



# Mécanique des fluides

Polytech Paris-Saclay  
ET3-MME

Catherine Even

Année 2024-2025

# Catherine Even : présentation

[catherine.even@universite-paris-saclay.fr](mailto:catherine.even@universite-paris-saclay.fr)

Maîtresse de conférences en physique à l'université Paris Saclay

## Enseignement :

- Thermodynamique (cours + TD) : L2 DLPC
- Mécanique des fluides (cours+TD+TP) : Polytech + L3 Physique + L3 pro TPEBC
- Climat (cours-TD) : M1 Energie

## Recherche :

Depuis 2010 : biophysique : cellules eucaryotes (musculaires) et procaryotes (bactéries) ; capture de CO<sub>2</sub> par des microalgues et cyanobactéries

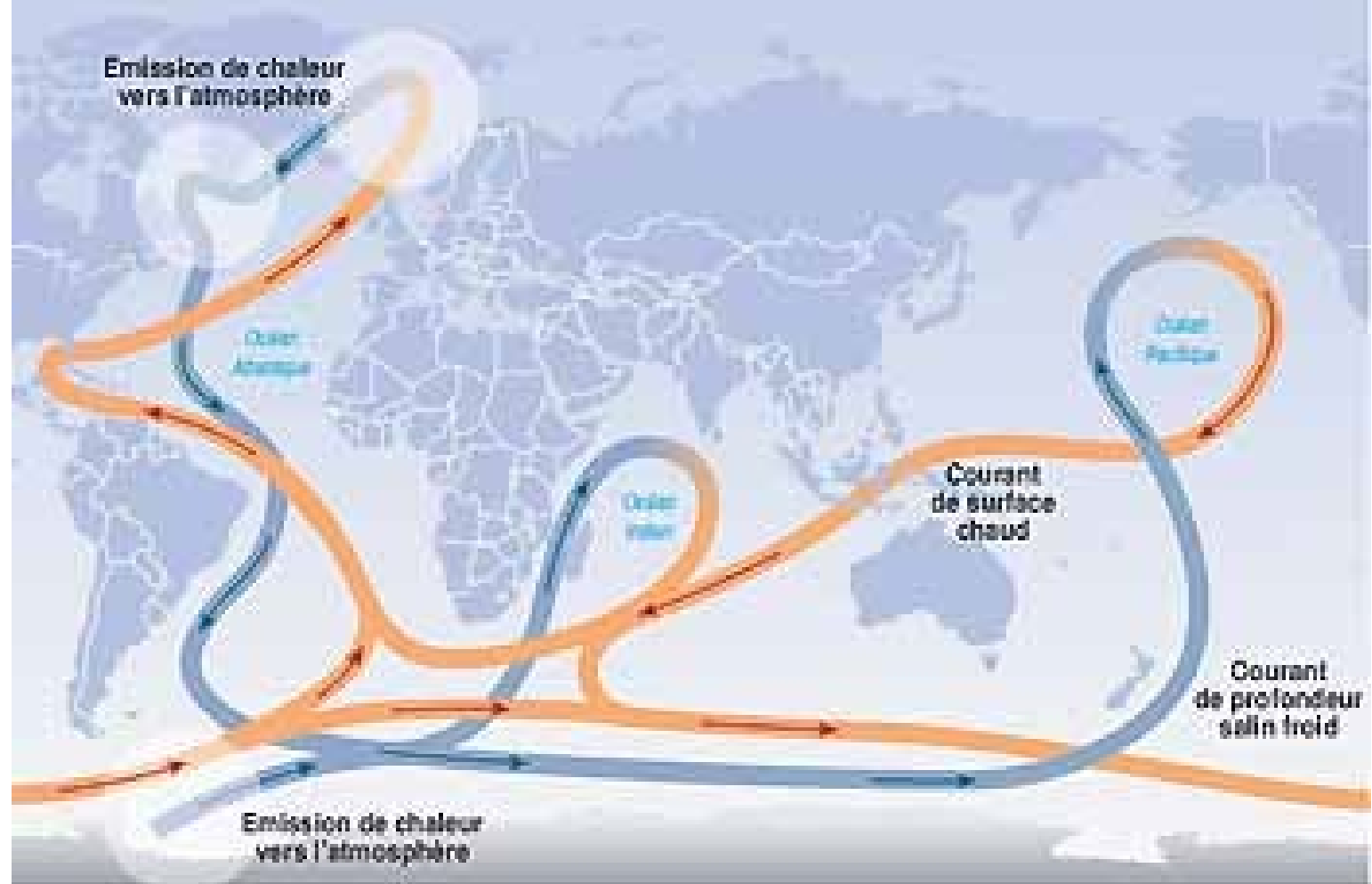


# Bibliographie

- Brébec, *Mécanique des fluides*, H Prépa
- Guyon, Hulin, Petit, *Ce que disent les fluides*
- Guyon, Hulin, Petit, *Hydrodynamique physique*
- Cours de Frédéric Moisy, M1 Physique Fondamentale
- Tritton, *Physical fluid dynamics*

# I - Introduction

## Le tapis roulant océanique mondial



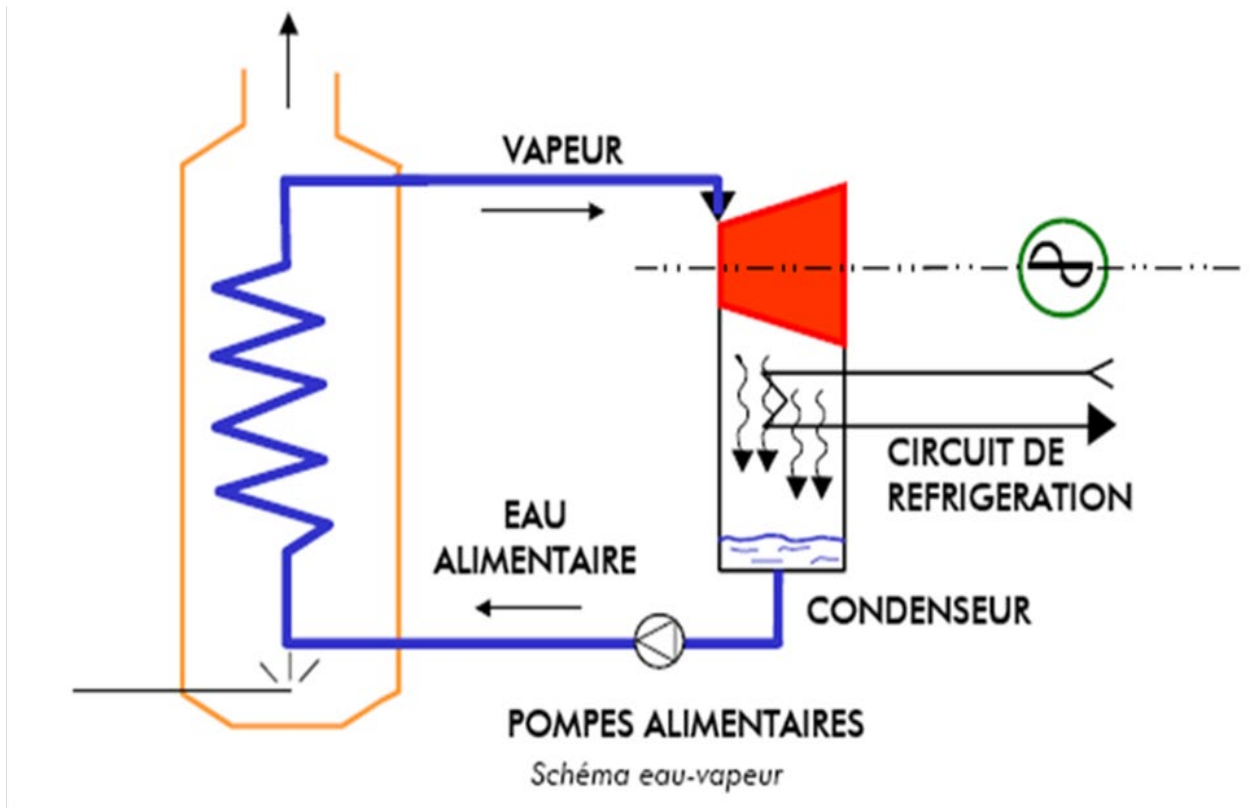
# Industrie



# Carte satellite météorologique



# Centrales thermiques (charbon, nucléaire)



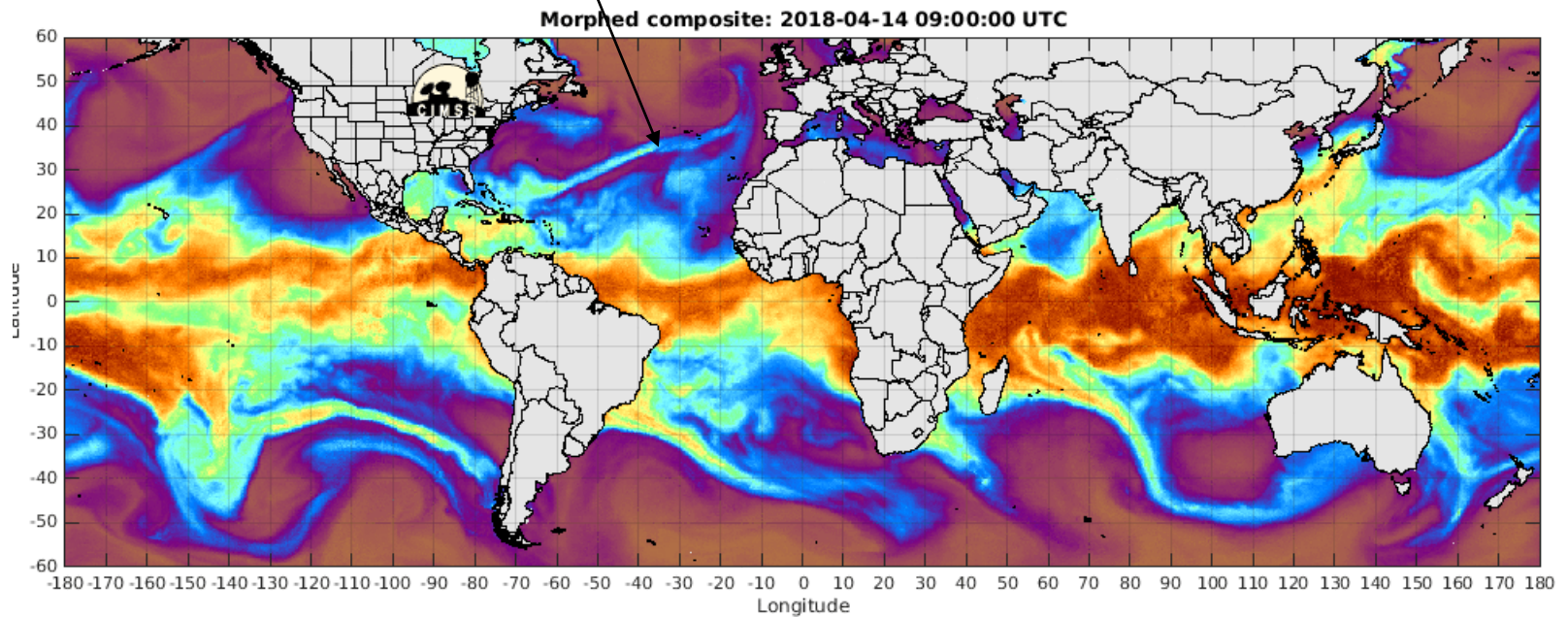
## Écoulement autour d'une voiture



<http://aerodynamique.e-monsite.com/pages/les-principes-de-l-aerodynamisme/la-trainee.html>



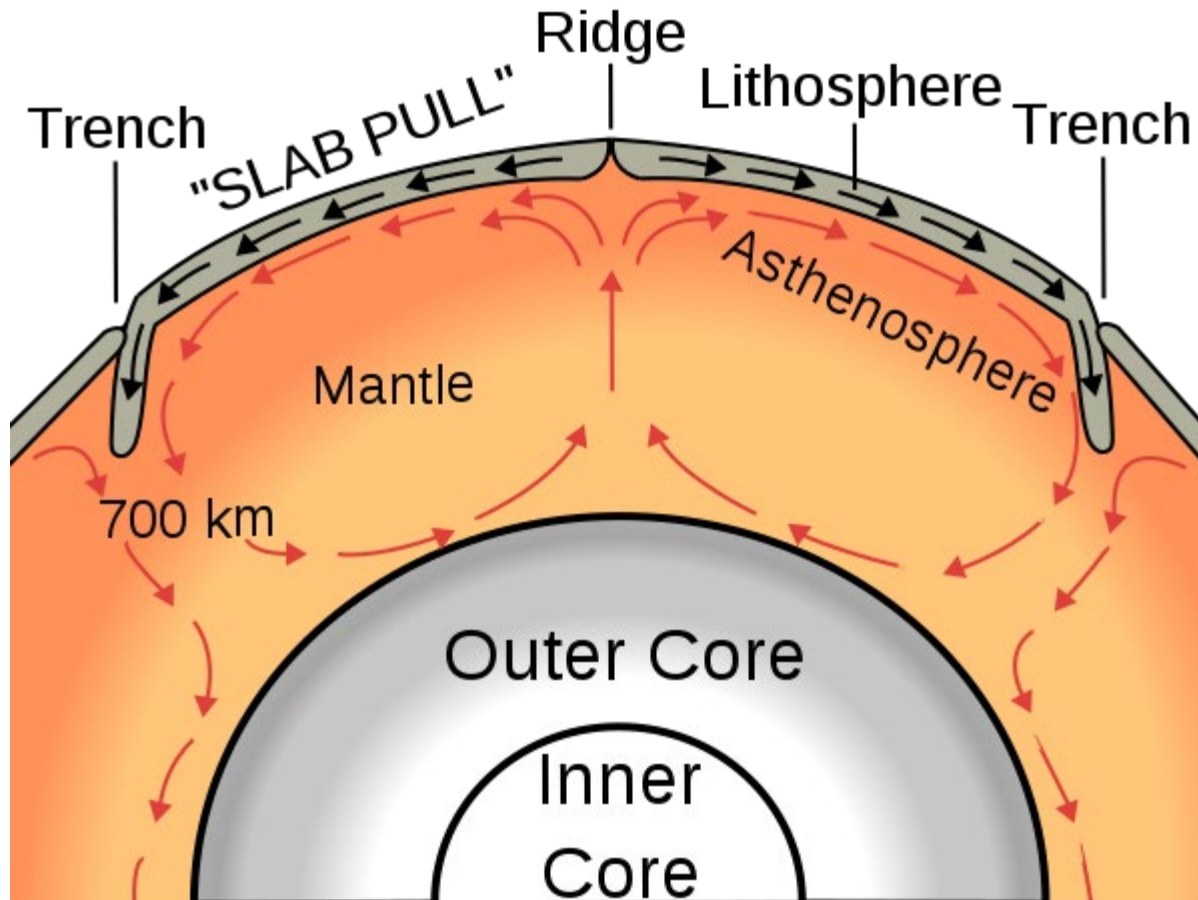
# Rivière atmosphérique



<http://tropic.ssec.wisc.edu/real-time/mimic-tpw/global/main.html>



# Mouvements de convection dans le manteau terrestre



[https://fr.wikipedia.org/wiki/Convection\\_mantellique](https://fr.wikipedia.org/wiki/Convection_mantellique)

# Plan du cours

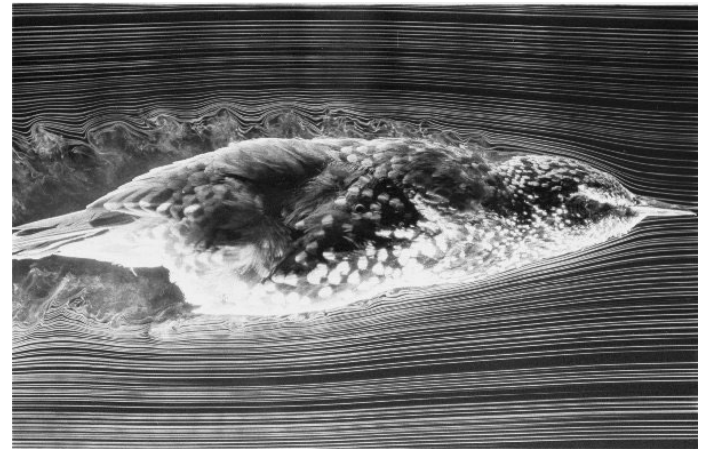
I - Introduction

II – Hydrostatique

III - Cinématique

IV – Fluides parfaits

V – Fluides visqueux



# II - Hydrostatique

# Force d'Archimède



« C'est pas sorcier », 25/04/2018

[https://youtu.be/Id\\_0UAsJtz0](https://youtu.be/Id_0UAsJtz0)

# Force d'Archimède

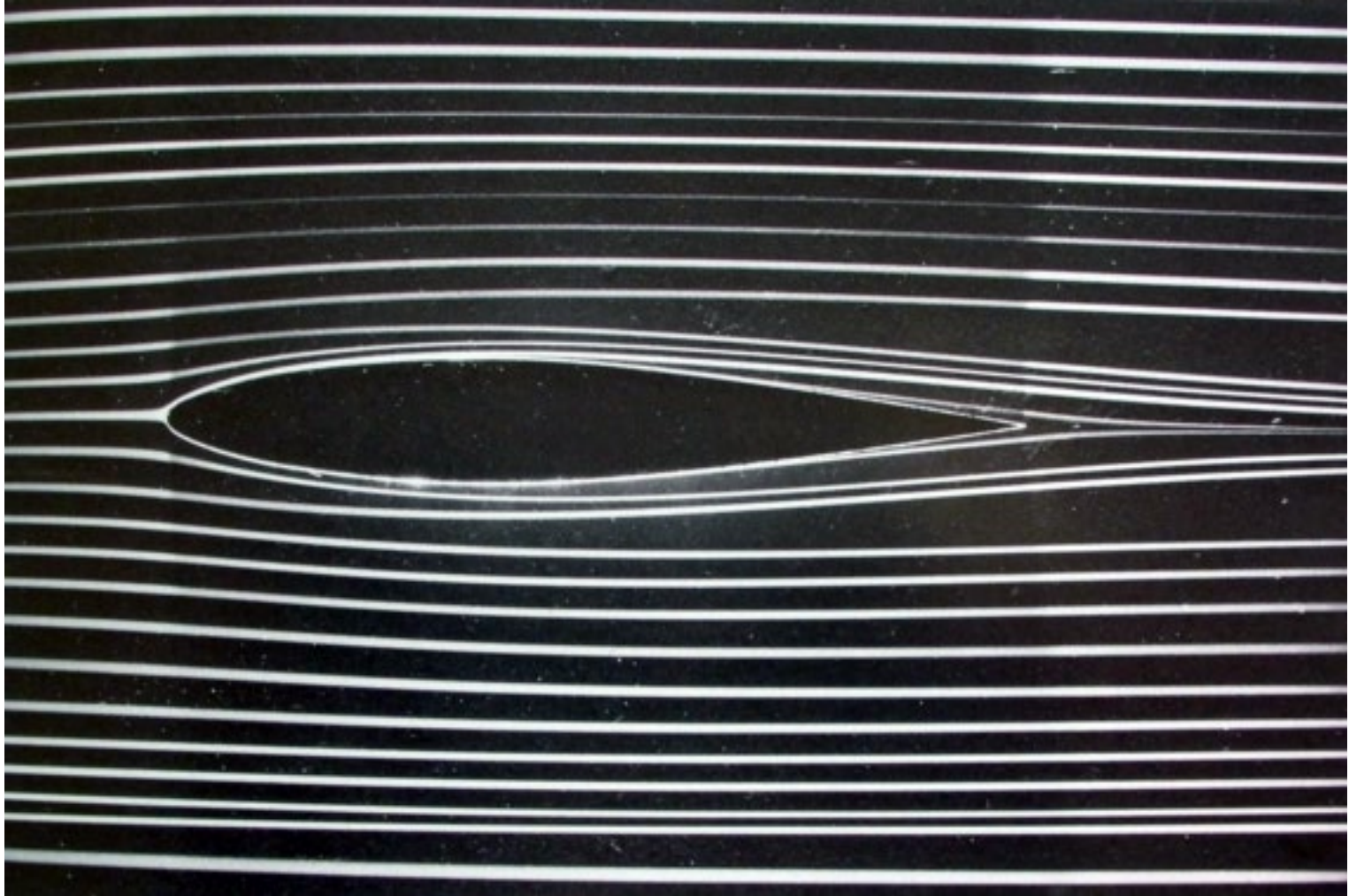


# III - Cinématique

# Trajectoires de véhicules



# Écoulement autour d'une aile





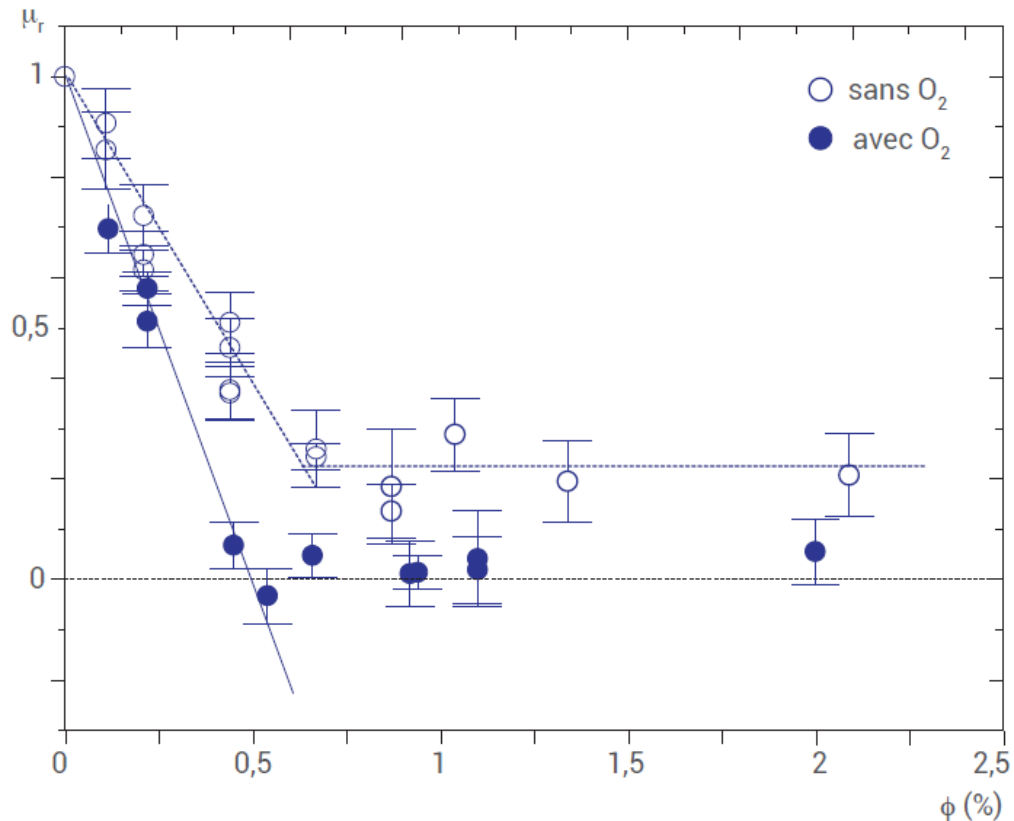
# IV – Fluides parfaits

# Un fluide parfait quantique : l'He superfluide



<https://www.youtube.com/watch?v=LSyRqJBZTVk>

# Un fluide actif parfait : des bactéries nageant dans l'eau



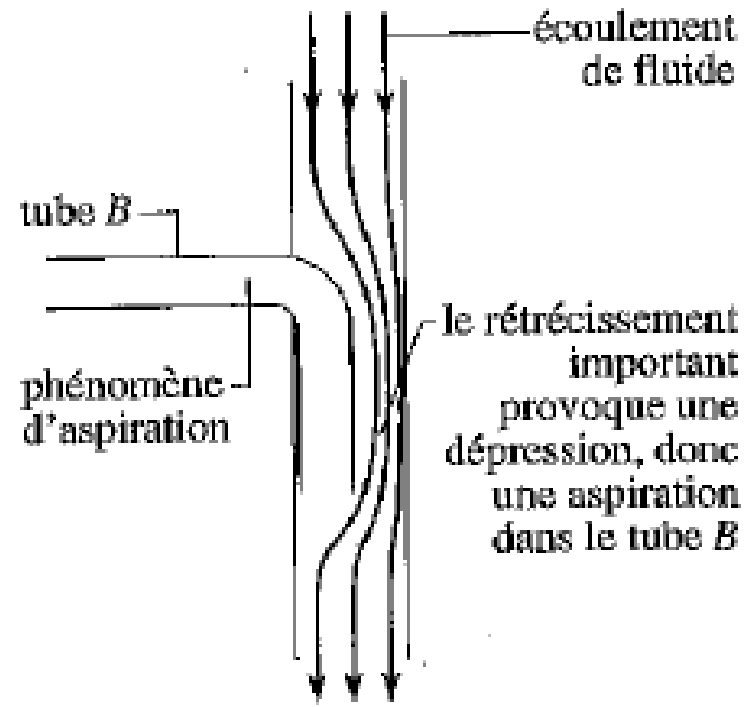
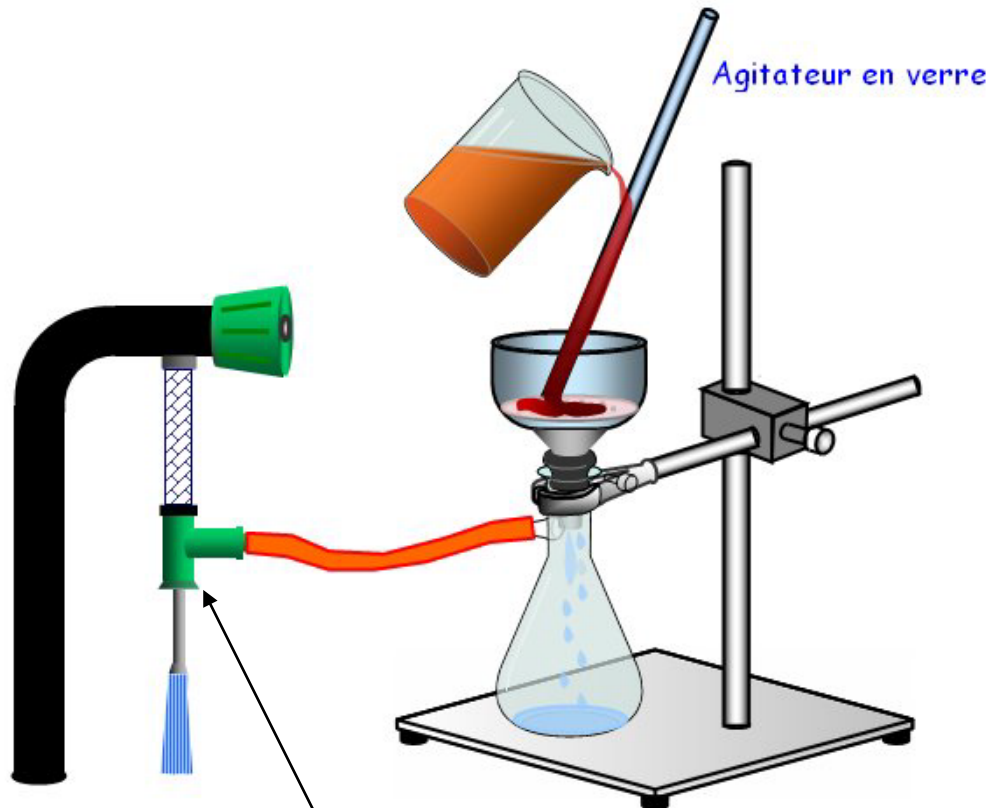
**3. Variation de la viscosité relative  $\mu_r$  en fonction de la fraction volumique  $\phi$  des bactéries pour un taux de cisaillement  $\dot{\gamma}_M = 0,04 \text{ s}^{-1}$ .**

○ : expériences sans oxygène ;

● : expériences avec oxygène.

La viscosité  $\mu_0$  sans bactéries est de  $1,35 \pm 0.05 \text{ mPa.s}$ .

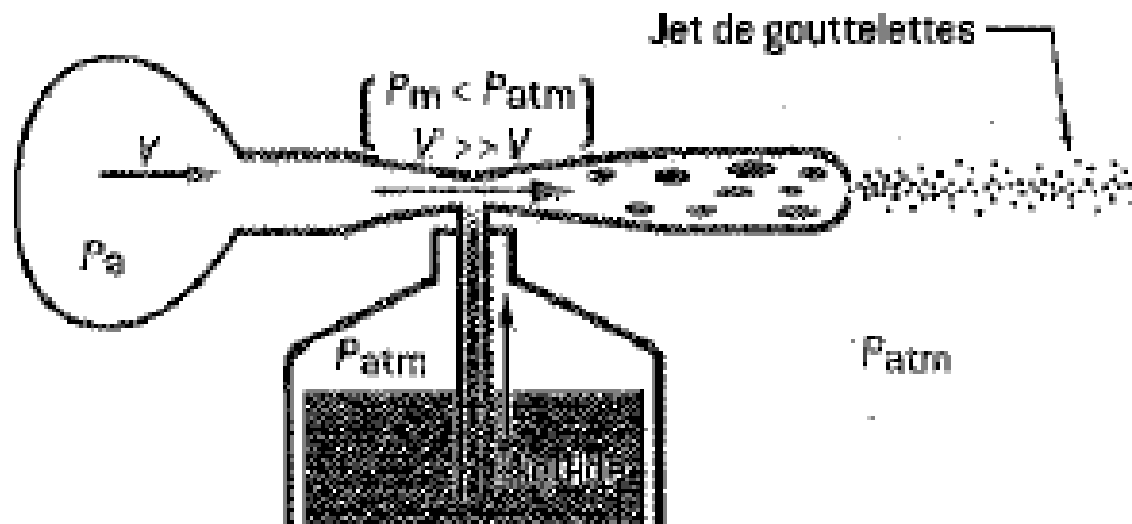
# Trompe à eau



**Doc. 27.** *Principe de la trompe à eau.*

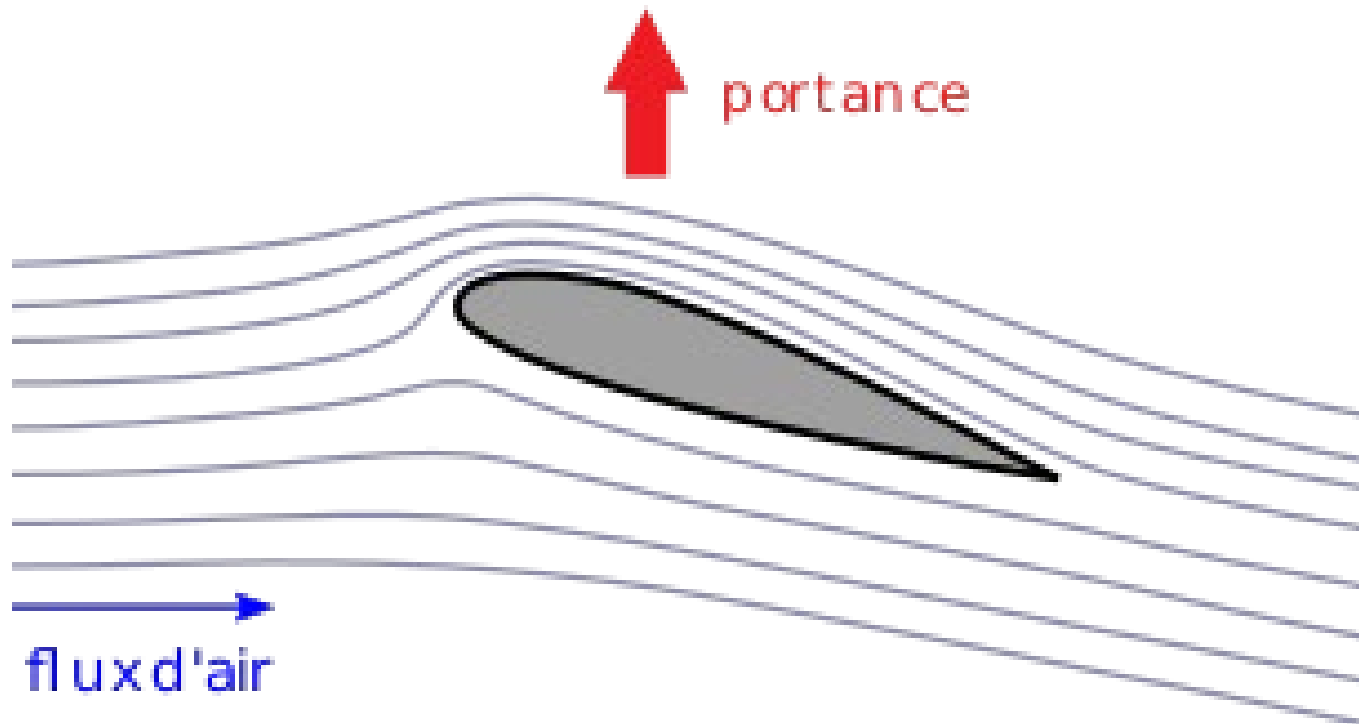
Trompe à eau

# Pulvérisateur

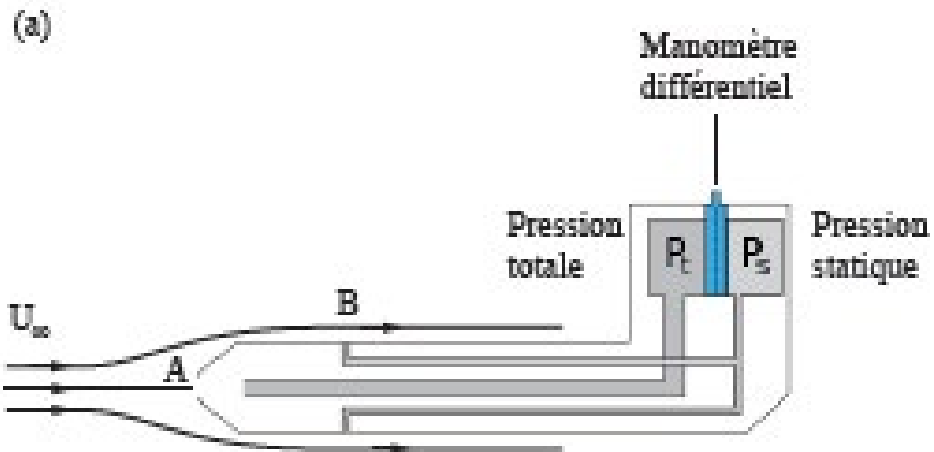


2. Principe de fonctionnement d'un pulvérisateur [l'air est en jaune et le liquide en bleu].

# Portance d'une aile d'avion



# Tube de Pitot



# Effet Magnus



<https://www.youtube.com/watch?v=fZy9IG0QdyM>



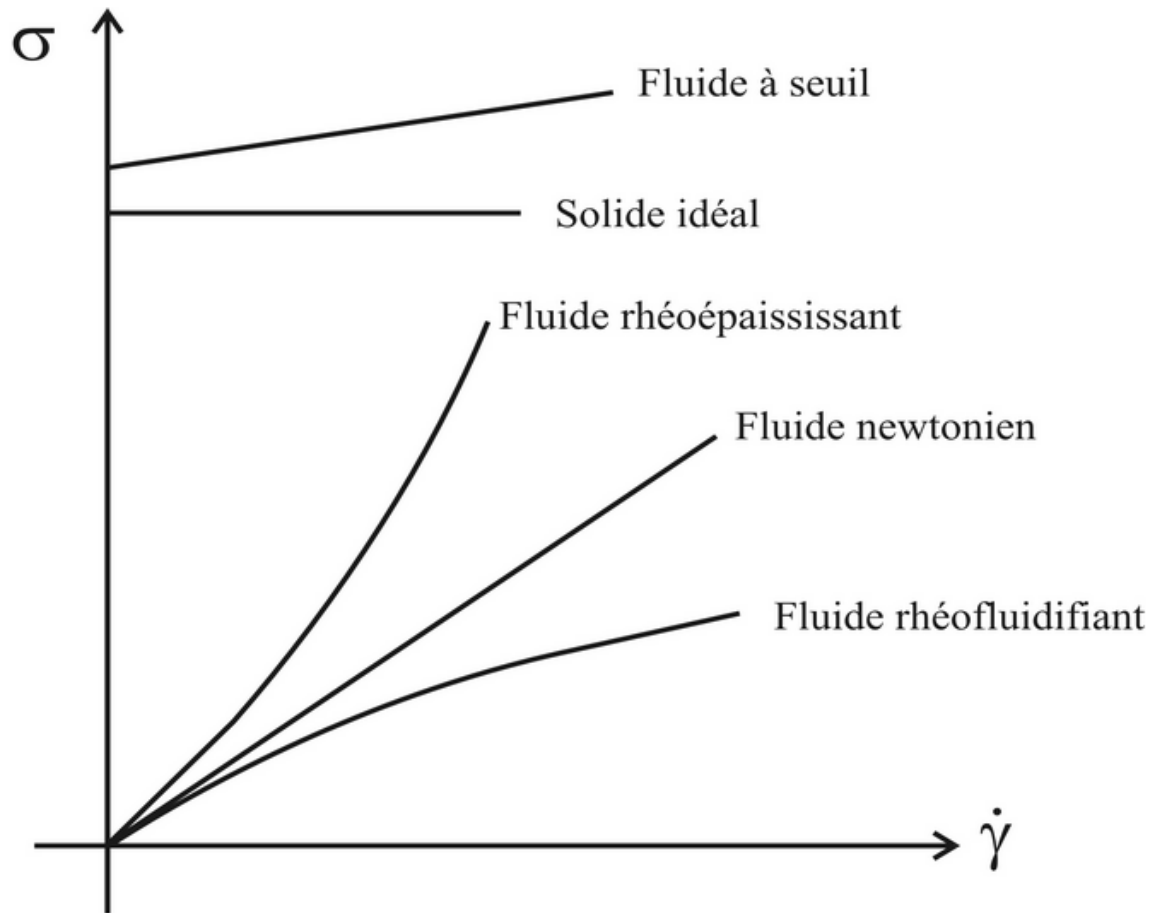
# Cavitation



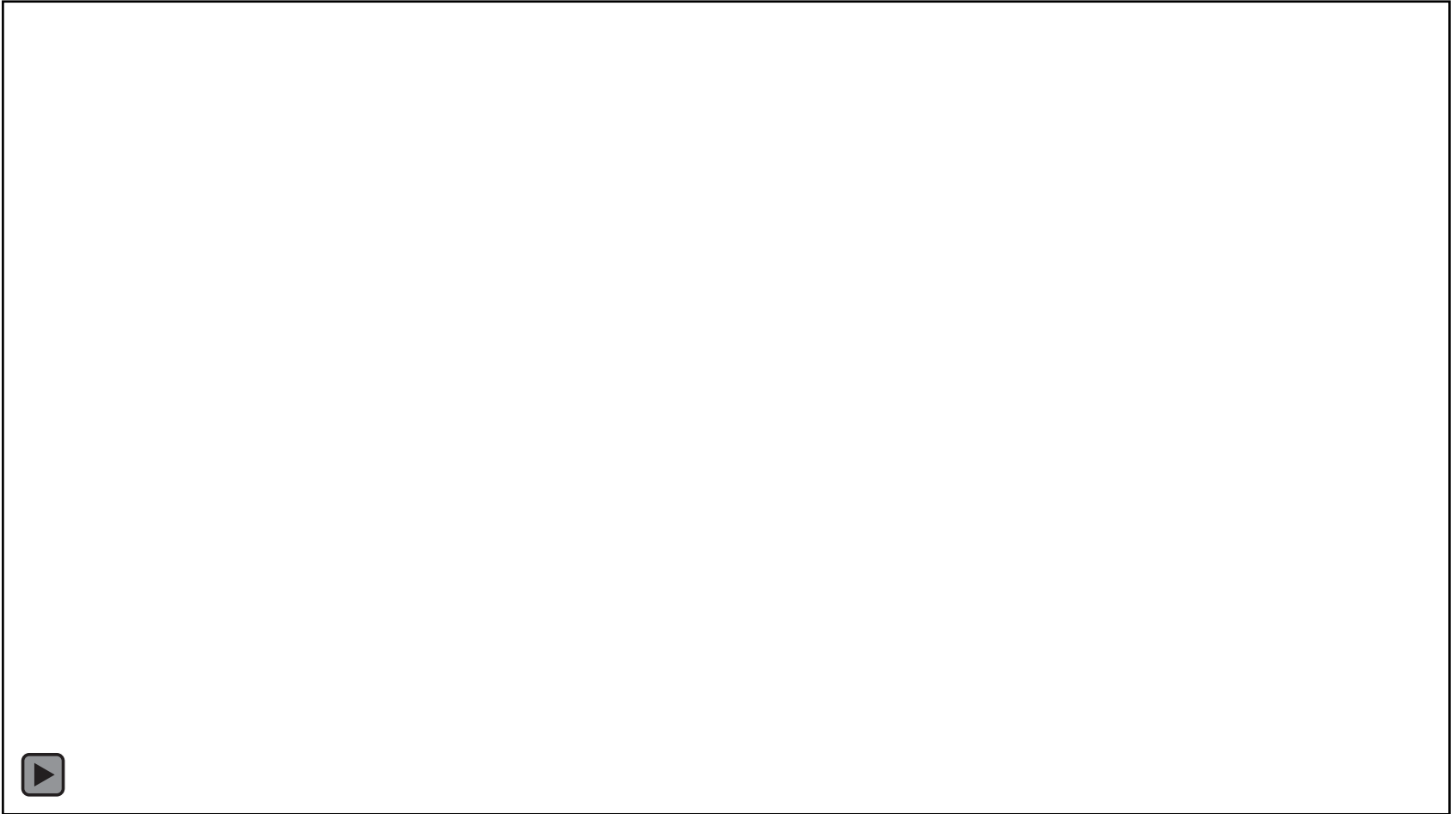
V – Fluides visqueux

Expérience de la goutte de poix,  
Université du Queensland, Australie



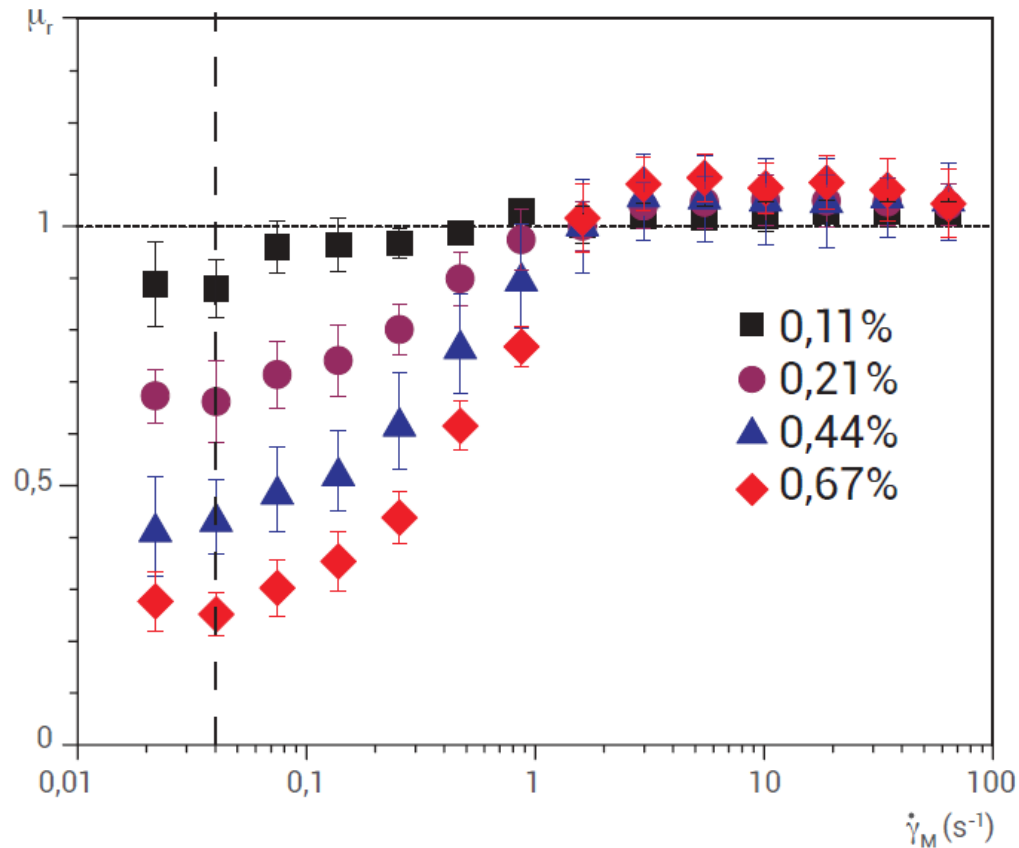


Un exemple de fluide rhéoépaississant : le mélange eau/maïzena



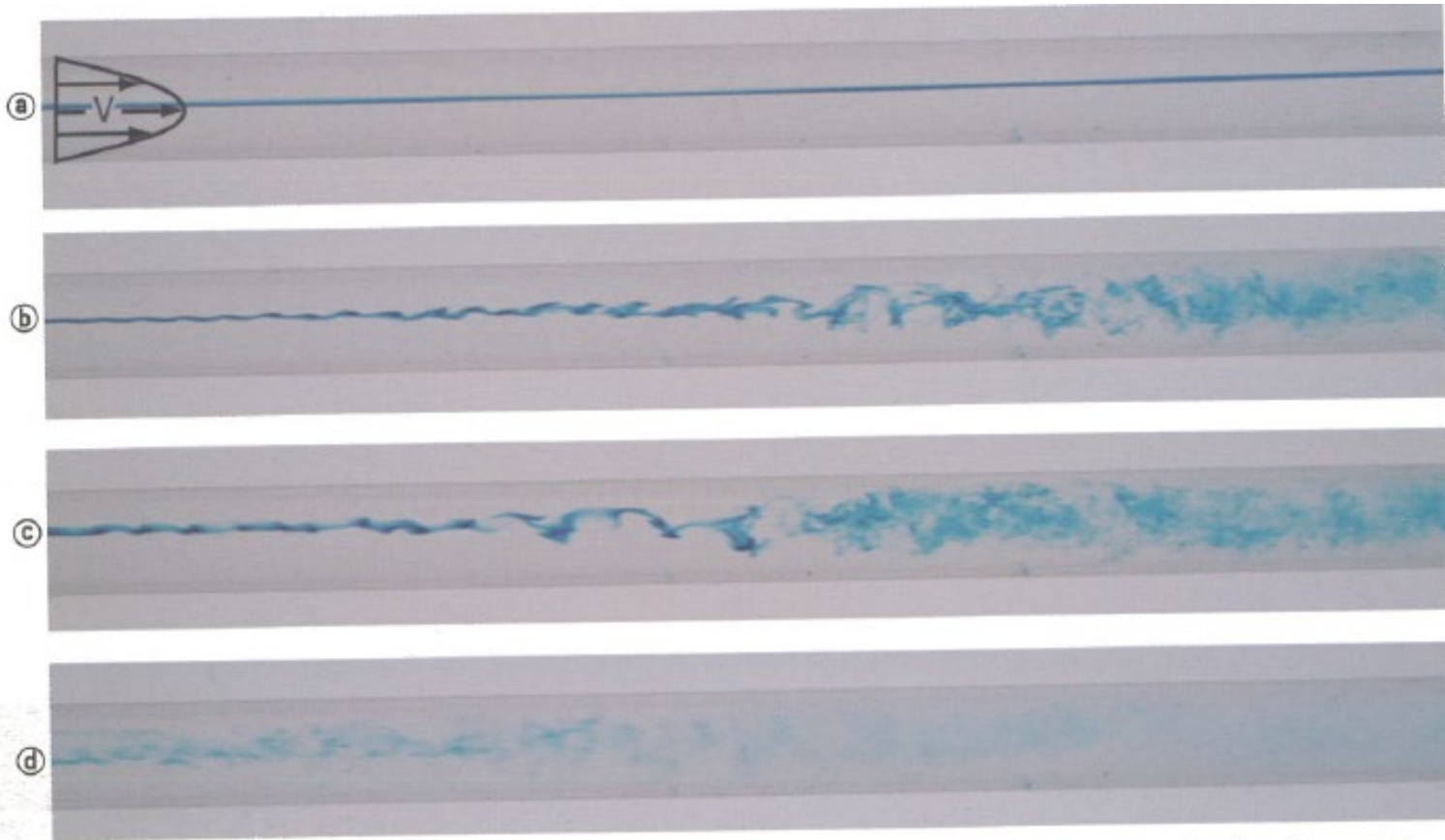
[https://www.youtube.com/watch?v=DhzKA\\_fkoE](https://www.youtube.com/watch?v=DhzKA_fkoE)

# Un exemple de fluide rhéoépaississant : une suspension de bactéries



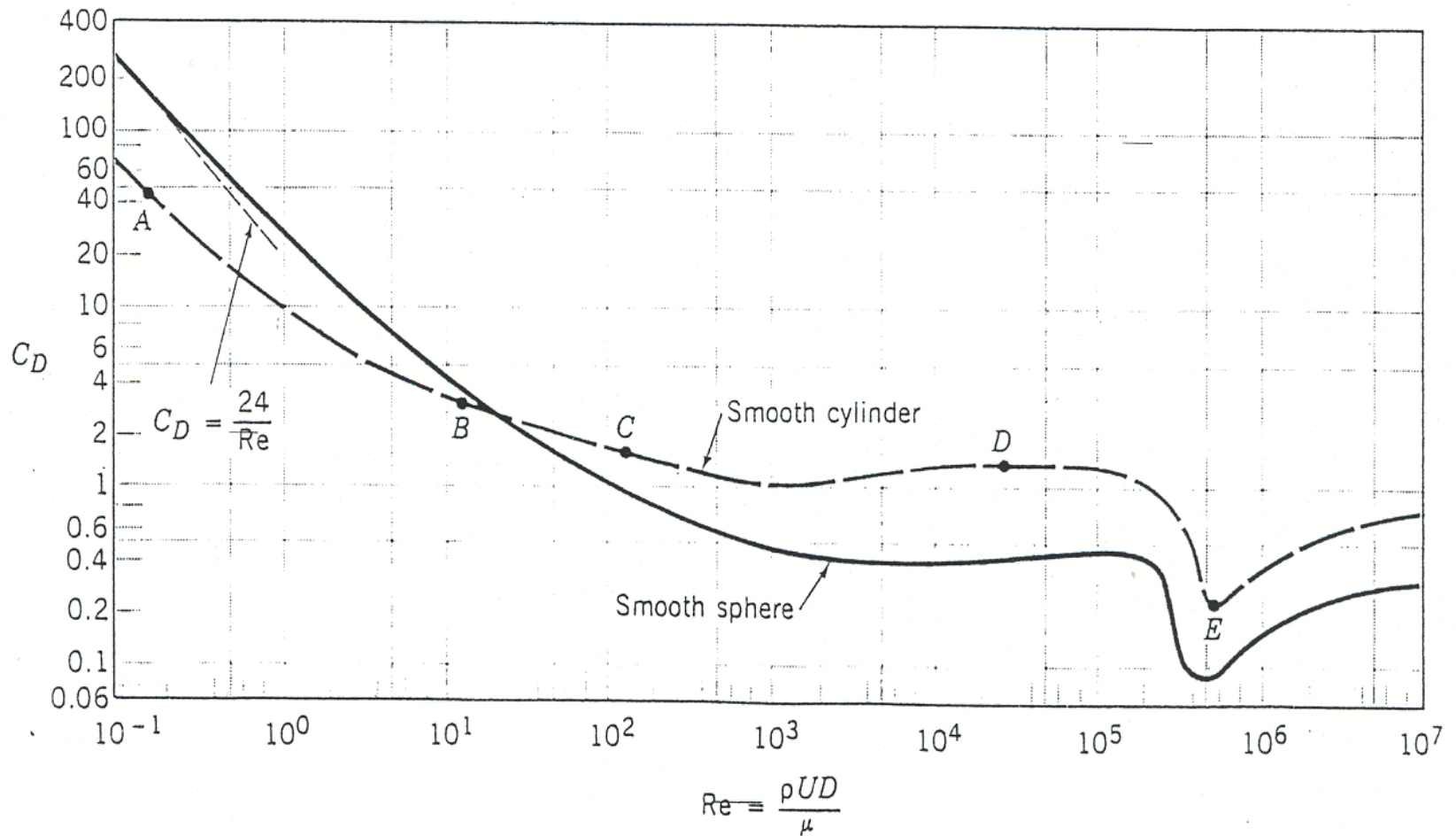
**2. Variation de la viscosité relative avec le taux de cisaillement de suspensions de bactéries *E. coli*.** Rhéogrammes ( $\mu_r$  sans unité vs  $\dot{\gamma}_M$  en  $s^{-1}$ ) mesurés à différentes fractions volumiques :  $0,11\% \leq \phi \leq 0,67\%$  (soit entre 1 et 6,7 milliards de bactéries dans l'entrefer du rhéomètre). La ligne verticale en tirets correspond au taux de cisaillement  $\dot{\gamma}_M = 0,04 s^{-1}$  repris sur la figure 3.

# Régimes laminaire et turbulent



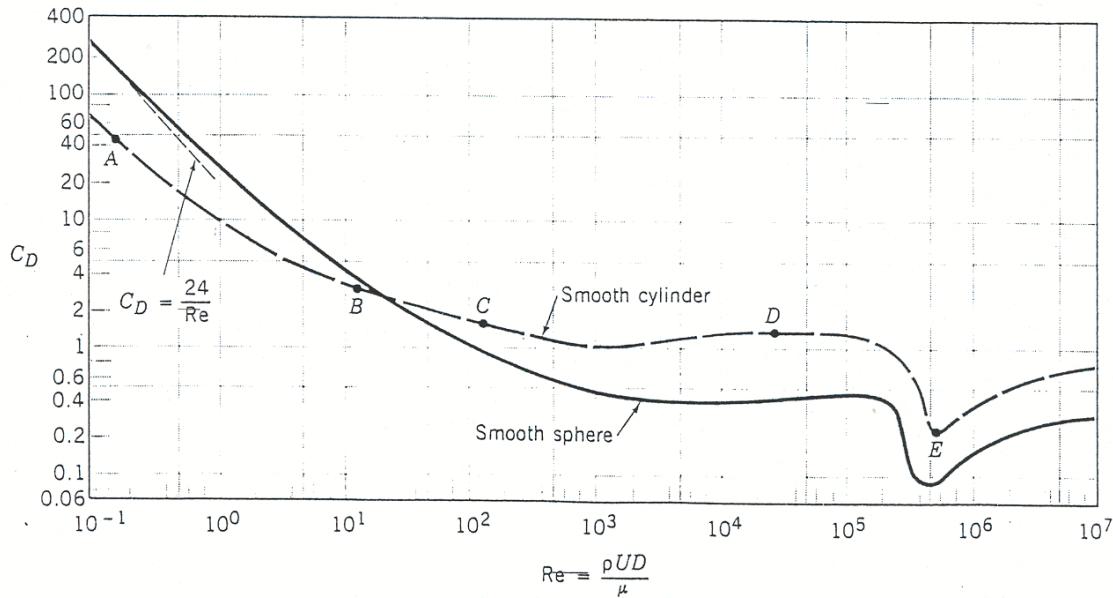
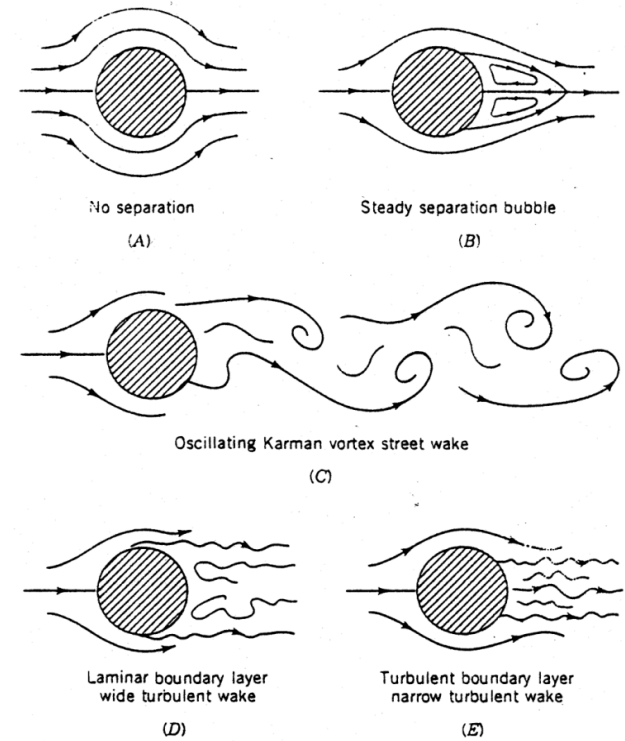
1. Vues des déformations d'un filet de colorant bleu injecté par la gauche dans l'axe d'un écoulement d'eau dans un tube horizontal. Le débit d'écoulement augmente de [a] vers [d]. Notez le passage d'un écoulement complètement laminaire [en haut] à un écoulement turbulent [en bas]. Le profil de vitesse en écoulement laminaire est indiqué à gauche de la vue [a].

# Coefficient de traînée $C_x$ en fonction du nombre de Reynolds, pour une sphère et un cylindre





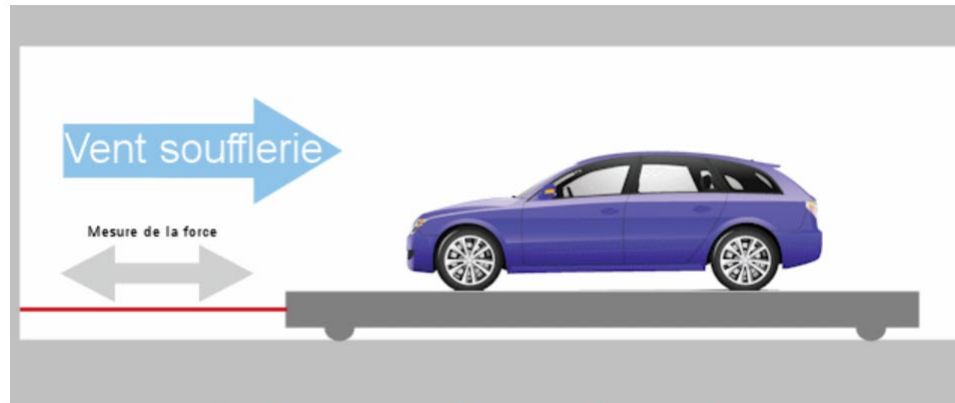
# Ecoulement en fonction de Re pour un cylindre



## Coefficients de traînée pour quelques corps

<b>Sphère</b>	<b>0,47</b>
Cylindre	1,2
Aile d'avion	0,005-0,01
Coureur (Usain Bolt)	1,2
Voitures modernes	0,3

# Force de traînée pour quelques modèles de voitures



La force est mesurée par un dynamomètre

	R18 (1978)	R21 (1986)	Laguna (1993)	Mercedes CLA (2013)	Lightyear 0 (2022)
$C_x$	0.34	0.30	0.31	0.23	0.18
$S$ (m <sup>2</sup> )	1.86	1.95	1.59	2.22	?
$SC_x$ (m <sup>2</sup> )	0.695	0.59	0.5	0.51	?

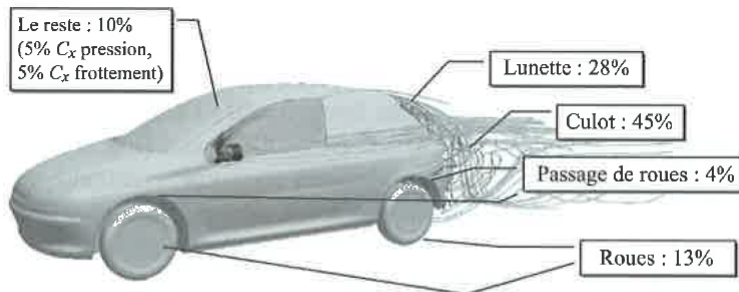
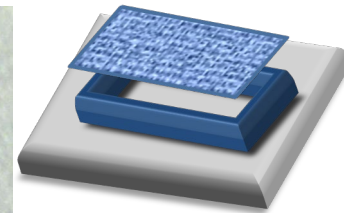
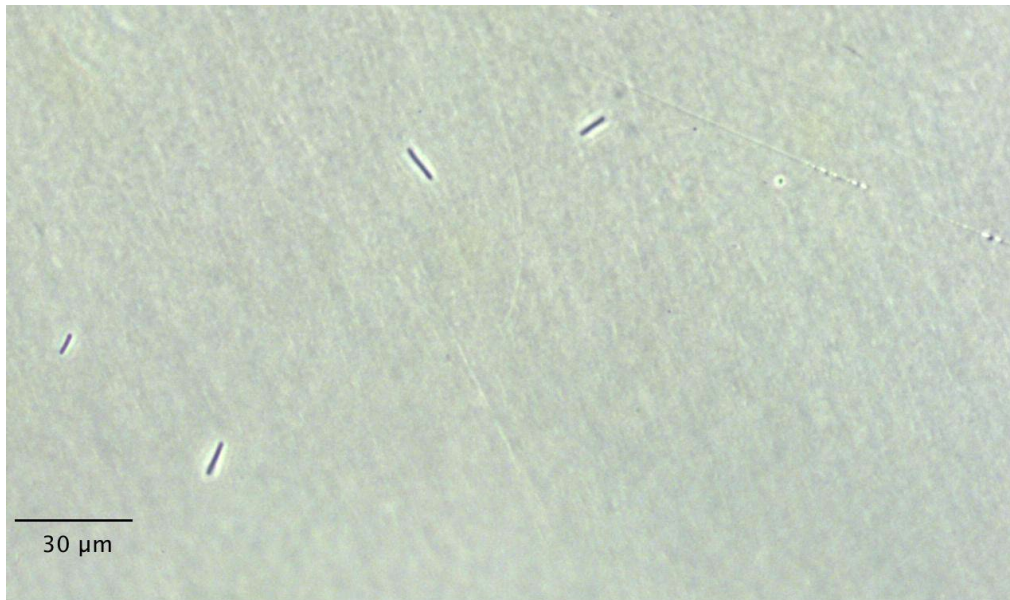


FIG. 10.13 – Contribution respective des différents éléments d'une automobile à la traînée (doc. J-L. Aider, PSA Peugeot-Citroën).

# Nage de la bactérie *Bacillus subtilis*

Initial state: planctonic bacteria      Sandwiched between glass and air permeable membrane



Phase contrast  
Magnification ×40

30 images/s.

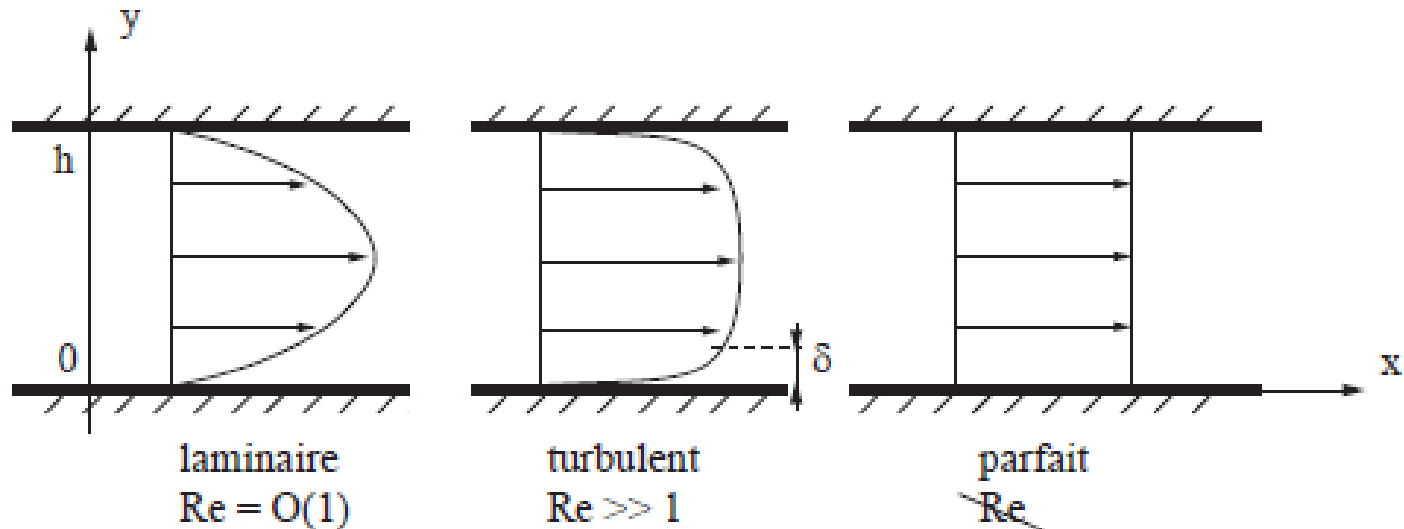
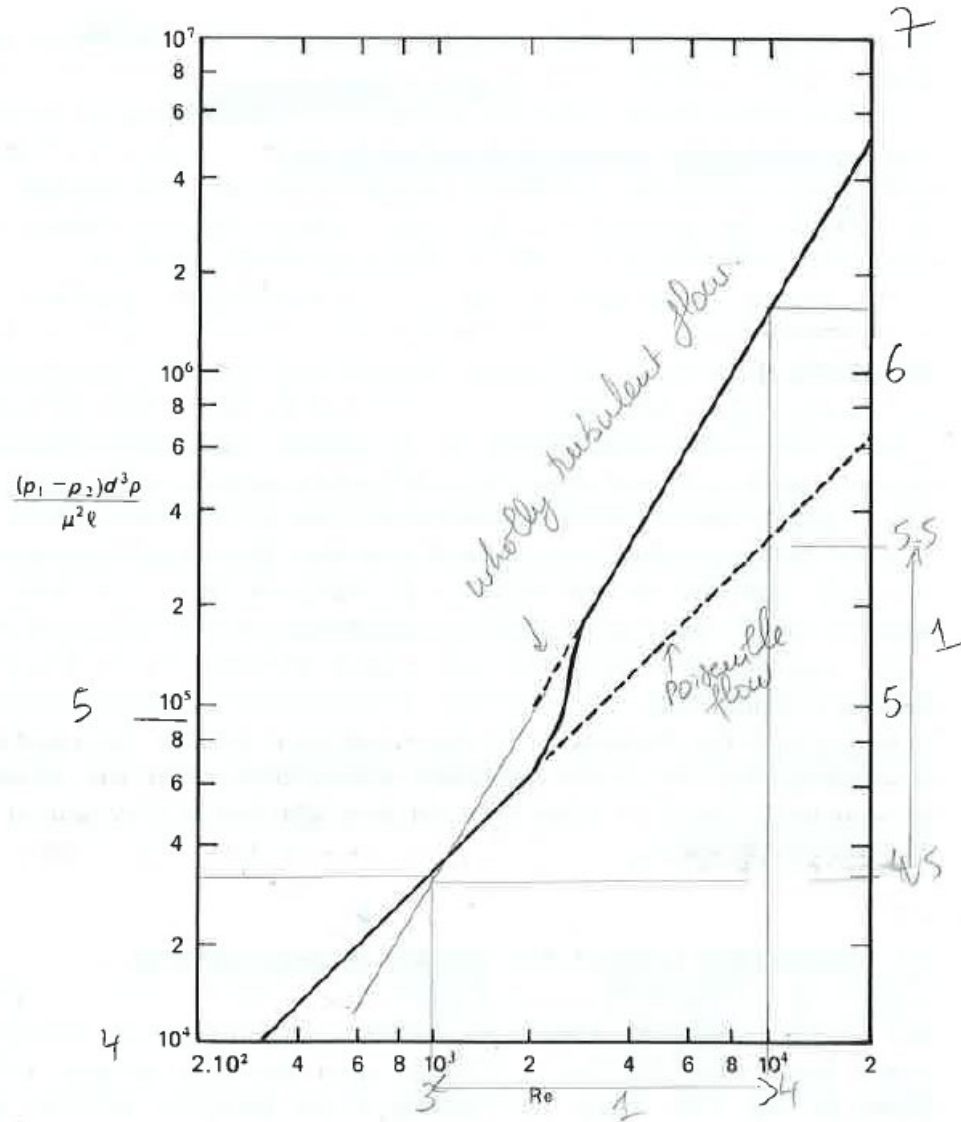
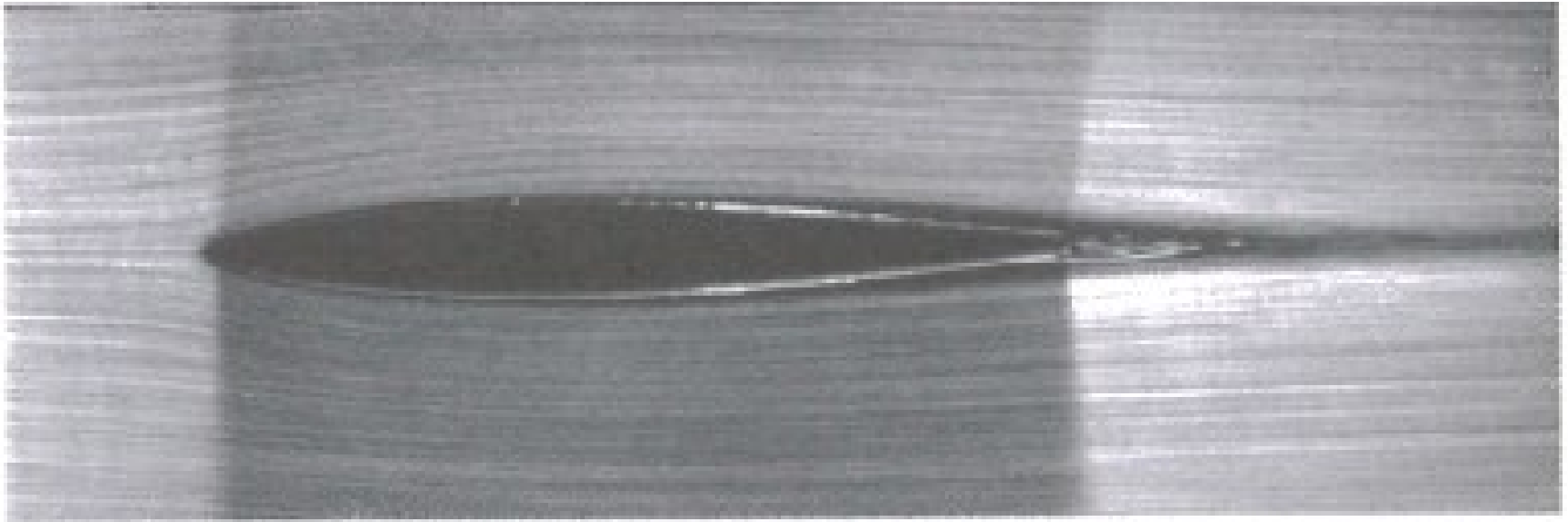


FIGURE 6.5 – Écoulement parallèle entre 2 plaques planes, dans les cas laminaire, turbulent, et fluide parfait. Le cas laminaire correspond au profil parabolique de Poiseuille. Le cas turbulent est plus plat au centre, et présente de forts gradients dans les couches limites. Ce profil turbulent tend ainsi vers le profil "bouchon" du cas du fluide parfait, mais garde néanmoins un raccordement à 0 aux parois (condition de non-glissement).

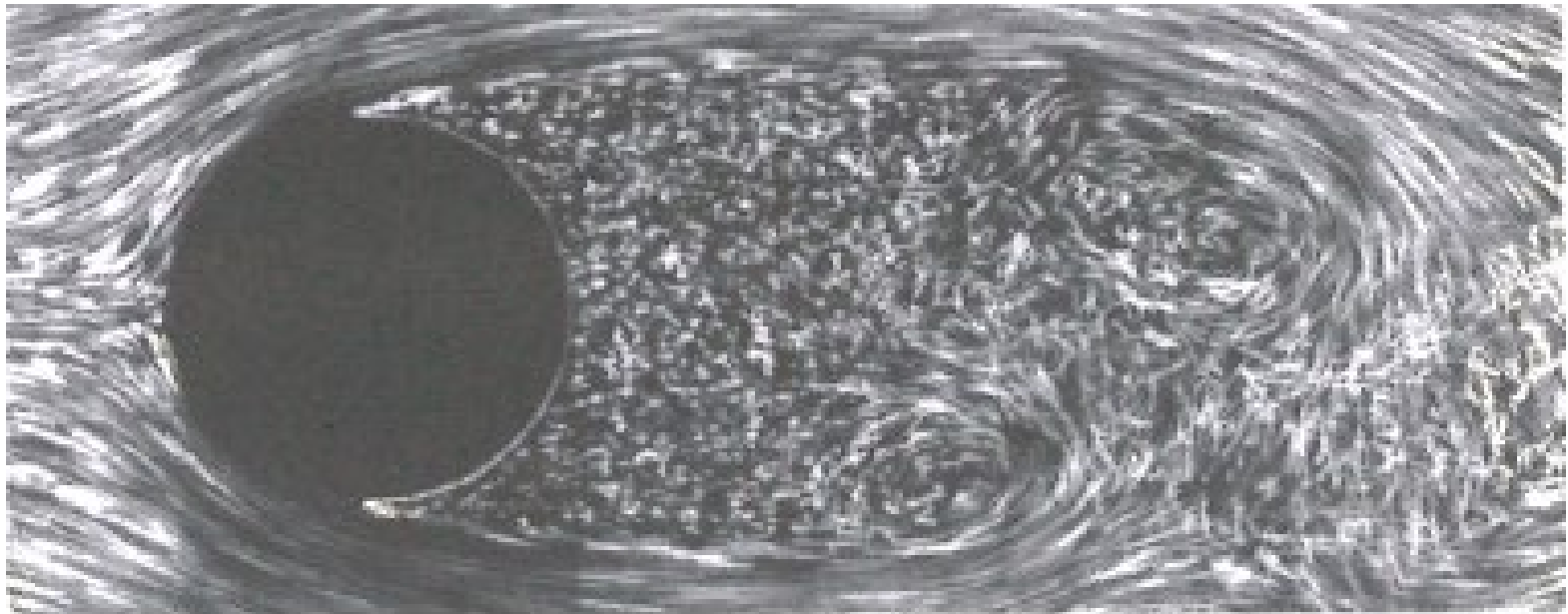
# Écoulement dans un tuyau



Couche limite le long d'une aile



Décollement de la couche limite en aval d'un objet





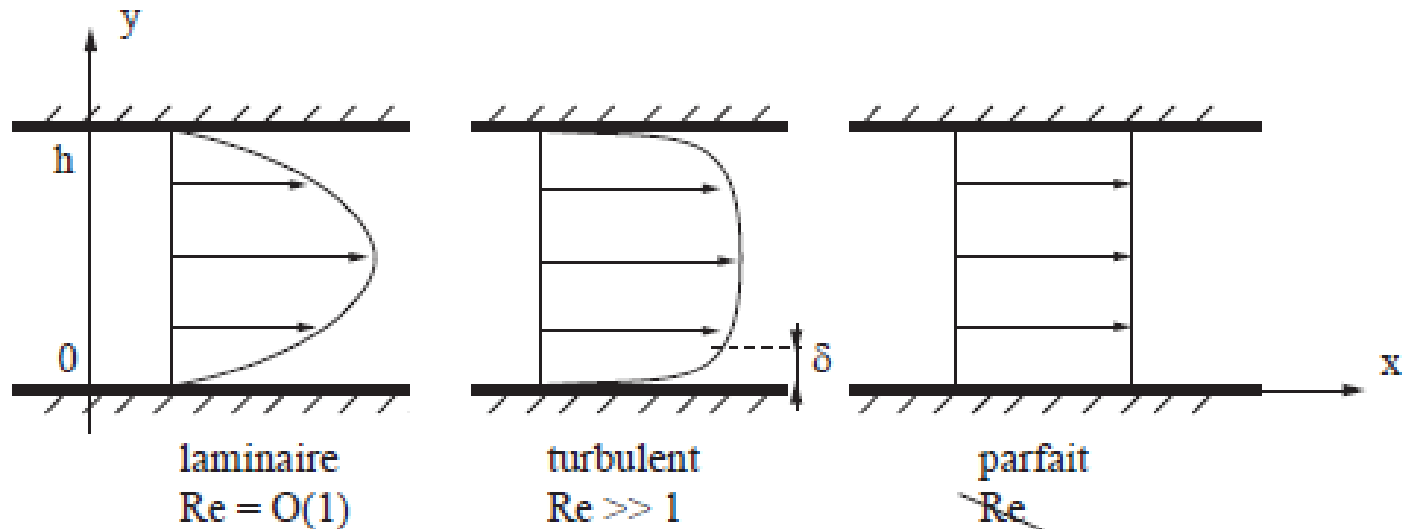
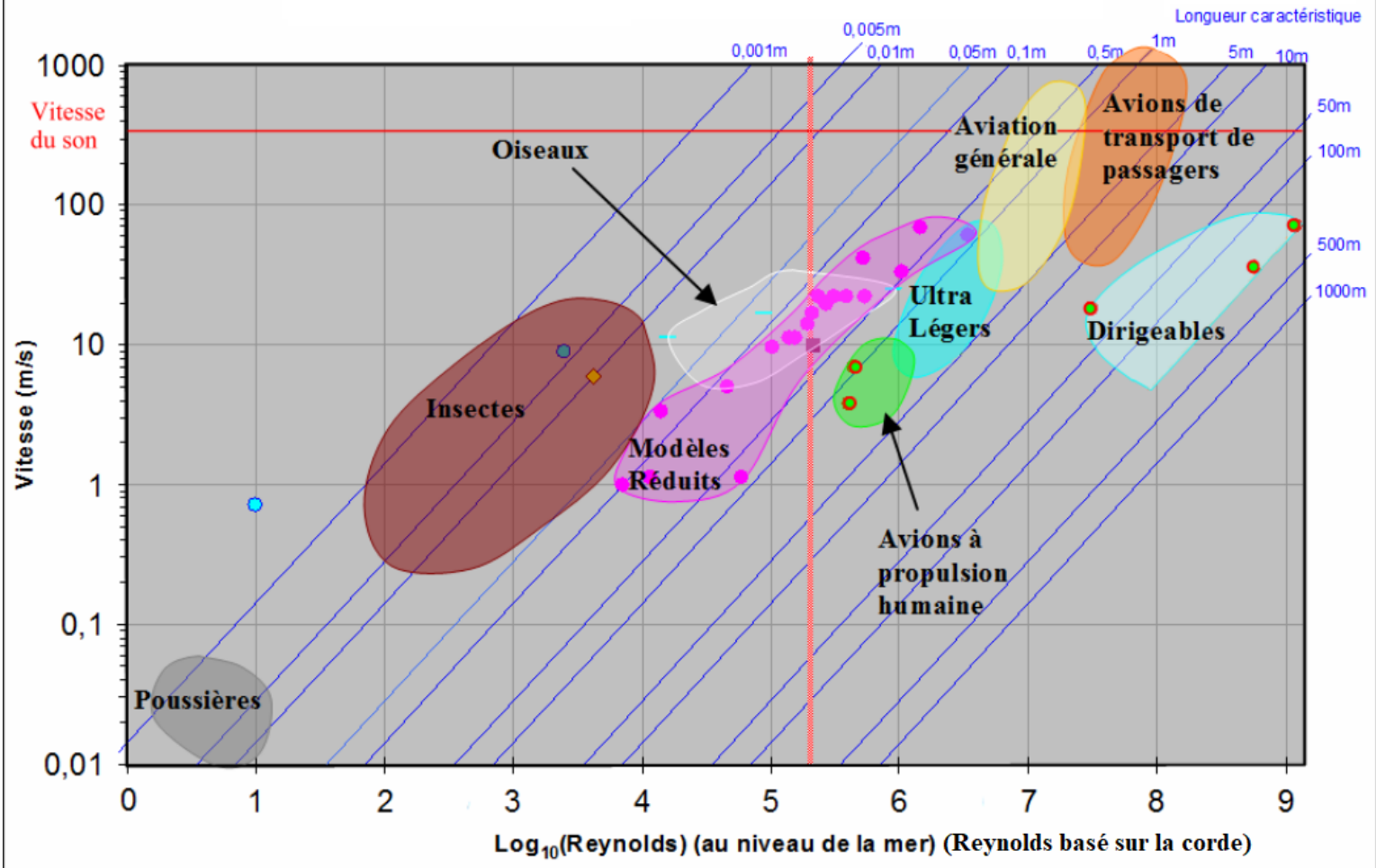


FIGURE 6.5 – Écoulement parallèle entre 2 plaques planes, dans les cas laminaire, turbulent, et fluide parfait. Le cas laminaire correspond au profil parabolique de Poiseuille. Le cas turbulent est plus plat au centre, et présente de forts gradients dans les couches limites. Ce profil turbulent tend ainsi vers le profil "bouchon" du cas du fluide parfait, mais garde néanmoins un raccordement à 0 aux parois (condition de non-glissement).

# Graphique de Lissaman : Reynolds des corps volants selon leur vitesse



## Écoulement d'un glacier



Glacier de la Mer de Glace, Alpes