

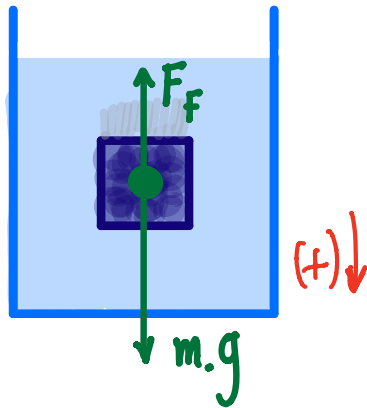
HYDRODYNAMIQUE

PGC-15

POUSSÉE D'ARCHIMÈDE

$$\vec{F}_F = \underbrace{m_e}_{\rho_e \cdot V} \cdot \vec{g}$$

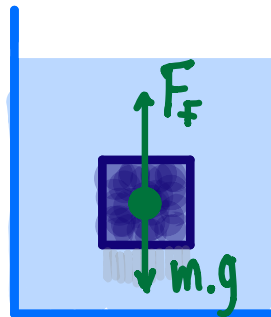
$$\rho_{\text{obj}} > \rho_{\text{fluide}}$$



L'objet coule

$$\sum F = m_o \cdot g - m_e \cdot g \quad (+)$$

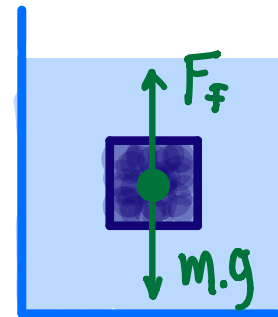
$$\rho_{\text{obj}} < \rho_{\text{fluide}}$$



L'objet flotte

$$\sum F = m_o \cdot g - m_e \cdot g \quad (-)$$

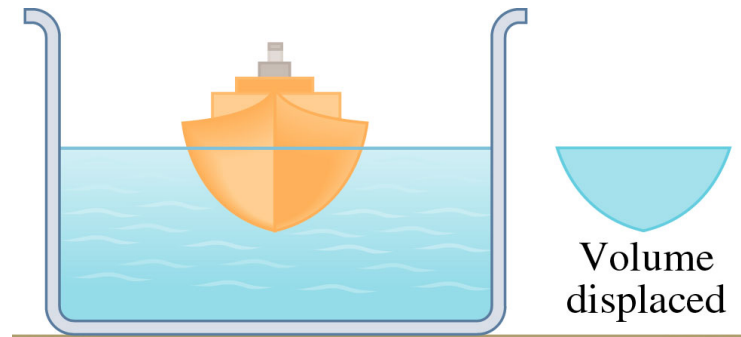
$$\rho_{\text{obj}} = \rho_{\text{fluide}}$$



“Flottabilité Neutre”

$$\sum F = 0$$

FLOTTABILITÉ



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

Quelles sont des conditions pour que le bateau flotte?

(a) Volume du bateau $>$ volume d'eau déplacé

(b) Poids de l'eau déplacé \geq poids du bateau

(c) Poids de l'eau déplacé $<$ poids du bateau

(d) Masse volumique moyenne du bateau $<$ masse volumique moyenne de l'eau

EXEMPLE – LA PRESSION MANOMÉTRIQUE

Un buveur aspire de l'eau grâce à une paille. Sa bouche est à 15 cm au-dessus de la surface du liquide. Que doit être la pression absolue dans la bouche? Quelle est la pression manométrique correspondante?

$$h = 15 \text{ cm} = 0.15 \text{ m}$$

$$\rho = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

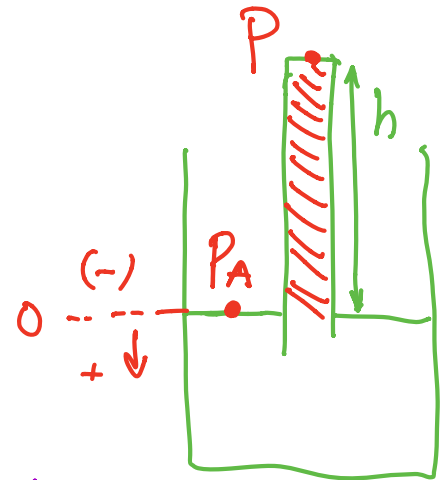
$$P = ? \quad P_M = ?$$

$$P_A = 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P = P_A - \rho g h = \dots = 0.998 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$P_M = P - P_A = -1.53 \times 10^3 \text{ Pa}$$

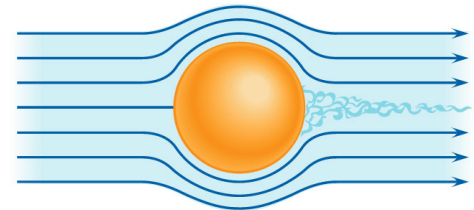
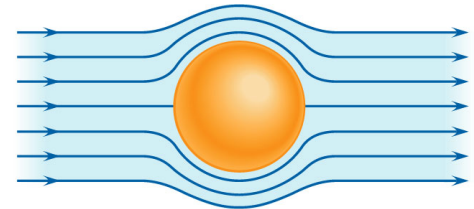
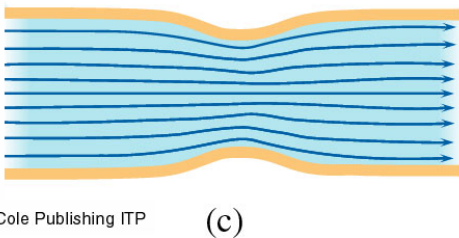
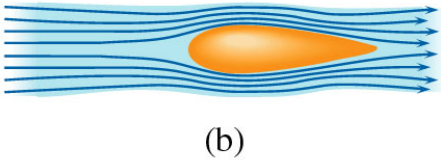
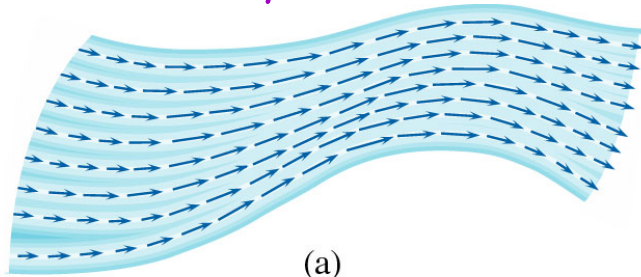
(= $\rho g h$) mais attention, pas général
cf. quand écoulement!



HYDRODYNAMIQUE

ÉCOULEMENT D'UN FLUIDE

LAMINAIRE

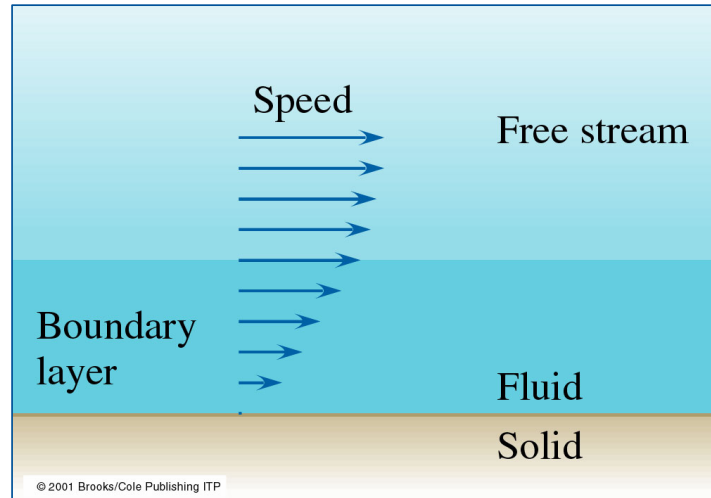


© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

TURBULENT

ÉCOULEMENT D'UN FLUIDE

viscosité \Leftrightarrow fluide réel!

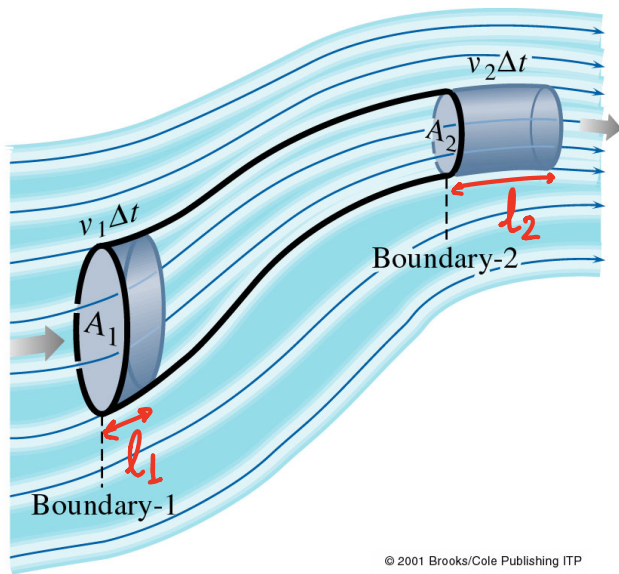


FLUIDE PARFAIT

- Incompressible
 - Non visqueux
 - Écoulement laminaire
-
- Équation de continuité
 - Conservation d'énergie → équation de Bernoulli

Comment un liquide s'écoule dans un volume confiné. (tuyau, veine).

ÉQUATION DE CONTINUITÉ



© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

$$\Delta t \quad \left. \begin{array}{l} l_1 = v_1 \cdot \Delta t \\ l_2 = v_2 \cdot \Delta t \end{array} \right\} \times$$

$$v_1 = v_2 \Rightarrow A_1 \cdot l_1 = A_2 \cdot l_2 \neq$$

$$A_1 \cdot v_1 \cdot \Delta t = A_2 \cdot v_2 \cdot \Delta t \Rightarrow$$

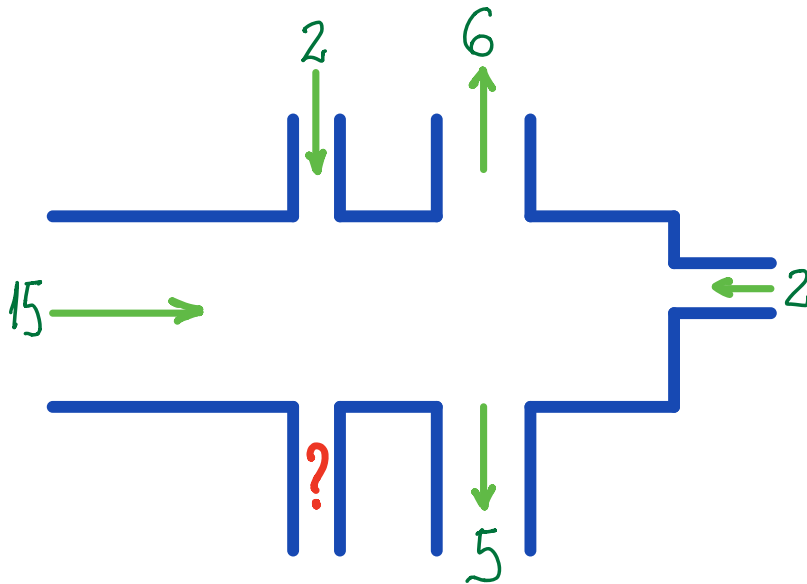
$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$J = A \cdot v \quad \text{Débit Volumique}$$

$$[J] = \text{m}^3/\text{s}$$

$$J = A \cdot v = A \cdot \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$$

QUESTION – LE DÉBIT VOLUMIQUE

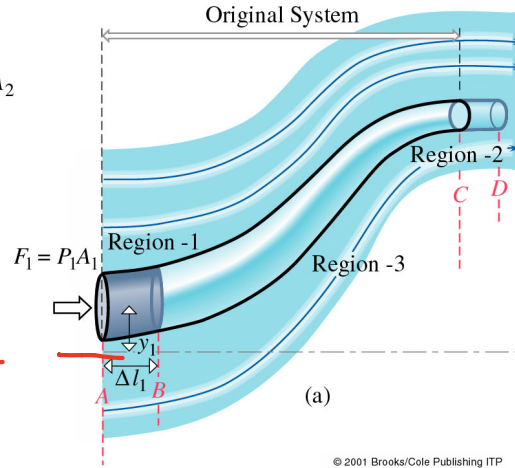
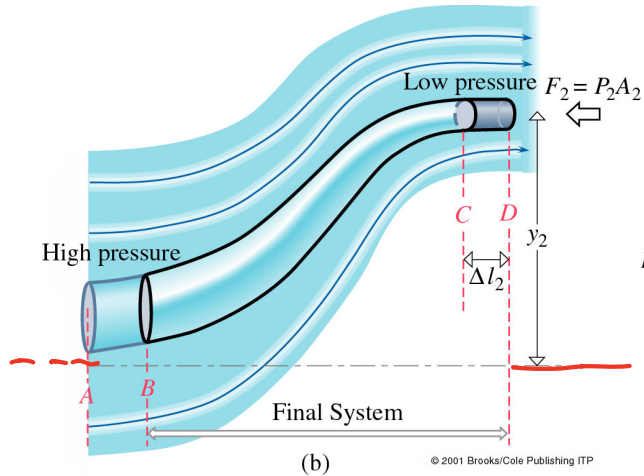


Débit volumique
en cm^3/s

$$? = 8 \text{ cm}^3/\text{s}$$

"OUT"

CONSERVATION D'ÉNERGIE: L'ÉQUATION DE BERNOULLI



Travail fourni = variation ÉMECANIQUE

$$\Delta W = \Delta E_{cin} + \Delta E_p$$

CONSERVATION D'ÉNERGIE: L'ÉQUATION DE BERNOULLI

$$W_1 = F_1 \cdot \Delta l_1 = P_1 \cdot A_1 \cdot \Delta l_1 \Rightarrow W_1 = P_1 \cdot V_1 \quad v_1 = v_2 = v$$

$$W_2 = P_2 \cdot V_2 \Rightarrow \text{Travail Fourni!}$$

$$\Delta W = W_1 - W_2 = (P_1 - P_2)V \Rightarrow \Delta W = (P_1 - P_2)V \quad (1)$$

$$\Delta E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2 \quad m = \rho V \Rightarrow \Delta E_{\text{cin}} = \frac{1}{2} \rho V (v_2^2 - v_1^2) \quad (2)$$

$$\Delta E_p = m g y_2 - m g y_1 \quad m = \rho V \Rightarrow \Delta E_p = \rho V g (y_2 - y_1) \quad (3)$$

①, ②, ③ ⇒

$$\Delta W = \Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_p \Rightarrow (P_1 - P_2)V = \frac{1}{2} \rho V (v_2^2 - v_1^2) + \rho V g (y_2 - y_1) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 \Rightarrow$$

CONSERVATION D'ÉNERGIE: L'ÉQUATION DE BERNOULLI

$$\Rightarrow P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho g y = \text{constante.} \quad \text{Eq. Bernoulli}$$

$$\text{Si: } v_1 = v_2 : \quad (P_1 - P_2) = \rho g (y_2 - y_1)$$

ie pour même hauteur:
même pression!

Si NON: $v_1 \neq v_2$.

EXEMPLE - SYSTÈME D'IRRIGATION

$$P = P_M + P_A \Rightarrow P = 176300 \text{ Pa.}$$

↑ La pression absolue!
Non manométrique.

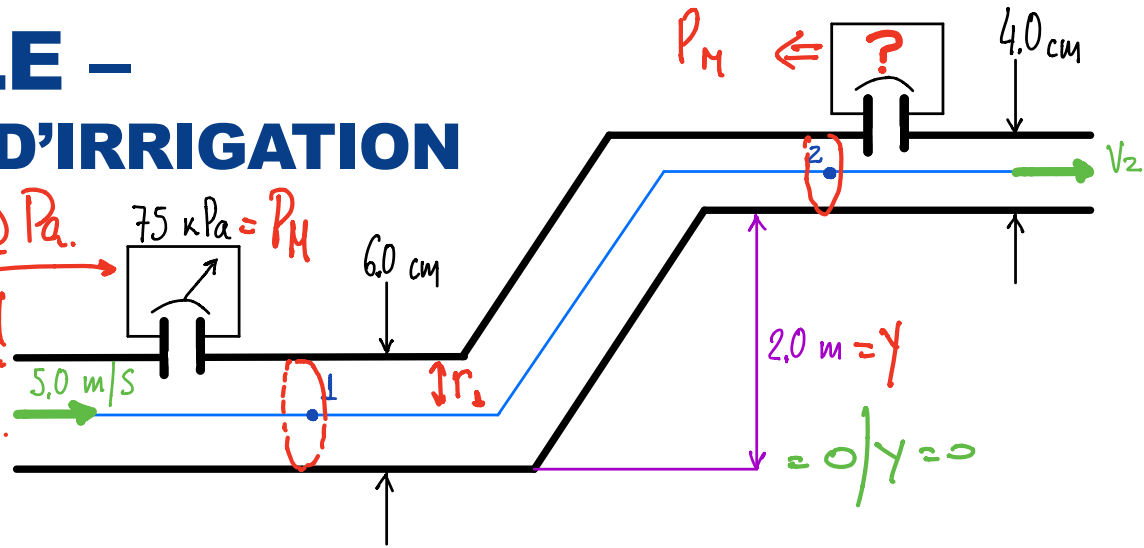
$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{const}$$

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \Rightarrow v_2 = \frac{v_1 A_1}{A_2} = v_1 \frac{\pi r_1^2}{\pi r_2^2} \Rightarrow v_2 = \frac{v_1 r_1^2}{r_2^2}$$

$$P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g y_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g y_1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow P_2 = P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 - \frac{1}{2} \rho v_2^2 - \rho g y \Rightarrow P_2 = 105900 \text{ Pa}$$

$$\Rightarrow P_M = P_2 - P_A = 4.6 \text{ kPa.}$$



EFFET VENTURI

La région d'un fluide forcée à se déplacer rapidement, devient le siège d'une pression inférieure à celle d'une partie du fluide qui se déplace plus lentement.

Eq. Cont. $v_2 > v_1$.

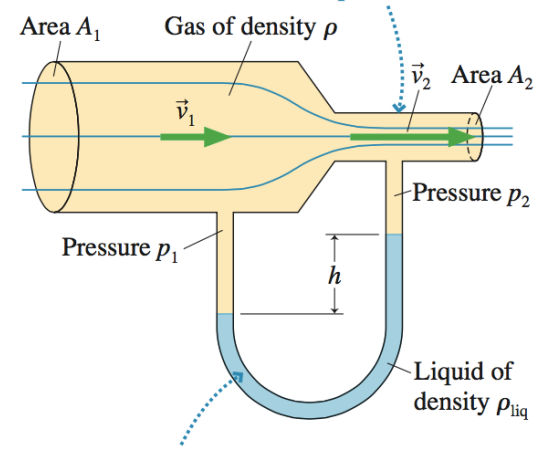
Eq. Bern. $y_1 = y_2 :$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

$$P_2 < P_1$$

Augmente vitesse fluide \Leftrightarrow Diminue Pression

1. As the gas flows into a smaller cross section, it speeds up (equation of continuity). As it speeds up, the pressure decreases (Bernoulli's equation).

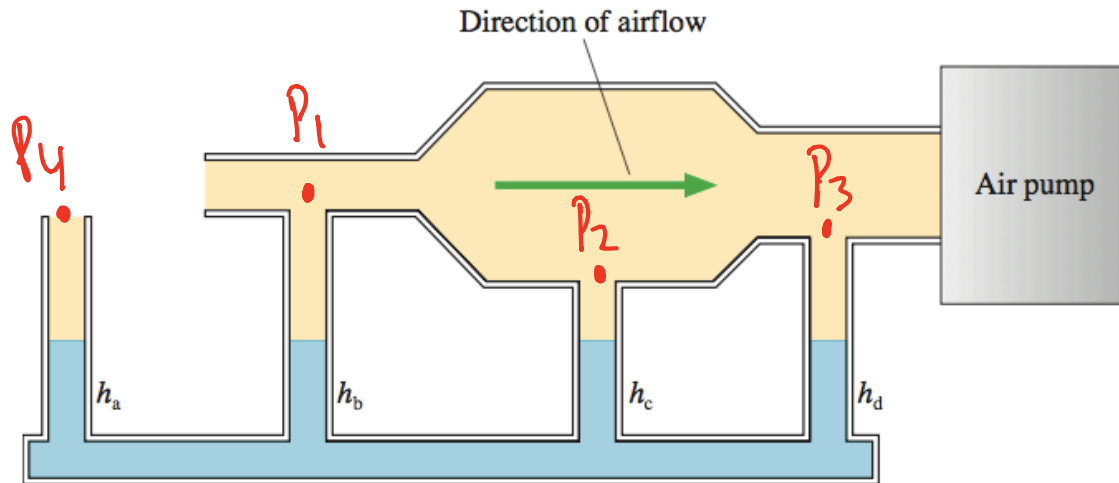


2. The U tube acts like a manometer. The liquid level is higher on the side where the pressure is lower.

QUESTION

$$P_1 < P_3 < P_2 < P_A$$
$$h_b > h_d > h_c > h_a$$

Classer l'hauteur d'eau de chaque tube.



EXEMPLE – EXPÉRIENCE DE TORRICELLI

Un réservoir rempli d'un liquide est percé d'un trou à sa base.
Quelle est la vitesse à laquelle le liquide jaillit par ce trou.

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{const}$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h = P_A + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v_2^2 = v_1^2 + \frac{2(P_1 - P_A)}{\rho} + 2gh \quad *$$

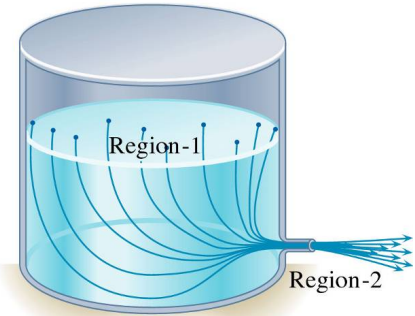
$$A_2 \cdot v_2 = A_1 \cdot v_1$$

$$A_2 \ll A_1 \Rightarrow v_1 \ll v_2$$

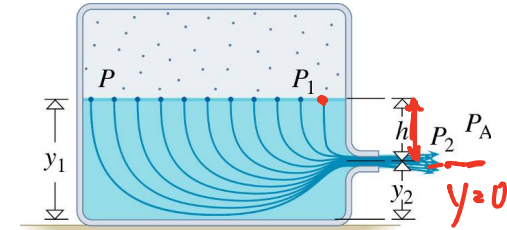
$$v_1 \approx 0$$

Si: $P_1 = P_A$ (ie reservoir en air)

$$\Rightarrow v_2 = \sqrt{2gh}$$



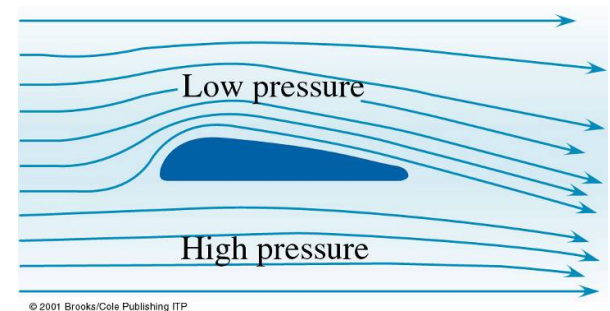
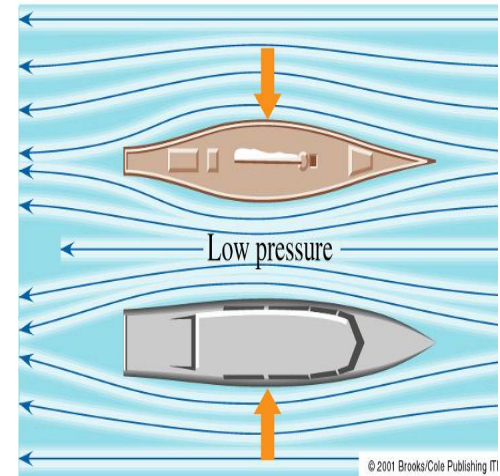
© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP



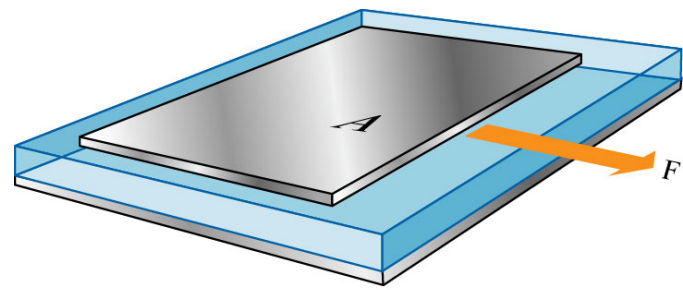
© 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

(b)

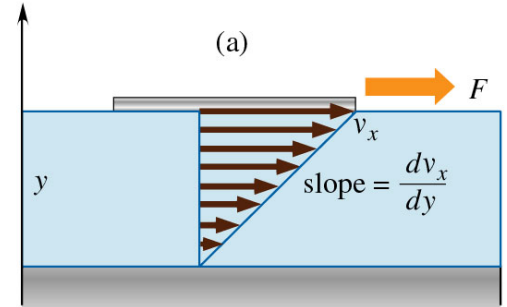
EXEMPLES – EFFET VENTURI



LA VISCOSITÉ



$$F_v \propto A \frac{dv_x}{dy}$$

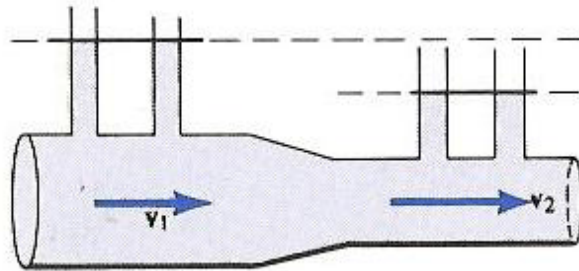


- plus importante aux liquides qu'aux gaz.
 - $T \uparrow \Rightarrow$ viscosité \downarrow pour liquides
 - $T \uparrow \Rightarrow$ viscosité \uparrow pour gaz
- (b) © 2001 Brooks/Cole Publishing ITP

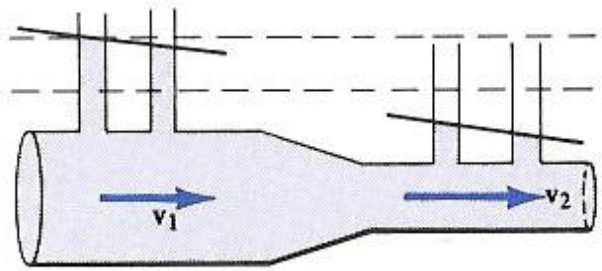
ÉCOULEMENT LAMINAIRE DANS UN TUYAU CYLINDRIQUE

Fluide parfait

Fluide réel

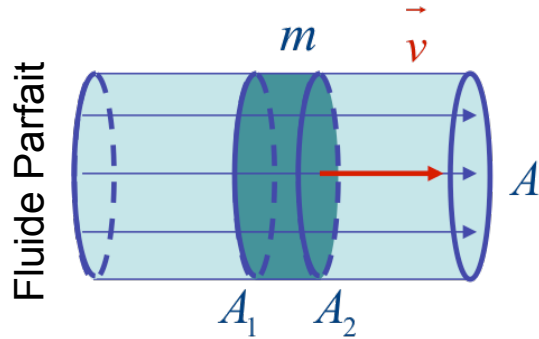


(a)

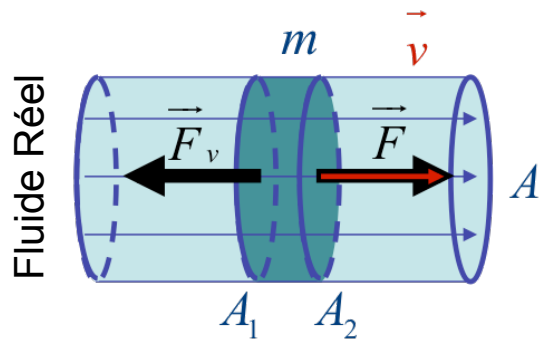
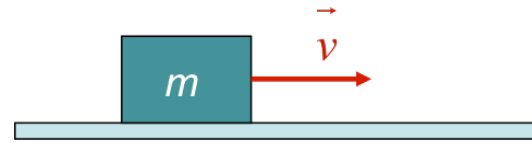


(b)

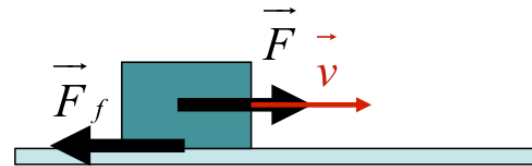
ÉCOULEMENT LAMINAIRE DANS UN TUYAU CYLINDRIQUE



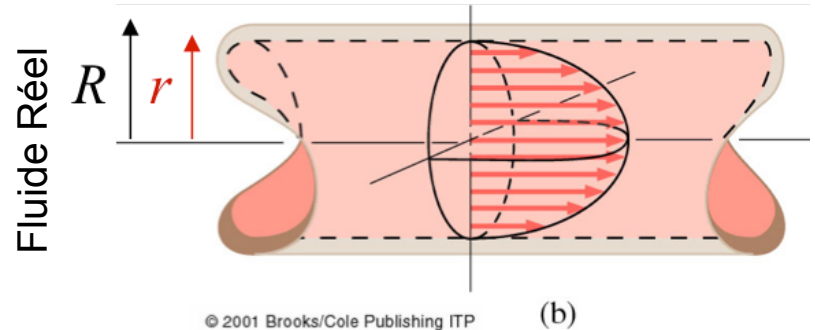
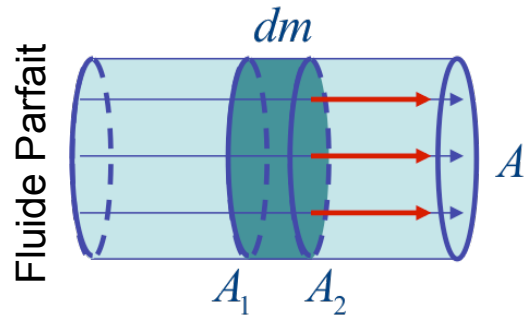
Mouv. rectiligne
sans frottement



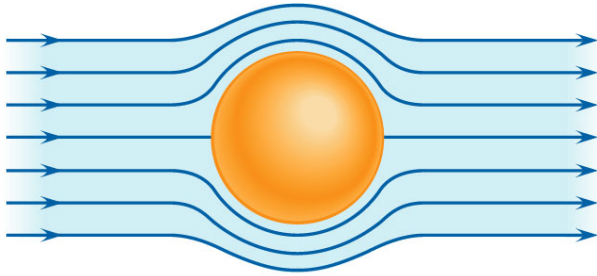
Mouv. rectiligne
avec frottement



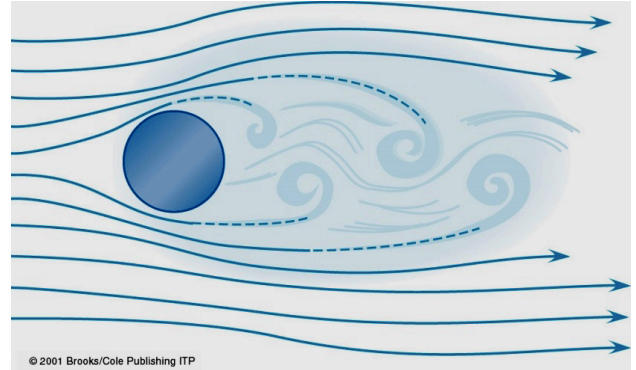
ÉCOULEMENT LAMINAIRE DANS UN TUYAU CYLINDRIQUE



ÉCOULEMENT ILLIMITÉ AUTOUR D'UN OBSTACLE



Force d'écoulement
propto vitesse



À partir d'une
vitesse
⇒ tourbillons.

EXEMPLE – POUSSÉE D'ARCHIMÈDE

Un ballon météorologique a une masse de 5.00 kg lorsqu'il est vide et un rayon de 2.879 m quand il est entièrement gonflé à l'hélium. Il porte une petite charge d'instruments de masse 10.0 kg.

Est-ce que ce ballon peut décoller sachant que $\rho_{\text{air}} = 1.16 \text{ kg/m}^3$ et $\rho_{\text{He}} = 0.160 \text{ kg/m}^3$?



Condition pour
décollage:
 $F_A > F_w$.

$$\begin{aligned} F_w &= F_w^{\text{He}} + F_w^{\text{B}} = \\ &= \rho_{\text{He}} V g + m_{\text{B}} g = \\ &156.9 \text{ N} + 150 \text{ N} = 306.9 \text{ N}. \\ F_A &= \rho_{\text{air}} \cdot V \cdot g = 1.14 \times 10^3 \text{ N} \end{aligned}$$

EXEMPLE – ÉQUATION DE BERNOULLI

L'eau qui circule à travers une maison dans un système de chauffage central, est pompée à une vitesse de 0.50 m/s par un tuyau mesurant 4.0cm de diamètre placé dans la cave à une pression de 3.0 atmosphère. Déterminez la pression dans un tuyau d'un diamètre de 2.6 cm situé à l'étage, à 5.0m au-dessus de la cave.

↓
pression absolue!

$$P_2 = 2.5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$$

POUR INFORMATION...

Pendant un cycle cardiaque complet, la pression dans le coeur et le système circulatoire passe par un maximum (phase de pompage du coeur) et par un minimum (sang renvoyé par les veines). On mesure ces pressions extrêmes.

Le principe de mesure est basé sur le fait que l'écoulement sanguin dans les artères n'est pas toujours laminaire. L'écoulement devient turbulent quand les artères sont comprimées. Il est alors bruyant et peut être perçu au moyen d'un stéthoscope.

Rapport systolique/diastolique : 120/80 en mm Hg.

