




BIOPHYSIQUE DE LA  
CIRCULATION COURS 1:

Totoone

SIGN IN

START

MENU



# SOMMAIRE

1/ Statique d'un fluide

2/ Dynamique d'un fluide

3/ Dynamique d'un fluide réel

# DEFINITIONS

**Fluide** : milieu matériel déformable sans forme propre et qui s'écoule

- **2 milieux** :

- **Gazeux** :  **$E_{\text{cinétique}} \gg E_{\text{liaison}}$**  ; distances variables des molécules ; **compressible**
- **Liquide** :  **$E_{\text{c}} \approx E_{\text{l}}$**  ; molécules liées, distance restreinte; supposé **incompressible**

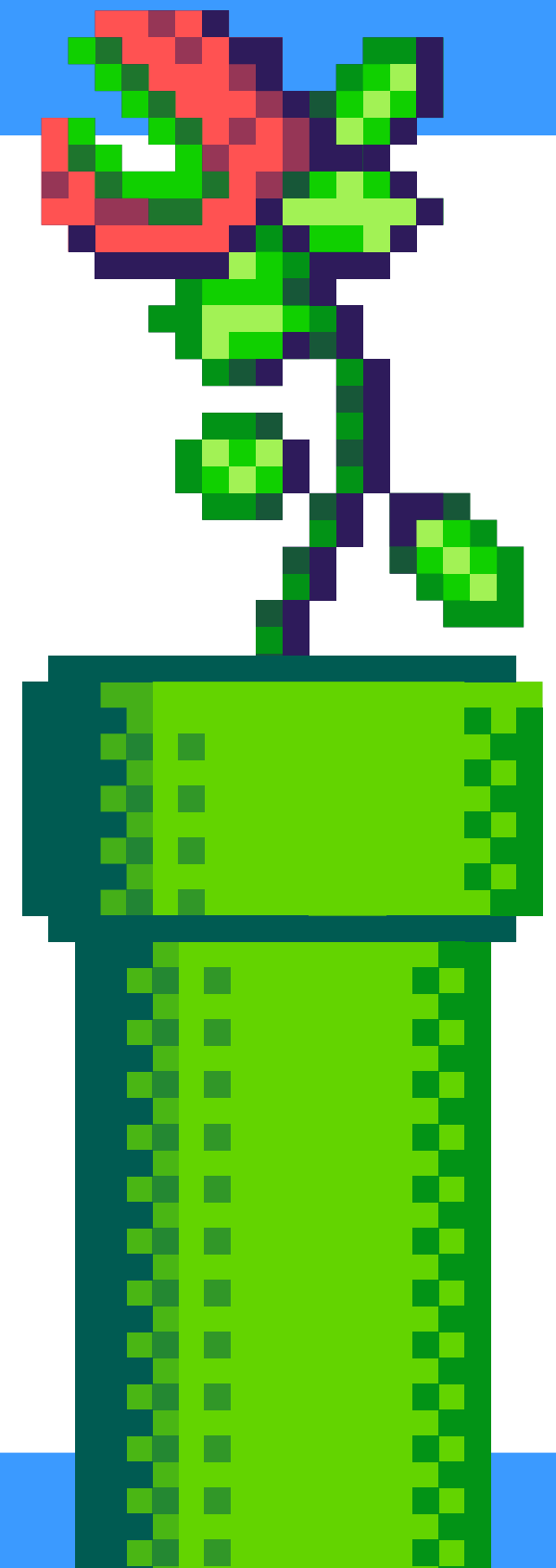
- **2 catégories** :

- **Parfait (=idéal)** : pas de frottements
- **Réel** : phénomène de frottements = viscosité



# DEFINITIONS

- **Statique des fluides:**
  - immobile
  - caractérisé par une pression
  - idéal ou réel = comportement identique
- **Dynamique des fluides :**
  - en mouvement
  - caractérisée par un débit
  - idéal ou réel = comportement différent



# STATIQUE D'UN FLUIDE

Fluides immobiles **caractérisés par une pression ++**

**Pression** : poids de la colonne de fluide qui s'appuie contre cette paroi.

-Formule :  $[P] = [F]/[S] = [E]/[V]$ .      -Unité (S.I) : Pascal

-Autres Unités : 1 bar =  $10^5$  Pa ; mmHg ; cmH<sub>2</sub>O



# STATIQUE D'UN FLUIDE



## Types de pressions:

- **Relative** : effet de la colonne de liquide - >  $\Delta P = \rho g h$
- **Absolue** : pression de l'ensemble des fluides ( $P_{atm} + P_{relative}$ )
- **Atmosphérique** : **1013 hPa** ++ diminue de moitié quand on atteint les 5000m d'altitude.

# STATIQUE D'UN FLUIDE

## Lois de Pascal :

### **Principe :**

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

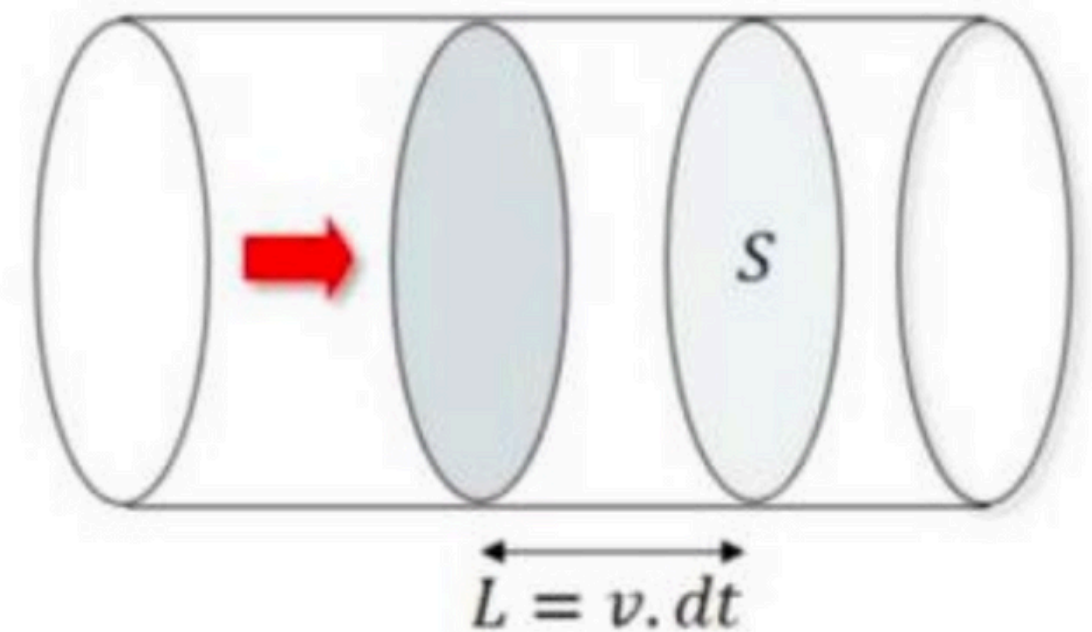
### **Lois :**

La pression est:

1. La même dans toutes directions et indépendante de l'orientation du capteur
2. La même en tous points de même profondeur
3. La différence de pression  $dP$  entre 2 points est proportionnelle à la diff de hauteur entre ces 2 points

# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE IDÉAL

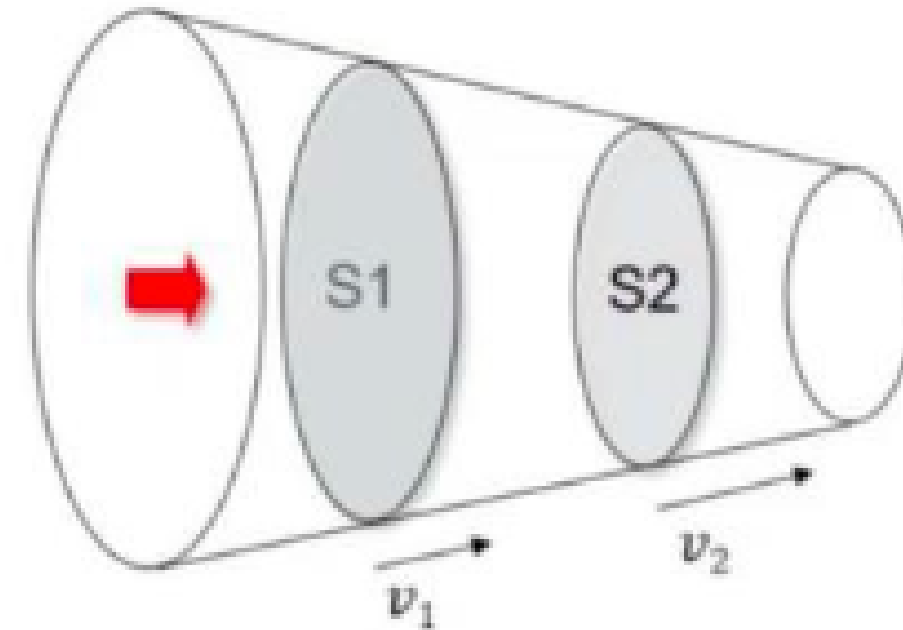
- **Débit** : volume de fluide qui traverse une **section S** par unité de temps
- $Q = V/dt$
- Relation Débit – Vitesse d'écoulement :
- On sait que  $V = S.L$
- D'où  $Q = S.v$



# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE IDÉAL

## Hypothèses:

- Incompressibilité :  $\rho = \text{cte}$
- Régime stationnaire :  $v = \text{cte}$
- La section est variable
- $Q_1 = Q_2 = Q \Rightarrow S_1 v_1 = S_2 v_2 = \text{cste} = Q$



**$Q = S.v = \text{cste}$  donc si  $S \nearrow$  alors  $v \searrow$  et si  $S \searrow$  alors  $v \nearrow$**

# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE IDÉAL

## Equation de Bernoulli:

### fluide idéal

hypothèses :

- Incompressibilité  $\rightarrow \rho$  constante
- Fluide idéal/parfait  $\rightarrow$  pas de frottement, la viscosité est nulle

3 types d'énergies :

**E1 de pesanteur** (liée à la hauteur) =  $mgh$     **E2 cinétique** (liée à la vitesse) =  $\frac{1}{2}mv^2$

**E3** de pression statique =  $P.V$

# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE IDÉAL

Equation de Bernoulli:

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

$$E_t = \rho V g h + \frac{1}{2} \rho V v^2 + PV$$

$$E_t / V = \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 + P$$

Donc:  $P_t = \rho g h + \frac{1}{2} \rho v^2 + P = \text{cte}$

Rappels:

$$(\rho = m / V):$$

$$P = E / V$$

PLAY

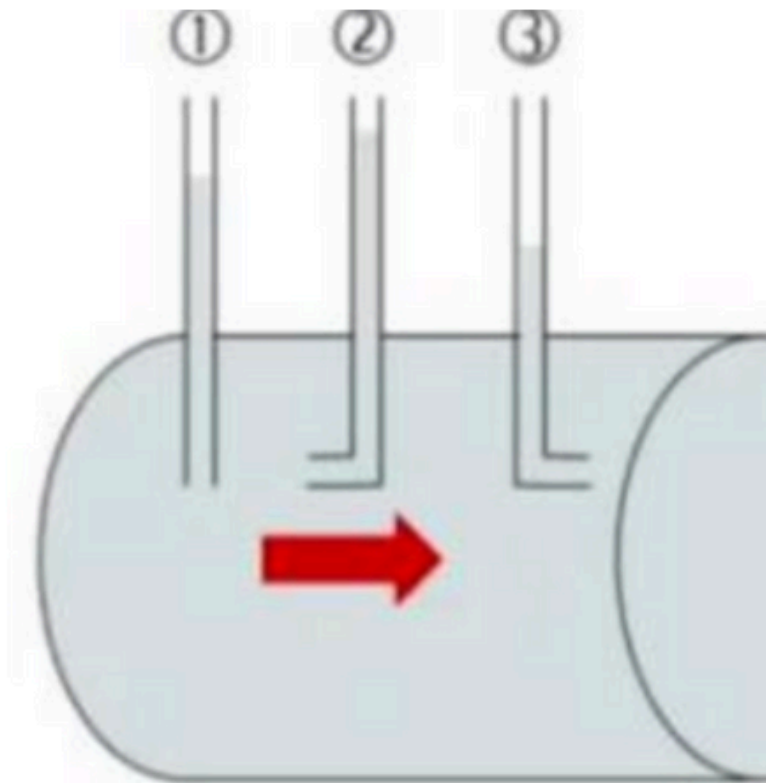
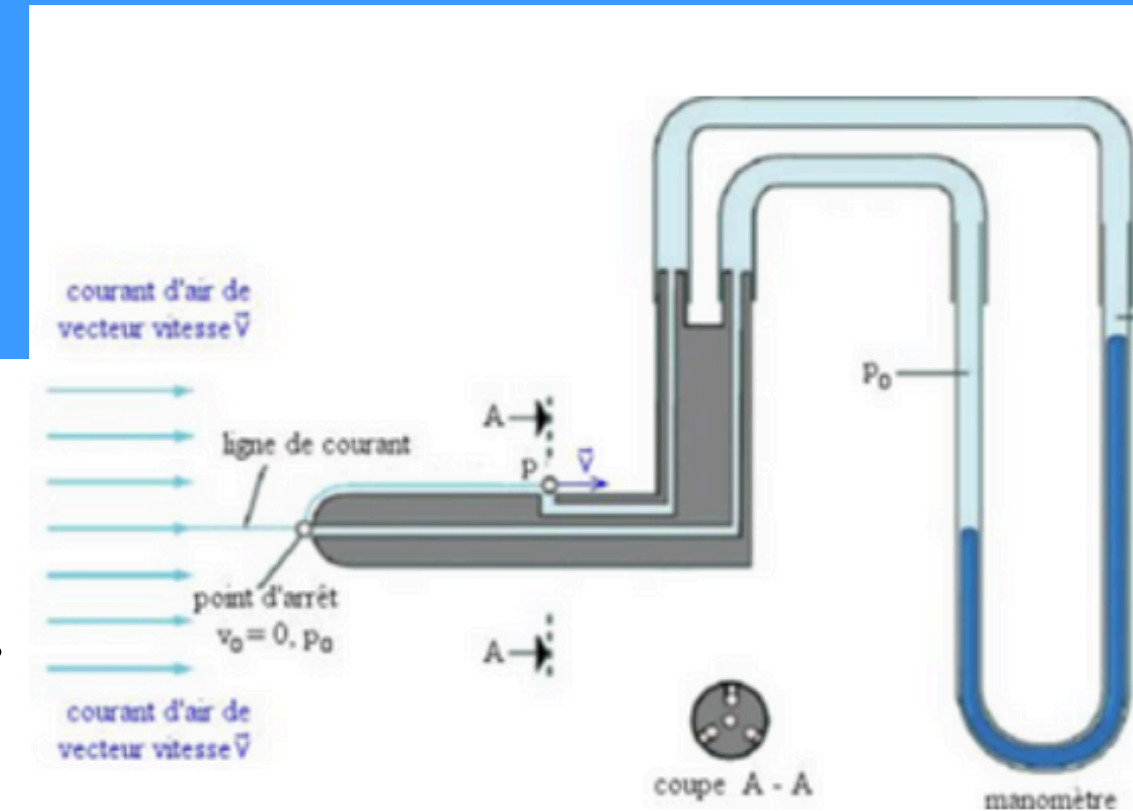
# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE IDÉAL

## Mesure de pression dans un conduit :

Les valeurs mesurées dépendent de l'orientation du capteur.

### 3 types de mesures :

- Capteur **perpendiculaire** au courant  $\rightarrow$  **P latérale (=statique) : P**
- Capteur **face** au courant  $\rightarrow$  **P terminale :  $P_T = P + \frac{1}{2} \rho v^2$**
- Capteur **dos** au courant  $\rightarrow$  **P d'aval :  $P_A = P - \frac{1}{2} \rho v^2$**

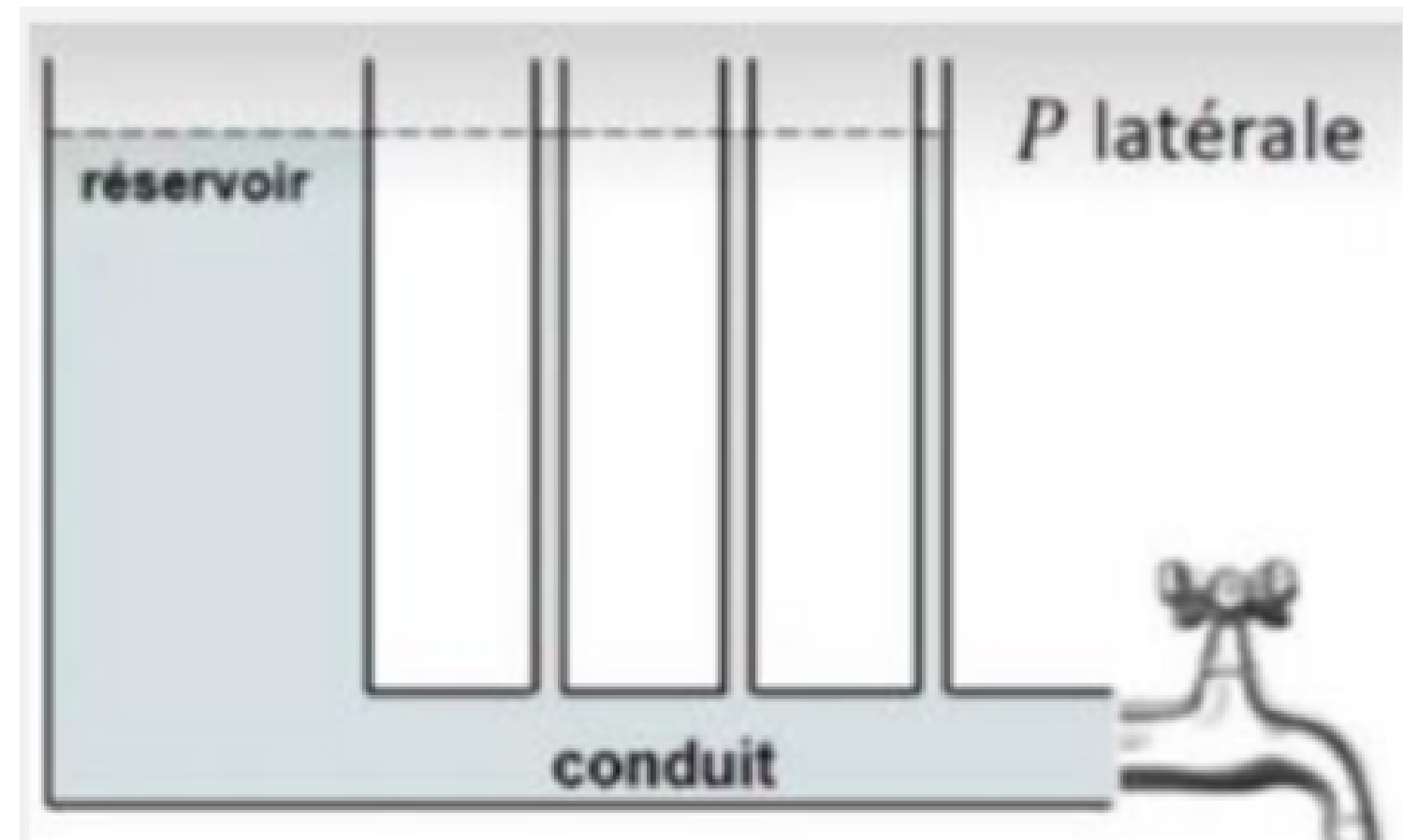


# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE IDÉAL

## Écoulement horizontal (condition statique)

- Liquide ne s'écoule pas => **lois Pascal** =>  $P$  la même en tout point de même profondeur
- Permet d'obtenir  **$P$  latérale**  
= à celle dans le réservoir

**La pression latérale est  
toujours la même !**



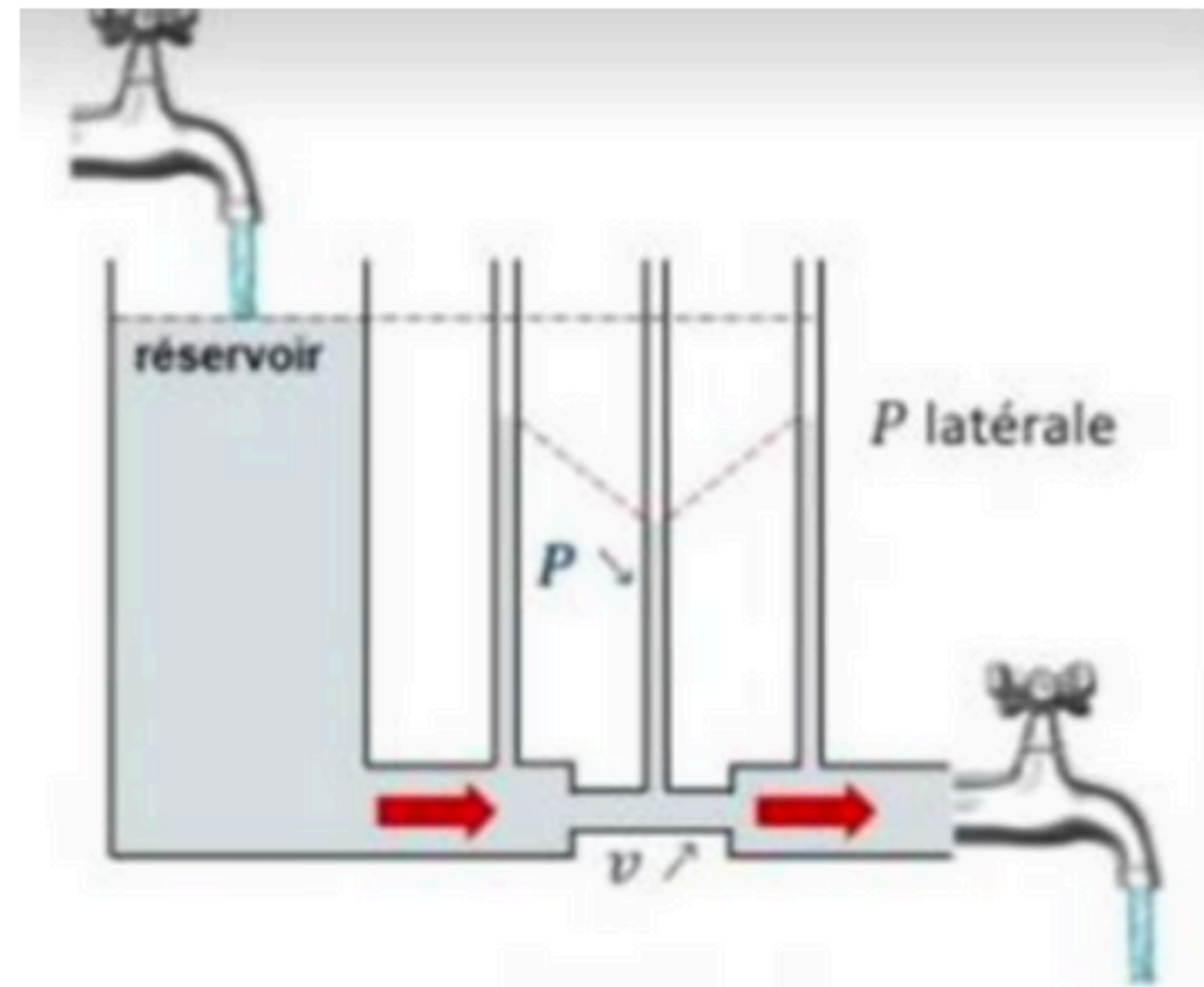


# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE IDÉAL

## Écoulement horizontal (variation de section):

- Si  $S \searrow$  alors  $v \nearrow$ . (rappel  $Q=Sv$ )
- or  $P = cte - \frac{1}{2} \rho v^2$
- $\frac{1}{2} \rho v^2 \nearrow$  ( $P \searrow$ ).  $P \searrow$

C'est **l'effet Venturi**



# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE RÉEL

**Perte de charge** liée à la **viscosité** (correspond aux frottements des molécules du fluide entre elles).

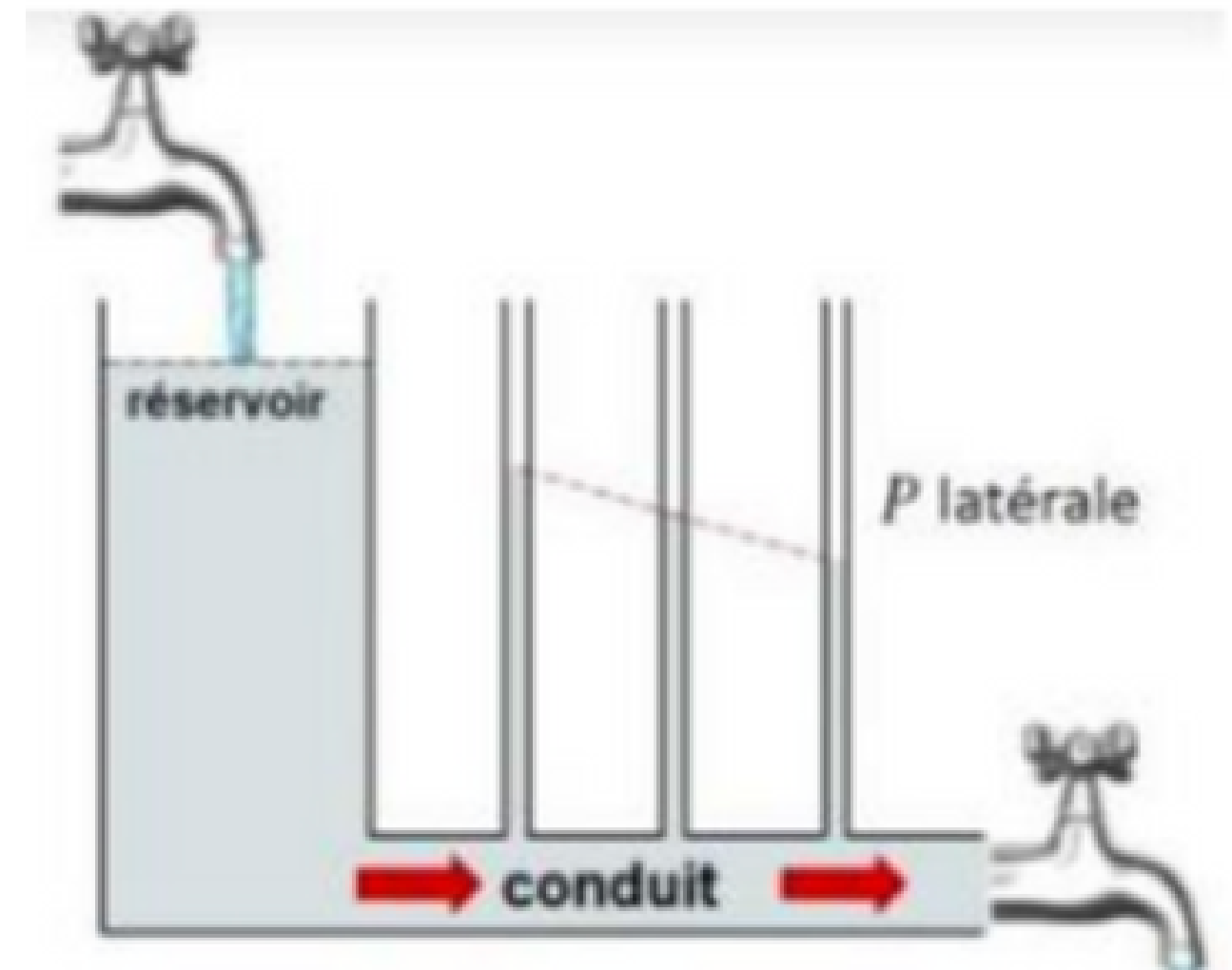
Consommation d'énergie dissipé en **chaleur**

Ainsi, l'équation de Bernoulli **n'est plus vérifiée** :

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

$$P_t = \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 + P \neq \text{cste}$$

**P latérale n'est plus constante**



# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE RÉEL

**viscosité**  $\longrightarrow$  **perte de charge.**

La force de frottement:  $\mathbf{F} = \eta \mathbf{S} dv / dx$

**2 catégories de fluides :**

- **Newtonien** (ex : **eau**) :  $\eta$  varie avec T. Si T  $\nearrow$  alors  $\eta \searrow$

- **Non-newtonien** (ex **sang**) :  $\eta$  varie avec T et  $dv/dx$

Si  $\frac{dv}{dx} \nearrow$  alors  $\eta \searrow$

# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE RÉEL

## 2 régimes d'écoulement d'un fluide réel:

### Écoulement laminaire

- $v$  faible
- $\eta \rightarrow$  facteur cohérence
- Ligne parallèle
- $v$  max au centre
- Fine couche immobile
- **Profil parabolique des vitesses**

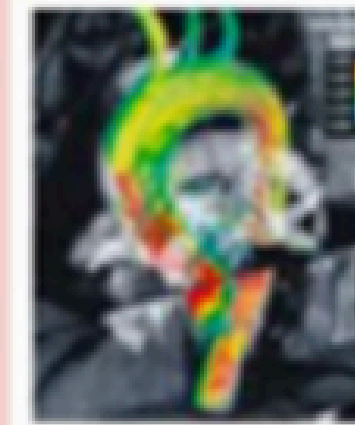
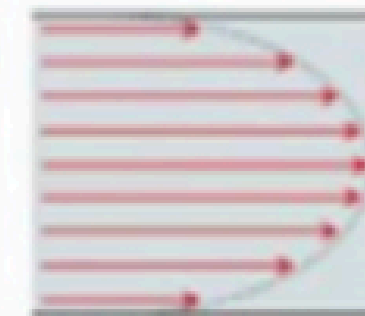


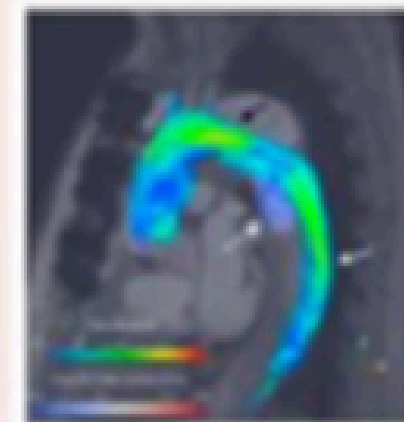
Image IRM des vitesses de la crosse aortique en couleur



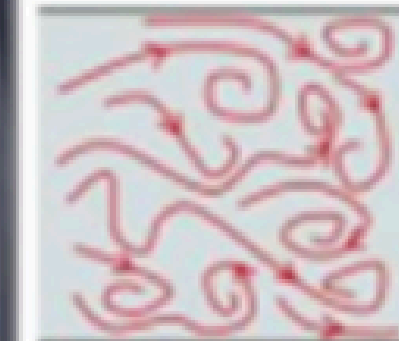
Répartition parabolique des vitesses

### Écoulement turbulent

- $v$  moyenne ou élevée
- $\eta \rightarrow$  ~~facteur cohérence~~
- désordonnée
- Trajectoire tourbillonnante
- **Pas de distribution systématisée des vitesses**



Plus de répartition parabolique des vitesses  $\rightarrow$  témoigne d'un flux turbulent dans cette aorte



# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE RÉEL

## Frontières entre les 2 régimes

• 1/ La **vitesse** moyenne d'écoulement  $v$

• 2/ Le **diamètre**  $d$  du conduit

• 3/ La **masse volumique**  $\rho$

• 4/ La **viscosité**  $\eta$

Si ils **augmentent** on  
tend vers la  
**turbulence**

Si elle **diminue** on tend vers la  
**turbulence**

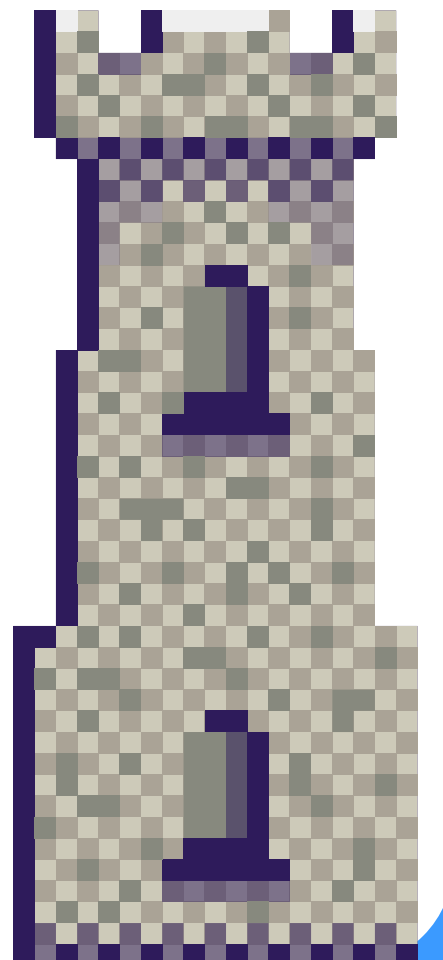
$$Re = \frac{\rho dv}{\eta}$$

# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE RÉEL

## Nombre de Reynolds

Nombre empirique **sans unité** → seuil entre régime 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**



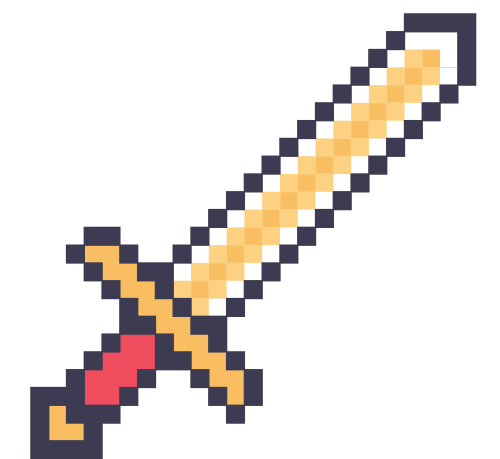
# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE RÉEL

## Loi de Poiseuille

Concerne **fluides réels** en écoulement **laminaire** seulement

On a :  **$P_t = \rho gh + \frac{1}{2} \rho v^2 + P + \text{chaleur} = \text{cste}$**

- Horizontal :  $\rho gh = \text{cste}$
- Section constante :  $\frac{1}{2} \rho v^2 = \text{cste}$
- Seul P peut varier :  $P_t = P + \text{chaleur} = \text{cste}$



# DYNAMIQUE D'UN FLUIDE RÉEL

## Loi de Poiseuille

Concerne **fluides réels** en écoulement **laminaire** seulement

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

Avec :

n = nombre de capillaire.

L = longueur

r = rayon

$\eta$  = viscosité

Q = débit



