

# Phénomènes de transfert II



**Composante**  
École Nationale  
Supérieure des  
Ingénieurs en  
Arts Chimiques



**Volume horaire**  
49h

## En bref

➤ **Code:** LP1A1SXA

➤ **Ouvert aux étudiants en échange:** Oui

## Présentation

### Objectifs

- savoir situer l'échelle d'analyse de ce cours, à savoir l'échelle locale (recherche des profils de vitesse, température, concentration), par rapport à des études à échelle globale qui sont présentées dans la plupart des enseignements traitant des opérations unitaires (où des bilans entrée-sortie, de masse ou d'énergie, sont effectués)
- connaître la différence entre les mécanismes-clés des transferts : diffusion et convection
- comprendre les analogies existantes entre les transferts
- connaître la signification physique du nombre de Reynolds comme caractérisation d'un écoulement, et du nombre de Péclet thermique ou massique pour les transferts de chaleur ou de matière
- comprendre le concept de « couche limite » associé au transfert de quantité de mouvement, de chaleur ou de matière (et que ces diverses couches limites sont d'épaisseur distinctes)
- savoir formuler un bilan local de quantité de mouvement, d'énergie thermique ou de masse, en identifiant la signification physique des différents termes
- savoir établir des hypothèses simplificatrices pertinentes (écoulement incompressible, régime établi, transfert unidirectionnel...), et savoir écrire des conditions aux limites adaptées, afin de résoudre analytiquement les profils de vitesse, température ou concentration dans des configurations simples

- savoir analyser physiquement les profils et leur variation, en fonction de l'importance des mécanismes de transfert en compétition (y compris en présence de réactions chimiques)
- savoir intégrer des grandeurs locales pour calculer des paramètres macroscopiques (lien entre échelle locale & globale) : débit, perte de charge, coefficients de transfert de chaleur ou de masse.

---

## Pré-requis obligatoires

Notions vues dans le cours de "Phénomènes de Transfert à échelle globale" : perte de charge et équation de Bernoulli généralisée, coefficient de transfert de chaleur et premier principe en système ouvert comme bilan global d'énergie totale, coefficient de transfert de matière et expression d'un flux (total) de masse.

---

## Syllabus

- Echelles de description (globale / locale). Hypothèse du milieu continu. Hypothèse d'écoulement incompressible.

### **[Hydrodynamique en écoulement incompressible]**

- Modes de transfert de quantité de mouvement : diffusion (notion de viscosité), convection (notion d'inertie). Signification physique du nombre de Reynolds.
- Description du mouvement d'une particule fluide incompressible et étude de ses déformations : tenseur des gradients de vitesse, conservation locale de la masse dans un écoulement
- Equation générale du mouvement pour un fluide en écoulement incompressible : accélération d'une particule fluide, forces de pression, forces visqueuses (tenseur des contraintes visqueuses), équation générale de la dynamique d'un fluide, modèle rhéologique du fluide newtonien, équations de Navier-Stokes pour un fluide newtonien en écoulement incompressible. Principales conditions aux limites et calcul de profils dans le cas d'écoulements simples (Couette plan, Poiseuille). Notion de couche limite hydrodynamique. Calcul des forces exercées par un fluide sur une paroi.

### **[Transfert de chaleur]**

- Modes de transfert de chaleur : conduction, convection (et rayonnement, non abordé dans ce cours). Signification physique du nombre de Péclet thermique.
- Bilans locaux d'énergie et équation de la chaleur pour un fluide en écoulement incompressible. Principales conditions aux limites. Exemples simples (conduction pure, couplage avec une condition globale lorsqu'une surface solide est en contact avec un fluide, effet d'un terme de production de chaleur volumique). Notion de couche limite thermique. Calcul d'un flux de chaleur et d'un coefficient de transfert thermique.

### **[Transfert de matière]**

- Modes de transfert de matière : diffusion, convection. Notion de convection induite par diffusion lors du transfert de masse près d'une interface, à cause d'un changement de phase ou d'une réaction chimique. Signification physique du nombre de Péclet massique.

- Bilan local de masse, et formulations adaptées au cas d'un milieu stagnant ou d'un milieu sous écoulement de convection forcée. Discussions de cas en présence de réactions chimiques homogènes ou de surface. Principales conditions aux limites. Exemple simple (évaporation en milieu stagnant). Notion de couche limite massique. Calcul d'un flux total de transfert de masse et d'un coefficient de transfert.

### **[Introduction à la Mécanique des Fluides Numérique (CFD)]**

Séance d'initiation à la CFD à travers un cours de présentation (équations résolues, lien avec les méthodes numériques, étapes dans la mise en place d'un calcul CFD) puis un TD d'application à la simulation d'un écoulement en conduite en régime laminaire.

---

## Informations complémentaires

7 séances de cours : 5 cours magistraux + 2 séances en autonomie (incluant 2 tests d'auto-évaluation)

10 séances de travaux dirigés (TD)

Initiation à la CFD : 1 séance de cours + 2 séances de TD en salle informatique.

---

## Bibliographie

### **Mécanique des fluides et transferts (chaleur, masse) appliqués au génie chimique :**

- Transport Phenomena – Bird, Stewart, Lightfoot
- Phénomènes de transfert en génie des procédés – Gourdon, Couderc, Liné

### **Mécanique des fluides :** analyse des phénomènes, conceptualisation de la physique et formulation mathématique :

- Hydrodynamique physique – Guyon, Hulin, Petit
- Mécanique des fluides, éléments d'un premier parcours – Chassaing
- An album of fluid motion, Van Dyke. *Compilation de photographies dans des conditions diverses d'écoulement.*

### **Transferts de chaleur et de masse :**

Fundamentals of heat and mass transfer – Bergman, Incropera, DeWitt, Lavine.