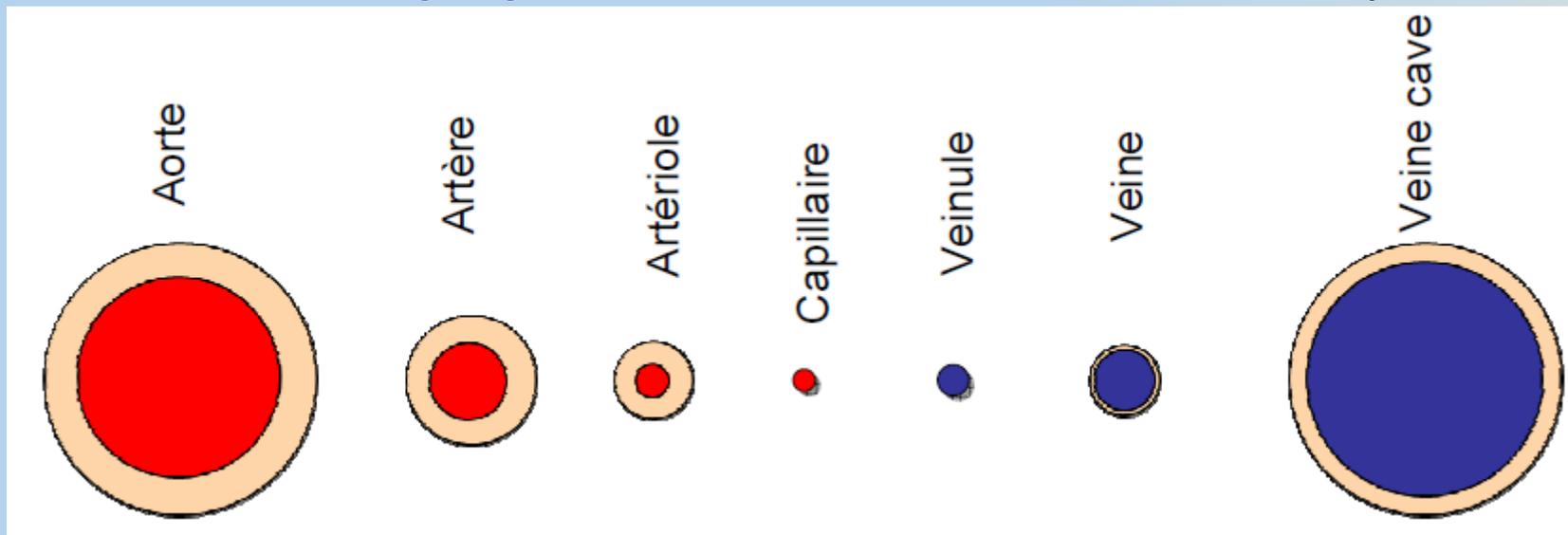


# III - Les parois vasculaires

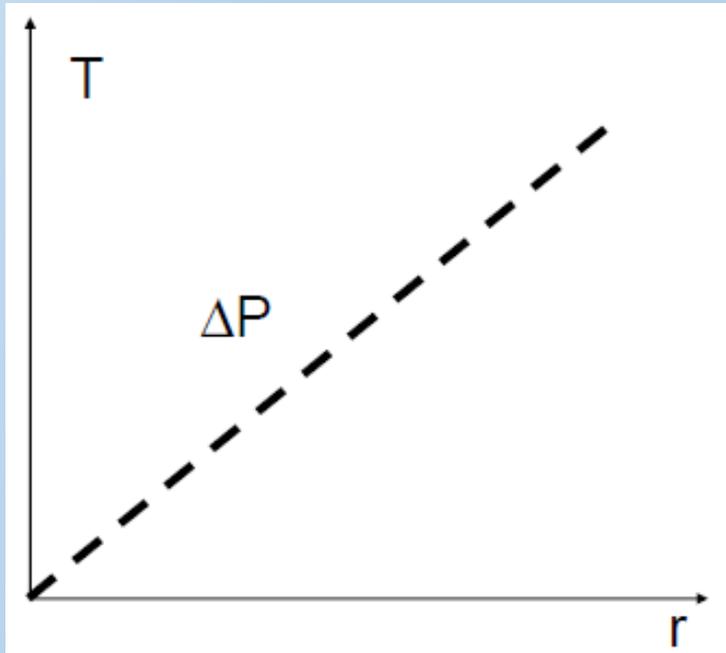
- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

- Elles sont toutes composées de
  - Fibres élastiques
  - Fibres musculaire
  - Fibres de collagène

Mais dans des **proportions différentes** -> caractéristiques différentes



- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle



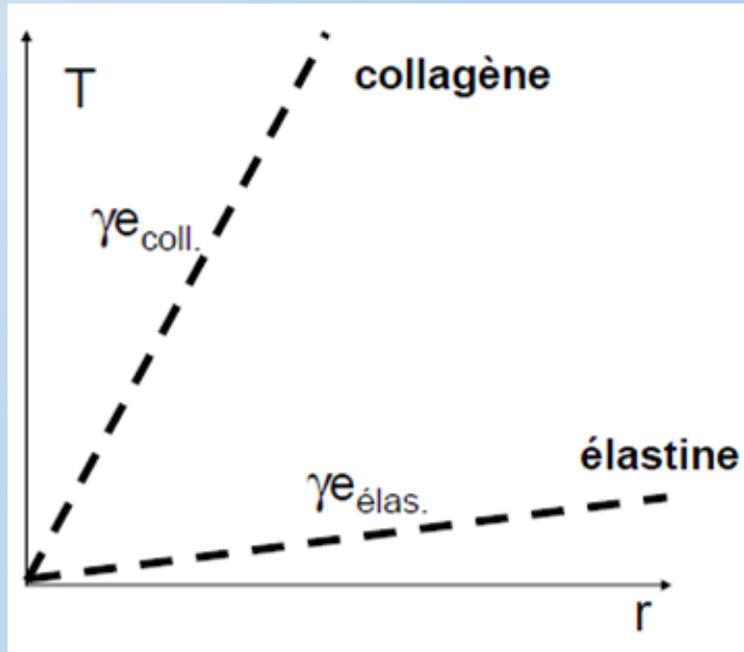
- **Loi de Laplace : relation tension-pression.**

Le gradient de pression transmural tend à dilater le vaisseau : varie avec le rayon.

Ce gradient de pression est contré par la tension du vaisseau.

$$T = \Delta P * r$$

- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

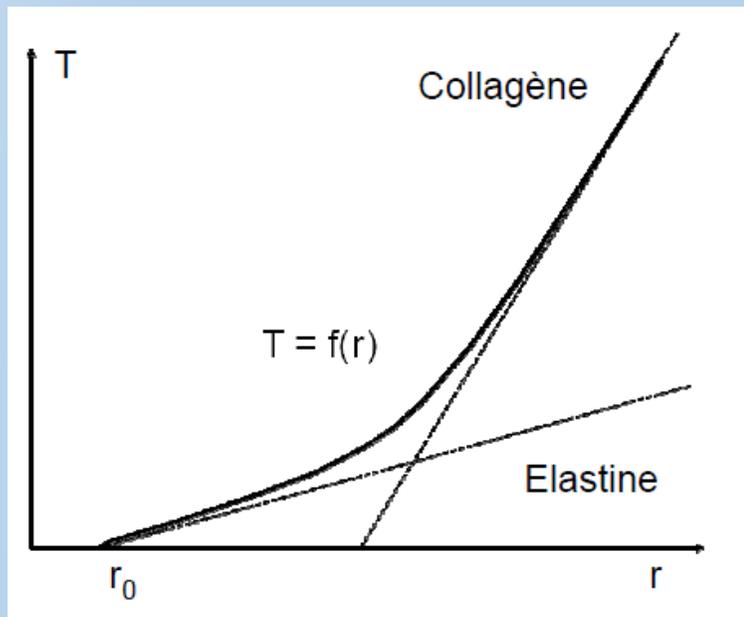


## Loi de Hooke : relation tension-élasticité.

Les propriétés élastiques des parois tendent à contracter le vaisseau : varie avec le type de vaisseau

Elastance collagène > élastance élastine

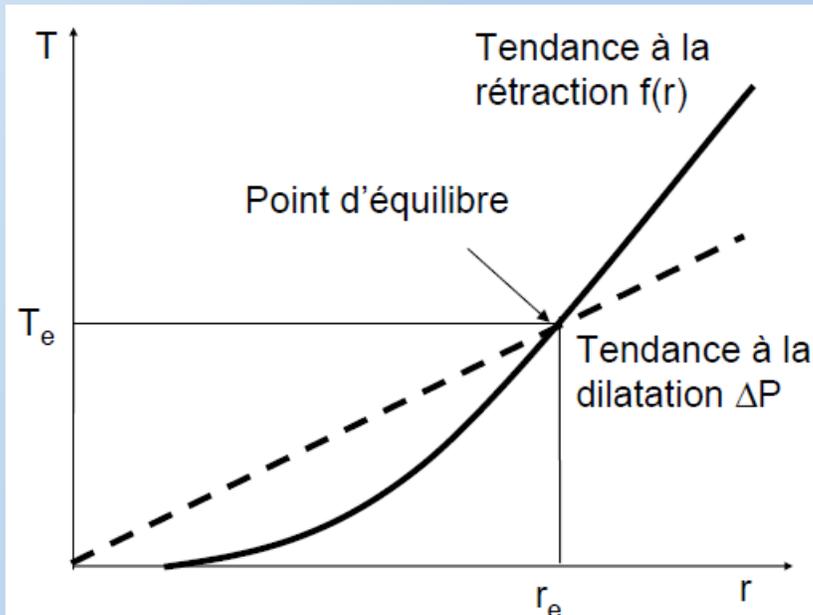
$$T = \gamma e \frac{\Delta L}{L}$$



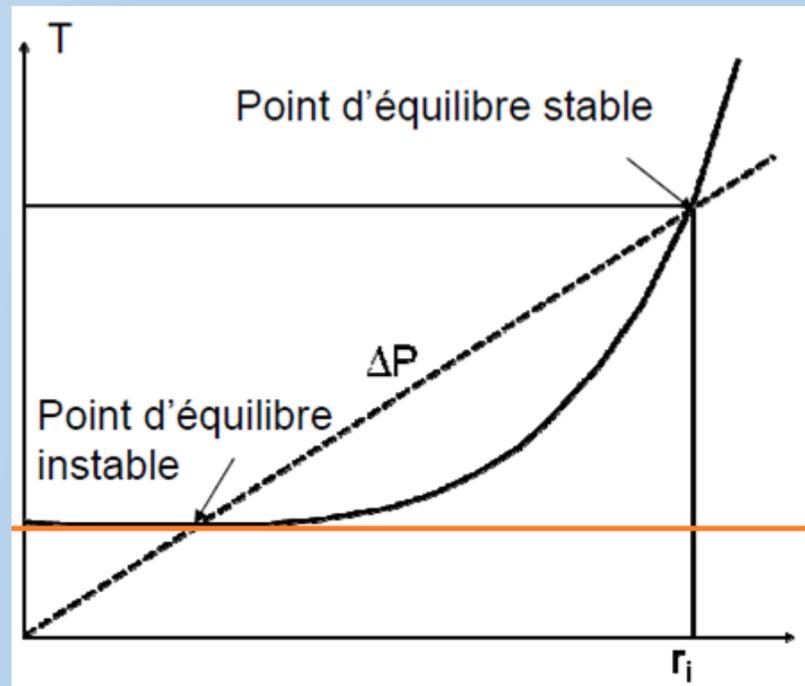
Pour un vaisseau pris dans son ensemble, la **loi de Hooke donne une relation caractéristique du vaisseau.**

- Utilisation des fibres d'élastine en premier
- Utilisation plus tardive des fibres de collagène

- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle



La force élastique et la tension s'opposent et, **pour les vaisseaux élastiques, donnent un seul point d'équilibre.**



**Pour les vaisseaux musculo-élastiques, on a deux points d'équilibre** car on a un tonus musculaire de base, indépendant de  $r$ .

# IV - Mesure de la pression artérielle

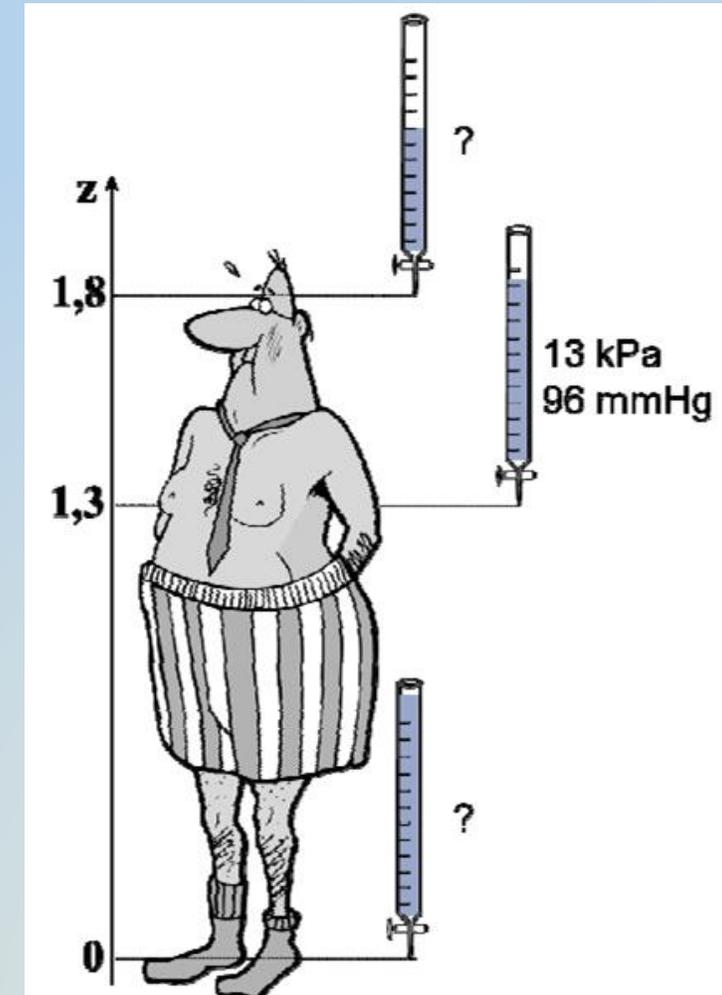
- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

La PA varie selon l'endroit où on la mesure lorsqu'on est debout : il y a action de la pression de pesanteur. La **valeur de référence est celle au niveau du cœur**. La PA moyenne au niveau du cœur est **13 kPa**.

$$PA = 13\text{kPa} - \Delta P$$

$$\Delta P = -\rho g \Delta z = -\rho g (z_1 - z_2) \text{ avec } z_1 \text{ hauteur du cœur.}$$

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{Au niveau de la tête, } PA &= 13\,000 - (-1000 \cdot 10 \cdot (1,3 - 1,8)) \\ &= 13\,000 - (-10\,000 \cdot (-0,5)) \\ &= 13\,000 - 5\,000 = 8\text{ kPa.} \end{aligned}$$



- ✓ I – Les fluides
- ✓ II – Le sang
- ✓ III – Les parois vasculaires
- ✓ IV – Mesure de la tension artérielle

## Mesure indirecte de la PA avec le stéthoscope :

- Silence : pas de flux ou flux laminaire
- Bruit/souffle : flux turbulent

**Création artificielle d'une sténose** par compression de l'artère.

