

## PHY-3123 Mécanique des fluides

Pierre Gauthier, professeur  
Département des sciences de la terre et de l'atmosphère  
UQAM

Bureau: PK-7420  
Courriel: gauthier.pierre@uqam.ca

**UQAM** Département des sciences de la Terre et de l'atmosphère  
Université du Québec à Montréal

### Horaire

- **LUNDI: 13:00-14:30 (PK-6205) (COURS)**
- **MARDI: 13:00-14:30 (PK-6205) (COURS)**
  
- **TRAVAUX PRATIQUES (PÉRIODES DE QUESTIONS)**
  - \* MERCREDI: 15:30-17:30 (PK-6205)
  - \* MONITEUR: DANAHE PAQUIN-RICARD

### Syllabus

- **MATHÉMATIQUES POUR LA MÉCANIQUE DES FLUIDES**
  - \* Dérivée directionnelle et gradient.
  - \* Champ vectoriel : flux de masse, flux d'énergie, divergence, rotationnel.
  - \* Equation de continuité.
  - \* Dérivée matérielle. Théorème de Helmholtz.
  - \* Théorèmes de Gauss, Green et Stokes.
- **TENSEURS CARTÉSIENS**
  - \* Transformation orthogonales. Notation d'Einstein.
  - \* Tenseurs cartésiens et propriétés. Tenseurs isotropes.
- **EQUATIONS DE BASE DE LA MÉCANIQUE DES FLUIDES**
  - \* Forces agissant sur un fluide.
  - \* Tenseur de stress.
  - \* Equation de Navier-Stokes. Equations du mouvement dans un système en rotation.

### Syllabus (suite)

- **THÉORÈMES DE CONSERVATION CONCERNANT L'ÉCOULEMENT DES FLUIDES**
  - \* Loi de conservation du tourbillon potentiel.
  - \* Conservation de l'énergie : équation de Bernoulli.
  - \* Applications.
- **APPLICATIONS DE L'ÉQUATION DE NAVIER-STOKES**
  - \* Problème bien posé en mécanique des fluides.
  - \* Exemple : propagation d'ondes à la surface d'un fluide.
  - \* Mouvement plan en rotation uniforme : écoulement géostrophique.
  - \* Théorème de Taylor-Proudman.
  - \* Equation hydrostatique : force de poussée et fréquence de Brunt-Väisälä.
  - \* Approximation de Boussinesq.
- **TURBULENCE**
  - \* Etude de la diffusion moléculaire et turbulente : dérivation de l'équation de la chaleur.
  - \* Analyse dimensionnelle
  - \* Théorie statistique de la turbulence : équations de Reynolds.

**Références**

- **P. Gauthier: Notes de cours (\$12.00)**
- **Kundu, P.D. et I.M. Cohen, 2008: *Fluid mechanics*. 4<sup>e</sup>édition, Academic Press, 872 pages.**
  - \* Homsy et al., 2008: Multimedia fluid mechanics. DVD de présentation interactive de la mécanique des fluides
- **Batchelor, G.K., 1970: *An Introduction to Fluid Dynamics***
- **Vallis, G.K., 2006: *Atmospheric and Oceanic Fluid Dynamics***

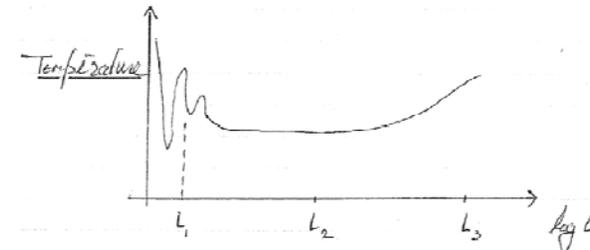
**Evaluation**

- **Travaux pratiques 30%**
- **Examen No.1 (8 octobre) 20%**
- **Examen No.2 (12 novembre) 20%**
- **Examen final (17 décembre) 30%**
- **Examens: à livres fermés**

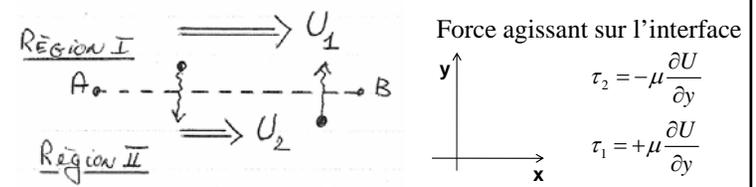
**Définition de fluides**

- **Solide**
  - \* Objet déformable qui sous l'action d'une torsion reprend sa forme originale lorsqu'on cesse d'exercer une force externe
- **Liquide**
  - \* Milieu constitué de molécules interagissant suffisamment pour maintenir la cohésion du milieu
  - \* Généralement incompressible c'est-à-dire que la densité ne varie que légèrement sous l'effet de la pression
- **Gaz**
  - \* Interaction entre les molécules est suffisamment grande pour que les forces intermoléculaires soient négligeables
  - \* Interaction se fait via les collisions
- **Hypothèse du continu**
  - \* Echelles considérées sont nettement plus grandes que la distance entre les molécules (~10<sup>-8</sup> pour l'air)
  - \* Fluide est alors caractérisé par sa densité (ρ), sa température, sa pression et sa vitesse.

**Origine de la viscosité**



• **Diffusion moléculaire**



**Fluides**

• **Fluides newtoniens**

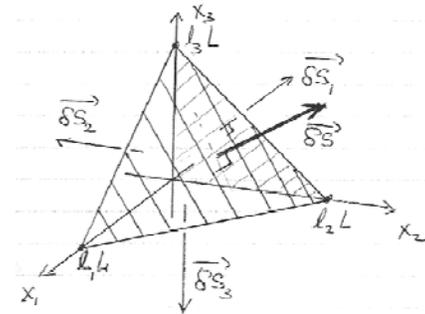
- \* Fluide pour lesquels le taux de déformation est proportionnel à la force de cisaillement
- \* Exemple: eau, air, et la plupart des liquides
- \* Exemple de fluide non-newtonien: polymères, plastique chaud pour le moulage, dentifrice, etc...

• **Fluide idéal (ou non visqueux)**

- \* Fluide ne pouvant subir aucun stress donc sans viscosité
- \* Cas idéalisé « raisonnable » dans certains cas et permettant de simplifier le problème à résoudre.

**Force à l'interface entre deux fluides: position du problème**

- Force dite de *contact*  $\mathbf{C}(\mathbf{n})$  dépend de l'orientation de la surface et de la direction de la vitesse  $\mathbf{v}$  du fluide
- Nécessite d'introduire la notion de tenseur



$$\mathbf{C} \equiv \underline{\underline{\sigma}} \mathbf{n}$$

**Transport dit Lagrangien**

• **Situation dans un référentiel qui suit l'élément de fluide**

• **Exemple: transport d'un traceur dans un fluide**

- \* Vitesse du fluide:  $u = dx/dt$  et  $v = dy/dt$
- \* Quantité  $F(x,y,t)$  spécifiée à  $t = t_0$
- \* Variation de  $F$ :

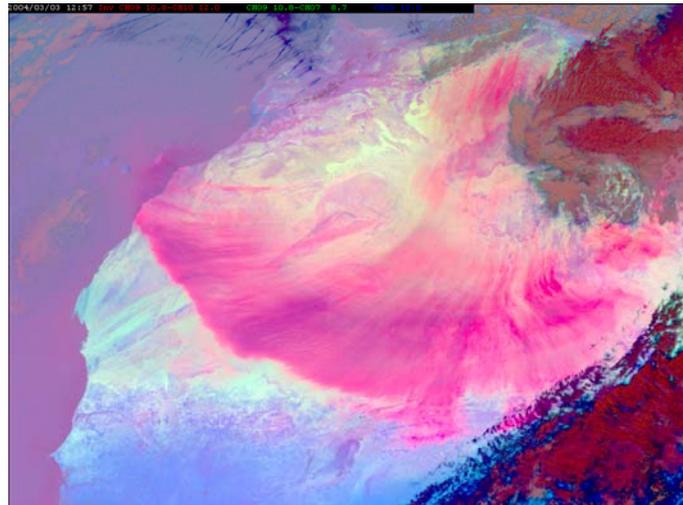
$$dF = dt \frac{\partial F}{\partial t} + dx \frac{\partial F}{\partial x} + dy \frac{\partial F}{\partial y} \Rightarrow \frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{dx}{dt} \frac{\partial F}{\partial x} + \frac{dy}{dt} \frac{\partial F}{\partial y}$$

$$\frac{dF}{dt} = \frac{\partial F}{\partial t} + (\mathbf{v} \cdot \nabla F)$$

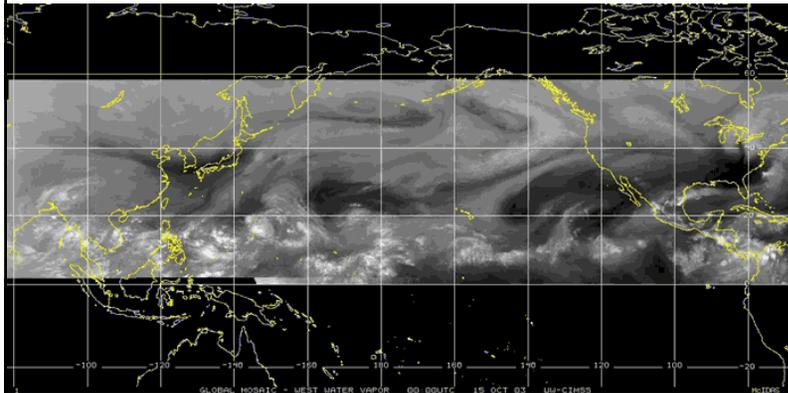
• **Conservation d'une quantité F**

$$\frac{dF}{dt} = 0 \Rightarrow F(x(t), y(t), t) = F(x(t_0), y(t_0), t_0)$$

**Dispersion du sable au-dessus du Sahara**



**Transport des masses nuageuses**



(Shapiro, 2004)