

# Un écoulement quotidien pas si simple

Exposé

Documents  
annexes

# Un écoulement quotidien pas si simple

- Introduction
- Observations
- Tension superficielle
- Mesures et exploitation
- Conclusion



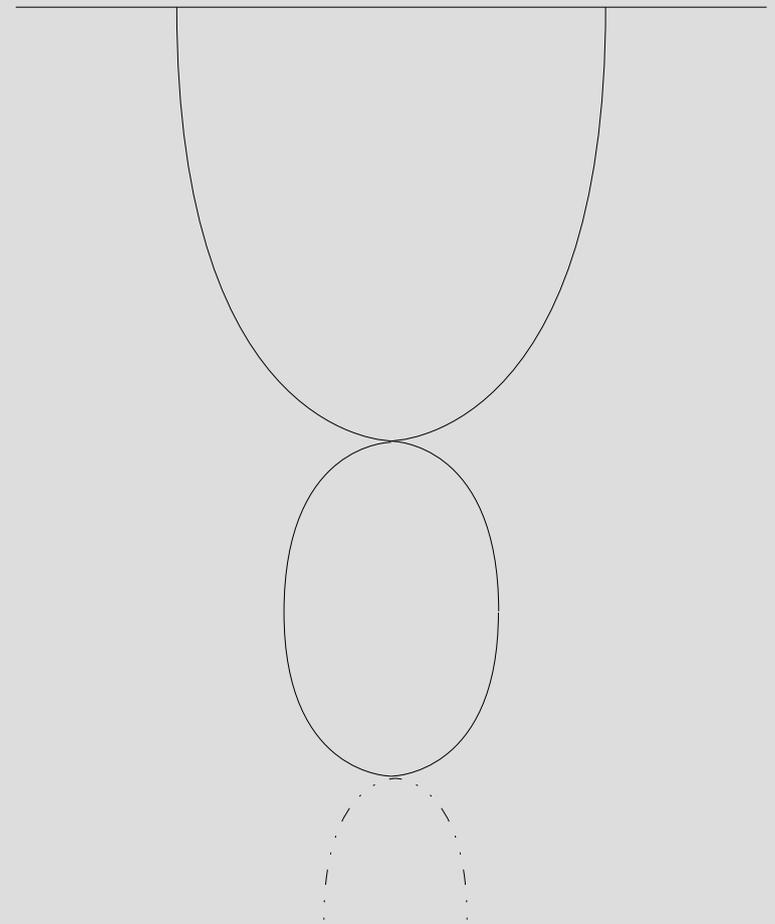
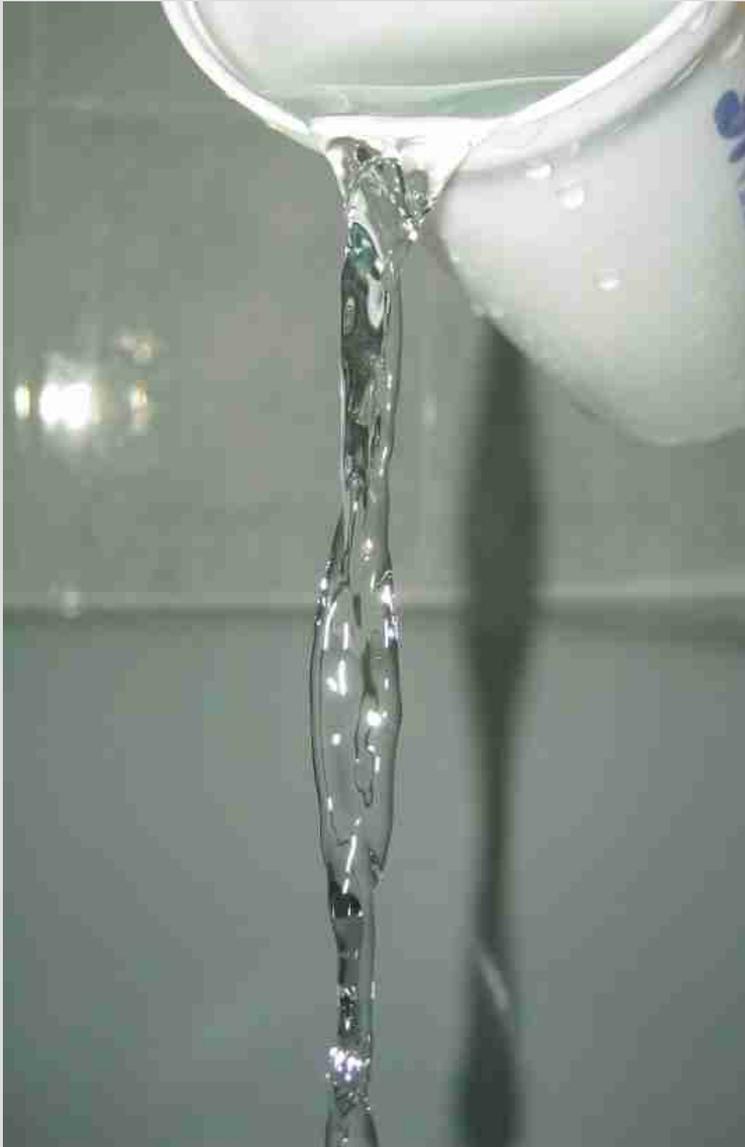
# **Un écoulement quotidien pas si simple**

## **Introduction**

# Un écoulement quotidien pas si simple

## Observations

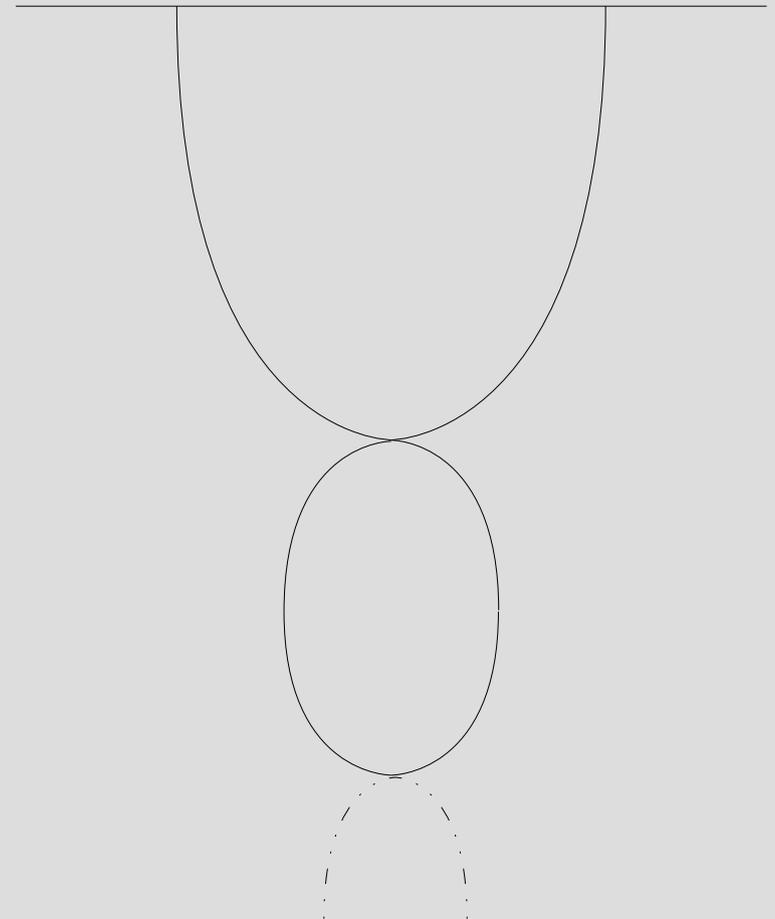
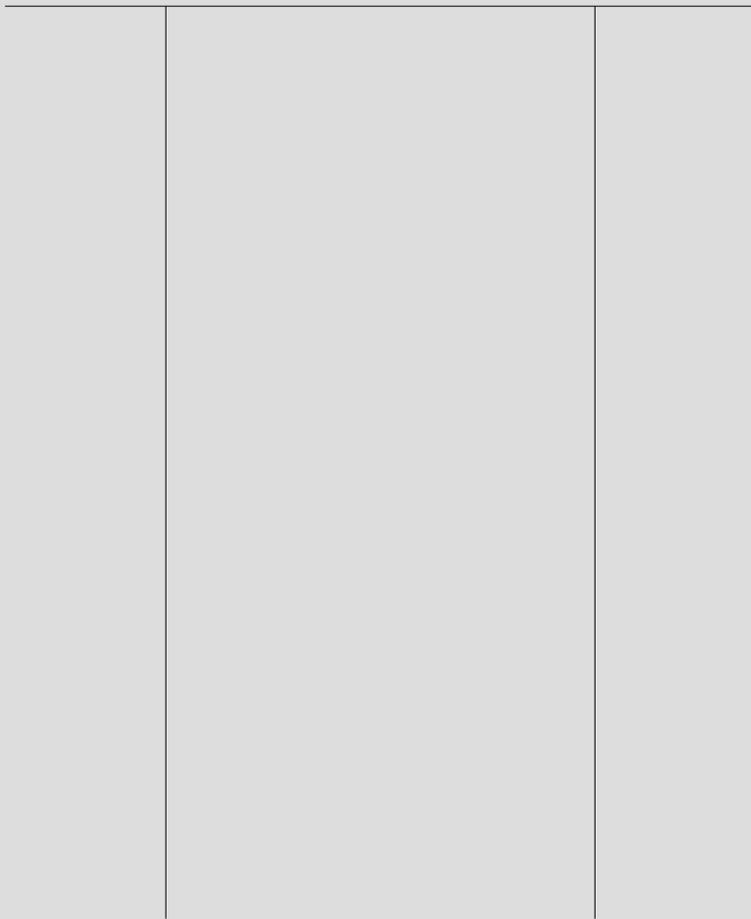
# Un écoulement quotidien pas si simple



# Un écoulement quotidien pas si simple



# Un écoulement quotidien pas si simple



# Un écoulement quotidien pas si simple

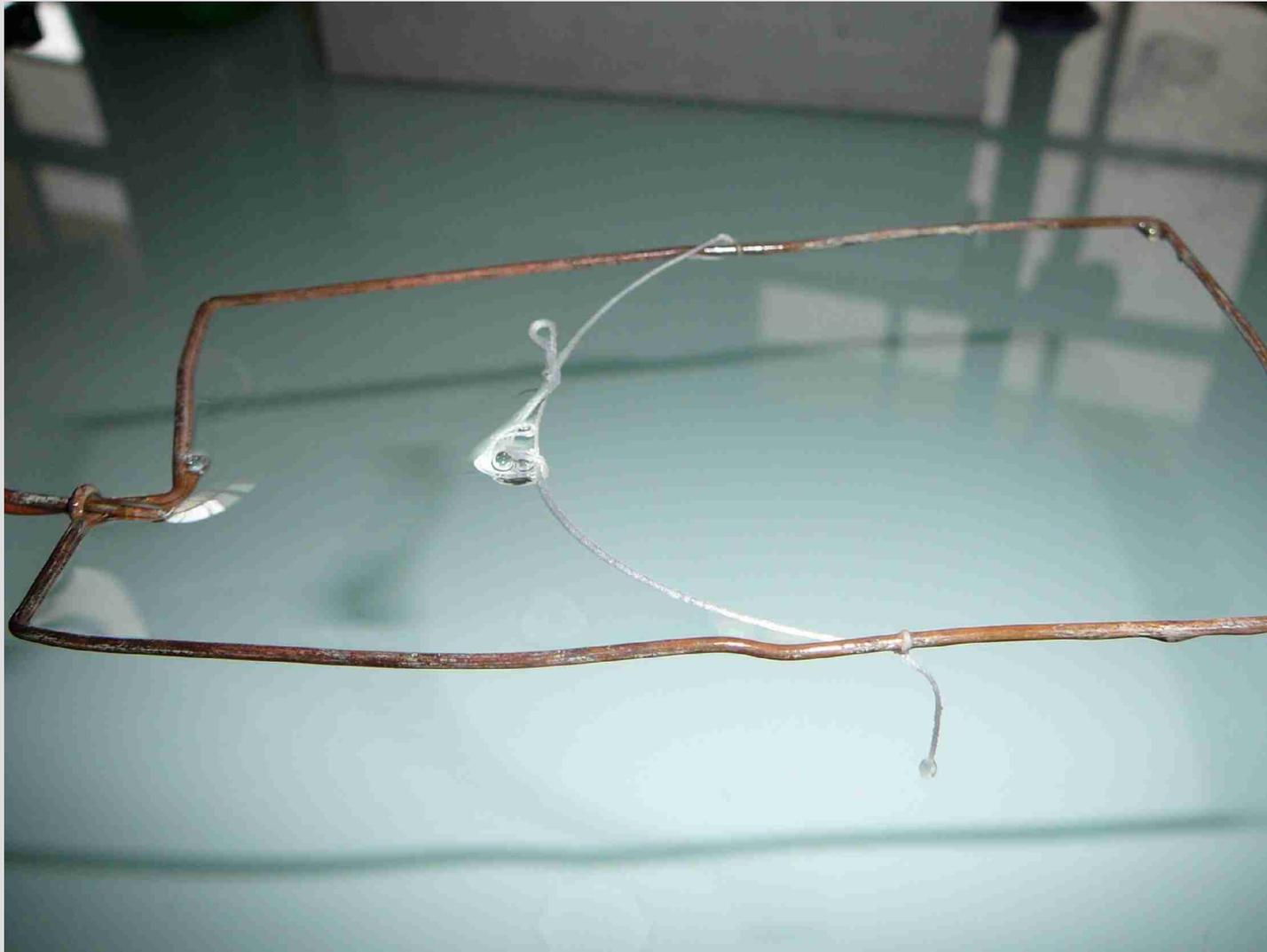
La

tension

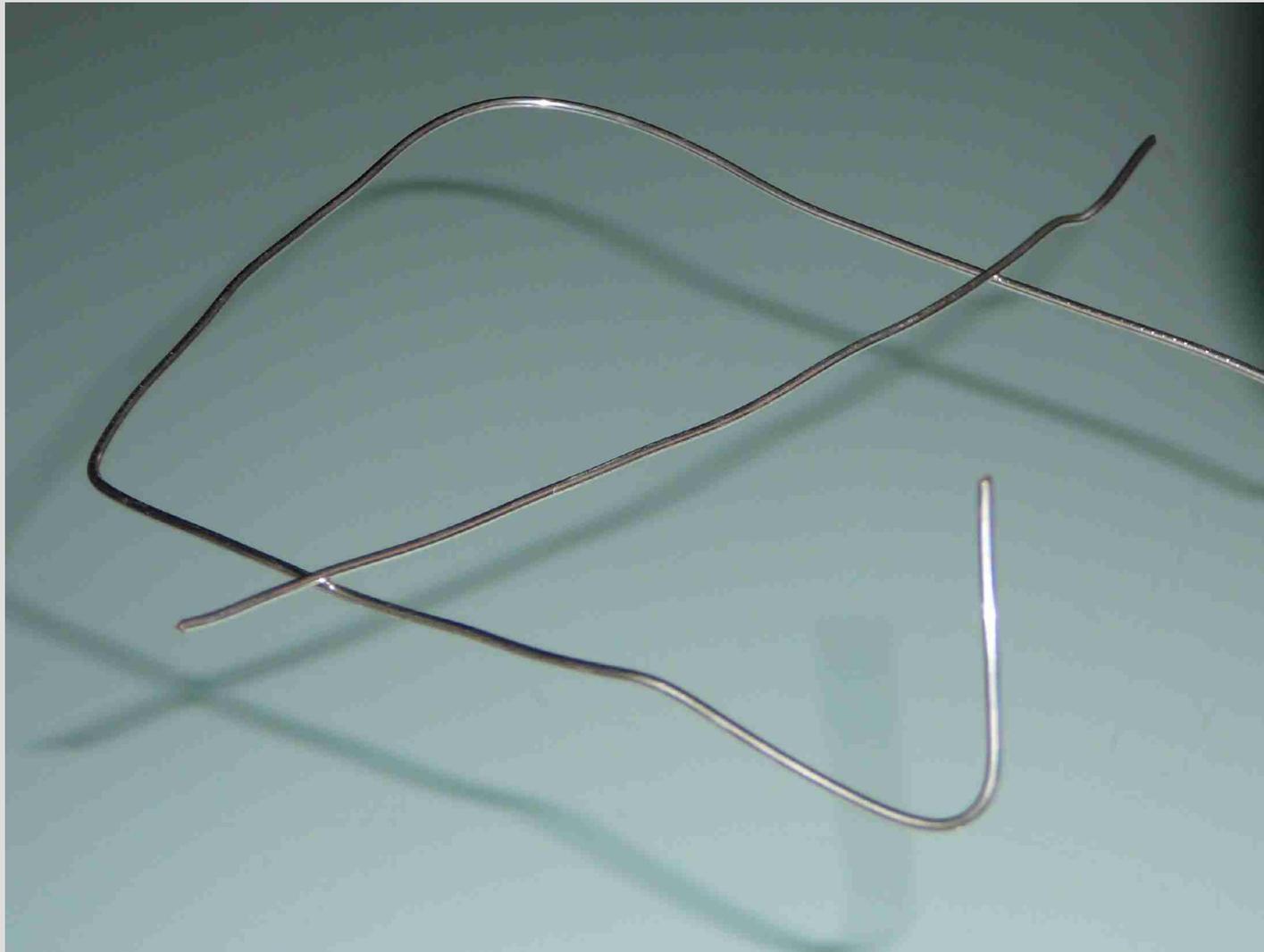
superficielle



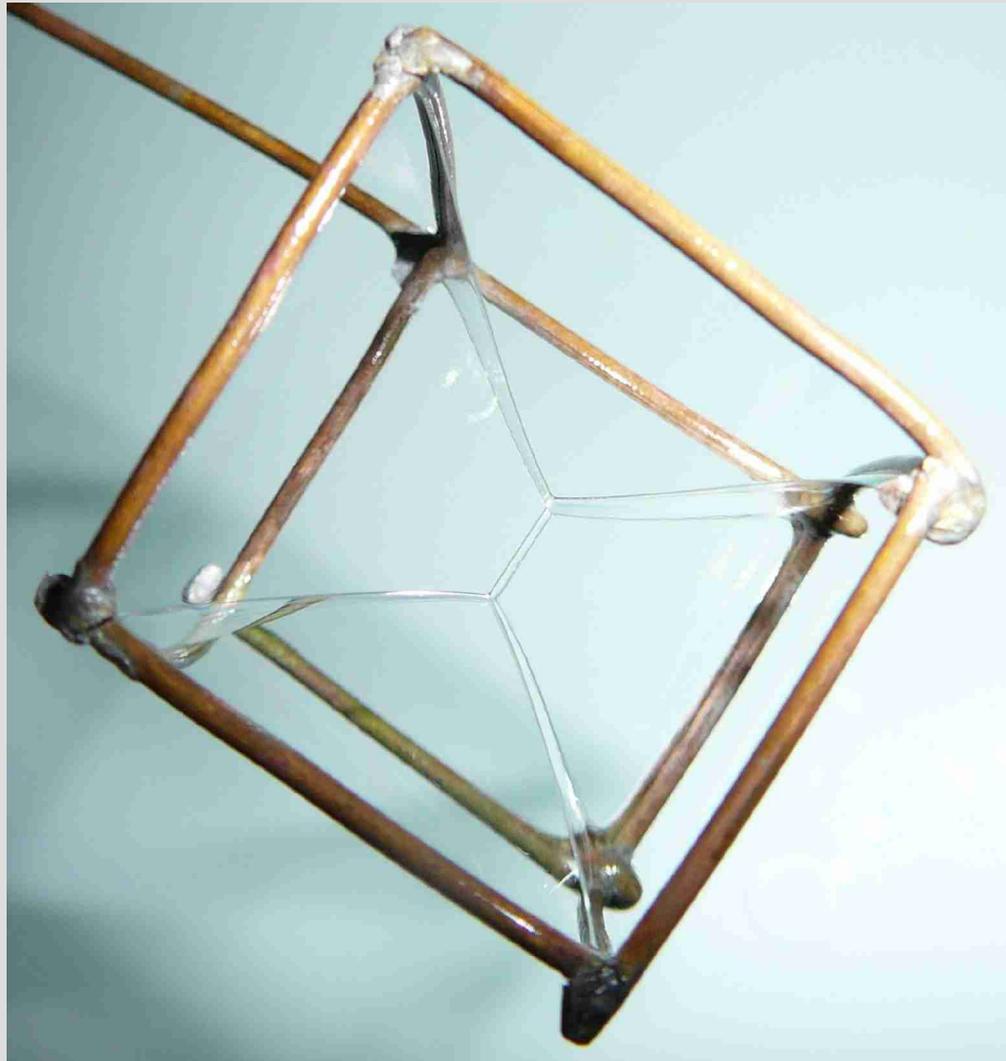
# De l'eau savonneuse et ... ... un rectangle et une ficelle



# De l'eau savonneuse et ... ... un rectangle et une barre



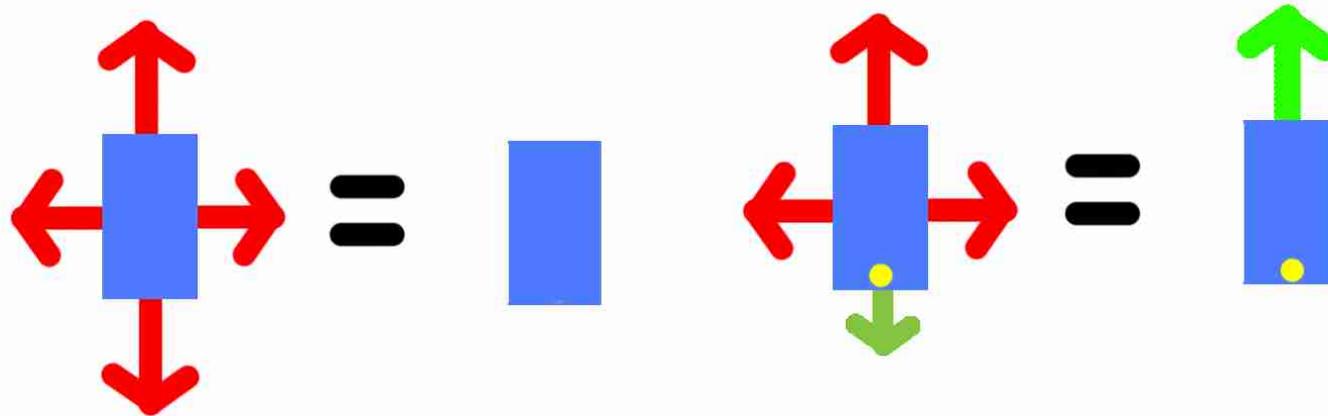
# De l'eau savonneuse et ... ... un cube



**L'eau déborde ?  
Non, elle se bombe !**

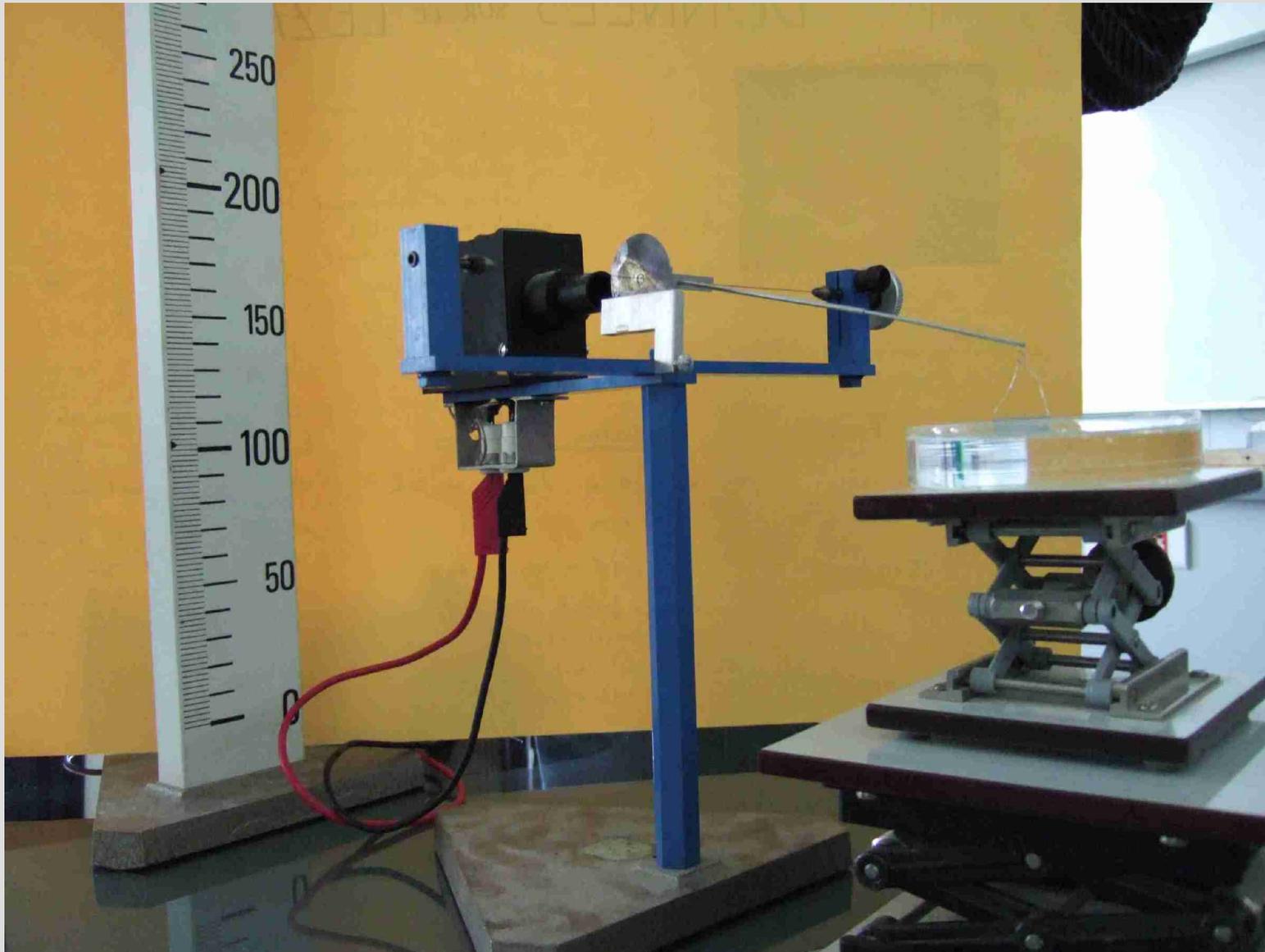


# L'expérience du bateau

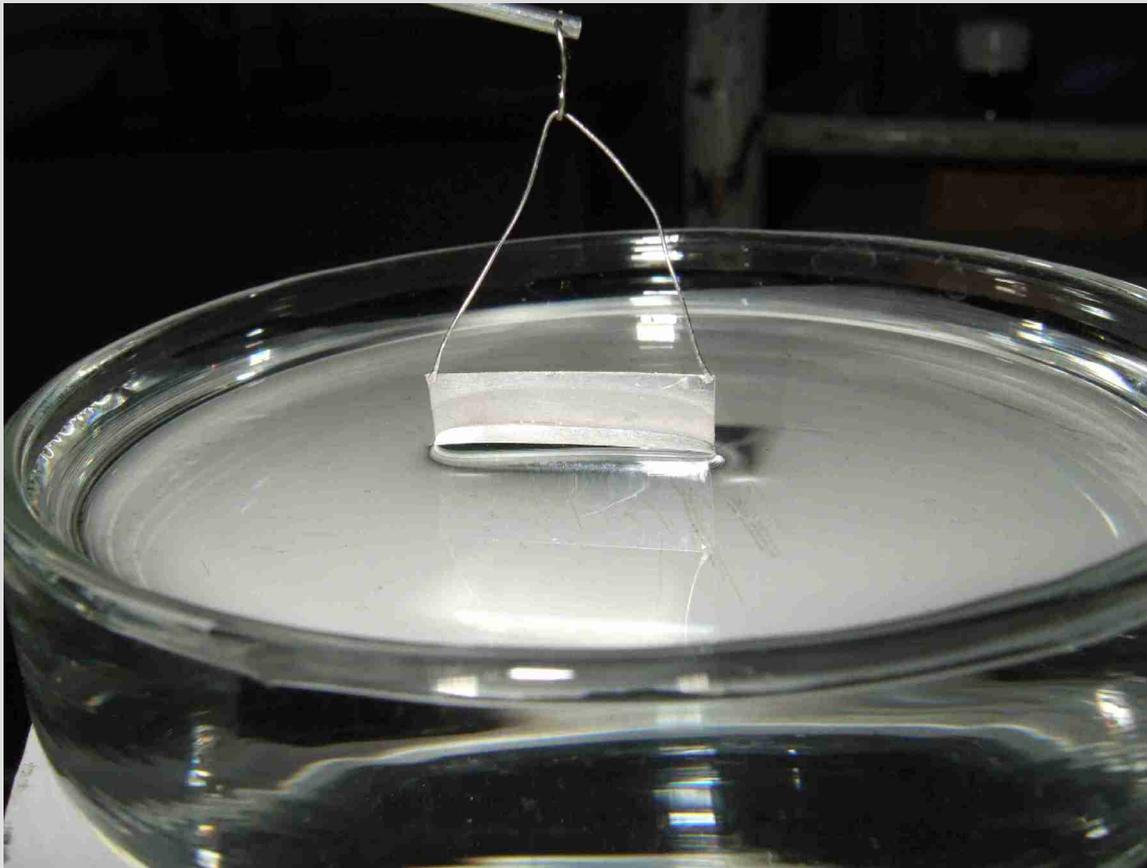


- Forces de tension superficielle de l'eau
- Force de tension superficielle du savon (< eau)
- Savon
- Résultante des forces de tension superficielle

# Mesure de la tension superficielle par la méthode d'arrachement

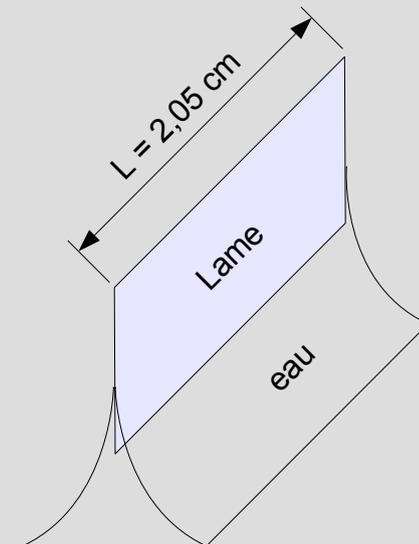


# Mesure de la tension superficielle par la méthode d'arrachement



La tension superficielle est :

$$\gamma = \frac{F}{2L}$$



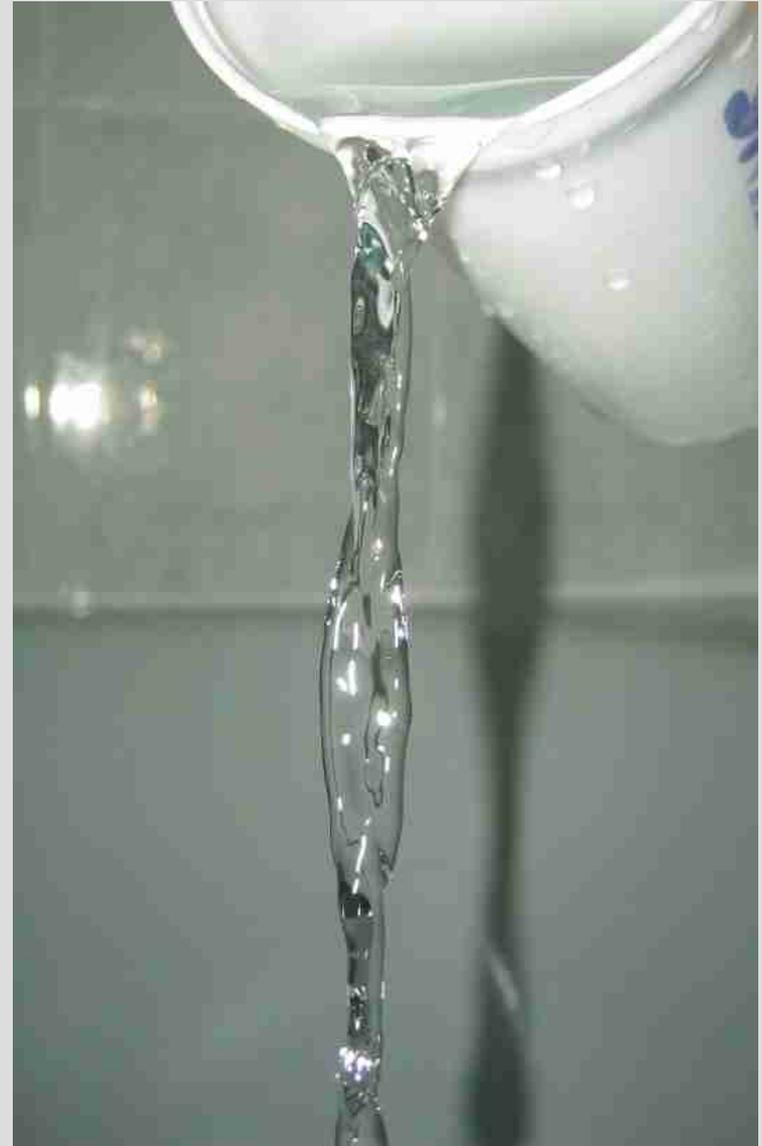
$$\gamma = 0,0654 \text{ N.m}^{-1}$$

# Un écoulement quotidien pas si simple

Mesures et  
exploitation

# Mesures et exploitations

**Les torsades**



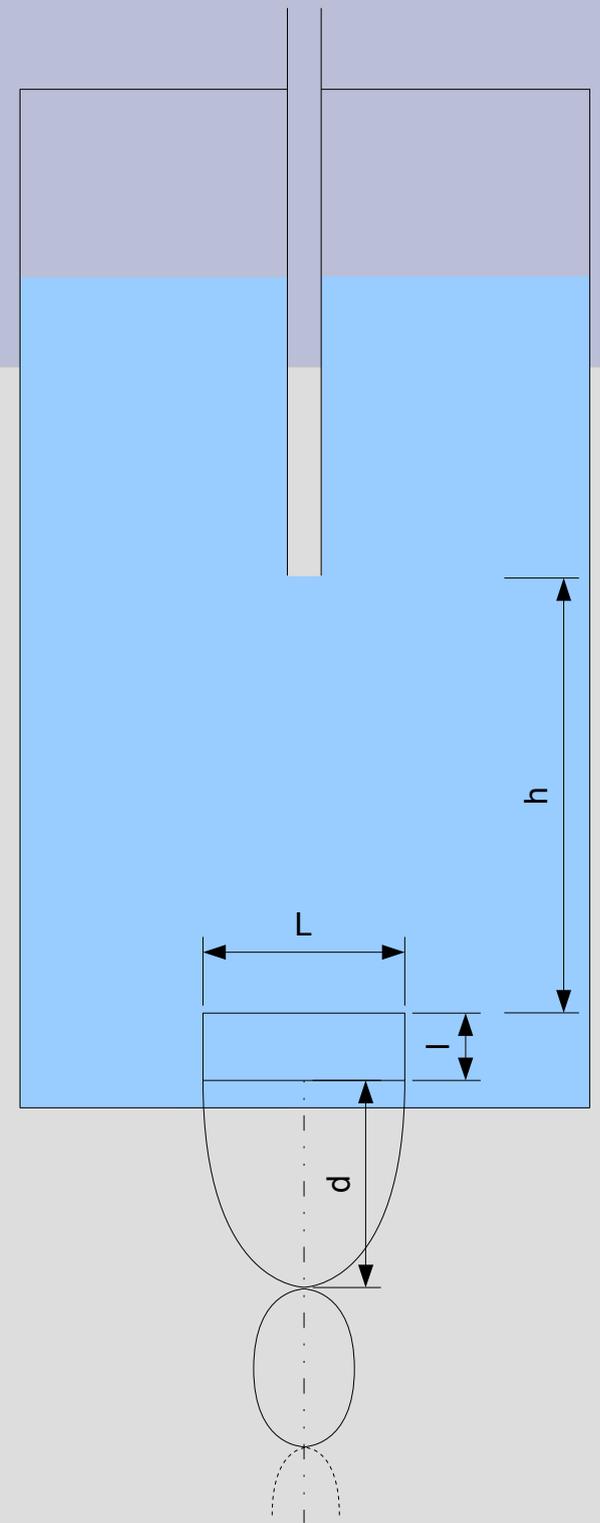
# Des bouteilles percées...

La vitesse de l'eau à la sortie du trou est :

$$v = \sqrt{2gh}$$

Le temps crunch est :

$$t_c = \frac{d}{v}$$



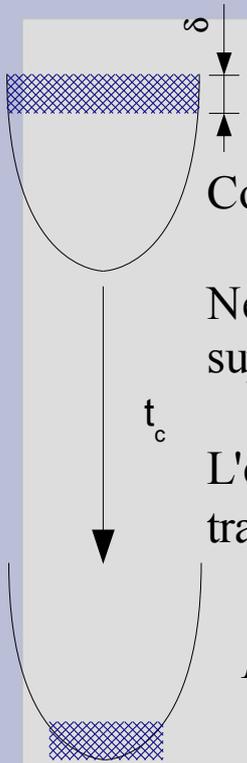
# Des bouteilles percées...



# Quelques mesures

| Dimensions du trou |               | Hauteur d'eau | Longueur torsade | Vitesse à la sortie du trou           | Temps crunch   | $e = L \times \sqrt{I}$ | Dimensions du trou |               | Hauteur d'eau | Longueur torsade | Vitesse à la sortie du trou           | Temps crunch  | $e = L \times \sqrt{I}$ |
|--------------------|---------------|---------------|------------------|---------------------------------------|--|-------------------------|--------------------|---------------|---------------|------------------|---------------------------------------|---|-------------------------|
| Longueur L (m)     | Largeur l (m) | h (m)         | d (m)            | $v = \sqrt{2gh}$ (m.s <sup>-1</sup> ) | $t_c$ (s)  | $e$ (m <sup>3/2</sup> ) | Longueur L (m)     | Largeur l (m) | h (m)         | d (m)            | $v = \sqrt{2gh}$ (m.s <sup>-1</sup> ) | $t_c$ (s)   | $e$ (m <sup>3/2</sup> ) |
| 0,0100             | 0,0010        | 0,040         | 0,007            | 0,886                                 | 0,0079   | 3,16.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0014        | 0,050         | 0,012            | 0,990                                 | 0,0121  | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0010        | 0,060         | 0,007            | 1,09                                  | 0,0065   | 3,16.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0014        | 0,060         | 0,015            | 1,09                                  | 0,0138  | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0010        | 0,080         | 0,010            | 1,25                                  | 0,0080   | 3,16.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0014        | 0,070         | 0,015            | 1,17                                  | 0,0128  | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0010        | 0,100         | 0,010            | 1,40                                  | 0,0071   | 3,16.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0014        | 0,080         | 0,017            | 1,25                                  | 0,0136  | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |
|                    |               |               |                  |                                       | <b><math>t_{c \text{ moy}}=7,4 \text{ ms}</math></b> |                         | 0,0150             | 0,0014        | 0,090         | 0,020            | 1,33                                  | 0,0151  | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,040         | 0,008            | 0,886                                 | 0,0090   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0014        | 0,110         | 0,020            | 1,47                                  | 0,0136  | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,050         | 0,009            | 0,990                                 | 0,0091   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0014        | 0,120         | 0,022            | 1,53                                  | 0,0143  | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,060         | 0,009            | 1,09                                  | 0,0083   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0014        | 0,130         | 0,023            | 1,60                                  | 0,0144  | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,070         | 0,010            | 1,17                                  | 0,0085   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   |                    |               |               |                  |                                       | <b><math>t_{c \text{ moy}}=13,4 \text{ ms}</math></b> |                         |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,080         | 0,011            | 1,25                                  | 0,0088   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0018        | 0,020         | 0,010            | 0,626                                 | 0,0160  | 6,36.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,090         | 0,012            | 1,33                                  | 0,0090   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0018        | 0,040         | 0,015            | 0,886                                 | 0,0169  | 6,36.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,100         | 0,013            | 1,40                                  | 0,0093   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0018        | 0,080         | 0,020            | 1,25                                  | 0,0160  | 6,36.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,110         | 0,014            | 1,47                                  | 0,0095   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0018        | 0,090         | 0,020            | 1,33                                  | 0,0151  | 6,36.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,120         | 0,014            | 1,53                                  | 0,0091   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0018        | 0,100         | 0,022            | 1,40                                  | 0,0157  | 6,36.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0100             | 0,0017        | 0,130         | 0,015            | 1,60                                  | 0,0094   | 4,12.10 <sup>-4</sup>   | 0,0150             | 0,0018        | 0,110         | 0,025            | 1,47                                  | 0,0170  | 6,36.10 <sup>-4</sup>   |
|                    |               |               |                  |                                       | <b><math>t_{c \text{ moy}}=9,0 \text{ ms}</math></b> |                         | 0,0150             | 0,0018        | 0,120         | 0,025            | 1,53                                  | 0,0163  | 6,36.10 <sup>-4</sup>   |
| 0,0150             | 0,0014        | 0,030         | 0,010            | 0,767                                 | 0,0130   | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |                    |               |               |                  |                                       | <b><math>t_{c \text{ moy}}=16,1 \text{ ms}</math></b> |                         |
| 0,0150             | 0,0014        | 0,040         | 0,010            | 0,886                                 | 0,0113   | 5,61.10 <sup>-4</sup>   |                    |               |               |                  |                                       |   |                         |

# Un modèle théorique



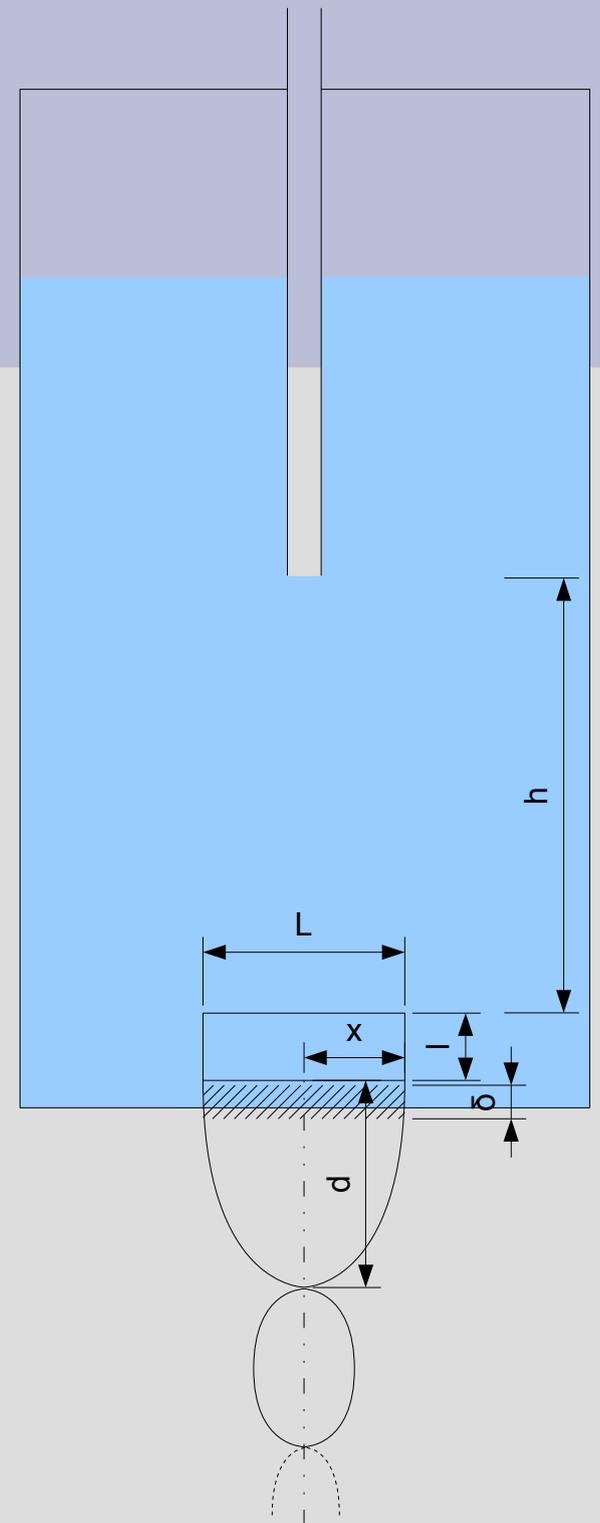
Considérons une bandelette d'eau de largeur  $\delta$ .

Négligeons toutes les forces sauf celle de la tension superficielle.

L'énergie potentielle liée à la tension superficielle  $E_p$  se transforme en énergie cinétique  $E_c$  :  $E_p = E_c$

$$E_p = 2\gamma S \text{ et } E_c = \frac{1}{2} m v_c^2 \text{ avec :}$$

- $v_c$  la vitesse finale des particules d'eau du bord du jet vers le centre
- $m = L l \delta \mu$  la masse de la bandelette d'eau
- $S = L \delta$  la surface de la bandelette d'eau



# Un modèle théorique

D'où :

$$v_c = \sqrt{\frac{4\gamma L \delta}{L l \delta \mu}} = 2\sqrt{\frac{\gamma}{l \mu}}$$

Or :

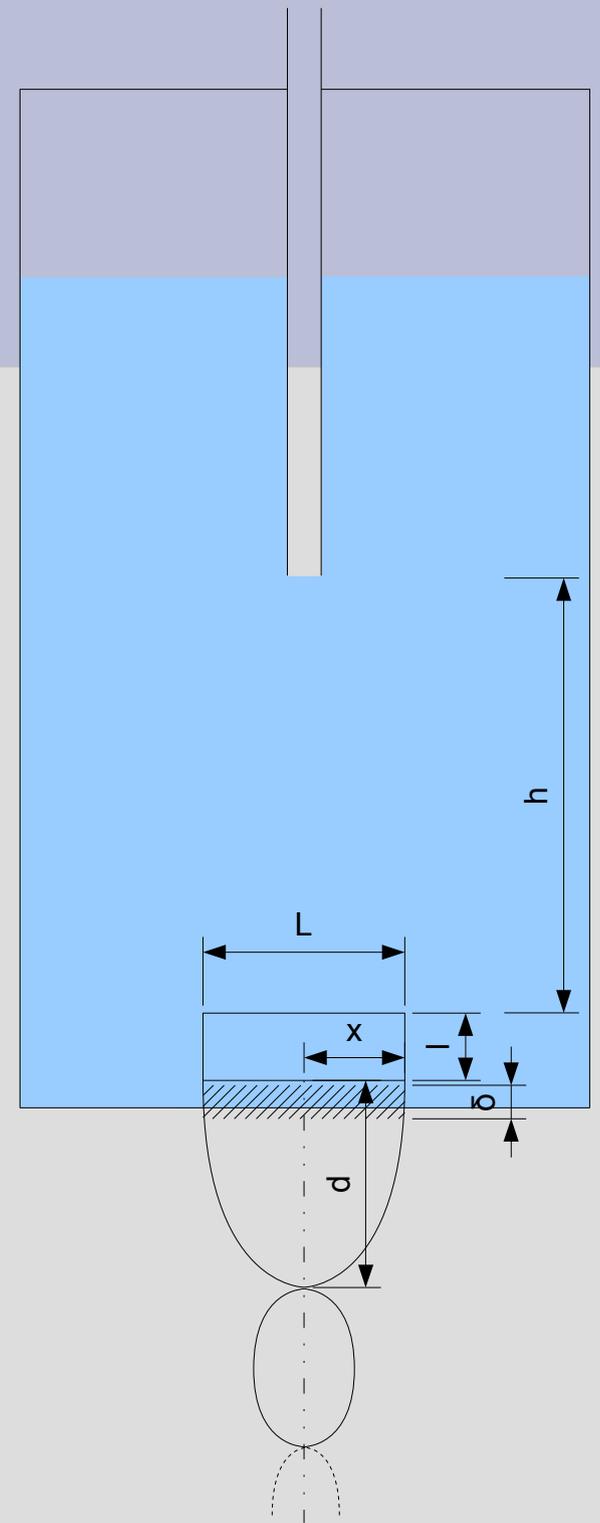
$$v_c \approx \frac{x}{t_c} \quad \text{et donc :} \quad v_c \approx \frac{L}{2t_c}$$

D'où :

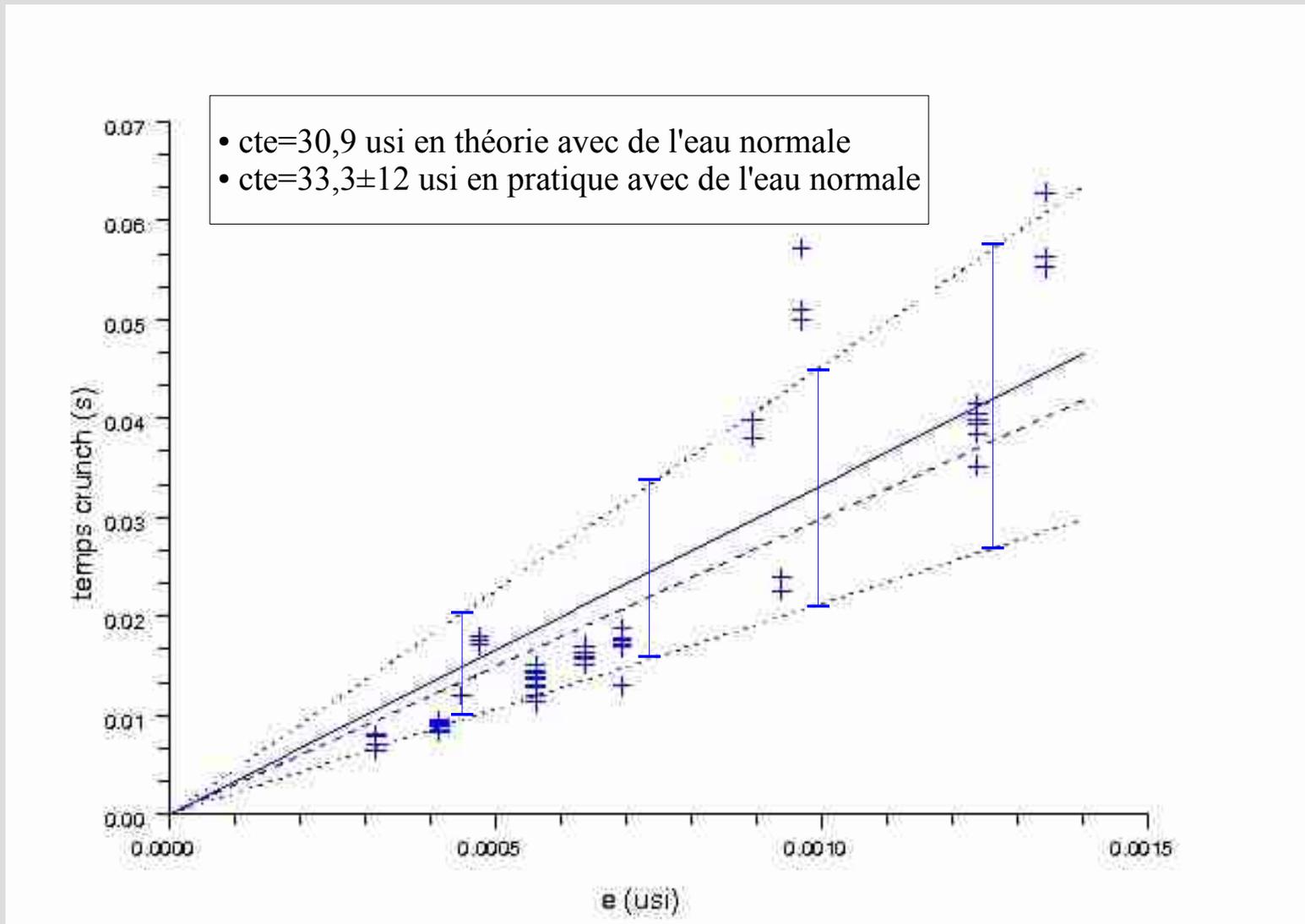
$$\frac{L}{2t_c} = 2\sqrt{\frac{\gamma}{l \mu}}$$

Donc :

$$t_c = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\mu}{\gamma}} L \sqrt{l} \quad \text{avec} \quad \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\mu}{\gamma}} = cte \quad \text{et} \quad L \sqrt{l} = e$$



# Évolution du temps crunch (s) en fonction de $e$ ( $\text{mm}^{3/4}$ )



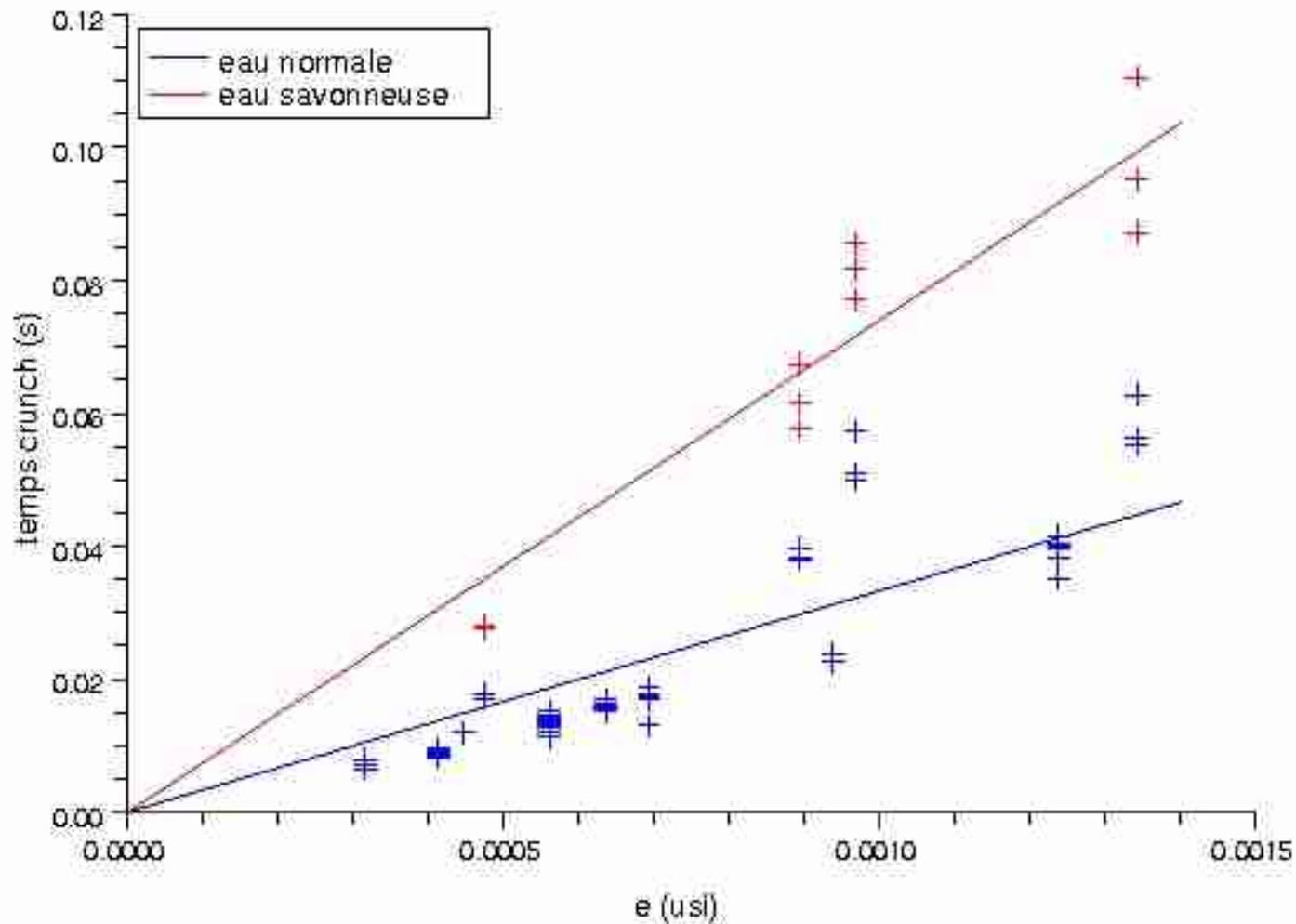
# Des bouteilles percées et du savon...

avec de l'eau ...



... et avec de l'eau  
savonneuse

# Évolution du temps crunch (s) en fonction de $e$ ( $\text{mm}^{3/4}$ )



# Comparaison de l'eau avec l'eau savonneuse

| Hauteur paille (cm) | Longueur fente (cm) | Largeur fente (cm) | Longueur torsade D (cm)<br>Eau normale | Longueur torsade d (cm)<br>Eau savonneuse | Rapport $\frac{d}{D}$ | Vitesse (m.s <sup>-1</sup> ) | Temps crunch T (s)<br>Eau normale | Temps crunch t (s)<br>eau savonneuse |
|---------------------|---------------------|--------------------|--|---|-----------------------|------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| 10,3                | 1,5                 | 0,10               | 2,5                                    | 4,0                                       | 1,6                   | 1,42                         | 0,017                             | 0,028                                |
| 13,2                | 1,5                 | 0,10               | 2,75                                   | 4,5                                       | 1,6                   | 1,61                         | 0,017                             | 0,028                                |
| 16,2                | 1,5                 | 0,10               | 3,2                                    | 4,9                                       | 1,5                   | 1,78                         | 0,018                             | 0,028                                |
| 10,3                | 2,0                 | 0,20               | 5,4                                    | 8,2                                       | 1,5                   | 1,42                         | 0,038                             | 0,058                                |
| 13,2                | 2,0                 | 0,20               | 6,4                                    | 9,9                                       | 1,5                   | 1,61                         | 0,040                             | 0,061                                |
| 16,2                | 2,0                 | 0,20               | 6,8                                    | 12,0                                      | 1,8                   | 1,78                         | 0,038                             | 0,067                                |
| 10,3                | 2,5                 | 0,15               | 7,1                                    | 11,6                                      | 1,6                   | 1,42                         | 0,050                             | 0,082                                |
| 13,2                | 2,5                 | 0,15               | 8,2                                    | 12,4                                      | 1,5                   | 1,61                         | 0,051                             | 0,077                                |
| 16,2                | 2,5                 | 0,15               | 10,2                                   | 15,25                                     | 1,5                   | 1,78                         | 0,057                             | 0,086                                |
| 10,3                | 3,0                 | 0,20               | 8,0                                    | 12,4                                      | 1,6                   | 1,42                         | 0,056                             | 0,087                                |
| 13,2                | 3,0                 | 0,20               | 8,9                                    | 15,3                                      | 1,7                   | 1,61                         | 0,055                             | 0,095                                |
| 16,2                | 3,0                 | 0,20               | 11,2                                   | 19,7                                      | 1,8                   | 1,78                         | 0,063                             | 0,111                                |

# Comparaison de l'eau avec l'eau savonneuse

$$\text{Moyenne de } \frac{d}{D} : 1,61$$

$$\frac{d}{D} = \frac{v t_c}{v t_c'} = \frac{t_c}{t_c'}$$

$$\mu = \mu' = 1,00 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}$$

$$t_c = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\mu}{\gamma}} L \sqrt{l}$$

$$\gamma = 0,0654 \text{ N.m}^{-1} \quad \gamma' = 0,0268 \text{ N.m}^{-1}$$

$$t_c' = \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\mu}{\gamma'}} L \sqrt{l}$$

$$\sqrt{\frac{\gamma}{\gamma'}} = 1,56 \approx \frac{d}{D}$$

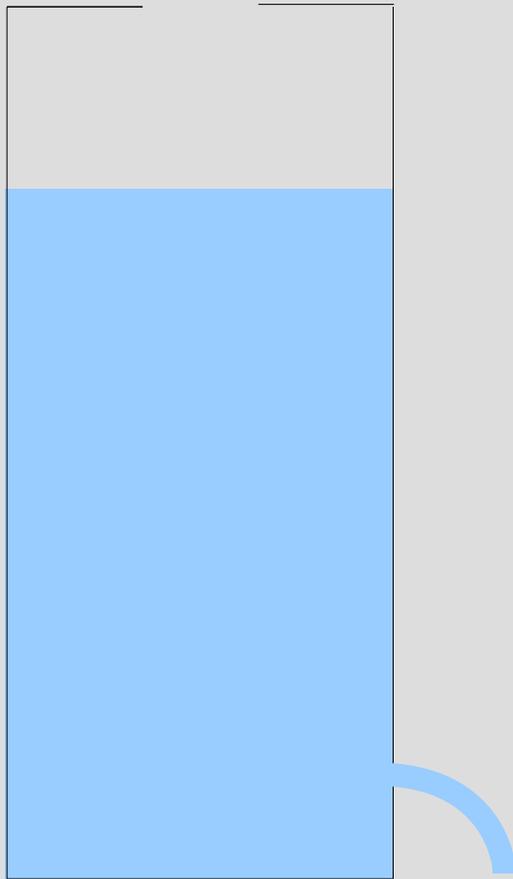
$$\frac{d}{D} = \sqrt{\frac{\gamma}{\gamma'}}$$

# Mesures et exploitations

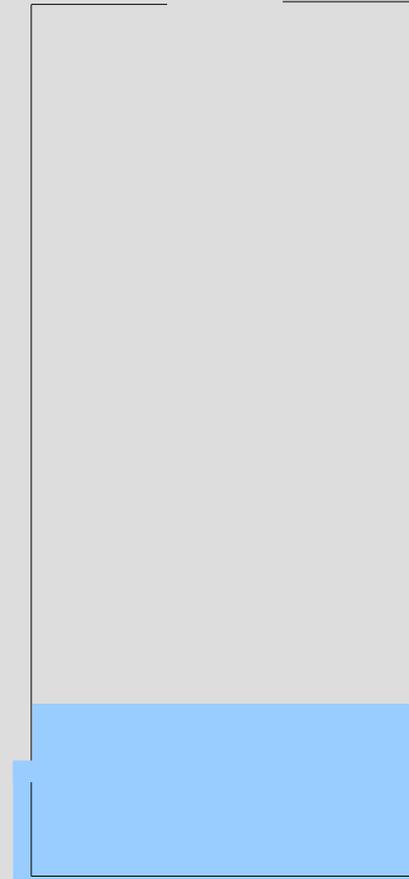


**Le collé**

# Encore des bouteilles percées...



$h > h_{\min}$   
pas de collé



$h < h_{\min}$   
collé

# Mesures

## Vitesse minimale sans collé

| Dimensions du trou |               | Hauteur minimale de l'eau | Vitesse minimale de l'eau               |
|--------------------|---------------|---------------------------|---|
| Longueur L (m)     | Largeur l (m) | h (m)                     | $v_m = \sqrt{2gh}$ (m.s <sup>-1</sup> ) |
| 0,005              | 0,0010        | 0,003                     | 0,243                                   |
| 0,010              | 0,0017        | 0,015                     | 0,542                                   |
| 0,010              | 0,0020        | 0,010                     | 0,443                                   |
| 0,010              | 0,0037        | 0,008                     | 0,396                                   |
| 0,015              | 0,0009        | 0,023                     | 0,672                                   |
| 0,015              | 0,0018        | 0,011                     | 0,465                                   |
| 0,015              | 0,0030        | 0,009                     | 0,420                                   |
| 0,020              | 0,0011        | 0,021                     | 0,642                                   |
| 0,020              | 0,0022        | 0,010                     | 0,443                                   |
| 0,020              | 0,0031        | 0,010                     | 0,443                                   |
| 0,030              | 0,0017        | 0,011                     | 0,465                                   |

# Un modèle théorique

Pour que l'eau ne colle pas, il faut et il suffit donc que :

$$E_c > E_p$$

Or  $E_p = \gamma S$  et  $E_c = \frac{1}{2} m v^2$  avec :

- $v$  la vitesse de l'eau à la sortie de la bouteille s'il n'y avait pas de collé
- $m = L l \delta \mu$  la masse de la bandelette d'eau
- $S = L \delta$  la surface de la bandelette d'eau

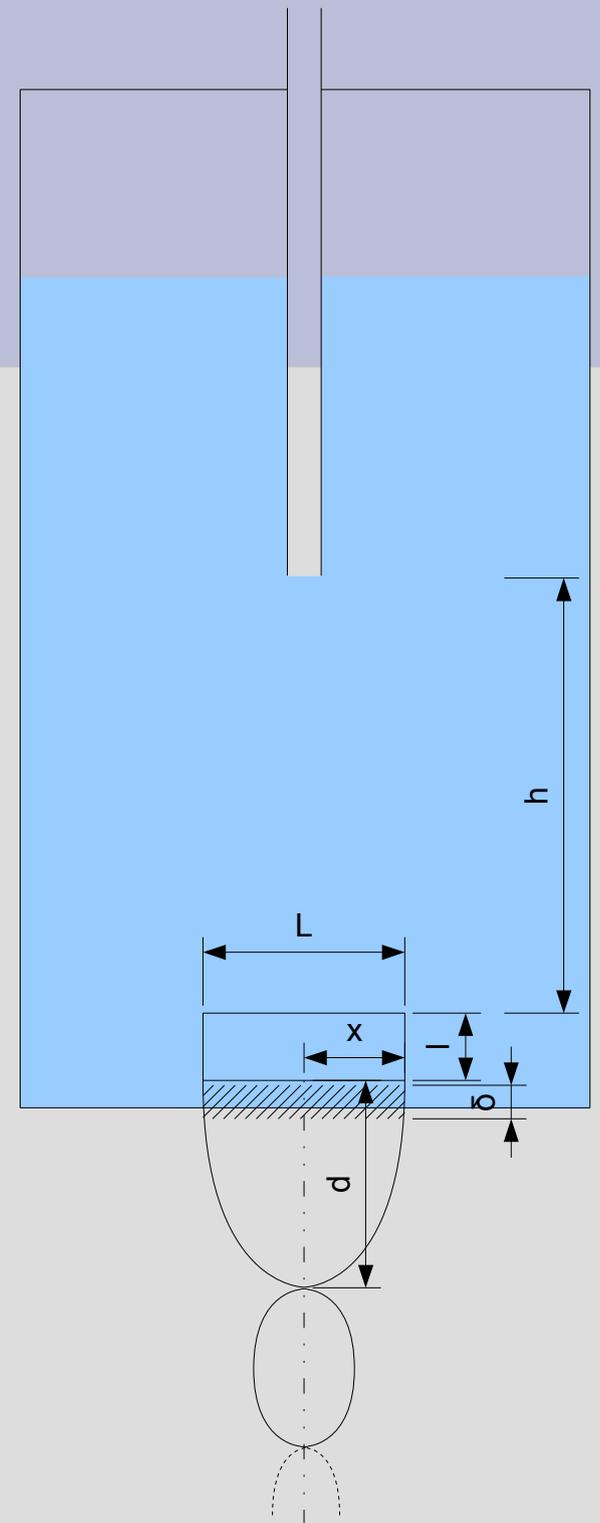
D'où :

$$E_c > E_p$$

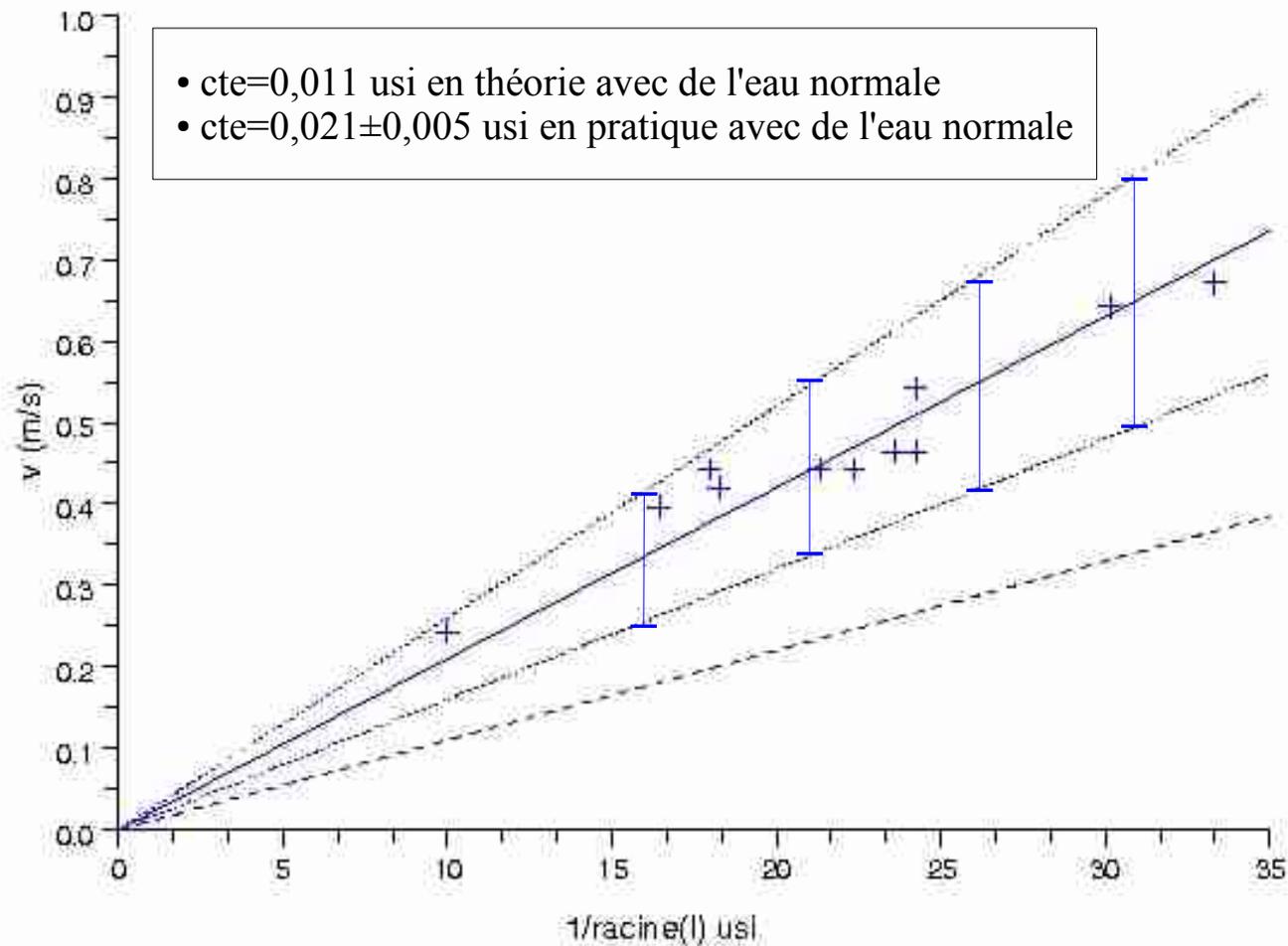
$$\Leftrightarrow \frac{1}{2} L l \delta \mu v^2 > \gamma L \delta$$

$$\Leftrightarrow v^2 > \frac{2\gamma}{l\mu}$$

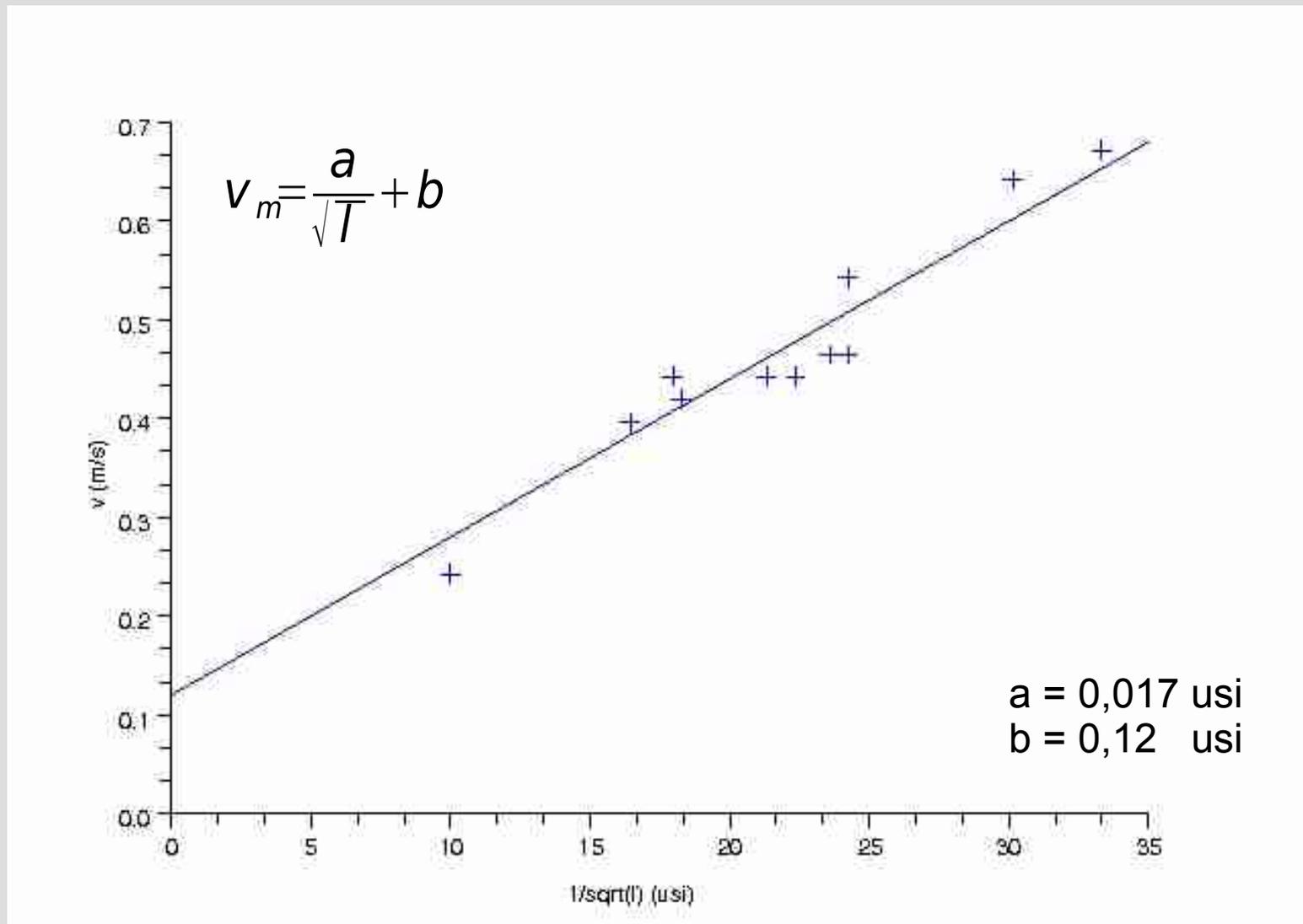
$$\Leftrightarrow v > \sqrt{2\frac{\gamma}{\mu}} \sqrt{\frac{1}{l}} \quad \text{avec} \quad \sqrt{2\frac{\gamma}{\mu}} = cte$$



# Évolution de la hauteur minimale $h_{\min}$ en fonction de $1/\text{racine}(l)$



# Une ordonnée à l'origine ?



**Un écoulement quotidien  
pas si simple**

**Conclusion**

# Étalonnage d'un appareil de mesure par arrachement

On s'appuie sur deux valeurs de forces connues :

- Le poids d'un objet à vide : 0 N
- Le poids d'un objet de masse connue (ici  $m = 0,1\text{ g}$ )

$$P = m g$$

$$P = 0,1 \times 10^{-3} \times 9,8$$

$$P = 98 \times 10^{-5} \text{ N}$$

$$P = 98 \text{ dyn}$$

On a étalonné l'appareil. A présent, on peut alors trouver la constante de tension superficielle à partir de la formule :

$$F = 2 \gamma l \quad \text{avec :}$$

- $l$  la longueur de l'objet en contact avec le liquide (en m)
- $\gamma$  la constante de tension superficielle du liquide en ( $\text{N} \cdot \text{m}^{-1}$ )
- $F$  la force mesurée par arrachement (en N)

Dans notre cas, la lame de métal mesure 2,05 cm.