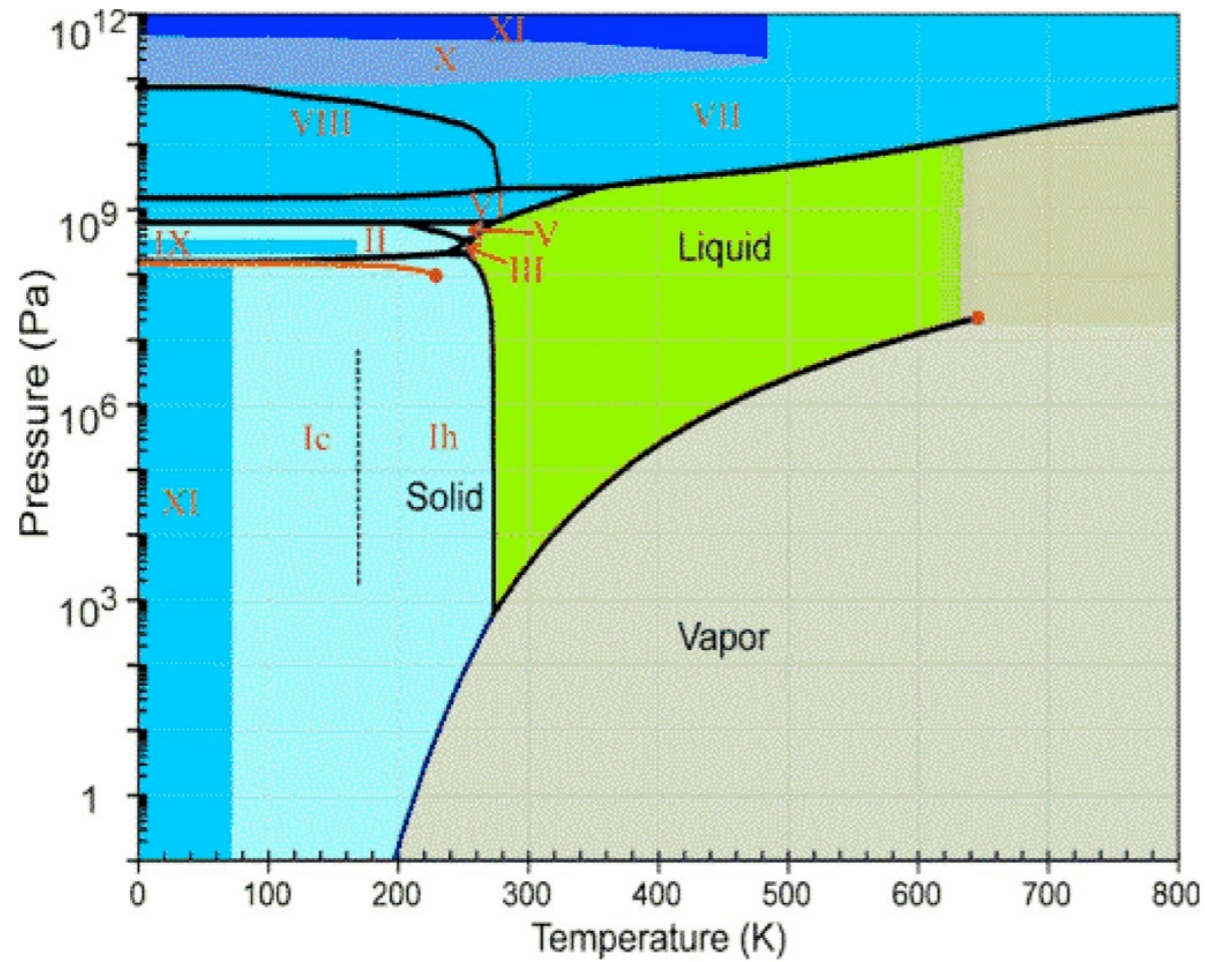


# Qu'est-ce qu'un fluide ?



La définition des thermodynamiciens pour les corps purs

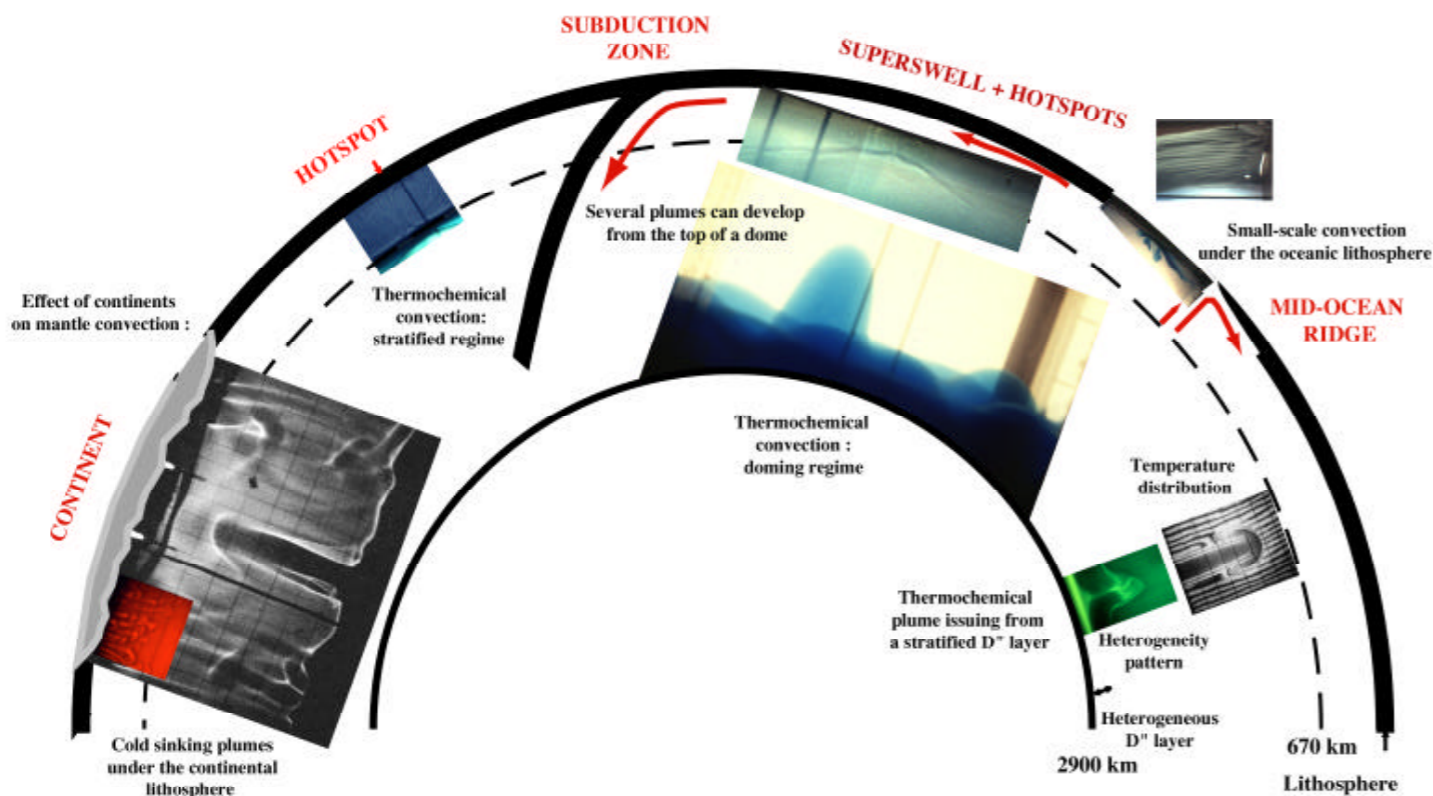
Diagramme de phase de l'eau

# Qu'est-ce qu'un fluide ?

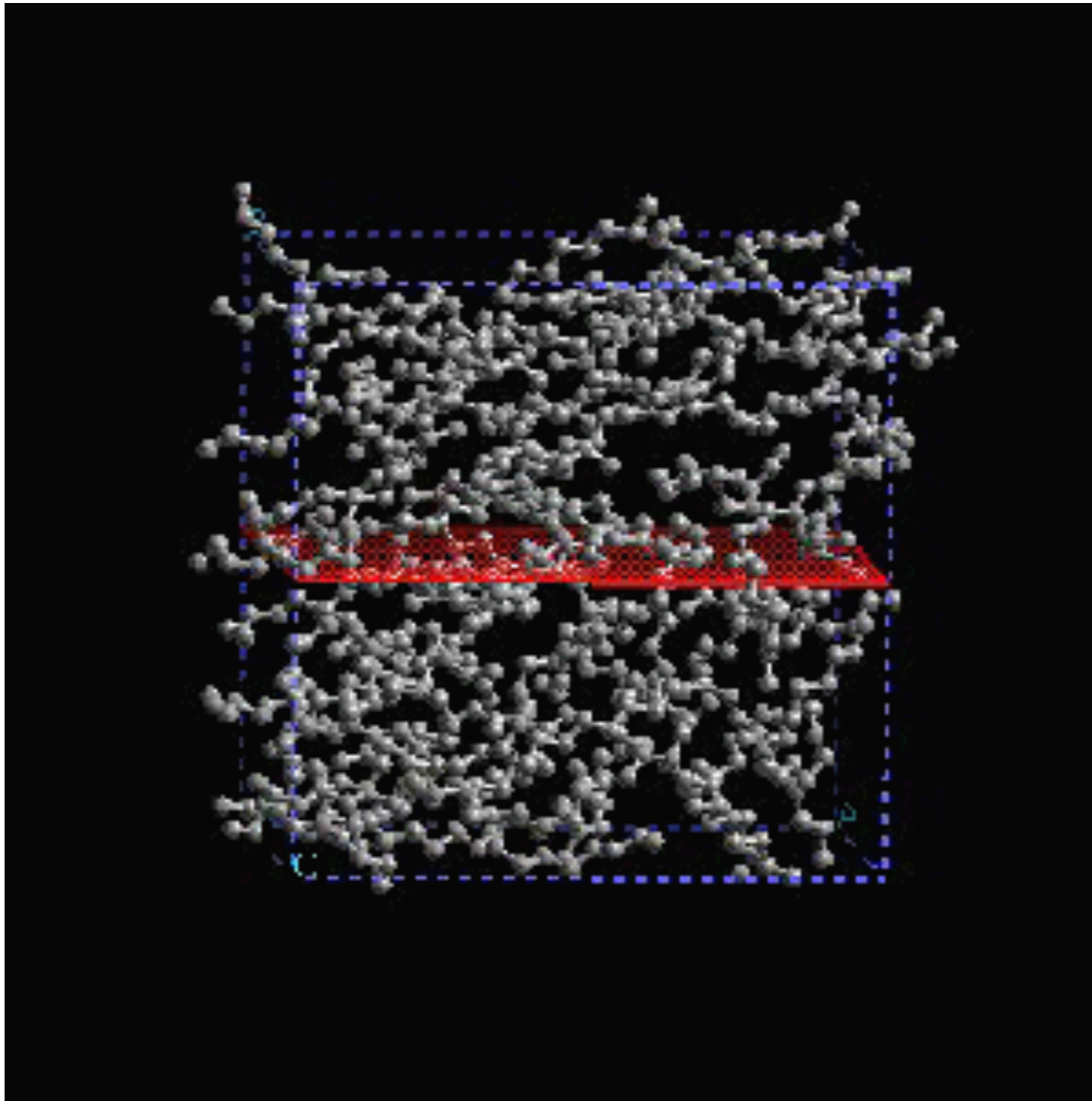


La glace et les roches du manteau : deux fluides de géophysicien

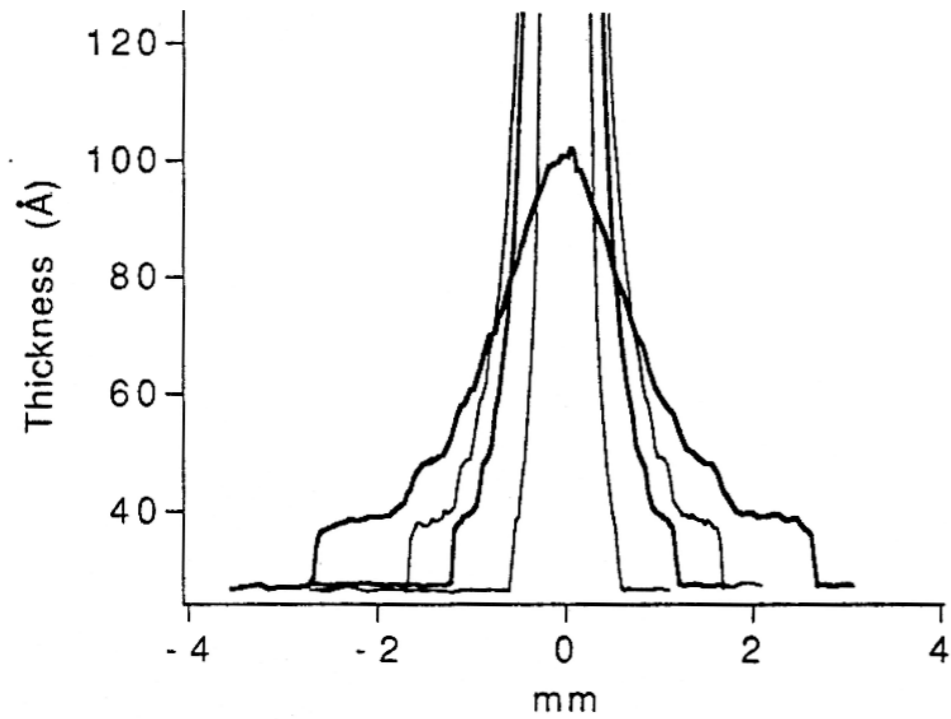
Une définition pratique :  
un fluide est un  
matériau qui se déforme  
indéfiniment



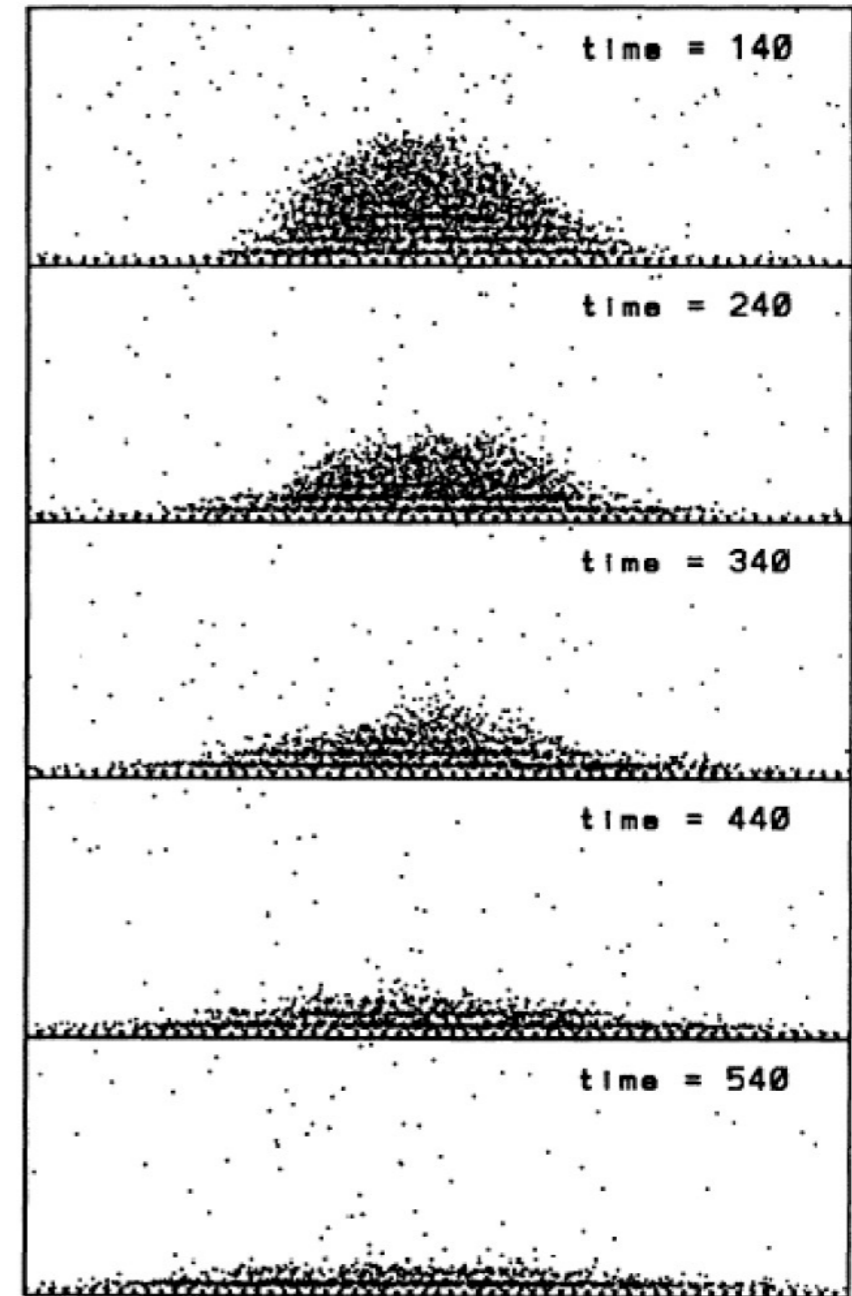
Continu ou non ?



# Continu ou non ?



Expérience  
Étalement de micro goutte



Simulation numérique.  
Dynamique moléculaire

# Continu ou non ?

## Appareil à force de surface

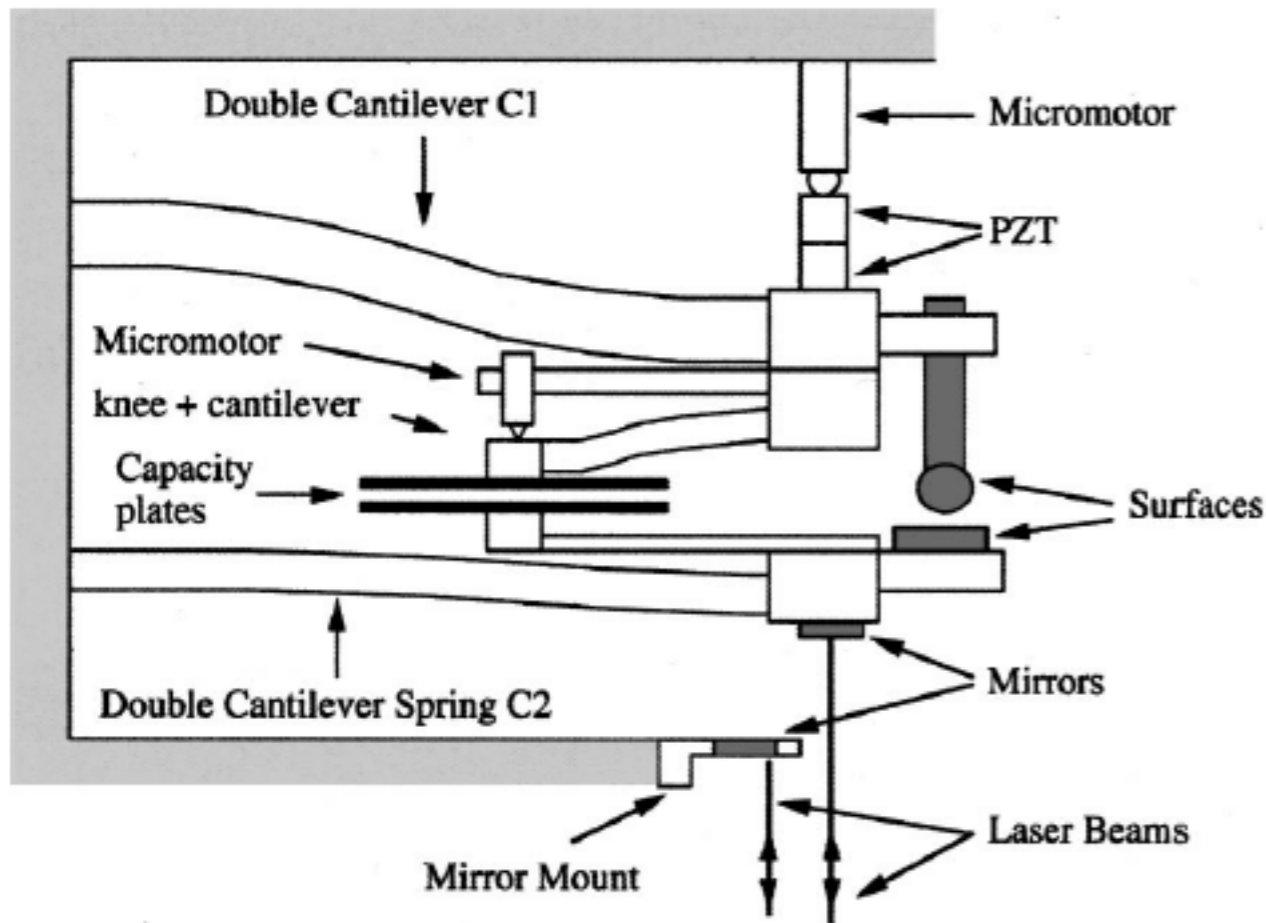


FIG. 1. Schematic drawing of the SFA.

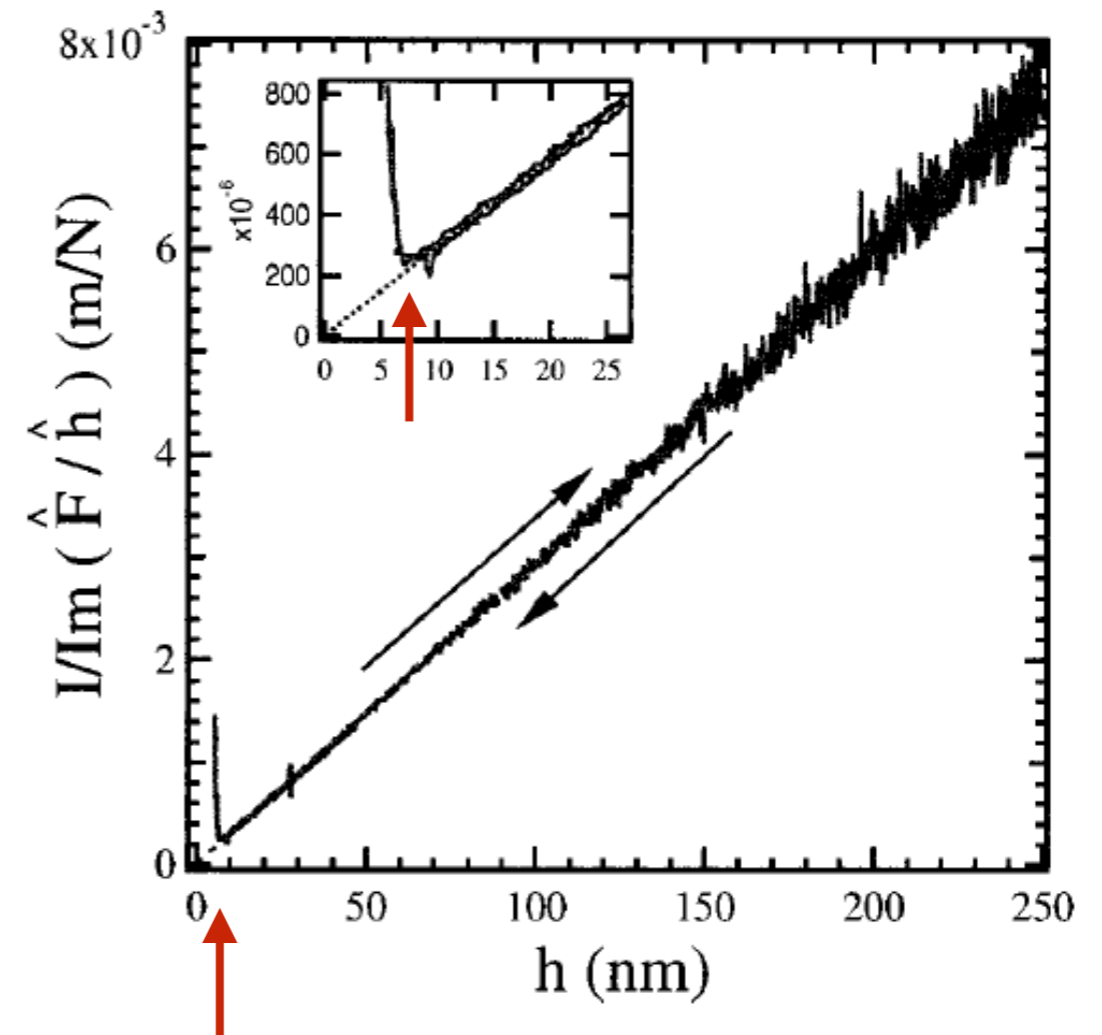
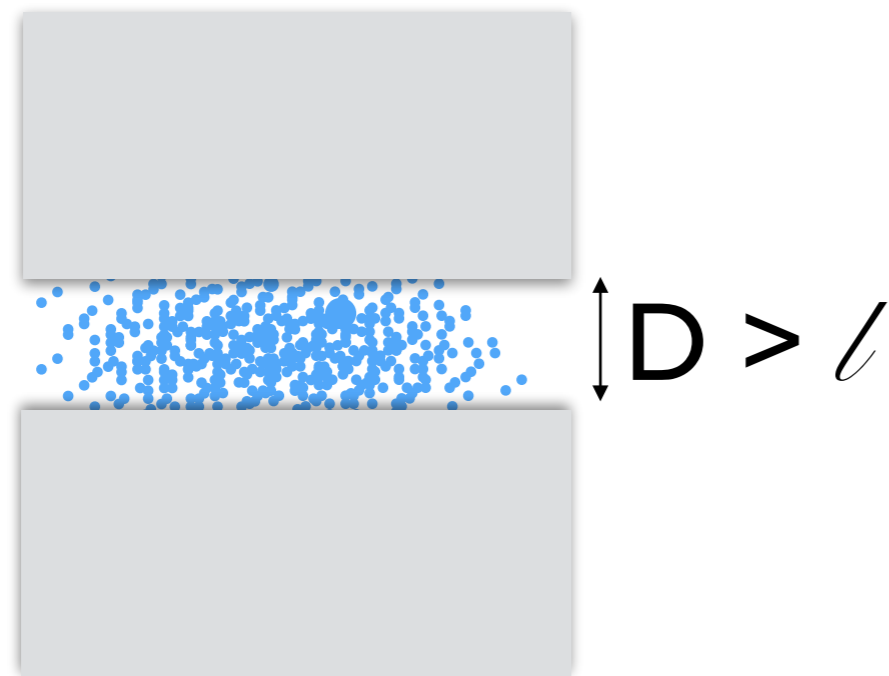


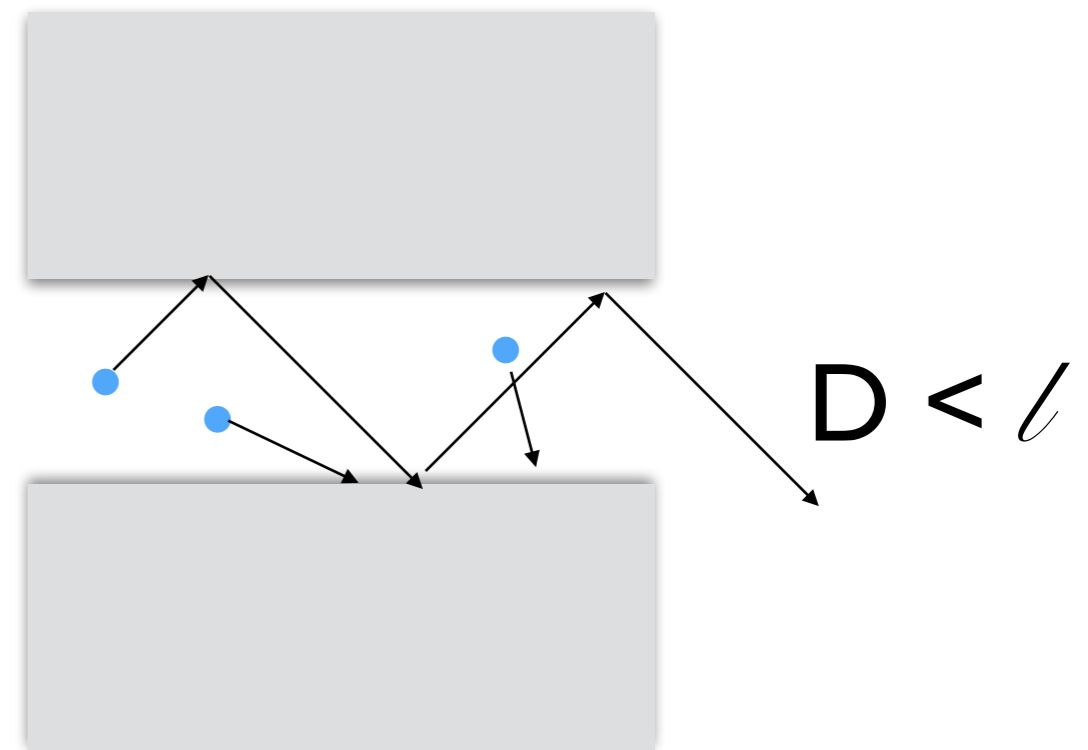
FIG. 7. Plot of the inverse of the imaginary part of  $\hat{F}/\hat{h}$  as a function of the surfaces separation  $h$  when the surfaces are approached and receded. (Inset) A zoom of the zone near the origin. The dashed line represents the best linear fit of the data.

liquide : dodécane

# Continu ou non ?



## Gaz raréfiés et régime de Knudsen



# Les fluides comme milieux continus

Les caractéristiques **microscopiques** déterminent les

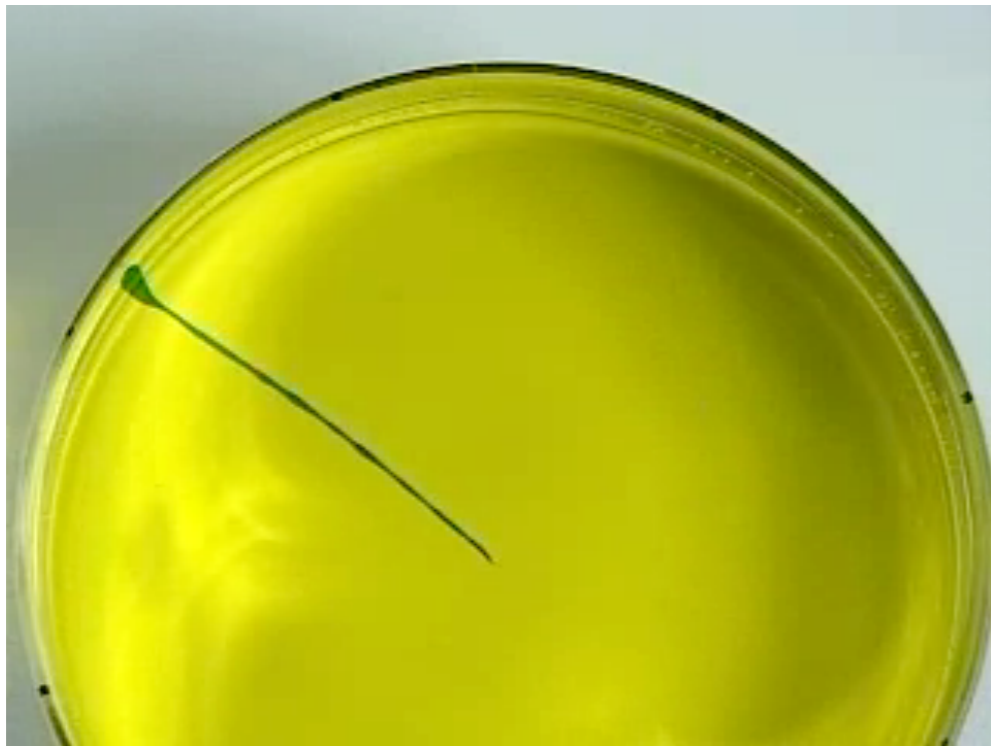
propriétés **macroscopiques** :

masse volumique, compressibilité, viscosité, diffusion de la chaleur, ...

On raisonne sur des éléments de volume

- assez petits pour décrire finement les champs de vitesse et de pression
- grands devant les échelles moléculaires

# Viscosité des fluides



**Huile 0,01 Pa.s**  
(10 X viscosité eau)

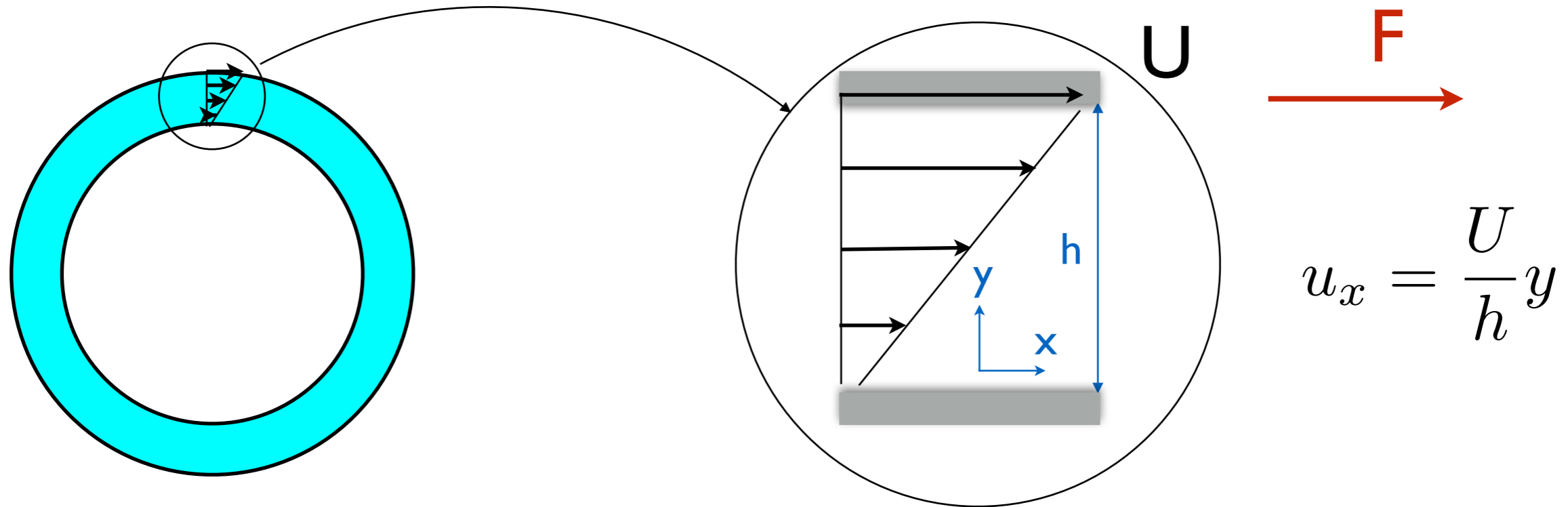


**Huile 0,1 Pa.s**  
(100 X viscosité eau)



# Viscosité dynamique des fluides

## Définition dans un écoulement de cisaillement simple

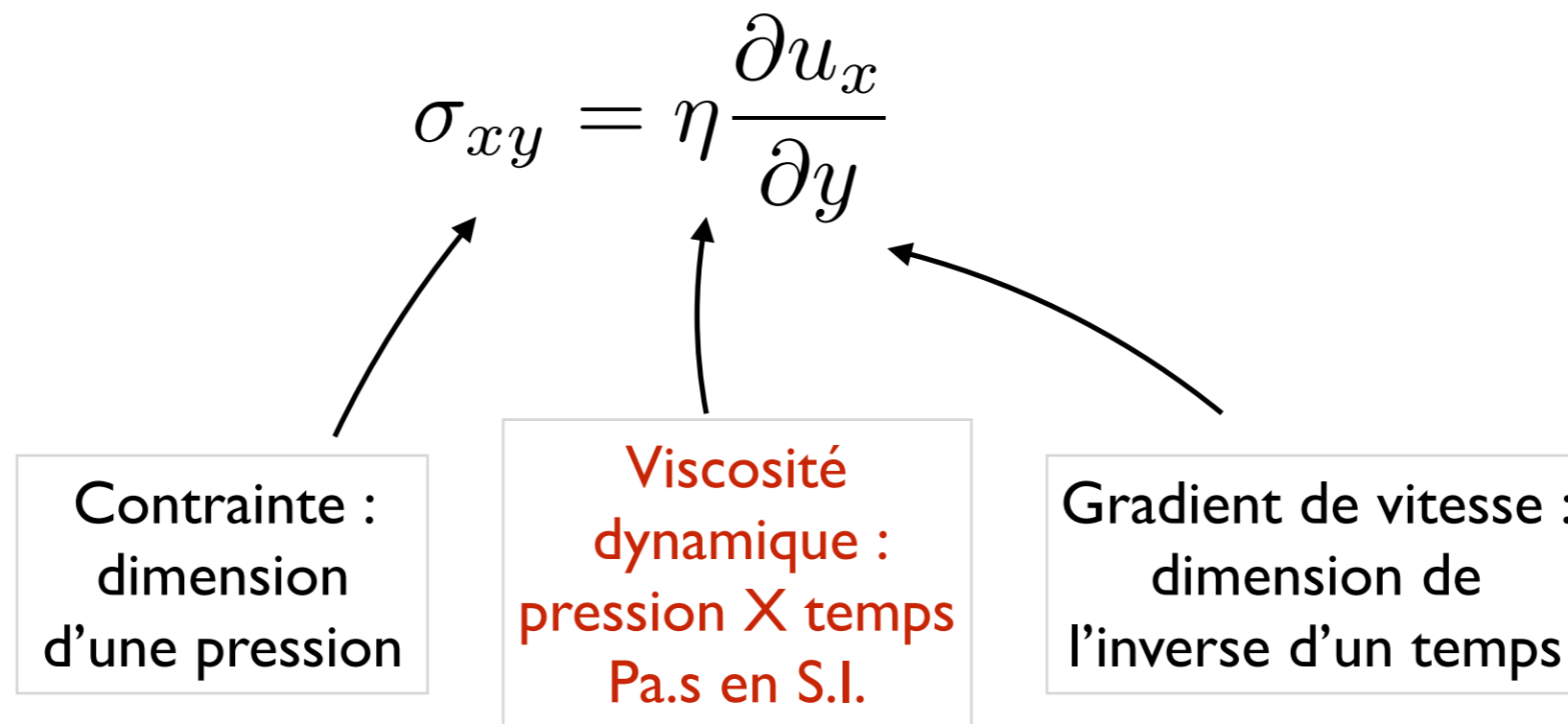


Contrainte de cisaillement  $\frac{F}{S} = \sigma_{xy}$

Composante de force suivant la direction  $x$ , exercée sur une surface de normale  $y$

Dans un fluide **newtonien** :

relation entre contrainte tangentielle et gradient de vitesse pour le cisaillement simple : un seul paramètre physique, la **viscosité dynamique**



# Viscosité dynamique des fluides

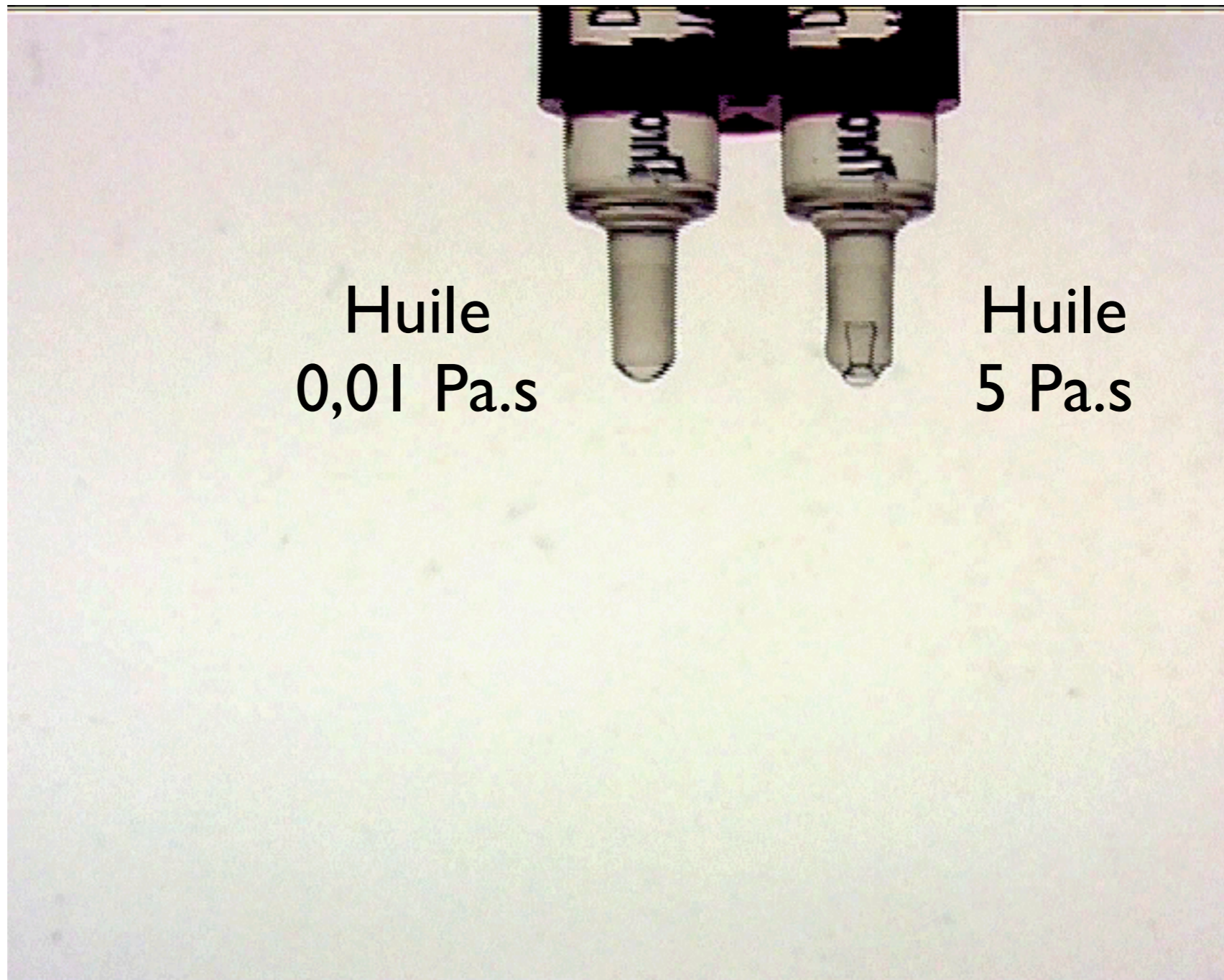
Ordres de grandeur de viscosité dynamique :

eau :  $10^{-3}$  Pa.s (1 mPoiseuille)    glycérine : 1,3 Pa.s

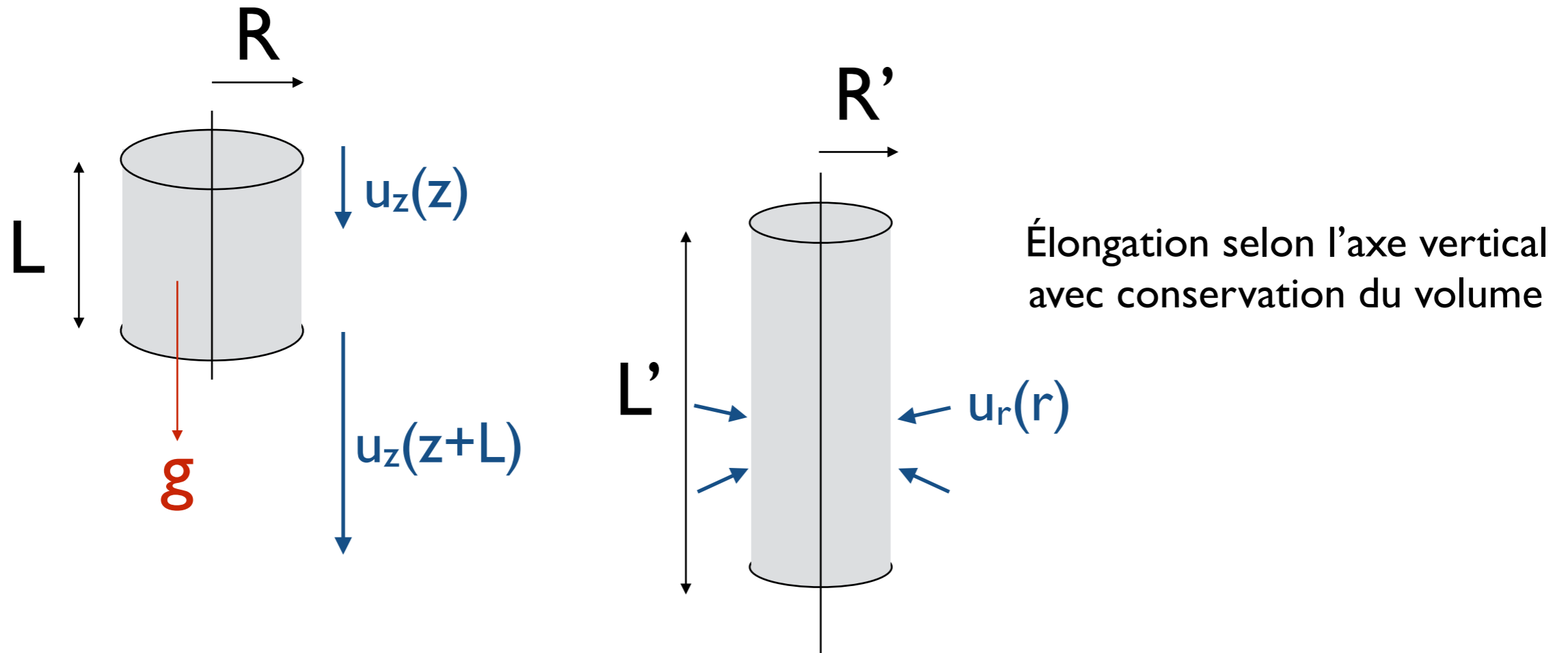
air :  $1,8 \cdot 10^{-5}$  Pa.s

hélium :  $3,3 \cdot 10^{-6}$  Pa.s (4 K)

# Viscosité et élongation



# Viscosité et élongation



La viscosité résiste à l'élongation de l'élément de fluide

# Inertie contre Viscosité



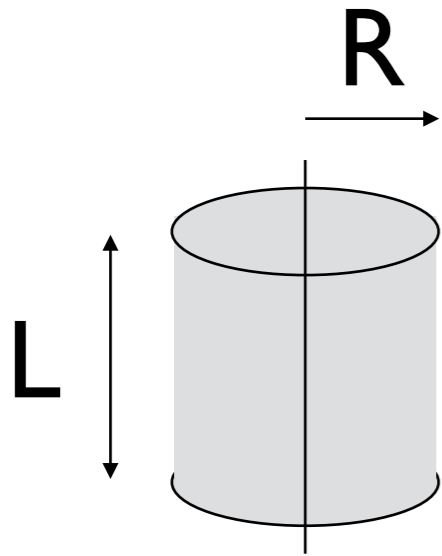
sirop

glycérine

eau +  
glycérine

eau

Quelle est la longueur d'arrêt ?



Énergie cinétique

$$\frac{1}{2} \rho U^2 \pi R^2 L$$

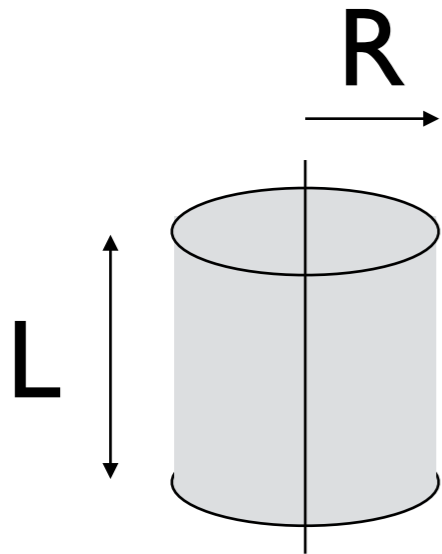
Contrainte de cisaillement

$$\sigma \approx \eta \frac{U}{R}$$

$$F_{visc} = \sigma 2\pi R L$$

$$F_{visc} = 2\pi \eta U L$$

Quelle est la longueur d'arrêt ?



Énergie cinétique

$$\frac{1}{2} \rho U^2 \pi R^2 L$$

$$F_{visc} = 2\pi\eta U L$$

Travail de la  
force visqueuse

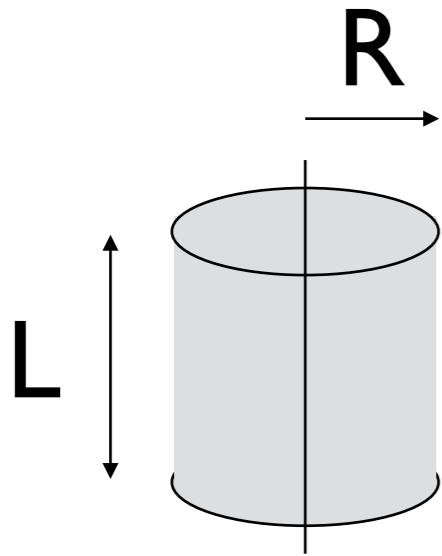
$$W = F_{visc} \ell$$

$$\ell = \frac{E_c}{F_{vis}}$$

$$\ell = \frac{\frac{1}{2} \rho U^2 \pi R^2 L}{2\pi\eta U L} = \frac{1}{4} \frac{\rho U R^2}{\eta}$$



Quelle est la longueur d'arrêt ?



$$\ell = \frac{\frac{1}{2} \rho U^2 \pi R^2 L}{2\pi \eta U L} = \frac{1}{4} \frac{\rho U R^2}{\eta}$$

$$\frac{\ell}{R} = \frac{1}{4} \frac{\rho U R}{\eta}$$

Nombre de Reynolds

$$\frac{\rho U R}{\eta} = \frac{U R}{\nu}$$

Quelle est la longueur d'arrêt ?

$$\ell \propto R Re$$

$$Re = \frac{UR}{\nu}$$

$\nu$  : viscosité cinématique

Ordres de grandeur de viscosité cinématique :

eau :  $10^{-6}$  m<sup>2</sup>/s

air :  $1,5 \cdot 10^{-5}$  m<sup>2</sup>/s

# Deux dynamiques différentes selon le nombre de Reynolds

$$Re \ll 1$$

$$Re \gg 1$$

Écoulement dominé par la viscosité

Écoulement dominé par l'inertie

