

## TP Phénomènes de transfert



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



**Volume horaire**  
21h

### En bref

➤ **Code:** LP1A2HCV

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

## Présentation

### Objectifs

Cette série de travaux pratiques vise à renforcer la maîtrise des principes fondamentaux des transferts de quantités de mouvement, de chaleur et de matière, en permettant aux étudiants de manipuler des petits pilotes. Ces TP offrent une approche expérimentale pour mieux comprendre les mécanismes de transport, en s'appuyant sur les connaissances théoriques acquises dans ces domaines.

Les objectifs visés sont :

- Se familiariser avec les principaux concepts de transferts de quantités de mouvement, de chaleur et de matière.
- Appliquer les connaissances théoriques par des expériences pratiques en utilisant des équipements de laboratoire spécifiques.
- Observer, décrire, et analyser les données expérimentales pour évaluer les paramètres clés et mieux appréhender les phénomènes de transport.
- Rédaction de comptes rendus correspondant à un cahier des charges prédéfini en respectant une date de remise

### Pré-requis obligatoires

avoir suivi les cours de génie thermique de l'école et de transfert II

### Syllabus

Cette série de TP vient compléter les séances qui ont eu lieu en 1<sup>ère</sup> année et comporte également 6 séances de TP : 3 dédiées au transfert de chaleur, 2 au transfert de matière et une de régulation.

## Transfert de chaleur

### Étude du transfert de chaleur avec changement de phase

Cette séance de TP permet d'illustrer les régimes d'ébullition et les mécanismes de transfert de chaleur, essentiels pour l'ingénierie thermique et les systèmes de gestion thermique. Ce TP vise notamment à comprendre les mécanismes de transfert de chaleur associés à un changement de phase : l'ébullition et la condensation, et à analyser les différentes phases du processus d'ébullition. Les étudiants utiliseront le **diagramme de Nukiyama** pour étudier l'ébullition nucléée et à film, et ils exploreront la relation entre le flux de chaleur et la différence de température entre l'élément chauffant et le fluide chauffé dans différentes conditions thermiques.

#### Contenu du TP :

- Visualisation et mise en évidence des différents modes de transfert de la chaleur (convection naturelle, forcée, ébullitions nucléée et à film).
- Utilisation du diagramme de Nukiyama illustrant la relation entre le flux de chaleur et la différence de température.

#### Compétences développées :

- Manipulation de bancs d'essai pour mesurer les flux thermiques et les températures lors d'un changement de phase.
- Analyse des résultats expérimentaux et identification des différents régimes d'ébullition à partir des courbes obtenues.
- Interprétation des phénomènes physiques complexes associés à l'ébullition et à la condensation, en relation avec la sécurité et les applications industrielles (refroidissement de réacteurs, échangeurs de chaleur, etc.).
- Modélisation du transfert de chaleur lors d'un changement de phase et application des théories de Nukiyama dans des situations pratiques.

### Étude du transfert de chaleur dans un échangeur à courants croisés

Ce TP a pour objectif de familiariser les étudiants avec le fonctionnement des **échangeurs de chaleur à courant croisé**, d'étudier l'influence du débit d'air et de la position d'un tube dans un faisceau de tubes sur l'efficacité de l'échange thermique et d'introduire l'analyse dimensionnelle des mécanismes de transfert de chaleur et d'écoulement.

#### Contenu du TP

- Influence du débit d'air traversant l'échangeur sur les valeurs du coefficient d'échange thermique par convection.
- Introduction aux nombres adimensionnels importants dans le transfert de chaleur : **nombre de Reynolds** (Re), **nombre de Nusselt** (Nu) et **nombre de Prandtl** (Pr).
- Étude de l'influence de la position du tube dans le faisceau (entrée, milieu, arrière, haut et bas) sur le transfert de chaleur et les pertes de pression.
- Impact de la turbulence de l'écoulement de l'air autour des tubes sur le coefficient de transfert thermique.

#### Compétences développées

- Manipulation d'échangeurs à courants croisés et utilisation d'appareils de mesure (débitmètres, thermocouples, capteurs de pression).
- Calcul des coefficients de transfert thermique et analyse des performances d'un échangeur en fonction de la disposition des tubes et du débit d'air.

- Compréhension de l'analyse dimensionnelle et utilisation des corrélations adimensionnelles pour modéliser les transferts de chaleur dans des systèmes complexes.
- Capacité à interpréter l'impact de la turbulence, des régimes d'écoulement et de la géométrie sur l'efficacité thermique des échangeurs
- Étude du transfert de chaleur dans un échangeur coaxial à contre-courant
- Ce TP a pour but d'étudier le fonctionnement et les performances d'un échangeur de chaleur **coaxial à contre-courant**. Les étudiants analyseront l'influence du débit et de la température du fluide chaud sur le transfert thermique et utiliseront une approche adimensionnelle (nombre de Nusselt, Reynolds, et Prandtl) pour interpréter les résultats et modéliser le phénomène de transfert de chaleur.

## Contenu du TP

- Présentation du principe de l'échangeur coaxial à contre-courant dans lequel deux fluides circulent en sens opposé dans des conduits concentriques (un fluide chaud, un fluide froid).
- Discussion des avantages de l'écoulement à contre-courant pour maximiser le transfert thermique.
- Étude de l'impact du débit volumique du fluide chaud sur le transfert de chaleur.
- Relation entre le **nombre de Nusselt** et le **nombre de Reynolds**
- Étude de l'impact de la température moyenne du fluide chaud sur le transfert de chaleur
- Relation entre le **nombre de Nusselt** et le **nombre de Prandtl**

## Compétences développées

- Manipulation d'un échangeur coaxial à contre-courant et utilisation d'instruments de mesure (thermocouples, débitmètres).
- Calcul du **flux thermique** échangé et détermination des **coefficients de transfert thermique** en fonction des conditions opératoires.
- Compréhension et application des corrélations adimensionnelles (nombre de Nusselt, Reynolds et Prandtl) pour modéliser le transfert thermique.
- Analyse des effets des paramètres expérimentaux (débit, température) sur les performances thermiques de l'échangeur.
- Transfert de matière

Étude du transfert de matière dans une colonne à disques mouillés

- L'objectif de ce TP est d'étudier l'influence de l'écoulement du fluide sur l'efficacité du transfert de matière lors du processus d'humidification de l'air dans une colonne à disques mouillés. Les étudiants utiliseront l'approche HUT/NUT (Hauteur d'unité de transfert / Nombre d'unité de transfert) pour analyser les résultats et pour dimensionner une colonne en fonction des besoins de transfert de matière. Utilisation d'une cellule psychrométrique et du diagramme de l'air humide.

## Contenu du TP :

- Présentation du principe d'une colonne à disques mouillés où l'air entre en contact avec une surface mouillée pour s'humidifier.
- Rappel des bases théoriques du transfert de matière, incluant les notions de gradient de concentration et d'enthalpie du système air-eau.
- Définition des notions d'efficacité de transfert, de coefficient global de transfert de matière, et de l'impact des conditions d'écoulement sur ces paramètres.
- Présentation de l'utilisation d'une cellule psychrométrique et de son utilisation avec le diagramme de l'air humide.
- Mesure de l'humidité de l'air en sortie de la colonne pour différents débits et vitesses d'écoulement.
- Effet du débit d'air et du débit d'eau sur l'efficacité de l'humidification.

- Utilisation du concept de **Hauteur d'Unité de Transfert (HUT)** et **Nombre d'Unité de Transfert (NUT)** pour l'analyse des systèmes de transfert de matière.
- Utilisation des résultats expérimentaux et des corrélations HUT/NUT pour dimensionner une colonne à disques mouillés. Calcul de la hauteur de la colonne pour atteindre une humidité en sortie souhaitée.

### Compétences développées :

- Manipulation de colonnes à disques mouillés et compréhension des mécanismes d'humidification de l'air.
- Calcul des **coefficients de transfert de matière** et interprétation de l'efficacité de transfert en fonction des conditions opératoires.
- Application des concepts HUT et NUT pour l'analyse et le dimensionnement d'une colonne de transfert de matière.
- Compréhension de l'influence des conditions d'écoulement(débit) sur l'efficacité du processus.
- Étude du transfert de matière liquide/solide par une méthode électrochimique
- Ce TP vise à étudier le transfert de matière à une interfaces liquide/liquide liquide/solide à l'aide d'une méthode électrochimique. Les étudiants examineront le comportement du système en régime permanent et transitoire pour déterminer le **coefficient de transfert de matière**, le **coefficient de diffusion**, ainsi que l'**épaisseur de la couche limite**. La détermination des conditions opératoires sera réalisée via le tracé des courbes intensité-potentiel.
- **Contenu du TP :**

- Présentation des mécanismes de transfert de matière dans les systèmes hétérogènes (liquide/solide).
- Rappel des principes théoriques régissant le transfert de matière à l'interface : diffusion, convection et réactions de surface.
- Explication du principe de la méthode électrochimique : relation entre la vitesse de transfert de matière et la densité de courant dans une cellule électrochimique.
- Étude des courbes **intensité-potentiel** pour déterminer les paramètres opératoires du transfert de matière :
  - Analyse de la région de contrôle par diffusion
- Étude en régime permanent :
  - Influence du débit sur le coefficient de transfert de matière :
    - Mesure du flux de matière transférée en fonction du débit de liquide
    - Détermination du **coefficient global de transfert de matière** dans les régimes en écoulement laminaire.
- Utilisation de la méthode **transitoire** pour déterminer le **coefficient de diffusion** :
  - Utilisation de la technique de **chronoampérométrie** => Analyse de la réponse électrochimique au cours du temps pour mesurer le coefficient de diffusion du soluté.
  - Calcul du **coefficient de diffusion** à partir des données transitoires et comparaison avec des valeurs issues de la littérature.
- **Détermination de l'épaisseur de la couche limite :**
  - Approche pour évaluer l'**épaisseur de la couche limite** à partir des résultats expérimentaux.
  - Influence des conditions opératoires (débit) sur l'épaisseur de la couche limite.

### Compétences développées :

- Utilisation de **méthodes électrochimiques** pour l'étude du transfert de matière et la compréhension des mécanismes associés.
- Analyse des **courbes intensité-potentiel** pour déterminer les régimes de transfert et les paramètres clés (coefficient de transfert de matière, coefficient de diffusion).
- Calcul de l'**épaisseur de la couche limite** et analyse de son évolution en fonction des conditions opératoires.
- Capacité à interpréter les résultats en régime permanent et transitoire et à les comparer aux modèles théoriques.

- Transfert de chaleur/régulation de température
- Étude d'un régulateur de température.

Ce TP a pour but d'étudier le fonctionnement des différents types de régulateurs de température : **Tout ou Rien**, **Proportionnel** et **PID** (Proportionnel-Intégral-Dérivé). Les étudiants analyseront le comportement des systèmes de régulation, comprendront les notions de **décrément** et apprendront à régler un régulateur PID pour optimiser la stabilité et la performance du système.

## Contenu du TP :

- Présentation des principes de base de la régulation de température et des différentes méthodes de contrôle.
- **Régulation Tout ou Rien** : influence de la perturbation (puissance de refroidissement) sur les valeurs de la température (température moyenne, retard à la chauffe et au refroidissement).
- **Régulation proportionnelle** : introduction au concept de régulation proportionnelle où l'action de commande est proportionnelle à l'erreur. Étude de la réponse du système à différents gains proportionnels, Introduction à la notion de décrément et détermination des paramètres d'un PID par la méthode de **Ziegler-Nichols**.
- **Régulation PID (Proportionnel-Intégral-Dérivé)** : Étude de la réponse du système complet du PID. Expérimentation avec différents réglages des paramètres pour stabiliser le système et améliorer les performances (réduction du dépassement, stabilisation rapide).

## Compétences développées :

- Manipulation des régulateurs de température Tout ou Rien, Proportionnels et PID.
- Analyse des réponses du système en fonction des différents types de régulation.
- Réglage des paramètres du régulateur PID pour optimiser les performances du système.
- Compréhension des notions de stabilité, de dépassement, de temps de réponse et d'amortissement (décrément).
- Utilisation des méthodes empiriques (Ziegler-Nichols) pour ajuster les paramètres du PID.

---

## Informations complémentaires

6 séances de 3,5 heures.

Dépôt d'un compte rendu sur le portail Moodle avant 21h30 le jour de réalisation des séances