



Ecole Nationale Supérieure en Génie
des Technologies Industrielles

LIVRET DES COURS

Deuxième Année (2A – M1)

La formation est structurée en Unités d'Enseignement (UE) qui correspondent aux domaines thématiques principaux. Les Unités d'Enseignement sont divisées en Unités Pédagogiques (UP). La répartition et l'évaluation des Unités Pédagogiques sont adaptées aux objectifs d'acquisition de compétences de l'Unité d'Enseignement (contrôles écrits individuels, présentations orales, réalisation de projets).

Article 3.1 du règlement de scolarité

Les Unités d'Enseignement sont capitalisables. Une fois validées, elles restent acquises à l'étudiant pour une durée de trois ans après la fin de ses études à l'ENSGTI.

Article 6.1 du règlement de scolarité

Nomenclature

UE : Unité d'Enseignement
UP : Unité Pédagogique

CM : Cours Magistraux
TD : Travaux Dirigés
TP : Travaux Pratiques
AP : Apprentissage par Projet

TC : Tronc Commun
EN : Spécialité « Energétique »
GP : Spécialité « Génie des Procédés »

EN EB : Spécialité « Energétique » - Parcours (3A) « Energétique du Bâtiment »
EN EI : Spécialité « Energétique » - Parcours (3A) « Energétique Industrielle »

GP PE : Spécialité « Génie des Procédés » – Parcours (3A) « Procédés pour l'Environnement »
GP CPAO : Spécialité « Génie des Procédés » – Parcours (3A) « Conception des Procédés assistée par Ordinateur »

NOMENCLATURE DES MODALITÉS D'ÉVALUATION

Nature_1 (Modalités_1) x Pondération_1 + Nature_2 (Modalités_2) x Pondération_2 + ...

Nature de l'évaluation

CC : Contrôle Continu

Proj : Projet

Sta : Stage

TP : Epreuve de Travaux Pratiques

CoE : Compréhension Ecrite (langues)

CoO : Compréhension Orale (langues)

ExE : Expression Ecrite (langues)

ExO : Expression Orale (langues)

IntO : Interaction Orale (langues)

Cert : Test de certification (langues)

EvaC : Evaluation de compétences

Modalités de l'évaluation

EE : Epreuve Ecrite (par défaut si aucune information)

EO : Epreuve Orale

EM : Epreuve sur Machine

ES : Epreuve surprise écrite

PA : Participation Active

Sout : Soutenance orale

Rap : Rapport écrit

Prog : Programme informatique

Tr : Travail (dans le cadre d'un stage, d'un projet ou de Travaux Pratiques)

D : Dossier

CR : Compte-Rendu (dans le cadre de TP)

LA : Lecture d'Article

sd : sans document (par défaut si aucune information)

da : documents autorisés (da:précisions sur doc. autorisés)

st : sans objet connecté (téléphone mobile, montre connectée...) (par défaut si aucune information)

ta : objets connectés autorisés

sc : sans calculatrice (par défaut si aucune information)

ca : calculatrice autorisée

Opérateurs divers

x/y : x ou y

$\max(x, y)$: Maximum entre plusieurs évaluations

$\text{moyenne}(x)$: Moyenne entre plusieurs évaluations de même nature et de même coefficient

Exemples

CC (EE, 2h)

Une épreuve écrite de deux heures, sans document, sans calculatrice.

CC (EM, 2h, da:tutoriels) x 1/2 + CC (EE, 2h) x 1/2

Une épreuve sur machine de 2h, tutoriels autorisés, coefficient 1/2 et épreuve écrite de deux heures, sans document, sans calculatrice, coefficient 1/2.

CC (ES, 15mn) x 1/10 + CC (EE, 2h, da:tous, ca) x 9/10

Une épreuve surprise de 15 minutes sans document, sans calculatrice, coefficient 1/10 et une épreuve écrite de deux heures, tous documents autorisés, calculatrice autorisée, coefficient 9/10.

TP(EO, 10mn) x 1/4 + TP(EO, 10mn) x 1/4 + TP(CR) x 1/2

Travaux pratiques évalués par deux interrogations orales, coefficient 1/4 chacune, et un compte-rendu de TP, coefficient 1/2.

Proj (PA, Rap, Sout)

Projet évalué par la participation active, un rapport écrit et une soutenance.

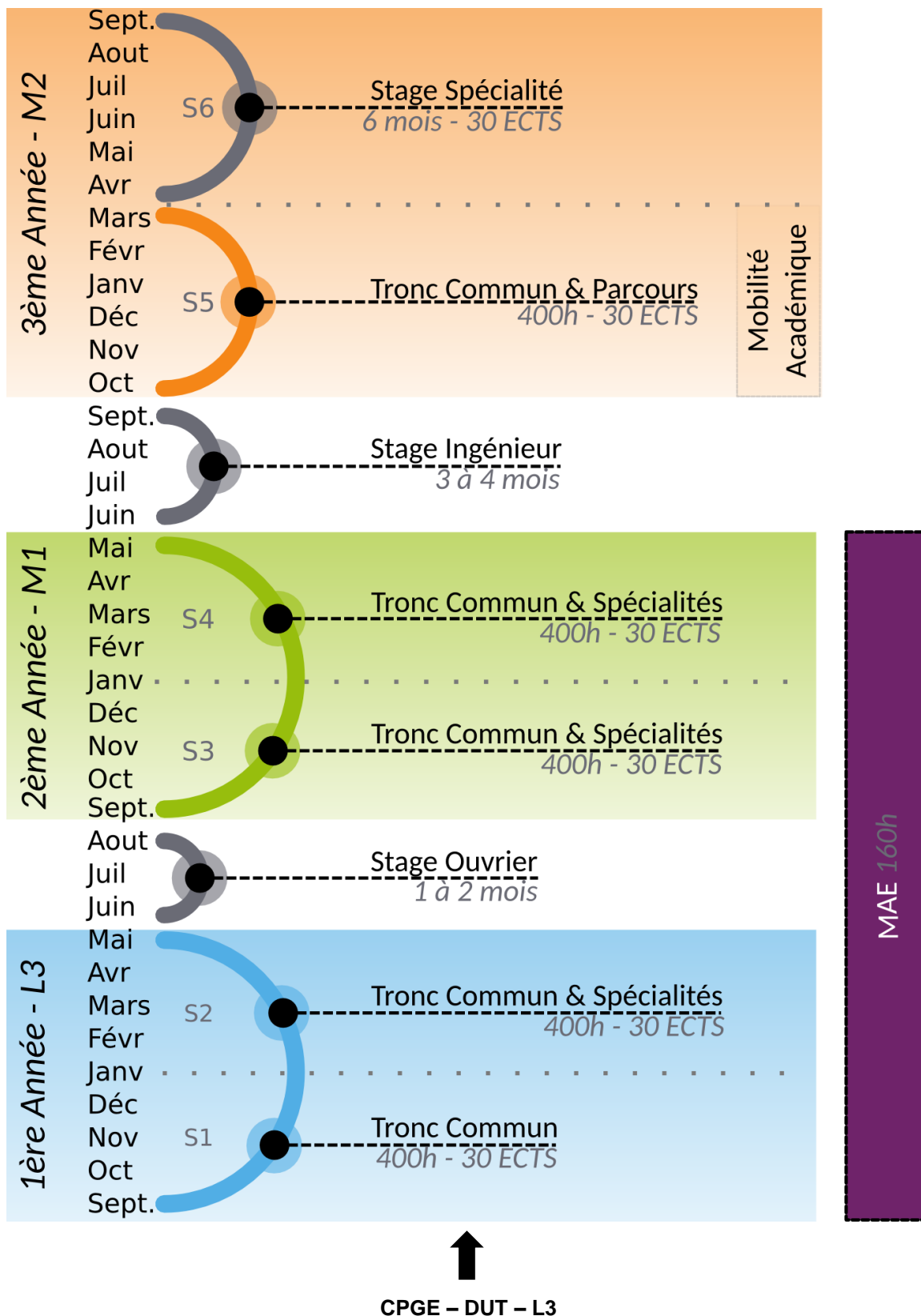
Sta (Tr, Rap, Sout)

Stage évalué par le travail, un rapport écrit et une soutenance orale.

CoE(PA) x 1/4 + CoO(PA) x 1/4 + ExE(EE, 1h) x 1/4 + Cert(TOEIC) x 1/4

Cas d'une langue vivante : compréhension écrite évaluée par la participation active, Compréhension orale évaluée par la participation active, Expression écrite évaluée par une épreuve écrite d'une heure sans document, Test de certification (TOEIC). Même pondération pour les différentes évaluations.

CHRONOLOGIE GÉNÉRALE DES ENSEIGNEMENTS A L'ENSGTI



SEMESTRE 7

LISTE DES UNITÉS D'ENSEIGNEMENT (UE) DU SEMESTRE

TRONC COMMUN, SPECIALITÉ ou PARCOURS	CODE UE	INTITULÉ UE	ECTS
TC	EC27LC	Langue - Culture de l'Ingénieur S7	6
TC	EC27TM	Transfert - Mécanique S7	9
EN	EE27EA	Energétique Appliquée S7	5
EN	EE27MS	Modélisation et Simulation des systèmes S7	10
GP	EP27OU	Opération Unitaire S7	10
GP	EP27RE	Réacteur S7	5

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Langue - Culture de l'Ingénieur S7

ECTS : 6

CODE UE : EC27LC

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Etre capable de communiquer en anglais dans les diverses situations professionnelles
- Approfondir les bases de la seconde langue
- Connaître l'organisation générale et les différents statuts juridiques de l'entreprise
- Connaître les grands enjeux du développement durable
- Comprendre les enjeux de la gestion du risque éthique en entreprise

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EC27LC1	Anglais
EC27LC2	Langue 2 (Espagnol)
EC27LC2	Langue 2 (Allemand)
EC27LC3	Responsabilité Sociétale de l'Entreprise
EC27LC4	Projet Professionnel II

UE : LANGUE - CULTURE DE L'INGENIEUR S7

EC27LC

ECTS : 6

UP : ANGLAIS

EC27LC1

Coeff. : 0,333

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : BEIGBEDER S., DELAMBRE Y.

CM : h

TD : 30 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Anglais

INTRODUCTION

L'objectif est d'améliorer les cinq compétences langagières telles que décrites dans le Cadre Européen de Référence pour les Langues (niveau ciblé : C1) : anglais spécifique aux besoins des futurs ingénieurs.

COMPÉTENCES VISÉES

Niveau intermédiaire

L'étudiant(e) devra acquérir des compétences communicatives (écoute, lire, s'exprimer en continu, écrire, prendre part à une conversation) pour atteindre le niveau d'utilisateur expérimenté (B2-C1).

Niveau avancé

L'étudiant(e) devra approfondir les compétences communicatives de niveau C1 (écouter, lire, s'exprimer en continu, écrire, prendre part à une conversation) pour atteindre le niveau C1 et être capable de communiquer et agir dans un contexte international (maîtrise de l'anglais des Affaires).

CONTENU

Niveau intermédiaire

Anglais général et anglais de communication écrite et orale de type professionnel. Préparation au TOEIC, en particulier aux épreuves de Compréhension orale et écrite. Le cours propose au moins deux examens TOEIC blancs en guise d'entraînement.

Niveau avancé

Oral basé sur l' Anglais des Affaires de niveau locuteurs indépendants : Débats, Présentations, Négociations, Réunions, Entretiens d'embauche... Expression écrite : Rédaction de CV et lettre de motivation

MODALITÉS D'ÉVALUATION

Intermédiaire : ExOx1/4 + CoEx1/4 + Cert(TOEIC 1)x1/4 + Cert(TOEIC 2)x1/4

Avancé : ExOx1/3 + IntOx1/3 + ExEx1/3

RESSOURCES

Market Leader, David Cotton, David Falvey and Simon Ken, English Course book, Pearson, 2010)

Cambridge Grammar and Vocabulary for the TOEIC Test, Jolene Gear, Robert Gear

(Cambridge University Press, 2010).

PRÉREQUIS

Intermédiaire: pas de prérequis.

Avancé: 750 points au Toeic ou B2 validé.

UE : LANGUE - CULTURE DE L'INGENIEUR S7

EC27LC

ECTS : 6

UP : LANGUE 2 (ESPAGNOL)

EC27LC2

Coeff. : 0,167

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **ARMENTA A., COBOS A., NOËLL N.**

CM : h

TD : 20 h

TP : h

AP : h

UP au choix (Esp. ou All.)

Langue : Espagnol

INTRODUCTION

L'objectif est d'améliorer et de consolider les compétences du Cadre européen commun de référence pour les langues (groupe 1, 2 et 3) et d'apprendre l'espagnol spécifique du métier d'ingénieur (groupe 3).

COMPÉTENCES VISÉES

A1 - Niveau Introductif ou Découverte

Comprendre (Écouter) : Je peux comprendre des mots familiers et des expressions très courantes au sujet de moi-même, de ma famille et de l'environnement concret et immédiat, si les gens parlent lentement et distinctement.

Comprendre (Lire) : Je peux comprendre des noms familiers, des mots ainsi que des phrases très simples, par exemple dans des annonces, des affiches ou des catalogues.

Parler (Prendre part à une conversation) : Je peux communiquer, de façon simple, à condition que l'interlocuteur soit disposé à répéter ou à reformuler ses phrases plus lentement et à m'aider à formuler ce que j'essaie de dire. Je peux poser des questions simples sur des sujets familiers ou sur ce dont j'ai immédiatement besoin, ainsi que répondre à de telles questions.

Parler (S'exprimer oralement en continu) : Je peux utiliser des expressions et des phrases simples pour décrire mon lieu d'habitation et les gens que je connais.

Écrire : Je peux écrire une courte carte postale simple, par exemple de vacances. Je peux porter des détails personnels dans un questionnaire, inscrire par exemple mon nom, ma nationalité et mon adresse sur une fiche d'hôtel.

A2 - Niveau Intermédiaire ou de Survie

Comprendre (Écouter) : Je peux comprendre des expressions et un vocabulaire très fréquent relatifs à ce qui me concerne de très près (par ex. moi-même, ma famille, les achats, l'environnement proche, le travail). Je peux saisir l'essentiel d'annonces et de messages simples et clairs.

Comprendre (Lire) : Je peux lire des textes courts très simples. Je peux trouver une information particulière prévisible dans des documents courants comme les petites publicités, les prospectus, les menus et les horaires et je peux comprendre des lettres personnelles courtes et simples.

Parler (Prendre part à une conversation) : Je peux communiquer lors de tâches simples et habituelles ne demandant qu'un échange d'information simple et direct sur des sujets et des activités familiers. Je peux avoir des échanges très brefs même si, en règle générale, je ne comprends pas assez pour poursuivre une conversation.

Parler (S'exprimer oralement en continu) : Je peux utiliser une série de phrases ou d'expressions pour décrire en termes simples ma famille et d'autres gens, mes conditions de vie, ma formation et mon activité professionnelle actuelle ou récente.

Écrire : Je peux écrire des notes et messages simples et courts. Je peux écrire une lettre personnelle très simple, par exemple de remerciements.

B1 - Niveau Seuil

Comprendre (Écouter) : Je peux comprendre les points essentiels quand un langage clair et standard est utilisé et s'il s'agit de sujets familiers concernant le travail, l'école, les loisirs, etc. Je peux comprendre l'essentiel de nombreuses émissions de radio ou de télévision sur

l'actualité ou sur des sujets qui m'intéressent à titre personnel ou professionnel si l'on parle d'une façon relativement lente et distincte.

Comprendre (Lire) : Je peux comprendre des textes rédigés essentiellement dans une langue courante ou relative à mon travail. Je peux comprendre la description d'événements, l'expression de sentiments et de souhaits dans des lettres personnelles.

Parler (Prendre part à une conversation) : Je peux faire face à la majorité des situations que l'on peut rencontrer au cours d'un voyage dans une région où la langue est parlée. Je peux prendre part sans préparation à une conversation sur des sujets familiers ou d'intérêt personnel ou qui concernent la vie quotidienne (par exemple famille, loisirs, travail, voyage et actualité).

Parler (S'exprimer oralement en continu) : Je peux articuler des expressions de manière simple afin de raconter des expériences et des événements, mes rêves, mes espoirs ou mes buts. Je peux brièvement donner les raisons et explications de mes opinions ou projets. Je peux raconter une histoire ou l'intrigue d'un livre ou d'un film et exprimer mes réactions.

Écrire : Je peux écrire un texte simple et cohérent sur des sujets familiers ou qui m'intéressent personnellement. Je peux écrire des lettres personnelles pour décrire expériences et impressions.

B2 - Niveau Avancé ou Indépendant

Comprendre (Écouter) : Je peux comprendre des conférences et des discours assez longs et même suivre une argumentation complexe si le sujet m'en est relativement familier. Je peux comprendre la plupart des émissions de télévision sur l'actualité et les informations. Je peux comprendre la plupart des films en langue standard.

Comprendre (Lire) : Je peux lire des articles et des rapports sur des questions contemporaines dans lesquels les auteurs adoptent une attitude particulière ou un certain point de vue. Je peux comprendre un texte littéraire contemporain en prose.

Parler (Prendre part à une conversation) : Je peux communiquer avec un degré de spontanéité et d'aisance qui rende possible une interaction normale avec un locuteur natif. Je peux participer activement à une conversation dans des situations familières, présenter et défendre mes opinions.

Parler (S'exprimer oralement en continu) : Je peux m'exprimer de façon claire et détaillée sur une grande gamme de sujets relatifs à mes centres d'intérêt. Je peux développer un point de vue sur un sujet d'actualité et expliquer les avantages et les inconvénients de différentes possibilités.

Écrire : Je peux écrire des textes clairs et détaillés sur une grande gamme de sujets relatifs à mes intérêts. Je peux écrire un essai ou un rapport en transmettant une information ou en exposant des raisons pour ou contre une opinion donnée. Je peux écrire des lettres qui mettent en valeur le sens que j'attribue personnellement aux événements et aux expériences.

C1 - Niveau Autonome : pour un usage régulier dans des contextes de difficulté raisonnable

Comprendre (Écouter) : Je peux comprendre un long discours même s'il n'est pas clairement structuré et que les articulations sont seulement implicites. Je peux comprendre les émissions de télévision et les films sans trop d'effort.

Comprendre (Lire) : Je peux comprendre des textes factuels ou littéraires longs et complexes et en apprécier les différences de style. Je peux comprendre des articles spécialisés et de longues instructions techniques même lorsqu'ils ne sont pas en relation avec mon domaine.

Parler (Prendre part à une conversation) : Je peux m'exprimer spontanément et couramment sans trop apparemment devoir chercher mes mots. Je peux utiliser la langue de manière souple et efficace pour des relations sociales ou professionnelles. Je peux exprimer mes idées et opinions avec précision et lier mes interventions à celles de mes interlocuteurs.

Parler (S'exprimer oralement en continu) : Je peux présenter des descriptions claires et détaillées de sujets complexes, en intégrant des thèmes qui leur sont liés, en développant certains points et en terminant mon intervention de façon appropriée.

Écrire : Je peux m'exprimer dans un texte clair et bien structuré et développer mon point de vue. Je peux écrire sur des sujets complexes dans une lettre, un essai ou un rapport, en soulignant les points que je juge importants. Je peux adopter un style adapté au destinataire.

Être capable de comprendre et de se faire comprendre en espagnol dans les diverses situations communicatives de la vie courante ainsi que dans quelques situations professionnelles.

CONTENU

Variable en fonction du niveau.

Documents authentiques de la vie quotidienne et de spécialité.

Documents audio et vidéo avec travail de compréhension orale accompagnés de grilles de compréhension.

Communication interne et externe. Interculturalité.

Ecrits professionnels (lettre de motivation, CV, notices, courrier, documents techniques, rapport...)

Travail sur internet : www.ver-taal.com Compréhension orale de reportages et extraits des journaux télévisés / Enrichissement du vocabulaire

Recherches sur l'Espagne et l'Amérique Latine.

Recherche sur les entreprises espagnoles et latino américaines.

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CoOx1/5 + ExOx1/5 + IntOx1/5 + CoEx1/5 + ExEx1/5

RESSOURCES

Documents fournis indiqués par les enseignantes en fonction du niveau.

Monde du travail : <http://www.oficinaempleo.com/content/manualcv1.html>

TV : <http://www.rtve.es/>

Presse: <http://elpais.com/>

Espagnol : www.ver-taal.com

Plateforme Chamilo de l'UPPA.

PRÉREQUIS

Aucun pour le groupe 1, Niveau B1 pour le groupe 2, Niveau B2 pour le groupe 3.

UE : LANGUE - CULTURE DE L'INGENIEUR S7

EC27LC

ECTS : 6

UP : LANGUE 2 (ALLEMAND)

EC27LC2

Coeff. : 0,167

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **PLÖGER S.**

CM : h

TD : 20 h

TP : h

AP : h

UP au choix (Esp. ou All.)

Langue : Allemand

INTRODUCTION

Compréhension écrite (article de presse)

COMPÉTENCES VISÉES

On attend de l'étudiant qu'il sache comprendre un court article de presse, en rendre le contenu, répondre à des questions et s'exprimer brièvement sur le sujet.

CONTENU

Travail sur des articles de presse (sujets d'actualité) + grammaire

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CoOx1/5 + ExOx1/5 + IntOx1/5 + CoEx1/5 + ExEx1/5

RESSOURCES

Site internet de la Deutsche Welle : www.fluter.de

PRÉREQUIS

Allemand LV2 (niveau bac)

UE : LANGUE - CULTURE DE L'INGENIEUR S7

EC27LC

ECTS : 6

UP : RESPONSABILITE SOCIETALE DE
L'ENTREPRISE

EC27LC3

Coeff. : 0,333

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **GIBOUT S., LABADIE-ALBUGUES F., RAPIN S.**

CM : 36 h

TD : 4 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

COMPÉTENCES VISÉES

Intervention de K Rodriguez:

Comprendre l'environnement juridique de l'entreprise

Intervention S. Gibout:

Comprendre les problématiques et impacts liées à l'utilisation (nécessaire) des énergies, fossiles ou renouvelables.

CONTENU

Intervention K Rodriguez:

- La forme juridique de l'entreprise (individuelle, sociétaire avec les différentes formes envisageables, leurs avantages et inconvénients) ; - Les biens de l'entreprise (bail commercial et fonds de commerce) ;

- Le contentieux de l'entreprise commerciale (tribunaux de commerce et arbitrage) ;

- L'activité de l'entreprise (contrats, concurrence, propriété industrielle).

Intervention S. Gibout:

- L'origine des ressources et des consommations (consommateurs)

- Ressources fossiles (état, impacts)

- Effet de serres et réchauffement climatique

- Ressources renouvelables (technologies et état de lieux)

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h)

RESSOURCES

PRÉREQUIS

UE : LANGUE - CULTURE DE L'INGENIEUR S7

EC27LC

ECTS : 6

UP : PROJET PROFESSIONNEL II

EC27LC4

Coeff. : 0,167

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **MERCADIER J.**

CM : h

TD : h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Stage en milieu professionnel

Le but de ce stage est de découvrir le monde de l'entreprise.

COMPÉTENCES VISÉES

- Démontrer des capacités à s'insérer dans un milieu professionnel et au travail en équipe
- Démontrer sa capacité à communiquer à l'écrit
- Synthétiser les éléments principaux d'un travail
- Analyser la politique de parité homme/femme dans l'entreprise

CONTENU

Le stage, d'une durée d'un à trois mois se déroule préférentiellement en entreprise.

Il a pour but essentiel de permettre à l'étudiant de découvrir le monde professionnel.

Au cours de la période de stage, l'étudiant devra analyser la façon dont la parité homme/femme est mise en œuvre dans l'entreprise.

MODALITÉS D'ÉVALUATION

Proj(Rap)x1/4 + Sta(Rap)x3/4

RESSOURCES

Sans objet

PRÉREQUIS

Aucun

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Transfert - Mécanique S7

ECTS : 9

CODE UE : EC27TM

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Maîtriser les principes du transfert de matière et de chaleur (simple ou couplé, avec ou sans changement de phase)
- Approfondir les notions rencontrées en Mécanique des Fluides : notion de turbulence
- Maîtriser le dimensionnement et l'utilisation des échangeurs de chaleur, simples ou en réseaux

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EC27TM1	Transferts de matière
EC27TM2	Transferts convectifs de chaleur et de matière
EC27TM3	Transferts de chaleur couplés I
EC27TM4	Echangeurs de chaleur
EC27TM5	Mécanique des Fluides II
EC27TM6	Ebullition - Condensation

UE : TRANSFERT - MECANIQUE S7

EC27TM

ECTS : 9

UP : TRANSFERTS DE MATIERE

EC27TM1

Coeff. : 0,111

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **CONTAMINE F.**

CM : 6 h

TD : 4 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'objectif est de présenter des modèles classiques de description du transfert de matière

COMPÉTENCES VISÉES

Etre capable d'estimer un flux de transfert
Etre capable d'estimer un coefficient de transfert

CONTENU

Modèles de transferts de matière :
- Modèle du film (Lewis et Whitman)
- Modèles à renouvellement de surface (Higbie et Danckwerts)
- Coefficients de transfert de matière

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h)

RESSOURCES

PRÉREQUIS

bilan matière

UE : TRANSFERT - MECANIQUE S7

EC27TM

ECTS : 9

UP : TRANSFERTS CONVECTIFS DE CHALEUR ET DE MATIERE

EC27TM2

Coeff. : 0,222

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **ALEXANDROVA S., BERNADA P.**

CM : 12 h

TD : 16 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

La première partie du module concerne les bases du transfert convectif de matière et de chaleur (couches limites, coefficients de transfert local, moyen et global) et l'analogie entre les différents types de transfert. La deuxième partie traite de la convection naturelle puis mixte. Une attention toute particulière est portée sur les mécanismes de transferts de chaleur et de masse durant ces phénomènes.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent pouvoir :

- calculer les flux de matière et/ou de chaleur convectifs (écoulements interne et externe) ;
- analyser les phénomènes de transfert et appliquer les analogies entre les transferts de quantité de mouvement, de chaleur et de matière
- calculer le coefficient de transfert convectif (local, moyen et global) par analogie ou à l'aide des corrélations appropriées en fonction du régime et de la géométrie
- définir les nombres sans dimensions caractéristiques (Re, Pr, Nu, Sc, Sh,...) et connaître leur sens physique ;

CONTENU

Convection force

- Couches limites : hydrodynamique, thermique et diffusionnelle, transfert par convection
- Écoulements externes (géométrie ouverte) laminaires et turbulents ;
- Écoulements internes (géométrie fermée) laminaires et turbulents ;
- Analogies entre les transferts de quantité de mouvement, de matière et de chaleur : Reynolds, Chilton – Colburn

Convection naturelle

- Description des mécanismes physique mis en jeu au cours de la convection naturelle
- Exemples industriels,
- Etude détaillée des transferts de chaleur entre une plaque plane verticale isotherme et un fluide au repos.

Convection mixte

- Définition de la convection mixte, critère quantitatif
- Corrélations de coefficients d'échange thermique dans le cas de géométries simples

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, da : notes de cours, ca)

RESSOURCES

Fundamentals of Heat and Mass transfer, F. P. INCROPERA, D. P. DEWITT, John Wiley&Sons, Inc, 2006
Transferts thermiques, J. TAINE, J.-P. PETIT, Dunod, 1995
Principles of Heat Transfer, M. KAVIANY, John Wiley&Sons, Inc, 2002

PRÉREQUIS

UE : TRANSFERT - MECANIQUE S7

EC27TM

ECTS : 9

UP : TRANSFERTS DE CHALEUR COUPLES I

EC27TM3

Coeff. : 0,111

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **BEDECARRATS J-P.**

CM : 4 h

TD : 8 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Les transferts couplés correspondent à une problématique où sont combinés simultanément les trois modes de transferts thermiques (conduction, convection, rayonnement).

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent :

Être capable de considérer un problème simple de transferts couplés.

Être capable de juger de la prépondérance de chacun des trois modes de transferts.

CONTENU

1. Rappels sur les différents modes de transferts thermiques (conduction, convection, rayonnement)
2. Méthodologies. (Bilans pariétaux, bilans globaux...)
3. Résultats généraux essentiels
4. Approches
 - 4.1. Le coefficient d'échange radiatif
 - 4.2. Méthodes analytiques
5. Exemples
 - 5.1. Problèmes impliquant des transferts radiatifs et conductifs
 - 5.2. Problèmes impliquant des transferts radiatifs et convectifs
 - 5.3. Problèmes impliquant des transferts radiatifs, conductifs et convectifs

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, sd, ca)

RESSOURCES

A Heat Transfer Textbook. Third Edition. John H. Lienhard IV and John H. Lienhard V.
Phlogiston Press Cambridge Massachusetts
Heat Transfer. A. Bejan. John Wiley & Sons, New York, 1993

PRÉREQUIS

Conduction (EC15TM2), rayonnement (EC15TM4), convection (EC27TM2)

UE : TRANSFERT - MECANIQUE S7

EC27TM

ECTS : 9

UP : ECHANGEURS DE CHALEUR

EC27TM4

Coeff. : 0,111

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **ALEXANDROVA S.**

CM : 10 h

TD : 10 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Les échangeurs de chaleurs sont des éléments incontournables des systèmes et des cycles énergétiques. Il est essentiel d'être au courant des techniques de sélection et de dimensionnement en la matière face à un cahier des charges donné. Une attention particulière est portée aux différentes technologies disponibles sur le marché (tubes/calandre, plaques) et en voie de développement (micro et nano échangeurs).

COMPÉTENCES VISÉES

Après cet enseignement théorique, l'étudiant doit être capable :

- de sélectionner et de dimensionner correctement un échangeur de chaleur d'après des documents constructeurs.
- d'utiliser les outils de sélection et de calcul d'échangeurs.

CONTENU

Introduction
 Principe de fonctionnement
 Échangeurs industriels et méthodes de dimensionnement
 Association en série et en parallèle
 Choix de la technologie
 Conclusions et développements récents

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h30, ca)

RESSOURCES

Initiation aux transferts thermiques J. F. Sacadura (tech&doc) ISBN 2-85206-618-1
 Heat exchangers S. Kakac, A. E. Bergles, F. Mayinger (HPC) ISBN 0-89116-225-9

PRÉREQUIS

Conduction, Transferts convectifs de matière et de chaleur

UE : TRANSFERT - MECANIQUE S7

EC27TM

ECTS : 9

UP : MECANIQUE DES FLUIDES II

EC27TM5

Coeff. : 0,222

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **MORY M.**

CM : 22 h

TD : 14 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Le cours se fixe deux objectifs. La première partie est consacrée à la mise en œuvre des concepts fondamentaux de la mécanique des fluides (conservation de l'énergie de la quantité de mouvement) pour dimensionner un circuit hydraulique. La deuxième partie concerne la turbulence, en décrivant les concepts élémentaires de la turbulence intervenant dans les phénomènes de mélange et de transport en écoulement fluide. Les outils élémentaires de modélisation sont présentés.

COMPÉTENCES VISÉES

L'étudiant est capable d'analyser et de dimensionner un système hydraulique. Il sait estimer les pertes de charge et les variations de pression dans le circuit en régime stationnaire et choisir une pompe pour assurer la circulation du fluide. Il sait prédire les conditions d'apparition de la cavitation, connaît le phénomène du coup de bélier, et connaît les méthodes pour y remédier.

L'étudiant est capable d'exprimer un résultat physique sous forme dimensionnelle en référence aux équations qui décrivent la dynamique du système.

L'étudiant sait comment caractériser les propriétés mécaniques d'un matériau solide ou fluide et il connaît le principe d'un rhéomètre.

L'étudiant connaît les processus physiques essentiels liés à la présence de turbulence dans un écoulement fluide (dissipation, diffusion turbulente). Il connaît les rôles respectifs des grandes échelles et des petites échelles dans les processus de mélange turbulent (Micromélange, Macromélange). Il connaît les outils élémentaires de modélisation d'un écoulement turbulent (modèle de la longueur de mélange, modèle k- ϵ , modèle IEM)

CONTENU

Le cours est divisé en sept chapitres

I - Principes de l'analyse dimensionnelle et nombres sans dimension relevant d'un problème de mécanique des fluides

II - Dimensionnement d'un circuit hydraulique en régime stationnaire

III - Phénomènes instationnaires dans un circuit hydraulique (coup de Bélier)

IV - Notions de rhéométrie

V - Les grandes échelles de la turbulence - Diffusion turbulente - Dissipation

VI - Macromélange et Micromélange - Les petites échelles de la turbulence

VII - Eléments de modélisation d'un écoulement turbulent et du transport d'un scalaire passif ou réactif

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(ES, 15min, sd, st)x0,125 + CC(ES, 15min, sd, st)x0,125 + CC(EE, 2h, da, st)x0,75

RESSOURCES

Écoulements pour les procédés, M. Mory, Hermès-Lavoisier, 2010.
Fluid Mechanics for chemical engineering, M. Mory, ISTE-J. Wiley, 2011.

PRÉREQUIS

Connaissances des équations locales de la mécanique des fluides. Maîtrise des théorèmes globaux (Bernoulli et Quantité de mouvement) et de leurs conditions d'applications.
Dimensionnement des pertes de charges en conduite et des pompes.

UE : TRANSFERT - MECANIQUE S7

EC27TM

ECTS : 9

UP : EBULLITION - CONDENSATION

EC27TM6

Coeff. : 0,222

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **BERNADA P., KOUSKSOU T.**

CM : 12 h

TD : 14 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'ébullition et la condensation tiennent une place importante dans beaucoup d'opérations unitaires du génie chimique (évaporateur, condenseur, thermosiphon d'un bouilleur de distillation etc...). Une attention toute particulière est portée sur les mécanismes de transferts de chaleur et de masse durant ces phénomènes.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les élèves doivent pouvoir :

- Comprendre les différences entre convection forcée et naturelle, ébullition en cuve et ébullition convective, et connaître les mécanismes physiques qui gouvernent ces phénomènes.
- Être capable de déterminer des coefficients d'échange dans des cas et des géométries simples.
- Appliquer la théorie pour calculer le flux de chaleur dans des procédés industriels. Modéliser des écoulements diphasiques avec ébullition/condensation.

CONTENU

I Ebullition

- Transfert de chaleur lors de l'ébullition en cuve,
- Transfert de chaleur lors de l'ébullition convective,

II Condensation

- Étude détaillée des transferts de chaleur et de masse lors de la condensation d'une plaque verticale isotherme et d'une vapeur pure au repos. Théorie de Nusselt.,
- Influence de la turbulence, de la friction interfaciale, des gaz non condensables

III Ecoulements diphasiques avec ébullition/condensation

- Equations de conservation pour un mélange diphasique (liquide-gaz)
- Modèle homogène
- Modèle à flux de dérive
- Modèle à deux fluides

IV Evolution de l'interface liquide-gaz

- Méthode de suivi de front
- Méthodes de suivi en volume

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE 2h, da : notes de cours, ca)

RESSOURCES

Fundamentals of Heat and Mass transfer, F. P. INCROPERA, D. P. DEWITT, John Wiley&Sons, Inc, 2006
Transferts thermiques, J. TAINE, J.-P. PETIT, Dunod, 1995
Principles of Heat Transfer, M. KAVIANY, John Wiley&Sons, Inc, 2002

PRÉREQUIS

Conduction 1 (EC15TM2), Mécanique des fluides (EC16TM4), Thermodynamique générale (EC15TB2)

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Energétique Appliquée S7

ECTS : 5

CODE UE : EE27EA

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Maîtriser les concepts avancés en transfert de chaleur (transferts couplés) et quantité de mouvement (mécanique des fluides compressibles)
- Maîtriser les principes de la combustion industrielle

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EE27EA1	Air humide
EE27EA2	Ecoulements compressibles
EE27EA3	Transferts de chaleur couplés II
EE27EA4	Combustion industrielle

UE : ENERGETIQUE APPLIQUEE S7

EE27EA

ECTS : 5

UP : AIR HUMIDE

EE27EA1

Coeff. : 0,200

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : HAILLOT D.

CM : 6 h

TD : 8 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'air est le véhicule privilégié de la chaleur, du froid ou de l'humidité dans un bâtiment à climatiser, un entrepôt frigorifique ou une salle blanche. Il doit donc être traité afin d'obtenir les spécifications exigées en termes de température et d'hygrométrie.

COMPÉTENCES VISÉES

Ce cours permet :

- de connaître les grandeurs relatives à l'air humide,
- de savoir calculer ces grandeurs et les repérer sur le diagramme psychrométrique,
- de connaître les éléments constituant une CTA et savoir les dimensionner.

CONTENU

Introduction

- 1) Grandeurs relatives à l'air humide
- 2) Diagramme de l'air humide
- 3) Climatisation et traitement de l'air
- 4) Évolution de l'air humide
- 5) Récupération de chaleur

Conclusion

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h30, da: une feuille A4 recto manuscrite)

RESSOURCES

Jannot Y. 2005, L'air humide, accessible via :

www.thermique55.com/principal/airhumide.pdf

Crétinon B., Blanquard B., Air humide : Notions de base et mesures, Techniques de l'ingénieur.

Bensafi A. Air Humide : Traitement et conditionnement de l'air, Techniques de l'ingénieur.

PRÉREQUIS

Thermodynamique – Bilan (GC1TB)

UE : ENERGETIQUE APPLIQUEE S7

EE27EA

ECTS : 5

UP : ECOULEMENTS COMPRESSIBLES

EE27EA2

Coeff. : 0,200

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : FRANQUET E.

CM : 10 h

TD : 10 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'un des aspects de l'énergétique porte sur le comportement des écoulements compressibles, connus pour leurs différences fondamentales par rapport aux écoulements incompressibles. Le but est ici d'aborder ces spécificités (propagation d'ondes et célérité du son, ondes de détente et de choc...), tout en présentant des applications concrètes (opération d'une tuyère, dimensionnement d'une soupape de sécurité pour réservoir sous pression...).

COMPÉTENCES VISÉES

Savoir caractériser un écoulement compressible et les spécificités associées.
Étendre les capacités d'étude à des situations plus réalistes
Maîtriser le fonctionnement de technologies opérant en régime compressible.

CONTENU

- 0 Introduction
- 1 Rappels
 - 1.1 Thermodynamique
 - 1.2 Mécanique des fluides
- 2 Écoulement unidimensionnel stationnaire
 - 2.1 Écoulement adiabatique
 - 2.2 Écoulement isentropique
 - 2.3 Force de poussée
- 3 Ondes de choc droites
 - 3.1 Ondes de choc droites stationnaires
 - 3.2 Ondes de choc de faible amplitude pour un gaz parfait
 - 3.3 Tube à choc
- 4 Écoulement adiabatique stationnaire dans une tuyère
 - 4.1 Tuyère convergente
 - 4.2 Tuyère convergente-divergente (tuyère de Laval)
- 5 Écoulement stationnaire avec frottements
 - 5.1 Équations constitutives pour un écoulement adiabatique
 - 5.2 Cas du gaz parfait
- 6 Écoulement stationnaire avec apport de chaleur
 - 6.1 Équations caractéristiques
 - 6.2 État critique et tables de Rayleigh
- 7 Conclusion

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h, sd, sc)x1/2 + CC(EE, 1h, da : cours, exercices, livres quelconques, ca)x1/2

RESSOURCES

- [1] Y. A. Cengel and M. A. Boles. Thermodynamics : an engineering approach. McGraw-Hill, fifth edition, 2006.
- [2] Didier Desjardins, Michel Combarous, and Natalie Bonneton. Mécanique des fluides. Problèmes résolus avec rappels de cours. Dunod, 2002.
- [3] Thierry Faure. Dynamique des fluides appliquée. Dunod, 2008.
- [4] M. J. Moran and H. N. Shapiro. Fundamentals of Engineering Thermodynamics. John Wiley and Sons, fifth edition, 2006.
- [5] Roger Ouziaux and Jean Perrier. Mécanique des fluides appliquée. Dunod, 1998.
- [6] Inge L. Ryhming. Dynamique des fluides. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2nd edition, 2009.
- [7] A. Shapiro. The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow, volume 1. The Ronald press company, 1953.
- [8] A. Shapiro. The Dynamics and Thermodynamics of Compressible Fluid Flow, volume 2. The Ronald press company, 1954.
- [9] R. D. Zucker and O. Biblarz. Fundamentals of gas dynamics. John Wiley & Sons, Ltd, second edition, 2002.

PRÉREQUIS

Thermodynamique générale (EC15TB2)
Mécanique des fluides I (EC16TM4)

UE : ENERGETIQUE APPLIQUEE S7

EE27EA

ECTS : 5

UP : TRANSFERTS DE CHALEUR COUPLES II

EE27EA3

Coeff. : 0,200

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **BEDECARRATS J-P.**

CM : 8 h

TD : 10 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Les transferts thermiques couplés correspondent à une problématique où sont combinés simultanément les trois modes de transferts thermiques (conduction, convection, rayonnement). Cette partie est la suite du cours « transferts de chaleur couplés 1 » où seront abordés des problèmes plus complexes plus proches de la problématique industrielle.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent :

Être capable de considérer un problème réel de transferts couplés.

Être capable de juger de la prépondérance de chacun des trois modes de transferts sur des cas de systèmes industriels...

CONTENU

1.Problème de transferts thermiques couplés en régime instationnaires

1.1.Critère de Biot

1.2.Étude des corps minces

1.3.Étude des corps épais

2.Échange radiatif avec des gaz

2.1.Propriétés radiatives d'un gaz participant

2.2.Schémas analogiques pour les gaz

2.3.Exemples

3.Transferts thermiques par rayonnement dans les fours

3.1.Introduction

3.2.Variation de la température en fonction du temps

3.3.Systèmes non isothermes

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, sd, ca)

RESSOURCES

A Heat Transfer Textbook. Third Edition. John H. Lienhard IV and John H. Lienhard V. Phlogiston Press Cambridge Massachusetts
Heat Transfer. A. Bejan. John Wiley & Sons, New York, 1993

PRÉREQUIS

Conduction 1 et 2 (EC15TM2) et (EE16MT1), rayonnement (EC15TM4), convection (EC27TM2), transferts de chaleur couplés I (EC27TM3)

UE : ENERGETIQUE APPLIQUEE S7

EE27EA

ECTS : 5

UP : COMBUSTION INDUSTRIELLE

EE27EA4

Coeff. : 0,400

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **FRANQUET E.**

CM : 14 h

TD : 16 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Au-delà du phénomène physique de base, dont la connaissance fait partie des notions fondamentales en énergétique, la grande majorité des installations anthropiques repose sur une combustion. Cet enseignement a donc pour but de présenter la théorie ainsi que les notions pratiques essentielles au développement et à l'opération des procédés industriels.

COMPÉTENCES VISÉES

Connaissance de base des combustibles, comburants et réactions associées
 Identification et analyse de tout type de combustion
 Intégration d'une combustion à un processus industriel

CONTENU

- 0 Introduction
- 1 Rappels théoriques
 - 1.1 Description d'un système
 - 1.2 Chaleur de réaction
 - 1.3 Équilibre thermochimique
 - 1.4 Cinétique chimique
- 2 Caractéristiques générales
 - 2.1 Réactifs et produits de combustion
 - 2.2 Apparition d'une combustion
 - 2.3 Combustion neutre
 - 2.4 Combustion réelle
 - 2.5 Appareils d'analyse pour la combustion
- 3 Installations industrielles
 - 3.1 Technologie des appareils énergétiques
 - 3.2 Bilan d'utilisation
- 4 Pollution
 - 4.1 Poussières
 - 4.2 Hydrocarbures
 - 4.3 Monoxyde de carbone
 - 4.4 Oxydes de soufre
 - 4.5 Oxydes d'azote
 - 4.6 Gaz à effet de serre (GES)
- 5 Conclusion

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h, sd, sc)x1/2 + CC(EE, 1h, da : cours, exercices, livres quelconques, ca)x1/2

RESSOURCES

- [1] P. Arquès. La Combustion. Inflammation, combustion, pollution. Applications. Ellipses, 2004.
- [2] J.-P. Bédécarrats. Cycles moteurs avancés. U.E. Thermodynamique - Transfert (ENSGTI 2A).
- [3] J.-P. Bédécarrats. Thermodynamique appliquée à l'énergétique. U.E. Applications Energétiques 2ème année (ENSGTI).
- [4] L. Borel and D. Favrat. Thermodynamique et Énergétique. Volume 1, de l'énergie à l'exergie. Presses polytechniques et universitaires romandes, 2005.
- [5] L. Borel, D. Favrat, D. L. Nguyen, and M. Batato. Thermodynamique et Énergétique. Volume 2, problèmes résolus et exercices. Presses polytechniques et universitaires romandes, 3rd edition, 2008.
- [6] M. W. Jr. Chase. JANAF Thermochemical Tables. J. of Phys. and Chem. Ref. Data, 1998.
- [7] Y. Deschamps. Combustibles gazeux. utilisation et combustibilité des gaz. Techniques de l'Ingénieur, A 1751, 1990.
- [8] E. Esposito. Température et composition des gaz brûlés. Techniques de l'Ingénieur, A 1610, 1990.
- [9] M. Feidt. Énergétique : Concepts et applications. Dunod, 2006.
- [10] W. Fickett and W. C. Davis. Detonation. University of California Press, 1979.
- [11] E. Franquet. Écoulements compressibles. U.E. Thermodynamique -Transfert 2ème année (ENSGTI).
- [12] E. Franquet. Technologies de conversion. U.E. Conversion et Distribution de l'énergie 3ème année, parcours Énergétique Industrielle (ENSGTI).
- [13] I. Glassman and R. A. Yetter. Combustion. Elsevier, 2008.
- [14] J.-C. Guibet. Les carburants et la combustion. Techniques de l'Ingénieur, B 2520, 1990.
- [15] J.-C. Guibet. Carburants et moteurs. Editions Technip, 1997.
- [16] D. Hailot. Air humide. U.E. Thermodynamique -Transfert 2ème année (ENSGTI).
- [17] A. Lallemand. Énergétique de la combustion - aspects fondamentaux. Techniques de l'Ingénieur, BE 8311, 2013.
- [18] A. Lallemand. Énergétique de la combustion - caractéristiques techniques. Techniques de l'Ingénieur, BE 8312, 2013.
- [19] S. Laurent. Thermodynamique chimique. U.E. Thermodynamique-Bilan 1ère année (ENSGTI).
- [20] P. Le Cloirec. Traitement des fumées. Techniques de l'Ingénieur, BE 8856, 1990.
- [21] A. Linan and F. A. Williams. Fundamentals aspects of combustion. Oxford University Press, 1993.
- [22] M.J. Moran and G. Tsatsaronis. Engineering thermodynamics. CRC Press LLC, 2000.
- [23] M. Mory. Mécanique des fluides II. U.E. Transfert-Mécanique II 2ème année (ENSGTI).
- [24] R. Pachauri and A. Reisinger. Bilan 2007 des changements climatiques : Rapport de synthèse. Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat, 2007.
- [25] J. Parisot. Conception et calcul des chaudières : généralités et bilans. Techniques de l'Ingénieur, B 1460, 1990.
- [26] N. Peters. Turbulent Combustion. Cambridge University Press, 2000.
- [27] G. Prudhon, F. Jacquesson, J. Lete, and S. Paris. Combustibles solides. charbon. Techniques de l'Ingénieur, BE 8 531, 1990.
- [28] J.-P. Serin. Thermodynamique générale. U.E. Thermodynamique-Bilan 1ère année (ENSGTI).
- [29] American Chemical Society and the American Institute of Physics for the National Bureau of Standards, editors. The NBS tables of chemical thermodynamic properties : selected values for inorganic and C1 and C2 organic substances in SI units. J. of Phys. and Chem. Ref. Data, 1982.

[30] J. Warnatz, U. Maas, and R. W. Dibble. *Combustion. Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and Simulations, Experiments, Pollutant Formation*. Springer, 1999.

PRÉREQUIS

Thermodynamique générale (EC15TB2)
Thermodynamique chimique (EC15TB3)
Mécanique des fluides I (EC16TM4)

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Modélisation et Simulation des systèmes S7

ECTS : 10

CODE UE : EE27MS

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

•Etre capable de modéliser un problème de thermique ou d'énergétique et de mettre en œuvre et d'utiliser différents moyens ou outils informatiques de simulation ou de programmation

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EE27MS1	CFD
EE27MS2	Modélisation numérique

UE : MODELISATION ET SIMULATION DES SYSTEMES S7

EE27MS

ECTS : 10

UP : CFD

EE27MS1

Coeff. : 0,500

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **FRANQUET E.**

CM : 18 h

TD : 32 h

TP : h

AP : 20 h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Les avantages de la simulation numérique pour le développement et l'amélioration de processus ou d'objets industriels sont maintenant bien connus. En conséquence, il est primordial de maîtriser les concepts associés, ceux-ci étant assez universels et indépendants du domaine d'étude ou d'une solution logicielle particulière. Finalement, l'expérience personnelle revêtant aussi un caractère fondamental, des cas pratiques permettent de mettre en application les notions développées (sous l'environnement Ansys).

COMPÉTENCES VISÉES

Maîtriser les concepts de base d'une simulation afin de construire, juger ou réaliser une étude ;
Etre capables de résoudre un problème complexe avec un code industriel ;
Savoir quelles sont les forces et les faiblesses des simulations industrielles

CONTENU

- 0 Introduction
- 1 Géométrie et maillage
- 2 Modélisation physique
- 3 Modélisation numérique
- 4 Post-traitement
- 5 Conclusion

MODALITÉS D'ÉVALUATION

Proj(Tr, Rap)

RESSOURCES

- [1] M. Böhle, D. Etling, U. Müller, K.R. Sreenivasan, U. Riedel, and J. Warnatz. Prandtl's essential of Fluid Mechanics. Springer, 2004
- [2] F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. Lavine. Fundamentals of heat and mass transfer. Wiley, 6th edition, 2007
- [3] Y. Nakayama. Introduction to Fluid Mechanics. Butterworth-Heinemann, 2000
- [4] J. Blazek. Computational fluid dynamics : principles and applications. Elsevier, 2001
- [5] T. Cebeci, J. P. Shao, F. Kafyeke, and E. Laurendeau. Computational Fluid Dynamics for Engineers. Horizons Publishing, 2005.
- [6] K. A. Hoffmann and S. T. Chiang. Computational Fluid Dynamics. Volume I. fourth edition, 2000.
- [7] K. A. Hoffmann and S. T. Chiang. Computational Fluid Dynamics. Volume II. fourth edition, 2000.

- [8] J. F. Wendt, editor. Computational Fluid Dynamics. An Introduction. Springer, 2009.
- [9] John D. Jr Anderson. Computational Fluid Dynamics. The basics with applications. McGraw-Hill, New York, 1995.
- [10] Suhas V. Patankar. Numerical heat transfer and fluid flow. McGraw-Hill, New York, 1980.
- [11] H. K. Versteeg and W. Malalasekera. An Introduction to computational fluid dynamics. The finite volume method. Pearson Education Limited, Harlow, second edition, 2007.
- [12] AIAA guide for the verification and validation of computational fluid dynamics simulations. Technical report, 1998.
- [13] Best practice guidelines for industrial computational fluid dynamics of single-phase flows. Technical report, European Research Community on Flow, Turbulence And Combustion (ERCOFTAC), 2000
- [14] Best practice guidelines for industrial computational fluid dynamics of multi-phase flows. Technical report, European Research Community on Flow, Turbulence And Combustion (ERCOFTAC), 2000.
- [15] William L. Oberkampf and Timothy G. Trucano. Verification and validation in computational fluid dynamics. Sandia report, 2002.

PRÉREQUIS

Thermodynamique générale (EC15TB2)
Thermodynamique chimique (EC15TB3)
Bilans (EC15TB4)
Conduction I (EC15TM2)
Diffusion (EC15TM3)
Rayonnement (EC15TM4)
Mécanique des fluides I (EC16TM4)
Calcul scientifique I (EC16MI2)
Conduction II (EE16MT1)
Transferts con

UE : MODELISATION ET SIMULATION DES SYSTEMES S7

EE27MS

ECTS : 10

UP : MODELISATION NUMERIQUE

EE27MS2

Coeff. : 0,500

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **GIBOUT S.**

CM : 8 h

TD : 32 h

TP : h

AP : 15 h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'objectif de ce module est de fournir à l'étudiant les techniques et outils lui permettant de résoudre numériquement les équations différentielles et aux dérivées partielles couramment rencontrées dans le domaine de l'énergétique.

COMPÉTENCES VISÉES

A l'issue de ce module, les étudiants doivent savoir :

1. Poser les hypothèses nécessaires à la modélisation et écrire les principales équations
2. Choisir, selon le type de problème, le schéma de discrétisation le mieux adapté
2. Implémenter les algorithmes de résolution
3. Présenter, analyser et critiquer les résultats obtenus

CONTENU

Présentation de la méthode des volumes finis

Discrétisation spatiale : cas 1D, 2D, 3D en géométrie cartésienne, cylindrique et sphérique

Discrétisation temporelle : schémas explicite et (semi-)implicite

Différents types de condition à la limite

Cas de paramètres dépendant du temps et/ou de l'espace

Modélisation des changements de phase

Ecoulements

MODALITÉS D'ÉVALUATION

Proj(Rap, code)

RESSOURCES

PRÉREQUIS

Ce module s'appuie sur les compétences acquises en première année dans le domaine du calcul scientifique, de la programmation et bien entendu de la physique.

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Opération Unitaire S7

ECTS : 10

CODE UE : EP27OU

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

•Connaître les bases théoriques pour la sélection, le dimensionnement et la modélisation des opérations unitaires de séparation : cristallisation, séchage, distillation, absorption, extraction...

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EP27OU1	Cristallisation
EP27OU2	Séchage - Air humide
EP27OU3	Modélisation thermodynamique I
EP27OU4	Distillation
EP27OU5	Extraction Liquide-Liquide
EP27OU6	Absorption
EP27OU7	Physico-chimie des interfaces

UE : OPERATION UNITAIRE S7

EP27OU

ECTS : 10

UP : CRISTALLISATION

EP27OU1

Coeff. : 0,100

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **SERIN J-P.**

CM : 4 h

TD : 6 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Des unités de cristallisation sont utilisées dans l'industrie chimique afin de purifier de solutions ou de former des produits cristallins tels le sucre, certains médicaments ...
L'objectif principal de ce cours est d'appréhender les bases de la cristallisation

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent :

- Connaître les différentes étapes de la cristallisation
- Pouvoir citer des cristallisoirs utilisés industriellement
- Être capable d'effectuer des bilans sur une unité de cristallisation
- Connaître des éléments permettant de sélectionner un cristallisoir

CONTENU

Partie I : Etapes de la cristallisation

Les étapes se déroulant lors de la cristallisation sont présentées (sursaturation, nucléation, croissance, évolutions). Les facteurs-clés sont identifiés à partir de l'étude énergétique et cinétique de chaque étape.

Partie II : Cristallisoirs industriels

Le fonctionnement de plusieurs cristallisoirs utilisés dans l'industrie est présenté. Les méthodes utilisées pour obtenir la sursaturation et pour agiter sont décrites, ainsi que les contraintes qui en découlent et l'impact sur les cristaux produits.

Partie III : Choix d'un cristallisoir

- contraintes industrielles et données thermodynamiques
- génération de la sursaturation et méthode d'agitation
- bilans (masse, énergie, population)

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h30, ca)

RESSOURCES

Puel F., Veesler S., Mangin D., Cristallisation Aspects Théoriques, TI J2 710.

Mullin J. W., Crystallization 3rev. ed., Butterworth-Heinemann 1993.

Klein J-P., Boistelle R., Dugua J., Cristallisation industrielle Aspects Pratiques J2 788.

PRÉREQUIS

Cours de Thermodynamique générale et Bilans (1A tronc commun)

UE : OPERATION UNITAIRE S7

EP27OU

ECTS : 10

UP : SECHAGE - AIR HUMIDE

EP27OU2

Coeff. : 0,200

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **BERNADA P.**

CM : 10 h

TD : 10 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Après un rappel des propriétés psychrométriques de l'air humide, deux cas d'évaporation sont étudiés : le tube de Stefan, et l'évaporation convective. Ces deux exemples servent d'introduction à la partie la plus importante du cours : le séchage d'un matériau solide, vu comme une opération unitaire d'un procédé.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent être capables de :

- Evaluer toutes les propriétés psychrométriques de l'air humide à partir de deux d'entre elles,
- Calculer un taux d'évaporation dans des cas simples du tube de Stefan et de l'évaporation convective sur une plaque plane horizontale,
- Dimensionner un sécheur, (calculer son diamètre, sa longueur), à partir d'un débit de production.

CONTENU

I Air humide

Propriétés psychrométriques de l'air humide, diagramme de l'air humide

II Evaporation

- Evaporation en air stagnant (tube de Stefan),
- Evaporation convective,

III Séchage

- Étude de l'eau dans les solides,
- caractérisation des différents types de produits destinés au séchage,
- description de quelques procédés de séchage (convectif, vide, contact...)
- Étude détaillée d'un cas particulier de séchage convectif de milieu poreux

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, da : notes de cours, ca)

RESSOURCES

handbook of industrial drying, Mujumdar, 1992

séchage : des processus physiques aux procédés industriels, ed Tec&Doc, Nadau et Puiggali, 1995

PRÉREQUIS

UE : OPERATION UNITAIRE S7

EP27OU

ECTS : 10

UP : MODELISATION THERMODYNAMIQUE I

EP27OU3

Coeff. : 0,200

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : RENAUME J-M., CEZAC P.

CM : 10 h

TD : h

TP : h

AP : 16 h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Nous présentons ici une méthodologie générale pour la modélisation thermodynamique des procédés. Les différents types de modèle sont classés suivant la nature des équations. Nous décrivons ensuite les principales méthodes numériques de résolution et illustrons les modèles sur des exemples de Génie des Procédés. Au cours d'un projet, les étudiants doivent formuler un modèle d'opération unitaire et écrire un programme (FORTRAN) pour sa résolution.

COMPÉTENCES VISÉES

- Formuler un modèle : définition des variables (variables d'état/paramètres) et des équations (équation constitutives, bilans macroscopiques, contraintes...),
- Choisir une stratégie de résolution et une méthode numérique (en cohérence avec la nature des équations),
- Ecrire un programme général et structuré en FORTRAN pour la résolution du problème.

CONTENU

Chap. I : Systèmes algébriques

- Exemple illustratif : Unité de séparation multi-constituant, multi-étagée en régime stationnaire
- Méthodes numériques : Systèmes linéaires (méthodes directes et indirectes, systèmes creux...), systèmes non linéaires (Newton-Raphson, Quasi Newton...)

Chap. II : Systèmes d'équations différentielles ordinaires

- Exemple illustratif : Réacteur piston idéal en régime permanent
- Méthodes numériques : Euler, Runge Kutta, Prédicteur-Correcteur

Chap. III : Systèmes d'équations aux dérivées partielles

- Exemple illustratif : Réacteur piston idéal en dynamique
- Méthodes numériques : Cf. UP EC28MI1

MODALITÉS D'ÉVALUATION

Proj(Rap, Prog)

RESSOURCES

Process modeling, simulation, and control for chemical engineers W.L. Luyben McGraw-Hill, 1990

PRÉREQUIS

Programmation FORTRAN – EC15M12

UE : OPERATION UNITAIRE S7

EP27OU

ECTS : 10

UP : DISTILLATION

EP27OU4

Coeff. : 0,100

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : RENAUME J-M.

CM : 10 h

TD : 8 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'objectif est d'introduire les notions de bases relatives à la distillation.

COMPÉTENCES VISÉES

- Avoir les connaissances de base concernant la distillation
- Être capables d'écrire des bilans de matière et d'énergie dans ce contexte
- Être capables d'évaluer le Nombre d'Etages Théoriques de ces opérations unitaires par une méthode graphique ou analytique
- Avoir des connaissances de base concernant la distillation azéotropique, la distillation extractive
- Être capables de proposer le Design d'une colonne de distillation (diamètre ...)

CONTENU

- Distillation mono et multi étagée
- Méthode de McCabe et Thiele (reflux minimum, reflux total...)
- Méthode de Ponchon et Savarit Method (reflux minimum, reflux total...)
- Soutirages et alimentations multiples...
- Distillation azéotropique
- Distillation Batch
- Distillation multi-constituant (Short Cuts)
- Hydrodynamique et dimensionnement des colonnes à plateaux et à garnissage

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, ca)

RESSOURCES

Mass transfer operations R.E. Treybal Mac Graw Hill Co, New York, 1982
 Separation processes K.C. King Mac Graw Hill Co, New York, 1980
 Distillation design H. Kister Mc GrawHill, New York, 1992
 Distillation – Principles and Practice J.G. Stichlmair; J.R. Fair Wiley-VCH New-York, 1998

PRÉREQUIS

UE : OPERATION UNITAIRE S7

EP27OU

ECTS : 10

UP : EXTRACTION LIQUIDE-LIQUIDE

EP27OU5

Coeff. : 0,100

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **RENEAUME J-M.**

CM : 8 h

TD : 8 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'objectif est d'introduire les notions de bases relatives à l'extraction liquide – liquide.

COMPÉTENCES VISÉES

- Avoir les connaissances de base concernant l'extraction liquide – liquide.
- Être capables d'écrire des bilans de matière et d'énergie dans ce contexte
- Être capables d'évaluer le Nombre d'Etages Théoriques de ces opérations unitaires par une méthode graphique ou analytique

CONTENU

- Courbes de distribution et de sélectivité
- Échangeurs à co-courants et contre-courants
- Coordonnées rectangulaires, triangulaires et de Janecke

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, ca)

RESSOURCES

Mass transfer operations R.E. Treybal Mac Graw Hill Co, New York, 1982
Separation processes K.C. King Mac Graw Hill Co, New York, 1980
Liquid-Liquid Extraction Equipment J.C. Godfrey, M.J. Slater John Wiley & Sons, Chichester, 1994

PRÉREQUIS

UE : OPERATION UNITAIRE S7

EP27OU

ECTS : 10

UP : ABSORPTION

EP27OU6

Coeff. : 0,100

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : CASTERAN F.

CM : 8 h

TD : 8 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'objectif est d'introduire les notions de bases relatives aux opérations unitaires d'absorption et de désorption.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent :

- Avoir les connaissances de base concernant l'absorption, la désorption
- Être capables d'écrire des bilans de matière et d'énergie dans ce contexte
- Être capables d'évaluer le Nombre d'Etages Théoriques de ces opérations unitaires par une méthode graphique ou analytique
- Être capables d'évaluer le Nombre d'Unité de Transfert et la Hauteur d'Unité de Transfert de ces opérations par une méthode graphique ou analytique
- Être capables de proposer le Design d'une colonne d'absorption (diamètre, ...)

CONTENU

- Présentation - Définition Absorption
- Équilibre thermodynamique entre phases
- Absorption isotherme
 - Ecriture des bilans de matière et d'énergie
 - Taux de solvant minimum
 - Concept d'étage théorique
 - Méthode de Mac Cabe et Thiele
 - Concept d'Unité de Transfert
- Absorption non isotherme

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, ca)

RESSOURCES

- Mass transfer operations R.E. Treybal Mac Graw Hill Co, New York, 1982
- Separation processes K.C. King Mac Graw Hill Co, New York, 1980

PRÉREQUIS

UE : OPERATION UNITAIRE S7

EP27OU

ECTS : 10

UP : PHYSICO-CHEMIE DES INTERFACES

EP27OU7

Coeff. : 0,200

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **ALEXANDROVA S.**

CM : 10 h

TD : 10 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Ce cours fournit les principes fondamentaux de la physico-chimie des surface et des interfaces : systèmes à un et plusieurs constituants, ségrégation et adsorption, structures des surfaces et des interfaces, forces interfaciales,...

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent être capable de :

- expliquer le phénomène physique (tensions superficielle et interfaciale, énergie de surface, mouillage, phénomènes de capillarité, ...)
- connaître les techniques expérimentales de mesure (tensions superficielle et interfaciale, angle de mouillage,...)
- expliquer les phénomènes d'adsorption des gaz/vapeurs sur des solides, obtenir des isothermes d'adsorption, calculer la chaleur d'adsorption, déterminer la cinétique...

CONTENU

Surface et d'interface : tension superficielle et interfaciale, interface fluide-liquide, interface solide-fluide (équation de Laplace, équation de Kelvin, équation de Young –Dupré, isothermes de Langmuir et de BET), forces d'adhésion et de cohésion,...

Saturation, Condensation capillaire, Adsorption, Mouillage

Porosité et détermination du rayon des pores

Détergence, cristallisation et autres applications dans l'Industrie

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h30min, da:formulaire, ca)

RESSOURCES

Physical Chemistry of Surfaces, A. W. ADAMSON, John Wiley&Sons, Inc, 1990

Interfacial Transport Phenomena, J. C. Slattery, Springer-Verlag, 1990

PRÉREQUIS

Thermodynamique générale, Transfert de matière

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Réacteur S7

ECTS : 5

CODE UE : EP27RE

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Savoir évaluer le transfert de matière entre phases (Gaz/Liquide) et le transport en milieu poreux ; Savoir appliquer ces notions au dimensionnement de réacteurs hétérogènes
- Savoir modéliser l'hydrodynamique des réacteurs non idéaux en phase homogène
- Savoir concevoir les opérations unitaires de mélange en phase homogène ou hétérogène

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EP27RE1	Réacteurs polyphasiques
EP27RE2	Distribution des temps de séjour
EP27RE3	Agitation

UE : REACTEUR S7

EP27RE

ECTS : 5

UP : REACTEURS POLYPHASIQUES

EP27RE1

Coeff. : 0,600

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **CONTAMINE F.**

CM : 20 h

TD : 20 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Ce cours aborde l'analyse des réacteurs polyphasiques. Après avoir traité le cas des réacteurs diphasiques fluide-fluide, ce cours traite le cas des réactions fluide-solide où l'on retrouve les réacteurs catalytiques et les réacteurs fluide-solide consommable.

Le dimensionnement de ces réacteurs est abordé après avoir analysé les influences des différents phénomènes de transfert, de transport et la réaction chimique.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent :

- être capable de décrire le transfert d'un soluté à une interface fluide/fluide avec présence ou non dans une des phases présence de réaction chimique.
- Etre capable de décrire le transport dans un milieu poreux (catalyseur)
- Etre capable de comparer l'impact des phénomènes physique et chimique dans le cas d'une réaction en milieu polyphasique
- Etre capable d'aborder le dimensionnement de réacteurs hétérogènes

CONTENU

Partie I : Transfert à une interface gaz-liquide avec réaction chimique

Effet de la réaction sur le transfert de matière à une interface gaz-liquide

Cas des réactions irréversibles du second ordre

Bilans matières dans des réacteurs idéaux diphasiques

Dimensionnement

Partie II : Réacteur catalytique

Transport en milieu poreux – diffusivité effective

Diffusion et réaction dans un catalyseur

Notion d'efficacité- limitation diffusionnelle

Effet du transfert externe à la particule

Particules non isothermes : gradients de température interne et externe

Bilans matières dans des réacteurs catalytiques

Partie III : réactions fluide-solide consommable

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h)

RESSOURCES

PRÉREQUIS

Cinétique (GP1RE1), GRC (GP1RE2)

UE : REACTEUR S7		EP27RE	ECTS : 5
UP : DISTRIBUTION DES TEMPS DE SEJOUR		EP27RE2	Coeff. : 0,200
ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : MERCADIER J.			
CM : 8 h	TD : 8 h	TP : h	AP : h
UP obligatoire		Langue : Français	

INTRODUCTION

La distribution des temps de séjour (DTS) est une méthode simple de modélisation de l'hydrodynamique de réacteurs réels.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent :

- Identifier les problèmes d'écoulement à partir de l'analyse de la distribution des temps de séjour comme les courts circuits ou les volumes morts...
- Déterminer différents paramètres comme le temps de séjour moyen, le nombre de mélangeurs en cascade à partir de résultats expérimentaux
- Construire des modèles constitués d'assemblage de réacteurs idéaux
- Déterminer les taux de conversion de réacteurs modélisés par ce type d'assemblage, notamment lors de la mise en œuvre de réactions du premier ordre

CONTENU

Distribution des temps de séjour (DTS)

Temps de séjour. Méthodes expérimentales pour la détermination de la DTS, impulsion, échelon. Expression mathématique de la DTS. Théorème de Van Der Laan et calcul des moments de la distribution.

Modèles d'écoulement, modèle de mélangeurs en cascade, modèle à dispersion axiale, association de réacteurs idéaux.

Taux de conversion dans des réacteurs non idéaux.

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 45 min)x0,35 + CC(EE, da, 1h15)x0,65

RESSOURCES

Villermaux J., Génie de la réaction chimique - Conception et fonctionnement des réacteurs, Lavoisier, technique et documentation, 1993 (2ème édition)

Euzen J.P., P. Trambouze, J.P. Wauquier, Méthodologie pour l'extrapolation des procédés chimiques, éditions Technip, 1993

Trambouze P., H. Van Landeghem, J.P. Wauquier, Les réacteurs chimiques (conception, calcul, mise en œuvre), Technip, 1984

PRÉREQUIS

Cours de génie de la réaction chimique: Bilans dans les réacteurs idéaux

UE : REACTEUR S7		EP27RE	ECTS : 5
UP : AGITATION		EP27RE3	Coeff. : 0,200
ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : ALEXANDROVA S.			
CM : 6 h	TD : 6 h	TP : h	AP : h
UP obligatoire		Langue : Français	

INTRODUCTION

Cet enseignement a pour but de donner les bases du mélange et des systèmes d'agitation à utiliser dans les systèmes liquide-liquide, gaz-liquide et solide-liquide pour atteindre un taux d'homogénéité demandé.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent être capable de :

- décrire avec précision les problèmes de mélange à résoudre en fonction du système à traiter
- choisir le type d'équipement à utiliser, calculer ses caractéristiques et faire une estimation économique
- pouvoir effectuer un scale-up

CONTENU

- Introduction et définitions
- Grandeurs caractéristiques d'un système d'agitation
- Application de l'agitation aux opérations L – L : liquides miscibles et immiscibles
- Application de l'agitation aux opérations Gaz - Liquide
- Application de l'agitation aux opérations Solide - Liquide
- Application de l'agitation aux opérations Solide – Solide
- Extrapolation

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 30 min, sd)x1/3 + CC(EE, 1h, da: cours+formulaire, ca)x2/3

RESSOURCES

Engineering data on Mixing, R. Mezaki, M. Mochizuki, K. Ogawa, Elsevier, 2000
 Agitation et Mélange, Catherine Zuereb, Martine Poux, Joël Bertrand, Dunod, 2006
 Techniques de l'ingénieur, Ed. Techniques de l'ingénieur, 1993
 Mechanics of Fluids , I. H. Shames, McGraw-Hill, Inc., New York, 1992
 Mécanique des fluides et hydrolique, R.V. Giles, J. B. Evett, C. Liu, Série Schaum, McGraw-Hill, Inc., New York, 1995

PRÉREQUIS

Mécanique des fluides

SEMESTRE 8

LISTE DES UNITÉS D'ENSEIGNEMENT (UE) DU SEMESTRE

TRONC COMMUN, SPECIALITÉ ou PARCOURS	CODE UE	INTITULÉ UE	ECTS
TC	EC28LC	Langue - Culture de l'Ingénieur S8	6
TC	EC28MI	Mathématique - Informatique S8	6
EN	EE28EA	Energétique Appliquée S8	9
EN	EE28TS	Thermodynamique des Systèmes S8	9
GP	EP28DS	Dynamique - Sécurité S8	7
GP	EP28TO	Thermodynamique - Opération unitaire S8	11

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Langue - Culture de l'Ingénieur S8

ECTS : 6

CODE UE : EC28LC

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Comprendre les concepts de base du marketing
- Être capable de mettre en œuvre une démarche scientifique dans le cadre d'un projet de recherche (recherche bibliographique, synthèse, analyse, innovation, rédaction et présentation de travaux de recherche)
- Connaître les principes fondateurs de la qualité : norme, audit, certification...
- Connaître les enjeux et méthodes de gestion de la sécurité en entreprise

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EC28LC1	Marketing
EC28LC2	Projet Recherche Développement Innovation
EC28LC3	Management de la qualité et de la sécurité

UE : LANGUE - CULTURE DE L'INGENIEUR S8		EC28LC	ECTS : 6
UP : MARKETING		EC28LC1	Coeff. : 0,333
ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : ELAYOUBI M.			
CM : 20 h	TD : 10 h	TP : h	AP : h
UP obligatoire		Langue : Français	

INTRODUCTION

Les objectifs et les outils de la stratégie marketing

COMPÉTENCES VISÉES

- savoir analyser et comprendre l'environnement de l'entreprise en dégagant une problématique marketing
- maîtriser les logiques et les outils de la stratégie marketing
- apprendre à réaliser une étude de marché (quantitative/qualitative)
- connaître et utiliser les 4 variables du mix marketing

CONTENU

Intérêt du marketing

Diagnostic et études de marché

La stratégie : segmentation, ciblage, positionnement

Le marketing mix : produit, prix, distribution, communication

Focus sur le marketing international

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h)

RESSOURCES

Ouvrages :

- Kotler et Keller (2010) Marketing Management, Pearson
- Malaval et Bénaroya (2011) Du marketing industriel au marketing des affaires, Pearson
- Décaudin et Malaval (2015) Pentacom, Pearson
- Presse spécialisée (et sites Internet correspondants)
- Presse généraliste économique : Capital, Management, Les Echos, etc
- Communication : « Stratégies » ou www.strategies.fr www.cbnews.fr
 - Distribution : « Libre Service Actualités » (LSA) / « Points de vente »
- « Que choisir », « 60 millions de consommateurs » : magazines de la consommation
- « L'Usine nouvelle » : magazine de l'industrie et du B to B
 - www.e-marketing.fr

Association Française du Marketing : www.afm-marketing.org

PRÉREQUIS

Culture générale contemporaine

UE : LANGUE - CULTURE DE L'INGENIEUR S8		EC28LC	ECTS : 6
UP : PROJET RECHERCHE DEVELOPPEMENT INNOVATION		EC28LC2	Coeff. : 0,500
ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : SERRA S.			
CM : h	TD : h	TP : h	AP : 30 h
UP obligatoire		Langue : Français	

INTRODUCTION

Le Projet Recherche Développement Innovation a pour but de permettre une ouverture à l'innovation et une initiation à la recherche.

COMPÉTENCES VISÉES

- Etre capable de faire une recherche bibliographique, notamment à partir de bases de données en ligne
- Etre capable de faire une synthèse de différents travaux de recherche
- Etre capable d'effectuer une analyse critique
- Etre capable de proposer une solution innovante
- Etre capable de rédiger un document en respectant des consignes (Template)

CONTENU

I.Analyse bibliographique :

- Etat de l'art dans le domaine défini par le sujet
- Utilisation des bases de données en ligne
- Analyse critique des travaux antérieurs

II.Développement – Innovation

- Proposition d'un axe de Développement/Innovation
- Justification d'un point de vue scientifique et, éventuellement en fonction du sujet, d'un point de vue économique et/ou sociétal (Développement Durable)
- Proposition d'un plan d'action (développement d'outils logiciels, de protocoles expérimentaux, financement du projet...) et éventuelle réalisation, totale ou partielle, du plan d'action.

MODALITÉS D'ÉVALUATION

Proj(Rap)x1/2 + Proj(Sout)x1/2

RESSOURCES

PRÉREQUIS

UE : LANGUE - CULTURE DE L'INGENIEUR S8

EC28LC

ECTS : 6

UP : MANAGEMENT DE LA QUALITE ET DE LA SECURITE

EC28LC3

Coeff. : 0,167

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : RICARDE M.

CM : 10 h

TD : 10 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

La qualité occupe une importance centrale dans les entreprises. Cette formation a pour but de préparer les ingénieurs à cette dimension, que ce soit pour les aspects managériaux ou pour les aspects plus techniques liés au monde industriel.

Cet enseignement s'appuie sur des exemples concrets d'unités de production ou de projets industriels.

Ce cours aborde également le système de management HSE.

Plateforme pédagogique <https://elearn.univ-pau.fr/>

COMPÉTENCES VISÉES

Les compétences développées par cet enseignement permettent aux élèves de s'intégrer dans un service qualité ou de décliner la démarche qualité dans d'autres services.

CONTENU

La qualité – système de management

Principes fondateurs de la qualité / notions / vocabulaire ISO 9000.

Les exigences de la norme ISO 9001.

L'amélioration continue - Plan Do Check Act

Le système documentaire.

Les audits (objectifs et déroulement).

La certification & les normes.

La qualité - les outils de base :

Pareto

5M

Diagramme cause / effet

QOQCCP

Brainstorming et réunion efficace

Traçabilité

La qualité - les outils de statistiques :

Contrôle de réception normalisé (MIL STD 105.D/NFX 06-022)

Capabilité & carte de contrôle

Plan d'expérience (initiation)

Système de management HSE :

Accident (taux de gravité et taux de fréquence) – La prévention et l'évaluation des risques –

Les acteurs de la sécurité – La réglementation – La responsabilité – Substances dangereuses

et produits chimiques – L'organisation HSE en entreprise

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, ca)

RESSOURCES

Normes ISO9000 et ISO9001.

Formulaires et outils qualité AFNOR.

Appliquer la maîtrise statistique des procédés MSP-SPC, Maurice PILLET, Editions d'organisation.

Méthodes et outils pour résoudre un problème, Alain-Michel CHAUVEL, L'USINE NOUVELLE.

Qualité en production, Daniel DURET & Maurice PILLET, Editions d'organisation.

PRÉREQUIS

Sans objet

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Mathématique - Informatique S8

ECTS : 6

CODE UE : EC28MI

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Savoir simuler le transfert couplé de chaleur et de matière par résolution numérique des équations aux dérivées partielles
- Savoir formuler et caractériser les différents types de problèmes d'optimisation ; avoir les connaissances de base concernant les principaux algorithmes de résolution
- Savoir construire un plan d'expériences

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EC28MI1	Calcul scientifique II
EC28MI2	Méthodes d'optimisation
EC28MI3	Plans d'expériences

UE : MATHEMATIQUE - INFORMATIQUE S8		EC28MI	ECTS : 6
UP : CALCUL SCIENTIFIQUE II		EC28MI1	Coeff. : 0,500
ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : COUTURE F.			
CM : 20 h	TD : h	TP : 20 h	AP : h
UP obligatoire		Langue : Français	

INTRODUCTION

Différentes méthodes pour résoudre les EDP sont présentées d'un point de vue pratique et appliquées pour simuler les phénomènes de transport.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent être capable de simuler les phénomènes de transport de chaleur et de masse par résolution numérique d'équations conservatives de convection diffusion.

CONTENU

Principes :

Discrétisation en temps – Discrétisation en espace – Consistance, stabilité, convergence.

Discrétisation en temps :

Différences finies – Méthodes des pas fractionnaires.

Discrétisation en espace :

Différences finies (1D, 2D, équations hyperbolique et parabolique) – Eléments finis (1D, 2D, équations hyperbolique et parabolique) – Volumes finis (1D, 2D, équations hyperbolique et parabolique)

TP numérique

Simulation du transport de masse (ou de chaleur) par résolution numérique d'une EDP.

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 30mn)x1/3 + TP (PA)x1/3 + TP(Prog)x1/3

RESSOURCES

RAVIART P.A., THOMAS J.M., Introduction à l'analyse des équations aux dérivées partielles, Paris, Masson, 1992.

LASCAUX P., THEODOR R., Analyse numérique matricielle appliquée à l'art de l'ingénieur. 1 Méthodes directes, Paris, Masson, 1993.

DHATT G., TOUZOT G., une présentation de la méthode des éléments finis, Paris, Maloine S.A. éditeur, 1984

PRÉREQUIS

Fortran (EC15MI1), méthode de résolution des systèmes linéaires (EC15MI2)

UE : MATHÉMATIQUE - INFORMATIQUE S8

EC28MI

ECTS : 6

UP : MÉTHODES D'OPTIMISATION

EC28MI2

Coeff. : 0,333

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **RENEAUME J-M.**

CM : 10 h

TD : 20 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'optimisation est désormais un outil quantitatif d'aide à la décision reconnu. Les étudiants sont ici initiés à la formulation d'un problème d'optimisation (définition de la fonction objectif, des variables, des contraintes) et à sa résolution (algorithmes, outils logiciel).

COMPÉTENCES VISÉES

- Être capables de formuler un problème d'optimisation
- Être capables de caractériser le problème formulé (LP, NLP, MILP ou MINLP) et de choisir un algorithme adapté à sa résolution (Algorithmes génétiques, Simplexe, SQP, Branch and Bound, OA/ER ...)
- Avoir des connaissances de base sur les principaux algorithmes
- Être capable d'utiliser certains outils : Excel®, GAMS®

CONTENU

Nous présentons ici les concepts de base de l'optimisation et les principaux algorithmes pour les différentes classes de problème :

- Optimisation sans contrainte (mono et multi variable) : Nombre d'or, Simplex, Algorithmes Génétiques, Recuit Simulé, Plus grande pente, Gradient Conjugué, Newton...
- Programmation Linéaire (LP) : Simplex
- Programmation Non Linéaire (NLP) : Programmation Quadratique, Linéarisation successive, Programmation Quadratique Successive
- Programmation Linéaire en variables Mixtes (MILP) : Branch and Bound
- Programmation Non Linéaire en variables Mixtes (MINLP) : Outer Approximation

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, da : tutoriel)

RESSOURCES

Nonlinear and Mixed-Integer Optimization – Fundamentals and Applications C.A. Floudas
Oxford University Press, 1995

Practical Methods of Optimization R. Fletcher Second Edition, Wiley-Interscience Publication,
1996

PRÉREQUIS

UE : MATHÉMATIQUE - INFORMATIQUE S8

EC28MI

ECTS : 6

UP : PLANS D'EXPERIENCES

EC28MI3

Coeff. : 0,167

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **TINSSON W.**

CM : 14 h

TD : 6 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Les expériences à réaliser dans le milieu industriel sont souvent complexes (car dépendantes de beaucoup de variables en entrées) et chère à réaliser (mise au point d'un médicament, réglage optimal d'un moteur, etc ...).

L'objectif de la méthode des plans d'expérience est d'obtenir un maximum d'information sur le phénomène étudié en un minimum d'expériences.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours tout étudiant doit :

- être capable de construire des plans d'expérience classiques,
- être capable d'ajuster un modèle linéaire adapté,
- être capable de modéliser un problème de mélange,
- être capable d'utiliser le logiciel Nemrod®

CONTENU

- 1) Plans d'expérience pour modèles d'ordre un,
(plans factoriels complets, fractions régulières de résolution III, ...)
- 2) Plans d'expérience pour modèles à effets d'interactions,
(plans factoriels complets, fractions régulières de résolution V, ...)
- 3) Plans d'expérience pour surfaces de réponses,
(plans composites centrés, plans de Box et Behnken, ...)
- 4) Plans d'expérience pour mélanges.
(réseaux de Scheffé, réseaux de Scheffé centrés, ...)

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, sd, ca)

RESSOURCES

Plans d'expérience : constructions et analyses statistiques (2010)
Walter TINSSON
Mathématiques et Applications, volume 67
Springer

PRÉREQUIS

Module "probabilités et statistiques" de première année

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Energétique Appliquée S8

ECTS : 9

CODE UE : EE28EA

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Etre capable de dimensionner et d'analyser un système énergétique, notamment pour le secteur du bâtiment
- Maîtriser, d'un point de vue théorique et pratique, les principes de fonctionnement et l'évaluation des performances des principales machines hydrauliques et aérauliques

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EE28EA1	Thermique du bâtiment I
EE28EA2	Réseaux fluides
EE28EA3	Thermique des changements de phase solide-liquide
EE28EA4	Technologies des pompes et des turbines
EE28EA5	TP Systèmes EA

UE : ENERGETIQUE APPLIQUEE S8

EE28EA

ECTS : 9

UP : THERMIQUE DU BATIMENT I

EE28EA1

Coeff. : 0,222

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **GIBOUT S.**

CM : 6 h

TD : 10 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Le bâtiment représente 40% des consommations énergétiques en France et 20% des émissions de CO₂. La nouvelle Réglementation Thermique s'est fixée comme objectif d'améliorer les performances énergétiques des constructions neuves en réduisant de 40% leur consommation à l'horizon 2020... sans oublier le parc immobilier existant.

La recherche de cet optimum énergétique passe également par une meilleure intégration de l'habitat à son environnement et en particulier à l'utilisation optimale des apports gratuits, par exemple le rayonnement solaire. Une habitation doit donc maintenant être appréhendée comme un système énergétique complexe, instationnaire qui doit à la fois être économe en énergie, avoir peu d'impact sur l'environnement et... assurer le confort de ses occupants !

COMPÉTENCES VISÉES

A l'issue de ce module, les étudiants doivent :

- Maîtriser la terminologie propre au domaine de la construction et de la thermique du bâtiment ;
- Définir la notion de confort thermique et en appréhender les conséquences sur les éléments constructifs
- Connaître et identifier les lois régissant les relations d'un bâtiment avec son environnement
- Comprendre le comportement thermique des enveloppes

CONTENU

1. Besoins des occupants. Notion de confort thermique
2. Structure des bâtiments
3. Comportement thermique des enveloppes
4. Bilan thermique du bâtiment

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h, sd,st, ca)x1/2 + Proj(Rap, code, da)x1/2

RESSOURCES

PRÉREQUIS

Transfert thermique

UE : ENERGETIQUE APPLIQUEE S8

EE28EA

ECTS : 9

UP : RESEAUX FLUIDES

EE28EA2

Coeff. : 0,111

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : KOUSKSOU T.

CM : 8 h

TD : 6 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

- Permettre aux étudiants d'appréhender une installation hydraulique/aéraulique pour en modifier le cahier des charges et lui donner une fonctionnalité supplémentaire.
- Permettre aux étudiants de diagnostiquer des installations hydrauliques et aéraulique.
- Permettre aux étudiants de dimensionner et d'équilibrer une installation (hydraulique/aéraulique).

COMPÉTENCES VISÉES

- Calculer les pertes de charge dans un réseau (Hydraulique/Aéraulique).
- Dimensionner les vannes, les pompes, les ventilateurs, les vases d'expansion,
- Association des pompes/ des ventilateurs.
- Équilibrer une réseau hydraulique/aéraulique.

CONTENU

Hydraulique

- Calcul des pertes de charge.
- Technologies des vannes.
- Technologies des pompes.
- Point de fonctionnement (pompe/réseau hydraulique).
- Phénomène de cavitation.
- Équilibrage d'un réseau hydraulique.
- Les vases d'expansion.
- Le coup de bélier.

Aéraulique

- Calcul des pertes de charge.
- Technologies des ventilateurs.
- Caractéristiques d'un ventilateur.
- Point de fonctionnement (ventilateur/réseau aéraulique).
- Équilibrage d'un réseau aéraulique.

MODALITÉS D'ÉVALUATION

Proj(Rap)

RESSOURCES

Hydraulique Industrielle (José Roldan Viloría)

Hydraulique : Machines et composants chez EYROLLES par G. FAYET

PRÉREQUIS

Mécanique des fluides

UE : ENERGETIQUE APPLIQUEE S8

EE28EA

ECTS : 9

UP : THERMIQUE DES CHANGEMENTS DE PHASE SOLIDE-LIQUIDE

EE28EA3

Coeff. : 0,111

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **BEDECARRATS J-P.**

CM : 6 h

TD : 8 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Apporter une connaissance de base sur les mécanismes physiques contrôlant les changements de phase liquide-solide tout en présentant les méthodes les plus souvent utilisées pour caractériser les transferts thermiques. Des modélisations existantes seront présentées.

COMPÉTENCES VISÉES

- Maîtrise des mécanismes physiques et thermiques contrôlant les changements de phase liquide-solide.
- Applications dans le domaine du stockage d'énergie, des procédés de traitement.
- Connaissance des méthodes de modélisations thermiques.

CONTENU

- Aspects fondamentaux : Généralités (équilibre de phases, cristallisation et surfusion...), changement d'état avec transfert purement conductif, changement d'état sous écoulement forcé, changement d'état avec couplage conduction-convection naturelle, solidification des mélanges multicomposants.
- Aspect système : concept d'échange (échange thermique à travers une paroi, échange thermique par contact direct). Exemples d'applications (stockage thermique par enthalpie de changement d'état, matériaux d'interface, induction directe en creuset froid, dépôt métallique, fusion du cœur d'un réacteur, congélation en milieu dispersé...)

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, sd, ca)

RESSOURCES

Mathematical Modeling of Melting and Freezing Processes, V. Alexiades et A.D. Solomon. Hemisphere Publishing Corporation. 1993

Transferts de chaleur avec changement d'état solide – liquide, A. Bricard et D. Gobin, Techniques de l'ingénieur, traité Génie énergétique. BE 8240

Stockage du froid par chaleur latente, J-P. Dumas, Techniques de l'ingénieur, traité Génie énergétique. BE 9775

PRÉREQUIS

Transfert de chaleur (EC15TM2, EE16MT1, EC15TM4, EC15TM5, EC27TM3)

UE : ENERGETIQUE APPLIQUEE S8		EE28EA	ECTS : 9
UP : TECHNOLOGIES DES POMPES ET DES TURBINES		EE28EA4	Coeff. : 0,111
ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : MORY M.			
CM : 4 h	TD : 6 h	TP : h	AP : h
UP obligatoire		Langue : Français	

INTRODUCTION

Le cours présente le principe de fonctionnement des machines hydrauliques (pompes, turbines, hélices, compresseur). Il décrit la technologie des appareils courants et précise leurs modalités d'utilisation.

COMPÉTENCES VISÉES

L'étudiant connaît le principe de fonctionnement des machines hydrauliques : couplage entre le moteur/alternateur électrique et la machine hydraulique, rôle du couple, rôle de la poussée, calcul des efforts.

L'étudiant connaît les règles de similitudes attachées aux turbomachines (Combe-Rateau) et sait classer les machines à l'aide de la vitesse spécifique de la machine.

L'étudiant connaît dans leurs grandes lignes les technologies des machines suivantes et leurs modalités d'utilisation :

- pompes : axiales, centrifuges, volumétriques
- turbines : Kaplan, Francis, Pelton
- hélices : hélice marine, éolienne (formule de Betz)
- compresseur pour gaz

Pour les liquides, les conditions d'apparition de la cavitation sont discutées.

CONTENU

Le cours est divisé en sept chapitres

I – Couplage d'un moteur/alternateur électrique avec une machine hydraulique :

fonctionnement d'un moteur/alternateur, rôle du couple et principe de l'action/réaction

II – Principes de calcul de l'écoulement dans une turbomachine hydraulique : écoulements potentiels, utilisation du théorème des quantités de mouvement pour calculer les efforts, notion de triangle de vitesse, décrochage.

III – Similitude des turbomachine (Combe-Rateau) et classification des turbomachine avec la vitesse spécifique. Courbe caractéristique d'une machine.

IV – mise en œuvre : montages en série ou en parallèles, rendements (évaluation et mesure), cavitation

V – Technologie des pompes : axiales, centrifuges, volumétriques

VI – Technologies des turbines : Kaplan, Francis, Pelton

VII – Technologie des hélices : rôle de la poussée, hélice marine, éolienne (formule de Betz)

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h, sd, st)

RESSOURCES

Écoulements pour les procédés, M. Mory, Hermès-Lavoisier, 2010.
Fluid Mechanics for chemical engineering, M. Mory, ISTE-J. Wiley, 2011.

PRÉREQUIS

Maîtrise des théorèmes globaux (Bernoulli et Quantité de mouvement) et de leurs conditions d'applications.

UE : ENERGETIQUE APPLIQUEE S8

EE28EA

ECTS : 9

UP : TP SYSTEMES EA

EE28EA5

Coeff. : 0,444

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **FRANQUET E., HAILLOT D.**

CM : h

TD : h

TP : 50 h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Ces séances de travaux pratiques correspondent à l'étude de systèmes énergétiques complets.

COMPÉTENCES VISÉES

Être capable d'analyser un système énergétique complet à partir de mesures.
Être capable de choisir une technologie et de dimensionner un système.

CONTENU

- Centrale de traitement d'air (CTA)
- Combustion gaz
- Émetteurs
- Réseau hydraulique
- Stockage par matériaux à changement de phase (MCP)
- Régulation et équilibrage réseau

MODALITÉS D'ÉVALUATION

$\text{moyenne}(\text{TP}(\text{CR})) \times 1/2 + \text{moyenne}(\text{TP}(\text{Tr}, \text{PA})) \times 1/2$

RESSOURCES

PRÉREQUIS

TP Thermo/Bilan (EC15TB5)
TP Transferts (EC15TM6)

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Thermodynamique des Systèmes S8

ECTS : 9

CODE UE : EE28TS

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Maîtriser, de façon théorique et pratique, l'application de la thermodynamique aux principaux cycles, et aux cycles moteurs en particulier, afin d'en évaluer les performances et de les dimensionner
- Maîtriser le transfert de chaleur par convection et les transferts de chaleur couplés complexes

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EE28TS1	Thermodynamique appliquée à l'énergétique
EE28TS2	TP Systèmes TS

UE : THERMODYNAMIQUE DES SYSTEMES S8		EE28TS	ECTS : 9
UP : THERMODYNAMIQUE APPLIQUEE A L'ENERGETIQUE		EE28TS1	Coeff. : 0,556
ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : BEDECARRATS J-P., HAILLOT D.			
CM : 30 h	TD : 46 h	TP : h	AP : h
UP obligatoire		Langue : Français	

INTRODUCTION

L'objectif de ce cours est de présenter une étude approfondie de la thermodynamique appliquée du point de vue classique afin de préparer les élèves à l'utiliser dans la pratique industrielle.

Cette partie traite notamment des processus habituellement rencontrés dans les systèmes énergétiques.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent :

Etre capable d'appliquer la thermodynamique aux systèmes industriels.

CONTENU

- Introduction, principes et définitions fondamentales
- Les différentes formes d'énergie, premier principe de la thermodynamique.
- Les fluides et leurs propriétés
- Analyse énergétique des systèmes fermés
- Systèmes ouverts (conservation de l'énergie, de la masse et des espèces)
- Le second principe de la thermodynamique
- L'entropie et son utilisation
- Analyse exergétique
- Les cycles moteurs à vapeur
- Les cycles moteurs à gaz
- Les cycles à réfrigération et pompes à chaleur

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, da:tables des fluides et abaqués, ca)x2/3 + CC(EM, 1,5 h)x1/3

RESSOURCES

Thermodynamique et optimisation énergétique des systèmes et procédés. M. Feidt (Tec&Doc)
ISBN 2-85206-372-7

Fundamentals of engineering thermodynamics (Moran J., Shapiro N.M. - 5th ed. - 2006 – Wiley)
ISBN-13 978-0-470-03037-0

PRÉREQUIS

Thermodynamique générale (EC15TB2),

UE : THERMODYNAMIQUE DES SYSTEMES S8

EE28TS

ECTS : 9

UP : TP SYSTEMES TS

EE28TS2

Coeff. : 0,444

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : FRANQUET E., HAILLOT D.

CM : h

TD : h

TP : **50** h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Ces séances de travaux pratiques correspondent à l'étude de systèmes complets rencontrés dans le domaine de l'énergétique en particulier ceux basés sur un cycle thermodynamique.

COMPÉTENCES VISÉES

Être capable d'analyser un système complet et en comprendre le fonctionnement.
Effectuer les bilans énergétiques du système et en déduire son rendement.

CONTENU

- Machine frigo mono-étagée
- Machine frigo bi-étagée
- Système solaire thermique
- Moteur Stirling et module Peltier
- Pile à combustible
- Dépannage d'installation frigorifique
- Diagnostic de panne sur installation frigorifique

MODALITÉS D'ÉVALUATION

$\text{moyenne}(\text{TP}(\text{CR})) \times 1/2 + \text{moyenne}(\text{TP}(\text{Tr}, \text{PA})) \times 1/2$

RESSOURCES

PRÉREQUIS

TP Thermo/Bilan (EC15TB5)
TP Transferts (EC15TM6)

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Dynamique - Sécurité S8

ECTS : 7

CODE UE : EP28DS

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Savoir concevoir et régler, d'un point de vue théorique et pratique, des boucles de contrôle
- Savoir piloter une opération unitaire dans des conditions optimales de sécurité
- Connaître les méthodes d'analyse de risques liés aux procédés

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EP28DS1	Instrumentation - Capteurs pour le génie des procédés
EP28DS2	Sécurité
EP28DS3	Travaux pratiques génie chimique DS

UE : DYNAMIQUE - SECURITE S8

EP28DS

ECTS : 7

**UP : INSTRUMENTATION - CAPTEURS POUR
LE GENIE DES PROCÉDES**

EP28DS1

Coeff. : 0,143

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **DUMAS P.**

CM : 8 h

TD : 6 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'objectif de ce cours est d'apporter aux étudiants les bases de l'instrumentation industrielle, de leur montrer les différents aspects des chaînes de contrôle depuis le capteur jusqu'à l'interface homme machine.

COMPÉTENCES VISÉES

Connaître le fonctionnement des équipements de contrôles et de mesure.

Être capable d'établir un cahier des charges pour instrumenter un procédé et de savoir-faire un calcul d'erreur avec la méthode GUM

Être capable de donner un résultat de mesure au travers de la méthode GUM

CONTENU

- 1 – Capteurs (température, niveau, débit, pression...)
- 2 – Actionneurs (vérins, pompes, vannes...)
- 3 – Notion de mesure et de commande numérique
- 4 – Métrologie, méthode GUM

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h30')

RESSOURCES

PRÉREQUIS

UE : DYNAMIQUE - SECURITE S8

EP28DS

ECTS : 7

UP : SECURITE

EP28DS2

Coeff. : 0,429

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **CONTAMINE F., MERCADIER J., OLIVIER J.**

CM : 26 h

TD : 24 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Analyse des risques (accidentologie, définitions, méthodes)

COMPÉTENCES VISÉES

Les étudiants sont capables:

- d'analyser les risques particuliers à l'industrie chimique
- de mettre en œuvre des méthodes d'analyse des risques.

CONTENU

Concepts généraux: danger, risque, gravité, probabilité

Accidents et analyse des risques

Exemples de Mexico et Bhopal

Elements du management des risques

Prendre une décision dans le cadre de la maîtrise des dangers

Identification des dangers

Identification des dangers

Analyse préliminaire des dangers

Arbre des causes

Hazop

Explosions

Deflagration detonation

Explosion de vapeurs et de poussières

Méthodes de prévention et de protection

Emballement des réacteurs

Dispersion atmosphérique

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h)

RESSOURCES

PRÉREQUIS

notions de base en procédés

UE : DYNAMIQUE - SECURITE S8

EP28DS

ECTS : 7

UP : TRAVAUX PRATIQUES GENIE CHIMIQUE
DS

EP28DS3

Coeff. : 0,429

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **BERNADA P., CEZAC P., CONTAMINE F., CASAS-MARTINEZ L., SERIN J-P., VAXELAIRE J.**

CM : h

TD : h

TP : 60 h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Les pilotes de travaux pratiques de la halle technologique de l'ENSGTI permettent de donner aux étudiants une culture indispensable des opérations unitaires rencontrées en Génie Chimique.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ces séances, les étudiants doivent avoir la connaissance requise pour analyser et résoudre les problèmes relatifs au domaine pratique du Génie Chimique

CONTENU

- o Procédés de séparation (distillation, extraction, absorption)
- o cristallisation
- o Génie de la réaction chimique
- o Cinétique hétérogène
- o Distribution du temps de séjour
- o Echangeurs de chaleur
- o Evaporateur
- o Régulation
- o Séchage
- o Filtration

MODALITÉS D'ÉVALUATION

moyenne(TP(EO))

RESSOURCES

120 H

PRÉREQUIS

notions de base en procédés

UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE) :

Thermodynamique - Opération unitaire S8

ECTS : 11

CODE UE : EP28TO

COMPÉTENCES VISÉES PAR L'UE :

- Savoir calculer les rendements énergétiques des cycles thermodynamiques industriels : turbines, machines frigorifiques
- Maîtriser les concepts théoriques relatifs aux opérations unitaires (bilans, équilibres, transferts) et savoir les mettre en œuvre de façon pratique

LISTE DES UNITÉS PÉDAGOGIQUES (UP) CONSTITUANT L'UNITE D'ENSEIGNEMENT (UE)

CODE UP	INTITULÉ UP
EP28TO1	Thermodynamique Industrielle
EP28TO2	Séparations mécaniques
EP28TO3	Procédés innovants
EP28TO4	Modélisation des opérations unitaires I
EP28TO5	Travaux pratiques génie chimique TO

UE : THERMODYNAMIQUE - OPERATION UNITAIRE S8

EP28TO

ECTS : 11

UP : THERMODYNAMIQUE INDUSTRIELLE

EP28TO1

Coeff. : 0,182

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : OLIVIER J.

CM : 10 h

TD : 10 h

TP : h

AP : 10 h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

L'objectif de ce module est d'apprendre aux étudiants à analyser différents cycles de puissance industriels et différents cycles frigorifiques et d'en calculer l'efficacité énergétique.

COMPÉTENCES VISÉES

Connaître les schémas de procédés des turbines à gaz, des cycles à vapeur, des machines frigorifiques.

Analyser le fonctionnement thermodynamique d'un cycle de puissance quelconque ; d'une machine frigorifique ou d'un ensemble d'évapo-concentrateurs ;

Calculer l'efficacité énergétique d'un cycle de puissance ou d'une machine frigorifique ;

Calculer les besoins en vapeur vive d'un procédé d'évapo-concentration.

CONTENU

Partie I : Un peu d'histoire de la thermodynamique

Partie II : Les cycles de puissance

Les turbines à gaz, les turbines à vapeur, les cycles combinés, la co-génération

Partie III : Les machines frigorifiques

Les machines à compression, les machines à absorption, les pompes à chaleur, le cycle de Brayton inversé, les cycles cryogéniques

Partie IV : Les évapo-concentrateurs (évaporateur simple effet, multi effet, compression mécanique des vapeurs, thermocompression)

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 2h, da : tables thermodynamiques,ca)

RESSOURCES

-R. GICQUEL, « Systèmes énergétiques Tome 1 et 2 », Presses de l'Ecole des Mines de Paris, 2001

-L. BOREL, D. FAVRAT, « Thermodynamique et Energétique », Presses polytechniques et universitaires romandes, 2005

- Techniques de l'ingénieur

PRÉREQUIS

Thermodynamique générale

UE : THERMODYNAMIQUE - OPERATION UNITAIRE S8

EP28TO

ECTS : 11

UP : SEPARATIONS MECANIQUES

EP28TO2

Coeff. : 0,273

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **ALEXANDROVA S., MORY M.**

CM : 28 h

TD : 12 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Le cours donne les bases des séparations mécaniques et membranaires. Trois procédés mécaniques (filtration, séparation centrifuge et fluidisation) et quatre procédés membranaires (osmose inverse, ultrafiltration, pervaporation et dialyse) sont traités en détail.

COMPÉTENCES VISÉES

Après ce cours, les étudiants doivent :

- Connaître les processus qui régissent le mouvement d'une particule dans un procédé de séparation mécanique (sédimentation gravitationnelle, suspension, fluidisation, action des forces centrifuges, ...)
- Pouvoir appliquer ces connaissances à l'échelle d'un appareil et définir les paramètres pertinents régissant leur dynamique et recommander un appareil pour un besoin spécifique ;
- Connaître les mécanismes de transfert dans des solutions, dans des milieux denses et poreux, chargés ou non ;
- Connaître les principaux procédés membranaires (osmose inverse, nanofiltration, ultrafiltration, dialyse ionique, pervaporation, membranes liquides,...) et leurs applications ;
- Pouvoir dimensionner des modules membranaires et faire une évaluation économique.

CONTENU

I : Séparations Mécaniques (M. Mory)

I - Description d'un milieu granulaire

II - Décantation des particules par gravité

III – Mise en suspension de particules par agitation

IV – Fluidisation

V - Centrifugation

Part II : Séparations Membranaires (S. Alexandrova)

I. Type de membranes (denses, poreuses, minérales, organiques, chargées, inertes)

II. Mécanismes de transport des espèces, moléculaires ou ioniques, dans une solution

III. Mécanismes de transport dans des membranes dense ou poreuses, chargées ou non.

IV. Procédés membranaires : (osmose inverse, nanofiltration, ultrafiltration, dialyse ionique, pervaporation, membranes liquides,...)

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC (EE, 1h, da:cours, ca)x1/2 + CC(EE, 1h, da:cours, ca)x1/2

RESSOURCES

Basic Principles of Membrane Technology , J. Mulder, Springer; 1996

Membrane Technology and Applications , Richard W. Baker , Wiley; 2004
Ecoulements pour les procédés, M. Mory, Hermès-Lavoisier, 2010.
Fluid Mechanics for chemical engineering, M. Mory, ISTE-J. Wiley, 2011

PRÉREQUIS

Mécanique des fluides I et II

UE : THERMODYNAMIQUE - OPERATION UNITAIRE S8

EP28TO

ECTS : 11

UP : PROCÉDES INNOVANTS

EP28TO3

Coeff. : 0,091

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **ALEXANDROVA S.**

CM : 4 h

TD : 6 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Le cours de procédés innovants vise :

- à sensibiliser les étudiants à une démarche d'innovation et d'intensification
- à donner les bases des procédés innovants existants
- donner des bases de calcul pour certains procédés avancés

COMPÉTENCES VISÉES

A la fin du cours l'étudiant doit être capable de :

- Analyser un procédé de point de vue phénomènes limitant
- Proposer des améliorations sur un procédé existant
- Chercher des solutions technologiques qui intensifient le procédé (transferts de matière et/ou de chaleur et/ou couplage de procédés)

CONTENU

- Définition de l'intensification,
- Technologies existantes : intensification des transferts et couplage de procédés
- Miniaturisation des contacteurs (notions de scale-down)
- Exemples de procédés (extraction assistée par microondes, extraction supercritique, distillation réactive...)
- Exemples de procédés couplés (bioréacteurs à membranes, ...)

MODALITÉS D'ÉVALUATION

CC(EE, 1h)x1/2 + Proj(Rap)x1/2

RESSOURCES

Bases de données Science Direct, Techniques de l'ingénieur, Scopus, ... : accès via l'ENT de l'UPPA

PRÉREQUIS

L'étudiant doit avoir suivi les cours d'opérations unitaires classiques (extraction liquide-liquide, extraction solide-liquide, absorption, adsorption, transfert de matière et transfert de chaleur)

UE : THERMODYNAMIQUE - OPERATION UNITAIRE S8

EP28TO

ECTS : 11

UP : MODELISATION DES OPERATIONS UNITAIRES I

EP28TO4

Coeff. : 0,182

ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : **RENEAUME J-M.**

CM : 4 h

TD : 16 h

TP : h

AP : h

UP obligatoire

Langue : Français

INTRODUCTION

Cet enseignement complète l'UP Modélisation thermodynamique I (EP27OU3) du semestre précédent. Nous nous intéressons ici aux modèle algébro-différentiels et aux méthodes numériques associées.

Au cours d'un projet, les étudiants doivent formuler un modèle d'opération unitaire et écrire un programme (FORTRAN) pour sa résolution. Un exemple classiquement traité est la distillation multi-constituant, mono-étagée, batch (Distillation de Rayleigh) faisant appel au modèle thermodynamique NRTL et au solveur de système d'équations algébro-différentielle DISCO®.

COMPÉTENCES VISÉES

- Formuler un modèle : définition des variables (variables d'état/paramètres) et des équations (équation constitutives, bilans macroscopiques, contraintes...),
- Écrire un programme général et structuré en FORTRAN pour résoudre un problème complexe, en utilisant une bibliothèque de solveur.

CONTENU

- Exemple illustratif : Distillation de Rayleigh (distillation multi-constituant, mono-étagée, batch)
- Méthode numérique : Gear (utilisation d'un solveur, Disco, sous forme d'une bibliothèque)

MODALITÉS D'ÉVALUATION

Proj(Rap, Prog, Sout)

RESSOURCES

Process modeling, simulation, and control for chemical engineers W.L. Luyben McGraw-Hill, 1990

PRÉREQUIS

Programmation FORTRAN – EC15MI2
Modélisation thermodynamique I – EP27OU3

UE : THERMODYNAMIQUE - OPERATION UNITAIRE S8		EP28TO	ECTS : 11
UP : TRAVAUX PRATIQUES GENIE CHIMIQUE TO		EP28TO5	Coeff. : 0,273
ENSEIGNANT(E-S) RESPONSABLE(S) : BERNADA P., CEZAC P., CONTAMINE F., CASAS-MARTINEZ L., SERIN J-P., VAXELAIRE J.			
CM : h	TD : h	TP : 60 h	AP : h
UP obligatoire		Langue : Français	

INTRODUCTION

L'objectif des TP est de donner aux étudiants une expérience pratique des principes de fonctionnement des opérations unitaires et de les familiariser avec des problèmes pratiques rencontrés en génie des procédés.

COMPÉTENCES VISÉES

Après les TP, les étudiants doivent avoir la connaissance requise pour analyser et résoudre les problèmes rencontrés dans le domaine du génie des procédés.

CONTENU

Procédés de séparation (distillation, extraction absorption)
Cristallisation
Cinétique chimique
Distribution du temps de séjour
Echangeurs de chaleur
Evaporateur
Régulation
Filtration

MODALITÉS D'ÉVALUATION

moyenne(TP(EO))

RESSOURCES

PRÉREQUIS

Bases théoriques sur les opérations unitaires