

## MF2 - Actions mécaniques sur un fluide en mouvement

4.3.2 - Actions de contact dans un fluide en mouvement		
Forces de pression. Équivalent volumique.	Exprimer la force de pression exercée par un fluide sur une surface élémentaire. Exprimer l'équivalent volumique des forces de pression à l'aide d'un gradient.	Retour sur la partie statique des fluides de PCSI.
Contraintes tangentielles dans un écoulement $\mathbf{v} = v_x(y) \mathbf{u}_x$ au sein d'un fluide newtonien ; viscosité.	Utiliser l'expression fournie : $\overrightarrow{dF}_t = \eta \frac{\partial v_x}{\partial y} S \overrightarrow{u}_x$	À retenir car souvent non rappelée dans les sujets.
Équivalent volumique des forces de viscosité dans un écoulement incompressible.	Établir l'expression de l'équivalent volumique des forces de viscosité dans le cas d'un écoulement de cisaillement à une dimension et utiliser sa généralisation admise pour un écoulement incompressible quelconque.	On prépare MF3 et l'équation de Navier-Stokes.
Traînée d'une sphère solide en mouvement rectiligne uniforme dans un fluide newtonien : nombre de Reynolds ; coefficient de traînée $C_x$ ; graphe de $C_x$ en fonction du nombre de Reynolds.	Évaluer un nombre de Reynolds pour choisir un modèle de traînée linéaire ou un modèle de traînée quadratique.	Facile à retenir et souvent utilisé dans les exercices d'oraux.

### I – Contraintes dans un fluide

I-1) Forces volumiques

I-2) Forces surfaciques

I-3) Forces de pression

- a) Composante normale
- b) Résultante des forces de pression
- c) Equivalent volumique des forces de pression

I-4) Forces de viscosité

- a) Mise en évidence
- b) Force surfacique
- c) La viscosité dynamique
- d) Equivalent volumique
- e) Transport diffusif de quantité de mouvement

### II – Nombre de Reynolds

II-1) Comparaison convection/diffusion

II-2) Temps caractéristique

II-3) Écoulement laminaire ou turbulent

II-4) Écoulement parfait

II-5) Couche limite

- a) Définition
- b) Épaisseur de la couche limite
- c) Comportement de la couche limite

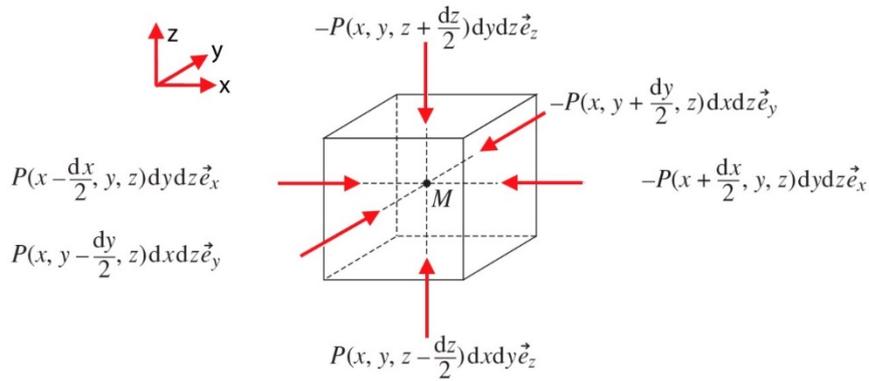
### III – Écoulement autour d'une sphère

III-1) Influence du nombre de Reynolds sur l'écoulement

III-2) Force de traînée

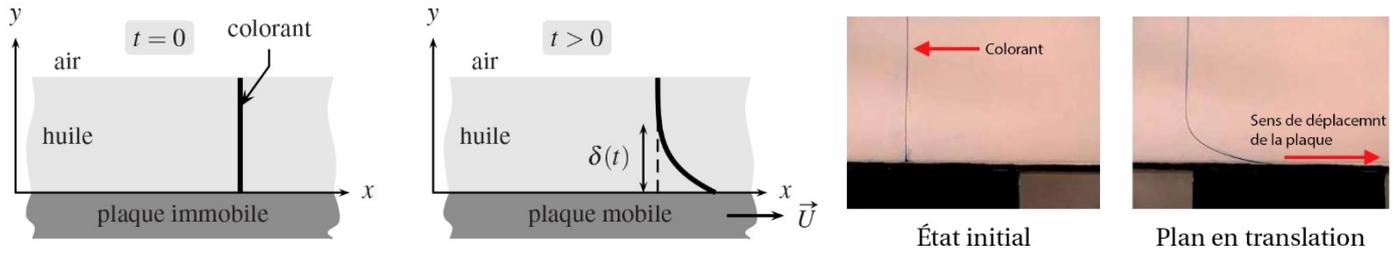
- a) Définition
- b) Coefficient de traînée

I-3-c) Equivalent volumique des forces de pression

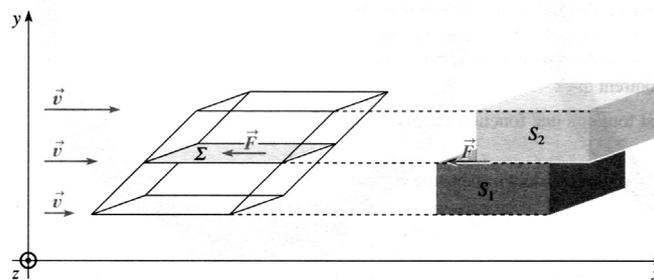


I-4) Forces de viscosité

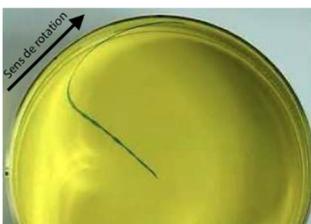
a) Mise en évidence



b) Force surfacique



c) La viscosité dynamique



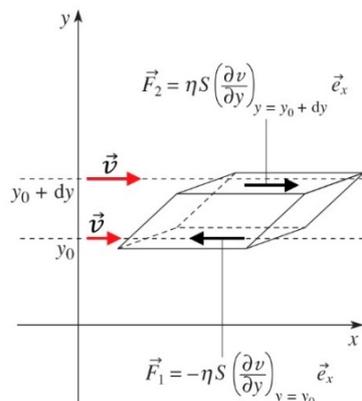
Si le fluide est peu visqueux  
 ⇒ la mise en mouvement est progressive



Si le fluide est très visqueux,  
 la mise en mouvement se fait en bloc.

Fluide	air	eau	Huile 15W40 à 40°C	Glycérol	Miel	Magma
$\eta (Pa \cdot s)$	$1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,0 \cdot 10^{-3}$	0,1	1,5	10	10

d) Equivalent volumique



$\vec{v} = v(y, t) \vec{e}_x$ . Forces de cisaillement sur un volume élémentaire dans le cas d'un écoulement unidirectionnel.

II-3) Ecoulement laminaire ou turbulent

On constate expérimentalement qu'un écoulement est :

- Laminaire pour  $Re < 10$ . (Filet d'eau à faible débit...)
- Turbulent pour  $Re > 1000$ . (Filet d'eau à haut débit...)
- Entre les deux : on ne peut le qualifier à l'aide du nombre de Reynolds...

Quelques types d'écoulement :



Écoulement	$\nu(m^2 s^{-1})$	$\nu(ms^{-1})$	$L(m)$	$Re$	Type
Avion en vol	$10^{-5}$	300	30	$10^9$	Turbulent
Voiture dans l'air	$10^{-5}$	30	2	$10^7$	Turbulent
Nageur dans l'eau	$10^{-6}$	1	1	$10^6$	Turbulent
Marcheur dans l'air	$10^{-5}$	2	1	$10^5$	Turbulent
Têtard dans l'eau	$10^{-6}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	10	Laminaire
Coulée de lave	$10^3$	1	10	$10^{-2}$	Laminaire
Mouvement d'un glacier	$10^8$	$10^{-7}$	$10^3$	$10^{-12}$	Laminaire

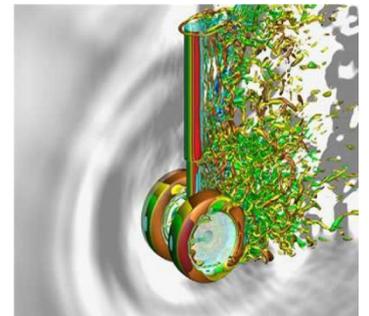
Quelques images d'écoulement turbulent :



traînée turbulente d'un ballon de foot

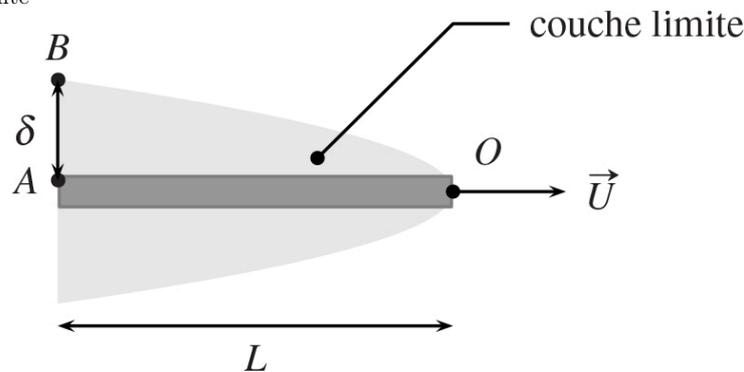
Panache volcanique turbulent présentant des remous de différentes échelles

Turbulence dans le cours d'une rivière

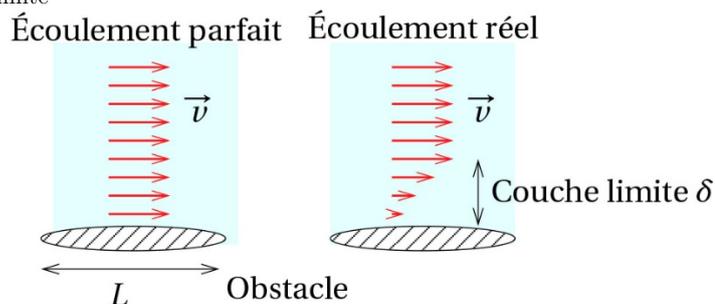


Structures turbulentes autour du train d'atterrissage Lagoon (simulation numérique)

II-5-b) Epaisseur de la couche limite

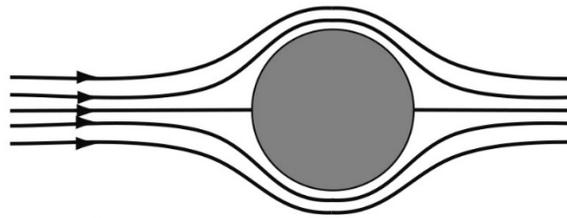
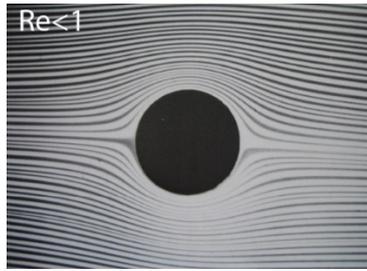


II-5-c) Comportement de la couche limite



III-1) Influence du nombre de Reynolds sur l'écoulement

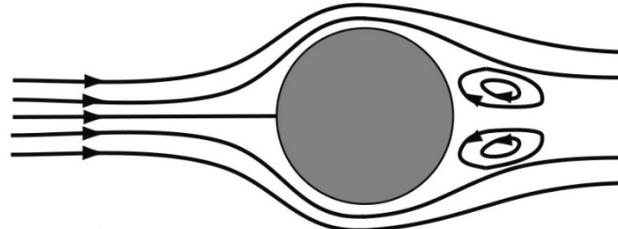
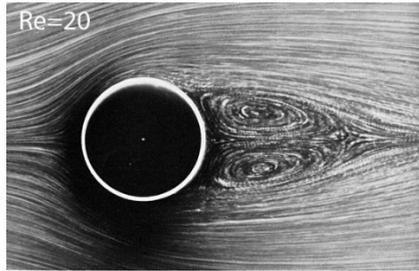
a) Si  $Re < 1$



Écoulement autour d'une sphère,  $Re < 1$

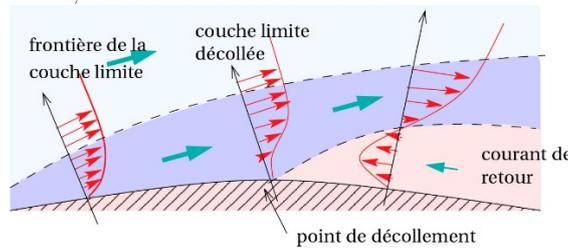
Les lignes de courant sont stationnaires et l'écoulement est partout laminaire. La couche limite reste en contact partout autour de la sphère. Elle est de très faible épaisseur. La dissipation visqueuse est essentiellement localisée dans la couche limite et reste donc limitée. En dehors de la couche limite, l'écoulement est proche de celui d'un fluide parfait.

b) Si  $10 < Re < 100$

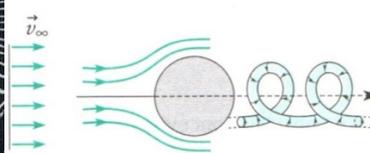
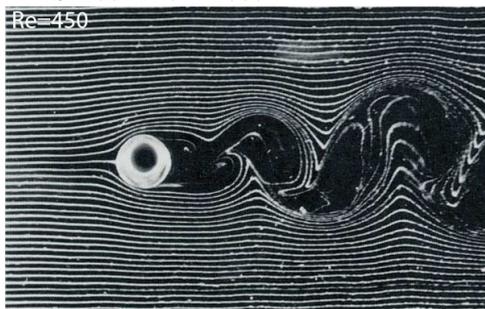


Écoulement autour d'une sphère,  $Re \approx 20$ .

Il y a apparition d'un sillage constitué de zones de recirculation stationnaires en aval de la sphère. Ces tourbillons sont générés dans la couche limite. On remarque que la vitesse peut varier fortement et s'inverser de sens. La couche limite se décolle de la surface et devient turbulente. Le point de décollement se déplace vers l'amont lorsque  $Re$  augmente. On zoome sur la zone du décollement de la couche limite. En dehors de la couche limite, l'écoulement reste laminaire.



c) Si  $100 < Re < 1000$  :

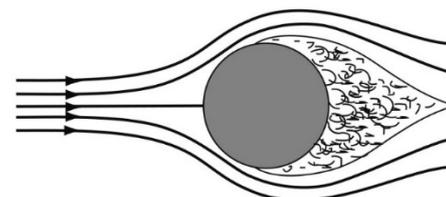
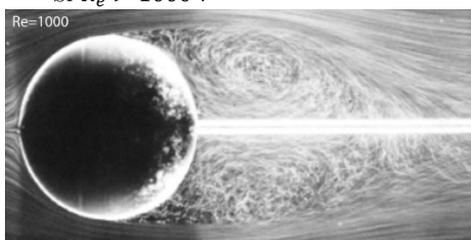


$Re \approx 450$

Le tourbillon torique précédent se détache en prenant une forme hélicoïdale.

Pour des nombres de Reynolds supérieurs des tourbillons se détachent de la sphère, formant ce que l'on appelle des allées de Bénard-Von Karman.

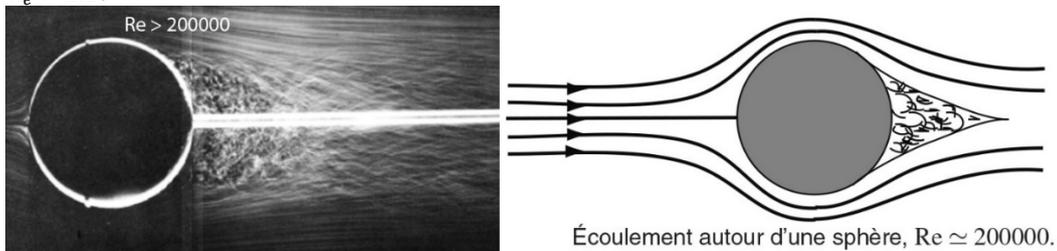
d) Si  $Re > 1000$  :



Écoulement autour d'une sphère,  $Re \approx 1000$ .

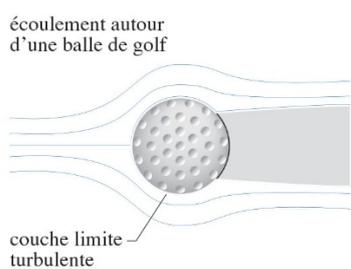
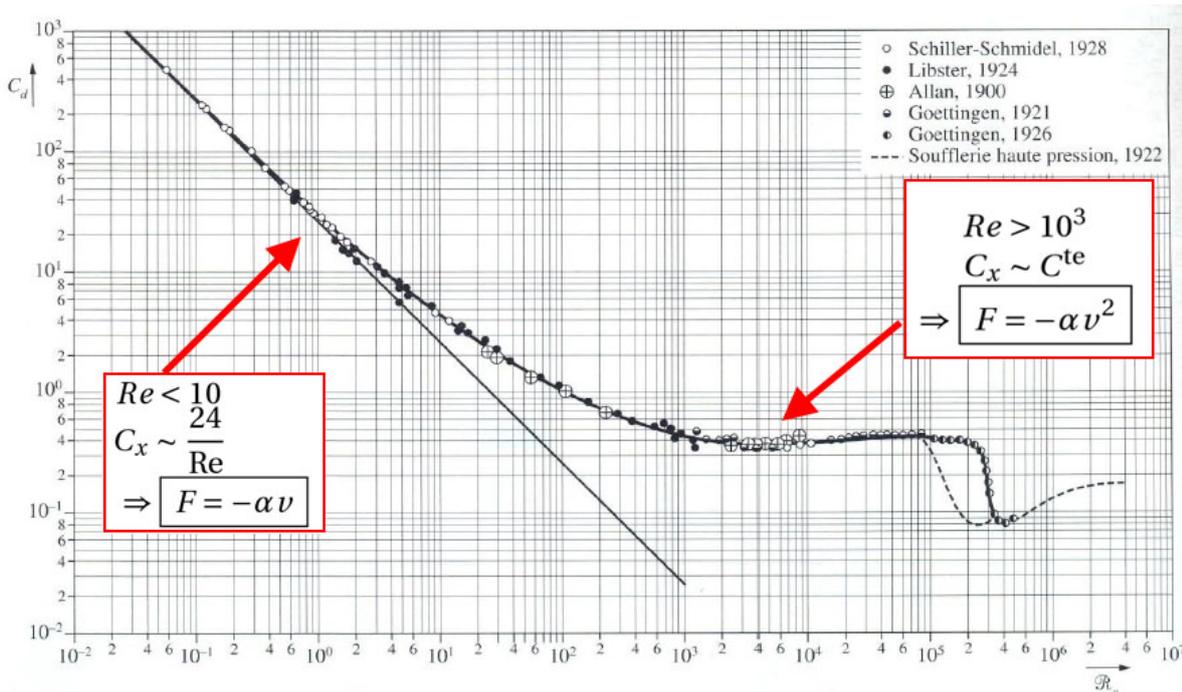
Quand le nombre de Reynolds atteint une valeur de l'ordre de 1000, on constate l'apparition derrière la sphère d'un large sillage turbulent où la dissipation d'énergie est importante. La couche limite est laminaire, mais la dissipation visqueuse est essentiellement localisée dans le sillage turbulent et augmente d'autant plus que le sillage est important.

e) Si  $Re = 2.10^5$

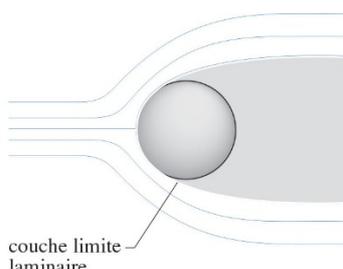


Enfin, il existe une valeur particulière du nombre de Reynolds, proche de 200000, pour laquelle on observe une diminution importante de la taille du sillage turbulent. Cela se traduit par une diminution importante de l'énergie dissipée dans le sillage, et une diminution de la traînée. On appelle ce phénomène crise de traînée. On peut forcer son apparition pour des nombres de Reynolds plus faibles en plaçant des aspérités à la surface de la sphère. C'est le cas, par exemple, des balles de golf dont les aspérités permettent de réduire la force de traînée : moins freinée, la balle va plus loin. La couche limite devient turbulente.

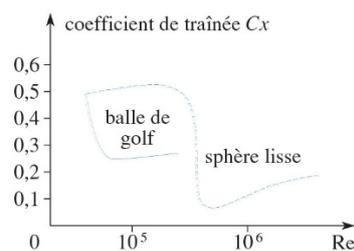
III-2) Force de traînée



Autour d'une balle de golf, il existe une couche limite turbulente.



Autour d'une balle lisse, il existe une couche limite laminaire.



Différence entre les coefficients de traînée  $C_x(Re)$  d'une balle lisse et d'une balle de golf, lors d'un mouvement à nombre de Reynolds  $Re$  élevé.

