



MMC Fluides / Mécanique des Fluides

université
PARIS-SACLAY

FACULTÉ
DES SCIENCES
D'ORSAY

30h Cours / TD

M1 Mécanique des Fluides

Sergio Chibbaro

Professeur à l'université Paris-Saclay

Faculté des Sciences d'Orsay

Laboratoire LISN

PLAN DU COURS

INTRODUCTION

CHAPITRE I – CINEMATIQUE DES FLUIDES

1. Le fluide comme milieu continu
2. Vitesse et débit d'un fluide
3. Lignes d'écoulement et visualisations
4. Fonction de courant
5. Accélération d'un fluide : Euler vs Lagrange

CHAPITRE II – THEOREMES DE TRANSPORT

1. Volume de contrôle
2. Théorème de Leibnitz
3. Transport d'une fonction scalaire
4. Conservation de la masse
5. Transport d'une fonction vectorielle
6. Conservation de la quantité de mouvement
7. Application au sillage d'un cylindre
8. Transport de l'énergie

CHAPITRE III – CONTRAINTES DANS UN FLUIDE

1. Tenseur des contraintes
2. Symétrie et décomposition du tenseur des contraintes
3. Equation du mouvement d'un fluide (PFD)

CHAPITRE IV – HYDROSTATIQUE

1. Pression dans le champ de pesanteur
2. Poussée d'Archimède

CHAPITRE V – LA TENSION DE SURFACE

1. Origine microscopique
2. Mesure par la méthode d'arrachement
3. La loi de Laplace (interfaces courbes)
4. Angle de contact entre 3 phases (mouillage)

5. Ascension capillaire (loi de Jurin)
6. La longueur capillaire (effet de la gravité)
7. La goutte pendante

CHAPITRE VI – FLUIDES PARFAITS

1. Equation d'Euler et conditions aux limites
2. Relation de Bernoulli
3. Applications de Bernoulli
4. Ecoulements potentiels.
5. Forces de traînée et portance

CHAPITRE VII – FLUIDES VISQUEUX

1. Tenseurs des déformations
2. Equation constitutive d'un fluide
3. Equation de Navier-Stokes
4. Conditions aux limites

CHAPITRE VIII – ECOULEMENTS INERTIELS ET VISQUEUX

1. Le nombre de Reynolds
2. Les régimes d'écoulements inertiels et visqueux
3. Autres nombres sans dimensions

CHAPITRE IX – ECOULEMENTS PARALLELES

1. Ecoulement de démarrage (plaque)
2. Ecoulement de Couette (cisaillement)
3. Ecoulement de Poiseuille (conduite)
4. Ecoulement sur plan incliné (film liquide)

CHAPITRE X – ECOULEMENTS QUASI-PARALLELES (FAIBLEMENT NON-PARALLELES)

1. Ecoulements de couches minces dans les approximations de lubrification
2. Ecoulements de couches limites

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Bibliographie :

Ouvrages de référence

"La mécanique des fluides", D. Salin & J. Martin (Nathan Université, Collection 128, 1997).

"Hydrodynamique Physique", E. Guyon, J.-P. Hulin & L. Petit, (CNRS Editions/EDP Sciences, 2001).

Ouvrages de vulgarisation ou d'art

"Ce que disent les fluides", E. Guyon, J.-P. Hulin & L. Petit, (Belin/Pour la Science, 2005)

"An Album of Fluid Motion", H. Van Dyke, (Parabolic Press, 1982).

Multimédia

"Mécanique des fluides multimédia" CD-ROM (Elsevier-Gauthier-Villard, 2001).

Anciens (~1960) films pédagogiques de la NFS maintenant disponibles sur le site du MIT:

<http://web.mit.edu/fluids/www/Shapiro/ncfmf.html>.



Quelques écoulements de fluides



Tourbillon cyclonique dans l'atmosphère
Dorian (01/09/2019)



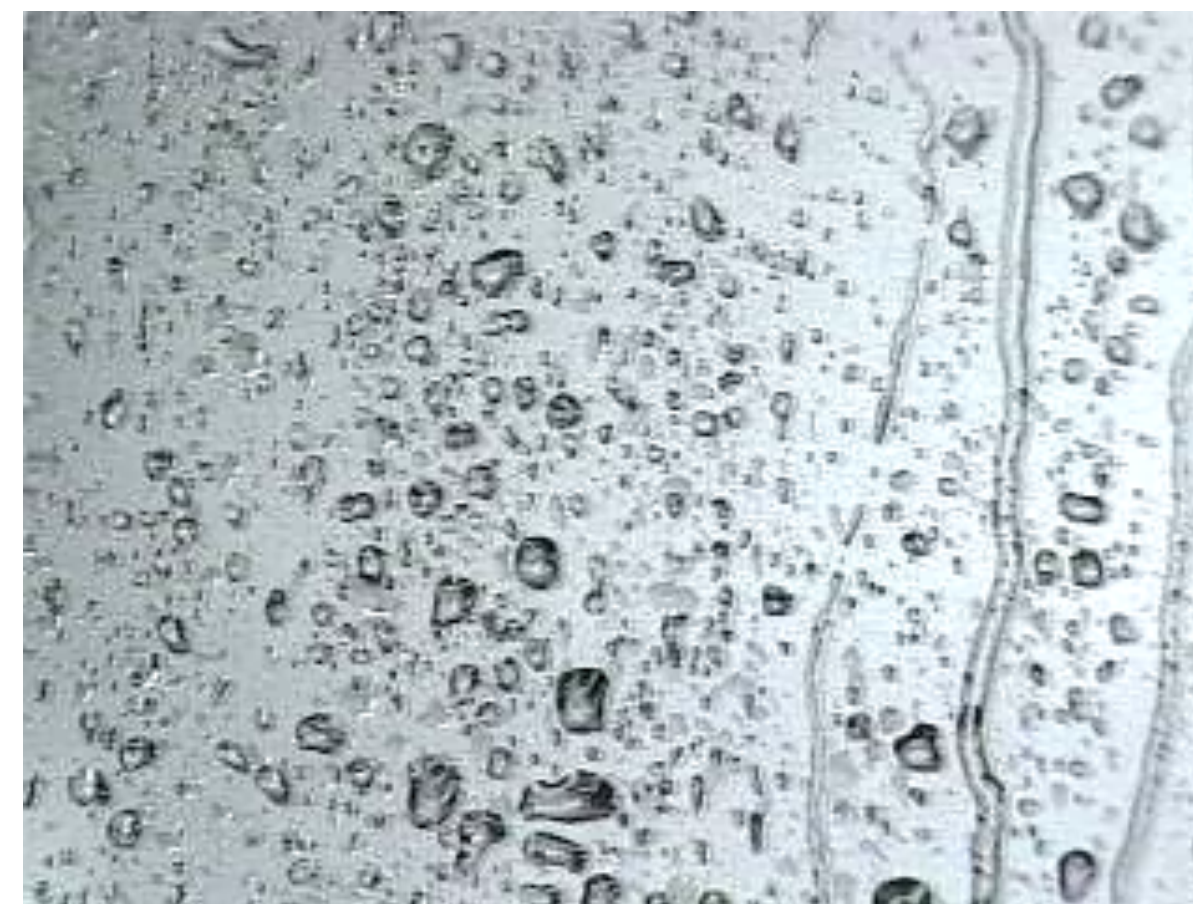
La tâche rouge de Jupiter



Tourbillon de sillage d'aile d'avion



Filet et étalement de miel sur une tartine

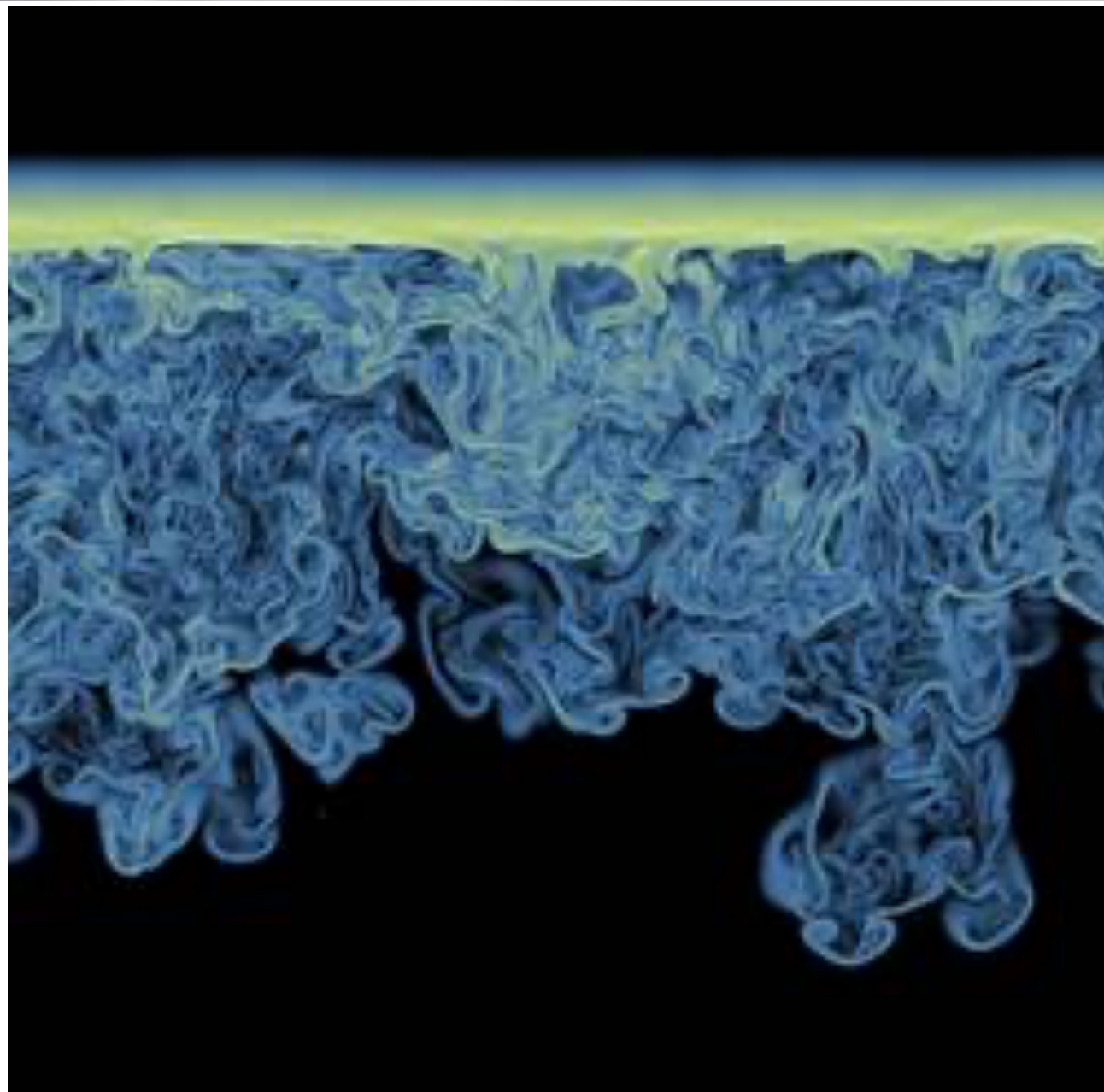
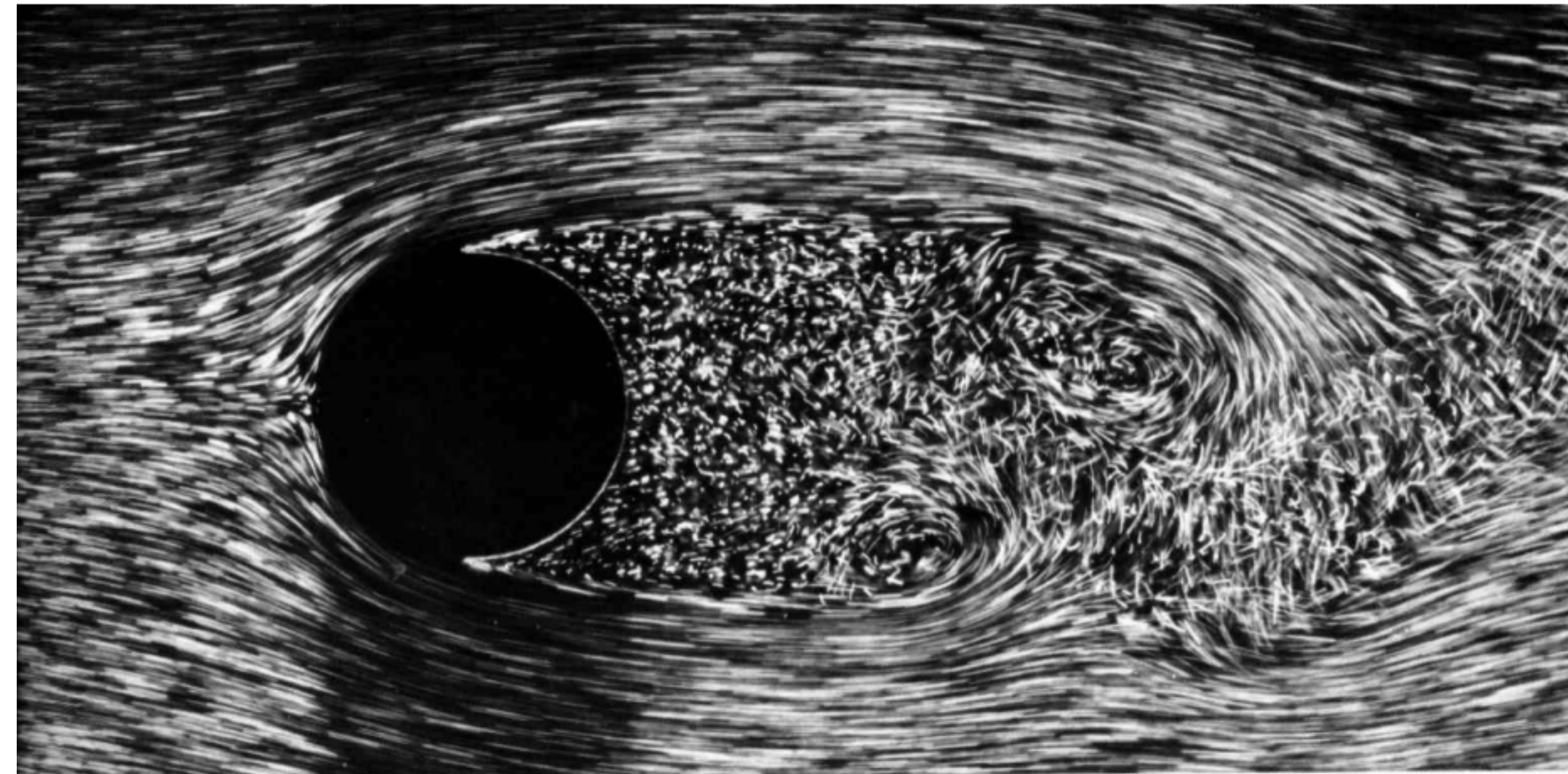


Gouttes de pluie sur une vitre

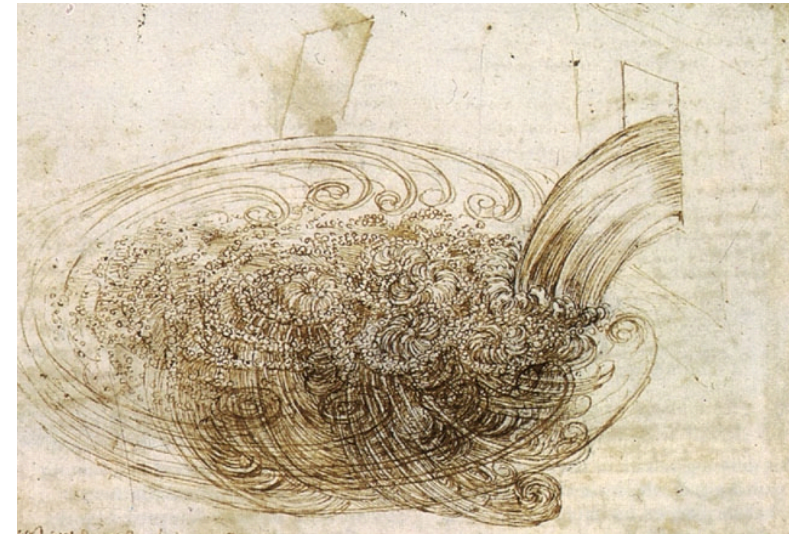
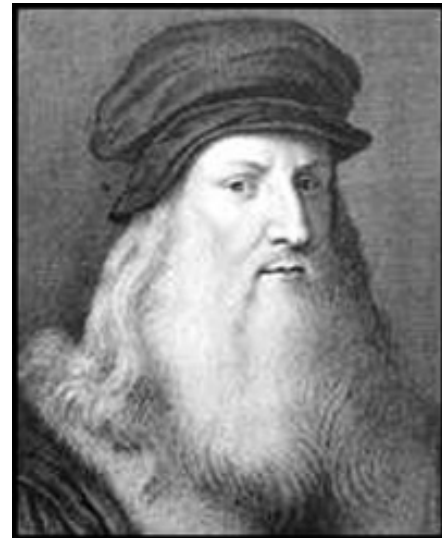


Insecte marchant sur l'eau

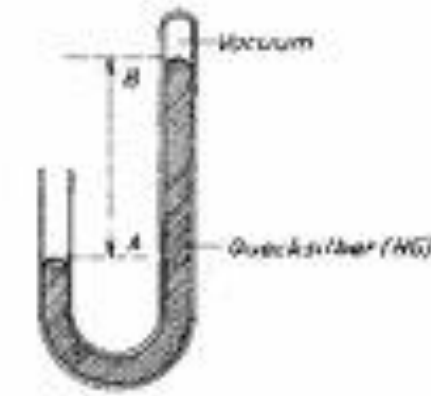
Quelques écoulements de fluides turbulents



Quelques grands scientifiques
ayant contribué
en Mécanique des Fluides



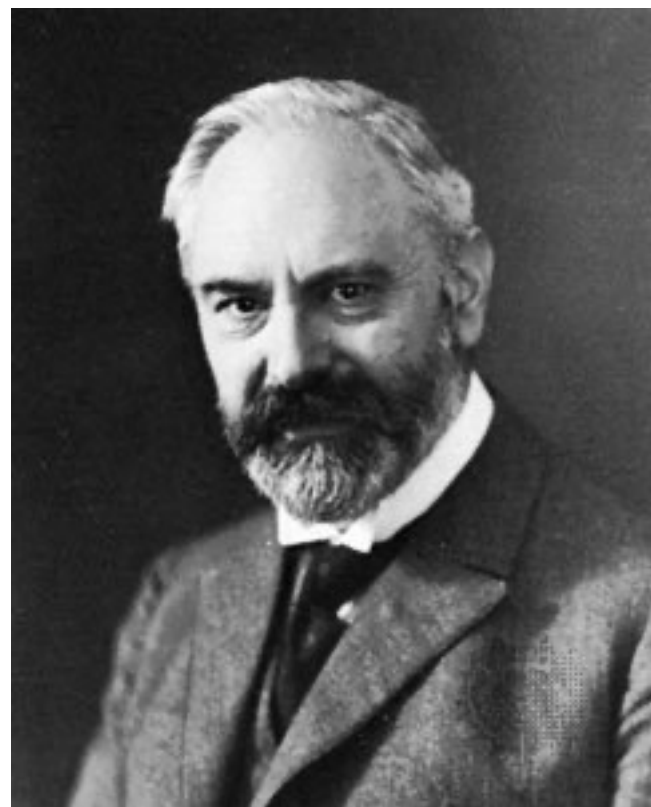
Léonard de Vinci (~1500)



Pascal (~1650)



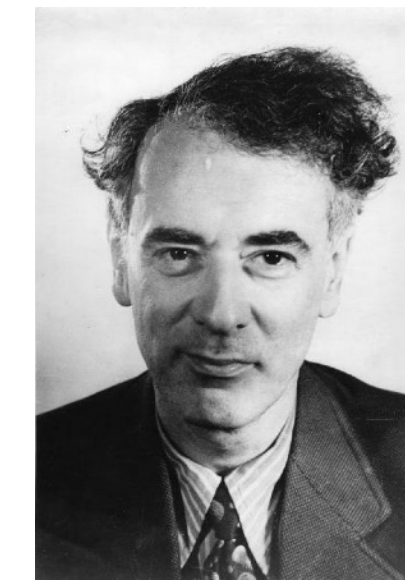
Euler (~1780)



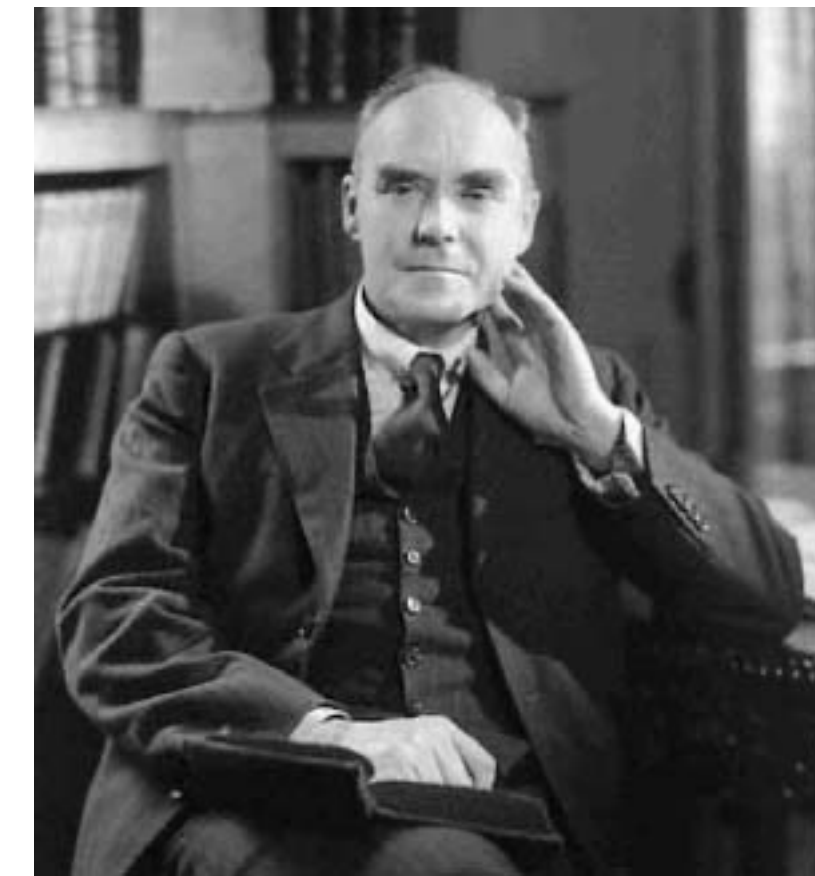
Kelvin (~ 1880)



Helmholtz (~1880)

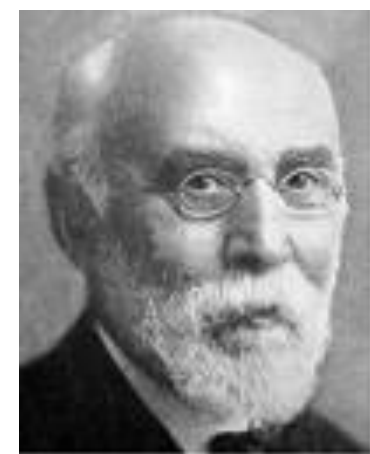


Lev D Landau ~1940

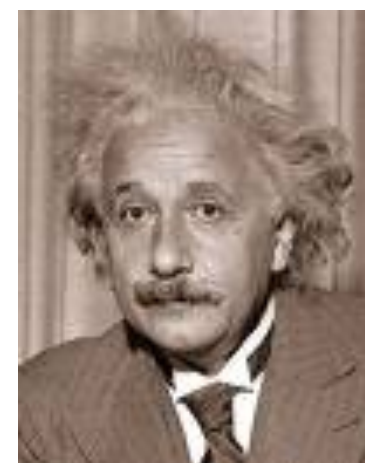


G.I. Taylor

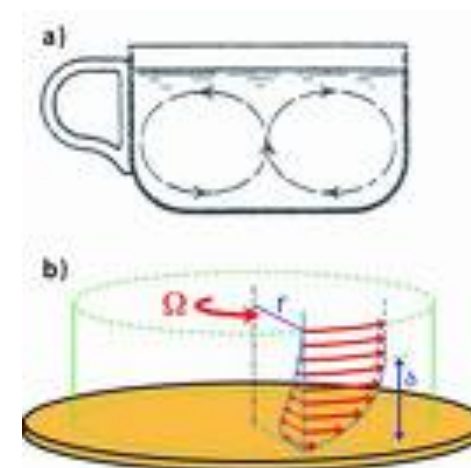
Ludwig Prandtl



Lorentz (~1905)



Einstein (~1905)



Pierre-Gilles de Gennes (~1980)



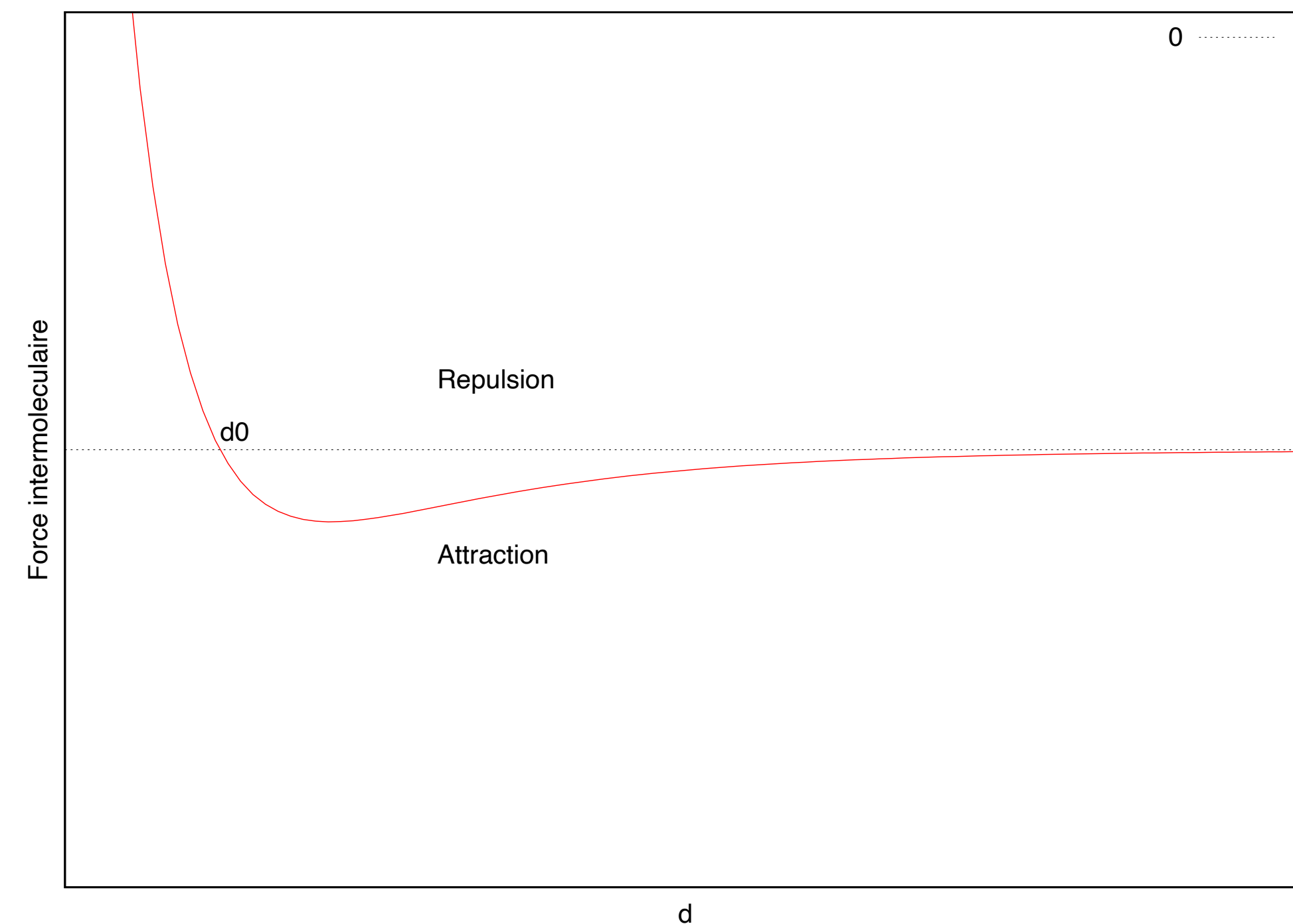
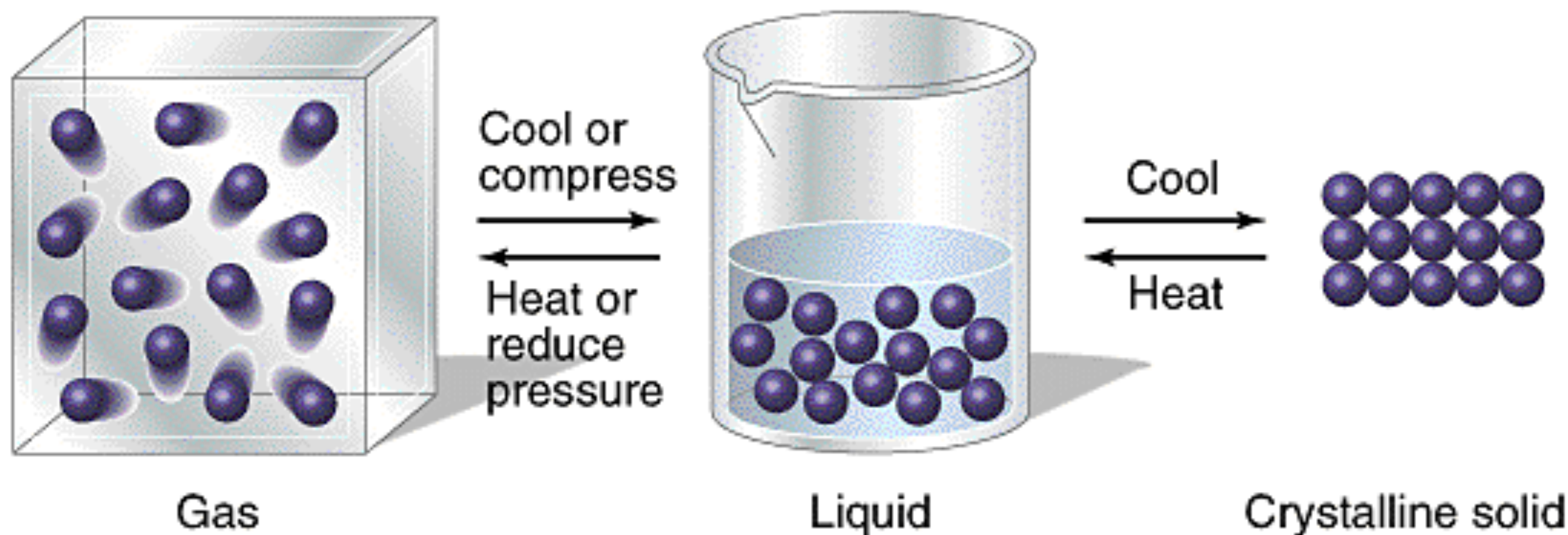
Généralités sur les fluides

Qu'est-ce qu'un fluide ?

gaz
liquide

fluide \neq solide

milieux dilués et milieux condensés



On pourrait s'intéresser à chaque molécule du fluide :

Mais nombre de molécules ?

Pour de l'eau $\rho = 1 \text{ g/cm}^3$, $M = 18 \text{ g/mole}$, $N_A = 6 \cdot 10^{23} \text{ molécules/moles}$

$$n = \frac{\rho}{M} N_A \approx 3 \cdot 10^{22} \text{ molécules/cm}^3$$

Impossible de s'intéresser au mouvement de chaque molécule fluide
 \Rightarrow on s'intéresse à un petit volume fluide, appelé "**particule**" fluide.
 C'est l'approche "**milieu continu**"

Milieu continu

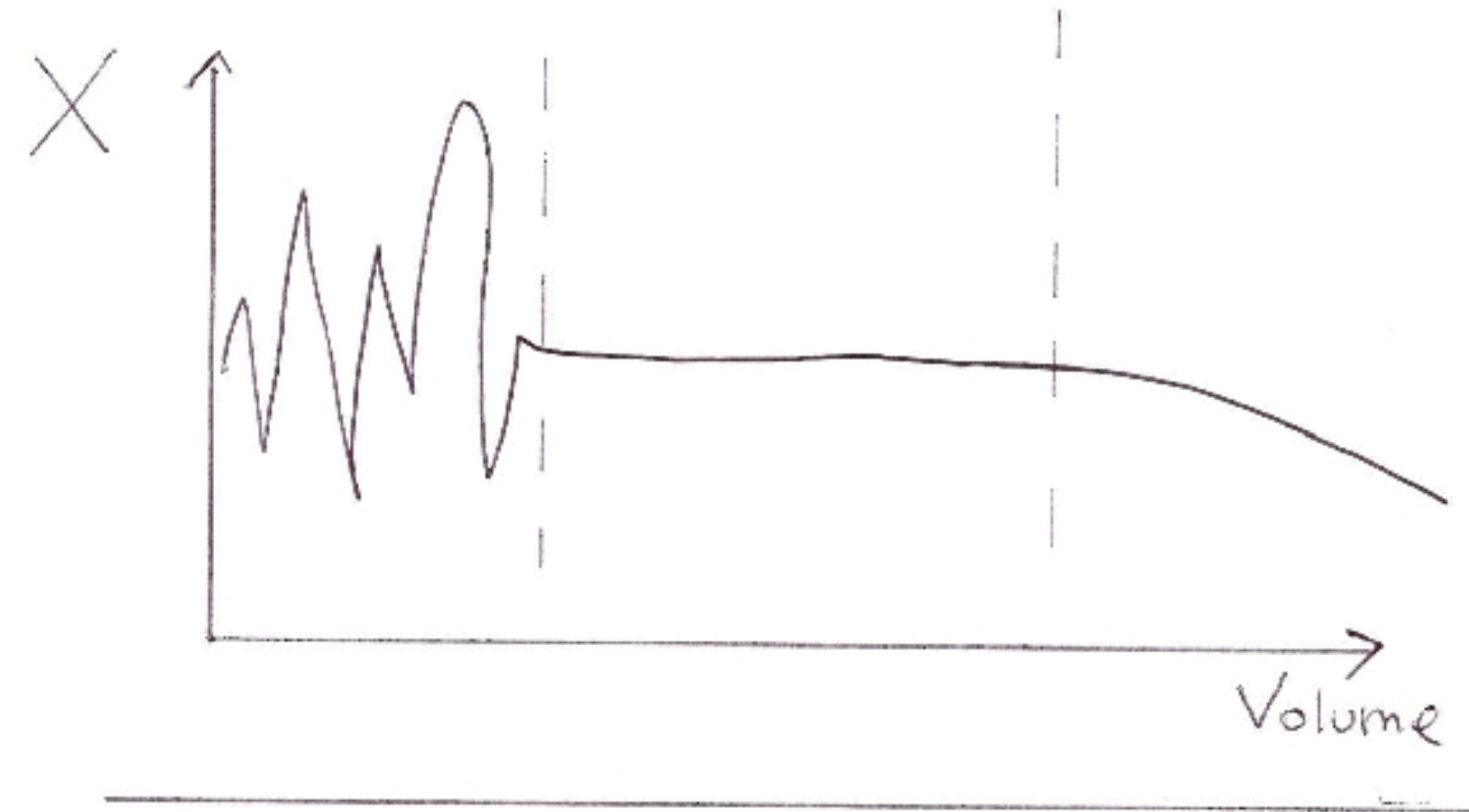


FIGURE: Variation de la grandeur X en fonction de la taille de l'échantillon.

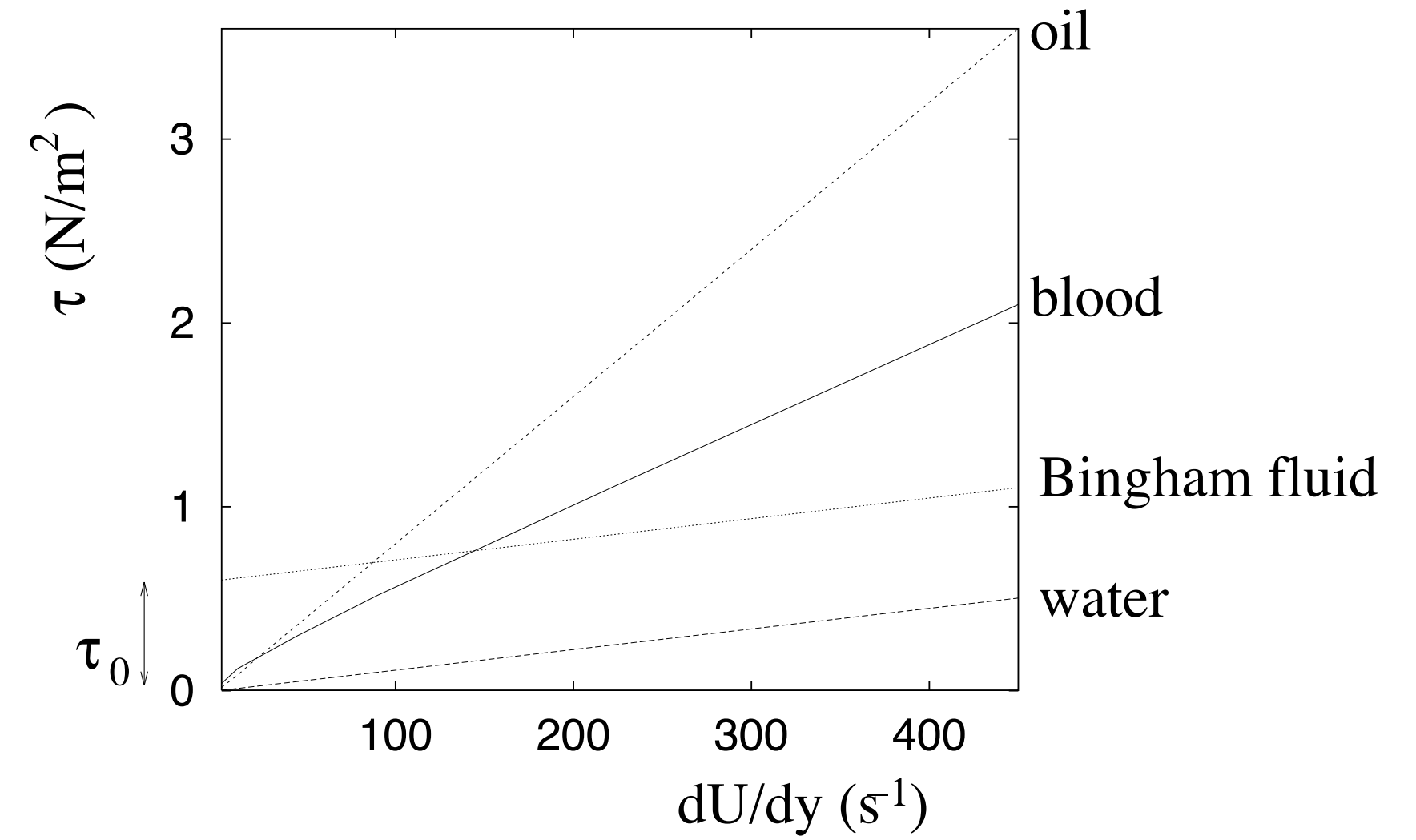
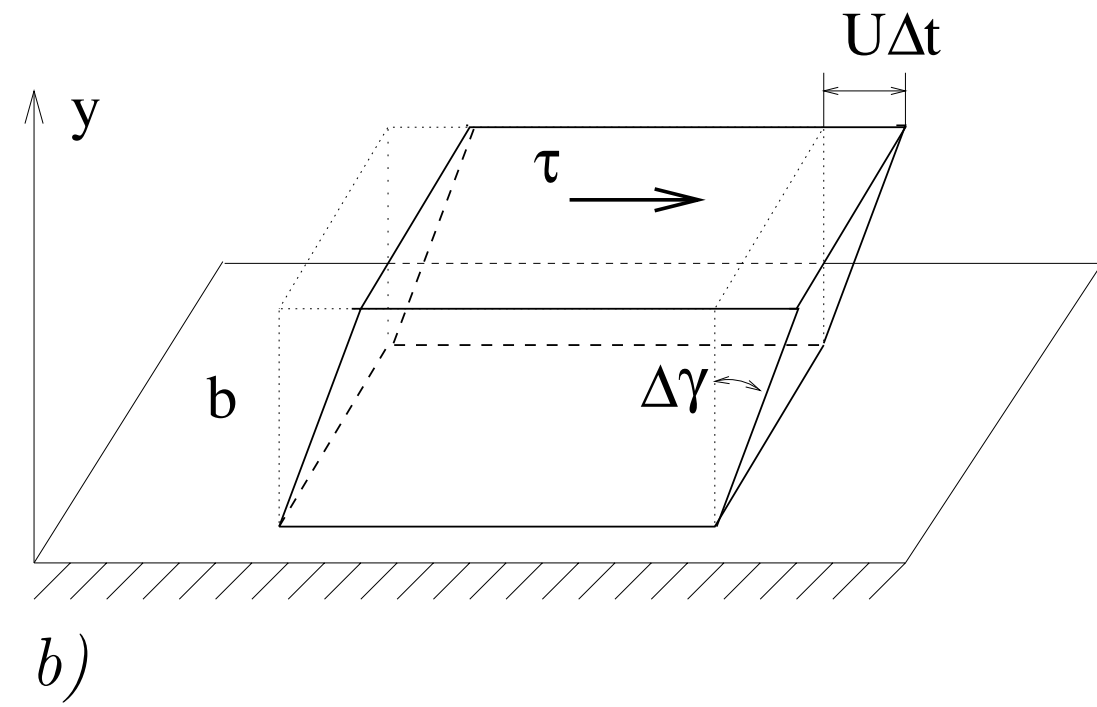
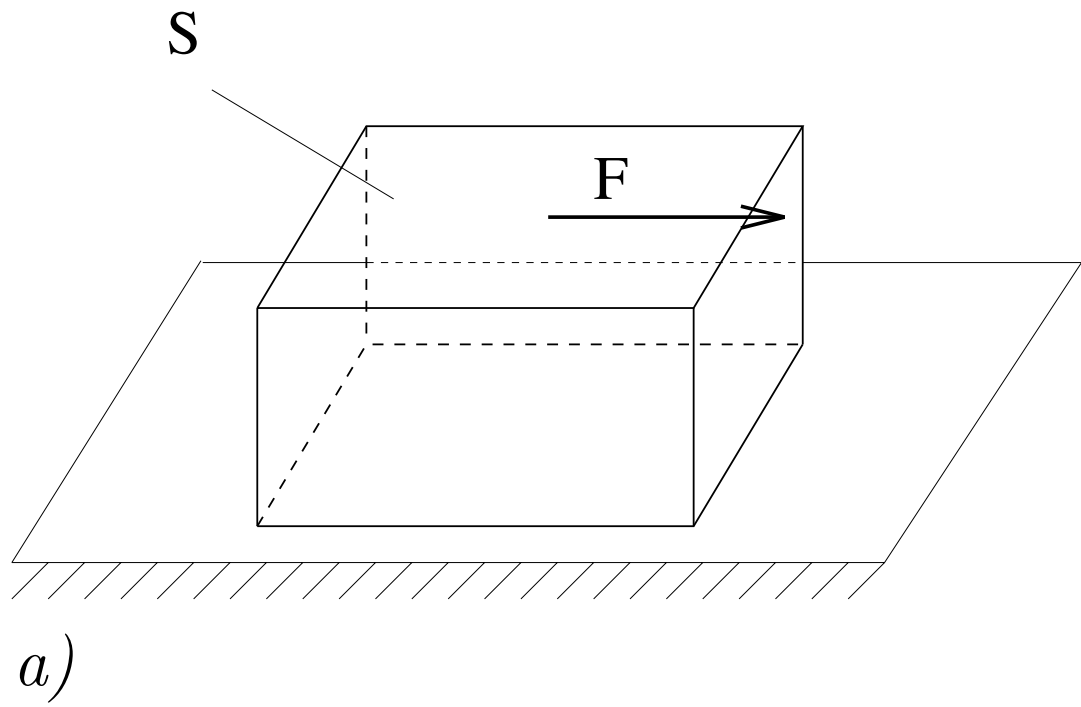
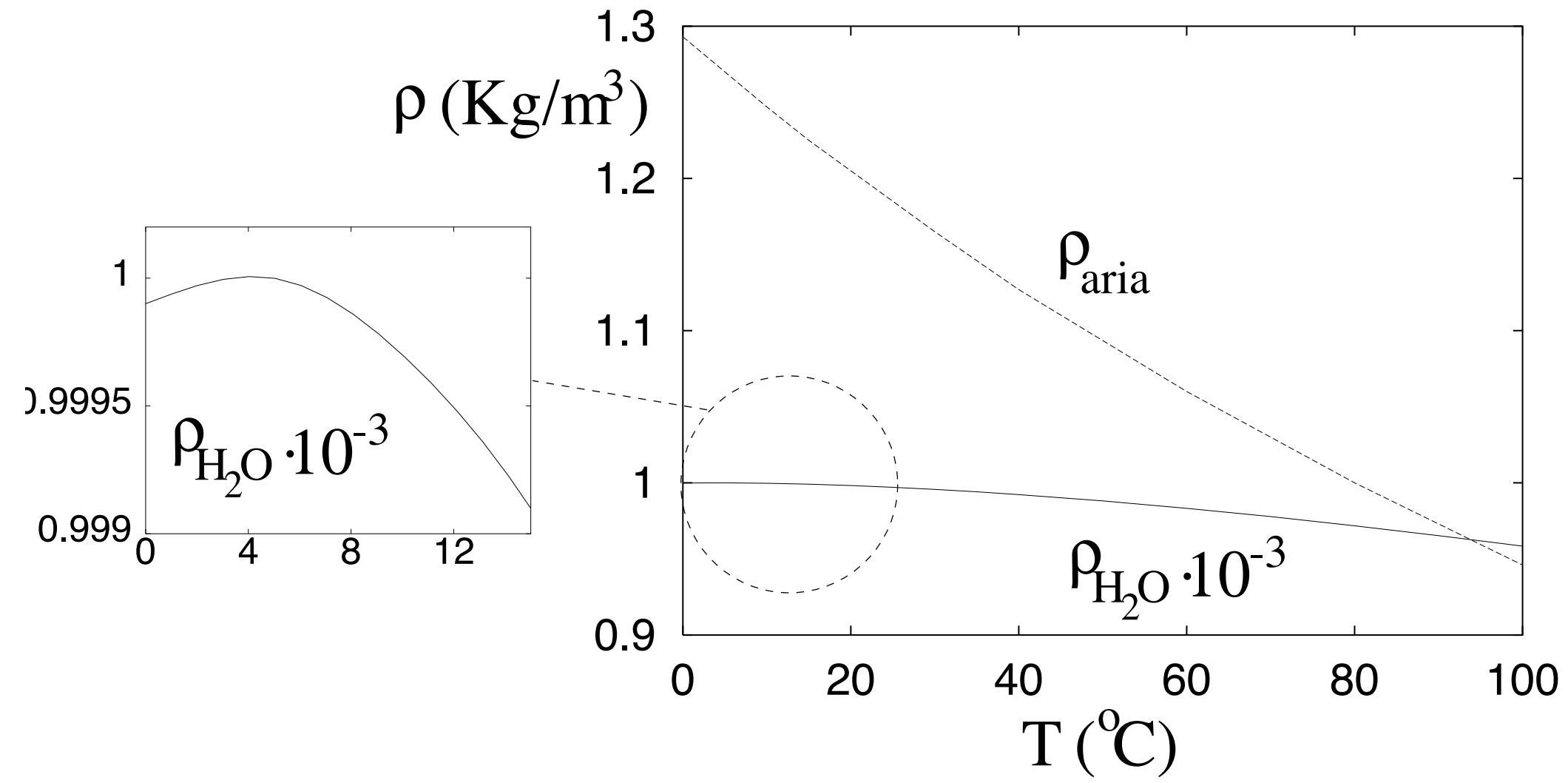
Echelle microscopique \ll Echelle mésoscopique \ll Echelle macroscopique

taille moléculaire d
libre parcours moyen λ

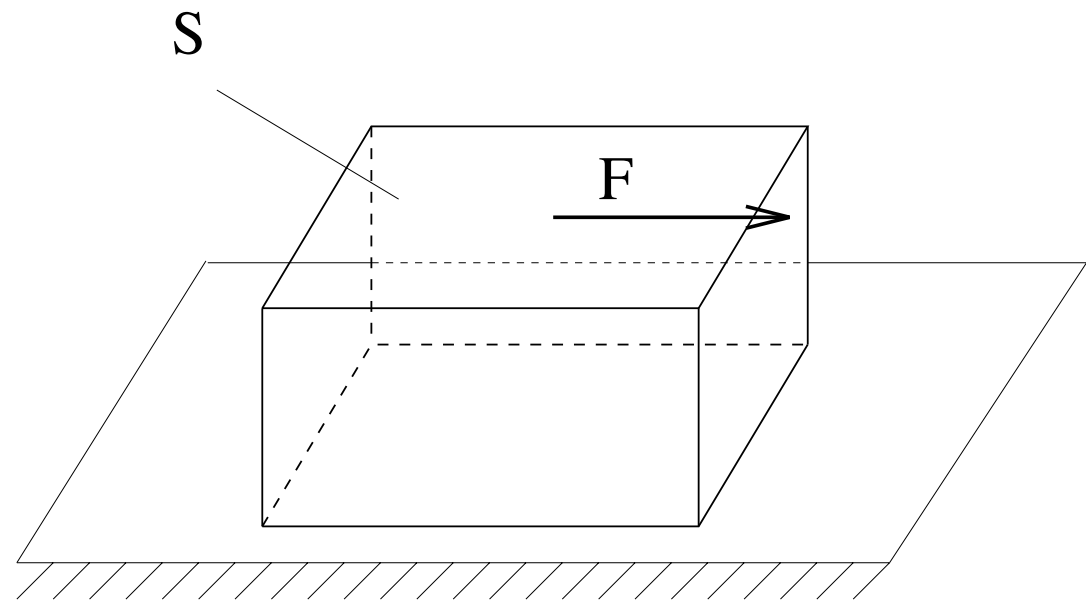
taille δ de la
"particule" fluide
taille de maillage

taille L de l'écoulement

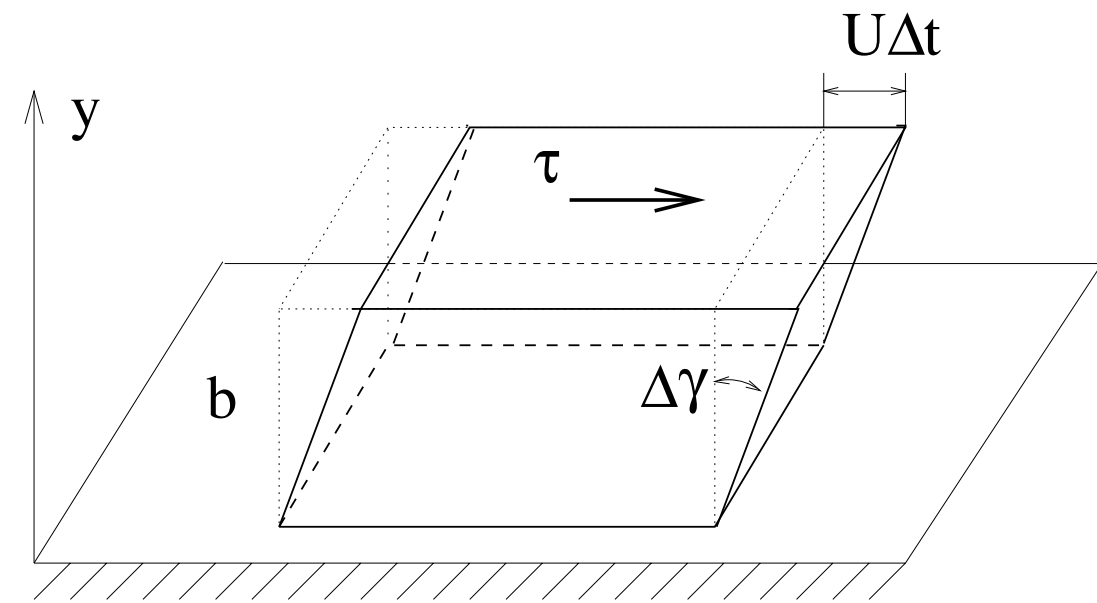
Propriétés des fluides



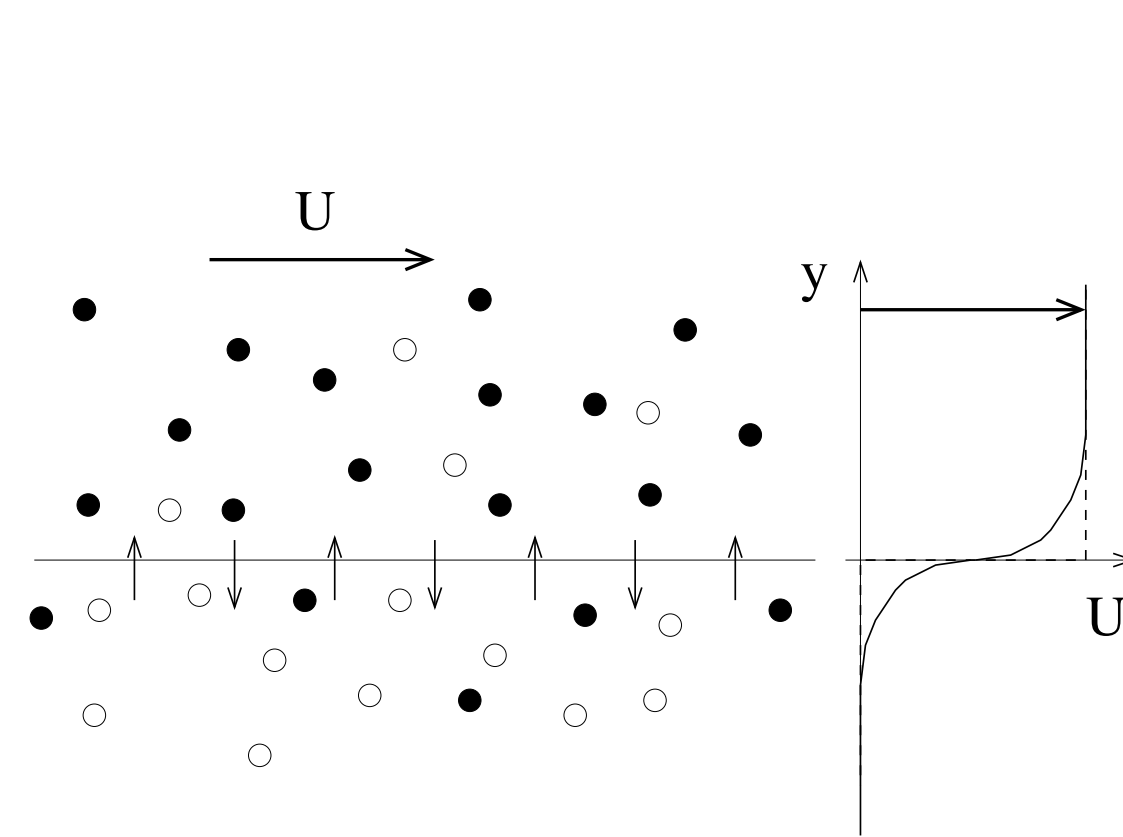
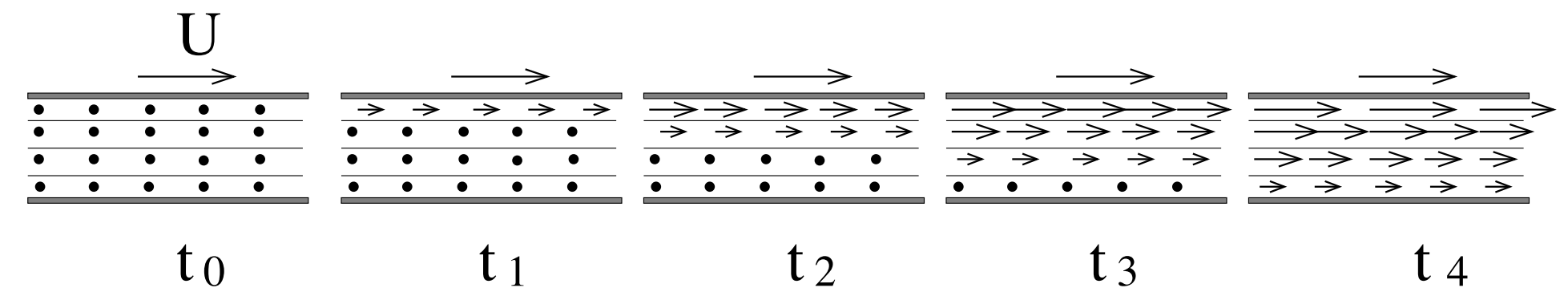
Propriétés des fluides



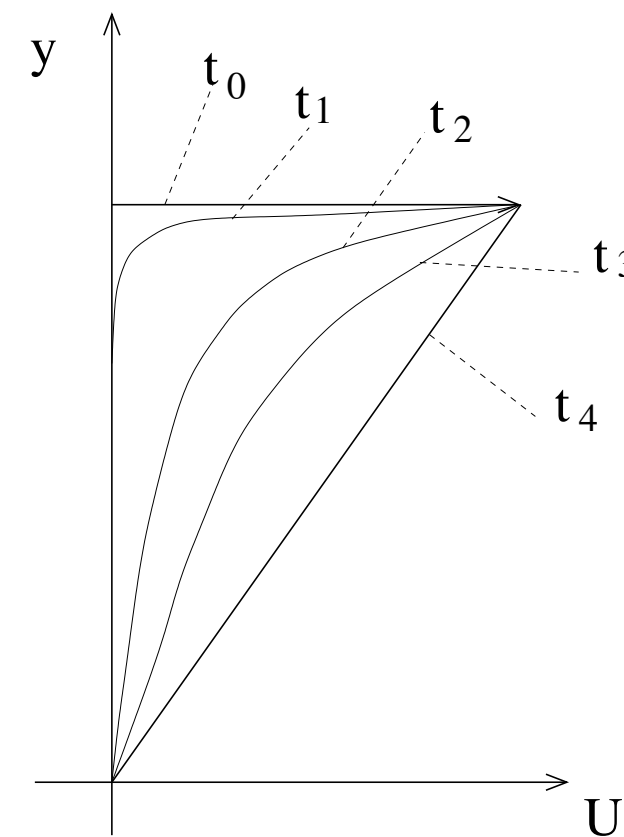
a)



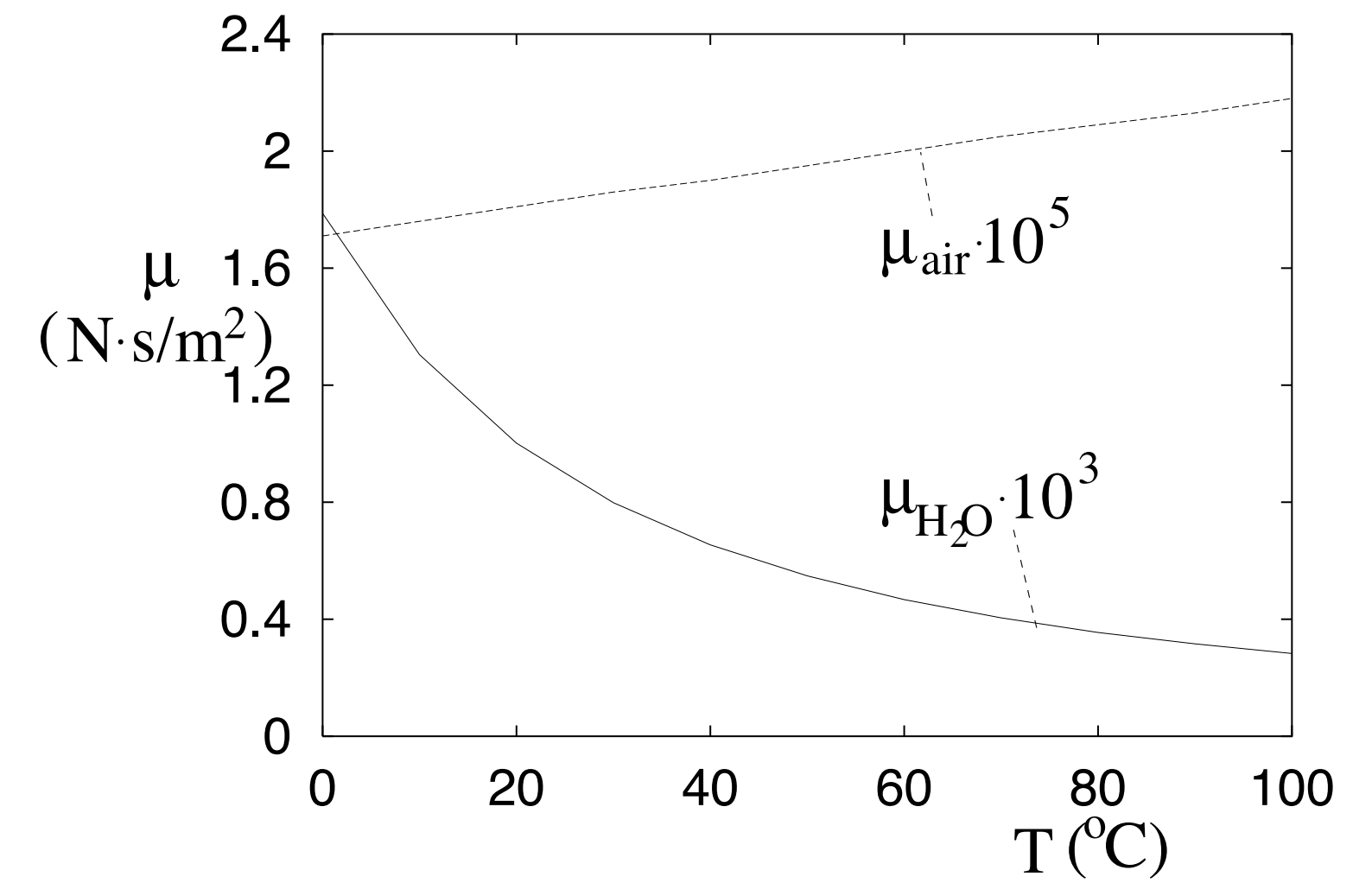
b)



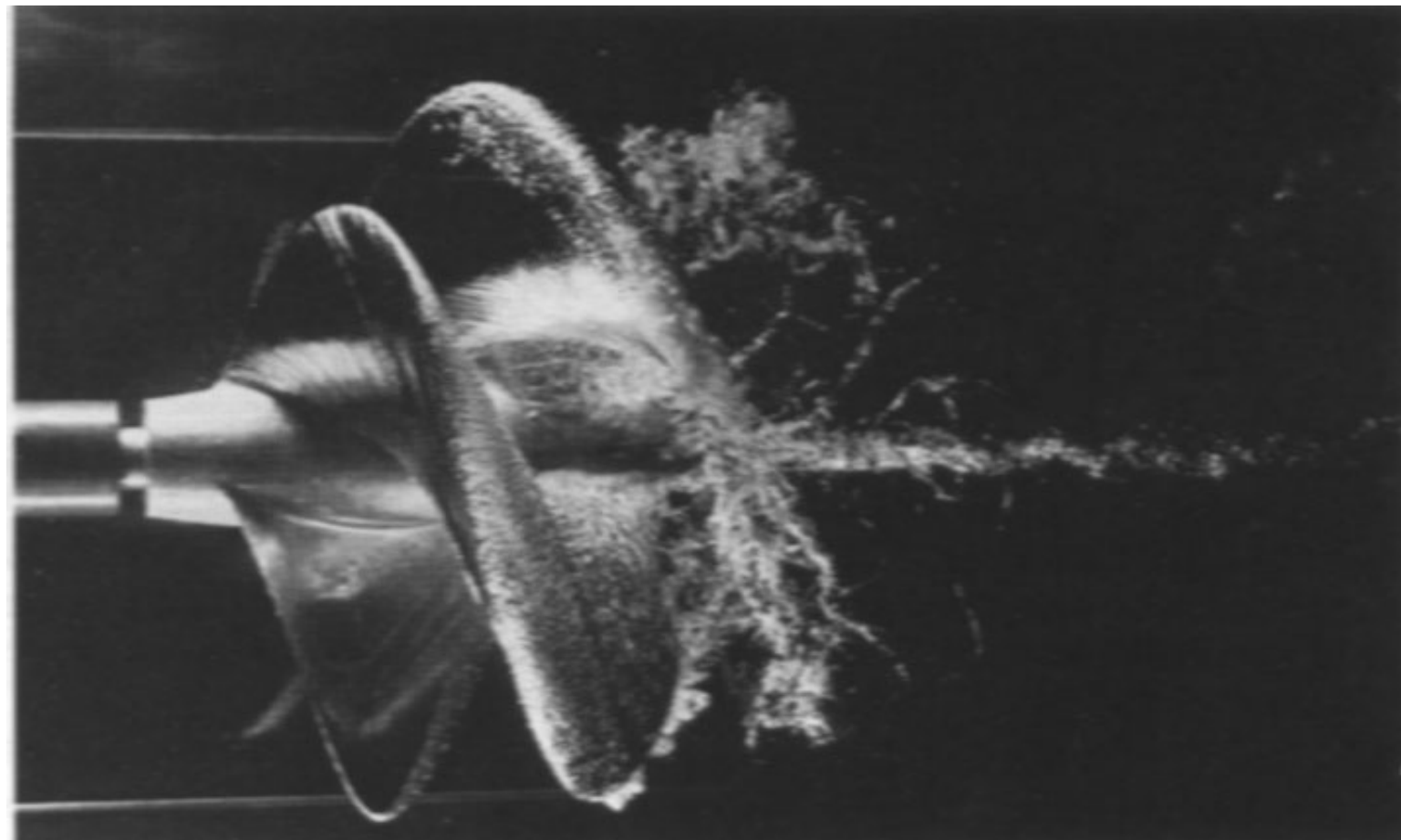
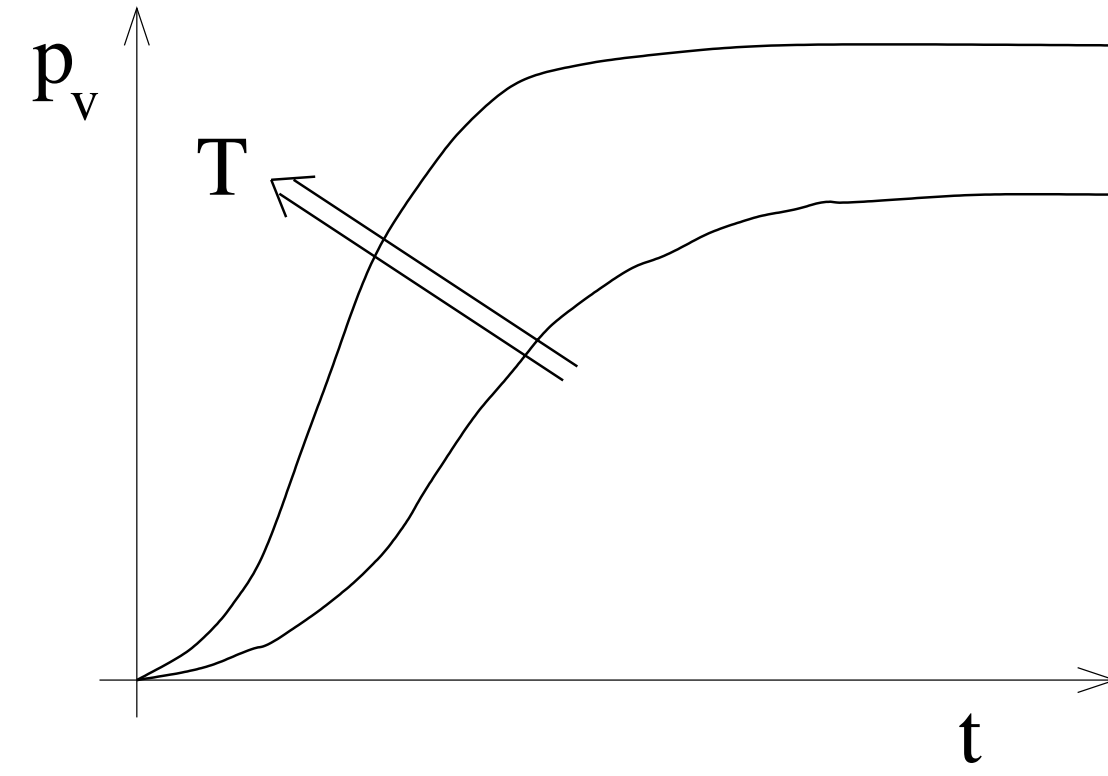
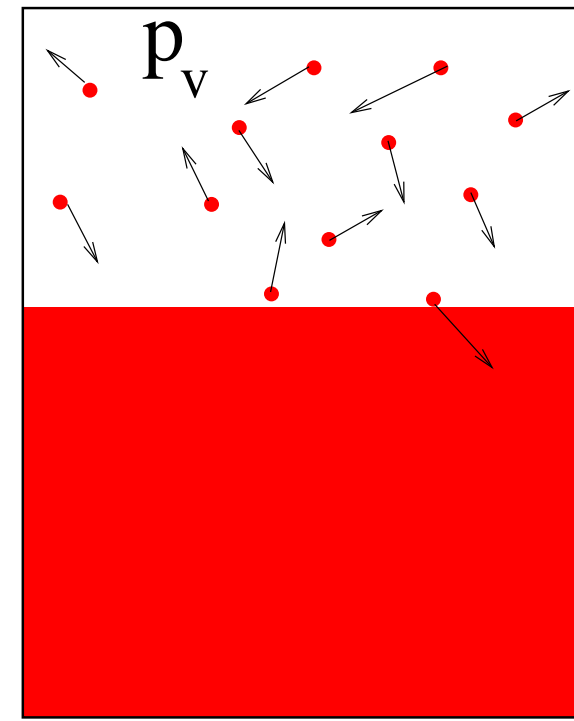
a)



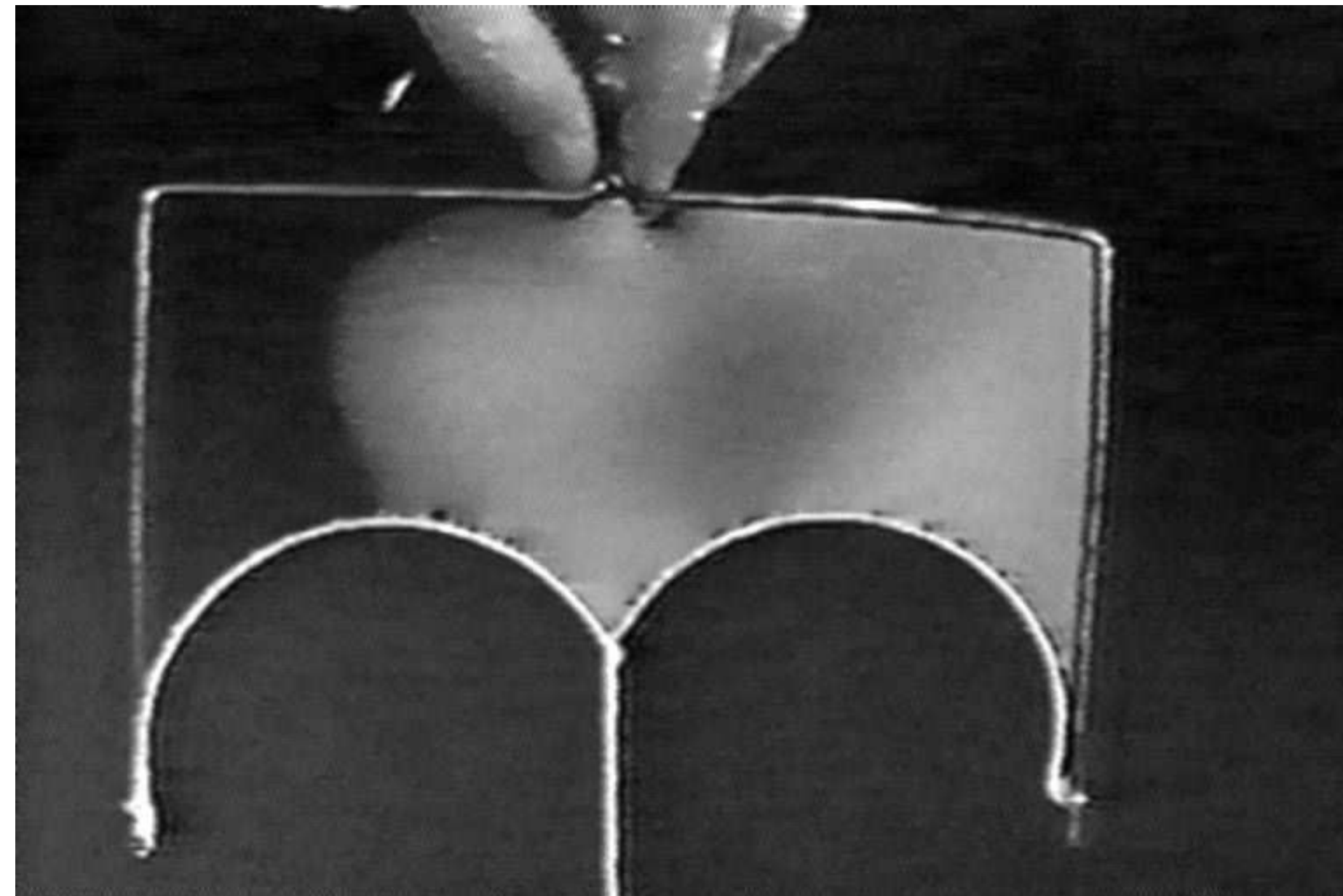
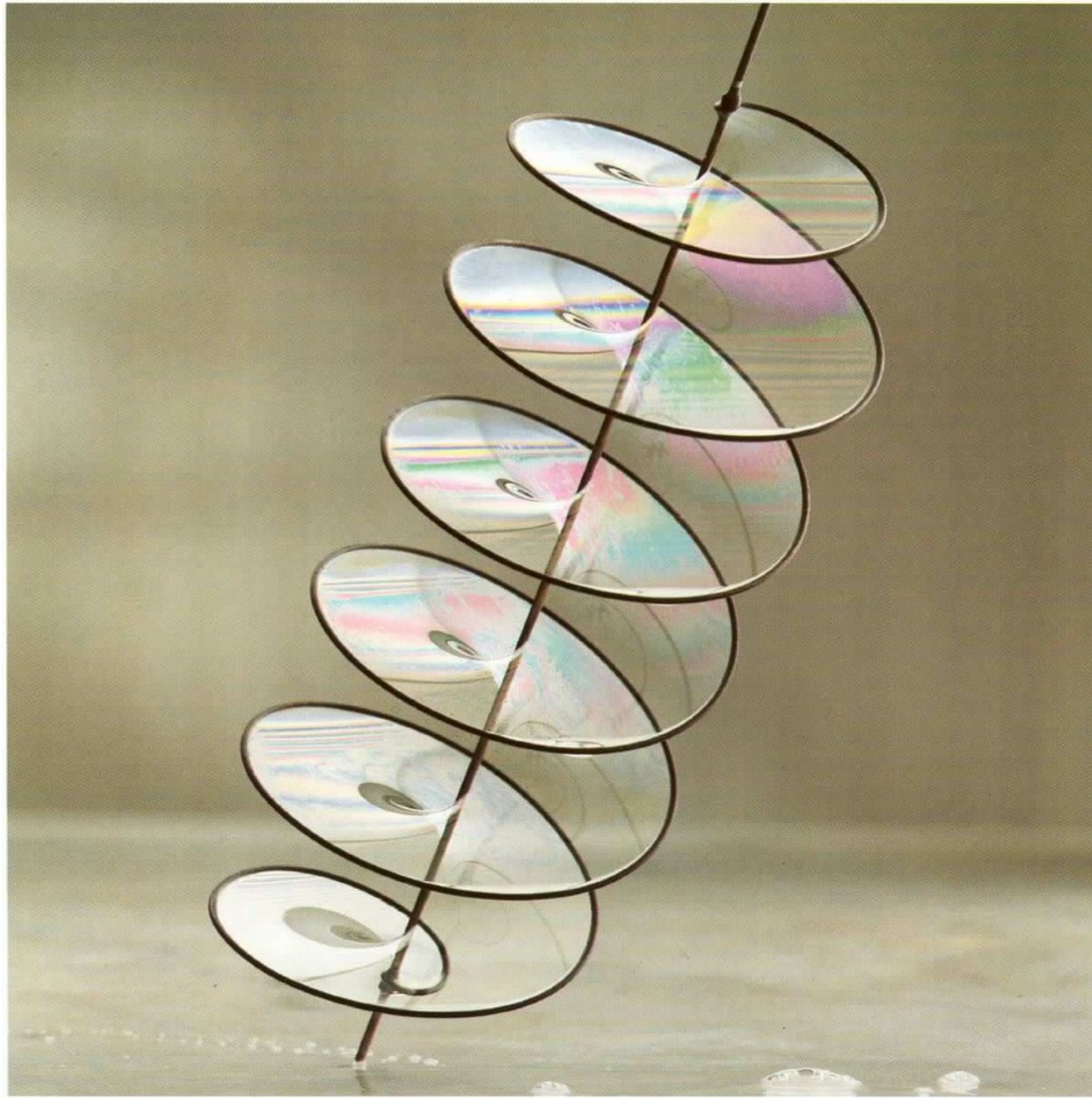
b)



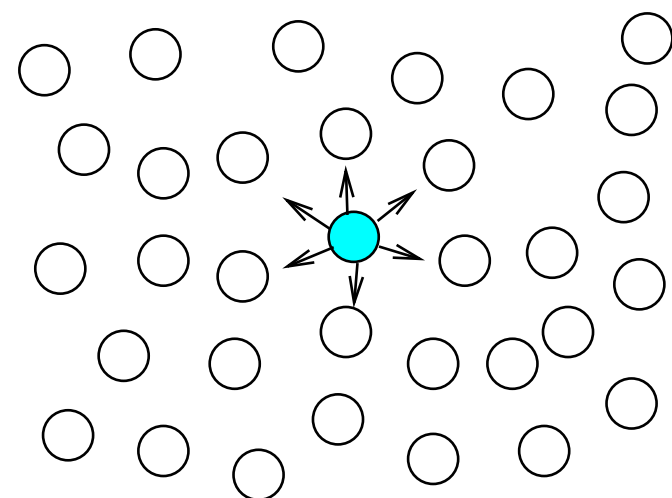
Pression de vapeur



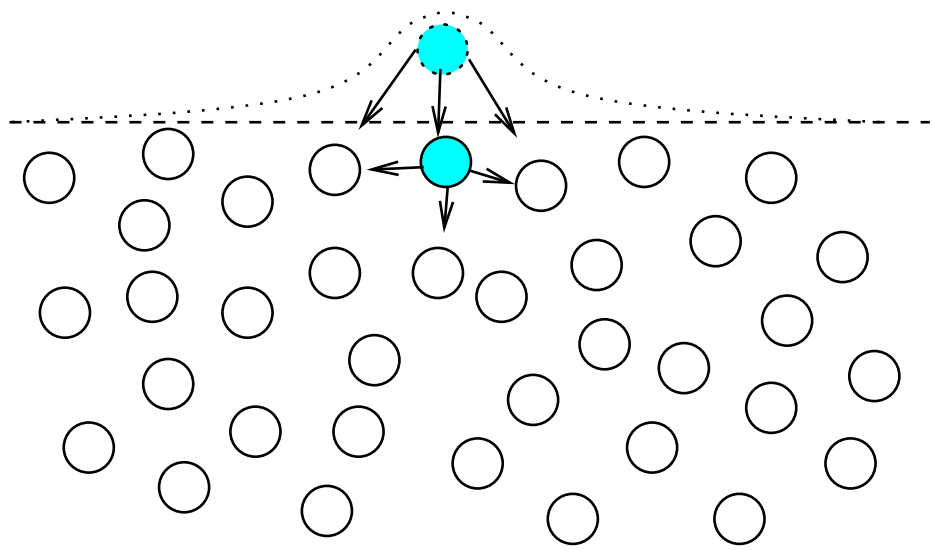
CAPILLARITE : EXEMPLES



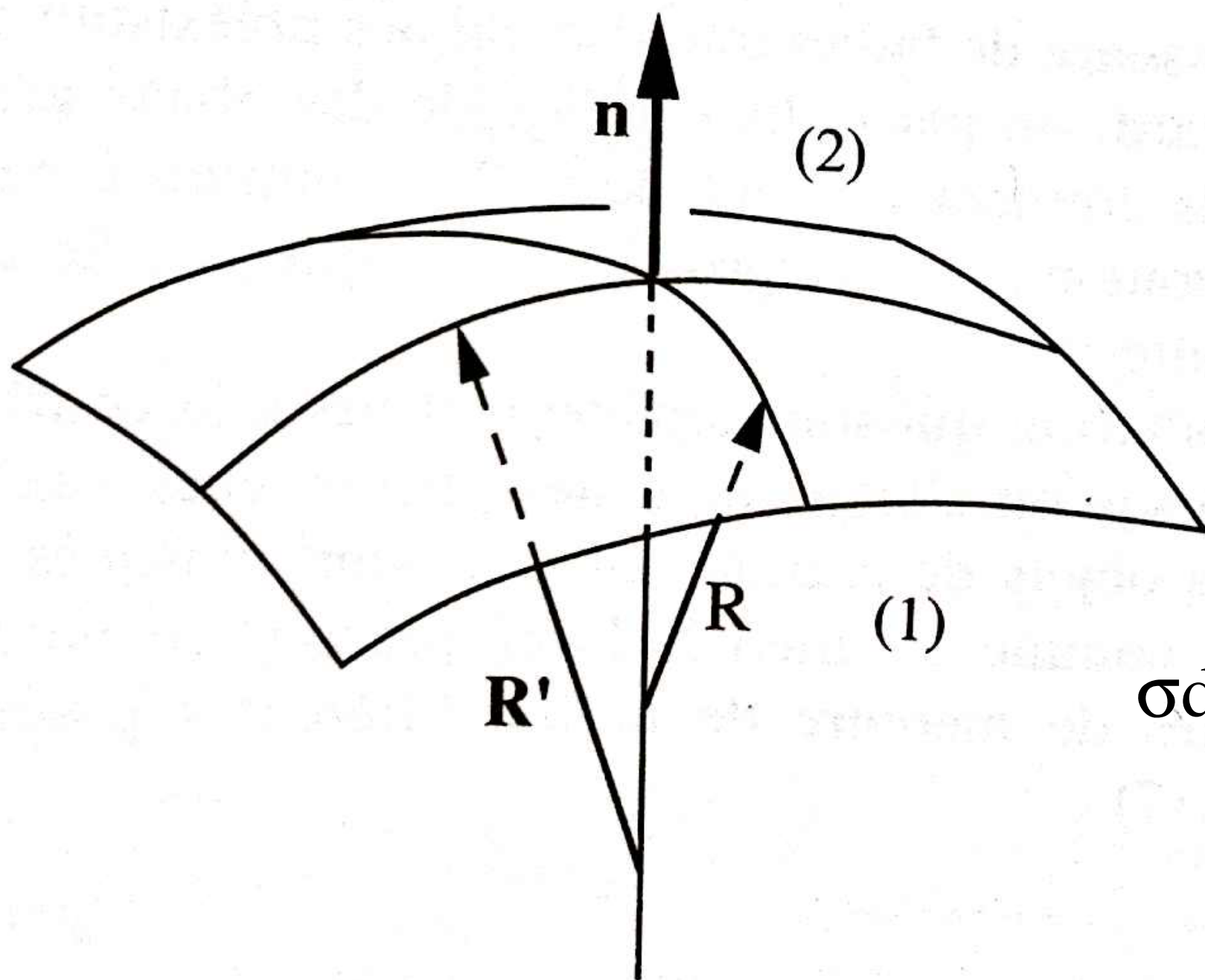
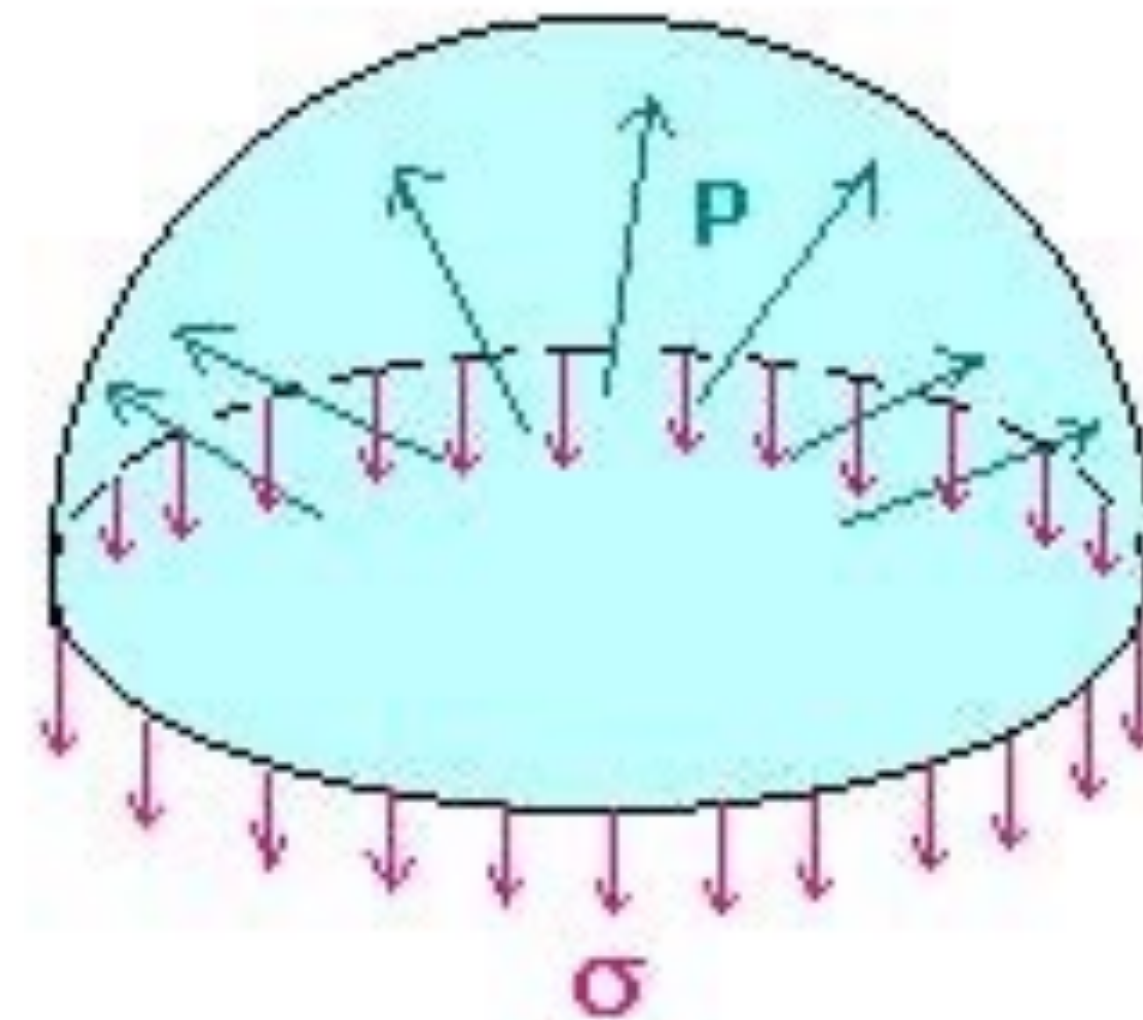
Tension de surface



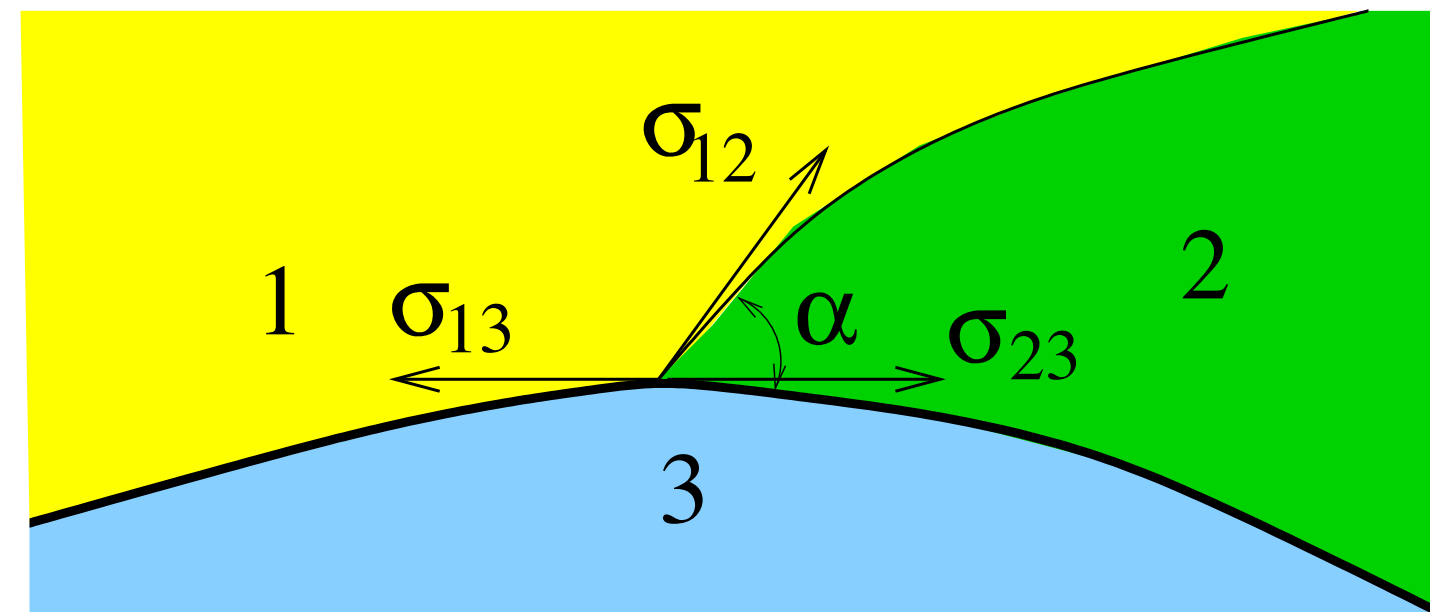
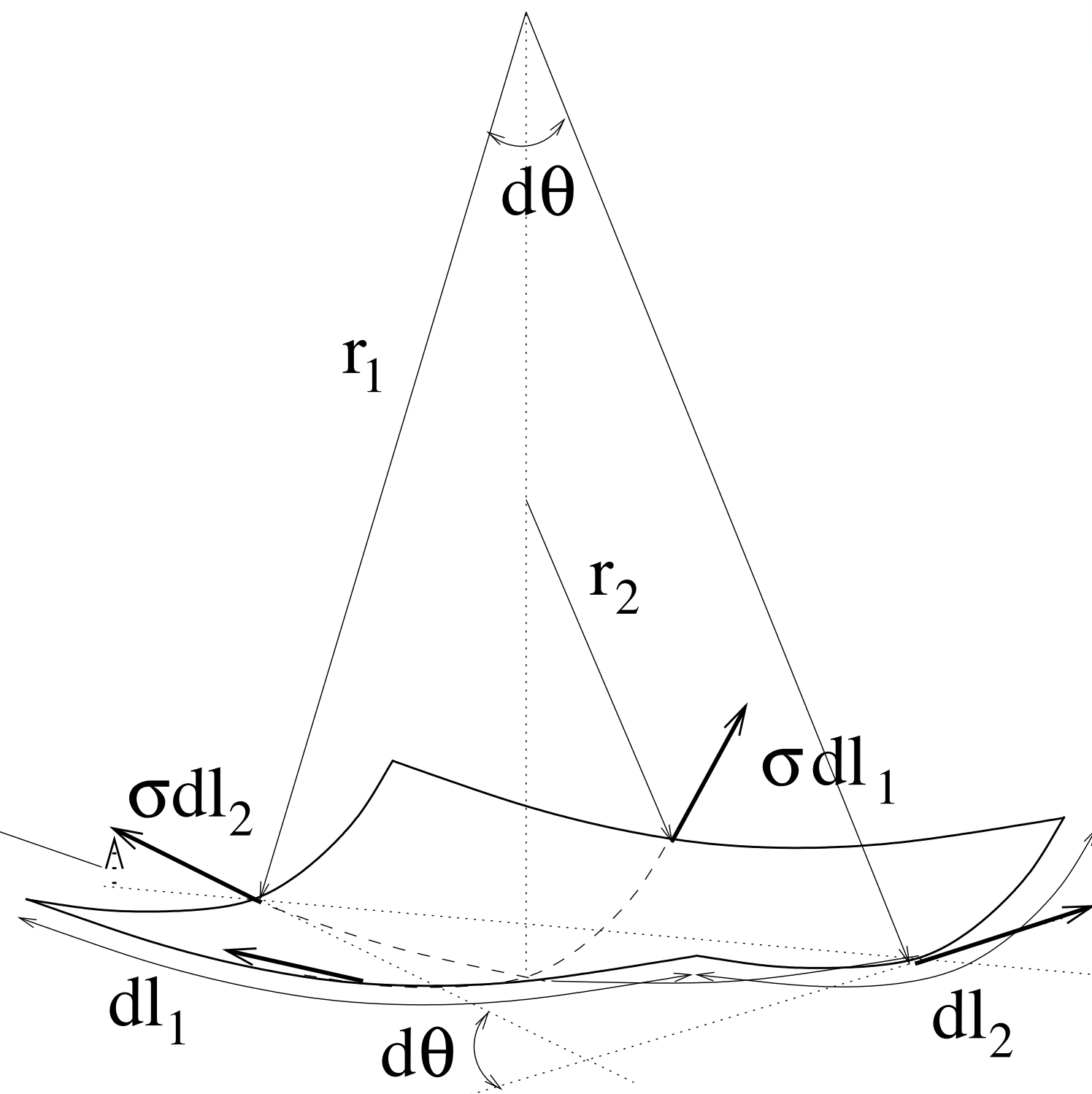
a)



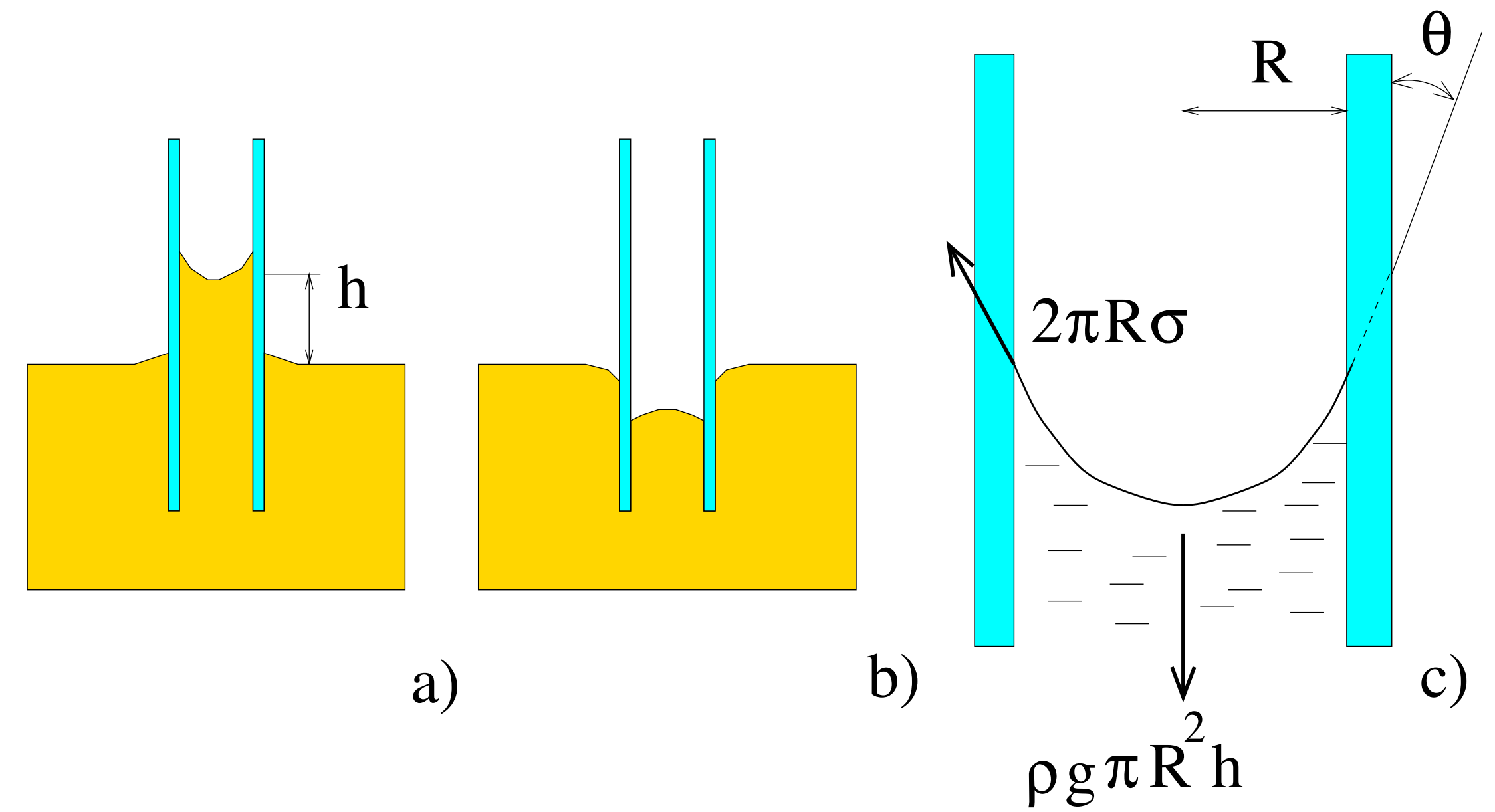
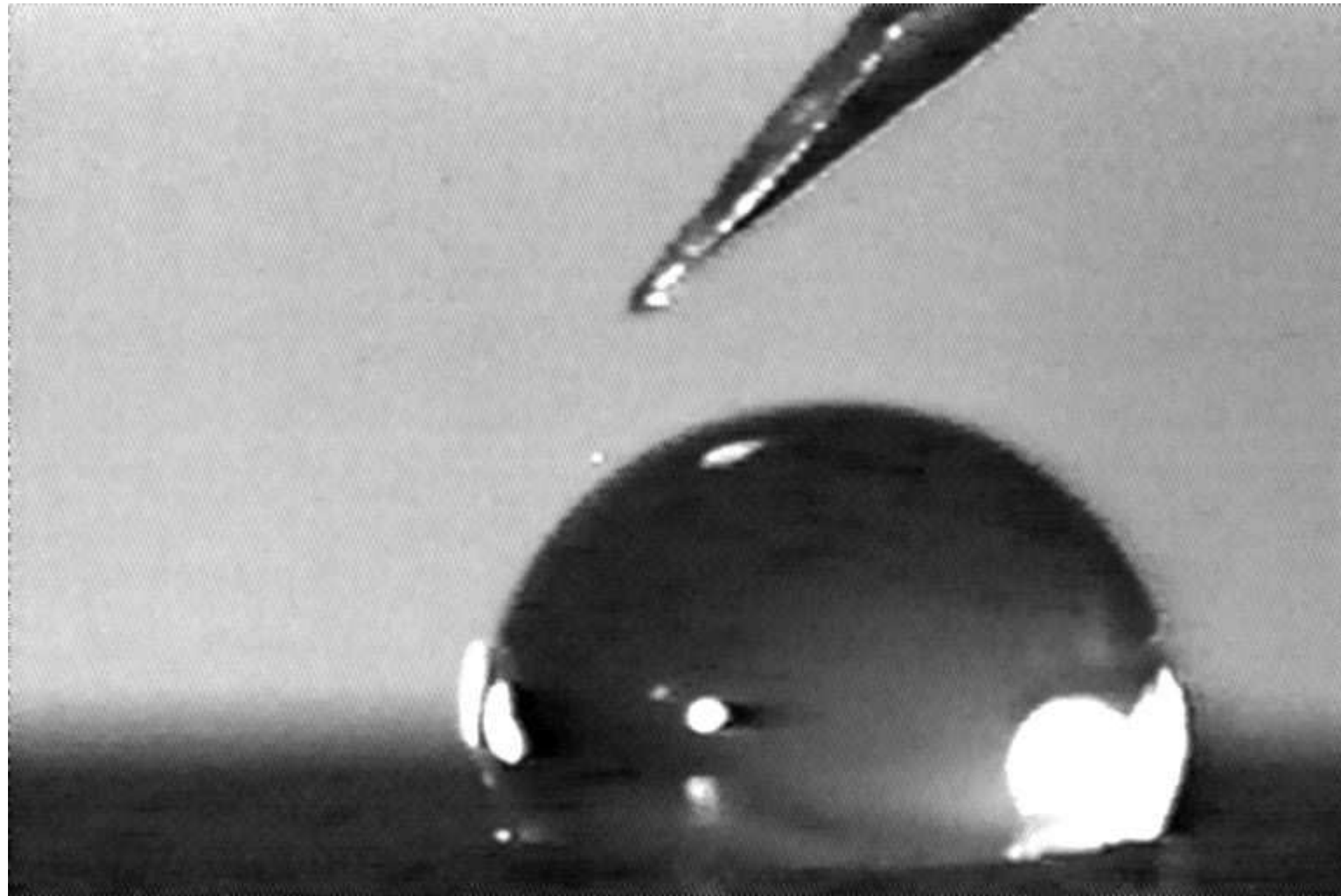
b)



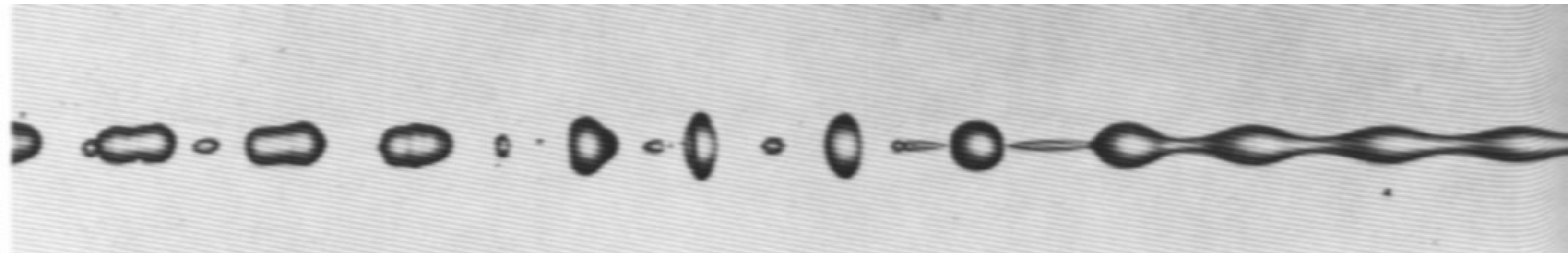
$$\frac{\sigma dl_2 d\theta}{2}$$



Tension de surface



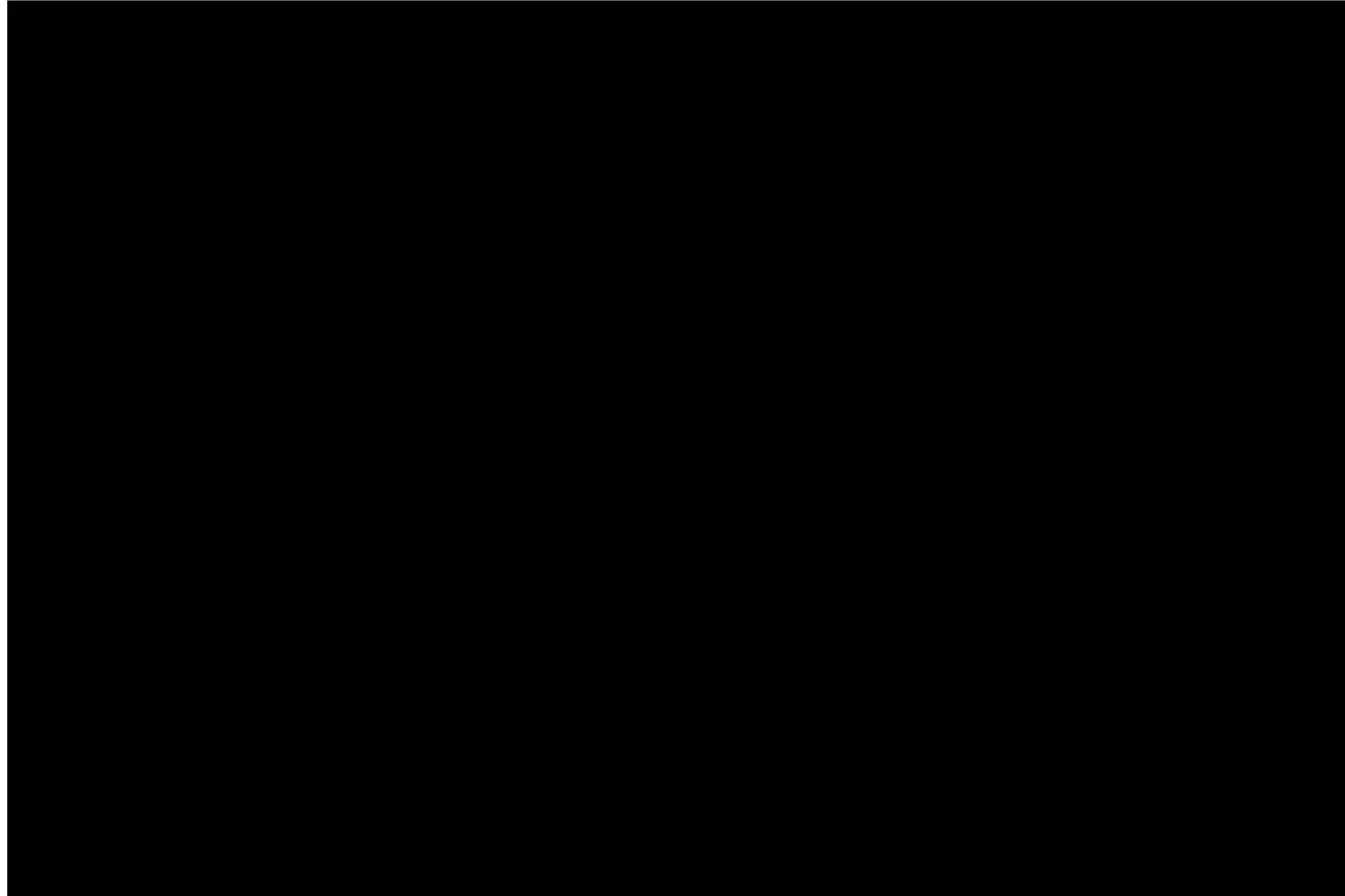
$$Bo = \frac{\rho g R^2}{\gamma}$$



CAPILLARITE : EXEMPLES



Flow visualisation



Low-Re number flows

THE NATIONAL COMMITTEE
FOR
FLUID MECHANICS FILMS
under a grant from the
National Science Foundation
presents