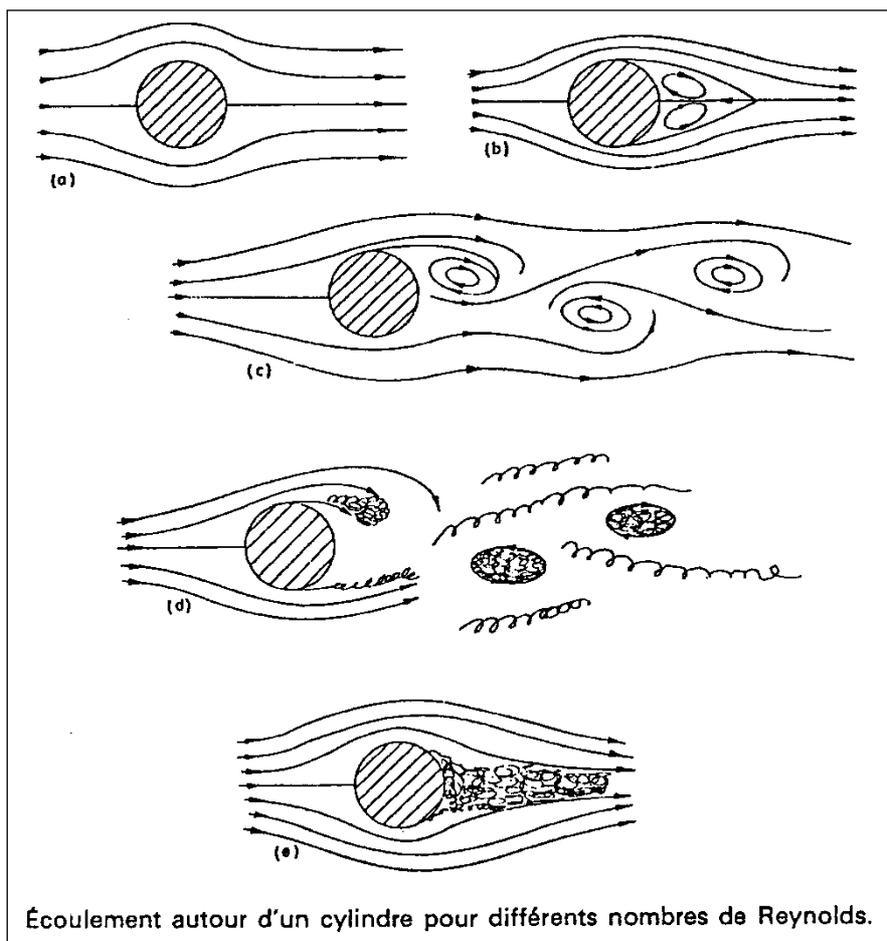


Pour un écoulement à fort nombre de Reynolds ($\mathcal{R}_E > 1\,000$), la force de traînée exercée par un fluide sur un obstacle est **quadratique** en v .
 Par exemple, la traînée exercée par un fluide de masse volumique ρ s'écoulant à la vitesse v par rapport une sphère de rayon r est $F = \frac{1}{2} C \pi \rho r^2 v^2$.

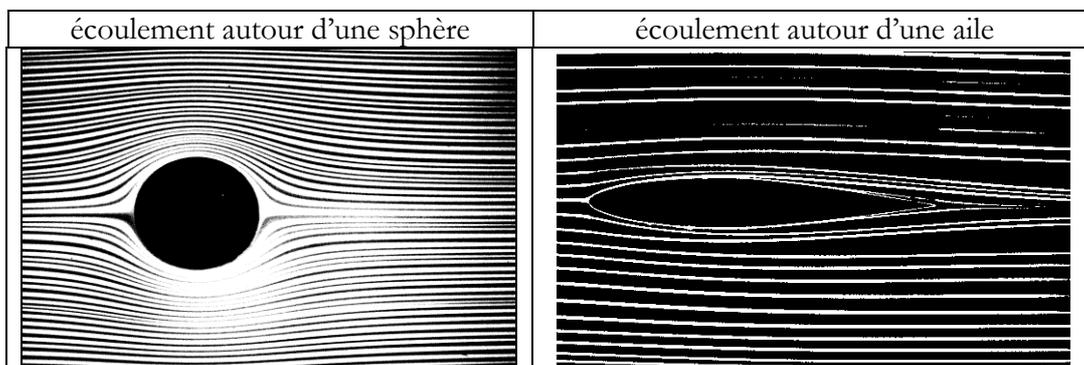
3) Pour $1 < \mathcal{R}_E < 1\,000$, le graphe n'a **aucune forme simple** permettant de dégager une loi simple pour la traînée (situation intermédiaire).

3°) Notion d'écoulement laminaire et d'écoulement turbulent.

La figure ci-dessous montre les lignes d'écoulement d'un fluide autour d'un cylindre immobile pour différents nombres de Reynolds :

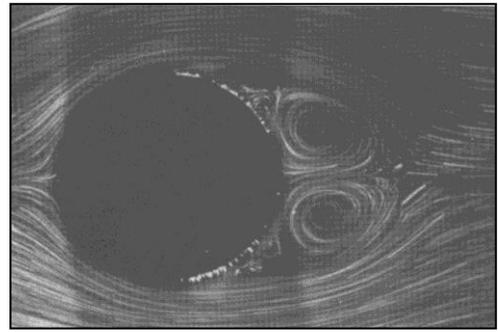


En a) : **A bas nombre de Reynolds** ($\mathcal{R}_E < 1$), on observe que l'écoulement présente des lignes de courant stationnaires, symétriques par rapport au cylindre : l'écoulement est dit **laminaire**.

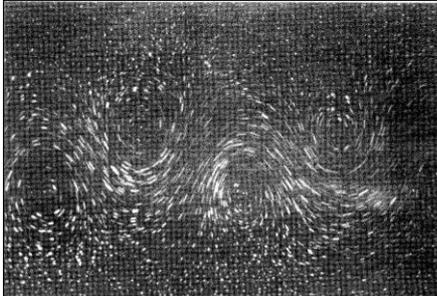


En b): Pour des valeurs de \mathcal{R}_E supérieures à 1 ($\mathcal{R}_E \approx 20$), il apparaît derrière le cylindre un sillage formé d'une paire de tourbillons stables (ou rouleaux de fluide).

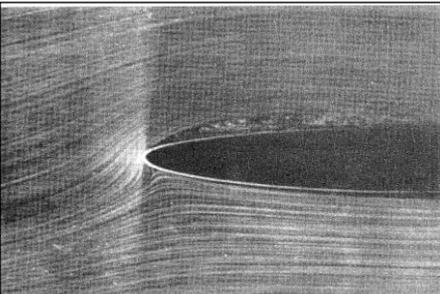
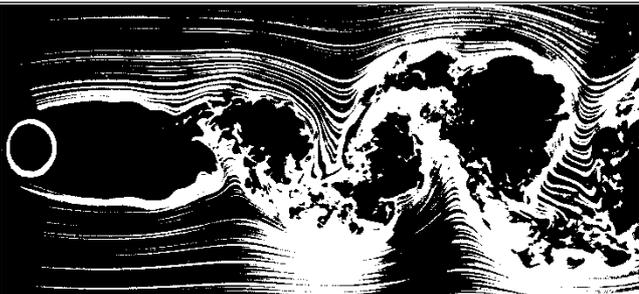
L'écoulement est toujours symétrique par rapport au cylindre mais perd sa symétrie par rapport à l'amont et à l'aval du cylindre. Les dimensions du tourbillon augmentent avec \mathcal{R}_E . Dans le sillage du cylindre, le champ des vitesses subit d'importantes fluctuations spatiales et temporelles : on dit que l'écoulement y est turbulent.



En c): Pour $\mathcal{R}_E \approx 100$, des tourbillons se détachent périodiquement du cylindre, alors que d'autres se forment. L'écoulement est périodique, mais les lignes de courant sont encore identifiables : on visualise une allée tourbillonnaire alternée dite « 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. La complexité de l'écoulement croît avec la vitesse (et donc avec \mathcal{R}_E).

Turbulences derrière un cylindre	Tourbillons alternés (allée de Von Karman)
	

En d): Pour \mathcal{R}_E compris entre 300 et $5 \cdot 10^5$, le décollement augmente : 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.

décollement au bord d'attaque d'une aile	écoulement autour d'un cylindre : $\mathcal{R}_E = 10^4$
	

Pour \mathcal{R}_E compris entre $5 \cdot 10^5$ et $5 \cdot 10^6$, le décollement s'effectue maintenant à partir d'une couche limite de nature turbulente, ce qui explique la discontinuité de C_x .

Pour $\mathcal{R}_E > 10^7$, on observe que C_x reste quasiment constant, inférieur à ses valeurs à nombre de Reynolds plus faibles. En pratique, cela signifie que l'existence d'une couche limite turbulente diminue la résistance au mouvement : on constate qu'une couche limite laminaire a tendance à se décrocher d'un profil, alors qu'une couche limite turbulente aura tendance à s'y accrocher : ce résultat explique pourquoi les balles de golf sont bosselées : les turbulences engendrées par les irrégularités de leur surface permettent d'obtenir autour de la sphère une couche limite turbulente.

Il est possible de visualiser ces turbulences en ajoutant sur une sphère lisse un fil mince : on observe un recollement spectaculaire de la couche limite turbulente au profil (effet becquet) :