

# FLUIDES REELS EN ECOULEMENT.

## 1. EXEMPLES D'ÉCOULEMENTS LAMINAIRES.

### 1<sup>ER</sup> CAS D'ÉCOULEMENT LAMINAIRE RAMPANTS : $R_e < 1$

Lorsque les forces d'inertie sont nulles ou négligeables devant les forces de viscosité. On parle alors d'écoulement rampant.

Ce type d'écoulement est obtenu quand :

- Le fluide est de grande viscosité cinématique,



*Écoulement de lave.*

- Les vitesses d'écoulement sont relativement lentes,



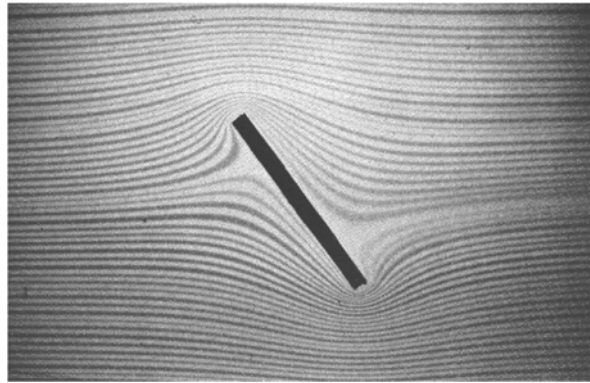
*Écoulement d'un glacier.*

- Il s'agit du mouvement de corps de dimensions réduites, ou d'écoulements dans des conduites de dimensions relativement faibles.



*Mouvement d'une bactérie dans un milieu biologique*

- Ecoulements laminaires obtenus en TP :

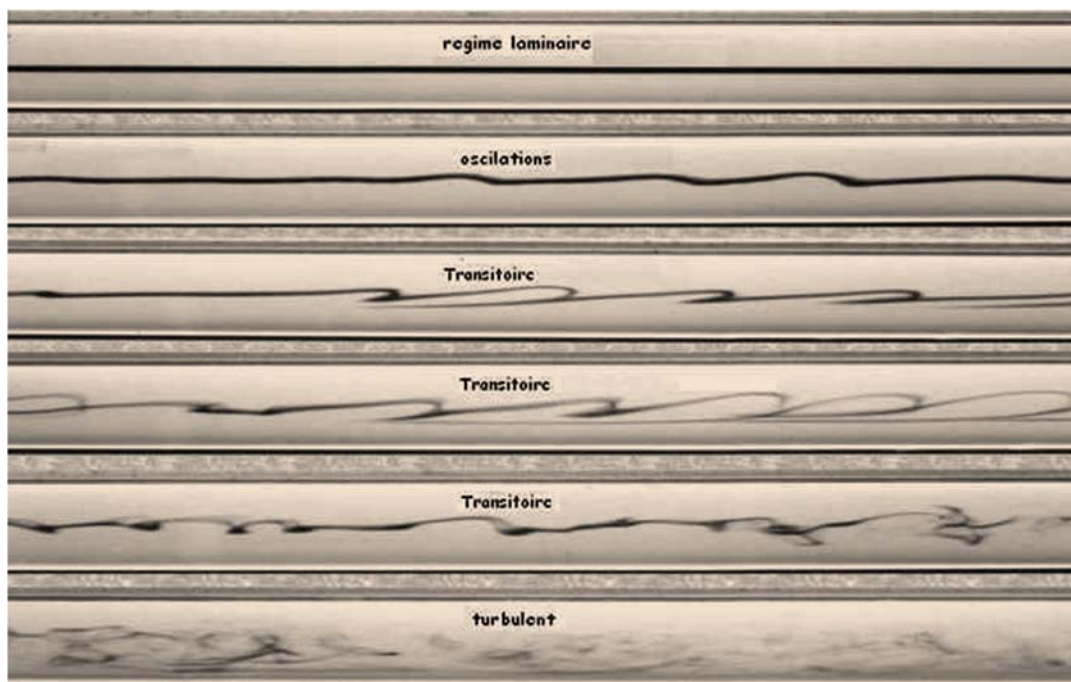


*Ecoulement laminaire autour d'une plaque.*

**2EME CAS D'ÉCOULEMENT LAMINAIRE :  $\Delta \vec{V} = \vec{0}$  ET  $R_e$  QUELCONQUE**



*L'écoulement de l'eau à la sortie d'un robinet devient rapidement turbulent*



*Transition laminaire/turbulent dans une conduite pour  $R_e \approx 2000$*

## 2. EXEMPLES DE VISCOSITES.

	Viscosité dynamique $\mu$ ou $\eta$ (Pa.S)	Viscosité cinématique $m^2/s$ ( $\times 10^{-6}$ )
Eau (20°C)	$10^{-3}$	1.006
Air (20°C)	$18.2 \cdot 10^{-6}$	15.1
Glycérine (20°C)	1.49	1180
Benzène (20°)	$0.625 \cdot 10^{-3}$	0.741
Ethanol (20°C)	$1.20 \cdot 10^{-3}$	1.51
Mercure (20°C)	$1.55 \cdot 10^{-3}$	0.116
CO <sub>2</sub> (20°C, 1 atm.)	$14.7 \cdot 10^{-6}$	8.03
H <sub>2</sub> (20°C, 1 atm.)	$8.83 \cdot 10^{-6}$	105

Unités viscosité dynamique :  $1 Pa \cdot s = 1 Pl = 10 Po$  ( $Po = \text{Poise}$ )

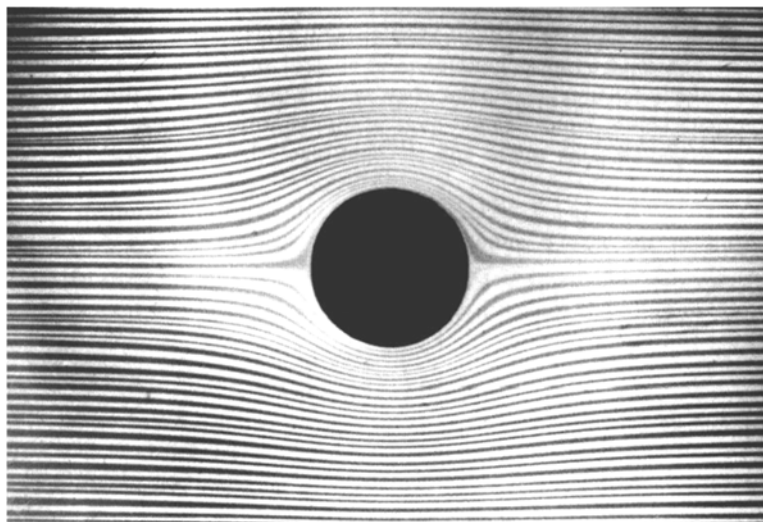
Unités viscosité cinématique :  $1 m^2 \cdot s^{-1} = 10^6 cSt$  ( $St = \text{Stoke}$ )

## 3. DESCRIPTION DE L'ÉCOULEMENT AUTOUR D'UN OBSTACLE.

### a. OBSERVATION EXPERIMENTALE DE L'ÉCOULEMENT AUTOUR D'UN CYLINDRE.

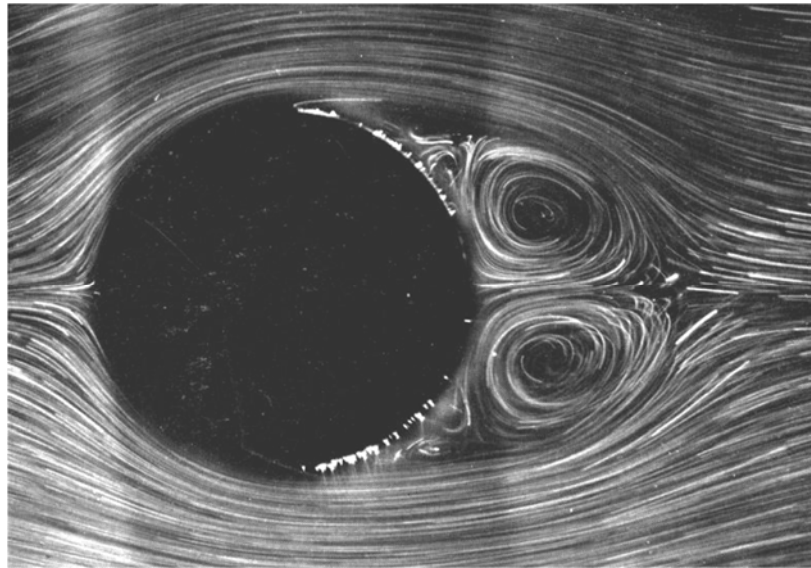
On étudie l'écoulement d'un fluide autour d'un cylindre pour différents nombres de Reynolds et on se place dans le référentiel lié au cylindre.

- $0 < Re < 10$  : Les lignes de courant sont symétriques par rapport au plan perpendiculaire à l'écoulement et passant par l'axe du cylindre (plan  $\Pi_1$ ). L'écoulement est réversible : les termes non linéaires de l'équation de Navier-Stokes sont négligeables. L'écoulement est laminaire.



Quand on  $Re$  augmente, les lignes de courant restent bien dessinées mais on perd la symétrie par rapport au plan  $\Pi_1$  et donc la réversibilité de l'écoulement.

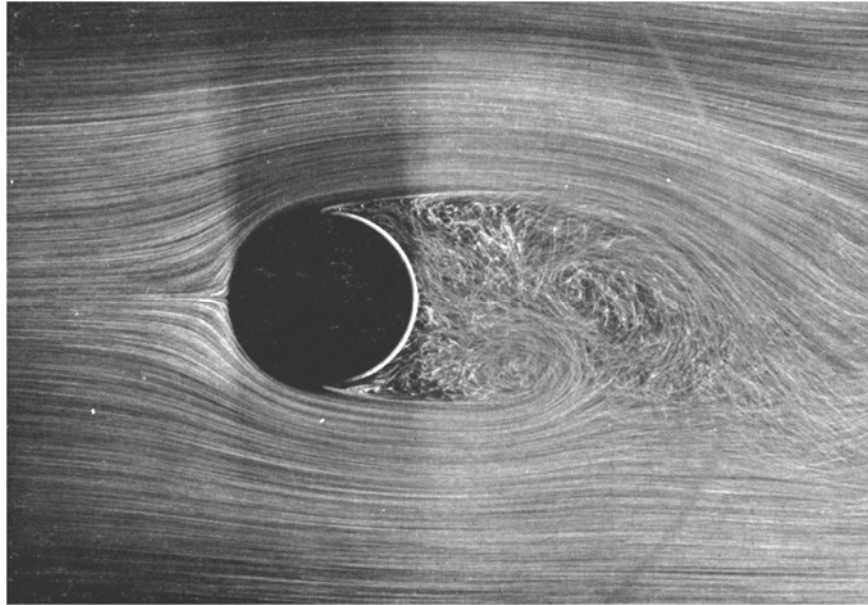
- **Pour  $R_e \approx 10$**  : Il apparaît derrière le cylindre un sillage formé d'une paire de tourbillons stables (zone de recirculation). L'écoulement est toujours symétrique par rapport au cylindre mais perd sa symétrie par rapport à l'amont et à l'aval du cylindre. Les dimensions du tourbillon augmentent avec  $R_e$ .



- **Pour  $R = R_c \approx 47$**  : La zone de recirculation occupe toute la partie aval du cylindre,
- **Pour  $R_c < R_e < 300$**  : l'écoulement cesse d'être stationnaire et la vitesse du fluide dépend du temps. Des tourbillons se détachent périodiquement en aval de l'écoulement. Ils forment une double rangée de tourbillons, appelée « allée de Bénard Von Karman ». Ainsi, le plan horizontal, contenant l'axe du cylindre, n'est plus un plan de symétrie pour l'écoulement instantané, mais seulement pour l'écoulement moyenné dans le temps.



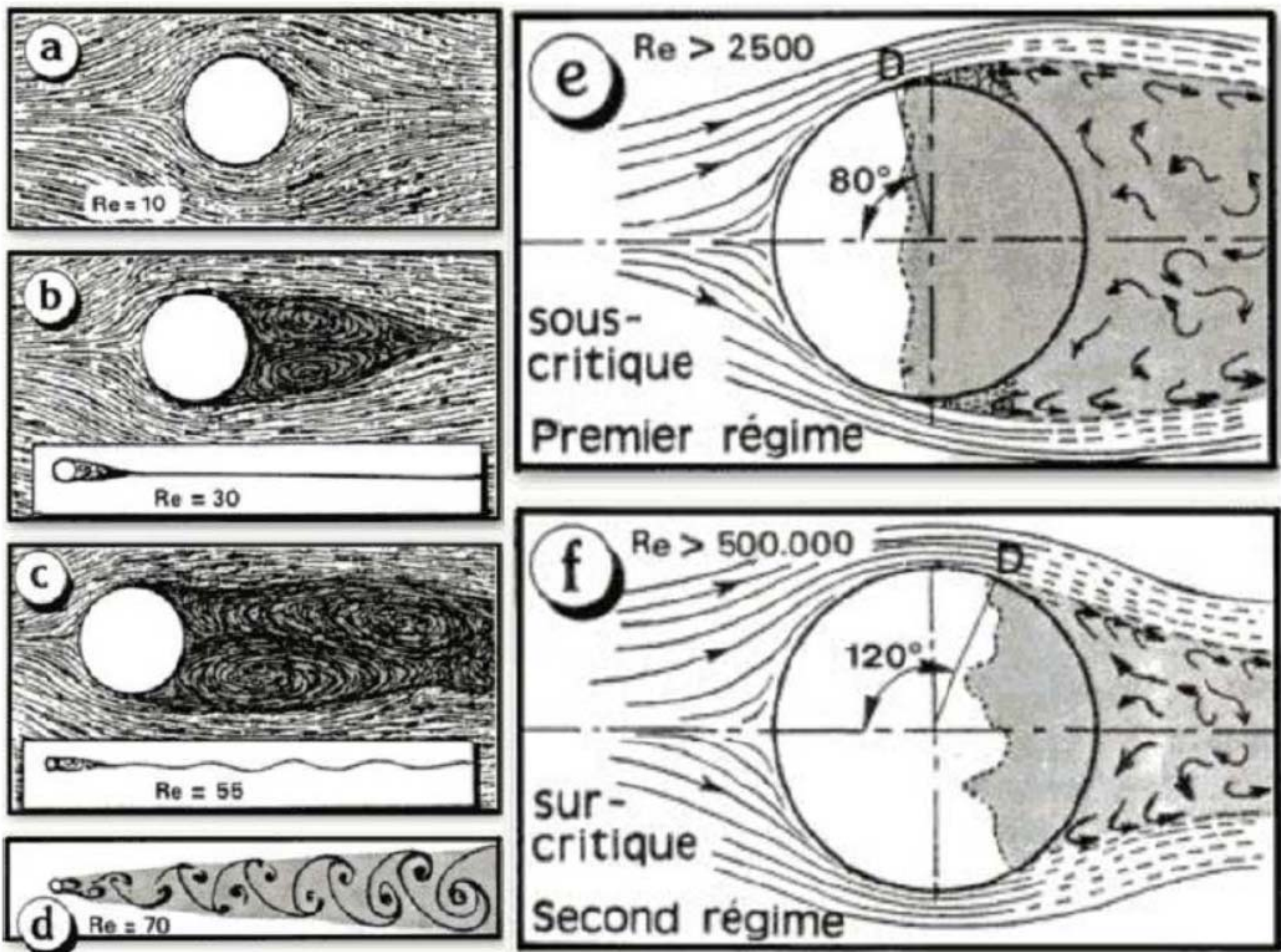
- **Pour  $R_e$  compris entre 300 et  $5 \cdot 10^5$**  : les tourbillons se détachent du cylindre au-delà d'une zone entourant le cylindre appelée couche limite et l'écoulement devient alors turbulent : Dans ces zones turbulentes, le champ de vitesse échappe au déterminisme (on parle de domaine chaotique). Dans de tels régimes d'écoulement, les prédictions deviennent difficiles (ex météorologie) et requièrent une description statistique.



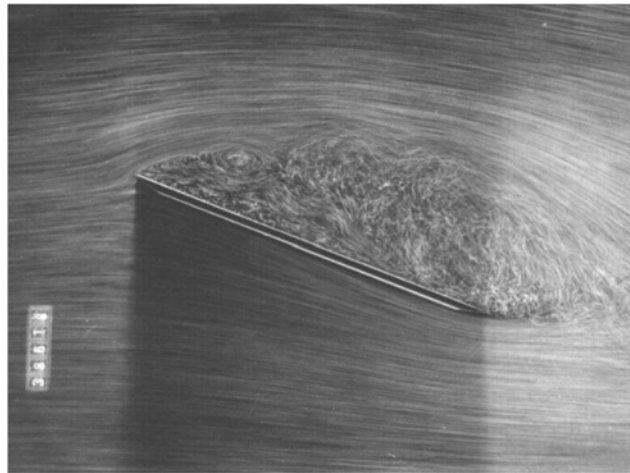
- Pour  $2 \cdot 10^5 < R_e < 10^6$  : Diminution brutale de la taille du sillage.

### b. ECOULEMENT AUTOUR D'UNE SPHERE.

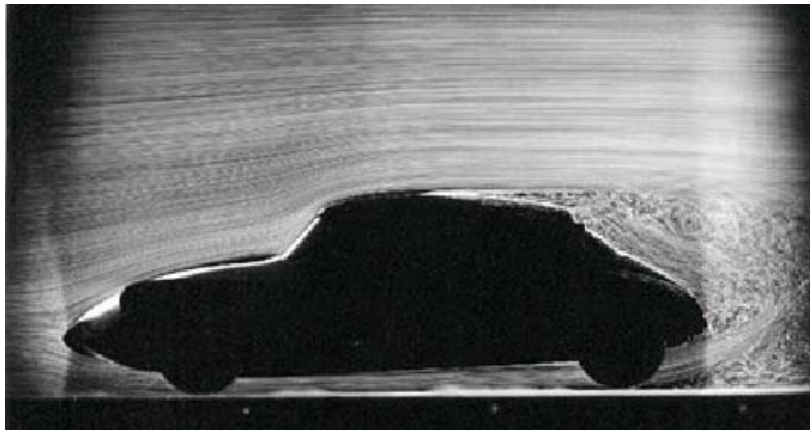
Pour un écoulement autour d'une sphère, on observe le même type de comportement mais les valeurs de  $R_e$  sont différentes :



c. EXEMPLE DE DECOLLEMENT DE COUCHE LIMITE.

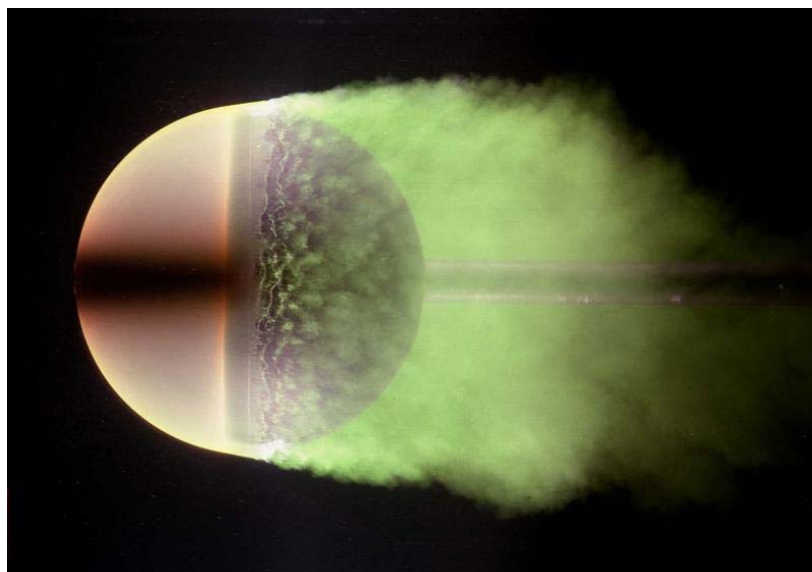


*Décollement de la couche limite le long d'une plaque.*

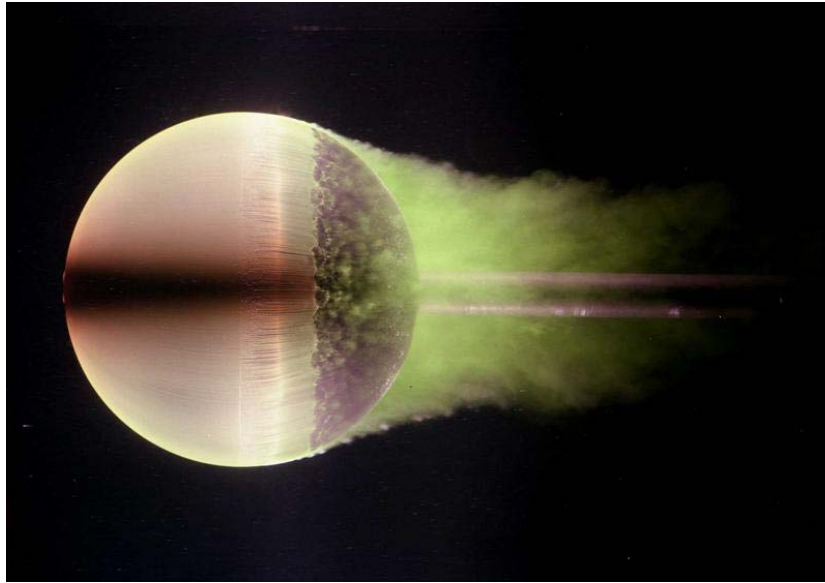


*Décollement de la couche limite le long d'une voiture.*

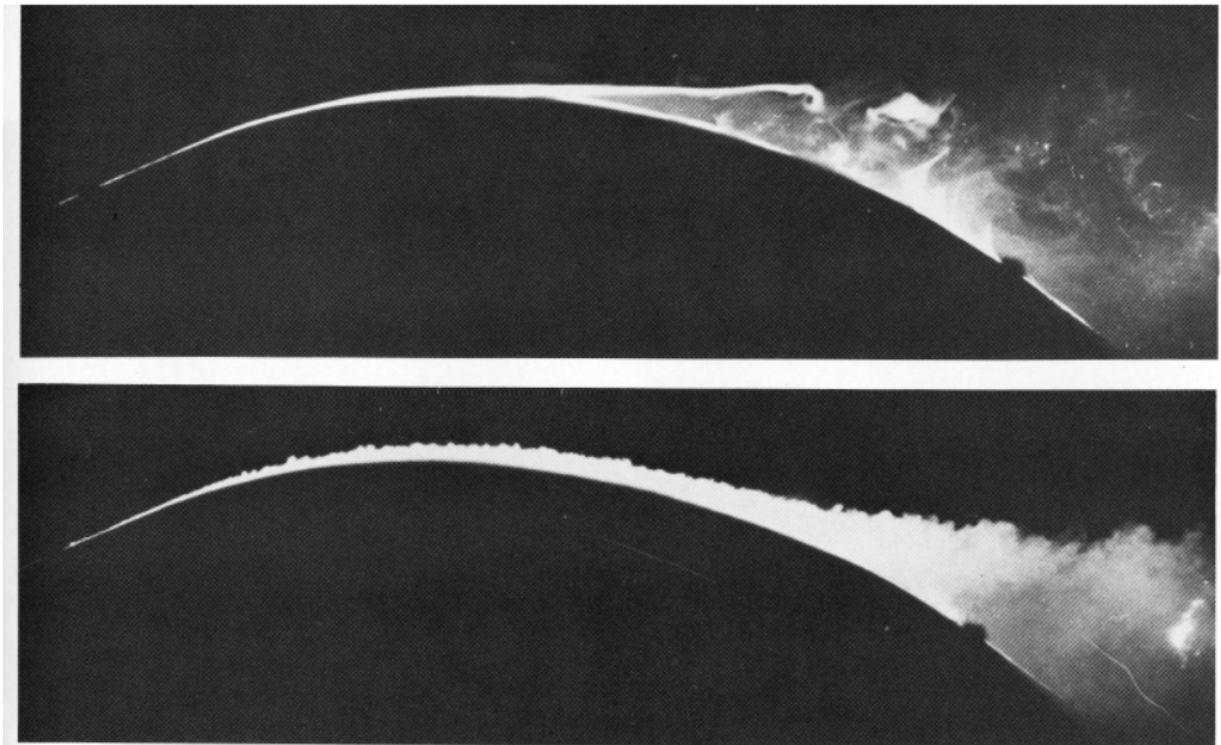
d. AVANTAGES D'UNE COUCHE LIMITE TURBULENTE :



*Absence d'aspérité : couche limite laminaire, sillage et trainée importants*



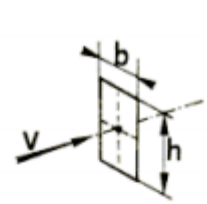

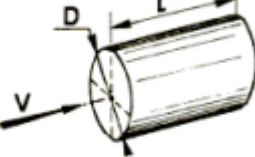

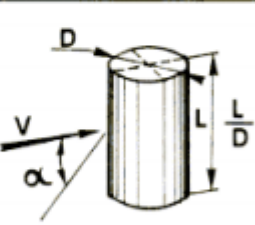
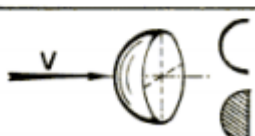

*Présence d'un aspérité : couche limite turbulente, sillage et trainée réduits.*







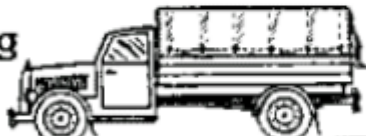


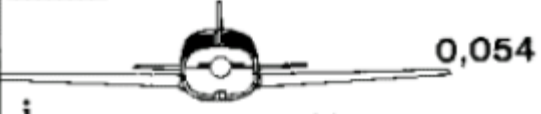


**156. Comparison of laminar and turbulent boundary layers.** The laminar boundary layer in the upper photograph separates from the crest of a convex surface (cf. figure 38), whereas the turbulent layer in the second

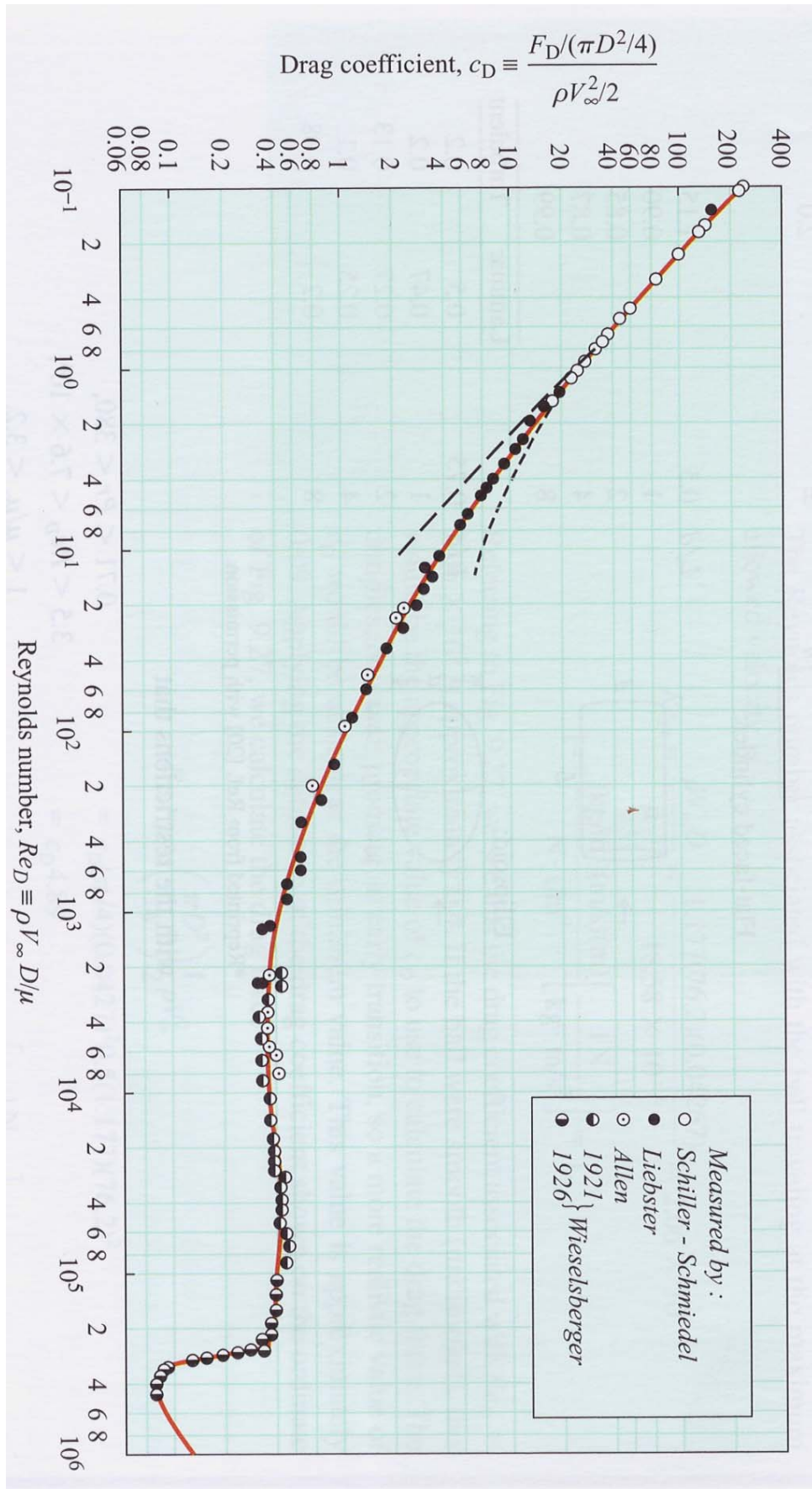
photograph remains attached; similar behavior is shown below for a sharp corner. (Cf. figures 55-58 for a sphere.) Titanium tetrachloride is painted on the forepart of the model in a wind tunnel. *Head 1982*

4. EXEMPLES DE COEFFICIENTS DE TRAINEE.

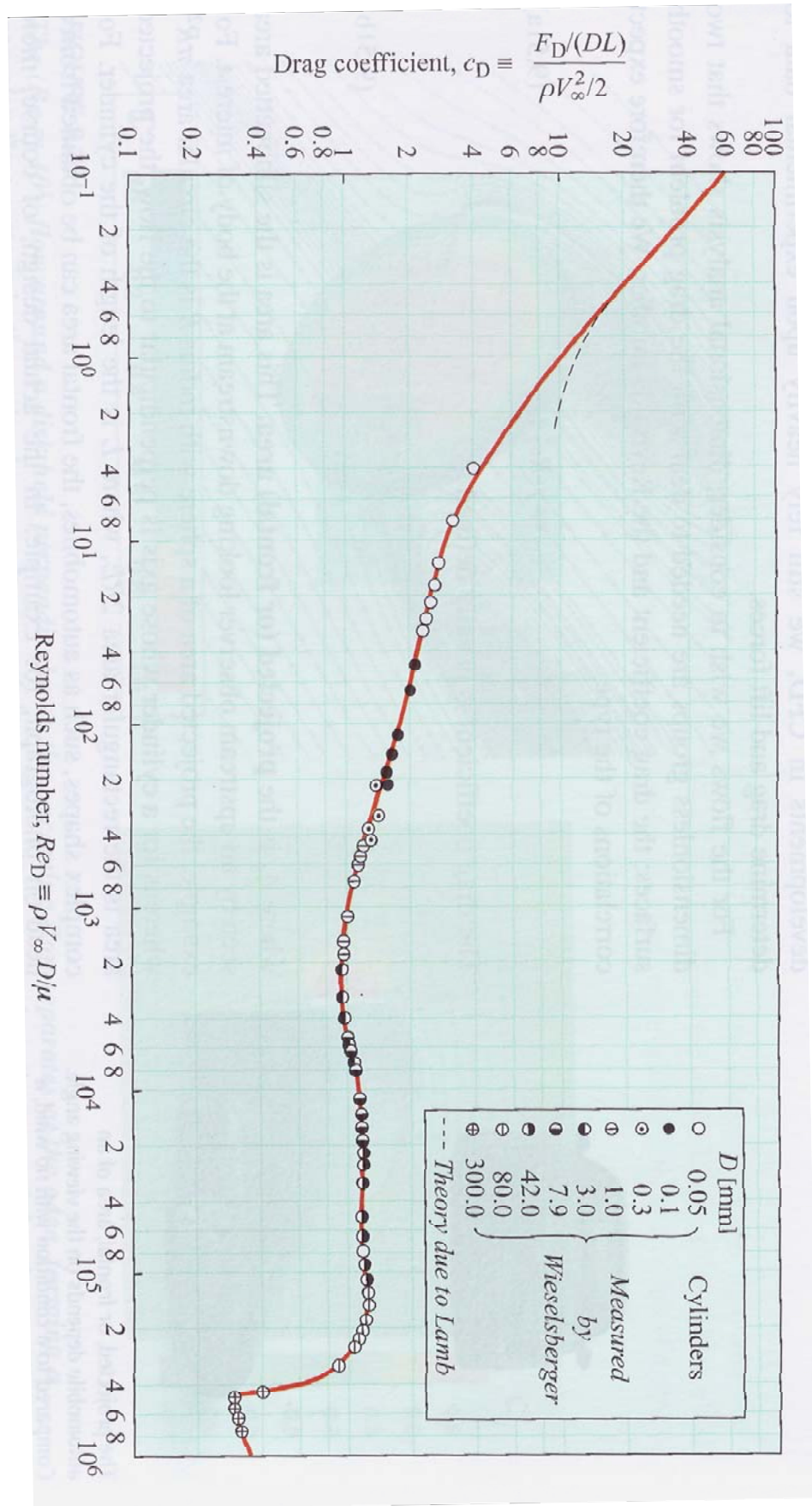
Fig. 19	Géométries	C <sub>xp</sub>								
a	 $\frac{h}{b} = \begin{cases} 1 \\ 2 \\ 4 \\ 10 \\ 18 \\ \infty \end{cases}$	$\begin{matrix} 1,10 \\ 1,15 \\ 1,19 \\ 1,29 \\ 1,40 \\ 2,01 \end{matrix}$								
b		1,11								
c	 $\frac{L}{D} = \begin{cases} 1 \\ 2 \\ 4 \\ 7 \end{cases}$	$\begin{matrix} 0,91 \\ 0,85 \\ 0,87 \\ 0,99 \end{matrix}$								
d	 $\frac{L}{D} = \begin{cases} 1 \\ 1,5 \\ 2 \\ 3 \end{cases}$	$\begin{matrix} 0,93 \\ 0,78 \\ 1,04 \\ 1,52 \end{matrix}$								
e	 $\frac{L}{D} = \begin{cases} 1 \\ 2 \text{ Re} \sim 9 \cdot 10^4 \\ 5 \text{ (sous-critique)} \\ 10 \\ 40 \\ \infty \end{cases}$ Coef. de correction de l'obliquité $C_{xp\alpha} = k \cdot C_{xp0}$ <table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <th>k pour alpha</th> <th>alpha</th> </tr> <tr> <td>1,0</td> <td>0°</td> </tr> <tr> <td>0,7</td> <td>30°</td> </tr> <tr> <td>0,2</td> <td>60°</td> </tr> </table>	k pour alpha	alpha	1,0	0°	0,7	30°	0,2	60°	$\begin{matrix} 0,63 \\ 0,68 \\ 0,74 \\ 0,82 \\ 0,98 \\ 1,02 \\ 0,35 \end{matrix}$
k pour alpha	alpha									
1,0	0°									
0,7	30°									
0,2	60°									
f	 Sans fond Avec fond	$\begin{matrix} 0,34 \\ 0,40 \end{matrix}$								
g	 Sans fond Avec fond	$\begin{matrix} 1,33 \\ 1,17 \end{matrix}$								

		C <sub>xp</sub>
a	 Plaque plane près du sol	1,27
b		0,9
c		0,52
d		0,34
e		0,2
f		0,43
g		0,75 à 0,9
h	 Premier régime Sphère Second régime	0,51 0,1
i		0,16
j	 White-Lightning	0,054





Le graphe reproduit ci-dessus représente  $C_x$  ( $C_D$ ) en fonction de  $Re$ , en coordonnées log-log : en abscisses  $\log_{10}(Re)$ , en ordonnées  $\log_{10}(C_x)$ .



Le graphe reproduit ci-dessus représente  $C_x$  ( $C_D$ ) en fonction de  $Re$ , en coordonnées log-log : en abscisses  $\log_{10}(Re)$ , en ordonnées  $\log_{10}(C_x)$ .