



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

اللجنة البيداغوجية الوطنية لميدان العلوم والتكنولوجيا

Comité Pédagogique National du domaine Sciences et Technologies



MASTER ACADEMIQUE **HARMONISE**

Programme National

MISE A JOUR 2025



Domaine	Filière	Spécialité
<i>Sciences et Technologies</i>	<i>Industries pétrochimiques</i>	<i>Génie pétrochimique</i>



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

اللجنة البيداغوجية الوطنية لميدان العلوم و التكنولوجيا

Comité Pédagogique National du domaine Sciences et Technologies



مواصفة ماستر أكاديمي

Mise à jour 2025

الميدان	الفرع	التخصص
علوم و تكنولوجيا	صناعات بتروكيمياوية	هندسة بتروكيمياوية

I – Fiche d'identité du Master

Conditions d'accès

Filière	Master harmonisé	Licences ouvrant accès au master	Classement selon la compatibilité de la licence	Coefficient affecté à la licence
Industries pétrochimiques	Génie pétrochimique	Raffinage et pétrochimie	1	1.0
		Génie des procédés	2	0.8
		Hydrocarbures	3	0.7
		Chimie organique (Domaine SM)	3	0.7
		Energétique	4	0.6
		Autres licences du domaine ST	5	0.6

II – Fiches d'organisation semestrielles des enseignements de la spécialité

Semestre 1 : Génie pétrochimique

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.1 Crédits : 8 Coefficients : 4	Thermodynamique appliquée	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Phénomènes de transfert II	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 1.1.2 Crédits : 10 Coefficients : 5	Chimie du pétrole et du gaz	2	1	1h30			22h30	27h30		100%
	Procédés de séparation	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Production de matières premières et de monomères	4	2	3h00			45h00	55h00		100%
UE Méthodologique Code : UEM 1.1 Crédits : 11 Coefficients : 7	TP chimie du pétrole	4	2			3h00	45h00	55h00	100%	
	TP procédés de séparation	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Production de matières premières et de monomères	3	2			2h30	37h30	37h30	100%	
	Programmation avancée en python	2	2	1h30		1h30	45h00	55h00	40%	60%
UE Découverte Code : UED 1.1 Crédits : 1 Coefficients : 1	Matière au choix	1	1	1h30			22h30	2h30		100%
Total semestre 1		30	17	12h00	4h30	8h30	375h00			

Semestre 2 : Génie pétrochimique

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestriel (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.1 Crédits : 10 Coefficients : 8	Réacteurs chimiques	6	3	3h00	1h30		67h30	82h30	40%	60%
	Production des polymères	2	1	1h30			22h30	27h30		100%
	Traitements et industrie du gaz naturel	2	1	1h30			22h30	27h30		100%
UE Fondamentale Code : UEF 1.2.2 Crédits : 8 Coefficients : 4	Procédés de raffinage	4	2	1h30	1h30		45h00	55h00	40%	60%
	Procédés de pétrochimie	4	2	3h00			45h00	55h00		100%
UE Méthodologique Code : UEM 1.2 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP de pétrochimie	4	2			3h00	45h00	55h00	100%	
	TP réacteurs chimiques	3	2	-	-	2h30	37h30	37h30	100%	
	TP Production des polymères	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
UE Transversale Code : UET 1.2 Crédits : 3 Coefficients : 3	Respect des normes et règles d'éthique et d'intégrité	1	1	1h30	-		22h30	02h30		100%
	Eléments d'IA appliquée	2	2	1h30		1h30	45h00	5h00	40%	60%
Total semestre 2		30	17	13h30	3h00	8h30	375h00	375h00		

Semestre 3 : Génie pétrochimique

Unité d'enseignement	Matières	Crédits	Coefficient	Volume horaire hebdomadaire			Volume Horaire Semestrielle (15 semaines)	Travail Complémentaire en Consultation (15 semaines)	Mode d'évaluation	
	Intitulé			Cours	TD	TP			Contrôle Continu	Examen
UE Fondamentale Code : UEF 2.1.1 Crédits : 8 Coefficients : 4	Dimensionnement des équipements pétrochimique	4	2	01h30	01h30		45h00	55h00	40%	60%
	Corrosion et protection des installations	4	2	01h30	01h30		45h00	55h00	40%	60%
UE Fondamentale Code : UEF 2.1.2 Crédits : 10 Coefficients : 5	Simulation et optimisation des procédés	4	2	01h30	01h30		45h0	27h30	40%	60%
	Stockage et transport des produits pétroliers	4	2	01h30	01h30		45h00	55h00	40%	60%
	Catalyseurs industriels	2	1	01h30			22h30	27h30		100%
UE Méthodologique Code : UEM 2.1 Crédits : 9 Coefficients : 5	TP Préparation des catalyseurs industriels	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Simulation et optimisation des procédés	2	1			1h30	22h30	27h30	100%	
	TP Corrosion	3	2			2h30	37h30	37h30	100%	
	Régulation et instrumentation	2	1	1h30			22h30	27h30		100%
UE Transversale Code : UET 2.1 Crédits : 1 Coefficients : 1	Recherche documentaire et conception de mémoire	1	1	01h30			22h30	2h30		100%
	Chemical Reserve engineering	2	2	1h30	1h30 Atelier				40%	60%
Total semestre 3		30	17	12h00	06h00	7h00	375h00	375h00		

Orientations générales sur le choix des matières de découverte :

- 1- Transport des fluides
- 2- Développement durable et transition énergétique
- 3- Impacts de l'industrie pétrochimiques sur l'environnement
- 4- conception assistée par ordinateur
- 5- Stratégie et management des entreprises pétrolières
- 6- Maintenance industrielle
- 7- Pompes et Compresseurs
- 8- Application sur codes numériques
- 9- Technologie des installations des unités de R&P :Dimensionnement des équipements
- 10-Soudage et CND
- 11-Environnement, protection, contrôle
- 12-Méthodes numériques avancées

III - Programme détaillé par matière des semestres S1

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEF 1.1.1
Matière 1: Thermodynamique appliquée
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Apprendre à déterminer et estimer les propriétés thermodynamiques avec utilisation de quelques modèles, étude des équilibres liquide-vapeur, cycles thermodynamiques et enfin, des applications (moteurs thermiques, machines frigorifiques, turbine à vapeur).

Connaissances préalables recommandées:

Thermodynamique

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Rappels fonctions thermodynamiques (2 Semaines)

Chapitre 2. Modèles thermodynamiques

Modèle VdW, Virial, Coef de comp Z, etc., Équations d'état cubiques : RKS, PR, modèles de coefficient d'activité : *Wilson, NRTL, Van Laar, UNIFAC, UNIQUAC, etc.* **(4 Semaines)**

Chapitre 3. Prédiction des propriétés thermodynamiques et équilibre liquide -vapeur

Méthode des états correspondants, Méthode de contribution de groupe. Équilibres liquide – vapeur : Bases thermodynamiques, équilibre liquide – vapeur des mélanges complexes, calcul du point de bulle et du point de rosée. **(5 Semaines)**

Chapitre 4. Cycles thermodynamiques et application aux machines thermiques

Cycle de Carnot, Cycle de Brayton, Cycle de Rankine, Cycle de Stirling. Applications (Machines thermiques) : Machines à combustion interne
 Machines frigorifiques, Turbines à vapeur **(4 Semaines)**

Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

Références bibliographiques:

- [1] P ; WHUITIER, *Raffinage et Génie Chimique, T2*, Eds. Technip 1972.
- [2] P. PETIT, *Séparation et liquéfaction des gaz, Techniques de l'ingénieur, traité Génie des procédés*, J 3 600.
- [3] M. P. Boyce, *Gas Turbine Engineering Handbook, Third Edition*, 2006.

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEF 1.1.1
Matière 2:Phénomènes de transfert II
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

L'étudiant doit approfondir les connaissances déjà acquises en L3 concernant les différents mécanismes de transfert de chaleur et de matière ceci lui permettra une quantification plus réaliste des phénomènes de transfert dans les bilans nécessaires au calcul des équipements.

Connaissances préalables recommandées:

Thermodynamique, équations différentielles, phénomènes de transfert I.

Contenu de la matière:

Introduction générale

A- Le transfert de chaleur II

Chapitre1. Généralités

Intervention simultanée des différents modes de transfert de chaleur, isolation d'une conduite, conductance globale, déperdition thermique, problème des ailettes à section constante et variable

Efficacité des ailettes, échange d'énergie sur une paroi d'un four.

(2 Semaines)

Chapitre 2. Les échangeurs de chaleur

Classification des différents types d'échangeurs, classification selon les écoulements, distribution des températures dans un échangeur, étude d'un échangeur, évaluation des performances thermiques, efficacité d'un échangeur, méthode du nombre NUT, comparaison des méthodes DTLM et NUT.

(2 Semaines)

Chapitre3. Les échangeurs de chaleur avec changement de phase

Transmission de la chaleur par ébullition, phénomènes d'ébullition, ébullition en eau stagnante, ébullition en convection forcée. Transmission de la chaleur par condensation : condensation film sur une paroi verticale, condensation en film à l'extérieur des tubes, condensation en gouttes. Transmission de la chaleur par évaporation : évaporation d'une nappe d'eau en absence de convection, évaporation dans un courant d'air, application aux échangeurs sans paroi (tours de refroidissement). Les échangeurs thermiques dans les fours : la combustion, échangeurs radiatifs dans l'enceinte d'un four, applications, conception et calculs des fours.

(2 Semaines)

Chapitre4. La réfrigération

Principe de l'opération, composants d'un système de réfrigération, performance d'un système de réfrigération, système de réfrigération multi étages, réfrigérations thermoélectriques

(1 Semaine)

B-Transfert de matière II (Transfert de matière avec réaction chimique)

Chapitre1. Coefficients de diffusion et transfert dans les solides

Solides à structure poreuse, Diffusion dans les polymères.

(1Semaine)

Chapitre2. Transfert dans une phase en régime transitoire et en régime de diffusion moléculaire

Cas de dissolution d'un solide « J » dans un solvant « S » au repos : diffusion transitoire dans le cas où la résistance à la surface est négligeable, cas d'une plaque, d'une sphère et d'un cylindre, diffusion transitoire dans un milieu semi-fini, cas de l'évaporation instationnaire. **(2 Semaines)**

Chapitre 3. Transfert en régime turbulent

Généralités- Expressions du transfert, détermination de la diffusivité turbulente, résistances aux transferts. **(1Semaine)**

Chapitre 4.Coefficients de transfert

Structure du coefficient de transfert, Autre définition du coefficient de transfert
Influence de l'intensité de transfert, Densités de flux de transfert en fonction des coefficients.
(1 Semaine)

Chapitre 5.Transfert de matière entre phases

Théorie de la pénétration (Modèle de Higbie et modèle de renouvellement de surface), Modèle de Toor et Marchelo .**(1 Semaine)**

Chapitre 6. Transfert et réaction chimique

Systèmes fluides-solides, réactions catalytiques, réactions non catalytiques, systèmes fluide-fluide
Obtention de CA, facteur d'accélération, différents types de réaction, systèmes électrochimiques
(2 Semaines)

Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

Références bibliographiques:

- [1] J.F. SACADURA. "Initiation aux transferts thermiques".
- [2] F. KREITH. "Transmission de la chaleur et thermodynamique".
- [3] F. P. INCROPERA, D. P. DEWITT. *Fundamentals of Heat and mass transfer.*
- [4] P. V. Danckwerts. « Gas-Liquid reaction ».
- [5] G. Astarita. « Mass transfer with chemical reaction ».
- [6] J. Crank. « The mathematic of diffusion ».

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEF 1.1.2
Matière 1: chimie du pétrole et de gaz
VHS: 22h30 (Cours: 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

Savoir la composition du pétrole et des fractions pétrolières et la détermination des leurs propriétés.

Connaissances préalables recommandées:

Les connaissances requises sont essentiellement la chimie organique et la chimie analytique, les transferts de matière et de chaleur, la mécanique des fluides, la thermodynamique et les notions de bases acquises lors de la formation S6 licence.

Contenu de la matière:

Chapitre 1. (3 Semaines)

Origines du pétrole, composition chimique du pétrole, propriétés des fractions pétrolières.

Chapitre 2. (6 Semaines)

Analyse du pétrole et des fractions pétrolières, composés oxygénés, azotés, aminés, soufrés, teneur en eau, teneur en soufre, teneur en aromatiques, etc.

Chapitre 3. (6 Semaines)

Chimie des procédés de traitement du pétrole, des fractions pétrolières, du gaz naturel, des gaz associés et de gaz de raffinerie et chimie de leurs transformations.

Mode d'évaluation:

Examen: 100 %.

Références bibliographiques:

[1] *Chimie du pétrole et du gaz* Proskuriakov

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEF 1.1.2
Matière 2: Procédés de séparation
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD : 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

A la fin de ce module, l'étudiant pourra devoir répondre aux questions liées aux méthodes de Séparation de l'industrie du raffinage et de la pétrochimie.

Connaissances préalables recommandées:

Pour pouvoir assimiler ce qui sera développé dans ce module, l'étudiant devait préalablement avoir acquis des connaissances de base des opérations unitaires et de transferts de matière et chaleur.

Contenu de la matière:

Chapitre 1. (3 Semaines)

Procédés de distillation extractive, Procédés de rectification avec réactions chimiques, procédés d'absorptions physiques et chimiques des fractions pétrolières, installations à scrubber.

Chapitre 2. (3 Semaines)

Bilan matière (de la distillation extractive, de la rectification, de l'absorption), bilan thermique (de la distillation extractive, de la rectification, de l'absorption), calcul technologique et dimensionnement des équipements des installations pétrolières et gazières.

Chapitre 3. (6 Semaines)

Procédés d'extraction (application aux aromatiques « BTX », et aux oléfines), procédés d'adsorption (application aux paraffines liquides et solides), adsorption avec réactions chimiques, procédés de séparation solide-gaz par cyclone (application aux tensioactifs et détergents), procédés de séparation solide-gaz par système membranaire, procédés de séchage (du gaz, des tensioactifs, des polymères), procédés de cristallisation (application sur l'extraction des xylènes et des paraffines), procédés de centrifugation (application aux polymères).

Chapitre 4. (3 Semaines)

Bilan matière (de l'extraction, de l'adsorption, des cyclones, de séchage, de cristallisation, de centrifugation ...), bilan thermique (de l'extraction, de l'adsorption, des cyclones, de séchage, de cristallisation, de centrifugation...), calcul technologique et dimensionnement des équipements des installations de séparation.

Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40% Examen: 60 %.

Références bibliographiques:

[1] *Procédés et appareils de l'industrie pétrolière et gazière* SKOBLO, M. 1972

Semestre: 1
Unité d'enseignement: UEF 1.1.2
Matière 3: Production de matières première et monomères
VHS: 45h00 (Cours: 3h00)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement:

Le but de cet enseignement est de se familiariser avec les procédés d'obtention des matières premières et des monomères : pyrolyse, craquage thermique et catalytique, reforming, déshydrogénation, alkylation, isomérisation.

Connaissances préalables recommandées:

Chimie organique, chimie industrielle, Catalyse, Thermodynamique, Réacteurs chimiques, Transfert de chaleur, Traitement du pétrole et des fractions pétrolières, Raffinage, Pétrochimie.

Contenu de la matière:

Chapitre1. (5 Semaines)

Étude des Procédés de séparation et d'obtention des hydrocarbures paraffiniques, procédés de pyrolyse (steam cracking, visbreaking, pyrolyse avec initiateurs, hydropyrolyse, pyrolyse catalytique).

Chapitre 2. (5 Semaines)

Cracking thermique, cracking catalytique (FCC, DCC, etc.), reforming catalytique, (procédés IFP, Isomar, Parex, GTC, Cyclar, etc.).

Chapitre3. (5 Semaines)

Procédés de déshydrogénation (obtention de butadiène, isoprène, styrène, etc.), procédé de reformage à la vapeur d'eau du méthane, procédés d'alkylation (isoparaffines, alkylaromatiques, etc.), procédés d'isomérisation (des paraffines et des aromatiques).

Mode d'évaluation:

Examen: 100 %.

Références bibliographiques:

[1] Arno de Klerk, Edward Furimsky. *Catalysis in the Refining of Fischer-Tropsch Syncrude*, RSC Catalysis Series, 2010, Cambridge, UK

Semestre:1
Unité d'enseignement: UEM 1.1
Matière 1 : TP chimie de pétrole
VHS: 45h00 ((TP: 3h)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectif de l'enseignement:

Ce module permet à l'étudiant de maîtriser les techniques d'analyse des produits issus du raffinage ainsi que celles des fractions pétrolières. Il donne, à l'étudiant, l'opportunité de déterminer la composition d'un pétrole ou d'un produit pétrolier et de se familiariser avec les appareils d'analyse du pétrole.

Connaissances préalables recommandées:

Chimie organique, Chimie analytique, Raffinage

Contenu de la matière :

- Détermination de la teneur en eau.
- Détermination de la teneur en sédiments.
- Détermination du point d'éclair d'un pétrole brut.
- Détermination du point de goutte d'un pétrole brut.
- Nombre d'octane d'une essence.
- Nombre de cétane d'un gas-oil.
- Détermination de la densité d'une fraction pétrolière à l'aide d'un aéromètre.
- Détermination de la composition chimique d'une fraction pétrolière par la méthode PONA.
- Séparation des fractions pétrolières par solvants .
- Séparation des fractions pétrolières par la méthode de Rostler-Sternberg.
- Détermination de la quantité totale de plomb, dans une essence, par polarographie.
- Détermination de la quantité des alcools dans une essence.
- Détermination de la quantité du MTBE dans une essence.
- Mesure de l'acidité d'un carburant diesel à l'aide du mélange toluène-isopropyl.
- Mesure de la volatilité d'un carburant Diesel à l'aide de la distillation ASTM.
- Détermination du DI (Diesel Index) par la méthode "ASTM D-611, IP2".

Mode d'évaluation:

Contrôle continu : 100%

Références bibliographiques:

- [1] J.G. Speight, *Handbook of Petroleum Product Analysis*, Wiley & Sons, New Jersey (2002)
- [2] ASTM. 2000. *Annual Book of ASTM Standards*. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA.

- [3] Austin, G.T. 1984. *Shreve's Chemical Process Industries. 5th Edition. McGraw-Hill, New York. Chapter 37.*
- [4] Francis, W., and Peters, M.C. 1980. *Fuels and Fuel Technology: A Summarized Manual. Pergamon Press, New York. Section B.*
- [5] Goodfellow, A.J. 1973. In: *Criteria for Quality of Petroleum Products. J.P. Allinson (Editor). John Wiley & Sons, New York. Chapter 4.*
- [6] Hori, Y. 2000. In: *Modern Petroleum Technology. Volume 2: Downstream A.G. Lucas (Editor). John Wiley & Sons, New York. Chapter 2.*
- [7] Institute of Petroleum. 2001. *IP Standard Methods 2001. The Institute of Petroleum, London, UK.*
- [8] McCann, J.M. 1998. In: *Manual on Hydrocarbon Analysis. 6th Edition. A.W. Drews (Editor). American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA. Chapter 2.*
- [9] Speight, J.G. 2001. *Handbook of Petroleum Analysis. John Wiley & Sons, New York.*

Semestre:1
Unité d'enseignement: UEM 1.1
Matière 2: TP procédés de séparation
VHS: 22h30 ((TP: 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectif de l'enseignement:

Ce module permet à l'étudiant de connaître les équipements nécessaires aux procédés de séparation utilisés dans l'industrie pétrochimique et lui permettra de procéder au choix et à la conception des appareils nécessaires pour la réalisation des séparations envisagées.

Connaissances préalables recommandées:

Operations unitaires, procédés de séparation.

Contenu de la matière :

- 1. Procédés d'extraction**
- 2. Procédés d'absorption**
- 3. Procédés Adsorption avec réaction chimique**
- 4. Procédés de séchage**
- 5. Procédés de cristallisation**
- 6. Procédés de centrifugation**

Mode d'évaluation:

Contrôle continu :100%

Semestre:1

Unité d'enseignement: UEM 1.1

Matière 3: TP Production de matières première et monomères

VHS: 37h30 ((TP: 02h30)

Crédits: 3

Coefficient: 2

Objectif de l'enseignement:

Ce module est considéré comme un support pour le module production de matières première et monomères. Il permet à l'étudiant de prendre une idée sur les méthodes de préparation de quelques molécules étudiées.

Connaissances préalables recommandées:

Chimie organique, Chimie analytique, Cinétique chimique

Contenu de la matière :

1. Réaction de craquage thermique d'une essence (légère ou lourde ou alcane n-C₁₂ ...)
2. Réaction de craquage catalytique d'une essence (légère ou lourde)
3. Réaction d'isomérisation d'un alcane pur ou d'un mélange d'alcanes (naphta léger ou éther de pétrole ...)
4. Réaction d'alkylation du toluène par le méthanol.

Mode d'évaluation:

Contrôle continu :100%

Références bibliographiques: (Si possible)

Si les conditions de réalisation n'existent pas dans l'établissement,

Ces TP peuvent être remplacés par des stages au niveau des unités de SONATRACH

Semestre:1**Unité d'enseignement: UED 1.1****au choix****Matière 1: Développement durable et transition énergétique****VHS: 22h30 ((cours: 1h30)****Crédits: 1****Coefficient: 1****Objectif de l'enseignement:**

A l'issue de cet enseignement, les étudiants seront sensibilisés aux risques d'épuisement des ressources ainsi que de réchauffement climatique et les défis à relever.

Connaissances préalables recommandées:

Aucune.

Contenu de la matière :**Introduction****Chapitre 1. Les défis à relever****(3 Semaines)**

La croissance de la demande, les risques sur la fourniture d'énergie à long terme, Les tensions géopolitiques, le changement climatique, les menaces à lever.

Chapitre 2. Gérer la transition énergétique**(6 Semaines)**

Les alternatives, une transition de grande ampleur, les critères du développement durable, la transition carbone, les technologies de la transition énergétique.

Chapitre 3. Engager un programme d'actions à la hauteur des enjeux**(6 Semaines)**

Réduire la consommation d'énergie, repousser les limites de production du pétrole, diversifier l'offre d'énergie, décarboniser l'énergie, captage et stockage de CO₂, Perspectives d'avenir.

Mode d'évaluation:

Examen: 100%.

Références bibliographiques:

[1] Fatih Birol, *World Energy Prospects and challenges*, IEA, 2006.

[2] BP Statistical Review, 2006.

[3] Marie-Françoise Chabrelie, *"L'industrie gazière à l'horizon 2020"*, Panorama 2006.

[4] IPCC Special Report on Emissions Scenarios, 2001.

Semestre:1**Unité d'enseignement: UED 1.1 1****au choix****Matière 2: Méthodes numériques avancées****VHS: 22h30 ((Cours: 01h30)****Crédits: 1****Coefficient: 1****Objectif de l'enseignement:**

Donner à l'étudiant l'outil numérique nécessaire à la résolution des équations différentielles généralement rencontrées dans la modélisation des procédés pétrochimiques.

Connaissances préalables recommandées:

Analyse numérique, langage de programmation.

Contenu de la matière :**Chapitre 1. Approximation polynomiale et interpolation (3 Semaines)**

Polynôme de Lagrange, approximation par fonctions splines, méthode des moindres carrés.

Chapitre 2. Régression et corrélation (3 Semaines)

Régression linéaire, régression à l'aide des moindres carrés, régression polynomiale.

Chapitre 3. Résolution numériques des équations différentielles (Problèmes aux valeurs initiales) (3 Semaines)

Méthode d'Euler, méthodes de Runge-Kutta, méthode du prédicteur-correcteur.

Chapitre 4. Résolution numériques des équations différentielles (Problèmes aux limites) (3 Semaines)

Introduction, méthode du Tir (linéaire), méthode des différences finies (linéaires), méthode du Tir (non linéaire), Méthode des différences finies (non linéaires).

Chapitre 5. Méthodes des résidus pondérés (3 Semaines)

Notions sur le choix des fonctions tests et de la pondération, discrétisation polynomiale des fonctions, méthode des collocations.

Mode d'évaluation:

Examen: 100%.

Références bibliographiques:

[1] *Numerical Methods. Faireset Burden 2002*

[2] *Transport properties of fluids their correlation, prediction and estimation – Jurgen Millat*

[3] *Transport phenomena – Joseph Kestin*

[4] *Analyse numérique résolution approchée d'équations aux dérivées partielles – Roger Temam*

[5] *Analyse numérique – Kurt Arbenz*

[6] *Méthodes numériques appliquées pour le scientifique et l'ingénieur, Jean-Philippe GRIVET*

Unité d'enseignement : UEM 1.1**Matière 4 : Programmation avancée en python****VHS: 22 h30 (Cours 1h30 ; TP: 1h30)****Crédits : 2****Coefficient : 2****Compétences visées :**

- Utilisation des outils informatiques pour l'acquisition, le traitement, la production et la diffusion de l'information
- Compétences en Python et gestion de projets,
- Compétences en automatisation et visualisation de données.

Objectifs de l'enseignement :

- Approfondir la maîtrise du langage Python et initier les étudiants aux bases de l'analyse de données et de l'intelligence artificielle.
- Acquérir les bases de solides en informatique.
- Apprendre à programmer en Python, Excel
- Maîtriser l'automatisation de tâches
- Maîtriser un logiciel de gestion de projets

Matériels nécessaires :

- Un ordinateur avec Python installé,
- Bibliothèques Python : NumPy, Pandas, Scikit-learn, Matplotlib, os.listdir, os.path.exists, os.mkdir, os.rmdir, Matplotlib, Seaborn, Plitly , Request, Beautiful Soup, Tkinter, PyQt, ...
- Tensorflow, PyTorch, ...

Prérequis :

Programmation Python,

Contenu de la matière :**Chapitre 1 : Rappels sur la programmation en Python (02 Semaines)**

1. Introduction : Concepts de base en informatique et outils numériques, installation de Python.
2. Présentation de la notion de système d'exploitation : Roles, types (Linux, Woindows , ..) Gestions des priorités,
3. Présentations des réseaux informatiques (Principe, Adresse IP, DNS, internet, ...)
4. Programmation de base : Mode interactif et mode script, Variables, types de données, opérateurs. Structures conditionnelles et boucles (if, for, while).
5. Fonctions et éléments essentiels : Fonctions prédéfinies et création de fonctions. Modules standards (math, random). Chaînes de caractères, listes, manipulation de base des données.
6. Les Fichiers , Listes Tuples, dictionnaires,
7. Exercices :
 - Exercices d'apprentissage de Python
 - Exercices d'utilisation des bibliothèques vus au cours (Math, Random, NumPy, Pandas,...)
 -

Chapitre 2 : Programmation et automatisation**(04 semaines)**

1. Principes d'Automatisation de tâches

- Bibliothèques Python pour l'automatisation :
 - ✓ Pandas et NumPy.
 - ✓ Os, shutil : manipulation de fichiers et dossiers
 - ✓ Openpyxl ou pandas : travail avec des fichiers Excel ou CSV
- Définitions et exemples d'automatisation (envoi de mails,...)
- 2. Manipulation de fichiers avec Python :
 - Utiliser les librairies pour :
 - ✓ Parcourir un dossier (os.listdir)
 - ✓ Vérifier l'existence d'un fichier ou dossier (os.path.exists)
 - ✓ Créer ou supprimer des dossiers (os.mkdir, os.rmdir)
 - ✓ Visualiser des données : Matplotlib, Seaborn, Plitly
 - ✓ Request pour réagir avec des Interface de Programmation d'Application (API)
 - ✓ Beautiful Soup pour le Scraping de données
 - ✓ Tkinter, PyQt pour visualiser des données graphiques
 - Copier ou déplacer des fichiers avec shutil...
 - Recherche, tri et génération de rapports simples.
 - Sérialisation et Désérialisation (Utilisation du module pickle).
 - Sérialisation d'objets et traitement de fichiers volumineux (streaming).
 -
- 3. Exercices :
 - Utilisation de openpyxl et pandas pour lire, modifier et écrire des fichiers Excel ou CSV pour :
 - ✓ Créer des rapports automatiques
 - ✓ Extraire automatiquement des données
 - ✓
 - Ecriture de scripts pour :
 - ✓ traiter des fichiers textes (recherche, tri)
 - ✓ automatiser des calculs techniques
 - ✓ gérer des rapports simples (PDF, Excel)
 - ✓
 - Algorithmes de tri, de recherche et de tri par insertion
 - Implémenter une fonction de recherche dans une liste.
 - Opération sur les fichiers
 - Navigation sécurisée (configuration de réseaux simples, gestion des mots de passe)
 -

Chapitre 3 : Apprentissage avancé d'Excel

(02 semaines)

1. Principes des macros et création d'une macro simple,
2. Tableaux croisés dynamiques,
3. Histogrammes,
4. Diagrammes en barres,
5. Araignée,
6. Etc.
7. Exercices Excel

Chapitre 4 : Apprentissage de GanttProject

(02 semaines)

1. Introduction à la gestion de projets :
 - Qu'est-ce qu'un projet ?

- Quels sont les enjeux de gestion d'un projet ?
- Interface de GanttProject
- 2. Les tâches (création, modification ,organisation)
- 3. Gestion du temps (dates de début ou de fin de projet)
- 4. Gestion des ressources
- 5. **Exercices** sur Gantt Project

Chapitre 4 : Programmation orientée objet avancée (03 semaines)

1. Organisation du code :
 - Fonctions personnalisées, paramètres, valeur de retour.
 - Modules, importations et packages.
2. Structures de données complexes :
 - Listes, tuples et dictionnaires : création, modification, suppression, parcours.
3. Concepts fondamentaux de la Programmation orientée objet (POO) :
 - Classes, objets, attributs et méthodes.
 - Attributs publics, privés et protégés.
4. Méthodes spéciales :
 - **init, str, repr, len.**
5. Concepts avancés :
 - Encapsulation, abstraction, héritage, polymorphisme.
 - Héritage avancé, décorateurs, design patterns, métaclasses.
6. **Exercices**

Chapitre 5 : Introduction aux données pour l'IA (02 semaines)

1. Introduction aux Datasets courants en IA :
 - Iris, MNIST, CIFAR-10, Boston Housing, ImageNet.
2. Prétraitement des données pour le Machine Learning:
 - Nettoyage, normalisation, encodage, séparation des données.
 - Validation croisée (cross-validation).
3. Techniques de Feature Engineering :
 - Sélection, création de caractéristiques, réduction de dimension.
4. Bibliothèques essentielles pour le développement des modèles IA:
 - scikit-learn, TensorFlow, Keras, PyTorch
5. **Exercices**

Travaux pratiques :

TP 01 : Maîtriser les bases de la programmation en Python

(Structures de contrôle, types, boucles, fonctions simples)

1. Initiation
2. Lire et traiter des fichiers textes
3. Gérer des rapports simples (PDF, Excel)

TP 02 :

- Elaborer un cahier de charges d'un mini projet d'automatisation de tâches avec Python consistant à identifier et à envoyer automatiquement des rapports par email avec Python :

1. Charger les données depuis un fichier (ex : mesures expérimentales),
2. Effectuer des statistiques simples sur les données (moyenne, écart-type avec interprétation),
3. Générer un graphique,
4. Envoi du résultat avec Python.

TP 03 :

1. Programmation ex Excel du tableau de bord vu en TD

2. Création de tableaux Excel automatisés
3. Macros simples,
4. Formules conditionnelles,
5. Recherche V.

TP 04 :

organiser une réunion en Ganttproject

1. Créer un nouveau projet :
 - Nom du projet : « Réunion »
 - Date de début : Date et heure de la réunion
 - Durée estimée : durée totale de la réunion
2. Définition des tâches
 - Points à l'ordre du jour (chaque point de l'ordre du jour devient une tâche)
 - Sous-tâches : Si un point est composé, créer alors les sous-tâches correspondantes
 - Tâches initiales et finales (par exemple : « Accueil de participants », « clôture de la réunion »)
3. Définition des ressources :
 - Participants (chaque participant est une ressource)
 - Matériel (ordinateur, datashow...)
4. Estimation des durées :
 - Durée de chaque point : temps nécessaire pour chaque point de l'ordre du jour
 - Temps de transition d'un point à l'autre
5. Création du diagramme de Gantt :
 - Visualiser l'ordre du jour
 - Identifier les points clés
6. Suivre l'avancement en temps réel (projection du Diagramme de Gantt)

TP 05 : Structures avancées et organisation du code

(Fonctions personnalisées, dictionnaires, modules et organisation modulaire)

TP 06 : Programmation orientée objet avancée en Python

(Encapsulation, héritage, méthodes spéciales, design patterns simples)

TP 07 : Manipulation de fichiers et analyse de données

(Lecture/écriture de fichiers, traitement de texte, introduction à Pandas et NumPy)

TP 08 : Préparation et traitement de données pour l'intelligence artificielle

(Chargement de datasets IA, nettoyage, transformation, sélection de caractéristiques)

Projet final

Titre : Analyse et visualisation d'un jeu de données + modèle prédictif simple

Compétences mobilisées : Lecture de données, POO, structures avancées, Pandas, Scikit-learn. (Présentation orale + rapport écrit).

Mode d'évaluation :

examen 60% , CC=40%

Bibliographie

- [1] .E.Schultz et M.Bussonnier (2020) : Python pour les SHS. Introduction à la programmation de données. Presses Universitaires de Rennes.
- [2] .C.Paroissin, (2021) : Pratique de la data science avec R : arranger, visualiser, analyser et présenter des données. Paris : Ellipses, DL 2021.
- [3] .S.Balech et C.Benavent : NLP texte minig V4.0, (Paris Dauphine – 12/2019) : lien : [https://www.researchgate.net/publication/337744581_NLP_text_mining_V40 - une introduction - cours programme doctoral](https://www.researchgate.net/publication/337744581_NLP_text_mining_V40_-_une_introduction_-_cours_programme_doctoral)

- [4] . Allen B. Downey Think Python: How to Think Like a Computer Scientist, O'Reilly Media, 2015;
- [5] . Ramalho, L.. Fluent Python. " O'Reilly Media, Inc.", 2022;
- [6] . Swinnen, G.. Apprendre à programmer avec Python 3. Editions Eyrolles, 2012;
- [7] . Matthes, E. Python crash course: A hands-on, project-based introduction to programming. no starch press, 2019
- [8] . Cyrille, H. (2018). Apprendre à programmer avec Python 3. Eyrolles, 6ème édition. ISBN: 978-2212675214
- [9] . Daniel, I. (2024). Apprendre à coder en Python, J'ai lu
- [10] . Nicolas, B. (2024). Python, du grand débutant à la programmation objet Cours et exercices corrigés, 3eme édition, Ellipses
- [11] . Ludivine, C. (2024). Selenium Maîtrisez vos tests fonctionnels avec Python, Eni

Ressources en ligne :

- Documentation officielle Python : docs.python.org
- Exercices Python sur Codecademy : codecademy.com/learn/learn-python-3
- W3Schools Python Tutorial : w3schools.com/python/

III - Programme détaillé par matière des semestres S2

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEF1.2.1
Matière 1: Réacteurs chimiques
VHS: 67h30 (Cours: 3h00, TD: 1h30)
Crédits: 6
Coefficient: 3

Objectif de l'enseignement:

L'étudiant aura acquis des connaissances concernant le fonctionnement des réacteurs homogènes et hétérogènes. Mettre en évidence l'influence du choix des réacteurs chimiques et de leurs conditions de fonctionnement sur les produits de réaction obtenus.

Connaissances préalables recommandées:

Thermodynamique, cinétique chimique, bases de mathématiques ; phénomènes de transfert.

Contenu de la matière

A- Réacteurs Homogènes

Chapitre 1 : (1 Semaine)

Stœchiométrie : Notion de taux de conversion ; Notion d'avancement ; Cas d'une réaction unique ; Cas de plusieurs réactions.

Chapitre 2 : (1 Semaine)

Classification des réacteurs chimiques : Réacteur discontinu parfaitement agité (R.D.P.A) ; Réacteur continu stationnaire parfaitement agité (R.C.P.A) ; Réacteur continu tubulaire stationnaire à écoulement piston (R.C.P).

Chapitre 3 : (2 Semaines)

Etude des réacteurs chimiques homogènes isothermes à une réaction : 1-R.D.P.A ; R.C.P.A ; R.C.P ; 2- Association de réacteurs chimiques : Association de réacteurs continus stationnaires en écoulement piston (série / parallèle) ; Association de réacteurs continus stationnaires parfaitement agités (série/ parallèle) ; 3- Performances comparées des réacteurs idéaux.

Chapitre 4 : (1 Semaine)

Etude des réacteurs chimiques homogènes isothermes à plusieurs réactions : Sélectivité et rendement ; Illustration par un exemple.

Chapitre 5 : (2 Semaine) Bilans

matière dans les réacteurs idéaux – Réaction unique : Réacteur fermé parfaitement agité ; Réacteur parfaitement agité continu en régime permanent ; Réacteur piston en régime permanent.

Chapitre 6 : (1 Semaine)

Bilans matières dans les réacteurs idéaux-Plusieurs réactions : Réactions irréversibles consécutives ; Réactions compétitives.

Chapitre 7 : (1 Semaine)

Notions Bilans thermiques dans les réacteurs idéaux

B- Réacteurs hétérogènes

Chapitre 8 : Réactions catalytique (2 Semaines)

- Transfert de matière dans les lits catalytiques, couplage transfert- réaction, impact sur la cinétique apparente (falsification de la cinétique intrinsèque) , notion de sélectivité et impact sur les limitations diffusionnelles
- Mécanisme et cinétique des réactions de catalyse hétérogènes
- Notion de module de Thiele, module de Weiss et facteur d'efficacité d'un catalyseur

Chapitre 9 : Réacteurs fluide/solide réactif (1 Semaine)

- Modèle de consommation de particules solides
- Calcul de réacteurs gaz/ solide consommable.
- Exemples d'applications

Chapitre 10 : Réacteurs catalytiques (2 Semaines)

- Régimes de fonctionnement d'un grain de catalyseur

- Modèles de réacteurs catalytiques : lit fixe, lit fluidisé, lit mobile
- Exemples d'applications

Chapitre 11 : Réacteurs à deux phases fluides (1 Semaine)

- Régimes de fonctionnement des réactions fluide/fluide
- Dimensionnement des réacteurs gaz/liquide
- Exemples d'applications

Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

Références bibliographiques:

- [1] O. Levenspiel, «*Chemical reaction engineering* », Wiley, 1972.
- [2] G. Antonini, Benaim, «*Génie des réacteurs et des réactions* ». Nancy 1991.
- [3] Trambouze, «*Les réacteurs chimiques, Conception* ».
- [4] J. Villiermaux, «*Génie de la réaction chimique, Conception et fonctionnement des réacteurs* », Edition Technique et Documentation. 1982.
- [5] Trambouze, *Les réacteurs chimiques, conception*.
- [6] G. Antonini, *Génie des réacteurs et des réactions*.
- [7] Daniel Schweich, *Génie de la réaction chimique*.
- [8] Hong H. Lee, *Heterogeneous Reactor Design*.
- [9] Andrzej Cybulski, *Structured Catalysts and Reactors*.
- [10] O. Levinspiel, *chemical reaction engineering*, 3^{ème} édition.
- [11] J. Villiermaux : *Génie de la réaction chimique, conception et fonctionnement des réacteurs*.
- [12] G. Froment and K.B. Bischoff, *Chemical reactor, analysis and design*.
- [13] R.W. Missen, *Chemical reaction engineering and kinetics*.
- [14] Bruce Nauman, *Handbook of Chemical Reactor Design, Optimization, and Scaleup*.

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEF 1.2.1
Matière 2: Procédés de pétrochimie
VHS: 45h00 (Cours: 03h00)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectif de l'enseignement:

Les procédés de pétrochimie basés essentiellement sur le vapocraquage et sur, et avec une moindre importance, le reformage catalytique et le craquage catalytique, permettent la fabrication des principaux produits pétrochimiques de la première génération. Les procédés d'obtention des produits de seconde génération ainsi que les produits finis (PE, PVC, SBR.....), vont également être vus dans cette matière.

Connaissances préalables recommandées:

Une connaissance des lois fondamentales des phénomènes de transfert, de thermodynamique, cinétique et catalyse et des notions de base de chimie organique.

Contenu de la matière

Chapitre1. Introduction aux procédés de pétrochimie

(1 Semaine)

Chapitre2. Sources d'hydrocarbures oléfiniques et aromatiques(3 Semaines)

1. Vapocraquage (des gaz et des liquides)
 - 1.1 Description du procédé
 - 1.2 Variables opératoires et mise en œuvre
2. Craquage catalytique
3. Reformage catalytique

Chapitre3. Traitement de la coupe C8 aromatique(2 Semaines)

- II.1 Description de la boucle aromatique
- III.2 Séparation par procédés physiques des aromatiques
- III.3 Conversion chimique des aromatiques

Chapitre4. Traitement de la coupe C4

(2 Semaines)

- IV.1 Séparation du butadiène de la coupe C4
- IV.2 Procédés d'obtention du butadiène à partir des butanes et des butènes

Chapitre5. Réactions intervenant dans les procédés de pétrochimie(2 Semaines)

1. Alkylation des aliphatiques et des aromatiques et transalkylation
2. Hydrogénation et déshydrogénation sur les coupes C2, C3 et C4
3. Différents procédés de Polymérisation
 - 3.1 Procédé en masse
 - 3.2 Procédé en émulsion
 - 3.3 Procédé en solution
 - 3.4 Procédé en phase gazeuse

Chapitre6. Production de l'hydrogène(2 Semaines)

Chapitre7. Production du méthanol

(1 Semaine)

Chapitre8. Étude du procédé (Fischer-Tropch) [GTL Gas To Liquid, GTO Gas To Olefins, GTP Gas To Polymers]: « Obtention des hydrocarbures liquides saturés et insaturés et des aromatiques à partir du gaz » **(2 Semaines)**

Mode d'évaluation:

Examen: 100 %.

Références bibliographiques:

- [1] Uttam Ray Chaudhuri, *Fundamentals of Petroleum and Petrochemical engineering*, 2011, CRC Press, London, New York.
- [2] Sami Matar, *Chemistry of Petrochemical processes*, Lewis F.Hatsh, 2000, Gulf publishing, Houston.
- [3] K.Weissermel, H,-J.Arpe, Weinheim, *Industrial organic chemistry*, 1997, VCH publisher, Germany, NY.
- [4] Alain Chauvel, Pierre Leprince, L.Castex, *Procédés de pétrochimie: caractéristiques techniques et économiques*, 1985, Edition Technip.
- [5] Robert A. MEYERS. *Hand Book of petroleum refining process*. 3rd Edition. McGRAW Hill.
- [6] Klaus Weissermel, Hans- Jurgen Arpe. *Industrial Organic Chemistry*. 3rd Edition. Wiley-VCH Publishers, Inc., New York, NY (USA). 1997.
- [7] *Techniques de l'ingénieur*.

Unité d'enseignement: UEF 1.2.1
Matière 3: Traitements et industrie du gaz naturel
VHS: 22h30 (Cours: 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectif de l'enseignement:

Acquisition des connaissances sur les différents traitements du gaz naturel, sa liquéfaction, son stockage et son transport.

Connaissances préalables recommandées:

Notions de base en thermodynamique, en opération unitaires et en raffinage.

Contenu de la matière

Chapitre 1. Origine du gaz naturel	(1 Semaine)
Chapitre2. Propriétés et qualité du gaz naturel	(2 Semaines)
Chapitre3. Exploration – Forage	(2 Semaines)
Chapitre4. Production	(2 Semaines)
Chapitre5. Traitement du gaz naturel	(3 Semaines)
Chapitre6. Procédés de liquéfaction du gaz naturel	(2 Semaines)
Chapitre7. Transport par pipeline et transport maritime	(1 Semaine)
Chapitre8. Terminal de regazéification	(1 Semaine)
Chapitre9. Stockage du gaz naturel	(1 Semaine)

Mode d'évaluation :

Examen: 100 %.

Références bibliographiques:

- [1] A. Rojey, B. Durand, C. Jaffret, S. Julliani, M. Valais, *Le gaz – Production traitement transport*, Edition technip 1994.
- [2] Arthur J. Kidnay, William R. Parrish, *Fundamentals of Natural Gas Processing*, Taylor and Francis editor, 2006.
- [3] Frank g. Kerry, *Industrial gas handbook, gas separation and purification*, Taylor and Francis editor, 2006.
- [4] Pierre PETIT. *Séparation et liquéfaction des gaz. Techniques de l'ingénieur. J 3600.*
- [5] John Carroll. *Natural gas hydrates: A guide for engineers; 2nd Edition*, Gulf Professional Publishing, 2009.
- [6] *Techniques de l'ingénieur.*
- [7] John Carroll. *Natural gas hydrates: A guide for engineers; 2nd Edition*, Gulf Professional Publishing, 2009

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEF 1.2.2
Matière 1: Procédés de raffinage
VHS: 45h00 (Cours: 1h30, TD: 1h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectif de l'enseignement:

L'étudiant aura acquis des connaissances concernant les procédés de raffinage utilisés en industrie pétrochimique.

Connaissances préalables recommandées:

Caractérisation du pétrole et des fractions pétrolières, thermodynamique, cinétique et catalyse, transfert de matière et de chaleur, calcul de réacteurs et pétrochimie.

Contenu de la matière

Chapitre1. Interaction raffinage-Pétrochimie

Chapitre2. Présentation générale des procédés de raffinage

**Chapitre3. Implantation des différents procédés de raffinage
dans une unité de pétrochimie**

} (2 semaines)

Chapitre4. Distillation Primaire (Topping)

(1 semaine)

Chapitre5. Distillation sous vide

(1 semaine)

Chapitre6. Hydrotraitements

(2 semaines)

Chapitre7. Isomérisation du n-C4

(1 semaine)

Chapitre8. Alkylation

(1 semaine)

Chapitre9. Reforming catalytique

(3 semaines)

Chapitre10. Craquage catalytique

(3 semaines)

Chapitre11. Désasphaltage

(1 semaine)

Mode d'évaluation:

Contrôle continu: 40 % ; Examen: 60 %.

Références bibliographiques:

- [1] P. Wuithier, *Le pétrole raffinage et génie chimique (tome 1).*
- [2] P. Leprince, *Procédés de transformation.*
- [3] J. P. Wauquier, *Procédés de séparation.*
- [4] Robert Meyers, *Handbook of Petroleum Refining Processes.*
- [5] Serge Raseev, *Thermal and Catalytic Processes in Petroleum Refining.*

Semestre: 2
Unité d'enseignement: UEF 1.2.2
Matière 2: Production des polymères
VHS: 22h30 (Cours: 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectif de l'enseignement:

Cet enseignement porte sur les procédés destinés à l'obtention de polymères de différentes natures. Obtention de polymères par polyaddition et polycondensation. Obtention de polystyrène, polyéthylène, polypropylène, etc

Connaissances préalables recommandées:

Les connaissances préalables recommandées sont la chimie des polymères et celles des procédés de séparation, chimie organique, de transferts de matière et de chaleur, de calcul des réacteurs.

Contenu de la matière

Chapitre 1. Procédé de fabrication du polyéthylène (haute pression HP, basse pression BP, linéaires) (2 semaines)

Chapitre 2. Procédé de fabrication du polypropylène (3 semaines)

Chapitre 3. Procédé de fabrication du Polystyrène (2 semaines)

Chapitre 4. Procédé de fabrication du PVC (polychlorure de vinyle) (2 semaines)

Chapitre 5. Procédé de fabrication du PET (polyéthylène téréphtalates) (2 semaines)

Chapitre 6. Procédés de fabrication de Polyesters (PTA, PET) (3 semaines)

Mode d'évaluation:

Examen: 100 %.

Références bibliographiques:

- [1] Bernard LEVRESSE. Polyéthylène basse densité. Techniques de l'ingénieur, traité Génie des procédés. J 6 539.
- [2] Jean-Pierre QUET. Polyéthylènes linéaires. Techniques de l'ingénieur, traité Génie des procédés. J 6 540.
- [3] Jean-Marie BÉCHET. Polypropylène. Techniques de l'ingénieur, traité Génie des procédés. J 6 545.
- [4] Brian BARRAN. Polystyrène. Techniques de l'ingénieur, traité Génie des procédés. J 6 550.
- [5] Anne DEMOGEOT. Polystyrène. Techniques de l'ingénieur, traité Génie des procédés. J 6 551.
- [6] Daniel BLANCKE. PVC (ou polychlorure de vinyle). Techniques de l'ingénieur, traité Génie des procédés. J 6 581.
- [7] Sami MATAR, Lewis F. HATCH. Chemistry of Petrochemical Processes (2nd Edition) . Gulf Publishing Company, Houston, Texas. 1994.

Unité d'enseignement: UEM 1.2
Matière 1: TP de Pétrochimie
VHS: 45h00 (TP: 03h00)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectif de l'enseignement:

Ce module est considéré comme un support pratique et expérimental (au laboratoire)

Connaissances préalables recommandées:

Chimie organique, procédés et appareils, catalyse, opérations unitaires et cinétique chimique.

Contenu de la matière

TP1-Étude des réactions d'hydratation et d'estérification

TP2-Étude d'une réaction de sulfonation, d'un alcool (ex. C_{12} -OH)

TP3- Étude d'une réaction de sulfatation d'un alcool (ex. C_{12} -OH)

TP4- Extraction des aromatiques

TP5-Synthèse d'un détergent

TP6- Séparation des isomères : Xylènes

TP7- Séparation des BTX

Mode d'évaluation:

Continu: 100 %.

Unité d'enseignement: UEM 1.2
Matière 2: TP réacteurs chimiques
VHS: 37h30 (TP: 2h30)
Crédits: 3
Coefficient: 2

Objectif de l'enseignement:

L'objectif de ce TP est d'aborder, par la pratique, les connaissances théoriques abordées en cours de réacteurs chimiques.

Connaissances préalables recommandées:

Cinétique chimique, réacteurs, thermodynamique, phénomènes de transfert, bases de mathématiques, chimie analytique et catalyse.

Contenu de la matière : selon la disponibilité des équipements

TP1-réacteur fermé : exp : Etude de la réaction iodure persulfate par dosage redox

TP2 -réacteur continu agité : exp :Saponification d'un ester (Acétate d'éthyle) avec de la soude (NaOH)

TP3 -réacteur tubulaire : exp : (hydrodynamique et modélisation)

TP4 - Associations des réacteurs : réacteurs en série

TP5 -réacteur catalytique

Mode d'évaluation:

Continu: 100 %.

Unité d'enseignement: UEM 1.2
Matière 3: TP Production des polymères
VHS: 22h30 (TP: 01h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectif de l'enseignement:

Ce module est considéré comme un support pratique et expérimental (au laboratoire) pour le module :
Production des polymères

Connaissances préalables recommandées:

Chimie des polymères, chimie organique, catalyse.

Contenu de la matière

TP1-Synthèse d'une résine

TP2-Synthèse du polystyrène

TP3-Synthèse d'un polyester : hydroquinone + chlorure de téréphtaloyl

TP4-Préparation d'un polymère biodégradable : le polylactate

TP5-Synthèse d'un polymère par polyaddition : du polyacrylamide à partir d'acrylamide (ou prop-2-ènamide),

TP6-Réticulation de chaînes de polymères : Fabrication du SLIME.

Mode d'évaluation:

Continu: 100 %.

Semestre : 2
Unité d'enseignement : UET 1.2
Matière 2: Eléments d'intelligence artificielle appliquée
VHS: 45h00 (Cours 1h30, TP 1h30)
Crédits: 2
Coefficient: 2

Compétences visées :

- Identifier les opportunités de l'intelligence artificielle en sciences de l'ingénieur
- Comprendre les implications éthiques de l'IA et les bonnes pratiques de son utilisation.
- Capacité à utiliser les techniques de l'IA dans la résolution de problèmes

Objectifs de l'enseignement:

- Maîtrise des algorithmes IA
- Initiation aux concepts, outils et applications fondamentales de l'intelligence artificielle moderne, en mettant l'accent sur la pratique avec Python et ses bibliothèques.
- Approfondir le langage Python,
- Comprendre les approches de l'IA dans la résolution de problèmes,

Prérequis :

Programmation avancée Python

Matériels nécessaires :

- Un ordinateur avec Python installé,
- Bibliothèques Python : NumPy, Pandas, Scikit-learn, Matplotlib, os.listdir, os.path.exists, os.mkdir, os.rmdir, Matplotlib, Seaborn, Plitly , Request, Beautiful Soup, Tkinter, PyQt, ...
- Tensorflow, PyTorch, ...

Contenu de la matière :

Chapitre 1 : Introduction à l'intelligence artificielle l'IA (01 semaine)

1. Définitions et champs d'application de l'IA.
2. Évolution historique de l'IA.
3. Introduction aux grands domaines :
 - Apprentissage automatique (Machine Learning)
 - Apprentissage profond (Deep Learning)

Chapitre 2 : Mathématiques de base pour l'IA (01 semaine)

1. **Algèbre linéaire** : vecteurs, matrices, produits, normes.
2. **Probabilités & statistiques** :
 - Variables, espérance, variance.
 - Lois usuelles : normale, binomiale, uniforme.
3. **Régression linéaire simple** :
 - Formulation, coût, optimisation.
 - Mise en oeuvre avec **Scikit-learn**.
4. **Exercices** :
 - Manipulation de matrices avec la bibliothèque NumPy (Python)
 - Exercice sur la régression linéaire (utiliser une bibliothèque Python comme Scikitlearn par exemple)
 - Expliquer la bibliothèque Matplotlib (Python) ...

Chapitre 3 : Apprentissage automatique (Machine Learning) (03 semaines)

1. Concepts clés : Données, Modèles, features, étiquettes, généralisation.
2. Phases d'un pipeline d'apprentissage : entraînement, validation, test.
3. Types d'apprentissage :
 - Supervisé
 - Non supervisé
 - Par renforcement (*aperçu*)
4. **Exercices :**
 - Approfondir les notions vues au cours

Chapitre 4 : Classification supervisée (3 semaines)

1. Principe d'entraînement de modèle de classification simple :
2. Les modèles et algorithmes :
 - SVM (Support Vector Machine)
 - Arbres de décisions
3. Évaluation de performance :
 - Matrice de confusion, précision, rappel, F1-score.
5. **Exercices :**
 - Expliquer comment utiliser Scikit-learn ?
 - Comparaison de plusieurs modèles sur un dataset

Chapitre 5 : Apprentissage non supervisé

1. Notion de clustering.
2. Algorithmes :
 - **K-means**
 - DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise)
3. Visualisation 2D et interprétation des résultats.
4. **Exercices :**
 - Expliquer comment utiliser un algorithme de clustering sur un Dataset
 - Expliquer comment visualiser les clusters.

Chapitre 6 : Les réseaux de neurones

1. Architecture d'un réseau de neurones :
 - Perception,
 - Couches et couches caches, poids, biais.
 - Fonction d'activation : ReLU, Sigmoid, Softmax,
 - Exercices d'applications
 2. Introduction au **Deep Learning** :
 - Notion de couches profondes.
- Introduction au réseaux convolutifs (CNN)
3. Exercices :
 - Expliquer Tensorflow et PyTorch
 - Analyser un Dataset de texte et prédire des sentiments

Chapitre 7 : Mini projet (travail personnel encadré en dehors des cours) :

Création d'un modèle complet de classification ou clustering, avec prétraitement, entraînement et visualisation ; choisir et traiter un projet du début jusque la fin parmi (à distribuer au début du semestre) :

- o Reconnaissance des caractères manuscrits
- o Prédiction des catastrophes naturelles
- o Développer un Chatbot capable de répondre aux questions fréquentes d'une entreprise, de manière naturelle.

- o Développer un système capable de distinguer les sons normaux d'une machine de ceux indiquant une anomalie (roulement défectueux, vibration excessive, etc.)
- o Développer un système (mini IA) capable d'analyser les sentiments exprimés dans les publications sur réseaux sociaux à propos d'un produit, une marque ou un événement.

Travaux pratiques :

TP 01 : Initialisation

TP 02 :

- Planter une régression simple avec Scikit-learn visualisation avec Matplotlib (par exemple)
- Visualiser les résultats avec Matplotlib

TP 03 :

- Pipeline de machine learning et séparation des données
- Approfondir les notions vues au cours

TP 04 :

- Utilisation Scikit-learn pour entraîner un modèle de classification simple

TP 05 :

- Planter un algorithme de clustering sur un Dataset
- Visualiser les clusters : Clustering non supervisé (K-means, DBSCAN).

TP 06 :

- Construire un réseau de neurones simple avec TensorFlow ou PyTorch ou keras
- Construire un CNN simple pour classifier des images (exemple : Dataset MNIST)

Mode d'évaluation :

examen 60% , Contrôle Continu 40%

Bibliographie :

- Ganascia, J.Gabriel (2024) : l'IA expliquée aux humains. Paris France- Edition le Seuil.
- Anglais, Lise, Dilhac, Antione, Dratwa, Jim et al. (2023) : L'éthique au coeur de l'IA. Quebec Obvia.
- J.Robert (2024) : Natural Language Processing (NLP) : définition et principes – Datasciences. Lien : <https://datascientest.com/introduction-au-nlp-natural-language-processing>
- Qu'est-ce que le traitement du langage naturel. Lien : <https://aws.amazon.com/fr/what-is/nlp/>
- M.Journe : Eléments de Mathématiques discrètes – Ellipses
- F.Challet : L'apprentissage profond avec Python – Eyrolles
- H.Bersini (2024) : L'intelligence artificielle en pratique avec Python – Eyrolles
- B.Prieur (2024) : Traitement automatique du langage naturel avec Python – Eyrolles
- V.Mathivet (2024) : Implémentation en Python avec Scikit-learn – Eyrolles
- G.Dubertret (2023) : Initiation à la cryptographie avec Python – Eyrolles
- S.Chazallet (2023) : Python 3 – Les fondamentaux du langage - Eyrolles
- H.Belhade, I.Djemal : Méthode TALN – Cours de l'université de Msila - Algérie

Unité d'enseignement : UET 1.2**Matière : Respect des normes et des règles d'éthique et d'intégrité.****VHS : 22h30 (Cours : 1h30)****Crédit : 1****Coefficient : 1****Objectifs de l'enseignement:**

Développer la sensibilisation des étudiants au respect des principes éthiques et des règles qui régissent la vie à l'université et dans le monde du travail. Les sensibiliser au respect et à la valorisation de la propriété intellectuelle. Leur expliquer les risques des maux moraux telle que la corruption et à la manière de les combattre, les alerter sur les enjeux éthiques que soulèvent les nouvelles technologies et le développement durable.

Connaissances préalables recommandées :

Ethique et déontologie (les fondements)

Contenu de la matière :**A. Respect des règles d'éthique et d'intégrité,****1. Rappel sur la Charte de l'éthique et de la déontologie du MESRS : Intégrité et honnêteté.**

Liberté académique. Respect mutuel. Exigence de vérité scientifique, Objectivité et esprit critique. Equité. Droits et obligations de l'étudiant, de l'enseignant, du personnel administratif et technique,

2. Recherche intègre et responsable

- Respect des principes de l'éthique dans l'enseignement et la recherche
- Responsabilités dans le travail d'équipe : Egalité professionnelle de traitement. Conduite contre les discriminations. La recherche de l'intérêt général. Conduites inappropriées dans le cadre du travail collectif
- Adopter une conduite responsable et combattre les dérives : Adopter une conduite responsable dans la recherche. Fraude scientifique. Conduite contre la fraude. Le plagiat (définition du plagiat, différentes formes de plagiat, procédures pour éviter le plagiat involontaire, détection du plagiat, sanctions contre les plagiaires, ...). Falsification et fabrication de données.

3. Ethique et déontologie dans le monde du travail :

Confidentialité juridique en entreprise. Fidélité à l'entreprise. Responsabilité au sein de l'entreprise, Conflits d'intérêt. Intégrité (corruption dans le travail, ses formes, ses conséquences, modes de lutte et sanctions contre la corruption)

B- Propriété intellectuelle**I- Fondamentaux de la propriété intellectuelle**

- 1- Propriété industrielle. Propriété littéraire et artistique.
- 2- Règles de citation des références (ouvrages, articles scientifiques, communications dans un congrès, thèses, mémoires, ...)

II- Droit d'auteur**1. Droit d'auteur dans l'environnement numérique**

Introduction. Droit d'auteur des bases de données, droit d'auteur des logiciels. Cas spécifique des logiciels libres.

2. Droit d'auteur dans l'internet et le commerce électronique

Droit des noms de domaine. Propriété intellectuelle sur internet. Droit du site de commerce électronique. Propriété intellectuelle et réseaux sociaux.

3. Brevet

Définition. Droits dans un brevet. Utilité d'un brevet. La brevetabilité. Demande de brevet en Algérie et dans le monde.

III- Protection et valorisation de la propriété intellectuelle

Comment protéger la propriété intellectuelle. Violation des droits et outil juridique. Valorisation de la propriété intellectuelle. Protection de la propriété intellectuelle en Algérie.

C. Ethique, développement durable et nouvelles technologie

Lien entre éthique et développement durable, économie d'énergie, bioéthique et nouvelles technologies (intelligence artificielle, progrès scientifique, Humanoïdes, Robots, drones,

Mode d'évaluation :

Examen : 100 %

Références bibliographiques :

1. Charte d'éthique et de déontologie universitaires,
https://www.mesrs.dz/documents/12221/26200/Charte+fran_ais+d_f.pdf/50d6de61-aabd-4829-84b3-8302b790bdce
2. Arrêtés N°933 du 28 Juillet 2016 fixant les règles relatives à la prévention et la lutte contre le plagiat
3. E. Prairat, De la déontologie enseignante. Paris, PUF, 2009.
4. Racine L., Legault G. A., Bégin, L., Éthique et ingénierie, Montréal, McGraw Hill, 1991.
5. Siroux, D., Déontologie : Dictionnaire d'éthique et de philosophie morale, Paris, Quadrige, 2004, p. 474-477.
6. Medina Y., La déontologie, ce qui va changer dans l'entreprise, éditions d'Organisation, 2003.
7. Didier Ch., Penser l'éthique des ingénieurs, Presses Universitaires de France, 2008.
8. Gavarini L. et Ottavi D., Éditorial. de l'éthique professionnelle en formation et en recherche, Recherche et formation, 52 | 2006, 5-11.
9. Caré C., Morale, éthique, déontologie. Administration et éducation, 2e trimestre 2002, n°94.
10. Jacquet-Francillon, François. Notion : déontologie professionnelle. Letélémaque, mai 2000, n° 17
11. Carr, D. Professionalism and Ethics in Teaching. New York, NY Routledge. 2000.
12. Galloux, J.C., Droit de la propriété industrielle. Dalloz 2003.
13. Wagret F. et J-M., Brevet d'invention, marques et propriété industrielle. PUF 2001
14. Dekermadec, Y., Innover grâce au brevet : une révolution avec internet. Insep 1999
15. AEUTBM. L'ingénieur au cœur de l'innovation. Université de technologie Belfort-Montbéliard
16. <http://www.app.asso.fr/>
17. <http://ressources.univ-rennes2.fr/propriete-intellectuelle/cours-2-54.html>
18. Fanny Rinck et Léda Mansour "littératie à l'ère du numérique : le copier-coller chez les étudiants" Université Grenoble 3 et Université Paris Ouest Nanterre la Défense Nanterre, France
19. L'abc du droit d'auteur, organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture (UNESCO)
20. Alain Bensoussan livre blanc – une science ouverte dans une république numérique direction de l'information scientifique et technique CNRS
21. Copyright in the cultural industries. - Cheltenham: E. Elgar, 2002. - XXII-263 p.
22. Les logiciels de détection de similitudes : une solution au plagiat électronique ? Rapport du Groupe de travail sur le plagiat électronique présenté au Sous-comité sur la pédagogie et les TIC de la CREPUQ
23. Emanuela Chiriac, Monique Filiatrault et André Régimbald. "guide de l'étudiant : l'intégrité intellectuelle plagiat, tricherie et fraude... les éviter et, surtout, comment bien citer ses sources" 2014
24. Publication de l'université de Montréal. « Stratégies de prévention du plagiat », Intégrité, fraude et plagiat, 2010

25. Pierrick Malissard "La propriété intellectuelle "origine et évolution" 2010.
26. Le site de l'Organisation Mondiale de la Propriété Intellectuelle www.wipo.int.

III - Programme détaillé par matière du semestre S3

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UEF 2.1.1
Matière 1: Dimensionnement des équipements pétrochimique
VHS: 45h00 (Cours: 01h30, TD : 01h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement

Donner aux étudiants les notions de bases et les outils nécessaires à la conception ainsi que au contrôle des principaux équipements thermiques utilisés dans les installations des industries pétrochimiques.

Connaissances préalables recommandées:

Les connaissances indispensables pour mieux assimiler le contenu de ce programme sont les matières de bases, de transferts de matière et de chaleur, la résistance mécanique, Méthodes numériques etc...

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Le comportement des aciers sous hautes températures **(1 Semaine)**

Chapitre 2. Matériaux de fabrication des appareils **(1 Semaine)**

Chapitre 3. Appareils fonctionnant sous hautes pressions **(1 Semaine)**

Chapitre 4. Calcul des résistances et de la stabilité des appareils **(2 Semaine)**

Chapitre 5. Calcul des échangeurs de chaleur

Calcul à l'aide de la méthode DTLM, calcul à l'aide de la méthode NUT, dimensionnement à l'aide de la méthode Delaware. **(2 Semaines)**

Chapitre 6. Calcul des condenseurs

Types de condenseurs, calcul de la chaleur transférée, calcul de la perte de charge, procédure de calcul exemple de calcul d'un condenseur. **(2 Semaines)**

Chapitre 7. Calcul des rebouilleurs

Classification des rebouilleurs, calcul de la chaleur transférée, calcul de la perte de charge, procédure de calcul, exemple de calcul d'un rebouilleur. **(3 Semaines)**

Chapitre 8. Calcul des fours

Transfert de chaleur dans les fours industriels, capacité calorifique des fours discontinues, capacité calorifique des fours continues, opérations et contrôle des fours industriels, mouvement des gaz dans les fours industriels, calcul et maintenance des fours industriels. **(3 Semaines)**

Mode d'évaluation:

Examen: 60 %, Contrôle continu : 40%

Références bibliographiques:

[1] Bartok and Sarofim: "Fossil Fuel Combustion-A Source Book"; John Wiley & Sons, New York, NY, 1991.

[2] Baukal, C.E.: "Oxygen-Enhanced Combustion," CRC Press, Boca Raton, FL, 1998.

[3] Ganapathy, V.: "Applied Heat Transfer," John Wiley & Sons, New York, NY, 1982.

[4] Gilchrist, J. D.: "Fuels, Furnaces and Refractories," Pergamon Press, New York, 1977.

[5] Glinkov, M.S and Glinkov, G. M: "A General Theory of Furnaces," Mir Publishers, Moscow, 1980.

[6] Guyer, E.C. (Ed.): "Handbook of Applied Thermal Design," Part 10 (by R. J. Reed),

Taylor and Francis, Philadelphia, PA, 1999.

[7] Reynoldson, R.W.: "Heat Treatment in Fluidized Bed Furnaces," ASM International, Metals Park, OH 44073, 1993.

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UEF 2.1.1
Matière 2: Corrosion et protection des installations
VHS: 45h00(Cours: 01h30, TD : 01h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement

Présenter les types et les phénomènes de corrosion des matériaux métalliques et les bases scientifiques qui y sont associées. Ces informations sont destinées à établir des lignes de conduite pour le choix des procédés et des matériaux dans le domaine de la lutte contre la corrosion.

Connaissances préalables recommandées:

Cinétique, chimie minérale et organique.

Contenu de la matière:

Chapitre I : Introduction, **définition**, Prévion de la corrosion, principe de la corrosion, différents types de corrosion : corrosion humide (corrosion uniforme et galvanique) et corrosion sèche.

Chapitre II : Étude thermodynamique de la corrosion : Potentiel d'équilibre, Potentiel de corrosion, Diagramme potentiel-pH, Diagramme de stabilité de l'eau, Stabilité des métaux vis-à-vis de l'eau, Équilibre gaz-solide : diagramme d'Ellingham.

Chapitre III : Étude cinétique de la corrosion :

-Cas de la corrosion humide : Surtension, Vitesse de la réaction de corrosion, Potentiel de corrosion, mécanismes de corrosion, Tension mixte, Courbes de polarisation, Diagramme d'Evans, Passivation et Passivité, Cinétique de deux métaux en contact.

-Cas de la corrosion sèche : Aspects expérimentaux, Rôle des défauts, Structure des couches formées, Aspect cinétique dans le cas de la formation d'une couche compacte, Mécanisme d'oxydation.

Chapitre IV : Différents types de corrosion (par pique, intergranulaire, sous contrainte, par fragilisation par les métaux liquides, par courant vagabond...), les équipements et les unités industrielles concernés par la corrosion, mécanisme de la corrosion, les moyens de protection.

Chapitre V : Moyens de lutte contre la corrosion :

-Cas de la corrosion sèche : utilisation des alliages et revêtements

-Cas de la corrosion humide : les moyens passifs (inhibiteur et revêtements) les moyens actifs (protection cathodique : par courant imposé et par anode sacrificielle et protection anodique).

Références bibliographiques :

- 1- Francis Dabosi, Gérard Béranger, Bernard Baroux, Corrosion localisée, Collection : Science des matériaux / Materials Janvier 1994.
- 2- Bernard Baroux, Passivité et corrosion localisée, Collection : Technique et ingénierie, Dunod Janvier 2014.
- 3- Yves Cêtre, La corrosion dans l'industrie chimique : Enjeux-Impact, Collection : Profil Juin 2021.
- 4- D. Landolt, Corrosion et chimie de surfaces des métaux (TM volume 12), Collection : Traité des matériaux, Aout 1993.

- 5- Pierre Sarrazin, Alain Galerie, Jacques Fouletier, Les mécanismes de la corrosion sèche : Une approche cinétique, Collection : Sciences des matériaux/ Materials, Janvier 2000.
- 6- Jayanta Kumar Saha, Corrosion of Constructional Steels in Marine and Industrial Environment, Springer 2013
- 7- Olen L. Riggs, Jr., Carl E. Locke Anodic protection theory and practice in the prevention of corrosion, Plenum Press, New York 1981.
- 8- François Ropital, Corrosion et dégradation des matériaux métalliques, Editions Technip 2009.

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UEF 2.1.2
Matière 1: Simulation et optimisation des procédés
VHS: 45h00 (Cours: 01h30, TD : 01h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement

Initiation aux principes et techniques de modélisation, de simulation et d'optimisation des procédés.

Connaissances préalables recommandées:

Analyse numérique, programmation FORTRAN, Matlab, Simulateur HYSYS.

Contenu de la matière:

Chapitre 1. Notions fondamentales sur la simulation et l'optimisation des procédés

(2 Semaines)

Chapitre 2. Modélisation et simulation des procédés

(2 Semaines)

- Simulation des propriétés physico-chimiques des fluides et des équilibres entre phases (équation d'état, modèle de coefficient d'activité, Banques de données).
- modélisation et simulation des --opérations unitaires (modélisation et simulation statique des procédés de séparation diphasique multi constituants et multiétage, simulation dynamique).
- Simulateur des procédés (Architecture des simulateurs, approche modulaire, traitement des recyclages, approche orienté équation).

Chapitre 3.Introduction à l'optimisation (3 Semaines)

Notion de l'optimisation, exemples d'applications de l'optimisation, procédure générale de la résolution d'un problème d'optimisation, obstacles de l'optimisation.

Chapitre 4.Formulation du problème

(2 Semaines)

Nature et organisation des problèmes d'optimisation, développement des modèles d'optimisation, formulation de la fonction objective.

Chapitre 3. Méthodes d'optimisation : (6 Semaines)

Concepts de base de l'optimisation, optimisation des fonctions à une seule variable (sans contraintes), optimisation des fonctions à multi-variables (sans contraintes).

Méthodes directes : recherche aléatoire, recherche à quadrillage, recherche uni-variable, méthode du simplex, directions de recherche conjuguée, méthode de Powell, méthodes indirectes (du premier ordre) : méthode du gradient, méthode conjuguée, méthode indirecte (du second ordre) : méthode de Newton, méthodes de Secant. Programmation linéaire PL : Notions de bases de la PL, méthode du simplex, applications de la PL.

Programmation non-linéaire avec contraintes : Méthode des multiplicateurs de Lagrange, programmation quadratique, méthode généralisée du gradient réduit, fonction de pénalité et la méthode de Lagrangien augmentée, programmation quadratique séquentielle (ou successive, ou récursive), méthode de recherche aléatoire, programmation linéaire successive. Optimisation des procédés mono et multi étagés : Programmation dynamique, programmation non-linéaire entier (Integer) et entier-mixte (Mixed-Integer). Exemples d'applications de l'optimisation : Transfert de chaleur et conservation d'énergie, procédés de séparation, systèmes d'écoulement des fluides, conception et fonctionnement des réacteurs chimiques, optimisation à large échelle de la conception et du fonctionnement des unités chimiques.

Mode d'évaluation:

Examen: 60 %, Contrôle continu : 40%

Références bibliographiques:

- [1] *Optimization of chemical process. T.F. EDGAR, D.M. HIMMELBLAU. Mc Graw-Hill. 1989.*
- [2] *Livres :K. Najim ; G Muratet, optimisation et commande en génie des procédés.*
- [3] *Simulation et optimisation en génie des procédés : GFPG Récent progrès en génie des procédés, Vol 2 N°6. Tech & Doc Lavoisier 1988.*

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UEF 2.1.2
Matière 2: Stockage et transport des produits pétroliers
VHS: 45h00(Cours: 01h30, TD : 01h30)
Crédits: 4
Coefficient: 2

Objectif de l'enseignement:

Ce module s'intéresse aux moyens nécessaires au stockage et au transport des produits pétroliers gazeux et liquides

Connaissances préalables recommandées:

Thermodynamique, Produits pétroliers

Contenu de la matière :

Chapitre 1. : Stockage d'hydrocarbures liquides et liquéfiés (5 Semaines)

Réservoirs atmosphériques (Principaux éléments constitutifs, réservoirs à toit fixe, réservoirs à toit flottant, réservoirs à toit fixe avec écran flottant), réservoirs sous faible et forte pression (Réservoirs cylindriques verticaux, sphéroïdes, ballons cylindriques horizontaux (cigares), Sphères), Réservoirs semi-réfrigérés, réservoirs réfrigérés et cryogéniques.

Chapitre 2. L'isolation dans les réservoirs de stockage d'hydrocarbures (5 Semaines)

Principaux isolants (Mousses expansées, matières fibreuses et poudres expansées, le vide seul, isolation multicouches (super-isolation), choix d'un isolant, phénomènes de transfert de chaleur mis en jeu), calcul de la *heatinleak* (pertes frigorifiques), calcul du taux d'évaporation (*Boil-off*), calcul de l'autonomie d'un réservoir.

Chapitre 3. Transport d'hydrocarbures liquides et liquéfiés (5 Semaines)

Transport routier et ferroviaire, transport par pipes, transport maritime, transport de pétrole brut et produits finis, transport de gaz liquéfiés, les navires gaziers.

Mode d'évaluation:

Examen: 60 %, Contrôle continu : 40%

Références bibliographiques:

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UEF 2.1.2
Matière 3 :Catalyseurs industriels
VHS: 22h30(Cours: 01h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement

Cet enseignement porte sur les différents types de catalyseurs utilisés dans l'industrie pétrochimique pour des différents procédés de transformations.

Connaissances préalables recommandées:

Cinétique chimique, chimie des silicates, chimie minérale et organique, phénomènes de transferts, calcul des réacteurs, équipement des unités pétrochimiques, procédés de séparation.

Contenu de la matière:

Chapitre 1 :Généralités

- Définition du catalyseur,
- Diagramme du profil énergétique du catalyseur,
- Différents types de catalyseurs (catalyse homogène – catalyse hétérogène).

Chapitre 2 :Classification des catalyseurs

Selon la réaction envisagée :

- Alkylation et désalkylation
- Oxydation
- Hydrogénation et déshydrogénation
- Hydratation et déshydratation
- Isomérisation

Chapitre 3 :Méthodes de préparation des catalyseurs

- Imprégnation
- Dépôt-précipitation
- Sol-Gel
- Dépôt chimique

Chapitre 4 :Propriétés des catalyseurs

- Catalyseurs poreux, tamis moléculaires
- Catalyseurs monolithiques
- Catalyseurs non-supportés

Chapitre 5 :Désactivation et régénération des catalyseurs

- Désactivation des catalyseurs par : vieillissement, empoisonnement, cokéfaction et encrassement
- Régénération des catalyseurs désactivés par dépôt du carbone
- Régénération des catalyseurs empoisonnés

Mode d'évaluation:

Examen: 100 %

Références bibliographiques:

- 1/H. Scott Fogler, « *Elements Of Chemical Reaction Engineering* », 4th Edition, Prentice Hall, 2005,
- 2/ Guido Busca, « *Heterogeneous Catalytic Materials : Solid State Chemistry and Catalytic Behaviour* », Elsevier, 2014.
- 3/Said Irandoust, « *The Monolithic Catalyst Reactor* » Paperback, Chalmers University of Technology, 1989.
- 4/ Krijn de Jong, « *Synthesis of Solid Catalysts* », Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2009.

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UEM 2.1
Matière 1 :TP Préparation des catalyseurs industriels
VHS: 22h30(TP : 01h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement

Apprendre à l'étudiant les différentes procédures de synthèse des catalyseurs (en vrac, sol-gel, dépôt chimique en phase vapeur, etc.).

Connaissances préalables recommandées:

Zéolites, catalyse, chimie des silicates, chimie minérale et organique.

Contenu de la matière:

1. Synthèse d'un catalyseur : hétéropolyanion supporté sur l'alumine
2. Synthèse d'un catalyseur : à base d'oxydes des métaux de transition
3. Synthèse hydrothermale d'une zéolithe (type Na-A, Na-X, Na-Y ...)
4. Synthèse d'un tamis moléculaire (Aluminophosphates)
5. Caractérisation des zéolithes et du tamis moléculaire synthétisés (infrarouge FTIR, DRX, ...)
6. Échange ionique de zéolithes synthétisées (forme acides) par une solution aqueuse d' NH_4Cl
7. Réaction de transformation des HC sur les zéolithes synthétisées
8. Séparation d'un mélange d'hydrocarbure sur une zéolithe synthétisée
9. Absorption d'un métal lourd (Ni, Co, Cu, Zn ...) sur une zéolithe synthétisée
10. Détermination (estimation) de la surface spécifique et du volume des pores d'un catalyseur

Mode d'évaluation:

Contrôle continu : 100%

Références bibliographiques:

[1] J. Regalbuto. *Catalyst preparation: Science and engineering*. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2007.
UK

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UEM 2.1
Matière 2: TP Simulation et optimisation des procédés
VHS: 22h30 (TP : 01h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement

Travaux pratiques de simulation et d'optimisation de quelques procédés utilisés dans l'industrie pétrochimique.

Connaissances préalables recommandées:

CAO, Opérations unitaires, régulation et instrumentation, thermodynamique, simulateurs, méthodes d'optimisation.

Contenu de la matière:

1. Dimensionnement optimal d'un échangeur faisceaux et calandre
2. Dimensionnement optimal d'une colonne de distillation
3. Dimensionnement optimal du réacteur de fabrication de l'ammoniaque.
4. Simulation dynamique d'une opération de dépressuration
5. Simulation dynamique d'un procédé de débutaniseur
6. Simulation dynamique d'un procédé d'obtention du propylène-glycol à partir du propylène et de l'eau.
7. Simulation dynamique d'une colonne de distillation atmosphérique du pétrole brut

Mode d'évaluation:

Contrôle continu : 100%

Références bibliographiques:

- [1] Romagnoli, J. A.; and M. C. Sanchez, *Data Processing and Reconciliation for Chemical Process Operation*. Academic Press, New York (1999).
- [2] Peters, M. S.; and K. D. Timmerhaus. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. McGraw-Hill, New York (1991).
- [3] Bequette, B. W. *Process Dynamics: Modeling, Analysis, and Simulation*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ (1998).
- [4] Bazarra, M. S.; H. D. Sherali; and C. M. Shetty. *Nonlinear Programming: Theory and Algorithms*. Wiley, New York (1993).
- [5] Nash, S. G.; and A. Sofer. *Linear and Nonlinear Programming*. McGraw-Hill, New York (1996).
- [6] Dennis, J. E.; and R. B. Schnabel. *Numerical Methods for Unconstrained Optimization and Nonlinear Equations*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1996).
- [7] Manuel HYSYS

Semester: 3
Unité d'enseignement: UEM 2.1
Matière 3 : TP Corrosion
VHS: 37h30(TP : 02h30)
Crédits: 3
Coefficient: 2

Objectifs de l'enseignement

Ce TP qui représente un complément indispensable au cours "Corrosion et protection des installations", permet aux étudiants d'illustrer et de mettre en application les concepts théoriques traités dans ce cours ainsi d'acquérir les techniques expérimentales couramment utilisées dans le domaine de la corrosion.

Connaissances préalables recommandées:

Cinétique, chimie minérale et organique, corrosion et protection des métaux.

Contenu de la matière:

1. Etude du diagramme de Pourbaix du fer
2. Etude potentiométriques. Droite de Tafel
3. Corrosion électrochimique uniforme.
4. Etude électrochimique de l'inhibition de la corrosion d'un acier au carbone.

Mode d'évaluation:

Contrôle continu : 100%

Références bibliographiques:

[1] A.J. Bard, L. Faulkner « électrochimie, principes et applications », J. Besson, « Thermodynamique et cinétique électrochimiques ».

Semestre: 3
Unité d'enseignement: UEM 2.1
Matière 4 : Régulation et instrumentation
VHS: 22h30(Cours : 01h30)
Crédits: 2
Coefficient: 1

Objectifs de l'enseignement:

Étude des différents régulateurs rencontrés en industrie chimique en spécifiant l'aspect mathématique qui les gouverne.

Connaissances préalables recommandées:

Traitement des signaux, ondes et vibrations.

Contenu de la matière:

Partie I : Régulation

Chapitre 1. Introduction (1 Semaine)

Chapitre 2. Différents types de régulateurs (3 Semaines)

Régulateurs en discontinu, régulateurs proportionnel, régulateurs proportionnel intégrale et dérivé exemple pneumatique, exemple électrique.

Chapitre 3. Caractéristiques des systèmes (2 Semaines)

Système d'inertie du premier ordre, système à inertie en série, système linéaires d'ordre 2.

Partie II : Instrumentation

Chapitre 1. Généralités sur les mesures (1 Semaine)

Chapitre 2. Mesure de la pression : Réglementation et appareils de sécurité (2 Semaines)

Chapitre 3. Mesure de la température (2 Semaines)

Chapitre 4. Mesure des niveaux (2 Semaines)

Chapitre 5. Mesure des débits (2 Semaines)

Mode d'évaluation:

Examen: 100%

Références bibliographiques:

[1] R. COUGHANOWR, KOPPEL. « *Process systems analysis and control* »

[2] G. STEPHANOPOULOS. « *Chemical Process Control* »

Semestre : 3

Unité d'enseignement: UET 2.1

Matière 1 :Recherche documentaire et conception de mémoire

VHS : 22h30 (Cours: 1h30)

Crédits : 1

Coefficient : 1

Objectifs de l'enseignement :

Donner à l'étudiant les outils nécessaires afin de rechercher l'information utile pour mieux l'exploiter dans son projet de fin d'études. L'aider à franchir les différentes étapes menant à la rédaction d'un document scientifique. Lui signifier l'importance de la communication et lui apprendre à présenter de manière rigoureuse et pédagogique le travail effectué.

Connaissances préalables recommandées :

Méthodologie de la rédaction, Méthodologie de la présentation.

Contenu de la matière:

Partie I- : Recherche documentaire :

Chapitre I-1 : Définition du sujet

(02 Semaines)

- Intitulé du sujet
- Liste des mots clés concernant le sujet
- Rassembler l'information de base (acquisition du vocabulaire spécialisé, signification des termes, définition linguistique)
- Les informations recherchées
- Faire le point sur ses connaissances dans le domaine

Chapitre I-2 : Sélectionner les sources d'information

(02 Semaines)

- Type de documents (Livres, Thèses, Mémoires, Articles de périodiques, Actes de colloques, Documents audiovisuels...)
- Type de ressources (Bibliothèques, Internet...)
- Evaluer la qualité et la pertinence des sources d'information

Chapitre I-3 : Localiser les documents

(01 Semaine)

- Les techniques de recherche
- Les opérateurs de recherche

Chapitre I-4 : Traiter l'information

(02 Semaines)

- Organisation du travail
- Les questions de départ
- Synthèse des documents retenus
- Liens entre différentes parties
- Plan final de la recherche documentaire

Chapitre I-5 : Présentation de la bibliographie

(01 Semaine)

- Les systèmes de présentation d'une bibliographie (Le système Harvard, Le système Vancouver, Le système mixte...)
- Présentation des documents.
- Citation des sources

Partie II : Conception de mémoire

Chapitre II-1 : Plan et étapes du mémoire (02 Semaines)

- Cerner et délimiter le sujet (Résumé)
- Problématique et objectifs du mémoire
- Les autres sections utiles (Les remerciements, La table des abréviations...)
- L'introduction (*La rédaction de l'introduction en dernier lieu*)
- État de la littérature spécialisée
- Formulation des hypothèses
- Méthodologie
- Résultats
- Discussion
- Recommandations
- Conclusion et perspectives
- La table des matières
- La bibliographie
- Les annexes

Chapitre II- 2 : Techniques et normes de rédaction (02 Semaines)

- La mise en forme. Numérotation des chapitres, des figures et des tableaux.
- La page de garde
- La typographie et la ponctuation
- La rédaction. La langue scientifique : style, grammaire, syntaxe.
- L'orthographe. Amélioration de la compétence linguistique générale sur le plan de la compréhension et de l'expression.
- Sauvegarder, sécuriser, archiver ses données.

Chapitre II-3 : Atelier : Etude critique d'un manuscrit (01 Semaine)

Chapitre II-4 : Exposés oraux et soutenances (01 Semaine)

- Comment présenter un Poster
- Comment présenter une communication orale.
- Soutenance d'un mémoire

Chapitre II-5 : Comment éviter le plagiat ? (01 Semaine)

(Formules, phrases, illustrations, graphiques, données, statistiques,...)

- La citation
- La paraphrase
- Indiquer la référence bibliographique complète

Mode d'évaluation :

Examen : 100%

Références bibliographiques :

1. M. Griselin et al., *Guide de la communication écrite*, 2e édition, Dunod, 1999.
2. J.L. Lebrun, *Guide pratique de rédaction scientifique : comment écrire pour le lecteur scientifique international*, Les Ulis, EDP Sciences, 2007.
3. A. Mallender Tanner, *ABC de la rédaction technique : modes d'emploi, notices d'utilisation, aides en ligne*, Dunod, 2002.
4. M. Greuter, *Bien rédiger son mémoire ou son rapport de stage*, L'Etudiant, 2007.
5. M. Boeglin, *lire et rédiger à la fac. Du chaos des idées au texte structuré*. L'Etudiant, 2005.
6. M. Beaud, *l'art de la thèse*, Editions Casbah, 1999.
7. M. Beaud, *l'art de la thèse*, La découverte, 2003.
8. M. Kalika, *Le mémoire de Master*, Dunod, 2005.

Semestre : 6
Unité d'enseignement : UET 2.1
Matière 2 : Chemical reverse engineering
VHS : 67 h30 (Cours : 1h30, TD et ou TP : 1h30)
Crédits : 2
Coefficient : 2

Objectifs de l'enseignement :

Former l'étudiant en :

- Intelligence concurrentielle
- Démarche qualité (contrôle qualité d'un produit auprès d'un fournisseur permettant une traçabilité, une analyse de conformité par exemple)
- Compréhension/anticipation de divers phénomènes (vieillesse prématurée, réactivité du produit, relation structure-propriété...).
- Substitution de matières premières (pénurie ou changement stratégique)
- Optimisation des produits
- Obtention de données pour la conformité réglementaire
- Protection de la propriété intellectuelle (vérification de la contrefaçon de brevets, de la concurrence déloyale, etc.)

Connaissances préalables recommandées :

Méthodes physicochimiques d'analyse (spectroscopie, microscopie, analyse thermique, etc....)

Contenu de la matière :

Chapitre1 Introduction à la rétro-ingénierie chimique

1.1 Historique, enjeux légaux et éthiques du RE,

- Définitions et champs d'application : Approches (matériels, logiciels, procédés...)
- Objectifs de conception du produit, contraintes qui ont pu influencer le produit, Pour quel marché le produit a-t-il été créé ? Comment le produit fonctionne-t-il ?
- Comment pensons-nous qu'il fonctionne ? Comment répond-il à l'objectif global de la conception ? Pourquoi a-t-il été conçu de cette manière ?

1.2 Méthodes et utilisation

- Chromatographie : séparer et identifier les différents composants d'un mélange
- Spectroscopie : identifier et quantifier les liaisons chimiques et les éléments présents dans un échantillon
- Microscopie : examiner la microstructure d'un échantillon
- Analyse thermique : étudier les propriétés thermiques d'un échantillon
- Rhéologie : étudier les propriétés mécaniques d'un échantillon en fonction du temps et de la température

1.3 Domaines d'utilisation

- Industries des polymères, peintures, encres, poudres, céramiques, composites, emballage
- Industries pharmaceutiques et médicaments
- Industries alimentaires
- Industries cosmétiques
- Industries pétrochimiques

1.4 Cas où la rétro-ingénierie n'est pas possible

- Formulations complexes
- Manque d'équipement
- Restrictions légales
- Problèmes de sécurité
- Dégradation

Chapitre2 Méthodologie générale

2.1 Pyramide inversée

- 2.1.1 Analyse globale du produit : Evaluation documentaire du mélange à déformuler,
- 2.1.2 Analyse superficielle du mélange : solubilité, réactivité chimique, présence de charge, nombre de composés formant le mélange, taille des molécules
- 2.1.3 Analyse spécifique de chacun des composés à déformuler : isoler les différentes espèces puis les identifier et les qualifier par des techniques de chromatographie, RMN, analyse élémentaire (MEB, EDX...)
- 2.1.4 Quantification des espèces isolées (chromatographies, RMN, Techniques gravimétriques)
- 2.1.5 Exemples d'applications : Ingénierie inverse de résines époxy, résines formo-phénoliques, peintures, shampoings, dispositifs médicaux, etc.

Chapitre 3 Processus de rétroingénierie

3.1 Hypothèse sur le procédé de fabrication

Reconstitution des étapes de fabrication à partir de la composition chimique :

- Température, pression, catalyseurs utilisés.
- Ordre d'ajout des réactifs.
- Conditions de réaction et purification.

3.2 Modélisation et simulation

- Utilisation de logiciels de simulation chimique (Aspen Plus, ChemCAD, etc.) pour valider les hypothèses.
- Évaluation des équilibres thermodynamiques et cinétiques.

3.3 Reproduction expérimentale

- Réalisation de tests en laboratoire pour vérifier les hypothèses de formulation ou de procédé.
- Ajustement des paramètres en fonction des résultats obtenus.

3.4 Optimisation

- Amélioration du procédé (rendement, coût, impact environnemental).
- Recherche de formulations équivalentes ou meilleures (génériques, alternatives brevetables, etc.).

Chapitre 4 Techniques de développement de formes pharmaceutiques génériques

4.1. Recherche et formulation :

4.2. Essais de bioéquivalence :

Bioéquivalence des médicaments génériques avec le médicament de référence,

4.3. Études toxicologiques, pharmacologiques et cliniques :

4.4. Demande d'autorisation de mise sur le marché (AMM) :

4.5. Contrôle de la qualité :

Chapitre 5 Techniques de développement de polymères

5.1 Acquisition et préparation de l'échantillon

- Acquisition : matière première ou prototype

Préparation: nettoyage, séchage, préparation de l'échantillon pour analyse selon la technique d'analyse utilisée

5.2. Analyses et Caractérisation (physiques et chimiques)

(microscopie, spectroscopie (e.g., FTIR, NMR), analyse thermique, et autres méthodes de détermination la structure la composition et propriétés des polymères.

5.3. Formulation et Reconstruction:

- Appréhender la composition :
- Reproduire le processus :

5.4. Validation et optimisation :

- Essais et validation :
- Optimisation :
- Production : (produit original, ou développer un nouveau)

5.5. Avantages de l'ingénierie inverse dans le développement des polymères :

- Reproduction de produits :
- Amélioration des produits existants :
- Développement de nouveaux produits :
- Réduction des coûts :
- Compréhension des produits concurrents :

Chapitre 6 Rétro ingénierie d'un détergent liquide commercial

Étape 1 : Produit existant (Échantillonnage) : Prélèvement du produit détergent liquide à analyser

Étape 2 : Analyse physico-chimique :

- Identification des tensioactifs
- Identification des polymères ou additifs.

Étape 3 : Composants identifiés :

- Dosage des composants

Étape 4 : Hypothèse sur la formulation

Étape 5 : Reconstitution du procédé

Reconstitution du processus probable :

1. Mélange à froid
2. Solubilisation
3. Ajustement du pH
4. Ajout de conservateurs et parfum

Étape 6 : Essais en labo

Reproduire le mélange avec les proportions estimées. Ajuster selon viscosité, mousse, pH, stabilité.

Étape 7 : Ajustements et tests

Évaluer les performances : pouvoir nettoyant, stabilité, coût.

Étape 8 : Formulation finale

Optimisation Ajouter des améliorations : agents biodégradables, meilleur parfum, réduction des coûts.

Remarques :

- Dans le cas d'un produit formulé (comme un détergent), la **séparation et l'identification des composants** est essentielle.
- Certaines substances comme les parfums ou les agents conservateurs peuvent être présents à **très faible concentration**, mais jouer un **rôle clé** dans la performance ou la perception du produit.

Chapitre 7 Analyse d'une huile moteur multigrade 5W-30

Objectif : *Comprendre la composition chimique et les propriétés techniques d'une huile moteur 5W-30 d'un concurrent (ex. : Total, Mobil, Shell), afin de :*

- **Reproduire un lubrifiant équivalent,**
- **Identifier les additifs utilisés,**
- **Développer un produit de performance comparable ou améliorée.**

7.1 Caractéristiques d'une huile moteur à analyser

- **Grade SAE** : 5W-30 (bonne fluidité à froid + protection à chaud)
- **Spécifications** : API SP, ACEA C3
- **Utilisation** : moteurs essence et diesel récents, avec FAP ou catalyseur

7.2 Étapes de rétroingénierie

1. Préparation de l'échantillon

- Échantillon frais (neuf) prélevé dans un bidon scellé.
- Analyse également possible sur huile usagée pour étudier les performances en conditions réelles.

2. Analyses physico-chimiques

Analyse Viscosité cinématique

Indice de viscosité (VI)

Point d'éclair / Point de congélation

Analyses Spectrométriques (ICP-AES, FTIR / GC-MS ...)

3. Composition typique identifiée

Composant

Base API Groupe III ou IV

ZDDP (zinc dialkyldithiophosphate)

Calcium / Magnésium

Phosphore

Polymères modificateurs de viscosité

Dispersants (borés, succinimides)

Inhibiteurs de corrosion

4. Reconstitution en formulation

5. Tests de validation

- Essais tribologiques (test 4 billes, ASTM D4172)
- Simulation moteur (sequence IVA, VG, etc.)
- Tests sur banc moteur (durabilité, consommation)
- Compatibilité avec catalyseurs, filtres à particules

Résultat final

- Formulation d'une huile moteur 5W-30 respectant les normes API/ACEA.
- Possibilité de formuler une **alternative low SAPS** pour moteurs récents.
- Réduction des cendres sulfatées et adaptation aux véhicules Euro 6/7.

Remarques

- La rétroingénierie d'une huile moteur nécessite une **connaissance poussée en tribologie, chimie organique et normes techniques**.
- L'utilisation de **packages d'additifs industriels** permet de simplifier la formulation, mais leur nature exacte est souvent **confidentielle**.
- Les **brevets** et **exigences réglementaires** (REACH, normes constructeurs) doivent être respectés.

Mode d'évaluation :

- TP techniques 30 %
- Mini-projet de rétro-ingénierie (rapport + soutenance) 40 %,
- Examen final (QCM + étude de cas) 30 examen 60% et CC TP : 40%

Références bibliographiques :

- **Jacques Villermaux**, *Génie de la réaction chimique : conception et fonctionnement des réacteurs*, Éditions Tec & Doc, 1993.
- **Daniel Schweich**, *Génie de la réaction chimique*, Éditions Tec & Doc, 2001.

- **Gilbert F. Froment & Kenneth B. Bischoff**, *Chemical Reactor Analysis and Design*, Wiley, 2010.
- **Searson, D. P., Willis, M. J., & Wright, A.**, *Reverse Engineering Chemical Reaction Networks from Time Series Data*, 2014.
- **Marote, P., Martin, M., Bonhomme, A., Lantéri, P., & Clément, Y.**, *Artificial Intelligence for Reverse Engineering: Application to Detergents Using Raman Spectroscopy*, 2023.
- **Techniques de l'Ingénieur**, *Procédés chimiques : Dossier complet*.