

1EL7000 - Sciences des Transferts

Responsables : **Ronan VICQUELIN**

Département de rattachement : **DÉPARTEMENT MÉCANIQUE ENERGÉTIQUE PROCÉDÉS**

Langues d'enseignement : **ANGLAIS , FRANCAIS**

Type de cours : **Electif 1A**

Campus où le cours est proposé : **CAMPUS DE PARIS - SACLAY**

Nombre d'heures d'études élèves (HEE) : **60**

Nombre d'heures présentielles d'enseignement (HPE) : **30**

Année académique : **2024-2025**

Niveau avancé : **non**

Présentation, objectifs généraux du cours :

L'objectif de ce cours est d'inculquer les notions fondamentales de transferts de masse, d'espèces, de chaleur et de quantité de mouvement nécessaires à la caractérisation et au dimensionnement de multiples systèmes. Du fait de la grande analogie entre les transferts d'espèces et de chaleur d'une part, et du couplage fort entre la mécanique des fluides et les transferts thermiques et massiques inhérent au phénomène de convection d'autre part, ce paquet de sciences de l'ingénieur forme un tout très cohérent et fait partie du socle disciplinaire de base dans un ensemble de secteurs industriels très vaste couvrant l'énergie (nucléaire, fossiles, renouvelables), les transports (automobile, aéronautique, spatial), les procédés (industries chimique, biomédicale, ...), la santé ou encore le bâtiment. De plus, la maîtrise de ces sciences des transferts est indispensable dans le domaine en plein essor de l'optimisation des procédés industriels, tous secteurs confondus. Soulignons enfin que les défis environnementaux tels que la réduction, la dispersion ou la séquestration des polluants, ou encore le changement climatique sont autant d'enjeux sociétaux dont la physique est également gouvernée par ces sciences des transferts. Pour résoudre les grands défis du 21ème siècle, il faudra réaliser des développements importants et passionnants dans tous ces domaines de la technologie, de la santé et de l'environnement. Dans ce contexte, une bonne connaissance des transferts thermiques, massiques et de la mécanique des fluides est un atout pour l'avenir, et cet ensemble de matières est essentiel à la formation d'ingénieurs de haut niveau. Le cours repose sur un contenu théorique dense (transferts de masse, de chaleur et de quantité de mouvement par diffusion, convection ou rayonnement thermique dans diverses configurations : stationnaires / instationnaires, transferts isolés / couplés, couches limites) complété de résolutions concrètes de problèmes d'ingénieur au travers des divers TD qui seront traités.

Période(s) du cours (n° de séquence ou hors séquence) :

SG1 et SG3

Prérequis :

Mathématiques et thermodynamique de base (étudiées pendant les 2 premières années universitaires)

Plan détaillé du cours (contenu) :

L'ordre des séances et les sujets de TD sont indicatifs. D'autres problèmes pourront être traités en cours

- **LES BASES DU RAYONNEMENT THERMIQUE :**
Notions de corps opaque et de milieu transparent. Notions de flux émis, absorbé, réfléchi, partant, incident et radiatif. Ecriture de conditions aux limites en présence d'échanges radiatifs. Notion de luminance monochromatique directionnelle. Première expression du flux radiatif. Notion et propriétés du rayonnement d'équilibre.
- **PROPRIÉTÉS RADIATIVES ET TRANSFERT RADIATIF :**
Caractérisation de la surface d'un corps opaque : notions d'émissivité, d'absorptivité et de réflectivité. Notions de corps gris, de corps noir et de corps à propriétés radiatives isotropes. Modèles simples de transfert radiatif entre 2 corps opaques : (1) corps opaque convexe isotherme entouré par un corps noir isotherme ; (2) corps opaque convexe isotherme de petites dimensions entouré par une enceinte opaque isotherme.
- **INTRODUCTION A L'ÉTUDE DES ÉCOULEMENTS FLUIDES :**
Le théorème Pi. Conditions de Similitude. Quelques types d'écoulements. Exemple d'application du théorème Pi. Systèmes matériels et description du mouvement. Vitesse et accélération d'une particule fluide. Théorèmes de transport. Equation de bilan de masse. Description des mélanges d'espèces.
- **BILAN DE QUANTITÉ DE MOUVEMENT :**
Mouvement général d'une particule fluide. Taux de déformation. Notions sur l'analyse des contraintes dans un fluide. Relations entre les contraintes et les taux de déformation pour un fluide Newtonien. L'équation locale de bilan de quantité de mouvement. Équations d'Euler. Équations de Navier-Stokes. Analyse dimensionnelle des équations de Navier-Stokes. Équation locale de bilan pour l'énergie cinétique.
- **BILANS D'ÉNERGIE :**
Bilan local d'énergie. Equations locales générales des transferts de matière, chaleur et quantité de mouvement et leur similarité. Le théorème de Bernoulli et ses applications. Bilan macroscopique d'énergie mécanique. Analyse d'écoulements incompressibles dans des conduites. Pertes de charge. Le diagramme de Moody. Pertes de charge singulières. Rendement d'une pompe et d'une turbine.
- **BILANS MACROSCOPIQUES :**
Notion de bilan macroscopique. Bilans macroscopiques de masse et d'espèces. Le théorème des quantités de mouvement pour les écoulements permanents. Le théorème du moment angulaire. Turbo réacteurs et moteurs fusées. Poussée de systèmes propulsifs (turbo réacteur, moteur fusée). Bilan macroscopique d'énergie thermique.
- **CONVECTION FORCÉE EXTERNE - COUCHES LIMITES MÉCANIQUE ET THERMIQUE**
Couche minces et notions de la théorie de la couche limite. Estimations de grandeurs caractéristiques de la couche limite. Transition et décollement de couche limite. Définitions d'épaisseurs de couche limite. Équations de la couche limite laminaire sur une plaque plane. Résultats de la couche limite laminaire sur une plaque plane sans gradient de pression. Notions de couche limite thermique en convection externe forcée. Forme générale d'une corrélation de convection forcée externe. Hypothèses simplificatrices et équation simplifiée du bilan d'énergie. Résultat corrélation couche limite thermique laminaire.
- **NOTIONS DE CONVECTION FORCÉE INTERNE :**
Notions élémentaires sur les établissements de régimes et les régimes établis dans les conduites de section constante. Notion de vitesse débitante et de température de mélange. Résolution du profil de vitesse en régime laminaire établi. Expressions du nombre de Nusselt en écoulements laminaire et turbulent pour une conduite de section circulaire. Notions de

convection forcée interne en régime turbulent. Diamètre hydraulique.

Déroulement, organisation du cours :

Le cours est proposé sur plusieurs occurrences en plusieurs langues :

Séquence SG1

- Occurrence 1.1 (Français) : Hervé Duval
- Occurrence 1.2 (Anglais) : Gabi Stancu
- Occurrence BCPST (Français) : Julien Colin

Séquence SG3

- Occurrence 1.3 (Français) : Fabien Bellet
- Occurrence 1.4 (Français & Anglais) : Ronan Vicquelin, Antoine Renaud
 - Amphithéâtre + TD (Français) : Ronan Vicquelin
 - Modalité standard en français par défaut.
 - Classe intégrée (Anglais) : Antoine Renaud
 - Cette modalité en anglais est au choix des élèves une fois inscrit en occurrence 1.4 (affichée en français dans la campagne MyWay)

Le cours est programmé sur 19 créneaux de 1h30 chacune, 3 éléments de préparation en distanciel (3 x 1h30) et une séance d'examen de 2h.

Organisation de l'évaluation :

Le Contrôle Final (CF) organisé sur 2h00 lors de la dernière séance peut être réalisé avec documents. L'étudiant obtient une note CF.

Contrôle Continu (CC) au travers de minimum deux questionnaires-test facultatifs traités en cours avec documents autorisés. Pour chaque test, l'étudiant obtient une note CCI : CC1 pour le test n°1, CC2 pour le test n°2, etc...

Ncc est le nombre de questionnaires-test (minimum 2). Le contrôle continu compte ainsi pour maximum 33% de la note finale et le contrôle finale compte minimum pour 67%.

Moyens :

- Equipe enseignante (noms des enseignants des cours magistraux) : Fabien Bellet, Julien Colin, Hervé Duval, Antoine Renaud, Gabi Stancu, Ronan Vicquelin
- Taille des TD (par défaut 35 élèves) : 35

Acquis d'apprentissage visés dans le cours :

A l'issue de cet enseignement, l'élève sera capable de :

- identifier les différentes modes de transfert thermique / massique à l'œuvre dans une configuration donnée,
- écrire des bilans appropriés (masse, quantité de mouvement, énergie) et d'équations de continuité aux interfaces pour déterminer l'évolution de différents champs (concentrations, vitesse, pression, température),
- calculer des efforts et flux thermiques (locaux ou intégrés), des puissances, des rendements, des pertes de charges.
- modéliser des systèmes complexes en vue de leur dimensionnement et leur optimisation :

- Faire des approximations et des estimations d'ordres de grandeur,
- Simplifier un problème d'apparence compliquée où plusieurs phénomènes de transfert coexistent, en n'en retenant que les principaux,
- Modéliser des configurations complexes et utiliser les bilans fondamentaux pour résoudre des problèmes d'ingénieur.

Description des compétences acquises à l'issue du cours

:

The course is part of the C1 and C2 competencies of the CentraleSupélec engineering curriculum.

C1: Analyse, design and build complex systems with scientific, technological, human and economic components

C1.1: Analyse: study a system as a whole, the situation as a whole. Identify, formulate and analyse a system within the framework of a transdisciplinary approach with its scientific, economic, human dimensions, etc.

C1.2: Model: use and develop appropriate models, choose the right scale of modelling and relevant simplifying assumptions

C2 : Develop an in-depth competence in an engineering field and in a family of professions

C2.1 : Go deeper into an engineering field or scientific discipline

Core skills in CentraSupélec curriculum:

- C1 (C1.1, C1.2) and C2 (C2.1)

C1 is validated if CF \geq 10.

C2 is validated if NF \geq 10.

Bibliographie :

- Matériel de cours fourni
- Polycopié CentraleSupélec « Mécanique des Fluides» ; Tome I ; Sébastien Candel.
- « Transferts thermiques - Introduction aux transferts d'énergie » ; 5ème édition ; auteurs : Jean Taine, Franck Enguehard et Estelle Iacona ; Dunod, Paris, 2014.