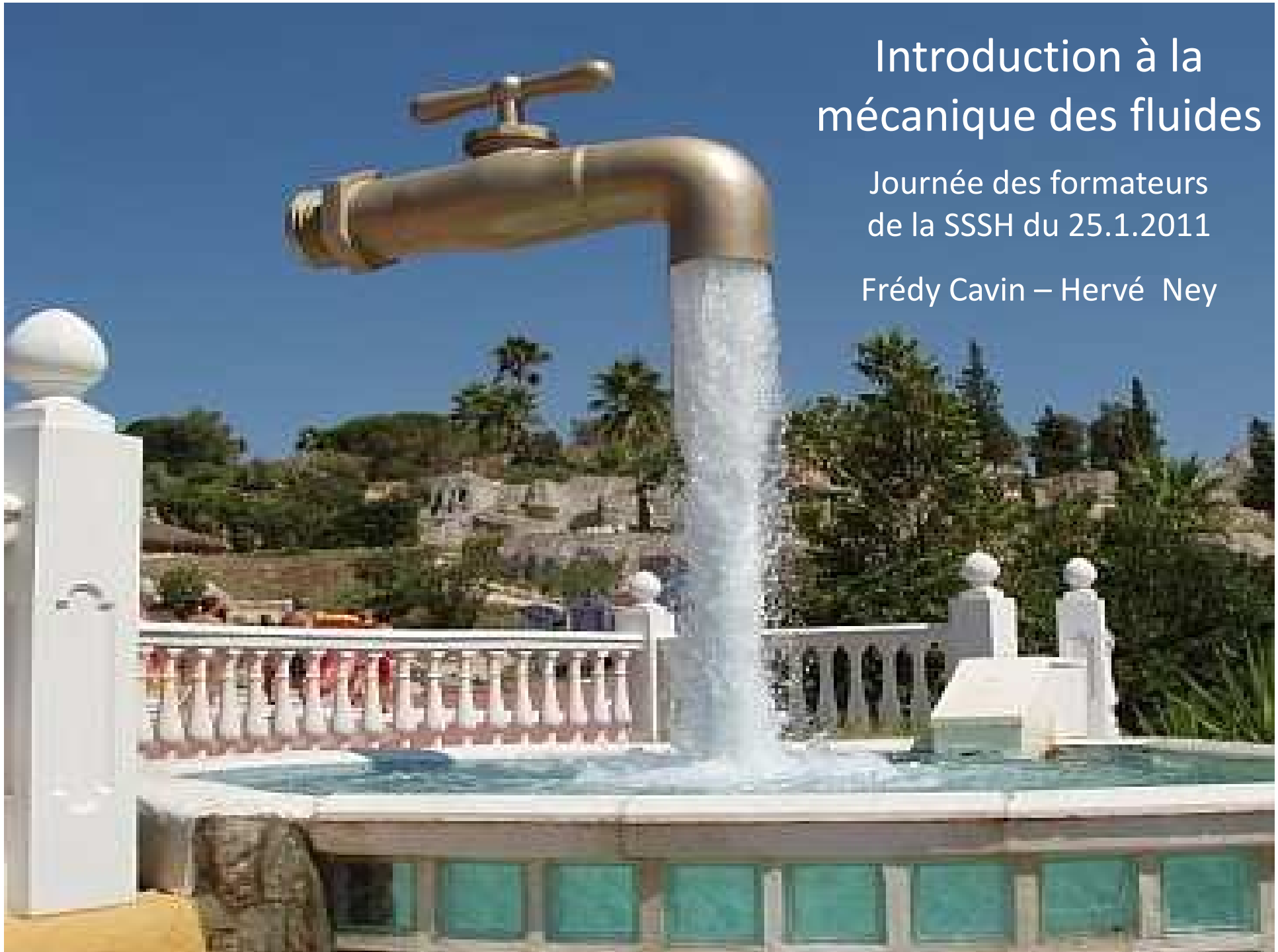


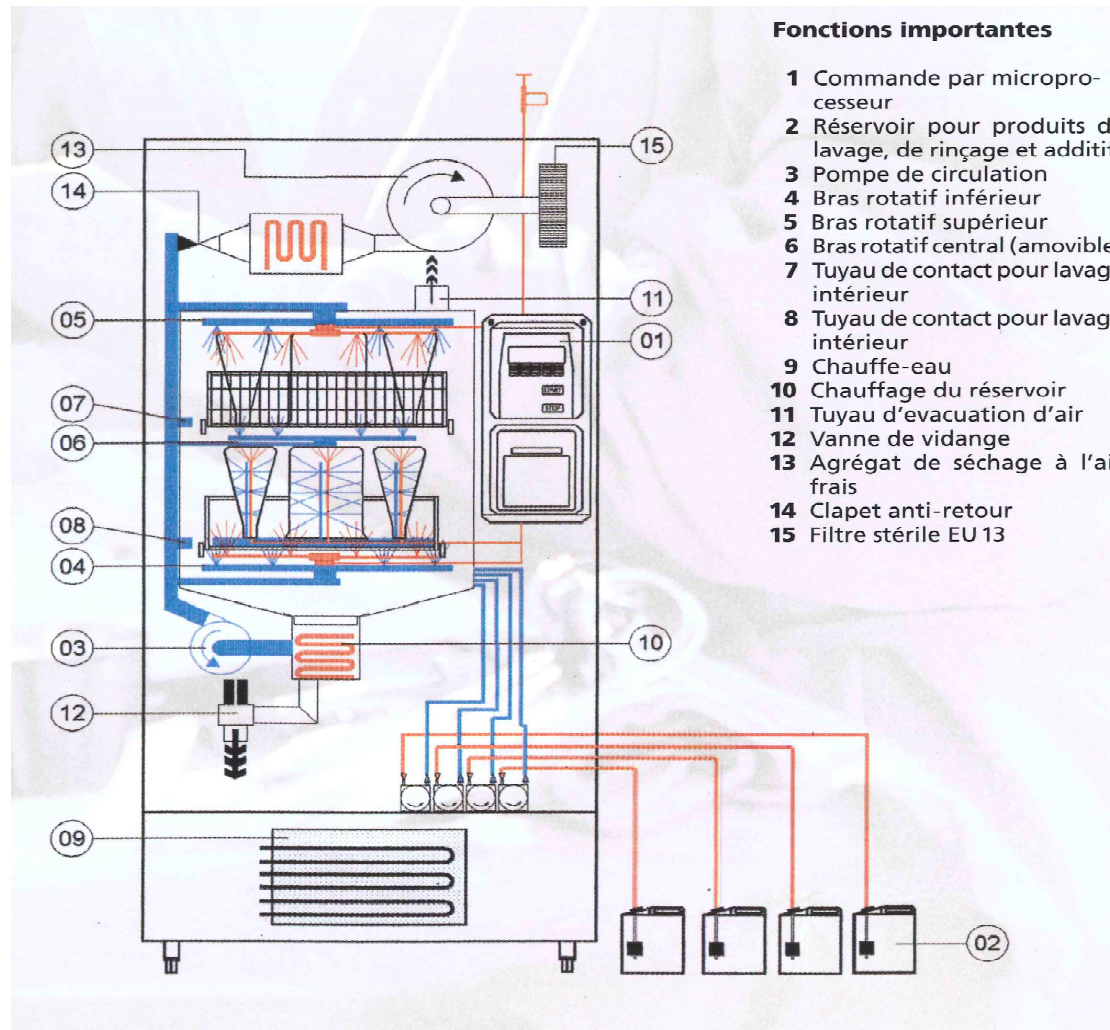
# Introduction à la mécanique des fluides

Journée des formateurs  
de la SSSH du 25.1.2011

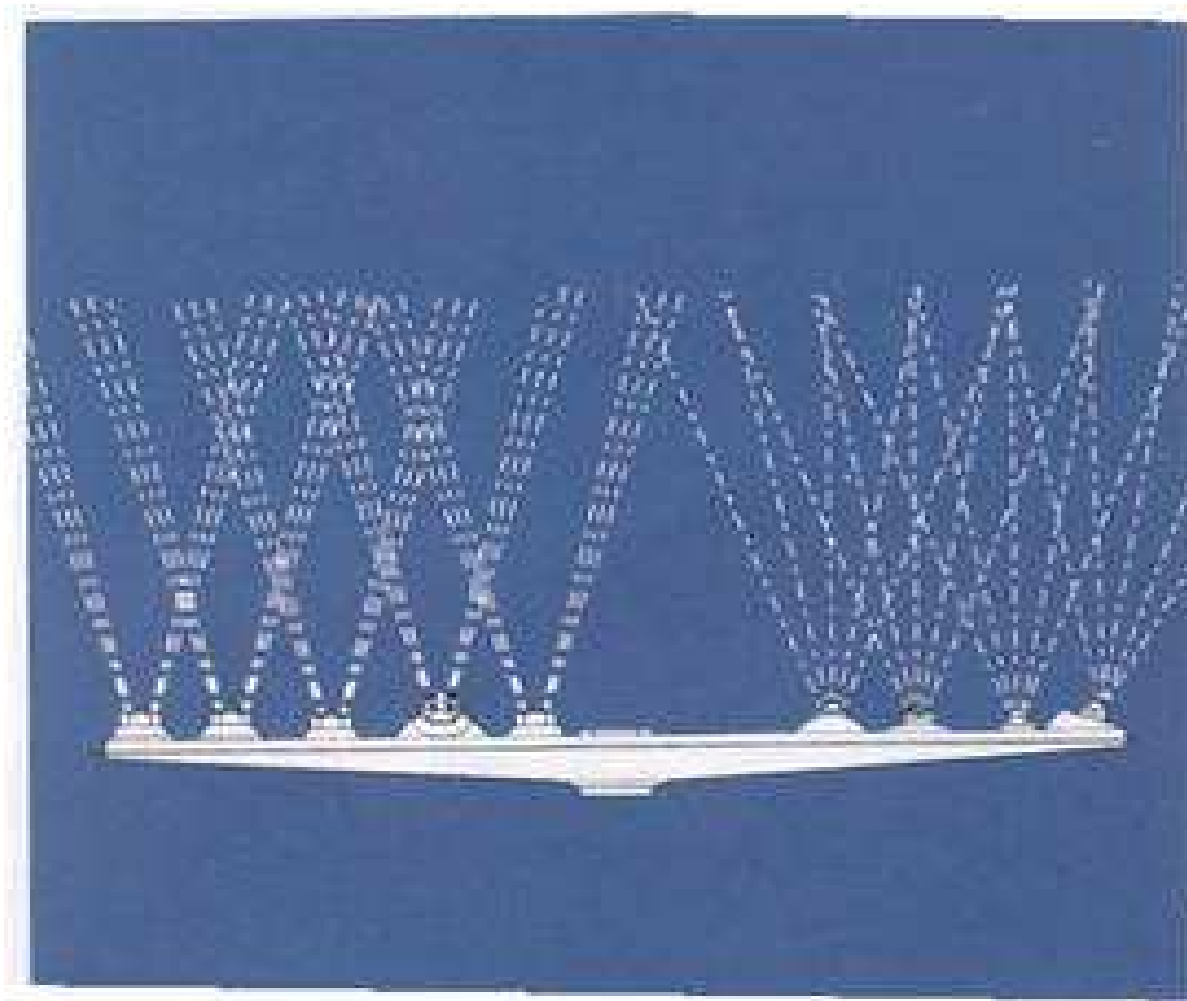
Frédy Cavin – Hervé Ney



# Eléments d'un LD



La force est-elle la même partout ?



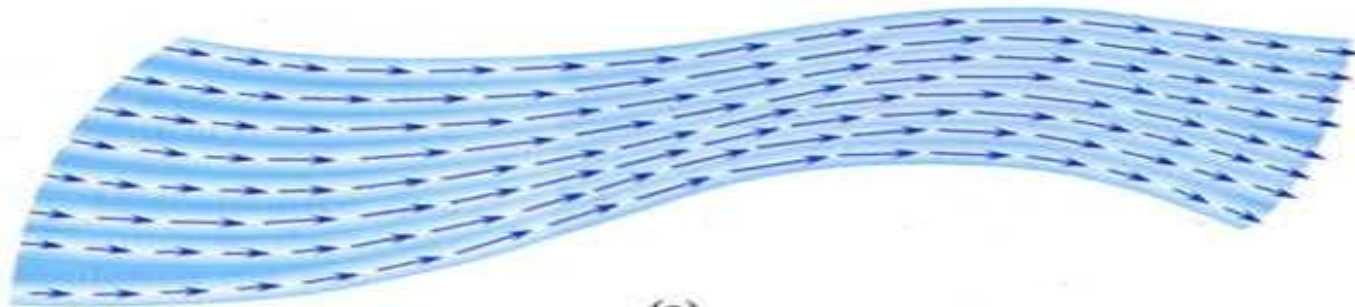
# Définitions

- Fluide

Un fluide est un milieu matériel parfaitement déformable

- les gaz qui sont l'exemple des fluides compressibles
- les liquides, qui sont des fluides peu compressibles

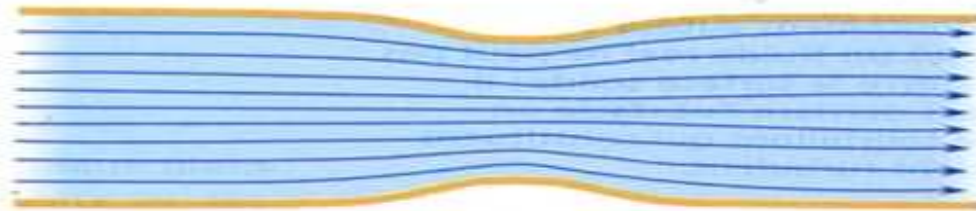
# Écoulement laminaire



(a)

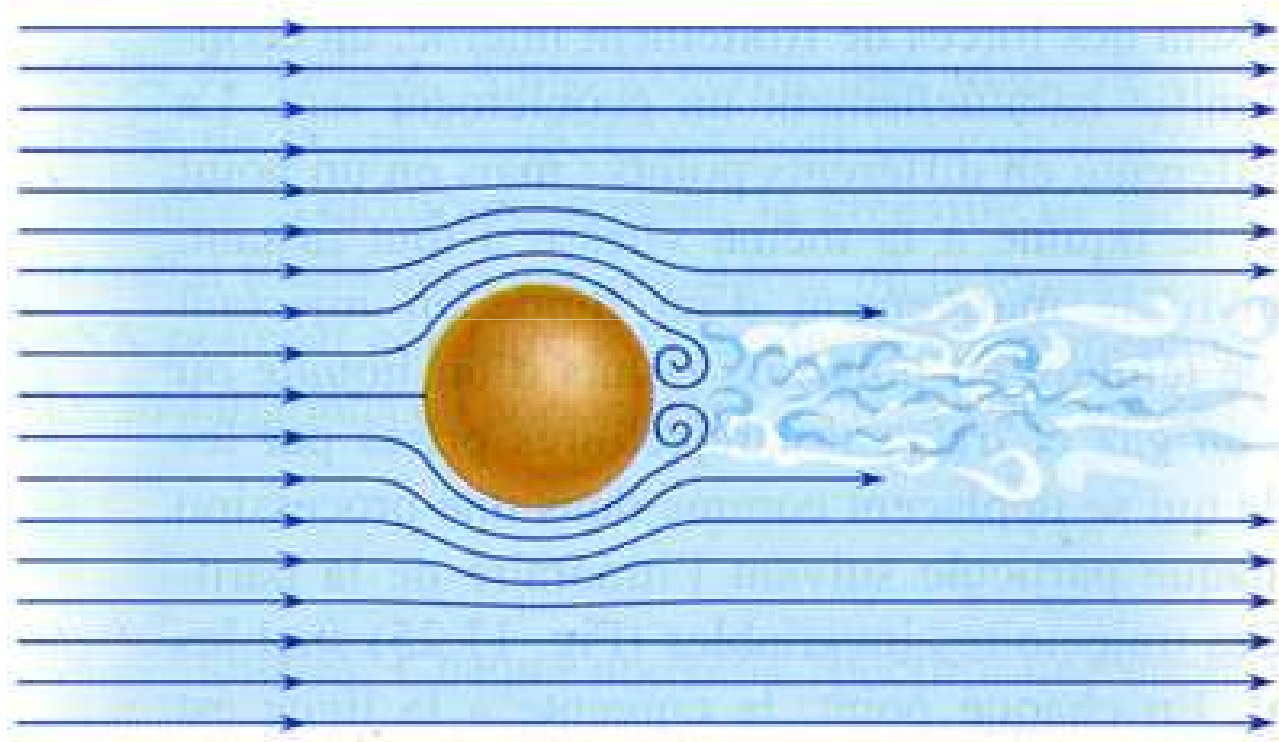


(b)



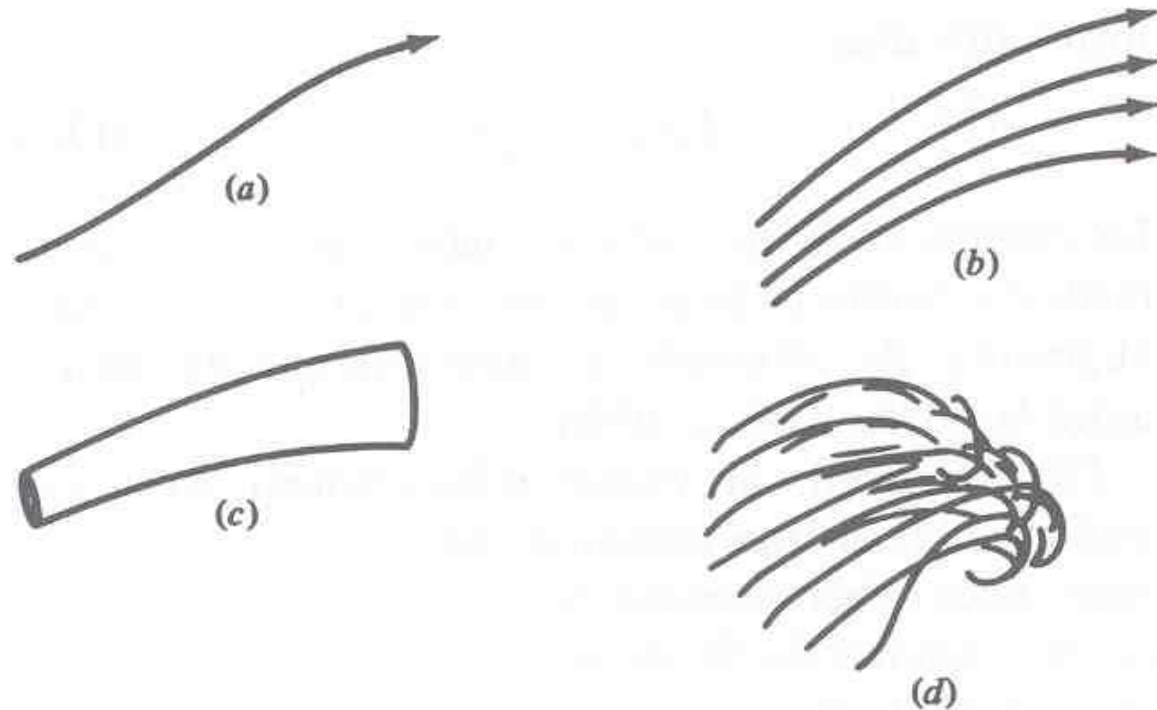
(c)

# Ecoulement turbulent



# Notion d'écoulement laminaire

Compte-gouttes  
très fin pour  
injecter  
une petite  
quantité d'encre  
dans un liquide  
de manière  
à obtenir une  
traînée  
continue  
d'encre



**Figure 13.3.** (a) Une ligne de courant isolée. (b) Un groupe de lignes de courant adjacentes. (c) Un tube de courant. Les parois du tube sont constituées de lignes de courant. (d) Ecoulement turbulent.

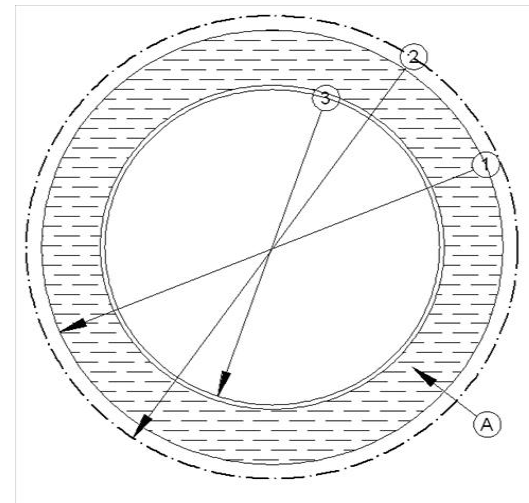
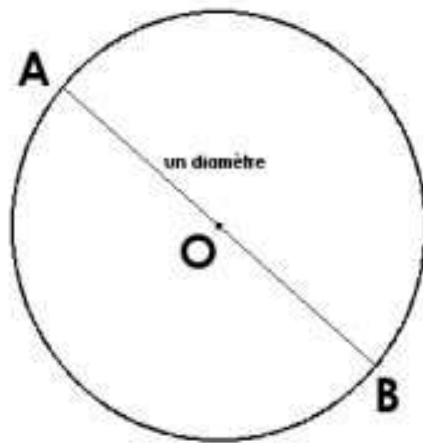
# Notion d'écoulement laminaire

- Par définition, les lignes de courant ne se croisent pas.
- Le fluide n'entre pas et ne sort pas par la surface latérale du tube.
- L'équation de continuité peut être appliquée à ce tube de courant, le produit  $S.V$  étant le même en tous points du tube



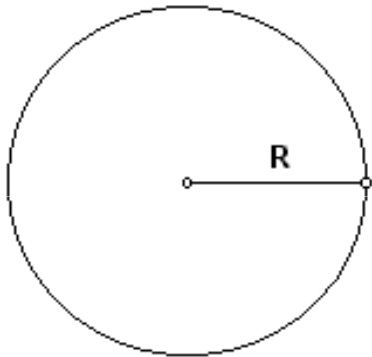
# Diamètre

Dans un cercle ou une sphère, le diamètre est un segment de droite passant par le centre et limité par les points du cercle ou de la sphère. Le diamètre est aussi la longueur de ce segment.



# Périmètre

- Contour d'une figure plane

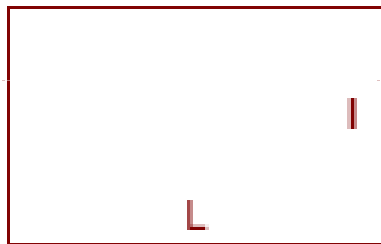


$$r = \text{rayon} = \text{diamètre} / 2$$

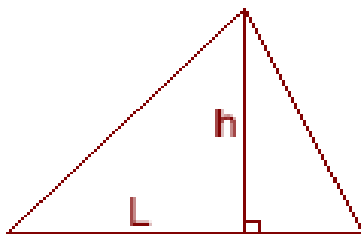
- Périmètre d'un cercle =  $2 \pi R$
- $\pi$  (Pi) = 3.14

# Surface

- Une surface désigne généralement la couche superficielle d'un objet



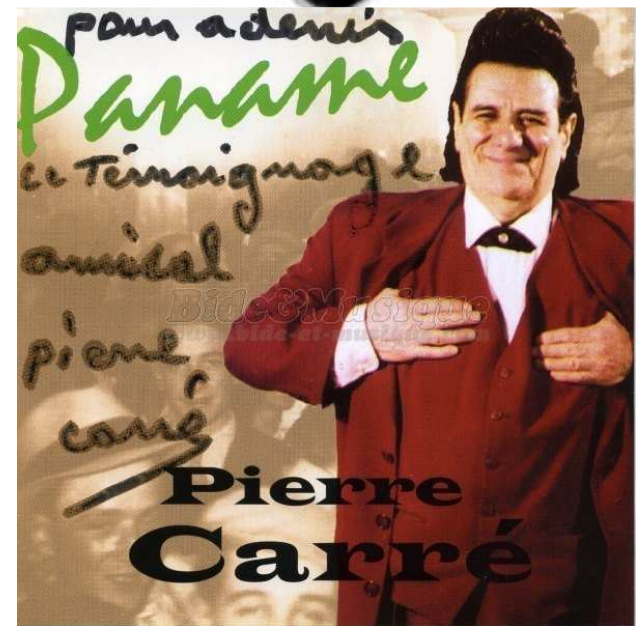
$$S = L \times l$$



$$S = (L \times h)/2$$

# Surface

- Surface d'un tuyau ?
- Surface externe  
=  $L \times \text{périmètre}$
- Surface de la section  
d'un tuyau =  $\pi R^2$



# Exercice 1

- Vous avez un tuyau de 12 mm de  $\varnothing$  externe et 10 mm de  $\varnothing$  interne et de 3 mètre de longueur.
- Calculez le périmètre de votre tuyau et la surface de la section interne ?

# Réponse 1

- Périmètre =  $12 \times 3.14 = 37.68$  mm
- Surface de la section interne  
 $5 \times 5 \times 3.14 = 78.5$  mm<sup>2</sup>

# Question 1b

- Si votre tuyau est entartré sur tout le périmètre d'une épaisseur de 2.5 mm, quelle influence cela aura-t-il sur la section utile de votre tuyau ?



# Réponse 1b

- R initial = 5 mm
- R entartré = 5 - 2.5 = 2.5 mm =  $R_i / 2$
- Sf section entartré  $3.14 \times (R_i / 2) \times (R_i / 2)$   
 $= 3.14 \times R_i / 4 = 78.5 / 4 = 19.625 \text{ mm}^2$



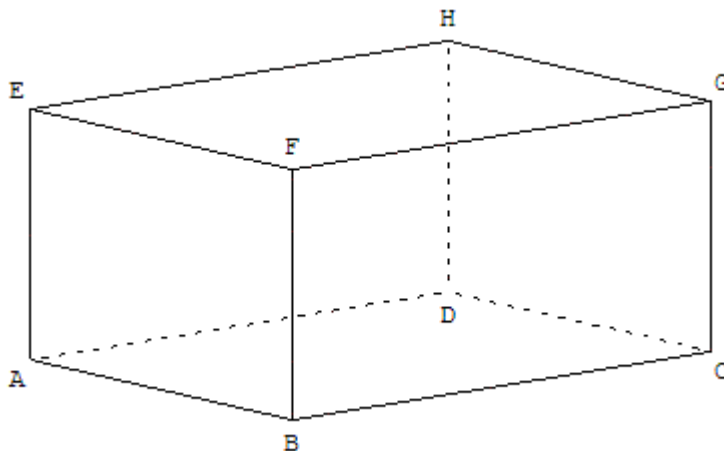
# Comment mesurer les diamètres des tuyaux ?

A l'aide d'un pied à coulisse



# Volume

- En physique, le volume d'un objet mesure « l'extension dans l'espace » qu'il possède dans les trois directions en même temps



$$\text{Volume} = L \times l \times h$$

$$L = BC$$

$$l = AB$$

$$h = BF$$

# Volume d'un cylindre



Volume =  $L \times \pi R^2$   
Quelle est la  
quantité maximale  
de détergent en ml  
que peut contenir le  
tuyau précédent ?

# Réponse 2

- Section interne x longueur  
 $78.5 \text{ mm}^2 \times 3000 = 235\,500 \text{ mm}^3$
- Rappel  
 $1\,000\,000 \text{ mm}^3 = 1\,000 \text{ cm}^3 = 1 \text{ dm}^3$   
 $1 \text{ dm}^3 \text{ d'eau} = 1 \text{ litre et pèse } 1 \text{ Kg}$
- Réponse finale : 235.5 ml

# Question 3

- Quels sont en  $\text{mm}^3$  les volumes suivants :
  - $1\text{m}^3$
  - $10\ \mu\text{l}$

# Réponse 3

- $1 \text{ m}^3 = 10^3 \text{ dm}^3 = 10^6 \text{ cm}^3 = 10^9 \text{ mm}^3$
- $1 \text{ l} = 1\,000 \text{ ml} = 1\,000\,000 \mu\text{l}$   
 $10 \mu\text{l} = 10 \text{ mm}^3$

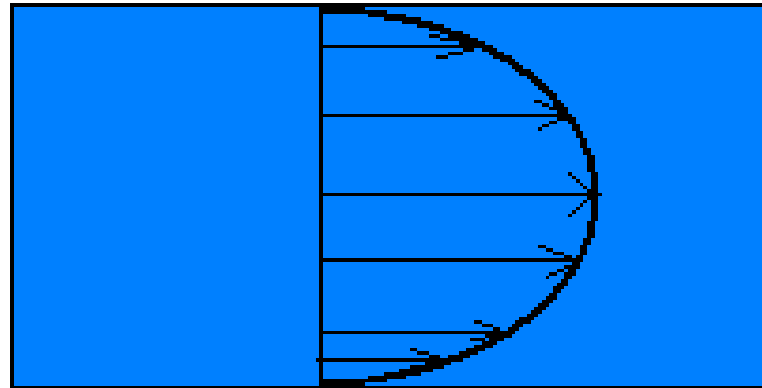
# Vitesse

- La vitesse est une grandeur qui mesure le rapport d'une évolution par rapport au temps
  - vitesse de sédimentation, vitesse d'une réaction chimique, etc.
- Le rapport de la distance parcourue par rapport au temps
  - 120 Km/heure

# Vitesse

- Frottements  
Interactions qui s'opposent à la persistance d'un mouvement relatif entre deux systèmes en contact
  - freinage, le sciage, le lavage, etc.

la vitesse du fluide varie



du bord au centre du conduit





# Débit

- Un débit permet de mesurer le flux d'une quantité relative à une unité de temps au travers d'une surface quelconque
  - Exemple :  
Débit d'une pompe en ml/s



# Question 4

- Calculez le débit d'un système de dosage d'un détergent qui pompe 280 ml en 40 secondes ?
- Quelle est la vitesse moyenne du détergent dans un tuyau de
  - 2 mm de  $\emptyset$  interne ?
  - 4 mm de  $\emptyset$  interne ?

# Réponse 4

- $280 \text{ ml} / 40 \text{ s} = 7 \text{ ml/s} = 7\,000 \text{ mm}^3/\text{s}$
- Section 1<sup>er</sup> tuyau :  $3.14 \times 1 \times 1 = 3.14 \text{ mm}^2$
- Vitesse tuyau 1 =  $7\,000 / 3.14 = 2\,229.3 \text{ mm/s}$
  
- Section 2<sup>ème</sup> tuyau :  $3.14 \times 2 \times 2 = 12.56 \text{ mm}^2$
- Vitesse tuyau 2 =  $7\,000 / 12.56 = 557.3 \text{ mm/s}$
  
- Réflexion sur le  $\emptyset$  des tuyaux !

# Pression

- Force appliquée à une unité de surface

- $$P = \frac{F}{S}$$

- Unités utilisées :
  - Pa
  - bar



# Pression

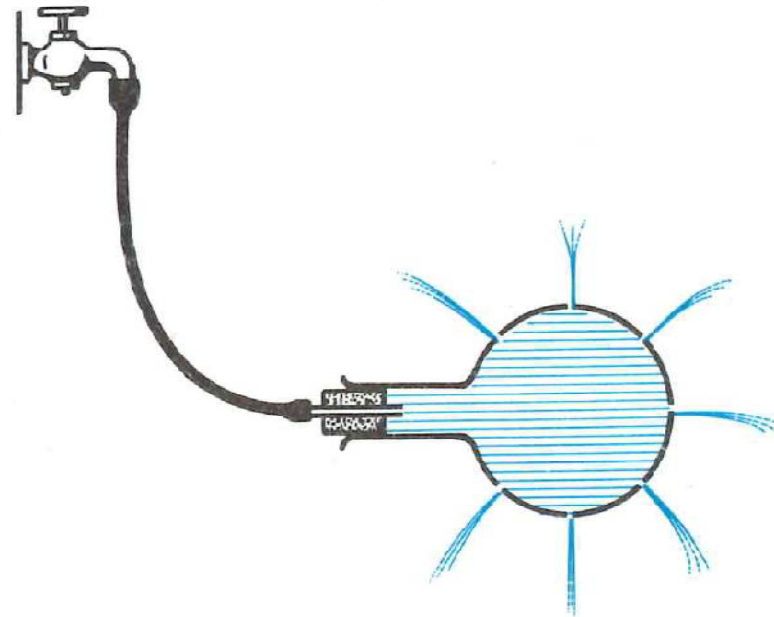
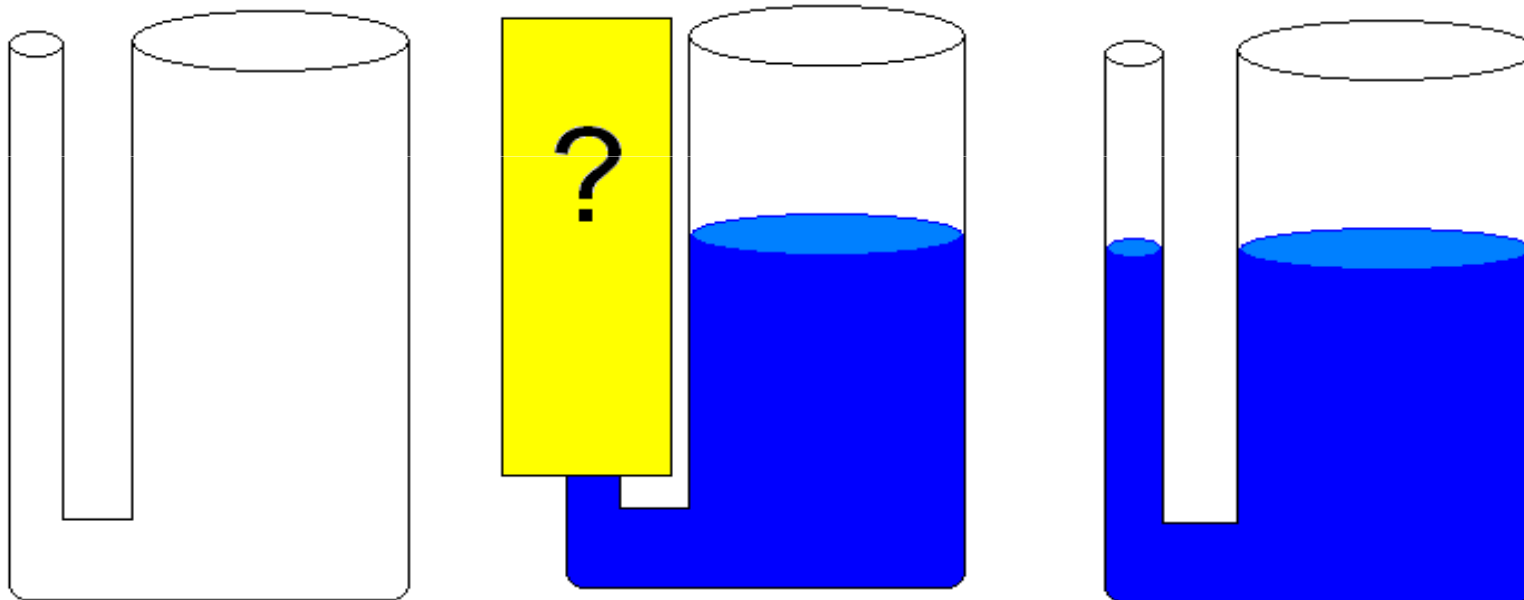


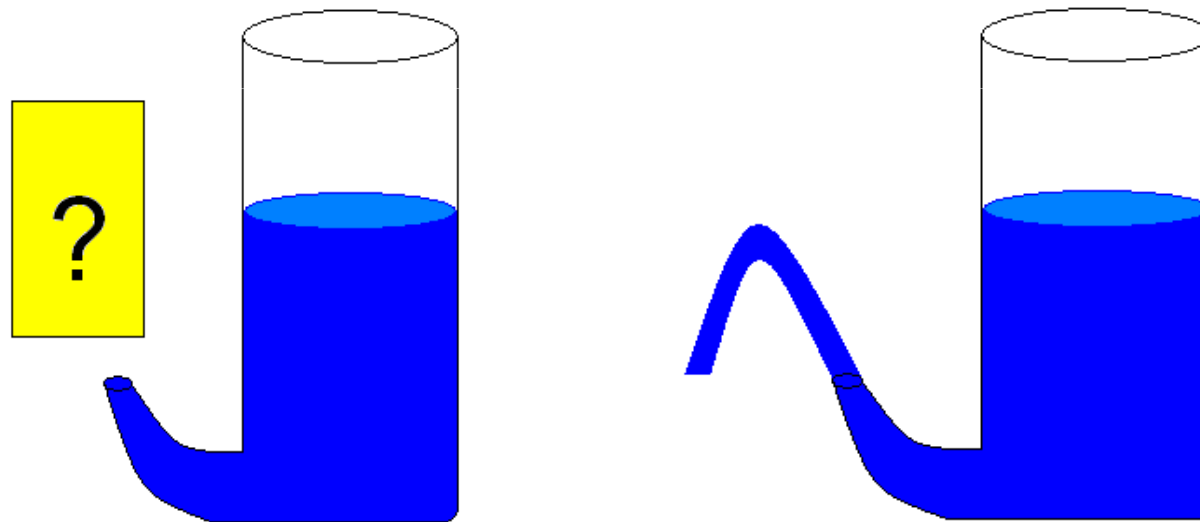
Fig. 4. Un ballon de verre percé de petits trous est relié à la canalisation d'eau. Quelle que soit l'orientation de la paroi au voisinage de chacun des trous, la direction initiale du jet est toujours perpendiculaire — on dit encore *normale* — à cette paroi.

Quel sera le niveau de l'eau dans le tube de gauche si le système est rempli par le tube de droite ?



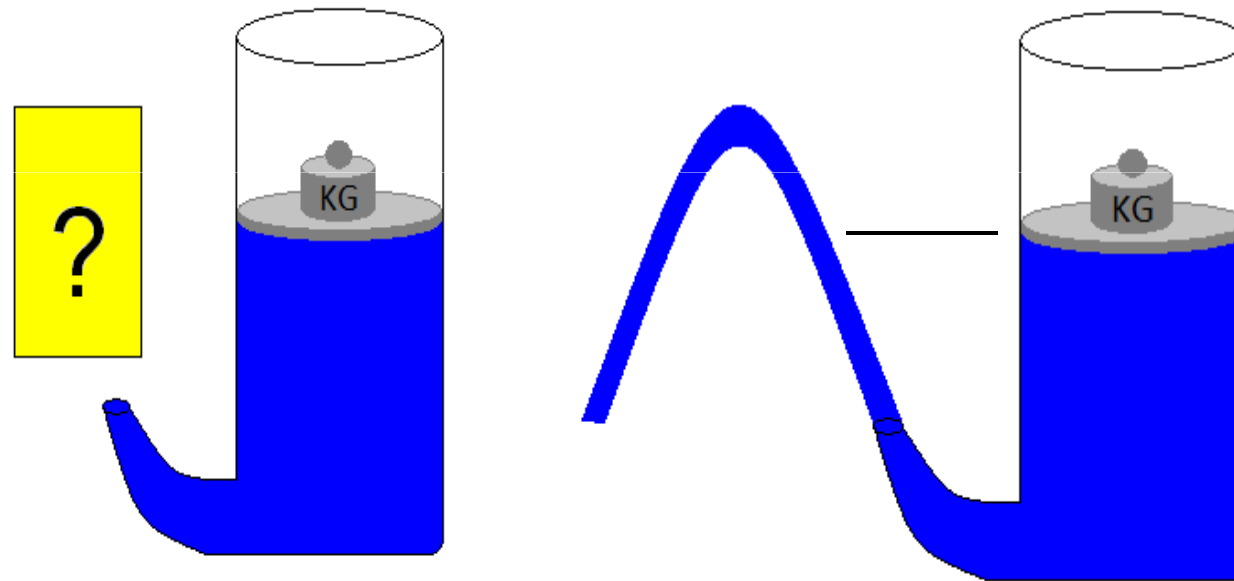
# Jet d'eau

- A quelle hauteur le jet montera-t-il s'il est projeté verticalement ?



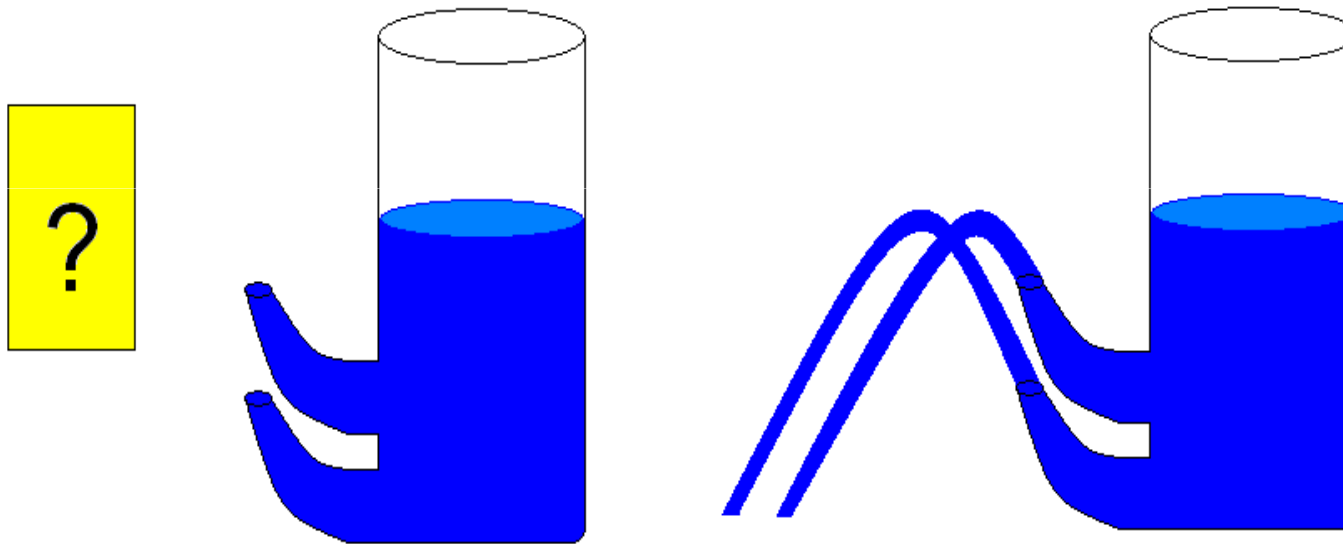
**Le jet montera à la hauteur du niveau de l'eau. C'est la différence de pression entre l'atmosphère et le fond du bocal qui accélère l'eau**

- A quelle hauteur s'élèvera le jet si on appuie sur la colonne de gauche avec un poids ?



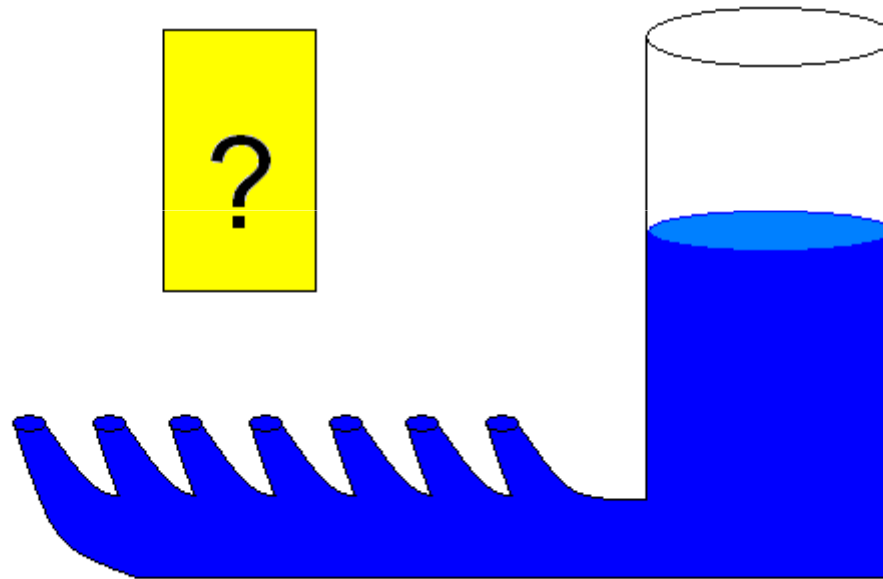


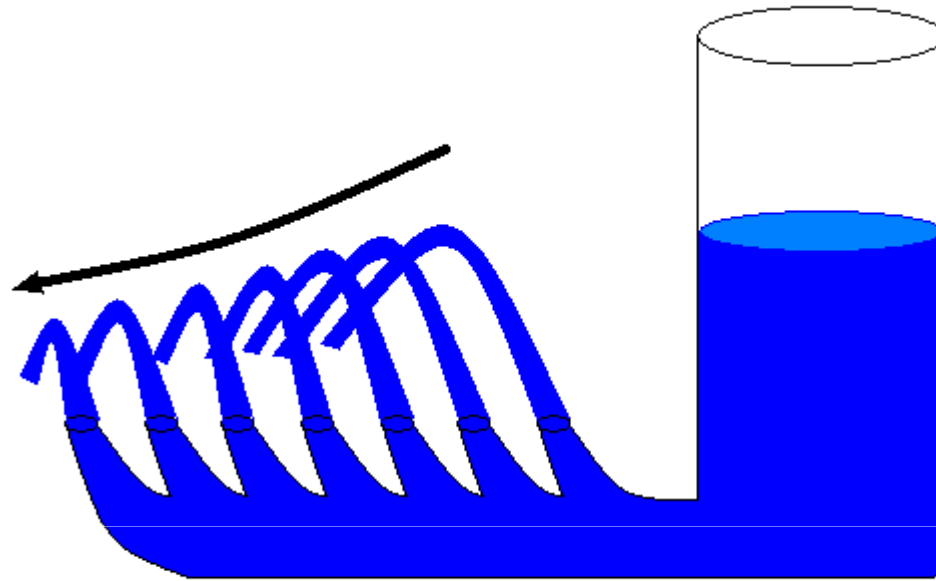
Que se passe-t-il si on ajoute  
un second jet à mi-hauteur ?  
A quelle hauteur arriveront les deux jets ?



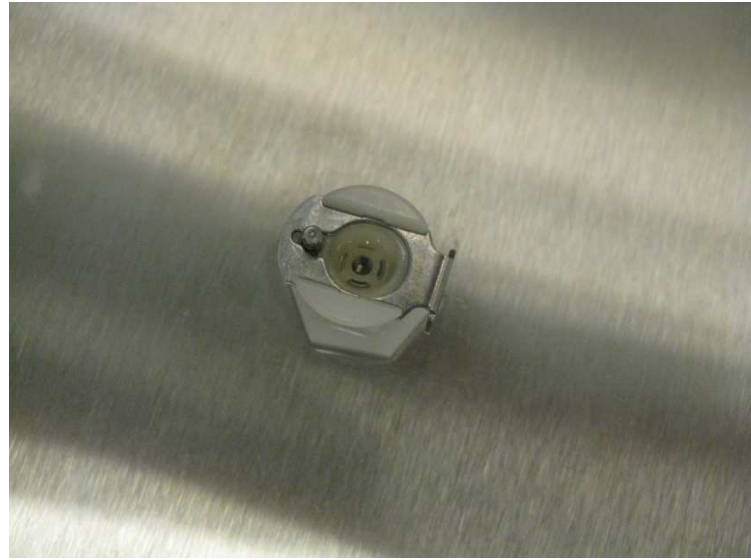
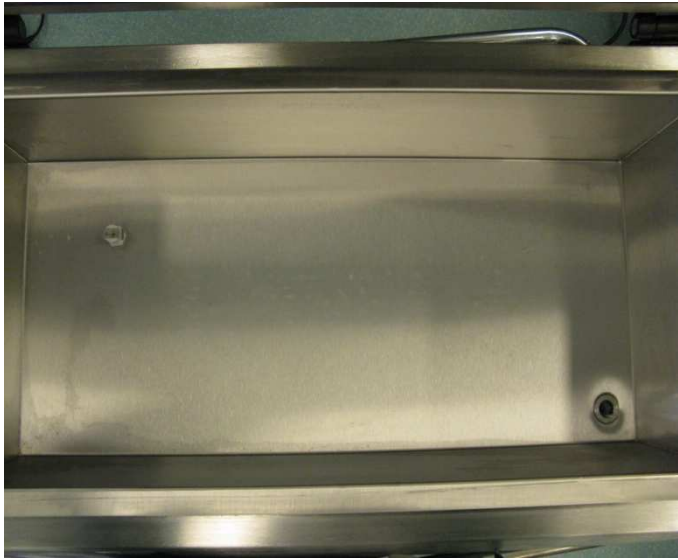
Comme dans le cas à un jet les deux jets arrivent  
à la hauteur du niveau du réservoir

Que va-t-il se passer si on a plusieurs jets sur un seul tube ?





Les jets devraient tous atteindre la même hauteur.  
Cependant la pression diminue le long tube troué  
horizontal  
Plus on s'éloigne du réservoir et plus la pression  
diminue !



# Question 5

- Quelle est la pression en bar nécessaire à propulser le jet d'eau de Genève jusqu'à 140 mètres de hauteur ?
- Autres informations peut-être utiles !
  - Vitesse de sortie de l'eau : 200 Km/h
  - Débit : 500 litres/seconde
  - $1 \text{ kgf/cm}^2 = 0,981 \text{ bar}$  (kgf = kilogramme force)

# Réponse 5

- Volume de la colonne d'eau en 1 point :  
 $14000 \text{ cm} \times 1 \text{ cm}^2 = 14\,000 \text{ cm}^3$  qui pèse  
 $14\,000 \text{ g}$  soit  $14 \text{ kg/cm}^2$
- Pression :  $14 \times 0,981 = 13.73 \text{ bar}$

# Viscosité

- Résistance à l'écoulement uniforme et sans turbulence se produisant dans la masse d'une matière
- Mesure du temps nécessaire pour qu'un volume défini d'huile s'écoule par un orifice normalisé à une température donnée
- Plus la valeur est élevée, plus le fluide est visqueux

# Exemples à 20°C

- Eau :  $10^{-3}$  Pa·s
- Sang :  $4 - 25 \times 10^{-3}$  Pa·s
- Café crème :  $10^{-2}$  Pa·s
- Huile d'olive :  $8.1 - 10 \times 10^{-1}$  Pa·s
- Mélasse :  $10^2$  Pa·s
- Bitume :  $10^8$  Pa·s
- Détergent  $< 50 \times 10^{-3}$  Pa·s

(Neodischer Mediclean forte)



# Notion de masse volumique

- C'est la masse par unité de volume
- Si un échantillon de matériau a une masse  $m$  et un volume  $V$ , la masse volumique est définie par le rapport:

$$\text{(rho)} \rho = m/V \quad (\text{unité} = \text{kg/m}^3)$$

- La masse volumique varie avec la température et la pression

## Question 6

Quelle est la masse d'1 litre de sang,  
sachant que  $\rho$  pour le sang =  $1059.5 \text{ kg.m}^{-3}$   
à  $25^\circ\text{C}$ ?

# Réponse 6

- 1 litre de sang =  $0.001 \text{ m}^3$  de sang
- $\rho = 1059.5 \text{ kg pour } 1 \text{ m}^3$
- Donc la masse de sang pour 1 litre est de  $1059.5 / 1000$ , soit  $1.0595 \text{ kg}$

# Densité

- Rapport de sa masse volumique à la masse volumique d'un corps pris comme référence
- Le corps de référence est l'eau pure pour les liquides et les solides

$$\textit{Densité} = \frac{\textit{Poids de la matière}}{\textit{poids de l'eau}}$$

# Exemples

- Mercure : 13.6
- Fer : 7.86
- Aluminium : 2.7
- Alcool (éthanol) : 0.798
- Beurre : 0.86 à 0.87
- Sucre : 1.59
- Calcaire : 2.68 à 2.76
- Chêne : 0.6 à 0.9
- Huile d'olive : 0.92
- Platine : 21.46

# Dosage

- Action qui consiste à déterminer la quantité d'une substance précise présente dans une autre
- Question 6 :  
Votre détergent doit être utilisé en LD à 0.5 %, sa densité est de 1.1 et sa viscosité de  $3 \times 10^{-2}$  Pa.s  
Quelle quantité en ml et g sera utilisée pour les 40 litres d'eau de la phase de lavage ?

# Réponse 7

- Quantité de détergent :  
40 litres à 0.5 % = 0.2 litres = 200 ml
- Poids :  
 $0.2 \times 1.1 = 0.22 \text{ kg ou } 220 \text{ g}$

# Equation de continuité

- Si la section ( $S$ ) d'un tube augmente, la vitesse d'écoulement ( $V$ ) du liquide diminue
- $S_1 V_1 = S_2 V_2$

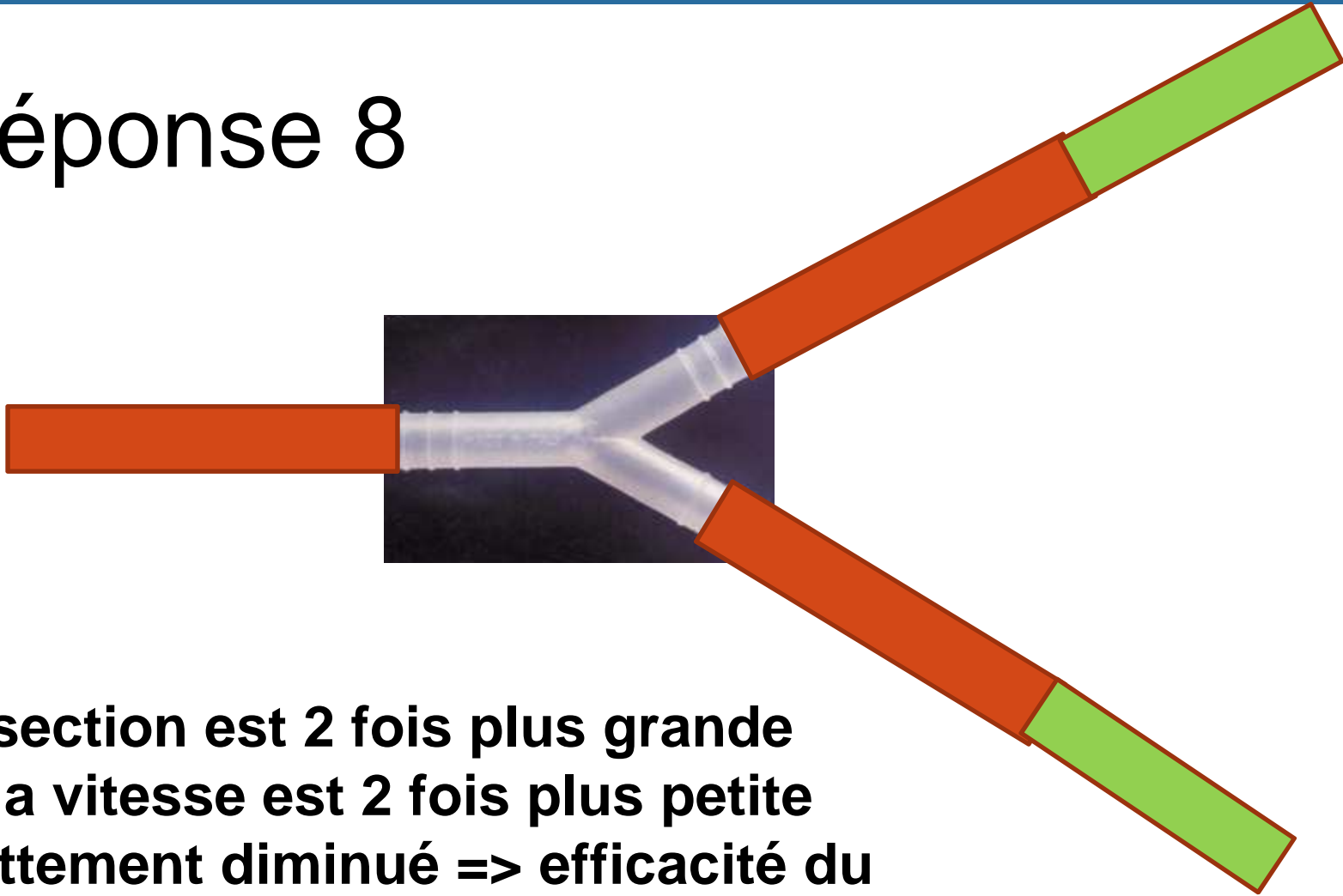




## Question 8

- Sur un raccordement en eau de votre laveur-désinfecteur pour objet creux de 10 mm de  $\emptyset$  interne vous connectez un raccord en Y sur lequel vous branchez 2 tubes de 10 mm de  $\emptyset$  interne et vous connectez 2 DMx.
- Quel impact cela aura-t-il sur la vitesse de l'eau et sur le nettoyage de votre DM ?

# Réponse 8



**La section est 2 fois plus grande  
=> la vitesse est 2 fois plus petite  
Frottement diminué => efficacité du  
nettoyage diminuée**

# Exercice 9

- Un tuyau d'arrosage d'une section de  $2 \text{ cm}^2$  a un débit de  $200 \text{ cm}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ .
- Calculer la vitesse moyenne de l'eau?

# Réponse 9

200 cm<sup>3</sup> d'eau en 1 seconde dans un tuyau  
avec une section de 2 cm<sup>2</sup>

Donc Volume / surface de la section = 200  
cm<sup>3</sup> / 2 cm<sup>2</sup>, soit distance de 200 / 2 cm, soit  
100 cm, soit 1 m

La vitesse moyenne de l'eau est de 1 m.s<sup>-1</sup>

## Question 10

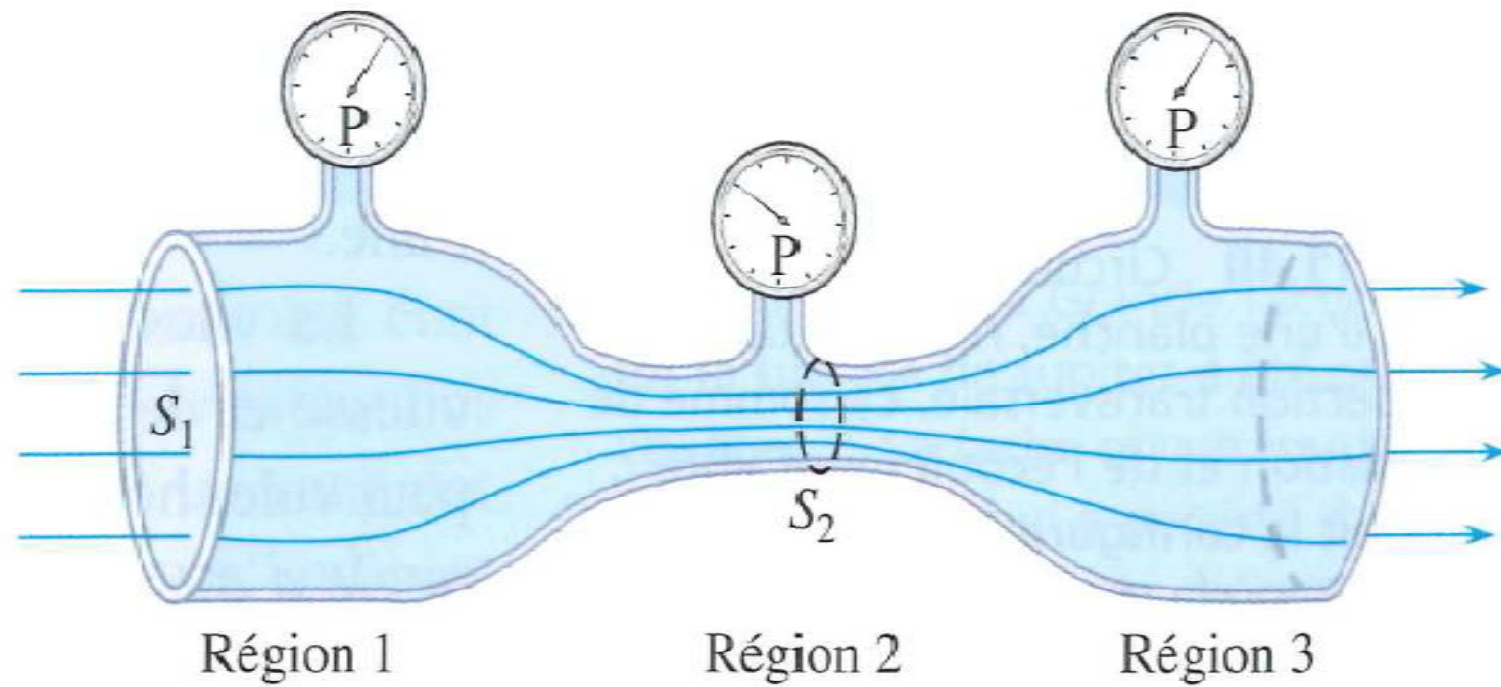
Si la section d'un tube est diminuée de moitié, la vitesse du fluide est doublée

$$V_2 = 2 \times V_1$$

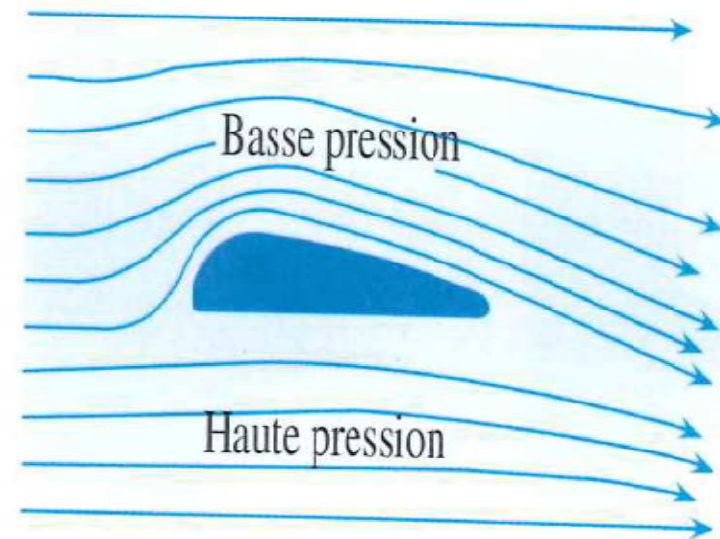
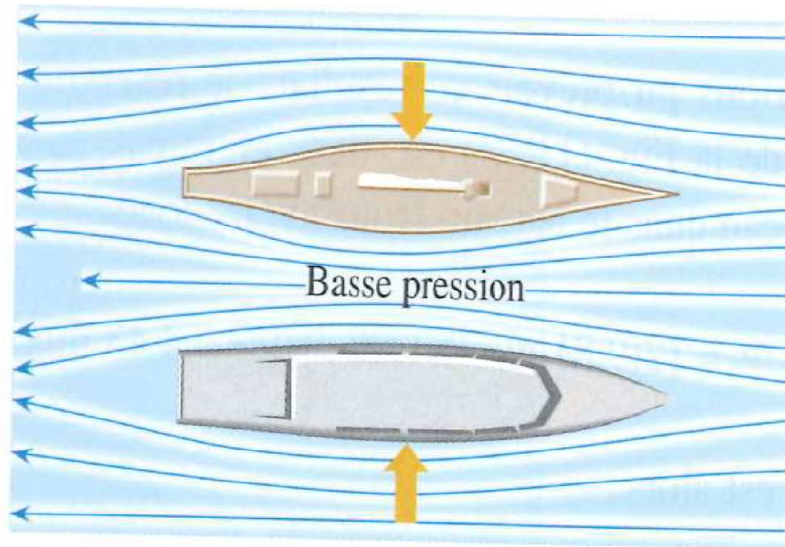
Quelle est l'influence sur la pression ?



# Réponse 10



# Effet venturi (exemples)



# Tube de Venturi

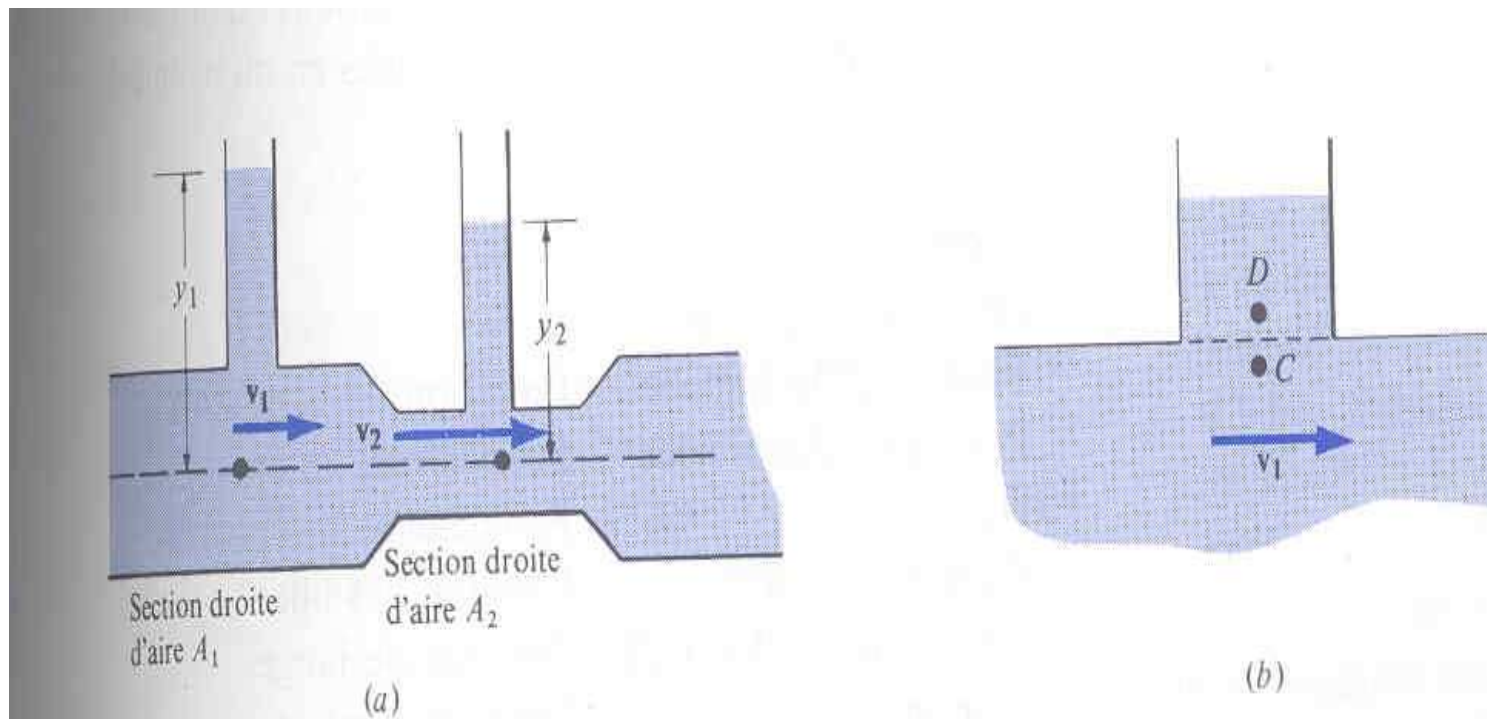


Figure 13.12. (a) Le tube de Venturi. (b) Vue agrandie de l'endroit où la colonne 1 est raccordée au tube.



# Tube de Venturi

- Horizontal pour ne pas devoir tenir compte des variations de hauteurs
- Présente un rétrécissement
- La vitesse augmente là où la section diminue
- Le liquide dans les colonnes est au repos tandis que celui dans le tube est en déplacement
- Les points D et C ne sont pas situés sur la même ligne de courant
- Or le liquide ne coule pas d'un point vers l'autre, donc les pressions en ces deux points sont égales

# Exercice 11

- Un tube de Venturi a un rayon de 1 cm dans sa partie la plus étroite et un rayon de 2 cm dans sa partie la plus large où la vitesse de l'eau est de  $0.1 \text{ m.s}^{-1}$ .
- Quelle est la vitesse dans la partie étroite?

# Réponse 11

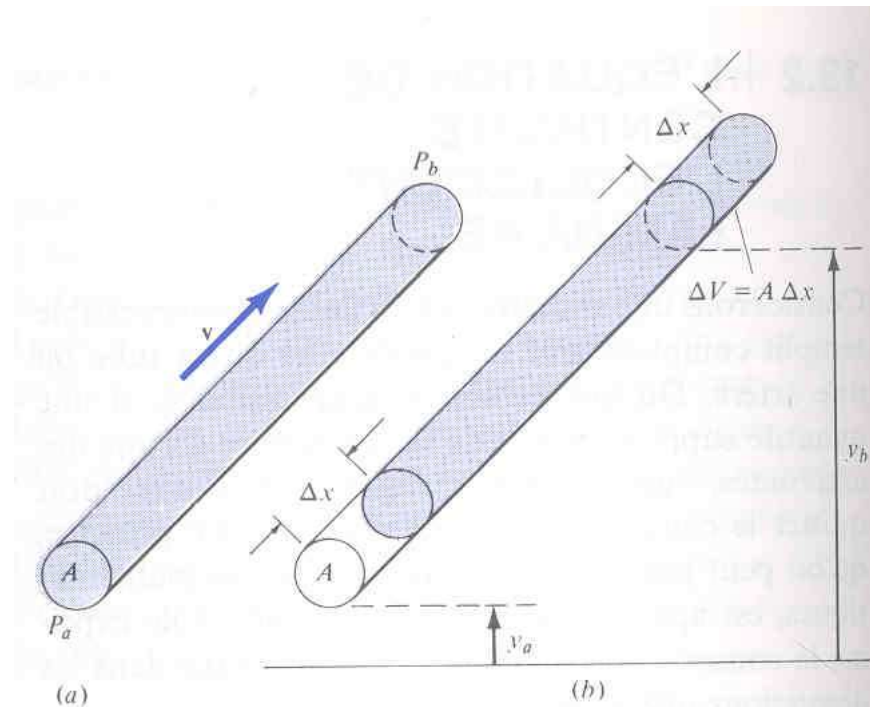
- $S_1 V_1 = S_2 V_2$
- $V_1 = S_2 V_2 / S_1$
- $S_2 = \pi R_2^2$
- $S_1 = \pi R_1^2$
- $V_1 = \pi R_2^2 V_2 / \pi R_1^2 = (2)^2 \times 0.1 / (1)^2 = 0.4 \text{ m.s}^{-1}$

# Equation de Bernouilli

- Principe de conservation de l'énergie
- Le travail fourni à un fluide lors de son écoulement d'un endroit vers un autre est égal à la variation de son énergie négative
- Conditions: fluide incompressible, non-visqueux, écoulement laminaire, vitesse du fluide constante au cours du temps

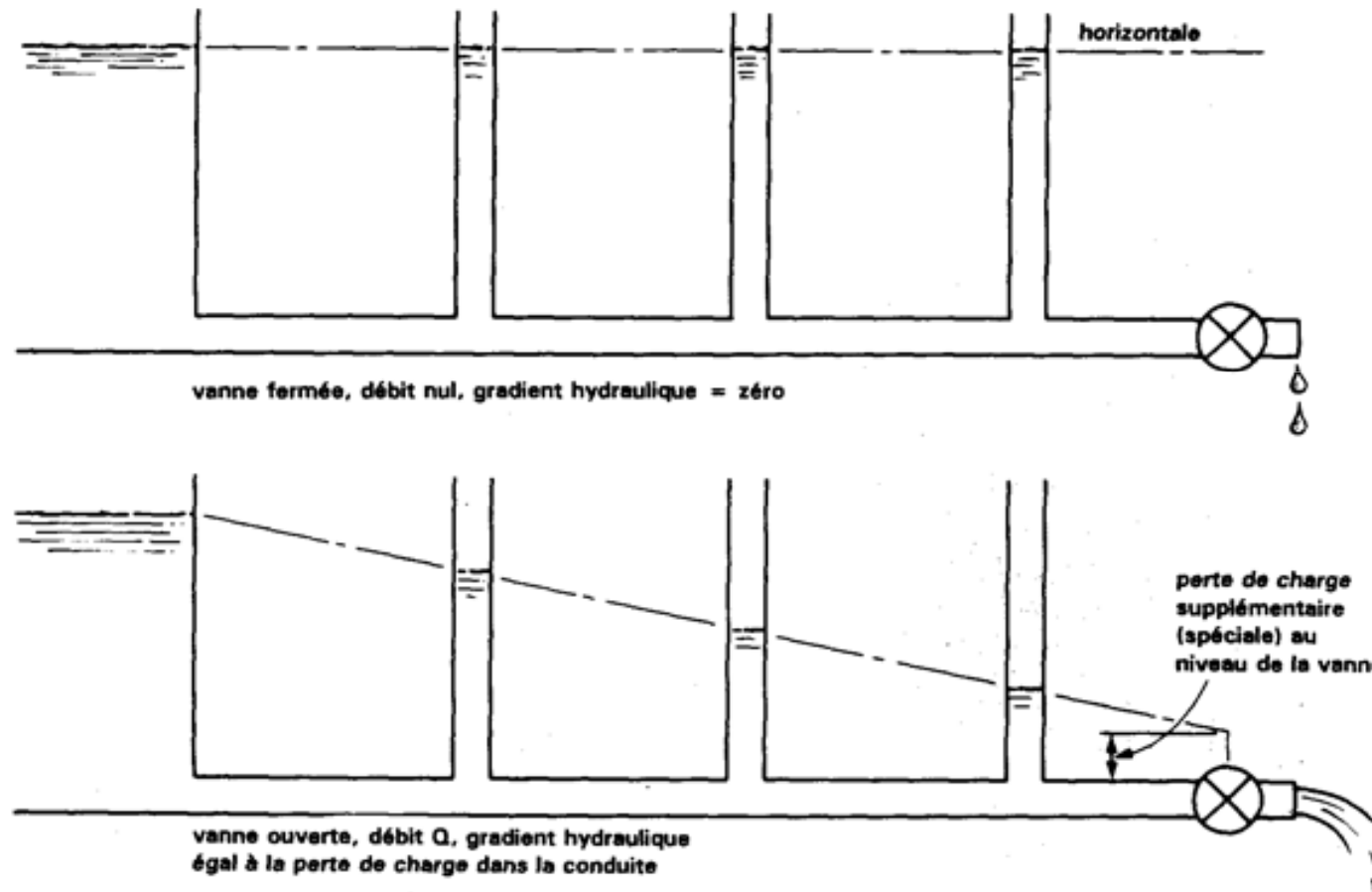
# Equation de Bernouilli

- $P_a + \rho g y_a + \frac{1}{2} \rho v_a^2 = P_b + \rho g y_b + \frac{1}{2} \rho v_b^2$



**Figure 13.4.** (a) La vitesse du fluide dans un tube de courant à section constante est partout la même. (b) Le fluide s'est déplacé d'une petite distance  $\Delta x$ .

# Perte de charge



# Que se passe-t-il dans un LD ?

- Les statifs du tunnel sont des tubes troués avec des supports pour poser les paniers.
- Les jets d'eau ne sont pas verticaux mais légèrement penché pour que les hélices tournent sur elle-même, par la force de l'eau
- Un peu comme lorsqu'on tourne sur soi-même avec les bras écartés, le sang va dans les mains: la pression d'eau est plus forte au bout du bras qu'au centre. Cet effet centrifuge doit compenser une partie les pertes de charges



- Les jets d'eau des étages supérieurs sont moins puissants que les autres. Pour cette raison les plateaux les plus « fragiles » sont placés en haut et les plus sales en bas

- Conclusion de M Bonzon
- ??



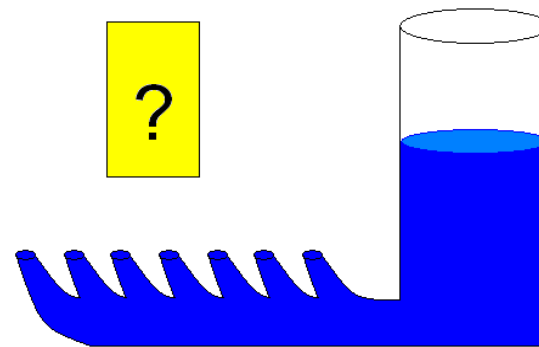






# Merci !

- Christopher Bonzon
  - Etudiant en physique
  - Auxiliaire à la Stérilisation centrale du CHUV en été 2010
- Pour divers dessins



# Bibliographie

- [www.wikipedia.ch](http://www.wikipedia.ch)
- [www.maison-facile.com](http://www.maison-facile.com)
- Physique de Eugène Hecht, 4<sup>ème</sup> tirage 2004
- Physique de Fernand Nathan – classe de seconde C – 1966
- Physique de Kane / Sternheim-InterEditions 1986