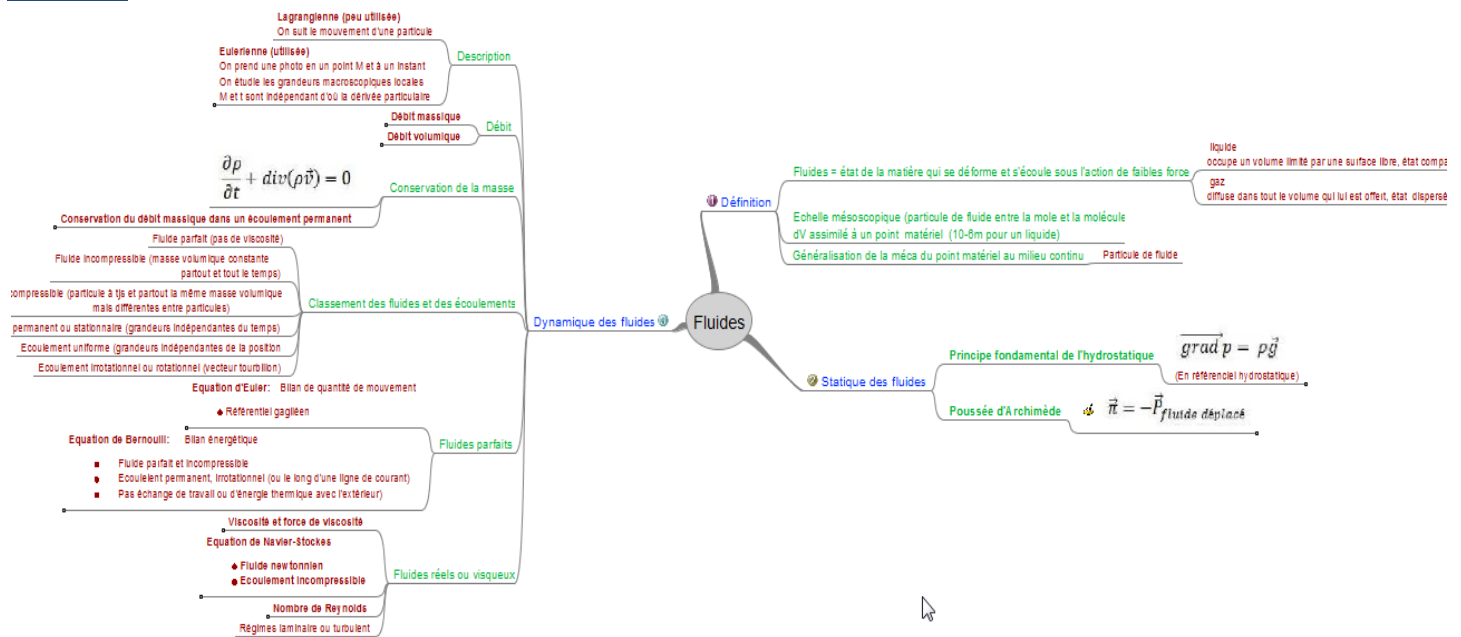


14-L- Fluides

Intro : Carte Mentale



On commence par définir ce qu'est un fluide (PC-PC* j'intègre) : Définition du solide « qui s'écoule » avec liquide et gaz puis parler de échelle mésoscopique et des milieux continus et dire qu'on va appliquer les lois de la méca du point à cette particule de fluide

On parle de la statique des fluides avec la loi de l'hydrostatique et de ces application ainsi que de la poussée d'Archimède

On enchaîne avec la dynamique et la description Lagrangienne et eulérienne (TEC et DOC PC-PC*)

Description Lagrangienne : On suit une particule (un observateur est lié à chaque particule de fluide)

Limite : on ne peut pas étudier les contraintes imposées en un point donnée puisqu'on suit la particule

Description Eulérienne : On prend une photo en un point fixe et à un instant donné (Observateur lié au référentiel R) à un autre instant on regarde toujours le même point mais cette fois on aura une autre particule.

Limite : Cette fois le vecteur vitesse ne concerne la même particule au cours du temps, mais les différentes particules qui passent au cours du temps. Mais ce point de vue est adapté pour définir champs de pression et de masse volumique.

Comme on a un écoulement on peut parler de débit et des lois de conservation.

A compléter

Post Bac :

1. Dérivée particulaire (Tec et Doc PC-PC* mais au lieu de le faire avec u on le fait avec v)

La dérivée particulaire est un concept qui permet d'adapter une description eulérienne (on veut manipuler un champ de vitesse) à un contexte lagrangien (on veut ici suivre la particule de fluide donnée) afin de pouvoir appliquer le PFD à cette particule de fluide.

Dérivée particulière : Pour dériver $\vec{v}(\vec{n}, t)$ il faut tenir compte du fait que la molécule s'est déplacée.

$$\vec{a}(\vec{n}, t) \neq \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}(\vec{n}, t + \delta t) - \vec{v}(\vec{n}, t)}{\delta t}$$

puisque $\vec{v}(\vec{n}, t + \delta t)$ et $\vec{v}(\vec{n}, t)$ ne désignent pas la même particule.

Il faut calculer le taux de variation d'une même particule de fluide durant son mvt d'une durée δt .

$$\vec{a}(\vec{n}, t) = \frac{D\vec{v}}{Dt} = \lim_{\delta t \rightarrow 0} \frac{\vec{v}(\vec{n} + d\vec{n}, t + dt) - \vec{v}(\vec{n}, t)}{dt} \quad \text{avec } d\vec{n} = \vec{v}(\vec{n}, t) dt$$

Cela correspond à la dérivée par rapport au temps de la fonction $v(x(t), y(t), z(t))$ en coordonnées cartésiennes.

Dérivée totale: $Dv = \frac{\partial v}{\partial t} dt + \frac{\partial v}{\partial x} dx + \frac{\partial v}{\partial y} dy + \frac{\partial v}{\partial z} dz$

$$\Rightarrow \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial v}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial v}{\partial z} \frac{dz}{dt}$$

$$\Rightarrow \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v}{\partial x} v_x + \frac{\partial v}{\partial y} v_y + \frac{\partial v}{\partial z} v_z$$

$$\Rightarrow \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial t} + \left(v_x \left(\frac{\partial}{\partial x} \right) + v_y \left(\frac{\partial}{\partial y} \right) + v_z \left(\frac{\partial}{\partial z} \right) \right) v$$

$$\Rightarrow \boxed{\frac{D\vec{v}}{Dt} = \frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\text{grad}}) \vec{v}}$$

$\downarrow$ accélération locale $\downarrow$ accélération convective

Remarque: Par un calcul d'analyse vectorielle $(\vec{v} \cdot \vec{\text{grad}}) \vec{v} = \vec{\text{grad}} \left(\frac{v^2}{2} \right) + (\text{rot } \vec{v}) \wedge \vec{v}$.

Remarque :

- Cette relation est valable dans n'importe quel système de coordonnées.
- l'accélération convective est un terme non linéaire. En effet si on multiplie la vitesse par un facteur 2, ce terme d'accélération se retrouve multiplié par un facteur 4.

Cela implique que l'équation de Navier-Stoke est une équation locale non linéaire dont la résolution est complexe sinon impossible, c'est pourquoi le plus souvent on va faire des approximations (voir Equation de Euler)

la relation :

$$\frac{DT}{Dt} = \frac{\partial T}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \text{grad}) T.$$

Prenons un exemple afin de mieux comprendre la signification physique de la dérivée locale et de la dérivée convective. Considérons qu'un observateur fasse un trajet en voiture de Paris à Toulouse. Il relève régulièrement pendant son trajet la température extérieure. Il fait par exemple 15°C à Paris à son départ à 8h et 28°C à Toulouse à son arrivée à 16h. L'observateur va observer une température variable au cours de son trajet. Il mesure la température en des points différents et à différents instants, et peut déterminer $\frac{DT}{Dt}$. Les variations de température qu'il enregistre ont deux origines :

- la dérivée locale $\frac{\partial T}{\partial t}$: par exemple, alors qu'il fait 12°C à Limoges à 8h, le conducteur n'y passe qu'à midi lorsque la température vaut 24°C. Cela signifie que la température observée par le conducteur à Limoges est déterminée par les variations temporelles **locales** de la température. Les variations locales de la température influent donc sur les variations de température mesurées par le conducteur le long de son trajet.
- la dérivée convective $(\vec{v} \cdot \text{grad}) T$: en se déplaçant, le conducteur explore le champ de température. Comme la température diffère d'un endroit à un autre, le conducteur enregistre des variations de température. Même dans le cas où la température serait stationnaire, c'est-à-dire si elle restait toute la journée égale à 15°C à Paris, à 12°C à Limoges et 28°C à Toulouse, le conducteur enregistrerait des variations de température au cours de son trajet, du seul fait de son déplacement.

2. Navier-Stoke

Equation de Navier - Stokes: (Fluide incompressible et Newtonien) *Supplémentaire*

On applique le PFD dans un référentiel Galiléen à une particule de fluide incompressible de masse constante $dm = \rho d\mathcal{V}$ avec $d\mathcal{V}$: volume de la particule.

Bilan des forces : - Forces de pression $\boxed{d\vec{F}_p(M,t) = -\text{grad } p(M,t) d\mathcal{V}}$ ($\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \dots$)
 - Forces de viscosité $\boxed{d\vec{F}_v(y,t) = \eta \frac{\partial v_x}{\partial y} dS \vec{u}_x} = \eta \Delta \vec{v}(M,t) d\mathcal{V}.$

↳ Cette expression est une relat^o phénoménologique proposée par Newton
 ↳ valable dans le cas d'un fluide Newtonien et incompressible).

- $d\vec{F}_v = \vec{f}_{\text{vol}}(M,t) d\mathcal{V}$ ↳ force volumique $\left\{ \begin{array}{l} \text{Résultante des forces appliquées à la particule de fluide} \\ \text{autres que les forces de viscosité et les forces de pression} \end{array} \right.$
 Le plus souvent cette force se limite au poids ($d\vec{F}_v = \rho g d\mathcal{V}$)
 ↳ Si référentiel non Galiléen, ça inclut les forces d'inertie d'entraînement et de Coriolis.

$$\text{PFD : } \frac{d\vec{p}}{dt} = \varepsilon \vec{F}_{\text{ext}}$$

$$\Rightarrow \rho d\sigma \frac{\Delta \vec{v}(M,t)}{\Delta t} = - \vec{\text{grad}} p(M,t) d\sigma + d\vec{F}_v + \eta \Delta \vec{v}(M,t) d\sigma.$$

$$\boxed{\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\text{grad}}) \vec{v} \right) = - \vec{\text{grad}} p + \vec{f}_{\text{vol}} + \eta \Delta \vec{v}}$$

3. Euler (cas d'un fluide parfait)

L'écoulement est parfait si tous les phénomènes diffusifs, en particulier la viscosité, sont négligeables.

Par conséquent on néglige les transferts thermiques dans l'écoulement. Chaque particule de fluide évolue de façon isentropique (évolution réversible).

Dans cet écoulement le fluide peut être compressible puisqu'il n'y a plus de viscosité.

Equation de Euler: Cas d'un fluide parfait. *ici le fluide peut être incompressible car pas de force de viscosité.*

$$\boxed{\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\text{grad}}) \vec{v} \right) = - \vec{\text{grad}} p + \vec{f}_{\text{vol}}}$$

DS neé Teneshe considéré é galiléen $\rho \left(\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \vec{\text{grad}}) \vec{v} \right) = - \vec{\text{grad}} p + \rho \vec{g}$

Remarque :

- Comme l'équation de Navier-Stokes l'équation de Euler est une équation locale non linéaire dont la résolution locale est complexe sinon impossible. On peut donc être amené à envisager une résolution approchée en négligeant des termes, après avoir fait la comparaison de leur poids relatif.
- Si le fluide est au repos l'équation d'Euler se réduit à l'équation locale de la statique des fluides :

$$- \vec{\text{grad}} p + \vec{f}_{\text{vol}} = \vec{0}$$

4. Equation de Bernoulli et applications (effet venturi et tube de pitot) à partir de Euler

A partir de l'équation de Euler on considère un fluide répondant aux hypothèses suivantes : + le fluide n'évolue que sous l'action des forces de pression et du champ de pesanteur uniforme.

Equation de Bernoulli: Fluide : $\begin{cases} \text{- incompressible } (\rho = \text{cte partout et tout temps}) \\ \text{- parfait (pas visqueux)} \\ \text{- stationnaire : (grandeurs indépendantes du temps)} \end{cases}$ $\vec{f}_{\text{vol}} = \frac{\rho \vec{g}}{\rho} = \vec{g}$

Euler devient $(\vec{v} \cdot \vec{\text{grad}}) \vec{v} = \vec{\text{grad}} \left(\frac{v^2}{2} \right) + (\vec{\text{rot}} \vec{v}) \wedge \vec{v} = - \frac{1}{\rho} \vec{\text{grad}} p + \vec{g} = - \vec{\text{grad}} \phi$

Si irrotationnel: $\vec{\text{grad}} \left(\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + g z \right) = \vec{0}$

Equation de Bernoulli: $\boxed{\frac{v^2}{2} + \frac{p}{\rho} + gz = \text{cte}}$

Remarque: si écoulement tourbillonnaire ($\vec{\text{rot}} \vec{v} \neq \vec{0}$) Dans ce cas il faut considérer une ligne de courant joignant les point A et B.
 - On peut faire un bilan énergétique pour trouver cette même équation.

Remarque :

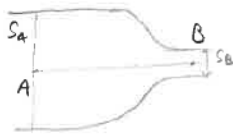
- Si l'axe est orienté selon la verticale descendante, alors on a $-gz$ dans l'équation
 - Chacun des termes est homogène à une énergie par unité de masse. on reconnait le terme d'Ec ($v^2/2$) et celui de Ep(gz) quant à p/ρ il représente ??????
- Le théorème de Bernoulli exprime la conservation de l'énergie dans l'écoulement.

Application de Bernoulli :

- Statique des fluides : $v=0 \Rightarrow \frac{1}{2} \rho v^2 + p + \rho gz = \text{cte}$

$\boxed{p = p_0 + \rho gz}$

- Effet Venturi : si $g = \text{cte}$ alors $\frac{1}{2} \rho v_A^2 + p_A = \frac{1}{2} \rho v_B^2 + p_B$



Conservation du débit volumique $v_A S_A = v_B S_B = D_v \Rightarrow$ donc $v_B > v_A$

$\rightarrow p_B = p_A + \frac{1}{2} \rho (v_A^2 - v_B^2) = p_A + \frac{1}{2} \rho D_v \left(\frac{1}{S_A^2} - \frac{1}{S_B^2} \right)$

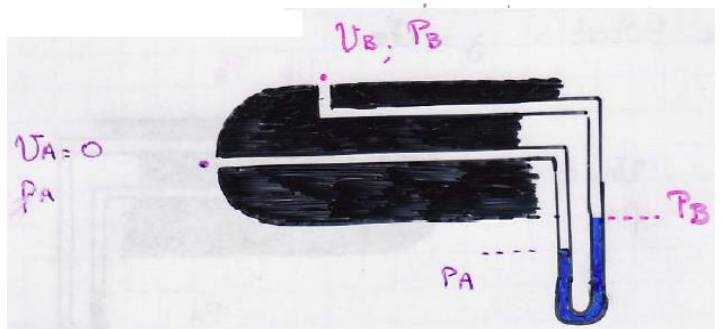
$\Rightarrow p_B < p_A$

Tube de Pitot : On néglige les effets de pesanteur $g = \text{cte}$.

$\frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gz + p = \text{cte}$

$\Rightarrow p_A = \frac{1}{2} \rho v_B^2 + p_B$

$\Rightarrow \boxed{v_B = \sqrt{\frac{2(p_A - p_B)}{\rho}}}$



Remarque : Les sondes Pitot sont les sondes qui sont montées sur les ailes des avions afin de connaître leur vitesse par rapport à l'air.

Niveau	→ 2 nd → pression
1 ^{ère} S	⇒ ϕ
T ^{ale} S	⇒ ϕ
1 ^{ère} STI2D/STL	⇒ ϕ
T ^{ale} STI2D/STL	⇒ Dans la partie " les fluides dans l'habitat "
1 ^{ère} STL spé SPCL	⇒ ϕ
T ^{ale} STL spé SPCL	⇒ Dans la partie " mécanique des fluides "
1 ^{ère} ST2S	⇒ ϕ
T ^{ale} ST2S	⇒ Pression et circulation sanguine

Habitat

Gestion de l'énergie dans l'habitat

Notions et contenus	Capacités exigibles
Énergie solaire : conversions photovoltaïque et thermique. Modèle corpusculaire de la lumière, le photon. Énergie d'un photon.	- Citer les modes d'exploitation de l'énergie solaire au service de l'habitat. - Schématiser les transferts et les conversions d'énergie mises en jeu dans un dispositif utilisant l'énergie solaire dans l'habitat ; donner des ordres de grandeur des échanges. - Interpréter les échanges d'énergie entre lumière et matière à l'aide du modèle corpusculaire de la lumière. - Mettre en œuvre une cellule photovoltaïque. Effectuer expérimentalement le bilan énergétique d'un panneau photovoltaïque.

Les fluides dans l'habitat

Notions et contenus	Capacités exigibles
Pression dans un fluide parfait et incompressible en équilibre : pressions absolue, relative et différentielle. Équilibre d'un fluide soumis à la pesanteur. Écoulement stationnaire. Débit volumique et massique.	- Mesurer des pressions (absolue et relative). - Citer et exploiter le principe fondamental de l'hydrostatique. - Expliciter la notion de vitesse moyenne d'écoulement dans une canalisation. - Mesurer un débit. - Citer et appliquer la loi de conservation de la masse.
États de la matière. Transfert thermiques et changements d'état. Transformations physiques et effets thermiques associés	- Différencier les différentes transformations liquide-vapeur pour l'eau : évaporation, ébullition. - Associer un changement d'état au niveau macroscopique à l'établissement ou la rupture d'interactions entre entités au niveau microscopique. - Utiliser un diagramme d'état (P, T) pour déterminer l'état d'un fluide lors d'une transformation. - Utiliser l'enthalpie de changement d'état pour effectuer un bilan énergétique.

Extrait de l'agrég interne 2015

9. Dans le but de vérifier si le principe fondamental de l'hydrostatique est solidement ancré chez ses élèves de terminale STI2D, un professeur leur propose les deux situations schématisées figure 3. Il a relevé ces deux exemples donnés dans un article de recherche en didactique comme étant révélateurs de représentations initiales erronées qui surgissent même après l'enseignement du concept de pression dans un fluide.

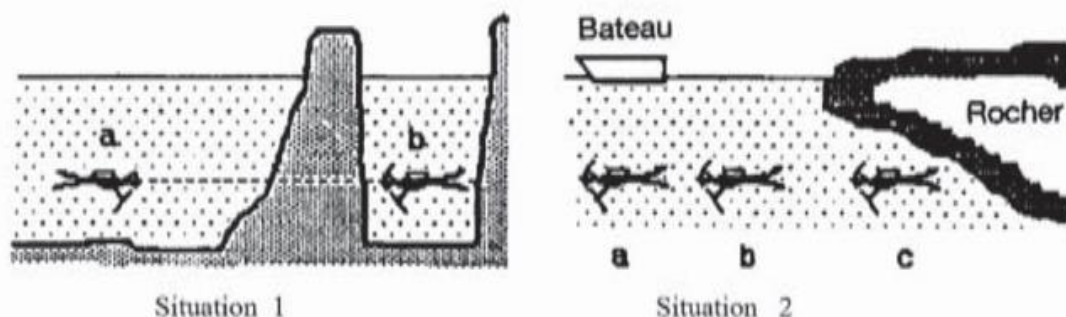


FIGURE 3 –

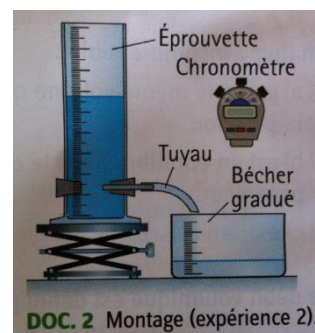
- Imaginer les questions qui pourraient accompagner ces deux schémas pour parvenir à vérifier si l'élève raisonne à partir du principe fondamental de l'hydrostatique ou bien plutôt d'un modèle personnel hérité du sens commun.
- Rédiger les réponses exactes attendues des élèves et, en vous appuyant sur votre expérience professionnelle, donner des exemples de réponses erronées fréquentes et la cause probable de ces erreurs.

Quelques idées : d'après le livre Nathan Tale STI2D – STL (page 24-31)

- Principe de l'hydrostatique : Leur donner une photo d'un village avec un château d'eau et leur demander à quoi peut-il bien servir ? réponse attendu « à avoir de la pression au niveau du robinet »
TP : De quel paramètre dépend la pression dans l'eau ?
Matériel : Manomètre, sonde étanche, récipient de différente forme dont une éprouvette graduée.



- Mesurer le débit et la vitesse moyenne à l'écoulement : Leur demander « comment pourrait-on faire pour mesurer le débit d'une canalisation (d'un tuyau) ? »
Aide : « Comment feriez-vous pour mesurer la vitesse moyenne d'un automobiliste ? » réponse attendue : On mesure la distance parcourue et la durée de parcours.
Matériel : doc 2 page 31 + une balance
Attention : Certains élèves vont proposer de mesurer le débit volumique et d'autre le débit massique (Il faut les laisser faire)
Proposer un protocole pour montrer que le débit n'est pas constant. De quoi dépend-t-il ? « De la pression »



Conclusion :

Annexe : Nombre de Reynolds

Equation de Navier - Stokes :

$$\rho \left(\underbrace{\frac{\partial \vec{v}}{\partial t}}_{\text{accélération locale}} + \underbrace{(\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v}}_{\text{convection}} \right) = - \underbrace{\text{grad } P}_{\text{de pression}} + \underbrace{\vec{f}_{\text{vol}}}_{\text{force volumique (ou densité volumique de force)}} + \underbrace{\eta \Delta \vec{v}}_{\text{viscosité}} \rightarrow \text{viscosité dynamique}$$

Toute la suite (poids = ρg , Laplace = $\vec{\nabla} \cdot \vec{\sigma}$)

Le nombre de Reynolds Re permet de comparer l'ordre de grandeur correspondant au transport convectif de la quantité de mv^t (particule entraînée par le mv^t des autres) : $\rho \| (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \|$ et celui correspondant au transport diffusif (molecule libre de bouger par rapport aux autres) : $\eta \| \Delta \vec{v} \|$ suivant la viscosité, exemple parfum

$$Re = \frac{\text{terme convectif}}{\text{terme diffusif (visqueux)}} = \frac{\rho \| (\vec{v} \cdot \text{grad}) \vec{v} \|}{\eta \| \Delta \vec{v} \|} = \text{en prenant ordre de grandeur} = \frac{\rho \times \text{vitesse} \times \text{vitesse}}{\eta \frac{\text{vitesse}}{(\text{distance})^2}} = \frac{\rho \cdot v \cdot D}{\eta}$$

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \dots$

$$Re = \rho \frac{v D}{\eta} \quad \text{avec } v : \text{vitesse moyenne}$$

D : longueur de référence (diamètre pour une bille)

ou $Re = \frac{v D}{\nu}$ avec ν : viscosité cinématique ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$) = $\frac{\eta}{\rho}$ viscosité dynamique en Poiseuille ($\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}}$)

Remarque : Si $Re \ll 1$ le terme visqueux l'emporte sur le convectif
Si $Re \gg 1$ le terme convectif l'emporte sur le visqueux.

faible Re écoulement laminaire



$Re > 2000$ écoulement turbulent.

